

TESIS

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR DAN PERKUATAN
GEDUNG 10 TINGKAT TERHADAP BEBAN GEMPA
DENGAN ANALISIS RIWAYAT RESPONS RAGAM**



Disusun oleh:

**RADITYA FIRDAUS
23914022**

**KONSENTRASI MANAJEMEN REKAYASA KEGEMPAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL - PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

TESIS

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR DAN
PERKUATAN GEDUNG 10 TINGKAT TERHADAP
BEBAN GEMPA DENGAN ANALISIS RIWAYAT
RESPONS RAGAM**



Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D.

Dosen Pembimbing I

Tanggal:

Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T.,

Ph.D.(Eng)., IPM.

Dosen Pembimbing II

Tanggal:

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR DAN
PERKUATAN GEDUNG 10 TINGKAT TERHADAP
BEBAN GEMPA DENGAN ANALISIS RIWAYAT
RESPONS RAGAM**

Disusun oleh:

RADITYA FIRDAUS

23914022

Telah diuji di depan Dewan Penguji

Pada tanggal 4 Mei 2026

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

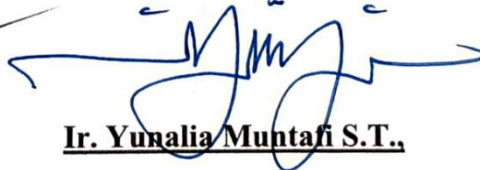
Susunan Dewan Penguji

Dosen Pembimbing I,



Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D.

Dosen Pembimbing II,



**Ir. Yunalia Muntafi S.T.,
M.T., Ph.D.(Eng)., IPM.**

Dosen Penguji ,



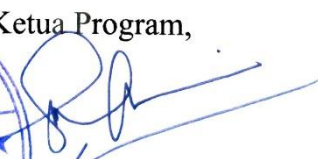
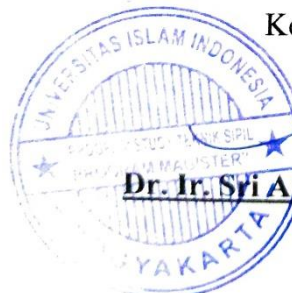
**Prof. Ir. Mochamad
Teguh, MSCE., Ph.D.**

Yogyakarta, 04 JUN 2026

Universitas Islam Indonesia

Program Studi Teknik Sipil – Program Magister

Ketua Program,

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (magister), baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, yang disusun dengan arahan Dosen Pembimbing serta sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali yang secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah, dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program “software” komputer yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bagian dari sarana pendukung penelitian yang penggunaannya dilakukan sebagaimana mestinya sesuai ketentuan yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan atau ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka penyelesaiannya akan dilakukan sesuai dengan ketentuan akademik serta norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 29 Mei 2026

Yang Membuat Pernyataan,



RADITYA FIRDAUS

23914022



Direktorat Perpustakaan Universitas Islam Indonesia
Gedung Moh. Hatta
Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext.2301
F. (0274) 898444 psw.2091
E. perpustakaan@uii.ac.id
W. library.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN HASIL CEK PLAGIASI

Nomor: 2941335409/Perpus./10/Dir.Perpus/TV/2026

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Assalamualaikum Wr. Wb.

Dengan ini, menerangkan bahwa:

Nama : Raditya Firdaus
Nomor Mahasiswa : 23914022
Pembimbing : -
Fakultas / Prodi : Teknik Sipil dan Perencanaan/ Magister Teknik Sipil
Judul Karya Ilmiah : Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Terhadap Beban Gempa Dengan Analisis Riwayat Respons Ragam

Karya ilmiah yang bersangkutan di atas telah melalui proses cek plagiasi menggunakan **Turnitin** dengan hasil kemiripan (*similarity*) sebesar **6 (Enam) %**.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 4/23/2026

Direktur



Muhammad Jamil, SIP.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim. Segala puji bagi Allah ﷻ yang telah memberikan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Evaluasi Kinerja Struktur Dan Perkuatan Gedung 10 Tingkat Terhadap Beban Gempa Dengan Analisis Riwayat Respons Ragam” dengan baik. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah ﷺ serta orang-orang yang mengikuti beliau hingga hari akhir nanti.

Tesis ini diajukan untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar Magister pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini, penulis banyak menerima masukan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini terutama kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D. selaku Dosen pembimbing I,
2. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM. selaku Dosen pembimbing II,
3. Bapak Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D. selaku dosen penguji, dan
4. Kedua Orang Tua Penulis.

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan bahkan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Yogyakarta, 29 Mei 2026



RADITYA FIRDAUS

23914022

DAFTAR ISI

JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xx
DAFTAR NOTASI	xxiii
ABSTRAK	xxxii
<i>ABSTRACT</i>	xxxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
1.6 Definisi Operasional	5
BAB II STUDI PUSTAKA	8
2.1 Penelitian Terdahulu PSHA	8
2.1.1 <i>Ground Motions, Site Amplification and Building Damage at Near Source of the 2006 Yogyakarta, Indonesia Earthquake</i>	8
2.1.2 <i>Declustering Characteristics Of The North China Plain Seismic Belt And its Effect On Probabilistic Seismic Hazard Analysis</i>	9
2.2 Penelitian Terdahulu Evaluasi Struktur	10

2.2.1	<i>Evaluation Of Vertical Irregularity Effects of Historical Masonry Buildings Through A Simplified Procedure: The Case Of Florence City Center</i>	10
2.2.2	<i>Controlling Interstory Drift Ratio Profiles Via Topology Optimization Strategies</i>	11
2.2.3	<i>Evaluation of The P- Δ(P-Delta) Effect in Columns and Frames Using The Two-Cycle Method Based on The Solution of The Beam-Column Differential Equation</i>	11
2.3	Perbandingan Penelitian	12
2.4	Keaslian Penelitian	16
BAB III LANDASAN TEORI		17
3.1	Gempa Bumi	17
3.1.1	Mekanisme Gempa	17
3.1.2	Kegempaan Jawa	19
3.1.3	Magnitude Gempa dan Konversi M_w	21
3.2	Analisis Seismisitas Katalog	21
3.2.1	<i>Declustering Catalogue</i>	22
3.2.2	<i>Magnitude of Completeness, M_c</i>	24
3.2.3	<i>Gutenberg-Richter, GR & Rate Of Occurrence</i>	25
3.2.4	<i>Rate Of Occurrence</i>	27
3.3	Sumber Gempa dan Pemodelan Sumber	28
3.3.1	Klasifikasi Sumber Gempa	29
3.3.2	Representasi Sumber 2D: Point, Line, dan Area	31
3.3.3	Pemodelan Sumber Gempa 3D dan Parameter Jarak Rupture	33
3.3.4	Konsep MFD (<i>Magnitude–Frequency Distribution</i>) dan <i>recurrence model</i>	40
3.4	<i>Ground Motion Prediction Equiation (GMPE) Gerakan Tanah</i>	43
3.4.1	Parameter Situs untuk GMPE/PSHA: V_{s30} dan Kelas Situs	44
3.4.2	GMPE Zhao dkk. (2006)	47

3.4.3	GMPE Boore dkk. (2014)	48
3.4.4	GMPE Chiou & Youngs (2014)	49
3.4.5	GMPE Campbell & Bozorgnia (2014)	50
3.4.6	GMPE Abrahamson dan Gülerce (2020)	51
3.4.7	GMPE Kuehn dkk. (2020)	53
3.5	<i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)</i>	54
3.5.1	<i>Total Probability</i>	54
3.5.2	Ketidakpastian Aleatory dan Epistemic (Logic Tree)	58
3.5.3	<i>Hazard Curve</i>	65
3.6	<i>Hazard Spectra</i>	66
3.6.1	<i>Uniform Hazard Spectra, UHS</i>	67
3.6.2	<i>Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake, MCE_r</i>	70
3.6.3	<i>Directivity Factor, C_{dr}</i>	73
3.6.4	Risk Targeted, R _f	74
3.6.5	UHS sebagai Spektral Target	75
3.7	Deagregasi Hazard Kegempaan (statik momen)	76
3.7.1	Level Intensitas Target Untuk Deagregasi	77
3.7.2	Formulasi kontribusi dan bobot deagregasi dalam ruang <i>M–R</i>	77
3.7.3	Magnitudo Dominan <i>MD</i> Dan Jarak Dominan <i>RD</i>	79
3.8	<i>Spectral Matching – Bedrock</i>	81
3.8.1	Kriteria Pemilihan Rekaman Gempa	81
3.8.2	Rentang dan Batas <i>Matching</i>	83
3.9	Analisis Respons Situs 1D (<i>One-Dimensional Site Response Analysis</i>)	83
3.9.1.	Parameter dasar profil tanah dan tegangan overburden	84
3.9.2.	Estimasi <i>V_s</i> dari SPT: Brandenberg–Bellana–Shantz (2010)	85
3.9.3.	Estimasi ϕ' dan peran $\sigma v'$: Schmertmann (1975)	86
3.9.4.	Kuat geser tanah (shear strength)	86
3.9.5.	Perambatan Gelombang ke Permukaan	88

3.10	<i>Spectral Matching</i> - Permukaan : <i>Spectral Desain</i> SNI 1726-2019	91
3.11	Analisis Struktur Untuk <i>Checking</i> Kinerja – Ekvivalen Statik	93
3.12	Analisis Riwayat Waktu	96
3.12.1	<i>Dynamic Structure</i>	96
3.12.2	<i>Modal Analysis</i>	98
3.12.3	Analisis Riwayat Respons Ragam, ARRR (<i>Modal Analysis/ Superposistion</i>)	100
3.12.4	Gaya Geser Dasar Inelastik	102
3.12.5	Penskalaan Gaya Geser Dasar	103
3.12.6	Eksentrisitas dan Torsi Tak Terduga	104
3.12.7	Kombinasi Beban	104
3.13	Evaluasi Kinerja Struktur	107
3.13.1	Ketidakberaturan Struktur	107
3.13.2	Simpangan Antar Tingkat dan <i>Drift Ratio</i>	108
3.13.3	P-Delta <i>Effect</i>	110
BAB IV METODE PENELITIAN		111
4.1	Jenis Penelitian	111
4.2	Data Penelitian	111
4.2.1	Lokasi Penelitian dan Bentuk Struktur	111
4.2.2	Data Kegempaan dan Sumber Gempa	114
4.3	Teknik Pengambilan Data	117
4.4	Teknik Analisis Data	117
4.4.1	PSHA dengan OpenQuake	118
4.4.2	Spectral Matching Pada Bedrock	126
4.4.3	Analisis Respons Situs 1D dan Spectral Matching Permukaan	127
4.4.4	Analisis Struktur (ETABS) dan Metode ARRR	127
4.5	Alur Utama Penelitian	133
4.6	Bagan Alir Penelitian	134
BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN		138
5.1	Analisis Seismisitas Katalog	138

5.1.1	Sumber Data Katalog, Periode Data, Dan Wilayah Studi	138
5.1.2	Konversi magnitudo ke M_w	139
5.1.3	<i>Declustering Katalog</i>	140
5.1.4	Magnitude of completeness, M_c	143
5.1.5	Parameter Gutenberg–Richter ($a-b$) dan laju kejadian	145
5.2	Pemodelan Sumber Gempa	149
5.2.1.	Pemodelan Sumber 3D Dan Parameter Jarak Rupture	149
5.2.2.	MFD/recurrence model pada tiap sumber	151
5.3	Model Atenuasi dan Logic Tree	156
5.3.1	GMPE/attenuasi per tipe sumber	156
5.3.2	Parameter situs dan asumsi	157
5.3.3	Struktur logic tree dan ketidakpastian (aleatory/epistemic)	158
5.4	Hasil PSHA	159
5.4.1	Hazard curve	159
5.4.2	Uniform Hazard Spectrum (UHS)	161
5.4.3	Deagregasi	165
5.5	Pemilihan Rekaman dan Spectral Matching di Bedrock	167
5.5.1	Kriteria pemilihan 3 pasang rekaman (PEER)	167
5.5.2	Target spektrum bedrock	169
5.5.3	Hasil spectral matching bedrock dan verifikasi	170
5.6	Analisis Respons Situs 1D	175
5.6.1	Profil tanah dan parameter dasar (overburden, $\sigma v'$, dsb.)	175
5.6.2	Estimasi V_s dari SPT	177
5.6.3	Estimasi ϕ' dan parameter kuat geser	178
5.6.4	Hasil propagasi gelombang	180
5.7	Analisis Struktur dan Parameter Dinamik	186
5.7.1	Pemodelan struktur 3D	186
5.7.2	Hasil analisis modal: periode fundamental T ,	189
5.7.3	Berat Bangunan	190
5.7.4	Spektrum Desain SNI 1726:2019	191
5.7.5	Ekivalen Statik	192

5.8	Penyiapan Input Gempa Permukaan untuk Analisis Struktur	194
5.8.1	Penetapan rentang kontrol spectral matching berbasis T	194
5.8.2	Hasil spectral matching permukaan terhadap spektrum desain SNI 1726:2019	196
5.8.3	Verifikasi kecocokan spektrum dan ringkasan rekaman final	197
5.9	Analisis Riwayat Waktu Linier Berbasis Superposisi Mode (ARRR)	198
5.9.1	Input <i>Time History</i>	198
5.9.2	Gaya geser dasar ARRR dan penskalaan	200
5.9.3	Eksentrisitas/torsi tak terduga dan kombinasi ortogonal	203
5.9.4	Perbandingan Gaya Geser Dasar ARRR dan RS	204
5.9.5	Perbandingan Gaya Geser Dasar ARRR Dan RS Pada Shear Wall	206
5.9.6	Distribusi Gaya Geser Tingkat ARRR dan RS	209
5.10	Evaluasi Kinerja Struktur berdasarkan SNI 1726:2019	211
5.10.1	Ketidakberaturan Struktur	211
5.10.2	Simpangan antar tingkat	213
5.10.3	Efek P–Delta	222
5.11	Akselerasi Join Mass Tingkat	226
5.12	Gaya dan Momen	227
5.12.1	Gaya Aksial Kolom	227
5.12.2	Momen Balok	240
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		247
6.1	Kesimpulan	247
6.2	Saran	248
DAFTAR PUSTAKA		250
LAMPIRAN		260

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian	13
Tabel 2.2 Ringkasan Perbandingan Berdasarkan Metode	16
Tabel 3.1 Konversi Beberapa Skala Magnitude Indonesia	21
Tabel 3.2 Klasifikasi Umum Sumber Gempa	31
Tabel 3.3 Klasifikasi Situs Zhao dkk. (2006)	48
Tabel 3.4 Perbedaan Aleatory dan Epistemic	59
Tabel 4.1 Daftar Sumber Fault	115
Tabel 4.2 Daftar Sumber Subduksi	116
Tabel 5.1 Hasil Perhitungan M_c	144
Tabel 5.2 Hasil Nilai a dan b value Tiap Section	145
Tabel 5.3 Hasil a dan b value Pada Tiap Segmen Subduksi	146
Tabel 5.4 Hasil a dan b value Pada Tiap Segmen Fault	147
Tabel 5.5 Geometri Megathrust	150
Tabel 5.6 Geometri Benioff	150
Tabel 5.7 M_{maxGR} dan $M_{maxChar}$ Subduksi	152
Tabel 5.8 M_{maxGR} dan $M_{maxChar}$ Fault	153
Tabel 5.9 Daftar Lampiran MFD	155
Tabel 5.10 Contribution Hazard Source	166
Tabel 5.11 Tiga Pasang Rekaman Terpilih	169
Tabel 5.12 Jenis Tanah Tiap Lapisan	176
Tabel 5.13 Grid Model Struktur	186
Tabel 5.14 Tingkat Struktur	187
Tabel 5.15 Mutu Beton	188
Tabel 5.16 Mutu Baja Tulangan	188
Tabel 5.17 Perilaku Modal	189
Tabel 5.18 Berat Bangunan Antar Tingkat	190
Tabel 5.19 Gaya Geser Tingkat Ekuivalen Statik	194
Tabel 5.20 Input <i>Time History</i> ETABS	199

Tabel 5.21 Perbandingan Gaya Geser Dasar	205
Tabel 5.22 Kontribusi <i>Shear Wall</i> arah x	207
Tabel 5.23 Kontribusi <i>Shear Wall</i> arah y	207
Tabel 5.24 Ketidakberaturan Torsi arah x	212
Tabel 5.25 Ketidakberaturan Torsi arah x	213

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Kategori Mekanisme Gempa Tektonik	18
Gambar 3.2 Peta Tektonik Indonesia 2017	18
Gambar 3.3 Tektonik utama Indonesia,	19
Gambar 3.4 Peta Sebaran Sumber Gempa	20
Gambar 3.5 Kejadian Gempa Skala MMI	20
Gambar 3.6 Zona Subduksi (a) Section Map, (b) detail	30
Gambar 3.7 2D Source	33
Gambar 3.8 Skema rupture trace multi-segmen: (a) definisi arah lokal; (b) contoh geometri trace pada tampak atas.	34
Gambar 3.9 Skema Geometri Rupture Sesar (a) Vertikal (b) Tampak Atas	37
Gambar 3.10 Ilustrasi arah <i>strike-normal</i> lokal (∇T) di sekitar rupture trace multi-segmen.	38
Gambar 3.11 Kontur koordinat lokal berbasis rupture trace (GC2): (a) koordinat $T(\textit{strike-normal})$, (b) koordinat $U(\textit{strike-parallel})$	39
Gambar 3.12 Generalized frequency magnitude density function for the characteristic earthquake model	42
Gambar 3.13 Model Logic Tree Irsyam dkk. (2020) (a) Fault (b) Subduction	64
Gambar 3.14 Contoh hazard curve: hubungan (PGA, g) terhadap laju tahunan terlampaui	66
Gambar 3.15 Visualisasi pengambilan IML pada $PoE = 10\%$ dalam 50 tahun	68
Gambar 3.16 Kurva Uniform Hazard Spectrum (UHS) 10% dalam 50 tahun	68
Gambar 3.17 Ilustrasi UHS untuk beberapa return period (475, 975, dan 2.475 tahun)	69
Gambar 3.18 Ilustrasi Uniform Hazard Spectrum (UHS) 2% dalam 50 tahun, (a) UHS vs MCER (b) UHS dengan spektrum (median dan median+2 σ)	70
Gambar 3.19 Performance Based Design Matrix	71
Gambar 3.20 Contoh <i>Spectral Target</i>	75
Gambar 3.21 Disaggregation M-R at the Los Angeles City Hall site	76

Gambar 3.22 Contoh Spectral Matching 3 Pasang Rekaman	82
Gambar 3.23 Rentang dan Batas Spectral Matching	83
Gambar 3.24 Spektral Desain Berdasarkan SNI 1726:2019	93
Gambar 3.25 Sistem Pegas SDOF Friedman dkk. (2023)	97
Gambar 3.26 Eksentrisitas Tambahan	104
Gambar 3.27 Kombinasi Beban	106
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian	112
Gambar 4.2 Denah Ground Floor	112
Gambar 4.3 Denah Lantai 1	113
Gambar 4.4 Denah <i>Shear Wall</i>	113
Gambar 4.5 Potongan As A-A	114
Gambar 4.6 Sebaran Fault dari PuSGeN (2017)	116
Gambar 4.7 Sebaran Subduksi dari PuSGeN (2017)	117
Gambar 4.8 PSHA OpenQuake Engine	118
Gambar 4.9 <i>Logic Tree Active Shallow Crustal</i>	123
Gambar 4.10 <i>Logic Tree</i> Subduksi	124
Gambar 4.11 <i>Mass Source</i> Tanpa Eksentrisitas, MsSrc1	128
Gambar 4.12 <i>Mass Source</i> Eksentresitas $\pm 0,05ex$	128
Gambar 4.13 <i>Mass Source</i> Eksentresitas $\pm 0,05ey$	128
Gambar 4.14 Daftar <i>Mass Source</i>	129
Gambar 4.15 <i>Load Case</i> Nonlinear Static NL_EccY	130
Gambar 4.16 <i>Load Case</i> Nonlinear Static NL_EccX	131
Gambar 4.17 <i>Load Case</i> MOD_Ritz_EccY	132
Gambar 4.18 <i>Load Case</i> MOD_Ritz_EccX	132
Gambar 4.19 Daftar Load Case untuk Eksentrisitas	133
Gambar 4.20 Alur Utama Penelitian	134
Gambar 4.21 Bagan Alir Penelitian	135
Gambar 5.1 Pencarian Katalog USGS	139
Gambar 5.2 Input Katalog ke Zmap7	141
Gambar 5.3 Summary Katalog	141
Gambar 5.4 Peta Declustering GardnerKnopoff1974	142

Gambar 5.5 Hasil Declustering GardnerKnopoff1974	142
Gambar 5.6 <i>Hazard Curve</i>	160
Gambar 5.7 Hasil UHS	162
Gambar 5.8 <i>Directivity</i> dan <i>Risk-Targeted Factor</i>	164
Gambar 5.9 UHS 2/3 <i>MCER</i>	165
Gambar 5.10 Visual 3D Deagregasi	166
Gambar 5.11 Target Spektral <i>Matching Bedrock</i>	170
Gambar 5.12 PSA Sebelum Match Arah-x	171
Gambar 5.13 PSA Sebelum Match Arah-y	171
Gambar 5.14 GMTH Sebelum Match Arah-X	172
Gambar 5.15 GMTH Sebelum Match Arah-Y	172
Gambar 5.16 <i>Spectral Matching</i> Arah-x	173
Gambar 5.17 <i>Spectral Matching</i> Arah-y	173
Gambar 5.18 <i>Artificial</i> GMTH Setelah Match Arah-x	174
Gambar 5.19 <i>Artificial</i> GMTH Setelah Match Arah-y	174
Gambar 5.20 Verifikasi Batas PSA	175
Gambar 5.21 Input Profil Tanah	181
Gambar 5.22 <i>Reference Curve Layer 1</i>	182
Gambar 5.23 <i>Curve Fitting Layer 1</i>	182
Gambar 5.24 <i>Property Bedrock</i>	183
Gambar 5.25 Hasil Propagasi PSA Arah - X	183
Gambar 5.26 Hasil Propagasi PSA Arah - Y	184
Gambar 5.27 Hasil Propagasi GMTH – Arah X	185
Gambar 5.28 Hasil Propagasi GMTH – Arah Y	185
Gambar 5.29 <i>Section Properties</i>	188
Gambar 5.30 Spektrum Desain	191
Gambar 5.31 Modal Participation 90%	195
Gambar 5.32 PSA Match Permukaan -Arah X	196
Gambar 5.33 PSA Match Permukaan -Arah Y	196
Gambar 5.34 GMTH Match Permukaan -Arah X	197
Gambar 5.35 GMTH Match Permukaan -Arah Y	197

Gambar 5.36 Verifikasi Batas Matching PSA Permukaan	198
Gambar 5.37 Input <i>Load Case Time History</i> . E1X	200
Gambar 5.38 Riwayat Waktu Gaya Geser arah x	202
Gambar 5.39 Riwayat Waktu Gaya Geser arah y	202
Gambar 5.40 Perbandingan Gaya Geser Arah X	209
Gambar 5.41 Perbandingan Gaya Geser Arah Y	210
Gambar 5.42 Rasio Simpangan Kombinasi	214
Gambar 5.43 Simpangan Kombinasi	215
Gambar 5.44 Rasio Simpangan E1x dan E1y	216
Gambar 5.45 Simpangan E1x dan E1y	216
Gambar 5.46 Rasio Simpangan E2x dan E2y	217
Gambar 5.47 Simpangan E2x dan E2y	217
Gambar 5.48 Rasio Simpangan E3x dan E3y	218
Gambar 5.49 Simpangan E3x dan E3y	219
Gambar 5.50 Penambahan <i>Shear Wall</i> arah Y	221
Gambar 5.51 Hasil Simpangan arah Y Setelah Penambahan SW	221
Gambar 5.52 Stabilitas Rasio Kombinasi ARRR	223
Gambar 5.53 Stabilitas Rasio ARRR dan RS	225
Gambar 5.54 Perbandingan ARRR vs RS	226
Gambar 5.55 Titik Portal Gaya Aksial arah X	229
Gambar 5.56 Titik Portal Gaya Aksial arah Y	230
Gambar 5.57 Detail Gaya Aksial Waktu di Atap– E1x	231
Gambar 5.58 Gaya Aksial Terhadap Waktu– E1x	232
Gambar 5.59 Gaya Aksial Terhadap Waktu– E2x	233
Gambar 5.60 Gaya Aksial Terhadap Waktu– E3x	234
Gambar 5.61 Gaya Aksial Terhadap Waktu– E1y	235
Gambar 5.62 Gaya Aksial Terhadap Waktu– E2y	236
Gambar 5.63 Gaya Aksial Terhadap Waktu– E3y	237
Gambar 5.64 Perbandingan Gaya Aksial arah x	238
Gambar 5.65 Perbandingan Gaya Aksial Arah y	239
Gambar 5.66 Balok Tinjauan	241

Gambar 5.67 Perbandingan Momen Arah X-EF8	242
Gambar 5.68 Perbandingan Momen Arah X-EF6	242
Gambar 5.69 Perbandingan Momen Arah Y-811F	244
Gambar 5.70 Perbandingan Momen Arah Y-811F	245

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Koefisien GMPE Zhao dkk (2006).....	261
Lampiran 2 : Koefisien Kelas Situs Zhao dkk (2006).....	262
Lampiran 3 : Koefisien Active Shallow Crust Zhao dkk (2006)	263
Lampiran 4 : Koefisien Subduction Interface Zhao dkk (2006)	264
Lampiran 5 : Koefisien Subduction Intralab Zhao dkk (2006)	265
Lampiran 6 : Koefisien Boore dkk. (2014)	266
Lampiran 7 : Koefisien Site Boore dkk. (2014).....	271
Lampiran 8 : Koefisien Aleatory Boore dkk. (2014)	277
Lampiran 9 : Koefisien Dependent Chiou & Youngs (2014)	279
Lampiran 10 : Koefisien Respons Situs Chiou & Youngs (2014).....	281
Lampiran 11 : Koefisien di Luar California Chiou & Youngs (2014).....	282
Lampiran 12 : Koefisien Aleatory Chiou & Youngs (2014).....	283
Lampiran 13 : Koefisien Campbell & Bozorgnia (2014).....	284
Lampiran 14 : Standar Deviasi dan Aleatory Campbell & Bozorgnia (2014)....	286
Lampiran 15 : Koefisien utama AG2020 bagian 1	287
Lampiran 16 : Koefisien utama AG2020 bagian 2	288
Lampiran 17 : Koefisien regional AG2020 bagian 1A	289
Lampiran 18 : Koefisien regional AG2020 bagian 1B	290
Lampiran 19 : Koefisien regional AG2020 bagian 2A	291
Lampiran 20 : Koefisien regional AG2020 bagian 2B	292
Lampiran 21 : Koefisien variabilitas AG2020 bagian 1	293
Lampiran 22 : Koefisien variabilitas AG2020 bagian 2	294
Lampiran 23 : Koefisien penyesuaian epistemik AG2020	295
Lampiran 24 : Koefisien dan Term Regional Kuehn dkk. (2020)	296
Lampiran 25 : Koefisien Site Dan Aleatory Kuehn Dkk. (2020)	297
Lampiran 26 : Koefisien Mean Kuehn Dkk. (2020)	298
Lampiran 27 : File konfigurasi OpenQuake (job klasik) — job.ini.....	299
Lampiran 28 : File konfigurasi OpenQuake deagregasi — job_disagg.ini.....	301

Lampiran 29 : Logic Tree GMPE/GSIM — gmmLT.xml.....	303
Lampiran 30 : Logic Tree Seismic Source Model — ssmLT.xml.....	304
Lampiran 31 : Geometri Fault.....	306
Lampiran 32 : Rekapitulasi Hasil <i>a</i> dan <i>b value</i> Pada Fault	308
Lampiran 33 : Mega_Char_Mmax.....	309
Lampiran 34 : Mega_Char_Mmax-0.2	311
Lampiran 35 : Mega_Char_Mmax+0.2	313
Lampiran 36 : Mega_GR_Mmax.....	315
Lampiran 37 : Mega_GR_Mmax-0.2.....	317
Lampiran 38 : Mega_GR_Mmax+0.2.....	319
Lampiran 39 : Benn_Char_Mmax	321
Lampiran 40 : Benn_Char_Mmax-0.2	326
Lampiran 41 : Benn_Char_Mmax+0.2	328
Lampiran 42 : Benn_GR_Mmax.....	330
Lampiran 43 : Benn_GR_Mmax-0.2	332
Lampiran 44 : Benn_GR_Mmax+0.2	334
Lampiran 45 : Crust_Char_Mmax	336
Lampiran 46 : Crust_Char_Mmax-0.2.....	345
Lampiran 47 : Crust_Char_Mmax+0.2	354
Lampiran 48 : Crust_GR_Mmax	363
Lampiran 49 : Crust_GR_Mmax-0.2	371
Lampiran 50 : Crust_GR_Mmax+0.2	378
Lampiran 51 : Tabel <i>Hazard Curve</i>	384
Lampiran 52 : Hasil UHS dan $2/3 MCER$	387
Lampiran 53 : Hasil Deagregasi.....	388
Lampiran 54 : Geological Drill Log	389
Lampiran 55 : Soil Property Tiap Lapisan.....	392
Lampiran 56 : Rekapitulasi Perhitungan Tegangan Overburden, σ'	393
Lampiran 57 : Data N-SPT	394
Lampiran 58 : Rekapitulasi <i>Vs</i> Tiap Lapisan.....	395
Lampiran 59 : Rekapitulasi ϕ' Tiap Lapisan	396

Lampiran 60 : Rekapitulasi Parameter Input Deepsoil Tiap Lapisan	397
Lampiran 61 : List Section Properties.....	398
Lampiran 62 : Periode Fundamental, T	399
Lampiran 63 : Rekap Gaya Geser Tingkat.....	400
Lampiran 64 : Rekap Drift E1 (Kombinasi)	401
Lampiran 65 : Rekap Drift E2 (Kombinasi)	402
Lampiran 66 : Rekap Drift E3 (Kombinasi)	403
Lampiran 67 : Rekap Drift E1	404
Lampiran 68 : Rekap Drift E2.....	405
Lampiran 69 : Rekap Drift E3.....	406
Lampiran 70 : Rekap Drift RS	407
Lampiran 71 : Rekap Drift Setelah <i>Strengthening</i>	408
Lampiran 72 : Rekap Efek P-Delta Kombinasi Arah X.....	409
Lampiran 73 : Rekap Efek P-Delta Kombinasi Arah Y.....	410
Lampiran 74 : Rekap Efek P-Delta E1	411
Lampiran 75 : Rekap Efek P-Delta E2.....	412
Lampiran 76 : Rekap Efek P-Delta E3.....	413
Lampiran 77 : Rekap Efek P-Delta RS	414
Lampiran 78 : Akselerasi Joint Massa	415
Lampiran 79 : Gaya Aksial Kolom arah X	416
Lampiran 80 : Gaya Aksial Kolom arah Y	417
Lampiran 81 : Momen Balok X-EF8	418
Lampiran 82 : Momen Balok X-EF6	419
Lampiran 83 : Momen Balok Y-811F.....	420
Lampiran 84 : Momen Balok Y-68F.....	421

DAFTAR NOTASI

a	=	Koefisien base pada persamaan GMPE atau parameter pada skala regresi tertentu.
a-value	=	Parameter tingkat aktivitas seismik pada hubungan Gutenberg-Richter.
A	=	Luas rupture gempa dalam km ² pada relasi empiris magnitude-area.
ARRR	=	Analisis Riwayat Respons Ragam, yaitu metode analisis dinamik berbasis superposisi ragam.
ASC	=	Active Shallow Crust, jenis lingkungan tektonik kerak dangkal aktif pada GMPE.
b	=	Koefisien fungsi pada persamaan GMPE atau koefisien regresi.
b-value	=	Parameter kemiringan distribusi frekuensi-magnitudo pada hubungan Gutenberg-Richter.
c	=	Intersep atau konstanta pada persamaan regresi, seperti estimasi sudut penunjaman.
c1, c2	=	Koefisien kalibrasi empiris pada model Campbell-Bozorgnia untuk estimasi Z2.5.
C	=	Matriks redaman struktur.
Cd	=	Faktor pembesaran simpangan.
CH, C1, C2, C3, C4	=	Koefisien kelas situs pada GMPE Zhao dkk. 2006 untuk berbagai rentang VS30.
Ck	=	Koreksi kelas situs yang dipilih berdasarkan nilai VS30 pada GMPE Zhao dkk. 2006.
CR1	=	Parameter koreksi risk-targeted pada periode 1,0 detik.
CRS	=	Parameter koreksi risk-targeted untuk periode pendek.
Cs	=	Koefisien respons seismik atau koefisien geser seismik.
Cvx	=	Faktor distribusi vertikal gaya gempa pada tingkat x.
Cdr(T)	=	Faktor koreksi arah (directivity factor) yang bergantung pada periode T untuk mengubah spektrum dari geomean menjadi maximum-direction.
Cr(T)	=	Faktor total koreksi spektrum, hasil perkalian Cdr(T) dan Rf(T).
d	=	Koefisien atau parameter pada fungsi jarak efektif dalam GMPE.
dip	=	Sudut kemiringan bidang sesar.
e	=	Koefisien pada fungsi kedalaman hiposenter dalam GMPE Zhao dkk. 2006.

e1, e2, e3	=	Koefisien penyesuaian epistemik median pada model Abrahamson-Gulerce 2020.
Em, Fm	=	Amplitudo gelombang naik dan turun pada lapisan ke-m dalam analisis propagasi gelombang 1D.
ETAS	=	Epidemic Type Aftershock Sequence, model stokastik untuk declustering atau pengelompokan gempa susulan.
Fa	=	Koefisien situs untuk periode pendek.
fM(m)	=	Fungsi kerapatan peluang magnitudo gempa (probability density function untuk magnitudo).
fR(r m)	=	Fungsi kerapatan peluang jarak gempa dengan syarat magnitudo tertentu.
fX(x)	=	Fungsi kerapatan peluang umum (probability density function) untuk variabel kontinu X.
FR	=	Koreksi mekanisme sumber pada GMPE Zhao dkk. 2006.
Fv	=	Koefisien situs untuk periode 1,0 detik.
Fx	=	Gaya gempa lateral pada tingkat x atau respons gaya arah x, sesuai konteks persamaan.
G	=	Modulus geser tanah.
Gm	=	Modulus geser lapisan ke-m dalam analisis propagasi gelombang.
Gmax	=	Modulus geser maksimum pada regangan kecil, dihitung dari $\rho \cdot V_s^2$.
GMPE	=	Ground Motion Prediction Equation, yaitu persamaan prediksi gerak tanah.
GSIM	=	Ground Shaking Intensity Model, istilah lain untuk model prediksi intensitas guncangan.
h	=	Kedalaman hiposenter dalam konteks GMPE.
hc	=	Ambang kedalaman hiposenter pada GMPE Zhao dkk. 2006, umumnya 15 km.
hdd	=	Jarak horizontal dari tepi atas ke tepi bawah rupture pada arah down-dip.
hi	=	Tebal lapisan ke-i dalam profil berlapis untuk perhitungan VS30.
hm	=	Tebal lapisan ke-m dalam model propagasi gelombang 1D.
hhyp	=	Kedalaman hiposenter.
hsx	=	Tinggi tingkat x yang dipakai dalam pemeriksaan drift.
hx	=	Tinggi tingkat ke-x dari dasar struktur.
H(ω)	=	Fungsi transfer respons tanah dari batuan dasar ke permukaan terhadap frekuensi sudut tertentu.
Ha(ω)	=	Fungsi transfer berbasis percepatan antara batuan dasar dan permukaan.

Hu(ω)	=	Fungsi transfer berbasis perpindahan antara batuan dasar dan permukaan.
I	=	Faktor keutamaan gempa (sama dengan I_e), atau matriks identitas pada konteks aljabar matriks.
I_e	=	Faktor keutamaan gempa bangunan.
IML	=	Intensity Measure Level, yaitu nilai tingkat intensitas gerak tanah tertentu.
IMT	=	Intensity Measure Type, yaitu jenis parameter intensitas (PGA, PGV, SA).
K	=	Matriks kekakuan struktur; atau jumlah total jalur (path) pada logic tree.
K_0	=	Koefisien tekanan tanah diam (at-rest earth pressure coefficient).
km	=	Bilangan gelombang kompleks untuk lapisan ke-m dalam analisis propagasi gelombang.
K_r	=	Matriks kekakuan modal untuk mode ke-r.
L_r	=	Vektor pengaruh modal gempa untuk mode ke-r.
m	=	Kemiringan garis pada regresi estimasi sudut penunjaman dari penampang seismisitas ($\Delta z/\Delta x$).
M	=	Matriks massa struktur; pada konteks seismologi juga dapat berarti magnitudo sehingga perlu dibaca sesuai persamaan.
mb	=	Body wave magnitude, yaitu magnitudo berdasarkan gelombang badan.
Mc	=	Magnitude of completeness, yaitu magnitudo minimum saat katalog gempa dianggap lengkap untuk analisis.
MCEr	=	Risk-targeted Maximum Considered Earthquake, yaitu spektrum gempa maksimum berbasis risiko yang dipakai sebagai acuan desain atau evaluasi.
MD	=	Magnitudo dominan hasil deagregasi, dihitung sebagai rata-rata berbobot kontribusi laju terlampaui.
MD,i	=	Magnitudo dominan untuk sumber ke-i hasil deagregasi.
MDOF	=	Multi Degree of Freedom, yaitu sistem struktur dengan banyak derajat kebebasan.
MFD	=	Magnitude Frequency Distribution, distribusi frekuensi magnitudo gempa.
Mi	=	Titik tengah bin magnitudo ke-i pada MFD inkremental.
mj	=	Nilai wakil magnitudo pada bin ke-j dalam diskretisasi numerik PSHA.
mL	=	Magnitudo lokal atau magnitudo Richter.
Mmax	=	Magnitudo maksimum yang diasumsikan mungkin terjadi pada suatu sumber gempa.

Mmin	=	Magnitudo minimum yang digunakan dalam analisis sumber gempa atau batas bawah integrasi PSHA.
Mr	=	Matriks massa modal untuk mode ke-r.
ms	=	Surface wave magnitude, yaitu magnitudo berdasarkan gelombang permukaan.
Mtail	=	Ambang magnitudo mulai model karakteristik diterapkan (flat-tail).
Mw	=	Magnitudo momen, yaitu ukuran magnitudo gempa yang umum dipakai dalam analisis hazard.
N($M \geq m$)	=	Jumlah atau laju kejadian kumulatif gempa dengan magnitudo sama dengan atau lebih besar dari nilai tertentu.
N60	=	Nilai SPT yang telah dikoreksi ke efisiensi energi 60%.
nM	=	Jumlah bin/interval magnitudo dalam diskretisasi numerik PSHA.
Nnode	=	Jumlah node pada logic tree.
nR	=	Jumlah bin/interval jarak dalam diskretisasi numerik PSHA.
ns	=	Jumlah sumber gempa yang ditinjau di sekitar lokasi.
N-SPT	=	Nilai pukulan uji Standard Penetration Test.
Ntail	=	Jumlah bin pada bagian tail (ekor) magnitudo besar dalam model karakteristik.
OCR	=	Overconsolidation Ratio, yaitu rasio overkonsolidasi tanah.
pa	=	Tekanan atmosfer acuan, umumnya 100 kPa.
P(·)	=	Probabilitas kejadian atau peluang.
P(Ei)	=	Probabilitas kejadian berasal dari sumber ke-i.
P($Y > y$ Ei)	=	Probabilitas bahwa intensitas gerak tanah Y melampaui nilai y untuk skenario atau sumber gempa ke-i.
P($Y > y$ m, r)	=	Probabilitas bersyarat bahwa intensitas Y melampaui y untuk magnitudo m dan jarak r.
P-Delta	=	Efek sekunder akibat kombinasi gaya aksial dengan perpindahan lateral yang menambah momen pada struktur.
Peak acceleration	=	Percepatan maksimum pada tiap tingkat struktur selama pembebanan gempa.
PGA	=	Peak Ground Acceleration, yaitu percepatan tanah maksimum akibat gempa.
PGV	=	Peak Ground Velocity, yaitu kecepatan tanah maksimum akibat gempa.
PoE	=	Probability of Exceedance, yaitu probabilitas terlampaui pada durasi waktu tertentu.
PSHA	=	Probabilistic Seismic Hazard Analysis, yaitu metode analisis bahaya gempa berbasis probabilitas.

P_x	=	Beban vertikal total pada tingkat x dan seluruh tingkat di atasnya.
qr(t)	=	Koordinat modal mode ke-r terhadap waktu.
Q	=	Faktor kualitas atau koefisien koreksi regional tambahan pada GMPE Zhao dkk. 2006.
R	=	Faktor modifikasi respons struktur; atau jarak dalam konteks umum variabel acak jarak.
rake	=	Sudut gerak slip pada bidang sesar untuk membedakan mekanisme patahan.
RD	=	Jarak dominan hasil deagregasi, dihitung sebagai rata-rata berbobot kontribusi laju terlampaui.
RD_i	=	Jarak dominan untuk sumber ke-i hasil deagregasi.
region	=	Parameter wilayah regional pada model GMPE yang telah diregionalisasi.
Repi	=	Jarak episentral dari lokasi ke episenter gempa.
Rf(T)	=	Faktor koreksi risk-targeted yang bergantung pada periode T.
rij	=	Jarak efektif untuk kejadian ke-i pada situs ke-j, didefinisikan dalam GMPE Zhao dkk. 2006.
RJB	=	Jarak Joyner-Boore, yaitu jarak horizontal terdekat ke proyeksi bidang rupture di permukaan.
rk	=	Nilai wakil jarak pada bin ke-k dalam diskretisasi numerik PSHA.
RotD50	=	Komponen gerak horizontal rata-rata yang digunakan pada beberapa model GMPE.
Rrup	=	Jarak terdekat dari lokasi tinjauan ke bidang rupture sumber gempa.
RS	=	Respons Spektrum, yaitu metode analisis dinamik berbasis spektrum respons.
R_x	=	Jarak tegak lurus terhadap jurus sesar (strike-normal distance), digunakan untuk menangkap efek posisi relatif terhadap sesar.
R_{y0}	=	Jarak sepanjang strike untuk menangkap efek off-end (melewati ujung rupture).
S	=	Bidang rupture atau proyeksi permukaan rupture dalam definisi jarak; atau koefisien simpangan baku pada GMPE Zhao dkk. 2006.
S1	=	Parameter percepatan spektral pada periode 1,0 detik dari peta hazard.
Sa(T)	=	Spektral akselerasi pada periode getar T.
SD1	=	Spektrum desain pada periode 1,0 detik, biasanya diperoleh dari dua pertiga SM1.

SDS	=	Spektrum desain untuk periode pendek, biasanya diperoleh dari dua pertiga SMS.
SI	=	Koreksi subduksi interface pada GMPE Zhao dkk. 2006.
SM1	=	Spektrum percepatan maksimum yang telah dikoreksi kondisi situs pada periode 1,0 detik.
SMS	=	Spektrum percepatan maksimum yang telah dikoreksi kondisi situs pada periode pendek.
SS	=	Koreksi subduksi intraslab pada GMPE Zhao dkk. 2006; atau parameter percepatan spektral untuk periode pendek dari peta hazard.
SSL(xij)	=	Term modifikasi lintasan untuk subduksi slab pada GMPE Zhao dkk. 2006.
T	=	Periode getar struktur atau periode fundamental, tergantung konteks pembahasan; atau matriks propagasi gelombang.
T0	=	Periode transisi awal pada kurva spektrum desain.
T1	=	Periode fundamental struktur arah pertama.
Ti	=	Periode alami untuk mode ke-i.
TL	=	Periode transisi panjang pada spektrum desain.
Tm	=	Matriks propagasi untuk lapisan ke-m dalam analisis respons situs 1D.
Tr	=	Periode ulang (return period) kejadian gempa.
Ts	=	Periode transisi spektrum desain yang diperoleh dari rasio SD1 terhadap SDS.
type	=	Jenis sumber subduksi, misalnya interface atau intraslab.
u	=	Vektor satuan sepanjang strike (strike-parallel) pada segmen rupture trace.
u(z)	=	Tekanan pori pada kedalaman z.
UHS	=	Uniform Hazard Spectrum, yaitu spektrum respons untuk tingkat bahaya seragam.
Um(z,ω)	=	Solusi perpindahan untuk lapisan ke-m sebagai fungsi kedalaman z dan frekuensi ω.
Ubase, Usurf	=	Perpindahan di batuan dasar dan di permukaan dalam analisis respons situs.
V	=	Gaya geser dasar (base shear) struktur.
Vs	=	Kecepatan gelombang geser tanah.
Vs,i	=	Kecepatan gelombang geser lapisan ke-i.
VS30	=	Kecepatan gelombang geser rata-rata pada 30 meter lapisan tanah teratas.
Vx	=	Gaya geser tingkat pada lantai atau tingkat x.

W	=	Lebar rupture sepanjang arah kemiringan sesar; pada konteks analisis struktur, W juga dapat berarti berat seismik bangunan sehingga perlu dibaca sesuai persamaan.
w	=	Lebar ekor (tail width) pada model karakteristik MFD, umumnya 1,5.
W_k	=	Bobot total untuk jalur ke-k pada logic tree, hasil kali bobot cabang pada tiap node.
width	=	Lebar rupture.
w_{k,n}	=	Bobot cabang pada node ke-n untuk jalur ke-k dalam logic tree.
w(M_i, R_k)	=	Kontribusi fraksional bin magnitudo-jarak dalam deagregasi hazard.
w_x	=	Berat gempa pada tingkat ke-x.
x	=	Vektor parameter pada GMPE (magnitudo, jarak, mekanisme, situs); atau koordinat jarak pada penampang; atau level intensitas gerak tanah.
x_{ij}	=	Jarak dari sumber gempa ke-i ke situs ke-j pada GMPE Zhao dkk. 2006.
x₀	=	Translasi jarak pada penampang untuk visualisasi bidang megathrust.
Y	=	Parameter intensitas gerak tanah yang ditinjau, misalnya PGA atau S _a ; atau variabel acak intensitas gerak tanah.
y	=	Nilai ambang intensitas gerak tanah yang diuji dalam probabilitas keterlampauan.
y(t)	=	Vektor perpindahan struktur terhadap waktu.
$\ddot{y}(t)$	=	Percepatan gerak tanah masukan, sesuai konteks persamaan dinamik.
$\dot{y}(t)$	=	Kecepatan gerak tanah masukan.
y_{ij}	=	Intensitas gerak tanah (PGA atau S _a) untuk kejadian ke-i pada situs ke-j dalam GMPE Zhao dkk. 2006.
z	=	Kedalaman dari permukaan tanah; atau variabel dummy pada integral.
z_{1.0} / z₁	=	Kedalaman menuju lapisan dengan kecepatan gelombang geser 1,0 km/detik, biasanya dipakai sebagai parameter basin atau sedimen.
z_{2.5}	=	Kedalaman menuju lapisan dengan kecepatan gelombang geser 2,5 km/detik.
z_B	=	Parameter kedalaman basin yang definisinya mengikuti model regional, misalnya z _{1.0} atau z _{2.5} .
z_{lower}	=	Kedalaman seismogenik bawah.
z_{tor}	=	Kedalaman ke puncak rupture gempa.
z_{upper}	=	Kedalaman seismogenik atas.

α	= Sudut atau koefisien regresi dalam konteks tertentu.
β	= Koefisien dalam logaritma natural $\ln(10) \times b$ -value, atau parameter bentuk lainnya.
Γ	= Gamma, fungsi matematis atau simbol umum.
Γ_r	= Faktor partisipasi modal untuk mode ke-r.
γ	= Berat isi tanah per satuan volume.
γ_{sat}	= Berat isi tanah jenuh.
γ_w	= Berat isi air.
Δ	= Simpangan antar tingkat atau selisih perpindahan lateral antar lantai.
Δa	= Simpangan antar tingkat yang diizinkan.
Δ_{avg}	= Simpangan rata-rata pada titik-titik tepi struktur.
Δm	= Lebar bin magnitudo dalam MFD inkremental.
Δ_{max}	= Simpangan maksimum pada titik tepi struktur, umumnya dipakai untuk evaluasi torsi.
Δr	= Lebar bin jarak dalam diskretisasi numerik PSHA.
δ	= Sudut kemiringan bidang sesar (dip angle).
δ_{xe}	= Simpangan elastik pada tingkat x hasil analisis.
ε	= Variabel acak standar pada model probabilistik gerak tanah; atau jumlah simpangan baku dari median GMPE (epsilon).
ε_i	= Komponen residual between-event untuk kejadian ke-i pada GMPE Zhao dkk. 2006.
ε_{ij}	= Komponen residual within-event untuk kejadian ke-i pada situs ke-j.
$\varepsilon_j(x)$	= Nilai epsilon untuk skenario ke-j pada level intensitas x dalam deagregasi.
ζ	= Rasio redaman struktur atau tanah.
ζ_r	= Rasio redaman untuk mode ke-r.
η	= Variabel acak atau parameter aleatory umum.
η_i	= Residual between-event pada GMPE.
η_{ij}	= Residual within-event pada GMPE.
θ	= Koefisien stabilitas untuk evaluasi efek P-Delta; atau sudut fase dalam propagasi gelombang.
λ	= Laju tahunan kejadian gempa atau laju keterlampauan tahunan.
$\lambda(y)$	= Laju tahunan keterlampauan intensitas gerok tanah sebesar y.
$\lambda(IM > x)$	= Laju tahunan terlampaui untuk intensitas gerak tanah melebihi x.
λ_i	= Laju kejadian tahunan untuk sumber ke-i (parameter proses Poisson).
$\lambda_i(x)$	= Laju tahunan terlampaui dari sumber ke-i pada level intensitas x.

$\lambda_i(m_j, r_k x)$	=	Laju tahunan terlampaui untuk bin magnitudo-jarak pada sumber i dan level x .
μ	=	Mean atau median dalam ruang log pada model gerok tanah; atau koefisien gesekan.
μ_j	=	Median dalam ruang log untuk skenario ke- j .
v_i	=	Laju kejadian tahunan untuk kelas atau bin magnitudo ke- i .
ρ	=	Massa jenis tanah.
ρ_m	=	Massa jenis lapisan ke- m .
σ	=	Simpangan baku total atau komponen ketidakpastian dalam model gerok tanah, tergantung konteks persamaan.
σ'	=	Tegangan efektif tanah, khususnya pada arah vertikal dalam pembahasan overburden.
σ'_v	=	Tegangan vertikal efektif.
$\sigma_C, \sigma_I, \sigma_S$	=	Simpangan baku between-event untuk rezim crust, interface, dan slab pada GMPE Zhao dkk. 2006.
σ_j	=	Simpangan baku dalam ruang log untuk skenario ke- j .
σ_T	=	Simpangan baku total model GMPE.
$\sigma_v(z)$	=	Tegangan total vertikal pada kedalaman z .
$\sigma'_v(z)$	=	Tegangan vertikal efektif pada kedalaman z .
τ	=	Komponen simpangan baku antar-kejadian (inter-event variability); atau tegangan geser.
$\tau_m(z, \omega)$	=	Tegangan geser dalam domain frekuensi untuk lapisan ke- m .
Φ	=	Fungsi distribusi kumulatif normal standar (CDF).
ϕ	=	Komponen simpangan baku dalam-kejadian (intra-event variability) pada konteks GMPE.
ϕ'	=	Sudut geser dalam efektif tanah.
ϕ_r	=	Bentuk ragam atau mode shape untuk mode ke- r .
ϕ_{ir}	=	Elemen mode shape pada DOF/tingkat ke- i untuk mode ke- r .
$\Phi(\cdot)$	=	Fungsi distribusi kumulatif normal standar.
Ψ	=	Matriks modal, kumpulan vektor mode shape untuk semua mode.
ω	=	Frekuensi sudut (rad/s).
ω_r	=	Frekuensi alami sudut untuk mode ke- r .

ABSTRAK

Kerusakan bangunan yang luas akibat gempa besar di Indonesia, seperti gempa Yogyakarta 2006 dan Lombok 2018, menegaskan bahwa evaluasi kinerja struktur gedung sangat diperlukan dan harus didukung oleh penentuan beban gempa yang sesuai dengan tingkat bahaya di lokasi. *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) digunakan untuk merumuskan beban gempa dan menghasilkan riwayat gempa, dan seiring berkembangnya kemampuan komputasi, Analisis Riwayat Respons Ragam (ARRR) menjadi salah satu metode Analisis Riwayat Waktu Linier (ARWL) yang semakin relevan dalam analisis struktur. Oleh karena itu, penelitian tentang evaluasi kinerja struktur gedung menggunakan ARRR perlu dilakukan untuk menilai kinerja struktur gedung 10 tingkat terhadap beban gempa.

Metode penelitian meliputi penyusunan bahaya gempa melalui PSHA untuk menghasilkan *hazard curve*, *Uniform Hazard Spectrum* (UHS) pada tingkat bahaya 2% dalam 50 tahun, serta deagregasi sebagai dasar penetapan spektrum beban gempa dan pemilihan tiga pasang rekaman percepatan tanah. Rekaman disesuaikan terhadap UHS pada bedrock melalui *spectral matching*, kemudian dipropagasikan ke permukaan untuk memperoleh rekaman gempa permukaan yang digunakan dalam pemodelan gedung 10 tingkat dan analisis dinamik ARRR.

Hasil penelitian menunjukkan UHS dengan respons didominasi periode pendek–menengah dan puncak sekitar 1,61 g pada periode 0,2 detik, dengan kontribusi utama yaitu pada Opak. ARRR menghasilkan simpangan sekitar 0,923% pada arah Y, di bawah batas 1,54%, dengan efek P–Delta kecil sehingga kinerja struktur dinyatakan memadai, sementara RS lebih konservatif untuk gaya aksial kolom dan ARRR lebih kritis untuk momen balok. Temuan ini menunjukkan bahwa ARRR dengan input gempa berbasis PSHA merupakan pendekatan yang layak untuk digunakan dalam evaluasi kinerja struktur gedung.

Kata Kunci : PSHA, ARRR, ARWL, Kinerja Struktur

ABSTRACT

Widespread building damage caused by major earthquakes in Indonesia, such as the 2006 Yogyakarta and 2018 Lombok earthquakes, highlights the need for structural performance evaluation of buildings supported by earthquake loads that are consistent with the seismic hazard level at the site. Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) is used to derive earthquake loads and generate ground motion time histories, and along with advances in computational capacity, the Modal Response History Analysis (MRHA) has become an increasingly relevant Linear Time History Analysis (LTHA) method for structural analysis. Therefore, this study evaluates the seismic performance of a 10-story building subjected to earthquake loads using ARRR.

The methodology includes developing seismic hazard models using PSHA to obtain hazard curves, a Uniform Hazard Spectrum (UHS) at a 2% probability of exceedance in 50 years, and deaggregation as the basis for defining the target spectrum and selecting three pairs of representative ground motion records. These records are adjusted to match the UHS at bedrock using spectral matching, then propagated to the surface to obtain surface ground motions, which are subsequently used for 10-story building modeling and dynamic analysis using ARRR.

The results show that the UHS response is dominated by short-to-intermediate periods with a peak of about 1.61 g at a period of 0.2 seconds, with the seismic hazard mainly controlled by the Opak fault. ARRR produces a peak interstory drift of about 0,923% in the Y direction, below the 1.54% limit, with minor P-Delta effects so that the overall structural performance is acceptable, while the response spectrum analysis (RS) is more conservative for column axial forces and ARRR is more critical for beam moments. These findings indicate that ARRR with PSHA-based input motions is a suitable approach for evaluating the seismic performance of building structures.

Keywords: PSHA, MRHA, LTHA, structural performance

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mekanisme gempa bumi dijelaskan melalui teori tektonik lempeng, di mana lempeng bumi bergerak perlahan dan menyebabkan akumulasi tegangan yang akan dilepaskan saat mencapai titik kritis menurut FEMA 451B (2002). Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng utama memiliki aktivitas seismik tinggi akibat pengaruh zona subduksi dan sesar aktif, sehingga sering mengalami gempa besar seperti Aceh tahun 2012 menurut Sarana dkk (2018) dan Munawar dkk (2016), Lombok tahun 2018 menurut Supartoyo dkk (2020), dan serta Palu tahun 2018 menurut Fauzi & Mussadun (2021). Kondisi tersebut menyebabkan bangunan di Indonesia menerima beban gempa yang cukup besar, khususnya di Pulau Jawa sebagai pusat penduduk dan aktivitas ekonomi. Penentuan beban gempa menjadi penting karena besarnya percepatan tanah dipengaruhi oleh karakteristik sumber gempa dan kondisi seismik wilayah. Salah satu metode yang umum digunakan untuk menentukan tingkat bahaya gempa adalah *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA), yaitu pendekatan probabilistik untuk memperkirakan intensitas getaran tanah berdasarkan karakteristik sumber gempa dan ketidakpastian seismik.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa PSHA telah banyak digunakan untuk menggambarkan tingkat bahaya gempa, namun penerapannya pada evaluasi kinerja struktur gedung masih terbatas. Widodo (2022) menggunakan PSHA untuk menganalisis *ground motion*, amplifikasi tanah, dan kerusakan bangunan akibat gempa Yogyakarta 2006 berdasarkan probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun serta tiga rekaman gempa hasil *spectral matching*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kerusakan bangunan dipengaruhi oleh percepatan tanah, amplifikasi lokasi, kualitas material, dan umur bangunan. Akan tetapi, kajian masih berfokus pada analisis *hazard* dan respons tanah sehingga pengaruh *ground motion* terhadap respons dan kinerja struktur bangunan belum dievaluasi secara langsung melalui pemodelan struktur. Keterbatasan serupa juga ditemukan pada penelitian Jinmeng

dkk. (2024) yang meninjau karakteristik *declustering* pada North China Plain seismic belt menggunakan PSHA. Penelitian tersebut hanya berfokus pada pengaruh metode *declustering* terhadap parameter PSHA, seperti *annual average occurrence rate* dan nilai *b* Gutenberg–Richter, tanpa menghubungkan hasil *hazard* dengan respons struktur bangunan.

Dalam perencanaan struktur tahan gempa, hasil PSHA berupa respons spektra dapat dimanfaatkan sebagai dasar pembebanan gempa dinamis pada struktur. Namun, besarnya bahaya gempa belum sepenuhnya mencerminkan tingkat keamanan bangunan, karena respons struktur terhadap beban gempa dipengaruhi oleh karakteristik dan perilaku bangunan itu sendiri. Hal ini menunjukkan bahwa evaluasi kinerja struktur penting untuk dilakukan guna mengetahui kemampuan bangunan dalam mempertahankan stabilitas dan membatasi kerusakan saat terjadi gempa. Salah satu parameter utama dalam evaluasi tersebut adalah simpangan antar tingkat yang mencerminkan deformasi lateral bangunan menurut Widodo (2017). Selain itu, FEMA P-751 (2012) menjelaskan bahwa penilaian kinerja struktur juga perlu mempertimbangkan ketidakberaturan struktur dan efek P-Delta sebagai parameter yang memengaruhi respons seismik bangunan.

Meskipun parameter seperti ketidakberaturan struktur, simpangan antar tingkat, dan efek P-Delta telah banyak digunakan dalam evaluasi kinerja struktur, penelitian yang membahas parameter-parameter tersebut masih cenderung dilakukan secara parsial, yaitu terpisah antarparameter. Alecci dkk. (2024) meninjau ketidakberaturan struktur pada bangunan bersejarah dan menunjukkan bahwa model dengan bukaan besar di lantai dasar memiliki kerentanan seismik lebih tinggi, namun kajian masih terbatas pada ketidakberaturan vertikal tanpa mempertimbangkan ketidakberaturan horizontal, simpangan antar tingkat, dan efek P-Delta. Gao dan Lu (2023) meneliti *interstory drift ratio* pada bangunan bertingkat melalui *topology optimization* dan menunjukkan bahwa model diafragma fleksibel lebih konservatif dibandingkan diafragma kaku, tetapi belum mempertimbangkan pengaruh ketidakberaturan struktur dan efek P-Delta. Sementara itu, Burgos dan Silva (2023) mengevaluasi efek P-Delta pada rangka balok-kolom menggunakan metode dua siklus berbasis persamaan diferensial balok-kolom, namun model yang

digunakan masih terbatas pada *frame* sederhana sehingga belum mengevaluasi simpangan antar tingkat dan ketidakberaturan struktur secara menyeluruh.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, masih terdapat beberapa kesenjangan dalam evaluasi kinerja struktur terhadap gempa. Penelitian berbasis PSHA umumnya masih berfokus pada penentuan hazard gempa tanpa menghubungkannya dengan respons struktur bangunan. Sementara itu, penelitian kinerja struktur masih cenderung meninjau ketidakberaturan struktur, simpangan antar tingkat, dan efek P-Delta secara terpisah, sehingga evaluasi perilaku struktur belum komprehensif. Selain itu, penelitian yang mengintegrasikan hasil PSHA sebagai dasar pembebanan dinamis dengan evaluasi kinerja struktur pada wilayah seismik tinggi seperti Pulau Jawa masih terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya penelitian yang mampu menghubungkan hazard gempa dengan respons struktur secara terpadu melalui peninjauan ketidakberaturan struktur, simpangan antar tingkat, dan efek P-Delta dalam satu kerangka evaluasi kinerja struktur.

Selain evaluasi kinerja, struktur gedung yang menunjukkan respons melebihi batas kinerja yang diizinkan juga memerlukan tindakan perkuatan untuk meningkatkan kapasitas dan stabilitas struktur terhadap beban gempa. Namun, kajian yang mengintegrasikan evaluasi kinerja struktur dengan kebutuhan perkuatan berbasis respons dinamik masih relatif terbatas, khususnya pada gedung bertingkat di wilayah seismik tinggi seperti Pulau Jawa.

Berdasarkan uraian tersebut, pemilihan metode analisis struktur menjadi aspek penting dalam evaluasi kinerja gedung akibat gempa. Metode Respons Spektra (RS) yang umum digunakan dinilai belum sepenuhnya merepresentasikan rekaman gempa spesifik lokasi, Budiono (2019) sehingga diperlukan metode yang mampu menggambarkan respons struktur secara lebih rinci. Dalam hal ini, Analisis Riwayat Respons Ragam (ARRR) menjadi alternatif yang relevan karena mampu menganalisis respons dinamik struktur *Multi Degree of Freedom* (MDOF) melalui superposisi ragam, Imran & Kristianto (2019). Oleh karena itu, penelitian mengenai evaluasi dan perkuatan gedung menggunakan ARRR menjadi penting untuk dilakukan guna memperoleh gambaran respons struktur yang lebih komprehensif terhadap beban gempa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang sebelumnya dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut ini.

1. Bagaimana hasil *hazard analysis* gempa di lokasi penelitian meliputi: *hazard curve*, *deagregasi*, dan *Uniform Hazard Spectrum (UHS)* digunakan sebagai dasar penentuan beban gempa untuk analisis struktur?
2. Bagaimana evaluasi kinerja struktur gedung 10 tingkat melalui *ARRR* dan *RS* menunjukkan perilaku struktural, khususnya terkait gaya geser dasar, distribusi gaya geser tingkat, simpangan antar tingkat, efek $P-\Delta$, dan *peak acceleration*?
3. Apakah terdapat perbedaan karakteristik gaya aksial kolom dan momen balok dari *ARRR* dan *RS*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, dapat dijelaskan bahwa tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk berikut.

1. Melakukan *hazard analysis* gempa di lokasi penelitian untuk memperoleh: *hazard curve*, *deagregasi*, dan *UHS* sebagai dasar penentuan beban gempa.
2. Mengevaluasi kinerja struktur gedung 10 tingkat melalui *ARRR* dan *RS* terkait perilaku struktural, meliputi gaya geser dasar, distribusi gaya geser tingkat, simpangan antar tingkat, efek $P-\Delta$, dan *peak acceleration*.
3. Mengidentifikasi perbedaan karakteristik gaya aksial kolom dan momen balok antara hasil analisis *ARRR* dan *RS*..

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Menyediakan informasi hasil *hazard analysis* gempa sebagai dasar pembebanan dinamis pada struktur gedung.
2. Menambah pemahaman mengenai kinerja struktur gedung terhadap beban gempa berdasarkan *ARRR*, khususnya ditinjau dari simpangan antar tingkat, ketidakberaturan struktur, dan efek P -Delta.
3. Menyajikan perbandingan respons struktur antara metode *ARRR* dan *RS*.

4. Memberikan gambaran kebutuhan perkuatan struktur berdasarkan hasil evaluasi kinerja gedung akibat beban gempa.
5. Memberikan masukan bagi praktisi perencana dalam pemilihan metode analisis untuk evaluasi dan perkuatan struktur gedung tahan gempa.
6. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan evaluasi kinerja dan perkuatan struktur gedung menggunakan analisis dinamik.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan-batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Objek penelitian dibatasi pada satu model gedung 10 tingkat, tanpa memodelkan basement dalam analisis struktur.
2. Analisis bahaya gempa dilakukan menggunakan pendekatan PSHA berdasarkan data kejadian gempa dalam radius 500 km dari lokasi penelitian dengan magnitudo 4,5–9,0.
3. Sumber gempa yang ditinjau dibatasi pada sumber gempa patahan dan subduksi di wilayah Pulau Jawa dan sekitarnya yang memengaruhi lokasi penelitian.
4. Analisis struktur dilakukan tanpa memperhitungkan interaksi tanah–struktur (*soil–structure interaction*).
5. Eksentrisitas dimasukkan dalam analisis struktur sesuai ketentuan pembebanan gempa yang berlaku.
6. Evaluasi respons struktur dibatasi pada simpangan antar tingkat, efek P-Delta, peak acceleration tiap tingkat, gaya aksial kolom, dan momen balok.
7. Perbandingan metode analisis dibatasi pada ARRR dan RS.
8. Kajian perkuatan struktur dibatasi pada kebutuhan perkuatan berdasarkan hasil evaluasi kinerja struktur gedung dengan pemilihan perkuatan yaitu *shear wall*/dinding geser.

1.6 Definisi Operasional

1. Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) adalah metode analisis bahaya gempa yang digunakan untuk memperkirakan tingkat guncangan tanah pada

suatu lokasi berdasarkan probabilitas terlampaui tertentu dalam periode waktu tertentu, dengan mempertimbangkan karakteristik sumber gempa, frekuensi kejadian, jarak sumber, dan ketidakpastian gerakan tanah.

2. OpenQuake

OpenQuake adalah perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan analisis bahaya gempa secara probabilistik. Dalam penelitian ini, OpenQuake digunakan untuk memperoleh keluaran berupa hazard curve, deagregasi, dan Uniform Hazard Spectrum (UHS) sebagai dasar penentuan beban gempa pada analisis struktur.

3. Analisis Riwayat Respons Ragam (ARRR)

Analisis Riwayat Respons Ragam (ARRR) adalah metode analisis dinamik struktur yang menghitung respons gedung berdasarkan superposisi ragam getar pada struktur Multi Degree of Freedom (MDOF). Metode ini digunakan untuk memperoleh respons struktur akibat beban gempa secara lebih rinci, baik dalam bentuk simpangan, percepatan, maupun gaya dalam.

4. Respons Spektrum (RS)

Respons Spektrum (RS) adalah metode analisis dinamik yang menentukan respons maksimum struktur berdasarkan spektrum respons gempa rencana tanpa menggunakan riwayat waktu gempa secara langsung. Dalam penelitian ini, RS digunakan sebagai metode pembandingan terhadap ARRR.

5. Kinerja Struktur

Kinerja struktur adalah perilaku struktur gedung saat menerima beban gempa, yang ditinjau berdasarkan kemampuan struktur dalam mempertahankan stabilitas, membatasi deformasi, dan menahan gaya dalam yang terjadi selama pembebanan.

6. Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat adalah selisih perpindahan lateral antara dua tingkat yang berurutan pada struktur akibat beban gempa. Parameter ini digunakan untuk menilai tingkat deformasi struktur dan potensi kerusakan elemen struktural maupun nonstruktural.

7. Efek P-Delta

Efek P-Delta adalah pengaruh gaya aksial yang bekerja pada elemen struktur terhadap tambahan momen akibat perpindahan lateral struktur. Efek ini digunakan untuk menilai kestabilan struktur saat mengalami deformasi akibat gempa.

8. Perkuatan Struktur

Perkuatan Struktur yang dimaksud bukan merupakan desain *wall* serta penulangannya, tetapi hanya menambahkan posisi dan ukuran wall, semata-mata hanya untuk memenuhi persyaratan kinerja yang ditetapkan oleh *code*.

9. *Peak Acceleration* Tiap Tingkat

Peak acceleration tiap tingkat adalah percepatan maksimum yang dicapai pada setiap tingkat struktur selama menerima beban gempa. Parameter ini digunakan untuk menggambarkan distribusi respons dinamik struktur pada sepanjang tinggi bangunan.

10. Gaya Aksial Kolom

Gaya aksial kolom adalah gaya dalam yang bekerja searah sumbu memanjang kolom akibat kombinasi pembebanan pada struktur. Dalam penelitian ini, gaya aksial kolom digunakan untuk membandingkan respons internal struktur hasil analisis ARRR dan RS.

11. Momen Balok

Momen balok adalah gaya dalam berupa momen lentur yang terjadi pada elemen balok akibat pembebanan yang bekerja pada struktur. Dalam penelitian ini, momen balok digunakan sebagai salah satu parameter untuk membandingkan respons struktur hasil analisis ARRR dan RS.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu PSHA

Bagian ini mengulas penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan PSHA. Secara umum, penelitian-penelitian tersebut berfokus pada analisis PSHA, namun hasil respons spektra yang diperoleh belum dirambatkan ke dalam analisis struktur bangunan. Selain itu, pemanfaatan respons spektra hasil PSHA sebagai beban gempa dinamik pada struktur bangunan juga masih jarang dilakukan, sehingga menunjukkan adanya kebutuhan untuk pengembangan kajian lebih lanjut..

2.1.1 Ground Motions, Site Amplification and Building Damageat Near Source of the 2006 Yogyakarta, Indonesia Earthquake

Penelitian yang dilakukan oleh Widodo (2022) berfokus pada analisis *ground acceleration*, *site amplification*, dan *building damage* di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), khususnya pada kawasan SMKN 1 Pleret yang berada dekat dengan Sesar Opak. Penelitian ini menggunakan metode PSHA dengan sumber gempa tiga dimensi (3D) berdasarkan probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun umur bangunan. Hasil Uniform Hazard Spectrum (UHS) kemudian dilakukan spectral matching menggunakan tiga rekaman gempa dengan mempertimbangkan risk-targeted Maximum Credible Earthquake (MCEr), selanjutnya dirambatkan dari batuan dasar menuju permukaan tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa puncak spektra UHS pada kondisi batuan dasar (bedrock) memiliki nilai yang tinggi akibat kedekatan lokasi penelitian dengan Sesar Opak. Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) pada bedrock berada pada rentang 0,254g sampai 0,289g, sedangkan nilai site amplification PGA berada pada rentang 1,401 sampai 1,426. Setelah dilakukan perambatan ke permukaan tanah, PGA meningkat menjadi sekitar 0,398g sampai 0,412g. Selain itu, wilayah Pleret diketahui menjadi salah satu daerah dengan tingkat kerusakan bangunan tertinggi di DIY akibat tingginya percepatan gempa dan kondisi bangunan yang relatif tua.

Penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode PSHA mampu memberikan gambaran hazard gempa yang lebih spesifik berdasarkan kondisi sumber gempa dan karakteristik lokasi. Namun demikian, penelitian ini masih terbatas pada analisis hazard gempa dan respons tanah, sehingga hasil respons spektra berbasis PSHA belum diterapkan secara langsung sebagai beban gempa dinamik pada analisis kinerja struktur bangunan.

2.1.2 Declustering Characteristics Of The North China Plain Seismic Belt And its Effect On Probabilistic Seismic Hazard Analysis

Penelitian yang dilakukan oleh Jinmeng dkk. (2024) membahas pengaruh metode *declustering* terhadap hasil *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) pada kawasan wilayah sabuk seismik North China Plain. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik beberapa metode *declustering* dalam mengidentifikasi *background seismicity* yang digunakan pada analisis hazard gempa. Metode *declustering* yang digunakan meliputi Gardner and Knopoff, Reasenbergs, nearest-neighbor, dan stochastic *declustering* berbasis Epidemic Type Aftershock Sequence (ETAS). Optimasi parameter dilakukan menggunakan kombinasi pengujian Kolmogorov-Smirnov Poisson distribution untuk memperoleh hasil *declustering* yang optimal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa masing-masing metode *declustering* menghasilkan jumlah clustered events yang berbeda. Metode Gardner and Knopoff menghasilkan 1831 clustered events, Reasenbergs menghasilkan 1347 events, nearest-neighbor menghasilkan 1613 events, sedangkan stochastic *declustering* menghasilkan 1637 events. Perbedaan metode *declustering* tersebut memengaruhi parameter seismisitas, terutama nilai Gutenberg-Richter b-value dan annual occurrence rate, yang kemudian berdampak langsung terhadap hasil PSHA dan kurva hazard gempa. Analisis menunjukkan bahwa metode stochastic *declustering* menghasilkan tingkat hazard yang lebih tinggi dibandingkan metode Reasenbergs.

Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemilihan metode *declustering* memiliki pengaruh penting terhadap hasil analisis hazard gempa dan estimasi percepatan tanah. Namun demikian, penelitian ini masih berfokus pada evaluasi parameter seismisitas dan hasil PSHA saja, sehingga belum menghubungkan hasil

hazard gempa yang diperoleh dengan analisis respons maupun kinerja struktur bangunan terhadap pembebanan gempa dinamik.

2.2 Penelitian Terdahulu Evaluasi Struktur

2.2.1 *Evaluation Of Vertical Irregularity Effects of Historical Masonry Buildings Through A Simplified Procedure: The Case Of Florence City Center*

Bangunan masonry bersejarah di pusat kota Florence, Italia, menjadi objek penelitian Alecci dkk. (2024) dalam mengevaluasi pengaruh ketidakberaturan vertikal terhadap respons seismik struktur. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh banyaknya perubahan arsitektural dan struktural pada bangunan bersejarah yang menyebabkan perubahan distribusi massa, kekakuan, dan kekuatan sepanjang tinggi bangunan. Beberapa bentuk modifikasi yang dianalisis meliputi pembuatan bukaan besar pada lantai dasar, perubahan konfigurasi bukaan pada tingkat tertentu, dan penambahan atap bangunan.

Analisis dilakukan menggunakan simplified numerical procedure dengan pemodelan single masonry walls berupa assemblage of rigid blocks yang dihubungkan oleh deformable joints. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketidakberaturan vertikal memberikan pengaruh signifikan terhadap respons seismik bangunan masonry. Model dengan bukaan besar pada lantai dasar memiliki kerentanan seismik lebih tinggi dibandingkan model lainnya karena terjadi diskontinuitas kekakuan pada struktur. Selain itu, konfigurasi bukaan yang tidak selaras antar tingkat menyebabkan peningkatan konsentrasi respons seismik pada bagian tertentu bangunan.

Temuan penelitian tersebut menunjukkan bahwa perubahan konfigurasi struktur secara vertikal dapat meningkatkan kerentanan bangunan terhadap gempa. Namun demikian, penelitian ini masih terbatas pada analisis ketidakberaturan vertikal pada bangunan masonry dan belum mempertimbangkan pengaruh ketidakberaturan horizontal, simpangan antar tingkat (interstory drift), maupun efek P-Delta terhadap kinerja struktur secara keseluruhan.

2.2.2 Controlling Interstory Drift Ratio Profiles Via Topology Optimization Strategies

Penelitian yang dilakukan oleh Gao & Lu (2023) membahas pengendalian *interstory drift ratio* pada bangunan bertingkat melalui pendekatan *topology optimization*. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh distribusi *interstory drift ratio* yang lebih optimal guna mengurangi konsentrasi deformasi dan potensi kerusakan struktur akibat gempa. Dalam penelitian tersebut, *interstory drift ratio* digunakan sebagai indikator utama dalam mengevaluasi kinerja struktur terhadap beban lateral karena berkaitan langsung dengan deformasi dan kerusakan struktural maupun nonstruktural.

Pendekatan yang digunakan didasarkan pada dua formulasi optimasi, yaitu *bound formulation* dan fungsi *p-norm* untuk menggabungkan *interstory drift ratio* pada setiap tingkat bangunan. Metode tersebut diterapkan untuk membentuk distribusi *drift ratio* tertentu sepanjang tinggi bangunan, seperti pola *inverted triangular* dan *quadratic patterns*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model dengan diafragma fleksibel menghasilkan distribusi *drift ratio* yang lebih konservatif dibandingkan model diafragma kaku. Selain itu, distribusi *drift ratio* yang lebih merata mampu mengurangi konsentrasi kerusakan struktur akibat gempa dan meningkatkan efisiensi desain bangunan.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengendalian distribusi *interstory drift ratio* memiliki peran penting dalam meningkatkan kinerja seismik struktur bangunan. Namun demikian, penelitian ini masih berfokus pada optimasi distribusi *drift ratio* dan belum mempertimbangkan pengaruh ketidakberaturan struktur maupun efek P-Delta terhadap respons seismik bangunan secara menyeluruh.

2.2.3 Evaluation of The P- Δ (P-Delta) Effect in Columns and Frames Using The Two-Cycle Method Based on The Solution of The Beam-Column Differential Equation

Efek P-Delta pada kolom dan rangka menjadi fokus penelitian Burgos & Silva (2023), yang bertujuan mengembangkan metode analisis geometrik nonlinier menggunakan *two-cycle method* berbasis persamaan diferensial beam-column.

Metode ini dirancang untuk menghindari kebutuhan diskritisasi berulang dan proses iteratif yang umum pada analisis nonlinier berbasis *Finite Element Method* (FEM).

Pendekatan yang diusulkan memanfaatkan *tangent stiffness matrix* yang diperoleh langsung dari solusi homogen persamaan beam-column, sehingga seluruh parameter model dapat direpresentasikan dalam satu sistem. Dengan metode ini, analisis nonlinier cukup dilakukan dalam dua siklus tanpa incremental load atau displacement control. Hasilnya menunjukkan akurasi yang baik dibanding metode tradisional, terutama dalam menangkap pembesaran momen akibat efek P-Delta pada elemen ramping. Nilai *Moment Amplification Factor* (MAF) juga meningkat signifikan saat rasio beban aksial mendekati beban kritis, yang mengindikasikan potensi ketidakstabilan struktur.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, efek P-Delta diketahui memiliki pengaruh penting terhadap stabilitas dan respons nonlinier struktur, khususnya pada elemen ramping yang menerima beban aksial besar. Namun demikian, penelitian ini masih terbatas pada model kolom dan frame sederhana sehingga belum mempertimbangkan pengaruh simpangan antar tingkat, ketidakberaturan struktur, maupun pembebanan gempa berbasis respons spektra hasil PSHA terhadap kinerja struktur bangunan secara keseluruhan.

2.3 Perbandingan Penelitian

Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian ini ditampilkan ke dalam Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian

Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
Widodo (2022)	Ground Motions, Site Amplification and Building Damage at Near Source of the 2006 Yogyakarta, Indonesia Earthquake	mengetahui sebab dari kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh gempa bumi dari sumber gempa yang ada di lokasi (DIY)	Menggunakan PSHA untuk mencari spectral acceleration (sa), Spektral Matching untuk pencocokan 3 rekaman gempa, dan site response analysis untuk propagasi akselerasi ke permukaan.	Pleret mengalami kerusakan bangunan terparah kedua setelah Jetis akibat akselerasi gempa tinggi dan bangunan tua.
Jinmeng dkk (2024)	Declustering characteristics of the North China Plain seismic belt and its effect on probabilistic seismic hazard analysis	menganalisis 4 model persamaan declustering untuk mendapatkan hasil yang optimal	Metode declustering yang digunakan: Gardner & Knopoff, Reasenber, nearest-neighbor, dan stochastic declustering, dengan optimasi melalui kombinasi tes K-S Poisson. Digunakan juga PSHA untuk mencari hazard level	PSHA menggunakan metode Sthocastic <i>declustering</i> didapatkan <i>hazard</i> level lebih tinggi dari metode Reasenber

Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
Alecci dkk (2024)	Evaluation of vertical irregularity effects of historical masonry buildings through a simplified procedure: the case of Florence city center	menganalisis kinerja bangunan dari sisi ketidakberaturan vertikal	Metode analisis digunakan <i>rigid block</i> . Beberapa variasi dilakukan dalam pengaturan bukaan pada dinding yang sama dan penambahan atap.	Skema Tipe 2 dengan bukaan besar di lantai dasar lebih rentan terhadap seismik dibanding skema lain.
Gao & Lu (2023)	Controlling interstory drift ratio profiles via topology optimization strategies	untuk mendapatkan skema yang optimum dari <i>interstory drift ratio</i> untuk diubah menjadi bentuk yang ditentukan dengan menggunakan <i>topology optimization</i>	Penelitian menggunakan dua formula: <i>bound formulation</i> dan P-Norm untuk menggabungkan	Perbandingan interstory drift ratio menunjukkan deviasi lebih besar pada model diafragma kaku, sehingga model diafragma fleksibel lebih optimal digunakan.
Burgos & Silva (2023)	Evaluation of the P- Δ (P-Delta) effect in columns and frames	Meneliti efek P-Delta pada kolom dan rangka	Metode yang diusulkan menggunakan matriks kekakuan tangen yang	Kurva MAF menampilkan plot P/Pcr dari 0.5 hingga 0.9,

Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
	using the two-cycle method based on the solution of the beam-column differential equation		diturunkan langsung dari persamaan diferensial masalah balok - kolom	dengan nilai di bawah 0.5 dapat diabaikan akibat nonlinier, sementara nilai mendekati 1 cenderung menyebabkan tekuk kolom.
Firdaus (2026)	Kinerja Struktur Gedung Dengan Analisis Riwayat Respons Ragam	menganalisis kinerja struktur dengan metode RS dan ARRR serta membandingkan keduanya	Metode <i>hazard analysis</i> menggunakan PSHA; Spektral Matching pada 3 rekaman tiap sumbu di <i>bedrock</i> ; <i>site response analysis</i> untuk propagasi akselerasi ke permukaan; spectral matching di permukaan; Analisis Struktur menggunakan ARRR; Kontrol Kinerja Ketidak beraturan, Simpangan, dan P-delta.	Hasil akan menampilkan kinerja struktur antara Respons Spektrum dengan ARRR

Tabel 2.2 Ringkasan Perbandingan Berdasarkan Metode

Study	PSHA	Analisis Struktur	Ketidakteraturan	Simpangan	P-Delta
Widodo (2022)	✓	✗	✗	✗	✗
Jinmeng dkk (2024)	✓	✗	✗	✗	✗
Alecci dkk (2024)	✗	✓	✓	✗	✗
Gao & Lu (2023)	✗	✓	✗	✓	✗
Burgos & Silva (2023)	✗	✓	✗	✗	✓
Firdaus (2026)	✓	✓	✓	✓	✓

2.4 Keaslian Penelitian

Berbagai penelitian sebelumnya telah memberikan kontribusi penting dalam pengembangan analisis bahaya gempa dan respons struktur, baik melalui pendekatan PSHA maupun analisis kinerja struktur terhadap beban gempa. Beberapa studi seperti tertera dalam Tabel 2.2 secara khusus menyoroti aspek penentuan bahaya seismik, evaluasi ketidakberaturan, kajian simpangan, atau analisis efek P-Delta dalam kerangka metodologi masing-masing, sehingga memperkaya pemahaman mengenai perilaku struktur di bawah pengaruh gempa meskipun umumnya masih berfokus pada satu atau beberapa aspek saja dalam rantai analisis yang lebih luas.

Sejalan dengan temuan tersebut, penelitian ini mengintegrasikan rangkaian tahapan analisis, mulai dari PSHA hingga *spectral matching* di permukaan untuk memperoleh nilai *spectral acceleration* (S_a), yang kemudian dilanjutkan dengan analisis struktur menggunakan metode ARRR. Dalam rangkaian analisis ini, kinerja struktur dievaluasi secara terpadu dengan mempertimbangkan ketidakberaturan, simpangan antar tingkat, dan efek P-Delta, sehingga aspek-aspek dalam penelitian sebelumnya dikaji secara terpisah atau parsial dapat dianalisis dalam satu kerangka yang konsisten dan memberikan perspektif tambahan bagi pengembangan metode evaluasi kinerja struktur terhadap beban gempa.

BAB III

LANDASAN TEORI

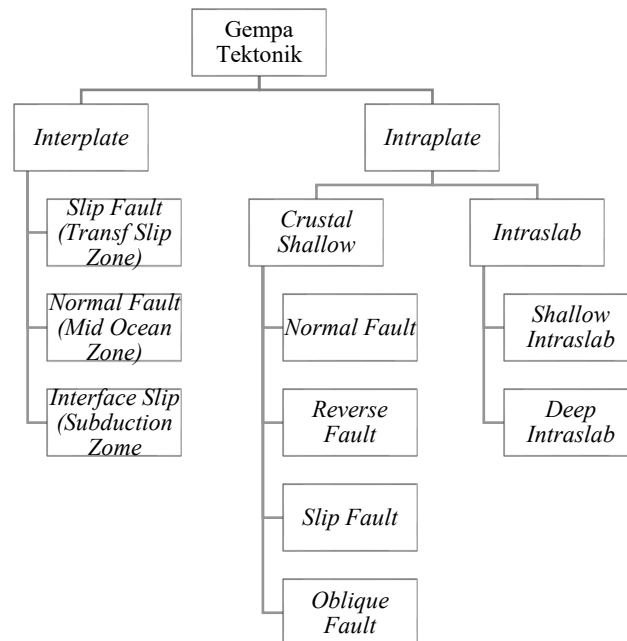
3.1 Gempa Bumi

3.1.1 Mekanisme Gempa

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah memungkinkan untuk lebih memahami mekanisme gempa bumi. Berkembangnya ilmu ini didasari oleh kerugian yang besar akibat dari gempa bumi selama bertahun-tahun. Para ahli telah banyak mendefinisikan tentang gempa bumi. Gempa bumi merupakan getaran pada permukaan tanah disebabkan oleh pelepasan energi dari dalam bumi, Widodo (2012).

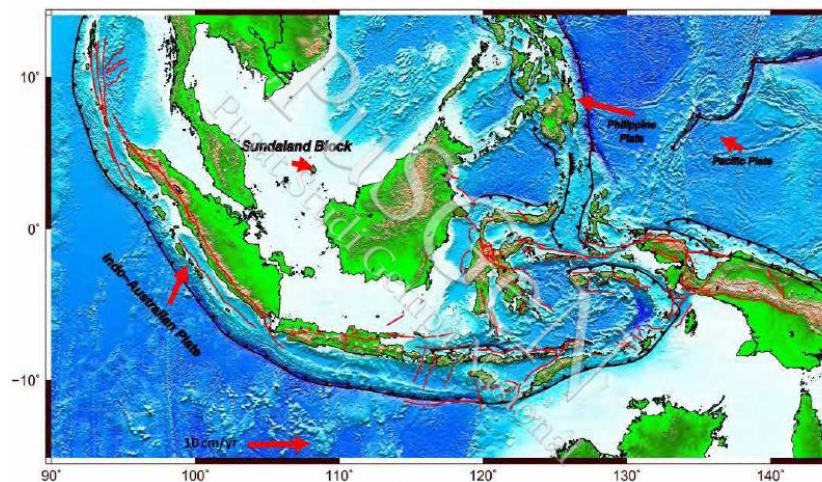
“Pelepasan Energi” terjadi ketika kedua lempeng tektonik (daerah subduksi) terjadi gerakan berlawanan atau gerakan *strike-slip*, maka tegangan dan regangan akan terjadi sehingga pada kondisi kedua lempeng tersebut sudah tidak dapat mengembang lagi, kemudian munculnya retakan serta pelepasan energi yang mengakibatkan gelombang gempa. Kondisi pada gempa tektonik dibagi menjadi 2 yaitu *interplate* dan *intraplate*.

Gempa *Interplate* / *interface-slip* biasa kita kenal dengan gempa Megathrust merupakan gempa yang terjadi di sepanjang batas antara dua lempeng tektonik. Salah satu contoh gempa *interplate* yang berpengaruh di Indonesia yaitu Gempa Aceh, Sumatra dengan lokasi subduksi pada Sunda Megathrust. Para ahli terbagi menjadi 2 kelompok dalam mendefinisikan gempa *intraplate* yang dilihat dari lokasi terjadinya. Ada yang menyebutkan bahwa *intraplate* terjadi pada *overriding plate* (*Shallow Crustal*) dan ada yang menyebutkan terjadi di *downgoing plate* (*shallow intraslab* dan *deep intraslab*). Agar lebih mudah memahami maka dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.

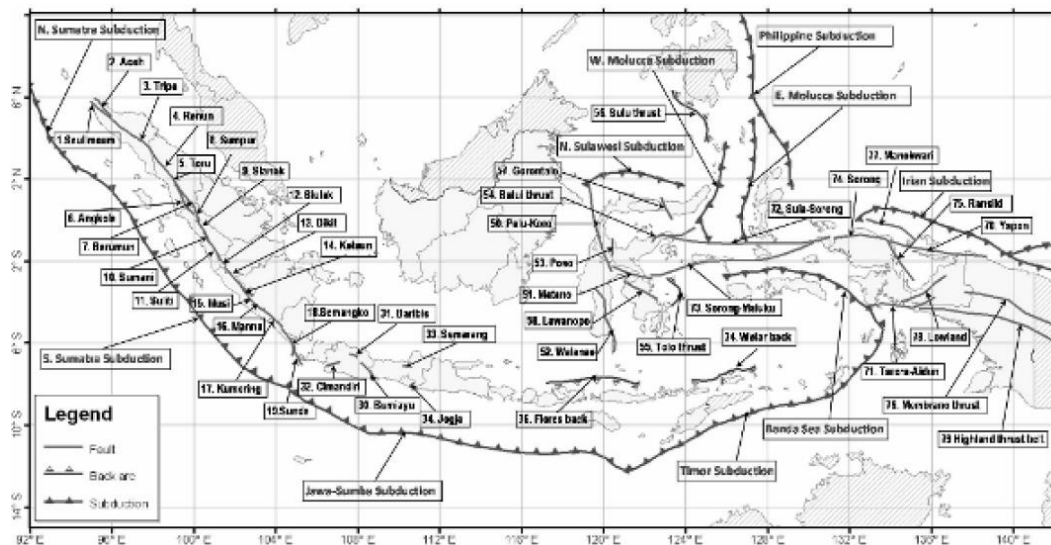


Gambar 3.1 Kategori Mekanisme Gempa Tektonik

Pada Indonesia, terdapat wilayah yang berdekatan dengan zona subduksi yang dikenal dengan Sumber Gempa Busur Sunda. Bagian barat membentang mulai dari Pulau Andaman hingga Pulau Banda, sedangkan bagian timur terdapat Busur banda yang membentang mulai dari Pulau Sumbawa timur kemudian melewati Pulau Timur serta melengkung ke arah utara Pulau Seram dan membentang hingga Pulau Buru, Asrurifak (2018). Tektonik utama pada Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.2 Peta Tektonik Indonesia 2017
Sumber : PusGeN (2017)

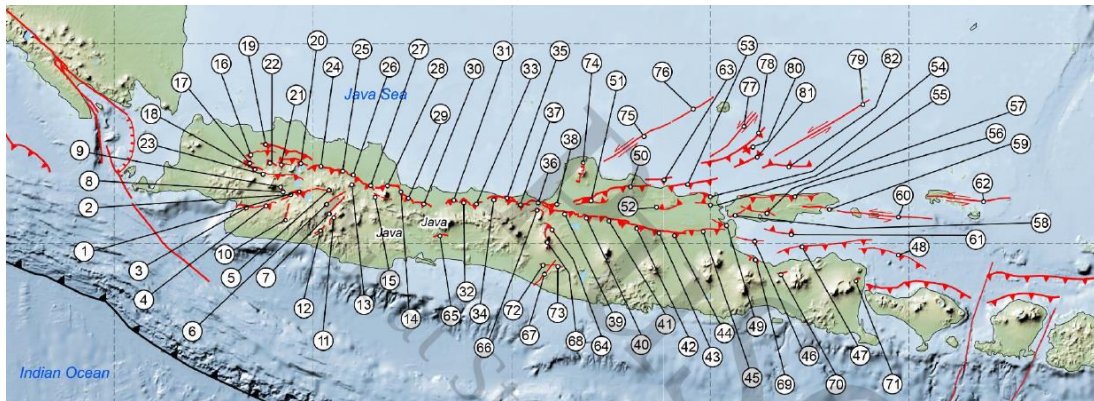


Gambar 3.3 Tektonik utama Indonesia,
Sumber : Asrurifak dkk. (2010)

3.1.2 Kegempaan Jawa

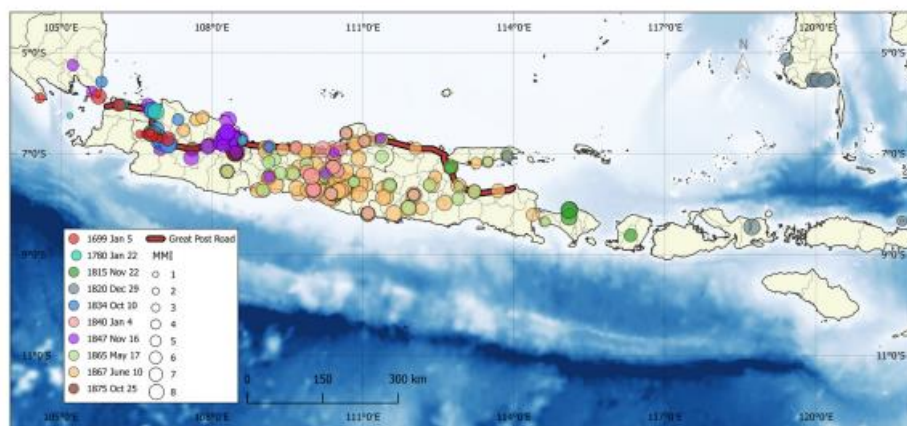
Pulau Jawa berada pada sistem subduksi Busur Sunda, sehingga secara regional memiliki tingkat bahaya gempa yang tinggi Soehami (2008). Patria & Aulia (2020) enunjukkan bahwa aktivitas kegempaan di Jawa tidak hanya dipengaruhi oleh subduksi, tetapi juga dikontrol oleh struktur tektonik di lempeng atas yang berkembang sejajar hingga memotong pulau. Dengan demikian, sumber gempa di Jawa dapat dipahami sebagai kombinasi kejadian pada zona subduksi (baik antarlempeng maupun dalam lempeng) dan kejadian kerak dangkal pada sesar aktif di daratan.

Untuk memberikan gambaran seismotektonik tersebut, PuSGeN (2017) menyajikan peta struktur aktif dan zona sumber utama di Jawa yang menampilkan posisi palung/subduksi dan sebaran sesar aktif di daratan, peta ditampilkan pada Gambar 3.4. Peta ini menjadi acuan regional untuk memahami keterkaitan antara jalur subduksi, jalur busur, serta keberadaan sistem sesar kerak yang memotong Jawa (misalnya jalur sesar di bagian barat–tengah–timur).



Gambar 3.4 Peta Sebaran Sumber Gempa
Sumber : PusGeN (2017)

Tercatat beberapa kejadian gempa yang menimbulkan kerugian besar. Gempa bumi Yogyakarta tahun 2006 dengan magnitudo 5,9 Skala Richter. Kemudian gempa bumi Lombok tahun 2018 dengan magnitudo 7,0 Skala Richter, dan gempa bumi Malang tahun 2021 dengan magnitudo 6,1 Skala Richter. Beberapa gempa tersebut, ada yang diakibatkan oleh *fault/* sesar seperti *opak fault* yang menjadi penyebab gempa Yogyakarta 2006 dan *Flores Back Arc Thrust Fault* yang menjadi penyebab gempa Lombok 2018. Selain itu juga ada yang disebabkan oleh subduksi seperti pada gempa Malang 2021. Selain itu, Nguyen dkk. (2015) telah mengobservasi gempa pulau Jawa dengan periode 1600 hingga 1900 yang dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Kejadian Gempa Skala MMI
Sumber : Nguyen dkk. (2015)

3.1.3 Magnitude Gempa dan Konversi M_w

Menurut Widodo (2012), magnitude digunakan sebagai alat ukur untuk menggambarkan seberapa besarnya ukuran gempa agar mudah diketahui. Magnitude terbagi menjadi skala yang berbeda. Asrurifak dkk. Asrurifak et al. (2010) telah menyusun skala konversi magnitude dengan jenis : *surface wave magnitude* m_s , *richter local magnitude* m_L , *body wave magnitude* m_B , dan *momen magnitude* m_w sebagaimana Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Konversi Beberapa Skala Magnitude Indonesia

KORELASI KONVERSI	JUMLAH DATA (EVENTS)	RENTANG DATA	KESESUAIAN (R^2)
$M_w = 0.143 M_s^2 - 1.051 M_s + 7.285$	3.173	$4.5 \leq M_s \leq 8.6$	93.90%
$M_w = 0.114 M_B^2 - 0.556 M_B + 5.560$	978	$4.9 \leq m_b \leq 8.2$	72.00%
$M_w = 0.787 M_E + 1.537$	154	$5.2 \leq M_e \leq 7.3$	71.20%
$M_B = 0.125 M_L^2 - 0.389 M_L + 3.513$	722	$3.0 \leq M_L \leq 6.2$	56.10%
$M_L = 0.717 M_B + 1.003$	384	$3 \leq M_b \leq 5.8$	29.10%

Sumber : Asrurifak dkk. (2010)

Sementara itu, persamaan Muntafi & Nojima (2021) mengatakan koefisien yang berbeda dalam konversi sebagaimana persamaan berikut:

$$M_w = 1.0332m_b - 0.0834 \quad (3.1)$$

Untuk rentang m_b yaitu $3.2 \leq m_b \leq 8.2$; SE dan R^2 yaitu 0.238 dan 0.802

$$M_w = 0.6354m_s + 2.3115 \quad (3.2)$$

Untuk rentang m_s yaitu $3.1 \leq m_s \leq 6.3$; SE dan R^2 yaitu 0.158 dan 0.856

$$M_w = 1.0425m_s - 0.2812 \quad (3.3)$$

Untuk rentang m_s yaitu $6.4 \leq m_s \leq 8.7$; SE dan R^2 yaitu 0.193 dan 0.849

3.2 Analisis Seismisitas Katalog

Analisis seismisitas katalog bertujuan untuk mengkuantifikasi karakteristik kejadian gempa pada wilayah studi berdasarkan data historis. Parameter utama yang dihasilkan dari tahap ini adalah *Magnitude of Completeness* (M_c), serta parameter *a-value* dan *b-value* dari hubungan Gutenberg–Richter (GR) (Gutenberg & Richter (1944); Wiemer (2001)). Parameter tersebut kemudian digunakan untuk

menghitung laju kejadian gempa (*rate of occurrence*) yang menjadi input penting dalam pemodelan Magnitude–Frequency Distribution (MFD) dan Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) (Cornell (1968); R. K. McGuire (2004); Kramer & Stewart (2024)).

Sebelum estimasi parameter seismisitas dilakukan, katalog gempa perlu dipastikan telah melalui tahapan dasar seperti: (1) homogenisasi magnitudo (misalnya seluruh magnitudo dikonversi ke Mw agar konsisten), (2) pemeriksaan duplikasi data, serta (3) penentuan batasan ruang dan waktu kajian (Hanks & Kanamori (1979); R. K. McGuire (2004)). Pada beberapa studi PSHA, katalog juga dapat melalui declustering (pemilahan foreshock/aftershock) untuk mendekati asumsi kejadian gempa independen yang sering dimodelkan dengan proses Poisson pada analisis bahaya gempa probabilistik (Cornell (1968); Gardner & Knopoff (1974); Reasenberg (1985)). Namun, penerapan declustering bergantung pada tujuan analisis dan model sumber yang digunakan.

3.2.1 *Declustering Catalogue*

Declustering adalah proses pemilahan katalog gempa untuk memisahkan kejadian gempa yang independen (umumnya diinterpretasikan sebagai *mainshock*) dari kejadian yang tergantung secara spasial–temporal, seperti *aftershock* dan *foreshock*. Secara fisik, *aftershock* merupakan rangkaian gempa susulan yang dipicu oleh redistribusi tegangan setelah kejadian utama, sehingga kemunculannya tidak dapat dianggap acak sepenuhnya dalam waktu dan ruang (Gardner & Knopoff (1974); Reasenberg (1985)).

Dalam konteks *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA), declustering sering diterapkan karena perhitungan hazard klasik banyak mengasumsikan kejadian gempa sebagai proses *Poisson* (kejadian saling independen dan laju kejadian konstan pada periode tertentu). Asumsi ini mempermudah pemodelan laju kejadian (*rate of occurrence*) dan integrasi probabilistik pada PSHA (Cornell (1968); R. K. McGuire (2004)). Jika katalog masih mengandung kluster aftershock, maka estimasi parameter seismisitas—terutama *a-value* dan laju kejadian untuk magnitudo kecil–menengah—cenderung meningkat, sehingga dapat menghasilkan

laju kejadian yang “terinflasi” dan kurang representatif untuk kejadian independen jangka panjang.

Secara statistik, efek klaster biasanya terlihat pada distribusi waktu antar-kejadian (*inter-event time*) yang menyimpang dari karakter Poisson. Pada katalog yang belum didecluster, frekuensi kejadian dalam waktu singkat setelah gempa besar akan sangat tinggi karena *aftershock*, sementara pada katalog yang didecluster diharapkan lebih mendekati proses stasioner (Gardner & Knopoff (1974); Reasenberg (1985)). Oleh karena itu, declustering dipandang sebagai langkah untuk memperoleh estimasi laju kejadian yang lebih sesuai dengan kerangka PSHA konvensional.

Namun demikian, penting dicatat bahwa declustering bukan “kebenaran tunggal”, melainkan pendekatan pemodelan. Penghapusan *aftershock* dapat mengurangi jumlah data, memengaruhi stabilitas estimasi parameter Gutenberg-Richter, GR (khususnya untuk magnitudo kecil), dan memperkenalkan ketidakpastian epistemik terkait pilihan algoritma dan parameter *declustering*. Pada beberapa pendekatan modern, keterklasteran dapat dimodelkan secara eksplisit (misalnya model *triggering*), tetapi pada praktik PSHA rekayasa yang umum, declustering tetap lazim digunakan untuk memenuhi asumsi independensi (R. K. McGuire (2004); Wiemer (2001)).

Secara umum, *declustering* dilakukan dengan mengidentifikasi *space-time window* yang bergantung pada magnitudo. Kejadian gempa yang terjadi dalam radius dan durasi tertentu dari suatu mainshock dianggap bagian dari klaster dan dapat dikeluarkan dari katalog independen.

1. Metode Gardner & Knopoff (1974)

Metode ini menggunakan jendela waktu dan jarak yang ditentukan sebagai fungsi magnitudo mainshock (*windowing method*). Prinsipnya, semakin besar magnitudo, semakin panjang durasi *aftershock* dan semakin luas penyebarannya, sehingga jendela ruang-waktu diperbesar untuk gempa besar. Implementasi praktisnya sering berbentuk tabel/aturan yang memetakan magnitudo ke durasi (hari) dan jarak (km) untuk mendeteksi klaster.

2. Metode Reasenberg (1985)

Metode ini mengidentifikasi klaster melalui konsep *linking* atau keterkaitan kejadian gempa berdasarkan kedekatan ruang–waktu dan parameter tertentu (misalnya jarak interaksi yang terkait dengan skala sumber/rupture serta durasi yang mengakomodasi penurunan aktivitas aftershock). Pendekatan Reasenberg cenderung lebih adaptif terhadap urutan kejadian dibanding sekadar “jendela tetap” karena mempertimbangkan keterkaitan antar-event dalam pembentukan klaster.

Dalam praktik penelitian, perangkat seperti ZMAP menyediakan modul untuk analisis seismisitas termasuk penentuan M_c , estimasi GR, dan opsi *declustering* yang lazim. Pada tesis ini, *declustering* diposisikan sebagai tahapan konseptual untuk memperoleh katalog yang lebih mendekati kejadian independen sebelum estimasi parameter seismisitas (a – b dan laju kejadian) dilakukan, sehingga konsisten dengan asumsi dasar pada PSHA konvensional.

3.2.2 *Magnitude of Completeness, M_c*

Magnitude of Completeness (M_c) adalah magnitudo ambang minimum di mana suatu katalog gempa dapat dianggap lengkap, yaitu kejadian gempa dengan $M \geq M_c$ pada wilayah dan rentang waktu tertentu diasumsikan telah terekam secara andal. Pada magnitudo yang lebih kecil dari M_c , jumlah kejadian yang tercatat biasanya berkurang bukan karena aktivitas seismik sebenarnya menurun, melainkan akibat keterbatasan kemampuan deteksi jaringan seismograf (kepadatan stasiun, tingkat noise, serta ketelitian penentuan lokasi dan magnitudo) dan juga perubahan kualitas pencatatan antar-periode pengamatan, Rydelek & Sacks (1989);).

Penentuan M_c penting karena analisis seismisitas umumnya didasarkan pada bentuk Frequency–Magnitude Distribution (FMD) yang pada bagian katalog lengkap akan mengikuti tren linear sesuai hubungan Gutenberg–Richter. Jika data bermagnitudo kecil belum tercatat lengkap, kurva FMD akan menyimpang (melengkung) pada magnitudo rendah sehingga estimasi parameter seismisitas yang dihitung dari data tersebut dapat menjadi bias atau tidak stabil, Wiemer & Wyss (2000). Selain itu, M_c bersifat spasial dan temporal; M_c dapat berbeda antarwilayah (misalnya onshore–offshore) dan dapat berubah dari waktu ke waktu

seiring peningkatan jaringan pengamatan, sehingga evaluasi M_c perlu mempertimbangkan konteks ruang dan periode data yang dianalisis, Mignan & Woessner (2012).

Secara praktik, M_c ditentukan dari analisis FMD dengan mencari magnitudo minimum saat data mulai konsisten mengikuti perilaku Gutenberg–Richter. Salah satu pendekatan yang umum adalah Goodness-of-Fit (GoF), yaitu memilih M_c ketika kesesuaian data terhadap model Gutenberg–Richter pada rentang magnitudo tertentu telah mencapai tingkat kecocokan yang memadai (misalnya 90%–95%). Pendekatan lain adalah Entire Magnitude Range (EMR) yang memodelkan bagian katalog yang lengkap dan tidak lengkap secara bersamaan sehingga M_c dan ketidakpastiannya dapat diestimasi secara lebih konsisten dari keseluruhan distribusi magnitudo, Woessner & Wiemer (2005). Selain itu, beberapa studi juga menggunakan pendekatan change-point untuk mendeteksi titik perubahan pada FMD yang menandai awal segmen linear (bagian complete), Amorèse (2007). Nilai M_c yang diperoleh kemudian digunakan sebagai batas bawah data ($M \geq M_c$) pada analisis Gutenberg–Richter dan perhitungan laju kejadian pada subbab berikutnya agar hasil estimasi tidak dipengaruhi oleh bagian katalog yang belum lengkap (Wiemer & Wyss (2000); Mignan & Woessner (2012)).

3.2.3 *Gutenberg-Ritcher, GR & Rate Of Occurrence*

Hubungan Gutenberg–Richter (GR) digunakan untuk merepresentasikan hubungan antara magnitudo dan frekuensi kejadian gempa pada katalog yang telah dianggap lengkap (umumnya $M \geq M_c$). Dalam bentuk kumulatif, GR dinyatakan sebagai:

$$\text{Log}_{10} N(M \geq m) = a - bm \quad (3.4)$$

$$N(M \geq m) = 10^{(a-bm)} \quad (3.5)$$

dengan $N(M \geq m)$ adalah jumlah/laju kejadian kumulatif untuk gempa bermagnitudo $\geq m$ pada suatu periode pengamatan (dalam aplikasi PSHA umumnya dinyatakan sebagai laju tahunan), sedangkan a dan b adalah parameter seismisitas. Parameter a -value mencerminkan tingkat aktivitas seismik (semakin besar a , semakin tinggi jumlah kejadian gempa), sedangkan b -value

merepresentasikan kemiringan kurva frekuensi–magnitudo dan mengontrol perbandingan relatif gempa kecil terhadap gempa besar Aki (1965).

Dalam kerangka statistik GR, jika katalog dianggap lengkap di atas ambang $M_{\min}$ (umumnya $M_{\min} = M_c$), maka sebaran magnitudo pada bagian lengkap dapat dipandang mengikuti distribusi eksponensial. Untuk kondisi ini, b -value dapat diestimasi dengan maximum likelihood (Aki, 1965) sebagai:

$$b = \frac{\log_{10}(e)}{\bar{M} - M_{\min}} \quad (3.6)$$

dengan $\bar{M}$ adalah magnitudo rata-rata dari semua kejadian dengan $M \geq M_{\min}$, dan $\log_{10}(e) = 0.4343$. Jika magnitudo dibinning dengan interval ΔM , maka $M_{\min}$ sering dipakai sebagai batas efektif $M_{\min} = M_c - \Delta M/2$ agar konsisten terhadap pembulatan magnitudo pada katalog. Setelah b diperoleh, a -value dapat diturunkan langsung dari persamaan (3.4) – (3.5). Misalkan laju kejadian tahunan untuk gempa dengan $M \geq m$ didefinisikan sebagai $\lambda(M \geq m)$. Dari (3.5) diperoleh:

$$\lambda(M \geq m) = 10^{(a-bm)} \quad (3.7)$$

Sehingga untuk suatu magnitudo acuan m_0 :

$$\log_{10} \lambda(M \geq m_0) = a - bm_0 \Rightarrow a = \log_{10} \lambda(M \geq m_0) + b m_0 \quad (3.8)$$

Hubungan ini menunjukkan bahwa a pada dasarnya adalah konstanta yang “menggeser” kurva GR sesuai tingkat aktivitas seismik (laju kejadian) pada magnitudo acuan yang dipilih. Dalam interpretasi rekurensi, laju tahunan λ berhubungan dengan periode ulang T_r melalui:

$$\lambda = \frac{1}{T_r} \quad (3.9)$$

Jika periode ulang didefinisikan untuk kejadian dengan magnitudo $\geq M_{\max}$ (atau magnitudo target kejadian besar acuan), maka dari Pers. (3.7) dan (3.9) diperoleh:

$$\log_{10} \left(\frac{1}{T_r} \right) = a - bM_{\max} \quad (3.10)$$

$$a = bM_{\max} + \log_{10} \left(\frac{1}{T_r} \right) \quad (3.11)$$

Persamaan (3.11) memberikan bentuk a -value yang langsung terkait dengan kemiringan b , magnitudo acuan $M_{\max}$, dan periode ulang T_r (dengan log berbasis-10, konsisten dengan (3.4)).

3.2.4 Rate Of Occurrence

Setelah parameter Gutenberg–Richter diperoleh dan katalog dibatasi pada bagian yang lengkap (misalnya $M \geq M_c$), langkah berikutnya adalah menghitung laju kejadian gempa (*rate of occurrence*), yaitu jumlah kejadian gempa per satuan waktu yang dinyatakan sebagai laju tahunan. Laju kejadian ini pada dasarnya menyatakan seberapa sering gempa dengan magnitudo tertentu terjadi dalam satu tahun, dan menjadi input utama untuk membentuk Magnitude–Frequency Distribution (MFD) yang digunakan pada perhitungan PSHA.

Secara empiris, laju kejadian dapat dihitung langsung dari katalog dengan melakukan pengelompokan kejadian ke dalam bin magnitudo. Jika n_i adalah jumlah kejadian gempa pada bin magnitudo ke- i (misalnya pada rentang $[M_i, M_i + \Delta M)$), M_i adalah batas bawah bin magnitudo, ΔM adalah lebar bin magnitudo (misalnya 0,1 atau 0,2), dan T_{obs} adalah durasi observasi katalog dalam satuan tahun, maka laju kejadian tahunan untuk bin tersebut dinyatakan sebagai:

$$v_i = \frac{n_i}{T_{\text{obs}}} \quad (3.12)$$

dengan v_i adalah laju kejadian tahunan (*annual occurrence rate*) pada bin ke- i (kejadian/tahun). Persamaan ini merupakan bentuk paling langsung dari *rate of occurrence* karena menghitung frekuensi kejadian aktual pada katalog yang dinyatakan per tahun. Dalam implementasi pembuatan MFD incremental untuk

OpenQuake, pendekatan ini direalisasikan melalui perhitungan histogram magnitudo (jumlah kejadian per bin) dan pembagian terhadap durasi tahun katalog, yaitu konsep $\text{rates} = \text{counts}/\text{years}$ pada proses pembentukan MFD.

Selain berbasis histogram empiris, laju kejadian juga dapat dinyatakan secara kumulatif sebagai laju tahunan untuk kejadian dengan magnitudo di atas ambang tertentu. Jika $N(M \geq m)$ menyatakan laju kejadian kumulatif tahunan (kejadian/tahun) untuk gempa dengan magnitudo $\geq m$, maka $N(M \geq m)$ dapat diperoleh dari penjumlahan laju incremental pada semua bin magnitudo yang berada di atas m . Dengan kata lain, laju kumulatif adalah akumulasi dari laju per-bin, sedangkan laju per-bin adalah representasi diskrit dari distribusi kejadian pada rentang magnitudo tertentu. Pendekatan incremental inilah yang dipakai sebagai format MFD pada pemodelan sumber di beberapa perangkat seperti Openquake, karena memungkinkan laju kejadian ditetapkan untuk setiap interval magnitudo secara eksplisit.

Dengan demikian, *rate of occurrence* pada penelitian ini dipahami sebagai laju tahunan per interval magnitudo yang dihitung dari katalog (setelah tahapan pengolahan seperti declustering dan penentuan kelengkapan), lalu disusun menjadi MFD incremental. Nilai v_i ini selanjutnya digunakan pada tahap pemodelan sumber gempa dan perhitungan bahaya gempa probabilistik.

3.3 Sumber Gempa dan Pemodelan Sumber

Pada Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), bahaya gempa di suatu lokasi ditentukan oleh kontribusi gabungan dari seluruh sumber gempa yang berpotensi menghasilkan kejadian gempa, beserta laju kejadiannya dan tingkat guncangan yang ditimbulkan di lokasi tinjauan. Karena itu, “sumber gempa” dalam PSHA tidak hanya dimaknai sebagai lokasi tektonik, tetapi sebagai model yang mendefinisikan potensi kejadian gempa melalui karakteristik kejadian (misalnya laju kejadian dan rentang magnitudo) serta representasi spasial tempat rupture dapat terjadi (Cornell (1968); R. K. McGuire (2004)).

Dalam implementasi PSHA, sumber gempa direpresentasikan dengan beberapa tipologi sumber (misalnya *point source*, *area source*, dan berbagai tipe

fault source) yang masing-masing memerlukan informasi utama berupa geometri sumber dan model kejadian magnitudo–frekuensi (MFD/recurrence), serta parameter tambahan yang mendukung pembangkitan rupture dan perhitungan jarak (misalnya kedalaman seismogenik dan mekanisme/nodal plane). Sejalan dengan kebutuhan GMPE dan pembangkitan rupture, pemodelan sumber juga perlu memperhatikan bahwa gempa terjadi dalam ruang tiga dimensi, sehingga definisi geometri dan kedalaman akan memengaruhi jarak ke rupture dan kontribusi hazard.

Berdasarkan hal tersebut, subbab ini membahas klasifikasi sumber gempa, aspek geometri dan parameter jarak ke situs, serta konsep MFD/recurrence model sebagai dasar pembentukan input sumber gempa untuk analisis hazard

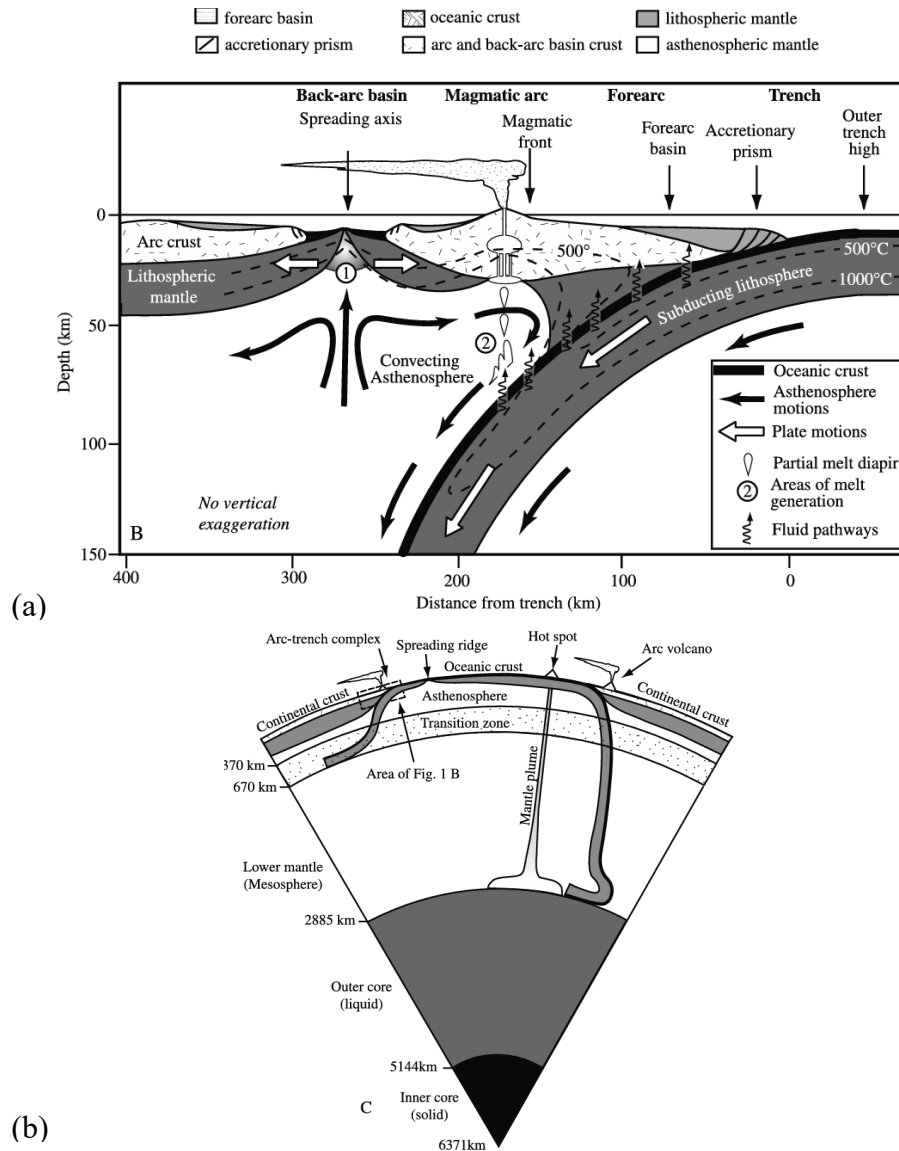
3.3.1 Klasifikasi Sumber Gempa

Dalam PSHA, klasifikasi sumber gempa diperlukan agar representasi sumber konsisten dengan kondisi seismotektonik wilayah serta kebutuhan pemodelan bahaya. Secara umum, pemodelan hazard modern membedakan sumber yang terasosiasi dengan struktur sesar aktif dan sumber yang mewakili seismisitas menyebar; pada banyak studi, sumber seismik yang digunakan dalam penilaian bahaya gempa mencakup sesar aktif, zona sumber areal, dan seismisitas terhaluskan (*smoothed/zoneless seismicity*), Sokolov dkk. (2024).

Pada tesis ini, klasifikasi sumber disederhanakan menjadi empat kelompok yang langsung relevan dengan konteks wilayah kajian, yaitu *fault source*, *subduction megathrust*, *subduction benioff*, dan *background source*. Sumber patahan/*fault* merepresentasikan kejadian gempa yang dikaitkan dengan sesar kerak yang terpetakan, sehingga lokasi *rupture* dipandang mengikuti geometri sesar tersebut. Kelompok ini mencakup kejadian kerak dangkal (*shallow crustal*) pada lempeng atas maupun sistem sesar aktif daratan yang dapat didefinisikan secara geologi/tektonik, Sokolov dkk. Sokolov et al. (2024).

Untuk wilayah subduksi, sumber dipisahkan menjadi megathrust dan benioff karena keduanya memiliki mekanisme dan kedalaman kejadian yang berbeda sehingga lazim membutuhkan pemodelan seismisitas dan pemilihan model gerakan tanah yang berbeda, sebagaimana . Pemisahan rezim ini juga ditekankan pada pengembangan CatSep, yang menunjukkan perlunya pemisahan kejadian zona

subduksi ke dalam rezim tektonik berbeda (misalnya kerak, interface, dan intraslab) agar dapat dibangun model seismisitas spesifik dan diterapkan model gerakan tanah yang paling sesuai untuk masing-masing rezim, Haynie dkk. (2025).



Gambar 3.6 Zona Subduksi (a) Section Map, (b) detail
Sumber : Stern (2002)

Komponen *background source* digunakan untuk merepresentasikan seismisitas difus yang tidak dapat diatribusikan pada sesar terpetakan. Pada PSHA site-specific, zona sumber areal sering dipakai untuk tujuan ini, dan keberadaan komponen background dianggap penting ketika data sesar tidak cukup untuk menjelaskan seluruh seismisitas yang teramati, Bommer dkk. (2023). Selain itu,

karena banyak GMPE modern menggunakan metrik jarak berbasis rupture, maka pada pemodelan background berbasis zona areal diperlukan pembangkitan rupture virtual di dalam zona agar metrik jarak tersebut dapat dihitung dengan benar. Danciu dkk. (2024) menyatakan bahwa dalam praktik model hazard modern, komponen *background* dapat direpresentasikan sebagai zona area yang seragam maupun sebagai seismisitas terhaluskan yang dipetakan pada grid, sebagaimana ditunjukkan pada pengembangan ESHM20 yang memasukkan model area, model hibrid (sesar aktif + background smoothed seismicity), serta sumber subduksi megathrust dan in-slab.

Tabel 3.2 Klasifikasi Umum Sumber Gempa

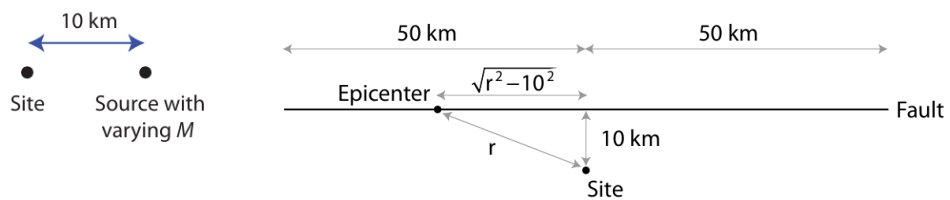
Basis klasifikasi	Jenis sumber	Istilah baku tesis	Keterangan
Tektonik kerak	Sesar kerak	Fault	Kejadian dimodelkan berasal dari rupture pada sesar kerak terpetakan, Sokolov dkk. Sokolov et al. (2024)
Subduksi antarlempeng	interface	Megathrust	Padanan interface pada literatur; dipisahkan sebagai rezim tersendiri, Haynie dkk. Haynie et al. (2025)
Subduksi dalam lempeng	In-slab	Benioff	Padanan intraslab pada literatur; dipisahkan sebagai rezim tersendiri, Haynie dkk. Haynie et al. (2025)
<i>Area source</i>	Difus/non-fault	Background source	Umumnya dimodelkan sebagai zona areal atau smoothed seismicity; pada PSHA site-specific sering memakai zona areal dan membutuhkan rupture virtual untuk konsistensi jarak GMPE, Bommer dkk. J. J. Bommer et al. (2023)

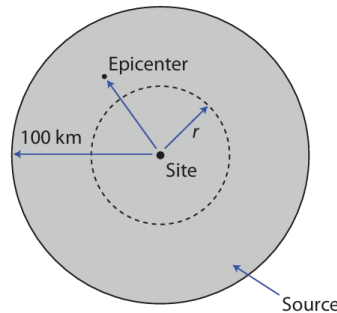
3.3.2 Representasi Sumber 2D: Point, Line, dan Area

Pada tahap awal *seismic source characterization*, geometri sumber gempa umumnya diperkenalkan terlebih dahulu dalam bentuk 2D di peta karena data dasar yang tersedia—sebaran episenter katalog, batas zona seismisitas difus, dan jejak sesar permukaan—secara alami berada pada koordinat permukaan; kerangka 2D ini juga masih banyak dipakai sebelum dimensi rupture gempa besar dimodelkan lebih eksplisit, Wei dkk. (2025). Dalam konteks ini, representasi sumber 2D umumnya dikelompokkan menjadi sumber titik, sumber garis, dan sumber area.

Sumber **titik** merepresentasikan kejadian pada lokasi diskrit (mis. sel grid/klaster) dan umum dipakai untuk memodelkan *background/gridded seismicity* yang tidak dikaitkan langsung dengan sesar; contohnya pada UCERF3 seismisitas non-sesar dimodelkan sebagai komponen gridded seismicity Field dkk. (2017). Sumber **garis** merepresentasikan jejak sesar (fault trace) pada tahap 2D sebagai dasar sumber berbasis sesar sebelum dikembangkan menjadi model 3D; secara analitik, kejadian diasumsikan dapat terjadi di sepanjang segmen sehingga jarak site–kejadian merupakan kombinasi jarak tegak lurus ke sesar dan offset sepanjang sesar (Nicolaou (1998); Makrup (2009); Artati, Artati (2023)). Sumber area menggambarkan seismisitas difus dalam zona poligon (background berbasis zona); secara analitik, distribusi jarak dipahami sebagai persoalan geometrik berbasis luas (mis. rasio luas sub-area terhadap luas total zona) sebelum geometri rupture 3D dimodelkan Woessner dkk. (2015).

Sejalan dengan representasi 2D tersebut, parameter jarak yang diperkenalkan pada tahap ini bersifat planar. Untuk sumber titik, metrik dasar yang umum digunakan adalah jarak episentral R_{epi} (jarak lingkaran-besar dari site ke episenter), dan pendekatan jarak berbasis point-source dinilai praktis untuk sumber seismisitas berbasis grid pada tahap awal, Thompson dan Worden (2017). Untuk sumber garis dan area—serta untuk menjaga kompatibilitas dengan GMPE modern—diperkenalkan pula jarak Joyner–Boore R_{JB} sebagai jarak planar terpendek dari site ke proyeksi horizontal rupture (Vats dan Basu (2023)), yang kemudian menjadi jembatan menuju metrik jarak berbasis rupture (mis. R_{rup}) pada pemodelan 3D (Tavakoli dkk. Tavakoli et al. (2018)). Contoh penggambaran *2D source* dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.





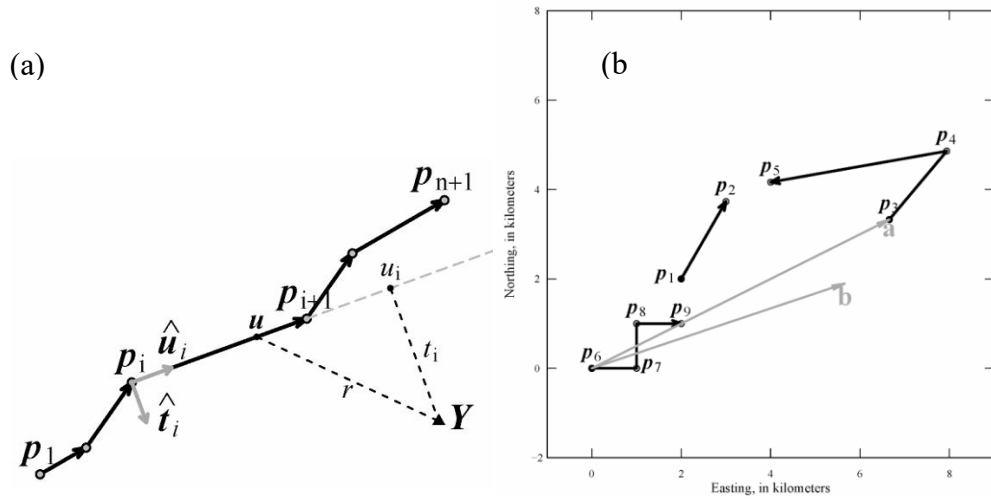
Gambar 3.7 2D Source
Sumber : J. W. Baker (2013)

3.3.3 Pemodelan Sumber Gempa 3D dan Parameter Jarak Rupture

Pada tahap 3D, kejadian gempa dimodelkan sebagai sebuah pecahan/*rupture* yang memiliki (i) geometri bidang rupture di ruang 3D dan (ii) atribut *rupture* (misalnya magnitudo dan mekanisme sumber). Dalam praktik pemodelan bahaya gempa berbasis GMPE, geometri rupture diperlukan karena banyak persamaan prediksi gerak tanah mensyaratkan metrik jarak berbasis rupture (misalnya R_{rup} , R_{JB} , R_x , R_{y0}) serta parameter geometri seperti dip, lebar down-dip W , dan kedalaman puncak rupture Z_{tor} (depth-to-top-of-rupture). Kakkamanos dkk. (2011) merangkum bahwa model-model NGA modern menggunakan kombinasi parameter sumber dan lintasan seperti R_{rup} , R_{JB} , R_x , W , dip, dan Z_{tor} sebagai masukan penting.

1. Geometri 3D untuk sumber sesar sederhana

Untuk sesar kerak yang direpresentasikan secara sederhana, geometri rupture 3D dapat dibangun dari: *fault trace* (jejak sesar di permukaan), dip δ , kedalaman seismogenik atas z_{upper} , kedalaman seismogenik bawah z_{lower} , serta skema diskretisasi/mesh pada bidang rupture. Representasi garis jejak (trace) sebagai rangkaian segmen dan kebutuhan koordinat yang stabil di sekitar trace merupakan praktik umum pada pengembangan GMPE modern (misalnya kerangka koordinat terumumkan/GC2 untuk trace yang kompleks). Konsep segmentasi trace dan arah koordinat lokal diilustrasikan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Skema rupture trace multi-segmen: (a) definisi arah lokal; (b) contoh geometri trace pada tampak atas.

Sumber : Spudich dan Chiou (2015) Fig 1 dan Fig 6.

Gambar 3.8 (a) memperlihatkan bagaimana rupture trace direpresentasikan sebagai rangkaian titik ($p_1, p_i, p_{i+1}, \dots, p_{n+1}$) yang membentuk segmen-segmen lurus lokal. Pada tiap segmen $p_i - p_{i+1}$ didefinisikan arah sepanjang strike melalui vektor satuan $\hat{u}_i$ (strike-parallel) dan arah tegak lurus strike melalui $\hat{t}_i$ (strike-normal), sehingga posisi/jarak relatif dapat dinyatakan dalam komponen sepanjang trace (u) dan komponen normal segmen (t_i). Gambar 3.8 (b) menegaskan bahwa pada trace yang berbelok atau multi-segmen (ditunjukkan pada koordinat easting–northing), kerangka lokal $\hat{u}_i$ – $\hat{t}_i$ diperlukan agar perhitungan posisi site relatif terhadap strike tetap konsisten untuk analisis efek dekat-sesar. Sejalan dengan ilustrasi tersebut,

Spudich dan Chiou (2015) menyatakan bahwa pemodelan rupture trace sebagai segmen-segmen kontigu dan penggunaan koordinat *strike-parallel/strike-normal* merupakan komponen penting dalam karakterisasi geometri dekat-sesar. Secara geometri (trigonometri bidang miring), beda kedalaman seismogenik $\Delta z = z_{\text{lower}} - z_{\text{upper}}$ dapat dihubungkan dengan proyeksi horizontal arah *down-dip* dan lebar bidang arah dip sebagai:

$$h_{\text{dd}} = \frac{z_{\text{lower}} - z_{\text{upper}}}{\tan \delta} \quad (3.13)$$

$$W = \frac{Z_{\text{lower}} - Z_{\text{upper}}}{\sin \delta} \quad (3.14)$$

Dengan h_{dd} merupakan jarak horizontal (km) dari tepi atas ke tepi bawah pada arah down-dip, W yaitu lebar rupture sepanjang arah dip (km), δ adalah dip (derajat), serta z_{upper} , z_{lower} kedalaman seismogenik atas dan bawah (km).

Secara konsep, lebar rupture berkaitan erat dengan ketebalan lapisan seismogenik dan pembatasan geometri down-dip; dalam konteks skala sumber, rupture width sering dipandang sebagai dimensi dip yang dikontrol oleh ketebalan seismogenik (umumnya orde 10–20 km pada banyak wilayah) dan geometri bidang sesar.

Catatan: Z_{tor} (kedalaman ke puncak rupture) pada pemodelan sesar sederhana umumnya berkorespondensi dengan z_{upper} (ketika tepi atas rupture diasumsikan berada pada kedalaman seismogenik atas), dan parameter ini muncul eksplisit sebagai input pada banyak GMPE NGA.

2. Estimasi Sudut Penunjaman Dari Penampang Seismisitas

Secara historis, Wadati menafsirkan kontur kedalaman hiposenter sebagai indikasi adanya bidang lemah di dalam kerak dan mencatat pola bahwa gempa dalam cenderung berada lebih dekat ke arah benua dibanding gempa dangkal; karena itu sudut penunjaman δ dapat diestimasi dari kemiringan tren kedalaman z terhadap jarak sepanjang profil x pada penampang seismisitas, Frohlich (1989).

Untuk memperoleh δ dari data hiposenter, kejadian gempa diproyeksikan ke bidang penampang sehingga diperoleh koordinat jarak sepanjang profil x (km) dan kedalaman z (km). Selanjutnya, tren geometri bidang (seperti bidang antarmuka megathrust atau zona Wadati–Benioff) didekati dengan model garis lurus:

$$z = m x + c \quad (3.15)$$

dengan $m = \Delta z / \Delta x$ adalah kemiringan garis (km/km) dan cintersep. Sudut penunjaman dihitung langsung dari kemiringan tersebut:

$$\delta = \tan^{-1}(m) \quad (3.16)$$

(dalam derajat). Dalam praktiknya, regresi pada (3.15) dapat dilakukan pada subset kejadian yang merepresentasikan masing-masing domain sumber (misalnya kejadian dangkal untuk antarmuka megathrust dan kejadian menengah–dalam untuk slab/Benioff), sehingga diperoleh δ_{mega} dan δ_{ben} secara terpisah.

Untuk keperluan visualisasi, sumbu jarak kadang ditranslasi agar $x = 0$ berimpit dengan titik potong bidang megathrust pada $z = 0$. Translasi ini tidak mengubah nilai δ karena hanya menggeser intersep, bukan kemiringan:

$$x' = x - x_0, x_0 = -\frac{c}{m} \quad (3.17)$$

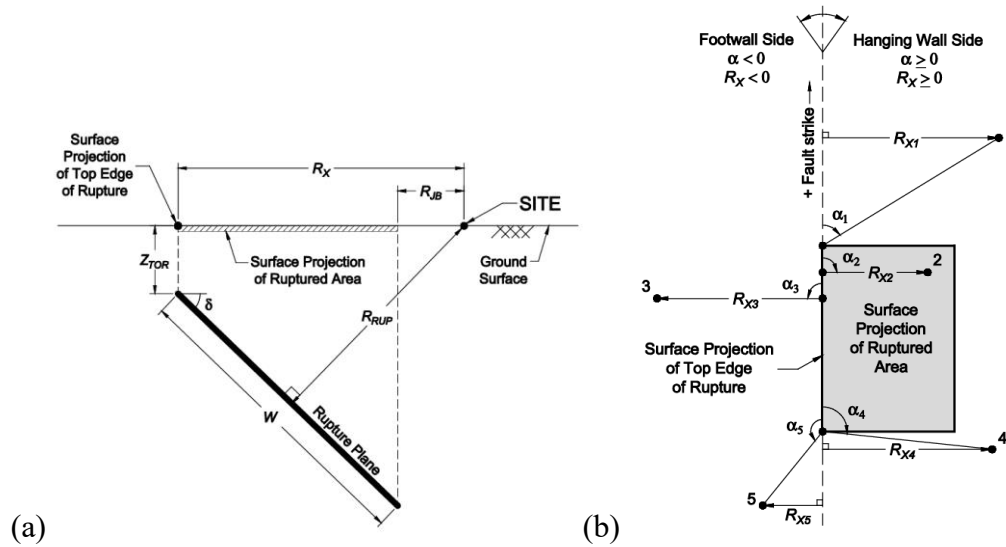
sehingga persamaan (3.15) menjadi

$$z = m x' \quad (3.18)$$

dan δ tetap dihitung menggunakan (3.16).

3. Metrik jarak rupture–site yang digunakan pada GMPE (3D)

Setelah permukaan/bidang rupture dibentuk (dan didiskretisasi), jarak-jarak yang dibutuhkan GMPE dihitung sebagai jarak minimum terhadap objek geometri rupture tertentu (bidang 3D, proyeksi permukaan, atau sistem koordinat relatif strike).



Gambar 3.9 Skema Geometri Rupture Sesar (a) Vertikal (b) Tampak Atas
Sumber : Kaklamanos dkk.(2010) Fig 1 & 2

Gambar 3.9 menunjukkan keterkaitan geometri bidang sesar dan metrik jarak rupture–site yang umum digunakan pada GMPE. Pada penampang vertikal (a) ditunjukkan Z_{tor} , sudut dip δ , dan lebar bidang W , serta definisi R_{rup} (jarak terdekat ke bidang rupture 3D) dan R_{JB} (jarak terdekat ke proyeksi permukaan rupture). Tampak atas (b) memperlihatkan orientasi strike, posisi site terhadap proyeksi area rupture (hanging-wall/footwall), serta parameter R_x dan azimuth α relatif terhadap strike.

a. Jarak ke rupture R_{rup}

R_{rup} didefinisikan sebagai jarak terdekat dari site ke bidang rupture 3D (closest distance to the rupture plane). USGS merangkum bahwa banyak GMPE membutuhkan jarak berbasis rupture seperti R_{rup} (jarak terdekat ke bidang rupture) selain jarak berbasis proyeksi permukaan seperti R_{JB} .

Secara matematis (konsep minimum terhadap himpunan titik pada bidang rupture $\mathcal{S}$):

$$R_{rup} = \min_{p \in \mathcal{S}} \| p - s \| \quad (3.19)$$

dengan stitik site (3D) dan titik pada bidang rupture.

b. Jarak Joyner–Boore R_{JB}

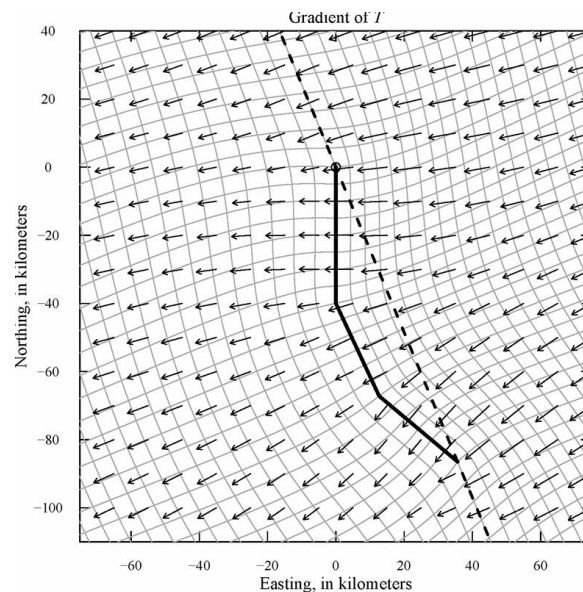
Joyner & Boore (1981) memperkenalkan konsep jarak yang lebih representatif untuk sumber berhingga, yaitu jarak terdekat dari site ke proyeksi permukaan dari rupture (horizontal projection of the fault rupture). Secara ringkas jarak yang dirumuskan:

$$R_{JB} = \min_{q \in \Pi(\mathcal{S})} \| q - s_{xy} \| \quad (3.20)$$

dengan $\Pi(\mathcal{S})$ proyeksi horizontal bidang rupture ke permukaan dan s_{xy} koordinat site pada bidang horizontal.

c. Jarak R_x (strike-normal distance relatif trace/tepi atas)

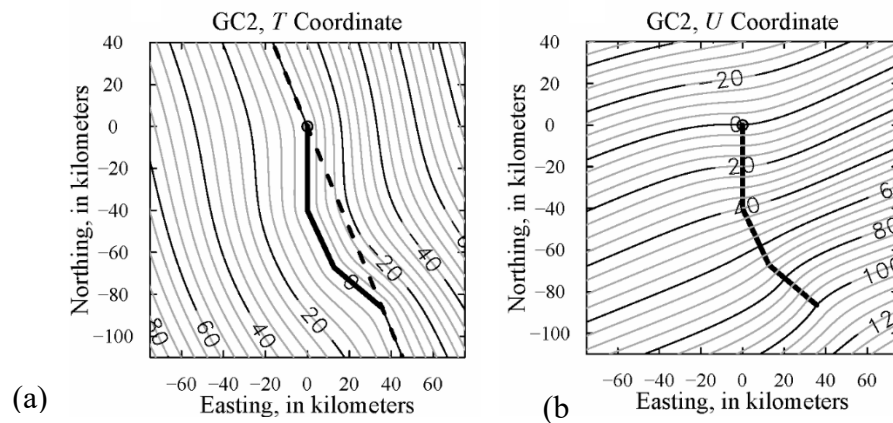
Pada banyak GMPE NGA, R_x dipakai untuk menangkap variasi gerak tanah yang terkait posisi site terhadap trace (mis. efek hanging-wall). Kaklamanos dkk. Kaklamanos et al. (2011) secara eksplisit mencantumkan R_x sebagai salah satu parameter jarak yang digunakan pada model NGA. Untuk kasus geometri trace yang tidak lurus/kompleks, Spudich dan Chiou Spudich & Chiou (2015) mengembangkan kerangka koordinat strike-parallel dan strike-normal yang terumumkan (GC2) berbasis rupture trace, yang secara konsep menyediakan jarak “tegak lurus strike” yang stabil untuk berbagai bentuk trace.



Gambar 3.10 Ilustrasi arah *strike-normal* lokal (∇T) di sekitar rupture trace multi-segmen.

Sumber : Spudich & Chiou (2015) Fig 5.

Gambar 3.10 memperlihatkan medan arah ∇T yang merepresentasikan arah *strike-normal* lokal di sekitar rupture trace. Arah ini digunakan sebagai acuan konseptual untuk memahami definisi jarak tegak lurus strike (sejalan dengan gagasan R_x) pada geometri trace yang tidak lurus



Gambar 3.11 Kontur koordinat lokal berbasis rupture trace (GC2):
(a) koordinat T (*strike-normal*), (b) koordinat U (*strike-parallel*)
 Spudich & Chiou (2015) Fig 4B (a) dan 4D (b).

Gambar 3.11 (a) menunjukkan bagaimana kerangka koordinat lokal berbasis *rupture trace* (GC2) membentuk dua komponen posisi site yang stabil pada trace yang berbelok. Panel (a) memperlihatkan kontur koordinat T sebagai ukuran jarak tegak lurus strike (*strike-normal*), sehingga relevan untuk memahami parameter jarak yang sejalan dengan R_x . Gambar 3.11 (b) memperlihatkan kontur koordinat U sebagai ukuran posisi sepanjang strike (*strike-parallel*), yang membantu memvisualkan apakah suatu site berada “melewati ujung rupture” sepanjang strike—konsep yang kemudian ditangkap oleh parameter R_{y0} .

- d. Jarak R_{y0} (off-end / melewati ujung rupture sepanjang strike)

Selain jarak tegak lurus strike, beberapa GMPE juga membutuhkan ukuran “melewati ujung rupture” (off-end effect) untuk membedakan site yang berada di luar proyeksi panjang rupture. Praktik penggunaan koordinat strike-parallel/strike-normal di sekitar rupture trace untuk menangani geometri kompleks dan efek ujung/segmen juga dibahas dalam kerangka GC2 oleh Spudich dan Chiou Spudich & Chiou (2015).

4. Konsistensi rezim subduksi: interface (megathrust) vs intraslab (benioff)

Dalam rezim subduksi, kejadian gempa umumnya dipisahkan menjadi subduction interface (megathrust) dan subduction intraslab (Benioff) karena perbedaan mekanisme sumber, kedalaman kejadian, dan karakter atenuasinya.

Abrahamson dkk. (2016) mengembangkan GMPE subduksi (sering dirujuk sebagai model BC Hydro) dengan pemisahan eksplisit antara basis data dan kalibrasi untuk kejadian interface dan slab, sehingga menegaskan bahwa klasifikasi rezim merupakan komponen fundamental dalam pemodelan gerak tanah subduksi. Dari sisi geometri dan jarak, prinsipnya tetap konsisten: ketika rupture direpresentasikan sebagai bidang/permukaan 3D (baik untuk interface maupun slab), maka metrik seperti R_{rup} dan R_{JB} tetap didefinisikan relatif terhadap bidang rupture dan proyeksi permukaannya; perbedaannya terutama terletak pada pemilihan set GMPE serta parameter yang relevan terhadap rezim—misalnya pada sejumlah model intraslab, pengaruh kedalaman hiposenter dinyatakan lebih eksplisit dibandingkan pada model interface.

3.3.4 Konsep MFD (*Magnitude–Frequency Distribution*) dan *recurrence model*

Pada tahap pemodelan sumber, *recurrence model* dinyatakan sebagai Magnitude–Frequency Distribution (MFD) inkremental, yaitu pasangan diskret $\{M_i, v_i\}$ yang menyatakan laju kejadian tahunan untuk setiap interval magnitudo. Representasi diskret ini lazim digunakan dalam pemodelan bahaya gempa karena memungkinkan laju kejadian ditetapkan secara eksplisit pada tiap bin magnitudo untuk setiap sumber, Pagani dkk. (2014).

1. Definisi parameter utama MFD inkremental

MFD inkremental dibangun dengan membagi magnitudo ke dalam bin berlebar ΔM . Untuk bin ke- i :

ΔM adalah lebar bin magnitudo (misalnya 0,1 atau 0,2).

M_i adalah titik tengah bin (*bin center*), sehingga bin ke- i merepresentasikan rentang

$$[M_i - \Delta M/2, M_i + \Delta M/2) \quad (3.21)$$

v_i adalah laju kejadian tahunan untuk bin tersebut (kejadian/tahun).

$M_{\min}$ dan $M_{\max}$ adalah batas magnitudo yang digunakan pada model kejadian sumber (rentang magnitudo yang dipertimbangkan pada recurrence).

Dengan demikian, MFD inkremental dapat dipandang sebagai “tabel” magnitudo (titik tengah bin) dan laju tahunan pada masing-masing bin.

2. MFD inkremental berbasis histogram (dari laju per-bin)

Jika MFD dibentuk langsung dari data kejadian pada rentang magnitudo yang dipilih, laju tahunan per bin mengikuti konsep *rate of occurrence* yang telah dirumuskan pada persamaan (3.12), yaitu jumlah kejadian dalam bin dibagi durasi observasi. Formulasi ini merupakan bentuk paling langsung dari laju inkremental untuk menyusun $\{M_i, v_i\}$ (McGuire, 2004).

3. *Truncated Gutenberg–Richter* sebagai *recurrence model*

Sebagai alternatif terhadap MFD berbasis histogram, recurrence dapat dibentuk dari model Gutenberg–Richter (GR) kumulatif (pada persamaan (3.4) & (3.5)). Untuk keperluan komputasi, GR umumnya dibatasi oleh $M_{\min}$ dan $M_{\max}$ (*truncation*), kemudian didiskretisasi menjadi laju inkremental per bin. Diskretisasi yang umum digunakan adalah selisih dua laju kumulatif pada tepi bin, Baker (2013):

$$v_i = N(M \geq M_i) - N(M \geq \min(M_i + \Delta M, M_{\max})), M_{\min} \leq M_i < M_{\max} \quad (3.22)$$

Persamaan (3.22) memastikan v_i merepresentasikan laju tahunan khusus pada interval $[M_i, M_i + \Delta M)$ dan menghentikan kontribusi di atas $M_{\max}$.

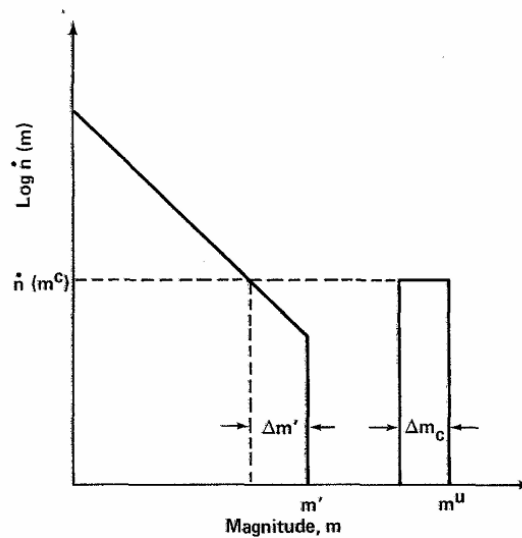
4. *Recurrence model* karakteristik berbasis “flat-tail” pada magnitudo besar

Selain GR murni, literatur PSHA juga mengenal model karakteristik/*characteristic*, yaitu representasi kejadian besar yang lebih terkonsentrasi pada rentang magnitudo tertentu. Konsep ini dibahas oleh, Youngs & Coppersmith (1985), termasuk ilustrasi bahwa bagian magnitudo besar dapat diperlakukan berbeda dari tren eksponensial GR.

Dalam implementasi yang digunakan pada penelitian ini, model karakteristik direalisasikan sebagai *flat-tail characteristic*: dimulai dari MFD *truncated GR*, kemudian bagian magnitudo besar dibuat konstan mulai ambang:

$$M \geq M_{\text{tail}} = M_{\text{max}} - w \quad (3.23)$$

dengan w adalah lebar ekor (*tail width*, biasa digunakan 1.5).



Gambar 3.12 Generalized frequency magnitude density function for the characteristic earthquake model

Sumber : Youngs & Coppersmith (1985) Fig 10.

Gambar 3.12 menunjukkan bahwa untuk magnitudo kecil–menengah, laju kejadian $n(m)$ mengikuti tren Gutenberg–Richter (garis menurun pada sumbu $\log n(m)$ terhadap m). Pada magnitudo besar mendekati batas atas m^u ($\approx M_{\text{max}}$), model karakteristik merepresentasikan kejadian besar sebagai bagian “box” dengan laju relatif konstan pada rentang selebar Δm_c , sehingga ekor magnitudo besar diperlakukan sebagai *characteristic* dibanding terus menurun seperti GR

Untuk menjaga konsistensi laju total pada bagian ekor, laju pada bin-tail dinormalisasi sehingga jumlah laju tail sama dengan tail pada GR:

$$v_i^{\text{char}} = \begin{cases} v_i^{\text{GR}}, & M_i < M_{\text{tail}} \\ \frac{\sum_{j \in \text{tail}} v_j^{\text{GR}}}{N_{\text{tail}}}, & M_i \geq M_{\text{tail}} \end{cases} \quad (3.24)$$

dengan N_{tail} jumlah bin pada bagian tail. Formulasi ini mempertahankan total laju padarentang magnitudo besar seperti pada GR, namun mengubah distribusi internalnya agar merepresentasikan perilaku “terkonsentrasi” pada magnitudo besar sebagaimana gagasan model karakteristik, Youngs & Coppersmith (1985).

5. Distribusi laju untuk sumber grid (*multi-point*)

Untuk sumber yang direpresentasikan sebagai kumpulan titik (grid/multi-point), MFD yang sama dapat diterapkan pada setiap titik. Agar total laju sumber tetap konservatif (tidak menjadi berlipat sebesar jumlah titik), laju per-titik dibagi merata terhadap jumlah titik K :

$$v_{i,\text{per-point}} = \frac{v_{i,\text{total}}}{K} \quad (3.25)$$

Pendekatan pendistribusian laju ke elemen spasial sambil menjaga konsistensi total laju regional sejalan dengan praktik pemodelan seismisitas terdistribusi/*smoothed-seismicity*, Monelli dkk. (2014).

3.4 *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) Gerakan Tanah

Atenuasi gerakan tanah (*ground motion attenuation*) menggambarkan bahwa intensitas guncangan di suatu lokasi cenderung berkurang seiring bertambahnya jarak dari sumber, serta dipengaruhi oleh besaran gempa dan kondisi lintasan maupun kondisi situs. Widodo (2012) menekankan bahwa variasi jenis tanah, ketebalan lapisan, mekanisme sumber, dan perbedaan lokasi kejadian menyebabkan hasil prediksi guncangan memiliki ketidakpastian. Dalam praktik rekayasa, hubungan tersebut dinyatakan melalui *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE/Attenuation) yang umumnya memodelkan intensitas Y (mis. PGA atau $SA(T)$) sebagai variabel lognormal:

$$\ln Y = \mu(\mathbf{x}) + \varepsilon\sigma \quad (3.26)$$

dengan $\mu(\mathbf{x})$ adalah median (dalam ruang log) yang bergantung pada vektor parameter $\mathbf{x}$ (magnitudo, jarak, mekanisme, kondisi situs, dsb.), σ adalah simpangan baku aleatori, dan ε variabel acak baku. Parameter jarak yang sering dipakai mengikuti definisi *finite-fault* (Subbab 3.3.3), seperti R_{rup} (jarak terdekat ke bidang rupture), R_{JB} (jarak terdekat ke proyeksi permukaan rupture), serta parameter posisi relatif terhadap strike seperti R_x dan R_{y0} untuk menangkap efek *hanging-wall* dan *off-end*.

Dalam dua dekade terakhir, pengembangan GMPE semakin komprehensif melalui basis data rekaman yang besar dan metadata sumber–lintasan–situs yang lebih lengkap, misalnya proyek NGA-West2 untuk gempa kerak dangkal dan NGA-Subduction untuk gempa subduksi. Perkembangan ini sejalan dengan kebutuhan dasar dalam merumuskan persamaan atenuasi, yaitu mengakomodasi faktor-faktor utama yang mengontrol amplitudo gerakan tanah: magnitudo gempa N. A. Abrahamson & Silva (1997), mekanisme sumber gempa Young dkk. Young et al. (1997), jarak ke titik situs N. A. Abrahamson & Shedlock (1997), dan jenis kondisi tanah situs N. A. Abrahamson & Silva (1997).

Berdasarkan faktor-faktor tersebut para ahli telah menurunkan banyak persamaan atenuasi. Pada 2 dekade terakhir muncul beberapa atenuasi yang dibuat dengan lebih komprehensif yaitu *Next Generation Attenuation* (NGA).

3.4.1 Parameter Situs untuk GMPE/PSHA: V_{s30} dan Kelas Situs

Parameter kondisi situs yang paling umum dipakai dalam GMPE dan perhitungan PSHA adalah V_{s30} , yaitu kecepatan gelombang geser rata-rata pada 30 m pertama dari permukaan. Secara matematis, V_{s30} dihitung dari profil berlapis sebagai:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad (3.27)$$

dengan h_i adalah tebal lapisan ke- i (m) dan $V_{s,i}$ adalah kecepatan gelombang geser lapisan ke- i (m/s), hingga kedalaman kumulatif 30 m. Dalam praktik desain, nilai V_{s30} digunakan untuk mengklasifikasikan kelas situs (misalnya pada SNI

1726:2019) dan untuk merepresentasikan efek kondisi tanah lokal pada prediksi gerak tanah melalui *site term* pada GMPE.

Pada banyak studi hazard, istilah “bedrock” dalam konteks PSHA sering dimaknai sebagai reference rock condition (batuan acuan), yaitu kondisi standar yang dipakai agar hasil hazard dapat dibandingkan secara konsisten dan agar efek tanah dangkal tidak “tercampur” pada tahap hazard bila efek situs akan dihitung terpisah (misalnya melalui analisis respons situs 1D). Dalam praktiknya, nilai V_{s30} acuan yang dipakai peneliti memang bervariasi tergantung standar/kebutuhan pemetaan. Shumway dkk. (2018) merangkum nilai V_{s30} representatif/ambang kelas situs NEHRP yang sering dipakai secara seragam dalam peta hazard (mis. A = 2000 m/s; batas A/B = 1500 m/s; B = 1080 m/s; batas B/C = 760 m/s; C = 530 m/s; batas C/D = 365 m/s; D = 260 m/s; batas D/E = 185 m/s; E = 150 m/s). Sejalan dengan itu, implementasi model USGS/NSHMP juga memperlihatkan penggunaan set nilai V_{s30} diskrit untuk perhitungan hazard berbasis kelas situs (mis. 2000, 1150, 760, 537, 360, 259, dan 180 m/s) sebagai preset/opsi yang merepresentasikan kelas atau batas kelas NEHRP. USGS (2019) juga mendistribusikan keluaran hazard modelnya pada kondisi situs tertentu, misalnya pada pembaruan NSHM 2018 tersedia kurva hazard dan peta probabilistik untuk $V_{s30} = 760$ m/s dan $V_{s30} = 260$ m/s (masing-masing mewakili kondisi acuan B/C dan kelas D).

Pada skala global, GEM (2023) menyatakan bahwa Global Seismic Hazard Map dihitung pada reference rock dengan $V_{s30} = 760\text{--}800$ m/s. Dari sisi implementasi perangkat lunak, dokumentasi OpenQuake juga memberikan contoh pengaturan kondisi situs uniform dengan `reference_vs30_value = 760.0` serta contoh *site model* dengan V_{s30} tinggi (mis. 800 m/s) sebagai kondisi acuan. Berdasarkan praktik umum tersebut, untuk PSHA “pada bedrock/reference rock” yang ditujukan sebagai input lanjutan dan untuk konsistensi perbandingan, nilai yang paling lazim dan defensible untuk diadopsi adalah $V_{s30} = 760$ m/s (batas NEHRP B/C yang sering dipakai sebagai *soft rock/reference rock*).

Selain V_{s30} , beberapa GMPE modern juga memasukkan parameter kedalaman cekungan (basin depth) untuk menangkap pengaruh ketebalan sedimen terhadap respons gerak tanah, terutama pada perioda menengah–panjang. Dalam

OpenQuake, parameter ini dinyatakan sebagai *z1pt0* dan *z2pt5*, yaitu kedalaman dari permukaan menuju horizon kecepatan gelombang geser sekitar 1,0 km/s (satuan meter) dan 2,5 km/s (satuan kilometer). Definisi ini digunakan sebagai *site descriptor* yang melengkapi V_{S30} pada GMPE yang sensitif terhadap efek cekungan.

Dalam praktik PSHA, parameter kedalaman cekungan $Z_{1.0}$ dan $Z_{2.5}$ sering tidak tersedia dari pengukuran langsung di lokasi, sehingga estimasi berbasis korelasi empiris menjadi pendekatan yang lazim. Chiou & Youngs (2014) menyatakan bahwa untuk stasiun tanpa nilai $Z_{1.0}$ terlapor, $Z_{1.0}$ dapat diestimasi menggunakan hubungan empiris antara $Z_{1.0}$ dan V_{S30} yang diperbarui dari basis data NGA-West2. Selaras dengan itu, Campbell & Bozorgnia (2014) menyediakan relasi empiris untuk memperkirakan $Z_{2.5}$ dari V_{S30} , dan relasi ini juga diimplementasikan dalam OpenQuake.

Secara operasional (sesuai implementasi NGA-West2 di OpenQuake), relasi estimasi tersebut dapat dituliskan sebagai berikut (dengan V_{S30} dalam m/s; $Z_{1.0}$ dalam m; $Z_{2.5}$ dalam km). Untuk wilayah non-Jepang (termasuk Indonesia), hubungan **CY14** (Chiou & Youngs (2014)) untuk $Z_{1.0}$ adalah:

$$Z_{1.0} = \exp \left[\left(-\frac{7.15}{4.0} \right) - \ln \left(\frac{V_{S30}^4 + 571^4}{1360^4 + 571^4} \right) \right] \quad (3.28)$$

Untuk $Z_{2.5}$, relasi **CB14** (Campbell & Bozorgnia (2014)) yang digunakan adalah (non-Jepang/“California basin model”), dengan koefisien hasil kalibrasi empiris $c_1 = 7.089$ dan $c_2 = -1.144$ (untuk non-Jepang), sehingga persamaan dapat dituliskan langsung menjadi::

$$\begin{aligned} Z_{2.5} &= \exp(c_1 + c_2 \ln(V_{S30})) \\ Z_{2.5} &= \exp(7.089 - 1.144 \ln(V_{S30})) \end{aligned} \quad (3.29)$$

Dengan dasar tersebut, penggunaan *z1pt0* dan *z2pt5* sebagai nilai estimasi dapat dibenarkan dalam studi PSHA selama konsisten dengan GMPE yang digunakan dan keterbatasan data setempat dinyatakan. Dalam konteks implementasi, OpenQuake menyediakan fungsi `calculate_z1pt0` dan

calculate_z2pt5 untuk menghitung parameter ini dari V_{S30} (dengan perbedaan Jepang vs non-Jepang), sehingga ketika data cekungan tidak tersedia, parameter kedalaman dapat tetap diisi secara konsisten berbasis relasi empiris NGA-West2.

3.4.2 GMPE Zhao dkk. (2006)

Zhao dkk. Zhao et al. (2006) memodelkan intensitas gerak tanah dalam bentuk logaritmik sebagai fungsi magnitudo, jarak ke bidang rupture, kedalaman hiposenter, mekanisme, dan kelas situs. Bentuk umum persamaannya dapat ditulis:

$$\ln(y_{ij}) = a M_{w,i} + b x_{ij} - \ln(r_{ij}) + e (h - h_c) \delta_h + F_R + S_I + S_S + S_{SL} \ln(x_{ij}) + C_k + \xi_{ij} + \eta_{ij} \quad (3.30)$$

$$r_{ij} = x_{ij} + c \exp(d M_{w,i}) \quad (3.31)$$

Zhao dkk. Zhao et al. (2006) memodelkan intensitas gerak tanah y_{ij} (PGA atau $SA(T)$, sesuai IMT) untuk kejadian ke- i pada situs ke- j dalam bentuk logaritmik sebagai fungsi magnitudo momen $M_{w,i}$, jarak sumber-situs x_{ij} , serta jarak efektif r_{ij} yang didefinisikan melalui Persamaan (3.30) untuk merepresentasikan peluruhan geometrik. Pengaruh kedalaman hiposenter h dimasukkan melalui ambang h_c (umumnya 15 km) dengan indikator δ_h (bernilai 1 jika $h \geq h_c$, dan 0 jika $h < h_c$).

Model juga memuat koreksi mekanisme sumber F_R , koreksi kelas situs C_k yang dipilih berdasarkan kelas situs (melalui koefisien C_H, C_1, C_2, C_3, C_4), serta koreksi rezim subduksi melalui S_I untuk interface/megathrust dan S_S untuk intraslab/benioff; untuk kasus slab juga terdapat term modifikasi lintasan $S_{SL} \ln(x_{ij})$. Variabilitas aleatory dinyatakan oleh residual within-event η_{ij} dan between-event ξ_i , dengan simpangan baku within-event σ serta simpangan baku between-event τ_C, τ_I , dan τ_S masing-masing untuk rezim crust/ASC, interface, dan slab. Koefisien model yang digunakan pada subbab ini dirangkum pada Lampiran 1 (GMPE Active Shallow Crust), Lampiran 2 (koefisien kelas situs), Lampiran 3 (koreksi tambahan untuk ASC), serta koefisien khusus subduksi pada Lampiran 4 (interface/megathrust) dan Lampiran 5 (intraslab/benioff), termasuk koefisien koreksi tambahan seperti Q_C, W_C (ASC), Q_I, W_I (interface), dan P_S, Q_S, W_S (slab).

Tabel 3.3 Klasifikasi Situs Zhao dkk. (2006)

Kelas situs	Rentang V_{S30} (m/s)	Koefisien pada persamaan
Hard rock	$V_{S30} > 1100$	C_H
Rock	$(600 < V_{S30} \leq 1100)$	C_1
Hard soil	$(300 < V_{S30} \leq 600)$	C_2
Medium soil	$(200 < V_{S30} \leq 300)$	C_3
Soft soil	$V_{S30} \leq 200$	C_4

Pada Tabel 3.3, koreksi kelas situs C_{site} ditentukan dengan memetakan V_{S30} ke lima kelas (hard rock, rock, hard soil, medium soil, soft soil). Untuk setiap kelas, C_{site} diambil sebagai C_H , C_1 , C_2 , C_3 , atau C_4 sesuai rentang V_{S30} .

3.4.3 GMPE Boore dkk. (2014)

Boore dkk. Boore et al. (2014) menyatakan model gerak tanah sebagai penjumlahan tiga komponen besar: sumber (event), propagasi/jarak (path), dan efek situs (site):

$$\ln Y = F_E(M, \text{mech}) + F_P(R_{JB}, M, \text{region}) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M, \text{region}, z_1) + \varepsilon_n \sigma(M, R_{JB}, V_{S30}) \quad (3.32)$$

dengan M adalah magnitudo momen, R_{JB} jarak Joyner–Boore, dan V_{S30} parameter kekakuan tanah dangkal. Komponen sumber F_E merepresentasikan pengaruh magnitudo dan mekanisme patahan (mis. strike-slip, normal, reverse) terhadap level gerak tanah, termasuk perubahan laju kenaikan amplitudo pada magnitudo tertentu. Komponen lintasan F_P memodelkan penurunan amplitudo dengan jarak akibat geometri penjalaran dan atenuasi, serta dapat memasukkan penyesuaian berdasarkan karakteristik wilayah (regional). Komponen situs F_S menggambarkan amplifikasi/deamplifikasi akibat kondisi tanah setempat, umumnya melalui pengaruh linear dan nonlinier terhadap V_{S30} , dan pada beberapa kondisi dapat memasukkan efek cekungan/basin melalui parameter kedalaman z_1 . Koefisien-koefisien yang digunakan untuk membangun term median dan term situs

pada model Boore dkk. (2014) disajikan pada Lampiran 6 (Koefisien Boore dkk. 2014) dan Lampiran 7 (Koefisien Site Boore dkk. 2014).

Variabilitas aleatory dinyatakan melalui suku acak ε dan simpangan baku total σ_T , yang umumnya dipisahkan menjadi komponen antar-kejadian (inter-event, τ) dan dalam-kejadian (intra-event, ϕ), sehingga $\sigma_T = \sqrt{\tau^2 + \phi^2}$. Parameter-parameter ketidakpastian (aleatory) untuk Boore dkk. (2014) dirangkum pada Lampiran 8 (Koefisien Aleatory Boore dkk. 2014).

3.4.4 GMPE Chiou & Youngs (2014)

Chiou & Youngs (2014) mengembangkan GMPE NGA-West2 untuk memprediksi Y (PGA, PGV, dan $SA(T)$) pada komponen Average Horizontal (RotD50) untuk rezim Active Shallow Crust. Secara umum, model menyatakan median $\ln Y$ sebagai fungsi dari karakteristik sumber/rupture, parameter jarak (pelemahan lintasan), serta respons situs yang mencakup efek linear-nonlinier berbasis V_{S30} dan pengaruh cekungan/basin melalui kedalaman $Z_{1.0}$ (kedalaman menuju $V_S = 1.0 \text{ km/s}$). Model ini juga memasukkan koreksi geometri rupture yang penting, seperti efek hanging-wall, kedalaman puncak rupture, dan kemiringan bidang sesar. Secara konseptual, bentuk umum dapat dituliskan sebagai:

$$\ln Y = f_{CY14}(M, R_{rup}, R_{JB}, R_x, \text{rake}, \text{dip}, z_{tor}, V_{S30}, vs30measured, z_{1.0}) + \varepsilon \sigma_T \quad (3.33)$$

dengan M magnitudo, R_{rup} jarak terdekat ke bidang rupture, R_{JB} jarak Joyner–Boore, dan R_x jarak tegak lurus jurus (untuk menangkap efek hanging-wall). Parameter rupture mencakup rake (klasifikasi mekanisme), dip, dan z_{tor} (kedalaman ke puncak rupture). Parameter situs mencakup V_{S30} , indikator $vs30measured$ (terukur atau terinferensi), serta $Z_{1.0}$ sebagai proksi ketebalan sedimen/basin.

Koefisien-koefisien untuk term median/rupture-path yang bergantung pada periode disajikan pada Lampiran 9 (Koefisien Dependent Chiou & Youngs 2014).

Koefisien khusus respons situs (termasuk pengaruh V_{S30} dan $Z_{1.0}$) dirangkum pada Lampiran 10 (Koefisien Respons Situs Chiou & Youngs 2014). Jika digunakan penyesuaian di luar wilayah referensi (mis. non-California), koefisien koreksi wilayah tercantum pada Lampiran 11 (Koefisien di Luar California Chiou & Youngs 2014). Parameter ketidakpastian aleatory—yang diringkas sebagai simpangan baku total σ_T (sering dipisahkan menjadi komponen antar-kejadian dan dalam-kejadian)—disajikan pada Lampiran 12 (Koefisien Aleatory Chiou & Youngs 2014).

3.4.5 GMPE Campbell & Bozorgnia (2014)

Campbell & Bozorgnia (2014) mengembangkan GMPE NGA-West2 untuk memprediksi Y (PGA, PGV, dan $SA(T)$) pada komponen Average Horizontal (RotD50) untuk rezim Active Shallow Crust. Secara umum, model menyatakan median $\ln Y$ sebagai fungsi dari parameter sumber/rupture, pelemahan terhadap jarak (path), serta respons situs, dengan pengaruh cekungan/basin direpresentasikan melalui parameter kedalaman $z_{2.5}$ (kedalaman menuju $V_S = 2.5 \text{ km/s}$). Bentuk umum model dapat dituliskan sebagai:

$$\ln Y = f_{CB14}(M, R_{rup}, R_{JB}, R_x, \text{rake}, \text{dip}, z_{tor}, \text{width}, h_{hyp}, V_{S30}, z_{2.5}) + \varepsilon \sigma_T \quad (3.34)$$

dengan M magnitudo, R_{rup} jarak terdekat ke bidang rupture, R_{JB} jarak Joyner–Boore, dan R_x jarak tegak lurus jurus (untuk menangkap asimetri posisi relatif terhadap bidang sesar). Parameter rupture mencakup rake (mekanisme), dip, z_{tor} (kedalaman puncak rupture), width (lebar rupture), serta h_{hyp} (kedalaman hiposenter). Parameter situs mencakup V_{S30} dan $z_{2.5}$ sebagai proksi ketebalan sedimen/basin.

Koefisien-koefisien model untuk median (yang bergantung pada periode/IMT) tercantum pada Lampiran 13 (Koefisien Campbell & Bozorgnia 2014). Parameter ketidakpastian aleatory (simpangan baku/standar deviasi,

termasuk σ_T dan komponennya sesuai formulasi model) disajikan pada Lampiran 14 (Standar Deviasi dan Aleatory Campbell & Bozorgnia 2014).

3.4.6 GMPE Abrahamson dan Gülerce (2020)

Abrahamson dan Gülerce N. Abrahamson & Gülerce (2020) mengembangkan GMPE berbasis basis data NGA-Sub untuk memprediksi parameter gerak tanah berupa PGA dan $SA(T)$ pada komponen Average Horizontal (RotD50) untuk rezim subduksi, baik pada gempa subduction interface maupun subduction intraslab. Model ini disusun sebagai model global dan regionalized, sehingga dapat diterapkan secara umum untuk wilayah subduksi yang tidak memiliki penyesuaian regional khusus, maupun untuk beberapa wilayah tertentu seperti Alaska, Cascadia, Jepang, Taiwan, Selandia Baru, Amerika Tengah–Meksiko, dan Amerika Selatan. Dalam implementasi OpenQuake, model ini tersedia sebagai AbrahamsonGulerce2020SInter untuk gempa interface dan AbrahamsonGulerce2020SSlab untuk gempa intraslab. Pada logic tree yang digunakan dalam penelitian ini, kedua model tersebut masing-masing diterapkan pada cabang Subduction Interface dan Subduction Inslab.

Secara umum, median $\ln Y$ pada model Abrahamson dan Gülerce (2020) dimodelkan sebagai fungsi dari komponen dasar model, penskalaan magnitudo, penskalaan jarak, atenuasi anelastik, pengaruh kondisi situs berbasis V_{S30} , serta penyesuaian regional. Untuk gempa intraslab, model juga memuat pengaruh tambahan dari kedalaman puncak rupture z_{tor} . Selain itu, pengaruh basin direpresentasikan melalui parameter $z_{2.5}$, tetapi komponen ini hanya aktif untuk region tertentu, terutama Cascadia dan Jepang. Model ini juga menyediakan simpangan baku total, ant:r-kejadian (τ), dan intra-kejadian (ϕ), serta penyesuaian epistemik median melalui parameter σ_μ pada model global. Bentuk umum persamaan dapat dituliskan sebagai:

$$\ln Y = f_{AG20}(M, R_{rup}, V_{S30}, z_{tor}, z_{2.5}, \text{region}) + \varepsilon\sigma_T \quad (3.35)$$

dengan Y menyatakan parameter gerak tanah berupa PGA atau $SA(T)$, M adalah magnitudo momen, R_{rup} adalah jarak terdekat ke bidang rupture,

V_{S30} adalah kecepatan gelombang geser rata-rata pada kedalaman 30 m, z_{tor} adalah kedalaman puncak rupture, dan $z_{2.5}$ adalah kedalaman menuju lapisan dengan kecepatan gelombang geser 2,5 km/s yang digunakan untuk merepresentasikan pengaruh basin pada region tertentu. Variabel ε menyatakan variabel acak standar, sedangkan σ_T adalah simpangan baku total model. Untuk kejadian interface, parameter masukan utama dalam implementasi OpenQuake adalah M , R_{rup} , dan V_{S30} . Untuk kejadian intraslab, parameter tersebut ditambah dengan z_{tor} . Model ini didefinisikan terhadap kecepatan referensi batuan 1000 m/s.

Secara konseptual, formulasi Abrahamson dan Gülerce N. Abrahamson & Gülerce (2020) membedakan kontribusi sumber dan rambatan gelombang antara gempa interface dan intraslab. Perbedaan tersebut tercermin pada bentuk penskalaan magnitudo, geometri penyebaran, serta pengaruh kedalaman rupture yang dimasukkan secara eksplisit pada model intraslab. Di sisi lain, pengaruh kondisi situs dimodelkan melalui komponen linear dan nonlinier berbasis V_{S30} , dengan acuan batuan referensi $V_S = 1000\text{m/s}$. Untuk model global, penyesuaian epistemik median diberikan sebagai fungsi jarak melalui koefisien e_1 , e_2 , dan e_3 , sehingga ketidakpastian epistemik antardaerah tetap dapat direpresentasikan walaupun model digunakan di luar region kalibrasi khusus.

Koefisien utama model Abrahamson dan Gülerce (2020) disajikan pada Lampiran 15 dan Lampiran 16, masing-masing dalam bentuk Koefisien utama AG2020 bagian 1 dan Koefisien utama AG2020 bagian 2. Koefisien regional model disajikan secara bertahap pada Lampiran 17 sampai Lampiran 20, yaitu Koefisien regional AG2020 bagian 1A, Koefisien regional AG2020 bagian 1B, Koefisien regional AG2020 bagian 2A, dan Koefisien regional AG2020 bagian 2B. Selanjutnya, koefisien variabilitas disajikan pada Lampiran 21 dan Lampiran 22, masing-masing sebagai Koefisien variabilitas AG2020 bagian 1 dan Koefisien variabilitas AG2020 bagian 2. Adapun koefisien penyesuaian epistemik disajikan pada Lampiran 23 dengan judul Koefisien penyesuaian epistemik AG2020.

3.4.7 GMPE Kuehn dkk. (2020)

Kuehn dkk. (2020) mengembangkan GMPE subduksi berbasis database NGA-Subduction untuk memprediksi Y (PGA, PGV, dan $SA(T)$ redaman 5%) pada komponen average horizontal (RotD50), dengan pemisahan subduction interface dan intraslab. Secara umum, median $\ln Y$ dimodelkan sebagai fungsi penskalaan sumber (magnitudo), penskalaan jarak/path, parameter kedalaman/rupture, respons situs berbasis V_{S30} , serta pengaruh basin yang bergantung definisi parameter basin regional, disertai opsi koreksi regional dan (pada beberapa zona) pemisahan forearc–backarc untuk menangkap perbedaan atenuasi. Bentuk umum persamaan dapat ditulis:

$$\ln Y = f_{KBCG20}(M, R_{rup}, z_{tor}, V_{S30}, z_B, \text{region}, \text{type}) + \varepsilon \sigma_T \quad (3.36)$$

dengan Y adalah IMT (PGA/PGV/ $SA(T)$); M adalah magnitudo momen M_w ; R_{rup} adalah jarak terdekat ke bidang rupture; z_{tor} adalah kedalaman ke puncak rupture; dan V_{S30} adalah kecepatan gelombang geser rata-rata 30 m teratas. Pengaruh basin dinyatakan oleh z_B , yang implementasinya mengikuti definisi model basin regional (misalnya memakai $z_{2.5}$ atau $z_{1.0}$ sesuai region). Variabel region merepresentasikan pengelompokan zona subduksi (mis. Alaska, Cascadia, Central America–Mexico, Japan, New Zealand, South America, Taiwan, serta model global), sedangkan type membedakan kejadian interface dan intraslab. Variabilitas aleatory dinyatakan oleh ε (variabel acak standar) dan σ_T (simpangan baku total pada $\ln Y$).

Koefisien median dan term regional (termasuk pengelompokan region dan pemisahan interface–intraslab yang relevan) disajikan pada Lampiran 24 (Koefisien dan Term Regional Kuehn dkk. 2020). Koefisien respons situs dan parameter aleatory/standar deviasi disajikan pada Lampiran 25 (Koefisien Site dan Aleatory Kuehn dkk. 2020). Ringkasan koefisien mean/komponen utama model disajikan pada Lampiran 26 (Koefisien Mean Kuehn dkk. 2020).

3.5 *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*

Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) merupakan kerangka untuk mengkuantifikasi peluang/probabilitas bahwa suatu tingkat gerakan tanah tertentu akan terlampaui setidaknya sekali pada lokasi tinjauan selama durasi eksposur tertentu. Dalam praktik, keluaran utamanya adalah hazard curve, yaitu hubungan level intensitas gerak tanah (mis. PGA atau SA(T)) terhadap probabilitas tahunan atau laju tahunan terlampauinya level tersebut. Kijko (2011) menekankan bahwa PSHA menghitung kontribusi dari seluruh gempa yang mungkin (berbagai magnitudo dan jarak) dengan mempertimbangkan frekuensi kejadiannya.

Untuk menghitung bahaya gempa secara probabilistik, PSHA menggabungkan dua komponen utama: (1) model kejadian gempa pada tiap sumber (*recurrence* yang direpresentasikan oleh MFD dan laju kejadian), serta (2) model gerakan tanah (*ground-motion model*/GMPE) yang memetakan skenario gempa (misalnya magnitudo dan jarak) menjadi intensitas guncangan di lokasi. J. W. Baker (2013) menjelaskan bahwa distribusi magnitudo dan jarak dari sumber gempa, bersama GMPE, digunakan untuk menghitung peluang terlampaui bersyarat dan kemudian dijumlahkan/diintegrasikan menjadi annual rate of exceedance. Sejalan dengan itu, USGS menegaskan bahwa model hazard probabilistik umumnya tersusun setidaknya dari dua komponen utama, yaitu seismic-source model dan ground-motion model, yang digabungkan dalam suatu kerangka probabilistik untuk memproyeksikan kejadian gempa dan guncangan yang ditimbulkannya.

Dalam metodologi klasik Cornell–McGuire, PSHA disusun dari empat langkah utama:

1. Identifikasi dan parameterisasi sumber gempa (area/fault/point),
2. Spesifikasi distribusi waktu dan magnitudo (umumnya Poisson dan Gutenberg–Richter),
3. Pemilihan GMPE beserta ketidakpastiannya, dan
4. Integrasi ketidakpastian lokasi–magnitudo–GMPE untuk memperoleh hazard curve.

3.5.1 *Total Probability*

1. Teorema Probabilitas Total lintas sumber

Misalkan intensitas gerak tanah yang ditinjau dinotasikan sebagai Y , dan nilai ambang yang diuji adalah y . Jika di sekitar lokasi dapat dibedakan n_s sumber gempa, maka probabilitas terlampauinya y (secara konseptual) dapat ditulis dengan teorema probabilitas total sebagai penjumlahan kontribusi dari tiap sumber E_i :

$$P(Y \geq y) = \sum_{i=1}^{n_s} P(Y \geq y | E_i) P(E_i) \quad (3.37)$$

dengan $P(Y \geq y | E_i)$ adalah peluang eksedansi bersyarat saat gempa terjadi pada sumber i , sedangkan $P(E_i)$ merepresentasikan “porsi” kejadian yang berasal dari sumber i .

2. Probabilitas Eksedansi Bersyarat Sebagai Integral Ketidakpastian

Kijko (2011) menyatakan bahwa peluang eksedansi bersyarat $P(Y \geq y | E_i)$ diperoleh dengan mengintegrasikan peluang bersyarat terhadap variabel-variabel ketidakpastian yang mengendalikan Y . Dalam PSHA klasik, variabel utama yang digunakan adalah magnitudo M dan jarak R , sehingga:

$$P(Y \geq y | E_i) = \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \int P(Y \geq y | m, r) f_{M_i}(m) f_{R_i|M_i}(r | m) dr dm \quad (3.38)$$

Dalam Persamaan (3.38), $f_{M_i}(m)$ dan $f_{R_i|M_i}(r | m)$ adalah probability density function (PDF) atau fungsi kerapatan peluang untuk variabel acak kontinu. PDF tidak menyatakan peluang pada satu nilai tunggal, melainkan bila diintegrasikan pada suatu interval akan menghasilkan peluang variabel berada pada interval tersebut. Secara umum, untuk variabel kontinu X dengan PDF

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f_X(x) dx \quad (3.39)$$

dengan sifat $f_X(x) \geq 0$ dan $\int_{-\infty}^{\infty} f_X(x) dx = 1$. Keterangan penting: $f_{M_i}(m)$ menyatakan sebaran (kerapatan peluang) magnitudo pada sumber i . Sementara itu, $f_{R_i|M_i}(r | m)$ menyatakan sebaran jarak R yang bersyarat pada

magnitudo m . Bentuk bersyarat ini diperlukan khususnya untuk sumber patahan/rupture karena dimensi dan geometri rupture (dan karenanya jarak ke rupture) dapat berubah mengikuti magnitudo, sehingga M dan R tidak selalu independen. Untuk kasus yang lebih sederhana (misalnya *area source* homogen), sering diasumsikan M dan R tidak berkorelasi sehingga dapat digunakan distribusi jarak tak bersyarat $f_{R_i}(r)$.

3. Dari “Probabilitas Bersyarat” Menjadi “Laju Tahunan Eksedansi”

Agar menjadi *hazard* (dalam arti laju tahunan), Kijko (2011) menyatakan setiap sumber i memiliki laju kejadian tahunan λ_i (parameter proses Poisson) untuk kejadian dengan $m \geq m_{\min}$. Maka laju tahunan terlampauinya ydi lokasi (akumulasi seluruh sumber) adalah:

$$\lambda(y) = \sum_{i=1}^{n_s} v_i \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \int P(Y \geq y | m, r) f_{M_i}(m) f_{R_i|M_i}(r | m) dr dm \quad (3.40)$$

Persamaan (3.40) adalah bentuk “Cornell–McGuire integral” yang dibutuhkan sebagai formula utama PSHA: *seismicity model* masuk lewat v_i dan $f_{M_i}(m)$, sedangkan *geometri sumber* masuk lewat $f_{R_i|M_i}(r | m)$, dan *ground-motion model* masuk lewat $P(Y \geq y | m, r)$.

4. Probabilitas Bersyarat Dari GMPE (Lognormal)

Kijko (2011) menjelaskan pilihan standar bahwa $Y(\text{IM})$ bersifat lognormal, sehingga $\ln(Y) = g(m, r) + \varepsilon$, dengan ε adalah error acak; akibatnya peluang eksedansi bersyarat dihitung memakai komplemen CDF normal.

$$P(Y \geq y | m, r) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(y) - \mu_{\ln Y}(m, r, \dots)}{\sigma_{\ln Y}}\right) \quad (3.41)$$

dengan $\mu_{\ln Y}(m, r, \dots)$ median (di ruang log) dari GMPE dan $\sigma_{\ln Y}$ simpangan baku aleatory GMPE.

5. Bentuk PDF Magnitudo Dari Gutenberg–Richter (Truncated Exponential)

Bila Gutenberg–Richter digunakan dalam PSHA dengan batas $m_{\min}$ dan $m_{\max}$, maka PDF magnitudo menjadi eksponensial negatif yang digeser ke $m_{\min}$ dan ditrunkasi di $m_{\max}$:

$$f_M(m) = \frac{\beta \exp [-\beta(m - m_{\min})]}{1 - \exp [-\beta(m_{\max} - m_{\min})]}, m_{\min} \leq m \leq m_{\max} \quad (3.42)$$

Catatan praktis (mengikat “ a ” dan laju λ ”): jika Pers. (3.4) dipahami sebagai laju tahunan kumulatif, maka $\lambda \equiv N(M \geq m_{\min}) = 10^{a-bm_{\min}}$. Ini yang membuat λ_i pada Pers. (3.40) konsisten sebagai parameter Poisson untuk kejadian di atas $m_{\min}$.

6. Bentuk Diskret (Numerik) Untuk Implementasi Komputasional

Dalam komputasi, integral pada Pers. (3.40) umumnya dihitung numerik dengan membagi rentang magnitudo menjadi n_M interval dan jarak menjadi n_R interval. Dengan titik wakil m_j dan r_k , pendekatan Riemann untuk laju tahunan eksedansi dapat ditulis:

$$\lambda(y) \approx \sum_{i=1}^{n_S} \sum_{j=1}^{n_M} \sum_{k=1}^{n_R} v_i P(Y \geq y | m_j, r_k) f_{M_i}(m_j) f_{R_i|M_i}(r_k | m_j) \Delta m \Delta r \quad (3.43)$$

dengan titik wakil dan ukuran langkah:

$$m_j = m_{\min} + (j - 0.5)\Delta m, \Delta m = \frac{m_{\max} - m_{\min}}{n_M} \quad (3.44)$$

$$r_k = r_{\min} + (k - 0.5)\Delta r, \Delta r = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{n_R} \quad (3.45)$$

Jika M dan R dianggap tidak berkorelasi, maka $f_{R_i|M_i}(r_k | m_j)$ dapat diganti dengan $f_{R_i}(r_k)$. (Dalam implementasi rupture-diskret, bentuk ini ekuivalen dengan penjumlahan kontribusi semua skenario/rupture melalui laju tahunan masing-masing rupture.)

7. Asumsi Poisson Dan Hubungan Laju–Probabilitas (Hazard Curve)

Setelah $\lambda(y)$ diperoleh, peluang bahwa level yakan terlampaui setidaknya sekali selama t tahun (asumsi proses Poisson) adalah:

$$P(Y \geq y; t) = 1 - \exp[-\lambda(y) t] \quad (3.46)$$

Kijko Kijko (2011) menegaskan bahwa untuk $t = 1$ tahun, grafik Pers. (3.46) terhadap y merupakan hazard curve; dan untuk probabilitas kecil, $P(Y \geq y; t) \approx \lambda(y)t$.

3.5.2 Ketidakpastian Aleatory dan Epistemic (Logic Tree)

Ketidakpastian dalam PSHA umumnya dipisahkan menjadi dua kelompok besar, yaitu aleatory (variabilitas alamiah) dan epistemic (ketidakpastian pengetahuan/model). Dalam konteks model gerakan tanah, Widodo (2018) menegaskan bahwa prediksi gerak tanah (melalui GMPE) secara eksplisit mengandung ketidakpastian yang lazim dirujuk sebagai *epistemic* dan *aleatory uncertainty*, sehingga pemodelan hazard perlu menyatakan kedua jenis ketidakpastian tersebut.

1. Ketidakpastian Aleatory Vs Epistemic

Ketidakpastian aleatory adalah variabilitas intrinsik dari fenomena alam yang tetap ada walaupun pengetahuan meningkat. Widodo (2018) menyoroti bahwa respons guncangan sangat dipengaruhi oleh karakteristik kondisi situs yang secara alami bervariasi, seperti tipe tanah, soil variability, non-linearity tanah, muka air tanah, ketebalan endapan, serta parameter dinamik seperti kecepatan gelombang geser; variasi sifat-sifat ini merupakan sumber variabilitas yang tidak dapat “dihilangkan” hanya dengan memilih satu model terbaik. Dalam konteks GMPE, variabilitas aleatory umumnya direpresentasikan melalui simpangan baku (σ) pada asumsi sebaran lognormal intensitas gerakan tanah bersyarat pada parameter gempa (mis. M , R , mekanisme, dan kondisi situs). Abrahamson (2007) menekankan bahwa aleatory adalah “randomness”/ variabilitas yang diparameterisasi secara probabilistik (misalnya sebagai standar deviasi model atenuasi), dan dapat berkurang bila model memasukkan parameter fisik yang *fixed* untuk kejadian masa depan (sehingga sebagian variabilitas berpindah dari “acak” menjadi “terjelaskan”).

Ketidakpastian epistemic adalah ketidakpastian pengetahuan/model (*scientific uncertainty*) akibat keterbatasan data dan penyederhanaan model—misalnya perbedaan interpretasi geometri sumber, laju kejadian, bentuk model rekurensi, nilai $M_{\max}$, atau pilihan/kalibrasi GMPE. Inti epistemic ini tampak jelas pada studi Widodo (2018), yang menunjukkan bahwa peta PGA pascagempa Yogyakarta dapat berbeda jauh antar peneliti karena penggunaan sumber gempa, metode analisis, serta kriteria pemilihan/eksklusi GMPE yang berbeda, dan penelitian tersebut secara eksplisit menekankan pemecahan masalah lapangan dengan data yang sangat terbatas—kondisi yang secara langsung memperbesar ketidakpastian model. Sejalan dengan itu, Abrahamson (2007) membedakan epistemic sebagai ketidakpastian pada “model yang benar” namun belum diketahui, sehingga lebih tepat direpresentasikan sebagai alternatif model/parameter (mis. melalui *logic tree*) dan dihitung sebagai sekumpulan hazard curve berbobot. Der Kiureghian & Ditlevsen (2009) menegaskan bahwa ketidakpastian dikategorikan epistemic bila pemodel melihat adanya kemungkinan untuk menguranginya melalui tambahan data atau penyempurnaan model.

Tabel 3.4 Perbedaan Aleatory dan Epistemic

Aspek	Aleatory	Epistemic
Makna	Variabilitas alamiah (acak) yang tetap ada	Ketidakpastian pengetahuan/model
Contoh	<i>Event-to-event, within-event</i> , variasi respons situs (tipe tanah, nonlinieritas, amplifikasi, (V_s), dll.)	Geometri sumber, laju kejadian, model rekurensi, ($M_{\max}$), pilihan/kalibrasi GMPE (hasil bisa berbeda antar studi)
Representasi	(σ) GMPE (sebaran lognormal IM)	Alternatif model/parameter (cabang)
Penanganan PSHA	Masuk ke ($P(IM > x M, R)$) lewat (σ)	Dipropagasikan via logic tree (mean & fractiles)
Dapat dikurangi?	Umumnya tidak (hanya bisa “dipersempit” sebagian)	Ya, dengan data/model lebih baik

2. Model rekurensi Gutenberg–Richter (GR) dan Characteristic

Model GR merepresentasikan kejadian gempa sebagai distribusi eksponensial terhadap magnitudo (sering dipakai sebagai *truncated exponential* ketika dibatasi oleh $M_{\max}$). Secara konseptual, GR cocok untuk memodelkan populasi

kejadian yang “menyebar” pada rentang magnitudo, terutama ketika data katalog dominan dan belum ada bukti kuat perilaku *repeatable large event* pada suatu segmen sesar.

Sementara itu, Model characteristic mengalokasikan porsi kejadian yang lebih “terkonsentrasi” pada magnitudo besar tertentu (dekat magnitudo karakteristik), sehingga meningkatkan kontribusi kejadian besar dibanding GR untuk laju total yang setara. Model ini sering dipertimbangkan pada sumber sesar terpetakan yang menunjukkan kontrol geometri/segmen dan potensi kejadian besar berulang.

Dalam praktik pemodelan hazard, kedua model ini dapat dijadikan node logic tree “model rekurensi”: satu cabang GR dan satu cabang characteristic. Contoh pembobotan yang eksplisit ditunjukkan oleh Asrurifak dkk. (2010), yang menggunakan dua cabang rekurensi—*truncated exponential* dan *characteristic*—dengan bobot 0.34 dan 0.66 (masing-masing) untuk sumber sesar dan subduksi.

3. $M_{\min}$ (Minimum Magnitude)

Parameter $M_{\min}$ adalah batas bawah magnitudo yang dimasukkan dalam perhitungan PSHA untuk suatu sumber gempa. Secara matematis, $M_{\min}$ menjadi batas integrasi (atau batas penjumlahan diskret) pada distribusi magnitudo, sehingga mengontrol apakah kejadian gempa bermagnitudo kecil ikut berkontribusi pada laju terlampaunya intensitas $IM > x$. Dengan kata lain, semakin kecil $M_{\min}$ maka semakin banyak kejadian kecil yang diperhitungkan, yang umumnya lebih berpengaruh pada hazard untuk IML rendah–menengah dan/atau periode pendek (tergantung jarak dan GMPE).

Dalam formulasi PSHA, kontribusi sebuah sumber sering dituliskan sebagai laju tahunan terlampaui yang diintegrasikan terhadap magnitudo dari $M_{\min}$ hingga $M_{\max}$, sebagaimana pada persamaan (3.40) sebelumnya. Pada implementasi diskret, konsep yang sama muncul sebagai penjumlahan kontribusi skenario (bin magnitudo/rupture) dengan magnitudo $m \geq M_{\min}$.

Bommer dan Crowley (2017) menekankan bahwa penetapan $M_{\min}$ pada dasarnya lebih merupakan parameter rekayasa (engineering) daripada

parameter seismologi murni, karena tujuannya adalah memastikan perhitungan hazard memasukkan kejadian yang relevan terhadap konsekuensi (misalnya kebutuhan desain/risiko) dan mengabaikan kejadian yang secara praktis tidak mengubah hasil yang dibutuhkan. Bommer dan Crowley J. J. Bommer & Crowley (2017) juga menjelaskan definisi operasional $M_{\min}$ sebagai batas bawah integrasi magnitudo yang dipilih sedemikian rupa sehingga jika $M_{\min}$ diturunkan lagi, estimasi risiko yang dihitung tidak berubah secara berarti; artinya, gempa di bawah $M_{\min}$ dianggap tidak memberikan kontribusi penting terhadap tujuan aplikasi analisis. Selain itu, mereka menegaskan bahwa penilaian bahaya seismik pada akhirnya tidak dapat dilepaskan dari pertimbangan risiko, sehingga pemilihan $M_{\min}$ sebaiknya selalu dikaitkan dengan konteks penggunaan hasil PSHA.

Penetapan $M_{\min}$ umumnya mempertimbangkan dua aspek berikut:

a. Kelayakan fisik dan kontribusi engineering

Gempa kecil pada umumnya tidak mengontrol intensitas desain tertentu (terutama pada periode menengah–panjang), sehingga pemilihan $M_{\min}$ yang terlalu rendah dapat memperbesar beban komputasi tanpa menambah informasi yang signifikan untuk tujuan desain/risiko.

b. Konsistensi dengan analisis seismisitas katalog

$M_{\min}$ perlu konsisten dengan rentang magnitudo yang digunakan untuk estimasi laju kejadian pada Bab 3.2. Di sini penting dibedakan bahwa M_c (magnitude of completeness) adalah batas kelengkapan data katalog, sedangkan $M_{\min}$ adalah batas kontribusi untuk perhitungan *seismic hazard analysis*. Keduanya bisa sama, tetapi tidak harus identik: $M_{\min}$ dapat dipilih $\geq M_c$ agar laju kejadian yang digunakan tetap representatif dan tidak dipengaruhi oleh ketidaklengkapan katalog pada magnitudo kecil.

Apabila terdapat ketidakpastian yang nyata mengenai nilai $M_{\min}$ yang paling sesuai (misalnya karena perbedaan tujuan analisis atau perbedaan metrik risiko/IM yang ditinjau), $M_{\min}$ dapat diperlakukan sebagai ketidakpastian epistemic melalui node logic tree. Namun, dalam banyak studi desain, $M_{\min}$ sering dipilih sebagai nilai tunggal yang dianggap memadai agar interpretasi

hasil hazard tetap konsisten, dengan tetap mempertahankan dasar pemilihan yang terkait kebutuhan engineering sebagaimana ditekankan Bommer dan Crowley J. J. Bommer & Crowley (2017).

4. $M_{\max} \pm 0.2$ Dan Variasi Epistemic

Parameter $M_{\max}$ merepresentasikan batas atas magnitudo yang mungkin terjadi pada suatu sumber, dan merupakan salah satu pengendali utama hazard pada periode ulang besar (ekstrem). Karena observasi historis umumnya jauh lebih pendek dibanding siklus gempa besar, estimasi $M_{\max}$ sering mengandung ketidakpastian (misalnya keterbatasan data paleoseismik, interpretasi segmentasi, serta asumsi *scaling* geometri rupture), sehingga lazim diperlakukan sebagai ketidakpastian epistemic.

Salah satu pendekatan yang umum dalam PSHA adalah menurunkan $M_{\max}$ dari geometri rupture maksimum menggunakan relasi empiris *magnitude-rupture area*. Dalam kompilasi relasi empiris yang bersumber dari Wells dan Coppersmith (1994), hubungan All-slip-type antara magnitudo momen dan luas rupture A (km²) dituliskan sebagai:

$$M_w = 4.07 + 0.98 \log A \quad (3.47)$$

dengan log berbasis-10 dan A dalam km². Untuk mempropagasikan ketidakpastian epistemic pada $M_{\max}$, praktik yang umum adalah membuat tiga cabang:

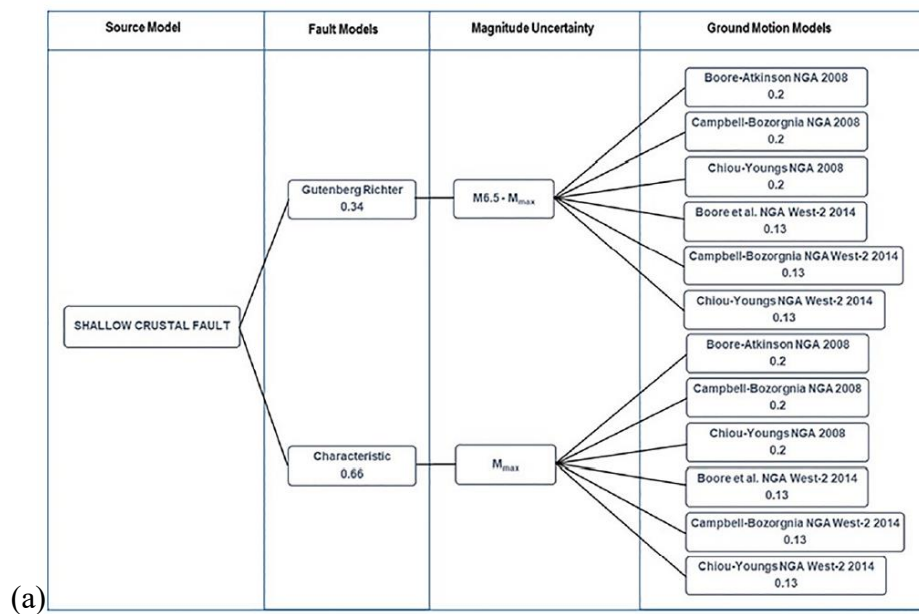
$$M_{\max} = M_{\max} - 0.2, M_{\max} = M_{\max}, M_{\max} = M_{\max} + 0.2 \quad (3.48)$$

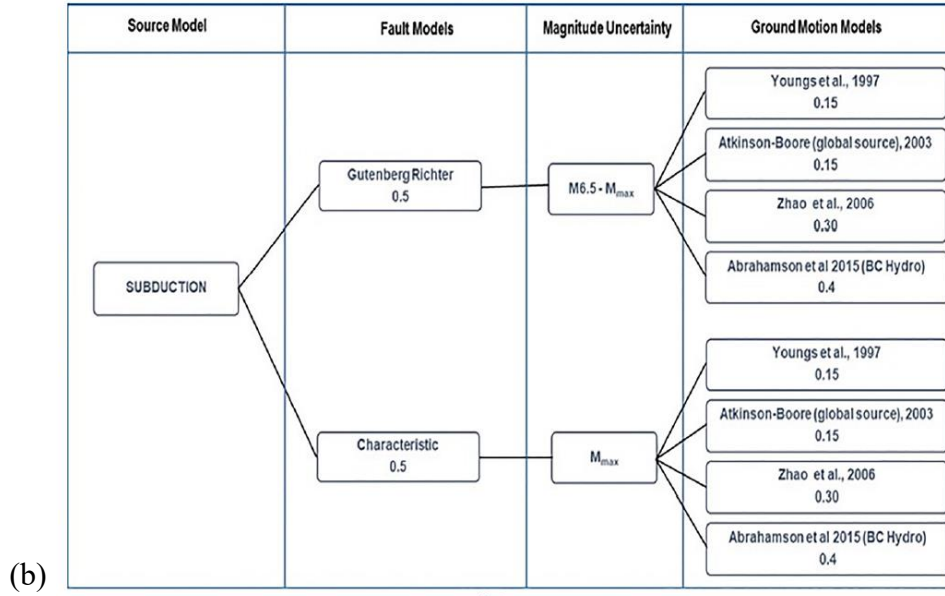
dengan bobot simetris 0.2/0.6/0.2 (rendah/menengah/tinggi). Praktik ini dapat ditelusuri pada beberapa model hazard yang menggunakan logic tree. Asrurifak dkk. (2010) menuliskan secara eksplisit skema tiga cabang tersebut sebagai “ $M_{\max} - 0.2$ (0.2), $M_{\max}$ (0.6), $M_{\max} + 0.2$ (0.2)”. Dalam konteks pemodelan sumber pada pembaruan model hazard nasional, Moschetti dkk. (2015) juga menyajikan bentuk yang konsisten, yakni “ $M_{\text{full}} - 0.2$, M_{full} , $M_{\text{full}} + 0.2$ ” dengan bobot “(0.2) (0.6) (0.2)”.

Pada aplikasi PSHA berbasis logic tree di Indonesia, Syahbana dkk. (2020) menunjukkan node “Magnitude Uncertainty” yang memuat “ $M_{\max} - 0.2, M_{\max}, M_{\max} + 0.2$ ” dengan bobot “(1/5) (3/5) (1/5)”. Rasionalisasi skema tersebut adalah: nilai pusat dianggap paling mungkin (bobot 0.6), sedangkan dua nilai ekstrem merepresentasikan alternatif yang masih masuk akal namun kurang mungkin (masing-masing 0.2). Secara implikasi, variasi $M_{\max}$ umumnya paling memengaruhi bagian ekor hazard curve (IML tinggi / periode ulang besar), karena kontribusi kejadian magnitudo besar menjadi dominan pada tingkat eksedansi yang kecil.

5. Logic Tree

Berdasarkan node-node yang relevan di atas, logic tree final untuk epistemic uncertainty dapat disusun sebagaimana Gambar 3.13. Struktur umum logic tree pada pemetaan hazard Indonesia juga ditunjukkan oleh Irsyam dkk. (2020), yang memperlihatkan percabangan model rekurensi, $M_{\max}$, dan pemilihan GMPE untuk tiap rezim sumber.





Gambar 3.13 Model Logic Tree Irsyam dkk. (2020) (a) Fault (b) Subduction
 Sumber : Irsyam dkk. (2020) Fig 9 (a) & (b)

- Node A (rekurensi): GR vs characteristic (bobot per node dijumlahkan = 1).
- Node B (M_{max}): $M_{max} - 0.2$, M_{max} , $M_{max} + 0.2$ (mis. 0.2/0.6/0.2).
- Node C (GMPE/GMM): beberapa model atenuasi (mis. 3 GMPE dengan bobot tertentu).

Jika terdapat N_{node} dan total K jalur (path), maka bobot total untuk path ke- k adalah hasil kali bobot cabang pada tiap node:

$$W_k = \prod_{n=1}^{N_{node}} w_{k,n} \quad (3.49)$$

Coppersmith dkk. (2010) (guidance SSHAC Level 3–4) menjelaskan bahwa hazard curve dihitung untuk tiap path, dan bobot total kurva adalah produk bobot branch pada path tersebut; dari kumpulan kurva berbobot ini dapat dihitung mean hazard dan fractiles. Mean hazard pada level x dapat dituliskan:

$$\bar{\lambda}(IM > x) = \sum_{k=1}^K W_k \lambda_k(IM > x), \sum_{k=1}^K W_k = 1 \quad (3.50)$$

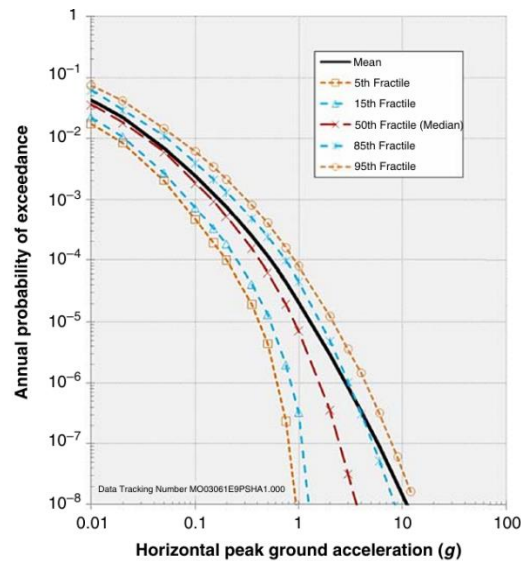
Sementara itu, *fractiles* (mis. P5–P50–P95) diperoleh dari distribusi kumulatif hazard berbobot pada setiap IML x , sehingga pengguna dapat melihat rentang epistemic selain nilai rata-rata/median.

Dengan pemisahan ini, aleatory terutama mempengaruhi bentuk peluang bersyarat melalui sebaran (mis. σ GMPE) dan variasi acak kejadian, sedangkan epistemic direpresentasikan sebagai sekumpulan alternatif model yang secara eksplisit ditelusuri melalui logic tree dan ditampilkan sebagai suite of hazard curves.

3.5.3 Hazard Curve

Di antar hasil utama PSHA pada suatu lokasi adalah hazard curve, yaitu hubungan antara level intensitas gerakan tanah x (misalnya PGA atau $SA(T)$) terhadap laju tahunan terlampaui $\lambda(IM > x)$, dan/atau peluang terlampaui selama durasi t tahun. Secara konsep, keluaran ini mengikuti kerangka PSHA klasik yang diperkenalkan Cornell Cornell (1968) dan implementasi komputasional oleh McGuire (1976), di mana bahaya pada suatu level intensitas diperoleh dengan mengakumulasi kontribusi seluruh skenario gempa yang mungkin.

Dalam implementasi klasik berbasis rupture diskret, perhitungan $\lambda(IM > x)$ pada dasarnya menggunakan bentuk penjumlahan skenario/rupture yang telah diperkenalkan pada Pers. (3.40) (yakni λ sebagai penjumlahan v_j dikalikan peluang terlampaui bersyarat dari GMPE untuk tiap skenario). Selanjutnya, bila diperlukan dalam bentuk peluang terlampaui selama t tahun, transformasi dari laju ke peluang mengikuti asumsi proses Poisson yang telah dinyatakan pada Pers. (3.46). Dengan demikian, hazard curve dibangun dengan mengevaluasi $\lambda(IM > x)$ untuk serangkaian nilai x , sehingga diperoleh kurva λ terhadap x .



Gambar 3.14 Contoh hazard curve: hubungan (PGA, g) terhadap laju tahunan terlampaui
Sumber : Baker dkk. (2013)

Gambar 3.14 memperlihatkan *contoh hazard curve* pada satu lokasi, yang menyatakan hubungan antara intensitas gerakan tanah (mis. PGA dalam satuan g) dan laju tahunan terlampaui $\lambda(IM > x)$ atau *annual probability/rate of exceedance*. Kurva yang lebih tinggi menunjukkan peluang terlampaui yang lebih besar pada level intensitas yang sama, sedangkan beberapa garis (mean dan fractiles) merepresentasikan rentang hasil akibat ketidakpastian epistemic yang dipropagasikan melalui logic tree. Kurva inilah yang menjadi dasar untuk penentuan level intensitas pada tingkat bahaya tertentu dan pengembangan ke spektra hazard.

3.6 Hazard Spectra

Hazard curve pada pembahasan sebelumnya menyatakan hubungan antara level intensitas x dan laju tahunan terlampaui $\lambda(IM > x)$ untuk satu *intensity measure* (mis. PGA atau *SA* pada satu periode tertentu). Sementara itu, Hazard spectra memperluas konsep tersebut menjadi representasi spektral sebagai fungsi periode T , sehingga tuntutan gerak tanah yang digunakan tetap konsisten terhadap tingkat bahaya yang sama di berbagai periode. McGuire R. K. McGuire (2004) menjelaskan bahwa spektra berbasis hazard disusun agar tuntutan gempa untuk

desain merepresentasikan tingkat bahaya yang sama pada berbagai periode (frekuensi) struktur, sehingga spektrumnya konsisten lintas periode.

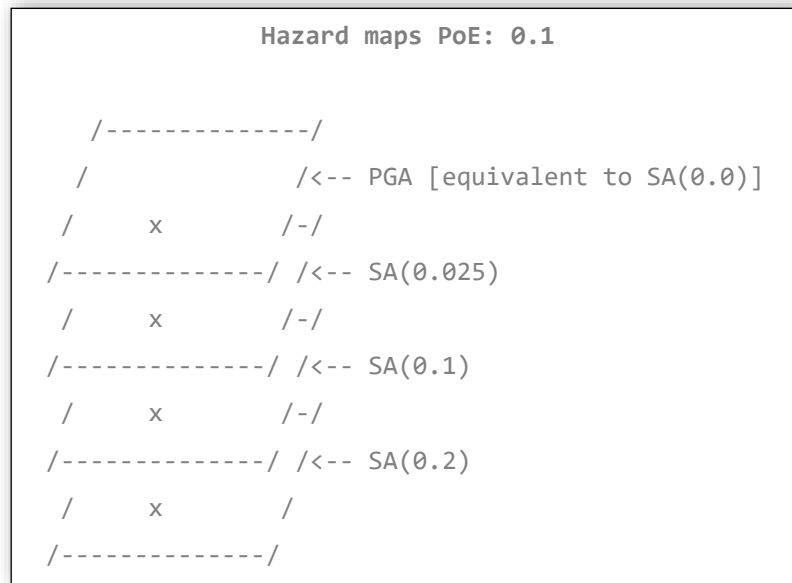
3.6.1 *Uniform Hazard Spectra, UHS*

Uniform Hazard Spectrum (UHS) adalah spektrum respons elastik (umumnya redaman 5%) yang ordinatnya dipilih sehingga pada setiap periode T memiliki tingkat bahaya yang sama. McGuire R. K. McGuire (2004) menjelaskan bahwa UHS adalah spektrum amplitudo terhadap periode struktur untuk laju eksedansi tahunan yang tetap.

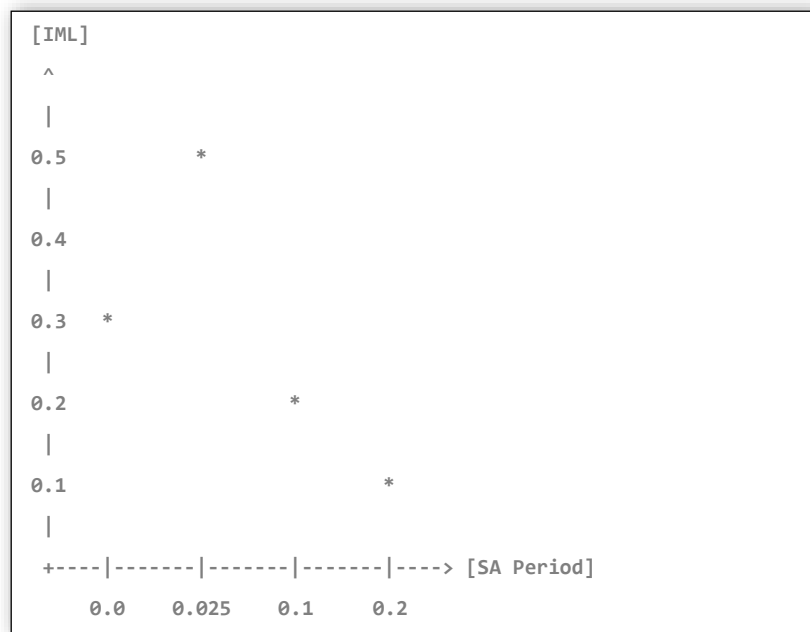
UHS dibentuk dari kumpulan hazard curve pada berbagai periode. Untuk setiap periode T , hazard curve memberikan hubungan $\lambda_T(SA(T) > x)$. Jika ditetapkan tingkat bahaya target λ^* , maka ordinat UHS pada periode T adalah $SA^*(T)$ yang memenuhi:

$$\lambda_T(SA(T) > SA^*(T)) = \lambda^* \quad (3.51)$$

Sebagai ilustrasi, dokumentasi OpenQuake menunjukkan bahwa UHS dapat dibentuk dari peta hazard pada probabilitas terlampaui (Probability of Exceedance, PoE) tertentu. Untuk tingkat bahaya 10% dalam 50 tahun ($PoE = 0,10$), terlebih dahulu dihitung peta hazard untuk beberapa IMT, misalnya PGA (setara $SA(0,0)$), $SA(0,2)$, $SA(1,0)$, dan $SA(2,0)$. Pada setiap peta, diambil nilai intensitas gerak tanah (IML) di lokasi yang sama; misalnya diperoleh $PGA = 0,6$ g, $SA(0,2) = 1,6$ g, $SA(1,0) = 0,45$ g, dan $SA(2,0) = 0,20$ g pada $PoE 0,10$. Dalam praktiknya, nilai-nilai IML pada PoE tersebut diperoleh dengan melakukan interpolasi pada masing-masing hazard curve, sebagaimana diimplementasikan dalam perangkat lunak OpenQuake. Titik-titik (T, SA) ini kemudian diplot terhadap perioda (0,0 s; 0,2 s; 1,0 s; 2,0 s) sehingga membentuk satu kurva UHS pada tingkat bahaya 10% dalam 50 tahun ($PoE = 0,10$), seperti ditunjukkan pada Gambar 3.15 dan Gambar 3.16.

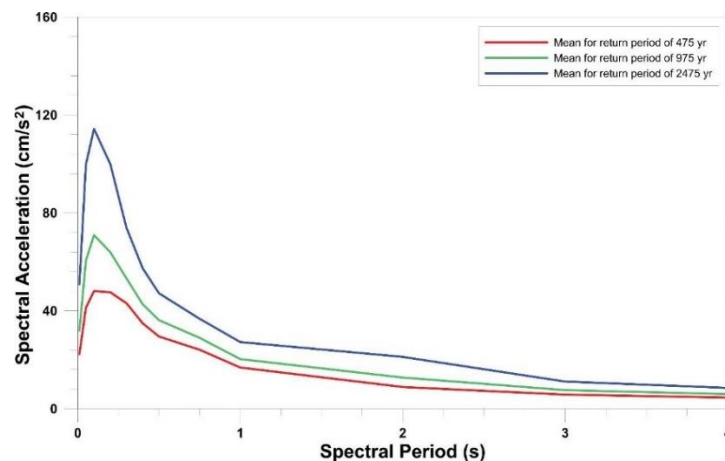


Gambar 3.15 Visualisasi pengambilan IML pada PoE = 10% dalam 50 tahun
 Sumber : Uniform Hazard Spectra, Openquake



Gambar 3.16 Kurva Uniform Hazard Spectrum (UHS) 10% dalam 50 tahun
 Sumber : Uniform Hazard Spectra, Openquake

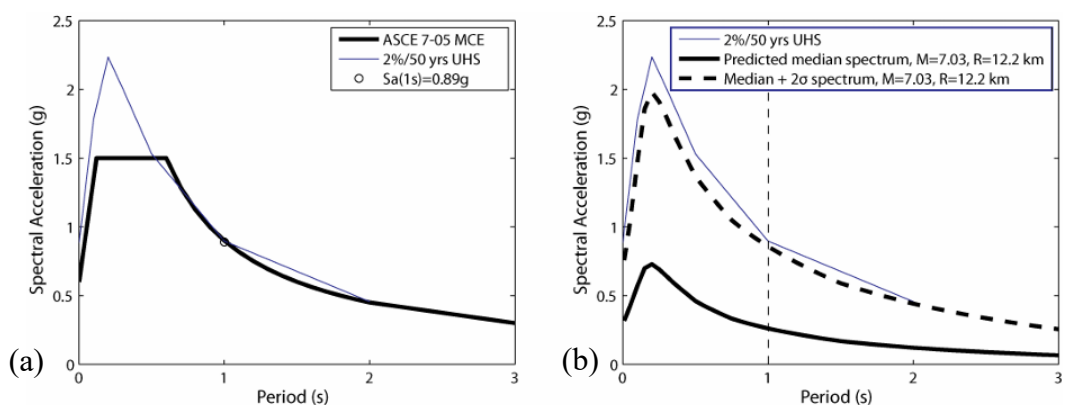
Pada Gambar 3.17 memperlihatkan contoh UHS pada return period 475, 975, dan 2.475 tahun, yang menunjukkan bahwa ordinat spektral untuk return period lebih besar cenderung lebih tinggi pada hampir seluruh rentang periode.



Gambar 3.17 Ilustrasi UHS untuk beberapa return period (475, 975, dan 2.475 tahun)

Sumber : Deif dkk. (2021) fig 7

Untuk desain bangunan, tingkat bahaya yang paling sering dijadikan acuan historis adalah 10% dalam 50 tahun (475 tahun) sebagai *design-basis level*, sedangkan tingkat bahaya yang lebih jarang yaitu 2% dalam 50 tahun (2.475 tahun), tingkat ini sering dikaitkan dengan level *maximum considered* (hazard yang lebih ekstrem). FEMA P-751 (2012) menjelaskan bahwa untuk ASCE 7 generasi sebelumnya, tingkat bahaya 1/2475 per tahun (2% dalam 50 tahun) ditetapkan sebagai acuan gerak tanah probabilistik untuk peta desain.



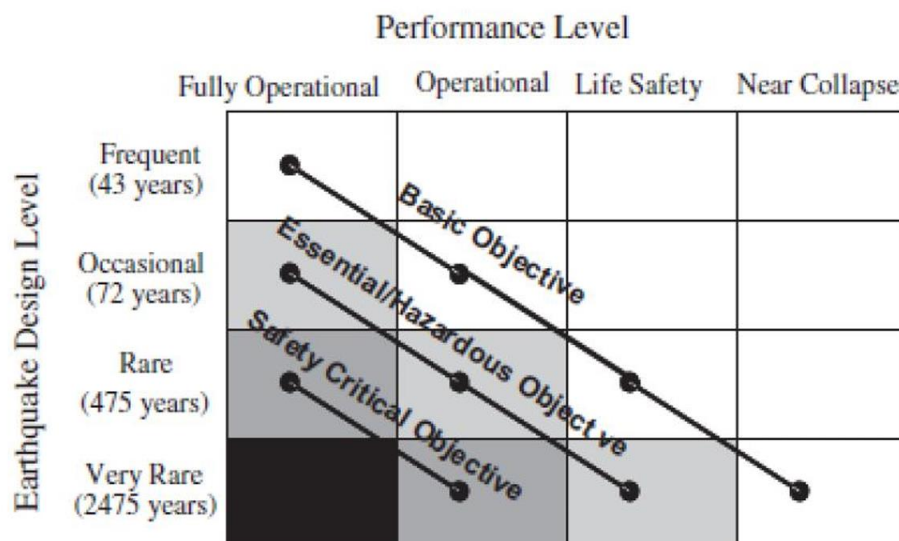
Gambar 3.18 Ilustrasi Uniform Hazard Spectrum (UHS) 2% dalam 50 tahun, (a) UHS vs MCER (b) UHS dengan spektrum (median dan median+2 σ)

Sumber : Baker (2011) Fig 1

Untuk memperjelas konsep UHS, Gambar 3.18 menampilkan contoh spektrum 2% peluang terlampaui dalam 50 tahun (≈ 2.475 tahun) yang merupakan salah satu tingkat bahaya tinggi yang sering dijadikan acuan. UHS dibentuk dengan mengambil ordinat $SA(T)$ pada setiap periode T dari hazard curve masing-masing periode pada tingkat bahaya yang sama, sehingga spektrum yang dihasilkan konsisten lintas periode.

3.6.2 Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake, MCE_r

Dalam desain bangunan berbasis kinerja, standar gempa menetapkan level gerak tanah rujukan yang menjadi dasar agar struktur memenuhi sasaran kinerja minimum pada gempa jarang (umumnya terkait pencegahan keruntuhan). Pada SNI 1726:2019, peta parameter spektral yang dipakai untuk membentuk spektrum rujukan didasarkan pada konsep MCE_r berbasis risiko (risk-targeted) dan kemudian diturunkan menjadi spektrum desain. Sutjipto & Sumeru (2021) menjelaskan bahwa SNI 1726:2019 menggunakan dua peta MCER (untuk periode pendek dan 1-detik) yang dikombinasikan dengan koefisien situs untuk membentuk parameter spektrum desain.



Gambar 3.19 Performance Based Design Matrix

Sumber : SEAOC Vision 2000 Committee (1995)

Gambar 3.19 memperlihatkan konsep performance-based seismic design yang mengaitkan tingkat bahaya gempa (frequent–occasional–rare–very rare/return period) dengan level kinerja bangunan (fully operational, operational, life safety, hingga near collapse). Diagram ini menunjukkan bahwa semakin jarang (semakin besar return period) gempa rujukan yang dipakai, maka target kinerja minimum yang ditetapkan cenderung bergeser dari kondisi operasional menuju batas keselamatan/keruntuhan. Dengan kerangka ini, level “very rare” (≈ 2.475 tahun) menjadi dasar pembahasan *Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake* (MCE_R) pada subbab berikutnya.

1. Full MCE_r

Full MCE_r merupakan spektrum rujukan pada tingkat hazard tinggi yang dipakai sebagai acuan utama. Dalam praktik SNI 1726:2019, MCE_r diperlakukan sebagai risk-targeted, yaitu peta/parameter spektral yang dirancang agar konsisten dengan target risiko keruntuhan bangunan dalam horizon 50 tahun. Hal ini juga dijelaskan dalam literatur implementasi SNI, yang menyebutkan bahwa peta MCE_R (5% redaman) dikaitkan dengan kriteria target keruntuhan dan diturunkan dari peta hazard 2% terlampaui dalam 50 tahun (≈ 2.475 tahun).

Alasan utama “risk-targeted” adalah bahwa pendekatan uniform-hazard dapat menghasilkan tingkat risiko keruntuhan yang tidak seragam antar lokasi karena kemiringan hazard curve dan sensitivitas struktur berbeda-beda. Karena itu, risk-targeted MCE_R dibentuk dengan mengaitkan hazard curve dengan fragilitas runtuh melalui *risk integral* agar tingkat risiko lebih konsisten. Kerangka ini dibahas oleh Luco (2011) terkait ASCE 7 yang menjelaskan penentuan ordinat spektrum probabilistik melalui integrasi hazard curve dengan fungsi lognormal yang merepresentasikan fragilitas runtuh.

Silva dkk. (2016) juga menekankan bahwa peta risk-targeted bertujuan mendefinisikan gerak tanah desain yang mengarah pada tingkat risiko yang lebih seragam pada skala nasional/regional dibanding uniform-hazard murni.

2. Spektrum desain sebagai 2/3 MCE_R

Untuk kebutuhan desain rutin, standar biasanya tidak langsung memakai MCE_R penuh sebagai spektrum desain, melainkan menurunkannya menjadi spektrum desain (DBE level). Pada SNI 1726:2019, parameter spektrum desain di periode pendek dan 1-detik (S_{DS} dan S_{D1}) dinyatakan sebagai 2/3 dari parameter spektrum “maksimum” pada kelas situs (S_{MS} dan S_{M1}) yang berasal dari peta MCE_r dan koefisien situs. Sutjipto & Sumeru (2021) menuliskan hubungan ini secara eksplisit dalam penurunan spektrum desain SNI. Literatur implementasi SNI (contoh aplikasi perhitungan) juga menyajikan bentuk yang sama: ordinat spektral desain diambil sebesar 2/3 dari ordinat spektral maksimum yang dibentuk dari peta MCE_R dan koefisien situs. Secara ringkas, hubungan level spektrum dapat dituliskan:

$$S_a^{desain}(T) = \frac{2}{3} S_a^{MCE_r}(T) \quad (3.52)$$

Prinsip “2/3 dari MCE_r” ini juga konsisten dengan standar internasional. Misalnya, ASCE/SEI 7-22 (2025) menyatakan bahwa parameter percepatan spektral desain S_a pada periode-periode diskret diambil sebagai 2/3 dari spektrum MCE_r multi-periode. FEMA (2022) juga mendefinisikan *design earthquake effects* sebagai dua-pertiga dari efek gempa MCE_r berbasis risiko.

3. 2/3 MCE_r (I/R): level gaya desain pada analisis linear

2/3 MCE_r (I/R) saat spektrum desain dipakai untuk menghasilkan gaya desain dalam analisis linear. Intinya: 2/3 MCE_R menentukan level spektrum desain. Secara sederhana, I/R adalah faktor penskalaan yang mentransformasi tuntutan respons elastik (dari spektrum) menjadi gaya desain: R mewakili kemampuan sistem untuk berperilaku daktail/menyerap energi sehingga tuntutan gaya elastik dapat direduksi, sedangkan I menaikkan tuntutan untuk bangunan yang lebih penting agar tingkat keandalannya lebih tinggi. FEMA P-749 (2010) menjelaskan R digunakan untuk mereduksi kebutuhan kekuatan desain, dan menyatakan bahwa besaran R/I dapat dipandang sebagai ukuran batas respons inelastik yang masih diperbolehkan

3.6.3 Directivity Factor, C_{dr}

Dalam prosedur *site-specific* pada standar NEHRP/ASCE, spektrum probabilistik (dan spektrum MCER) didefinisikan sebagai spektrum pada arah respons horizontal maksimum (*maximum-direction*). Karena GMPE modern umumnya memprediksi komponen horizontal berbasis rata-rata arah (*geometric mean* / RotD50), maka diperlukan faktor koreksi untuk merepresentasikan arah maksimum tersebut. Koreksi ini dinyatakan sebagai directivity (directionality) factor $C_{dr}(T)$, yaitu faktor pengali yang bergantung perioda.

Nilai acuan C_{dr} yang digunakan mengacu pada rasio *maximum-direction* terhadap *geomean* dalam ketentuan NEHRP (2009), yakni:

pada perioda pendek $T = 0,2$ s: $C_{dr} = 1,10$

pada perioda panjang $T = 1,0$ s: $C_{dr} = 1,30$

Untuk menghasilkan fungsi $C_{dr}(T)$ yang mulus pada rentang perioda di antara kedua titik acuan tersebut, penelitian ini menerapkan interpolasi linier pada interval $0,2 < T < 1,0$ s. Secara umum, interpolasi linier antara $(T_1, C_{dr,1})$ dan $(T_2, C_{dr,2})$ dituliskan sebagai:

$$C_{dr}(T) = C_{dr,1} + \frac{(T-T_1)}{(T_2-T_1)}(C_{dr,2}-C_{dr,1}), T_1 < T < T_2 \quad (3.53)$$

Dengan $T_1 = 0,2$, $C_{dr,1} = 1,10$, $T_2 = 1,0$, dan $C_{dr,2} = 1,30$, maka:

$$C_{dr}(T) = 1,10 + \frac{(T-0,2)}{(1,0-0,2)}(1,30 - 1,10) \quad (3.54)$$

Karena $\frac{1,30-1,10}{1,0-0,2} = 0,25$, persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi:

$$C_{dr}(T) = 1,10 + 0,25 (T - 0,2), 0,2 < T < 1,0 \quad (3.55)$$

Sehingga fungsi $C_{dr}(T)$ dapat dituliskan dalam bentuk potongan:

$$C_{dr}(T) = \begin{cases} 1,10, & T \leq 0,2 \\ 1,10 + 0,25 (T - 0,2), & 0,2 < T < 1,0 \\ 1,30, & T \geq 1,0 \end{cases} \quad (3.56)$$

Nilai $C_{dr}(T)$ ini selanjutnya digunakan sebagai faktor pengali perioda-dependen untuk mengubah spektrum berbasis komponen rata-rata arah menjadi spektrum yang mewakili arah respons maksimum, sesuai definisi *maximum-direction* pada prosedur NEHRP/ASCE.

3.6.4 Risk Targeted, R_f

Dalam kerangka desain berbasis risiko (*risk-targeted*), spektrum bahaya probabilistik (misalnya UHS untuk 2% terlampaui dalam 50 tahun) dapat dikoreksi agar lebih merepresentasikan tingkat risiko kinerja yang dituju. Koreksi ini dinyatakan melalui risk-targeted factor $R_f(T)$, yaitu faktor pengali yang bergantung perioda dan digunakan untuk mengubah ordinat spektrum berbasis hazard menjadi ordinat spektrum berbasis risiko pada perioda T .

Dalam praktik pemetaan dan standar desain, informasi R_f umumnya tidak diberikan sebagai fungsi kontinu untuk seluruh perioda, melainkan diringkas melalui dua parameter peta: C_{RS} untuk perioda pendek (*short period*) dan C_{R1} untuk perioda 1 detik. Kedua parameter tersebut berperan sebagai “titik jangkar” pembentuk fungsi $R_f(T)$ terhadap perioda. Dengan mengadopsi fungsi perioda-dependen yang sederhana, $R_f(T)$ dapat dituliskan dalam bentuk potongan:

$$R_f(T) = \begin{cases} C_{RS}, & T \leq 0,2 \\ C_{RS} + \frac{(T-0,2)}{(1,0-0,2)} (C_{R1} - C_{RS}), & 0,2 < T < 1,0 \\ C_{R1}, & T \geq 1,0 \end{cases} \quad (3.57)$$

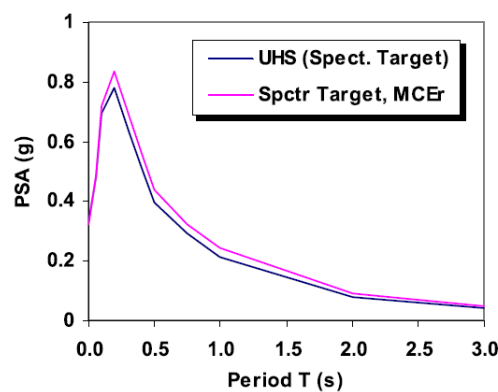
Bagian tengah Persamaan (3.57) merupakan **interpolasi linier** antara dua titik ($T = 0,2$; $R_f = C_{RS}$) dan ($T = 1,0$; $R_f = C_{R1}$). Dengan demikian, bila $C_{RS} \neq C_{R1}$, maka $R_f(T)$ berubah secara bertahap dari nilai perioda pendek menuju nilai pada perioda 1 detik.

Pada tahap pembentukan spektrum rujukan untuk desain, $R_f(T)$ digunakan bersama faktor koreksi lain dalam faktor total $C_r(T)$. Dalam penelitian ini, faktor total dituliskan sebagai:

$$C_r(T) = C_{dr}(T) R_f(T) \quad (3.58)$$

3.6.5 UHS sebagai Spektral Target

Dalam konteks penerapan analisis riwayat waktu dan/atau *spectral matching*, UHS pada level bahaya tertentu dapat diperlakukan sebagai spektrum target yang menjadi acuan agar *time history* yang dipilih/diolah menghasilkan tuntutan spektral yang konsisten dengan hasil PSHA. Sejalan dengan itu, Artati (2023) menjelaskan bahwa respon spektra target umumnya didefinisikan pada batuan dasar (bedrock) dan kemudian digunakan sebagai target dalam proses pencocokan spektra (*spectral matching*), sehingga setelah spektrum target ditetapkan diperlukan riwayat waktu sebagai pembanding/masukan untuk mencapai kecocokan terhadap spektrum target tersebut.



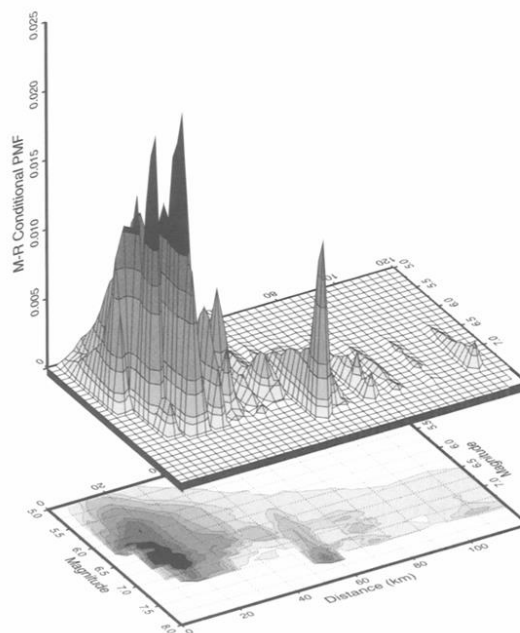
Gambar 3.20 Contoh *Spectral Target*

Sumber : Widodo (2022) Fig 11

Kurva pada Gambar 3.20 menunjukkan contoh perbandingan UHS sebagai spektrum target dan spektrum target pada level MCE_R, yang kemudian menjadi acuan dalam proses pemilihan serta pencocokan rekaman gerak tanah pada subbab berikutnya.

3.7 Deagregasi Hazard Kegempaan (statik momen)

Hasil dari PSHA seperti *hazard curve* dan UHS bersifat agregat karena mengintegrasikan kontribusi dari seluruh kemungkinan kejadian gempa. Akibatnya, informasi kombinasi magnitudo–jarak yang paling dominan di suatu lokasi tidak terlihat secara langsung dari PSHA. Makrup dkk. (2010) menjelaskan bahwa deagregasi dibutuhkan untuk menentukan magnitudo dan jarak pengendali pada *return period* tertentu, karena informasi tersebut penting untuk interpretasi fisik hasil PSHA dan pengambilan keputusan rekayasa. Untuk memperjelas bentuk keluaran deagregasi, Gambar 3.21 menampilkan contoh hasil deagregasi yang menyajikan kontribusi hazard dalam ruang magnitudo–jarak (M–R) pada satu lokasi. Visualisasi seperti ini membantu menunjukkan bahwa hazard pada level intensitas target tertentu tidak berasal dari satu skenario tunggal, melainkan merupakan gabungan kontribusi dari beberapa kombinasi M dan jarak dengan porsi yang berbeda-beda.



Gambar 3.21 Disaggregation M-R at the Los Angeles City Hall site
Sumber: Bazzurro dan Cornell (1999) Fig 3

Pada Gambar 3.21, puncak-puncak permukaan/histogram 3D merepresentasikan *bin* M–R yang memberikan kontribusi relatif paling besar terhadap

hazard pada level intensitas yang dianalisis. Dengan membaca lokasi puncak dominan tersebut, dapat diidentifikasi magnitudo dan jarak pengendali (*dominant scenario*) pada tingkat bahaya yang dipilih, yang kemudian digunakan sebagai dasar penentuan parameter skenario untuk tahapan berikutnya, seperti pemilihan rekaman dan penyesuaian spektrum target.

Deagregasi dilakukan pada level intensitas target yang sesuai dengan tingkat bahaya tertentu. Dalam konteks desain, level target dapat berupa 10% probabilitas terlampaui dalam 50 tahun (≈ 475 tahun), sedangkan untuk kebutuhan desain pada level MCER (gempa sangat jarang) umumnya digunakan 2% probabilitas terlampaui dalam 50 tahun (≈ 2.475 tahun), sehingga skenario dominan yang diperoleh benar-benar merepresentasikan kejadian pengendali pada level bahaya tersebut. Makrup dkk. (2010) menyatakan proses deagregasi diawali dengan menentukan level guncangan pada tingkat bahaya yang ditinjau dari *hazard curve*, kemudian kontribusinya diuraikan untuk memperoleh skenario dominan

3.7.1 Level Intensitas Target Untuk Deagregasi

Deagregasi dilakukan pada level intensitas target x^* yang konsisten dengan tingkat bahaya yang dipilih (misalnya level desain atau level MCER). Penentuan x^* dilakukan dari *hazard curve* pada return period target. Hubungan antara laju tahunan terlampaui dan probabilitas terlampaui (asumsi Poisson) tidak diulang di sini karena sudah disajikan pada subbab *hazard curve/UHS* sebelumnya; pada subbab ini fokusnya adalah penguraian kontribusi *hazard* pada x^* .

3.7.2 Formulasi kontribusi dan bobot deagregasi dalam ruang $M-R$

Secara diskret, *hazard* pada level intensitas x dapat dipandang sebagai penjumlahan kontribusi dari banyak skenario rupture j (setiap skenario memiliki magnitudo, jarak, dan parameter lain), dengan laju kejadian tahunan v_j :

$$\lambda(IM > x) = \sum_j v_j P(IM > x | j) \quad (3.59)$$

Probabilitas terlampaui bersyarat $P(IM > x | j)$ dihitung dari model gerak tanah yang umumnya diasumsikan lognormal:

$$P(IM > x | j) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln x - \mu_j}{\sigma_j}\right) \quad (3.60)$$

dengan μ_j dan σ_j adalah mean dan simpangan baku (di ruang log) untuk skenario j , dan $\Phi(\cdot)$ adalah CDF normal baku. Kerangka ini konsisten dengan formulasi PSHA klasik berbasis laju tahunan terlampaui sejak Cornell (1968) dan dirangkum oleh McGuire (2008).

Deagregasi kemudian menghitung kontribusi relatif dari kelompok skenario tertentu (misalnya bin magnitudo–jarak). Misalkan bin $M_i R_k$ berisi semua skenario j yang magnitudonya berada pada interval M_i dan jaraknya pada interval R_k , maka kontribusi fraksional bin tersebut adalah:

$$w(M_i, R_k | x) = \frac{\sum_{j \in (M_i, R_k)} v_j P(IM > x | j)}{\lambda(IM > x)}, \sum_{i,k} w(M_i, R_k | x) = 1 \quad (3.61)$$

Bazzurro dan Cornell (1999) menjelaskan bahwa praktik deagregasi sering menampilkan kontribusi hazard sebagai fungsi magnitudo (M), jarak (R), dan sering juga epsilon (ε), yaitu “jumlah simpangan baku dari median” pada model gerak tanah. Jika ε ikut dideagregasi, maka untuk suatu level x dapat didefinisikan:

$$\varepsilon_j(x) = \frac{\ln x - \mu_j}{\sigma_j} \quad (3.62)$$

dan kontribusi dapat dikelompokkan menjadi bin $M_i R_k \varepsilon_\ell$ dengan normalisasi yang analog dengan Persamaan (3.41). Penambahan ε membantu menjelaskan apakah hazard pada level x didorong oleh median gerak tanah atau oleh “ekor” variabilitas aleatory dari GMPE.

Hasil deagregasi umumnya disajikan sebagai histogram/plot 3D kontribusi $w(M, R)$ (atau $w(M, R, \varepsilon)$), kemudian diringkas menjadi kombinasi dominan (mis. mode) atau rata-rata berbobot. Makrup dkk. (2010) menekankan bahwa informasi magnitudo dan jarak dominan diperlukan untuk interpretasi dan keputusan

rekayasa, termasuk penentuan kriteria pemilihan rekaman yang konsisten dengan target hazard/MCER.

3.7.3 Magnitudo Dominan M_D Dan Jarak Dominan R_D

Agar keluaran deagregasi tidak hanya bersifat visual (puncak histogram), Artati (2023) merumuskan magnitudo dominan dan jarak dominan sebagai rata-rata berbobot kontribusi laju terlampaui pada level x . Untuk itu, kontribusi laju tahunan dapat dinyatakan lebih terstruktur dalam bin sumber–magnitudo–jarak.

Misalkan indeks i menyatakan sumber (source), j menyatakan bin magnitudo (dengan nilai wakil m_j), dan k menyatakan bin jarak (dengan nilai wakil r_k). Laju tahunan terlampaui yang “jatuh” pada bin (i, j, k) didefinisikan sebagai penjumlahan kontribusi semua rupture yang termasuk bin tersebut:

$$\lambda_x(i, m_j, r_k; x) = \sum_{\ell \in (i, m_j, r_k)} v_\ell P(IM > x | \ell) \quad (3.63)$$

Laju tahunan terlampaui untuk sumber i (semua magnitudo dan jarak) adalah:

$$\lambda_x(i, m, r; x) = \sum_j \sum_k \lambda_x(i, m_j, r_k; x) \quad (3.64)$$

sedangkan laju tahunan terlampaui total (semua sumber) adalah:

$$\lambda_x(m, r; x) = \sum_i \lambda_x(i, m, r; x) \quad (3.65)$$

Dengan basis tersebut, Artati (2023) mendefinisikan magnitudo dominan dan jarak dominan untuk sumber ke- i sebagai rata-rata berbobot:

$$M_{D,i}(x) = \sum_j m_j \frac{\lambda_x(i, m_j, r; x)}{\lambda_x(i, m, r; x)} \quad (3.66)$$

$$R_{D,i}(x) = \sum_k r_k \frac{\lambda_x(i, m, r_k; x)}{\lambda_x(i, m, r; x)} \quad (3.67)$$

dengan $\lambda_x(i, m_j; x) = \sum_k \lambda_x(i, m_j, r_k; x)$ dan $\lambda_x(i, r_k; x) = \sum_j \lambda_x(i, m_j, r_k; x)$.

Terakhir, magnitudo dominan dan jarak dominan untuk semua sumber dihitung sebagai rata-rata berbobot kontribusi masing-masing sumber:

$$M_D(x) = \sum_i M_{D,i}(x) \frac{\lambda_x(i, m, r; x)}{\lambda_x(m, r; x)} \quad (3.68)$$

$$R_D(x) = \sum_i R_{D,i}(x) \frac{\lambda_x(i, m, r; x)}{\lambda_x(m, r; x)} \quad (3.69)$$

Dengan demikian, M_D dan R_D merepresentasikan “pusat massa” kontribusi hazard pada level intensitas x (atau x^* untuk return period target). Nilai M_D – R_D ini dapat langsung dipakai sebagai parameter ringkas skenario pengendali untuk kebutuhan rekayasa, misalnya penyusunan kriteria pemilihan rekaman (rentang magnitudo, jarak, mekanisme, kedalaman) yang konsisten dengan target hazard/MCER, tanpa mengabaikan fakta bahwa hazard pada x^* adalah gabungan kontribusi dari banyak kombinasi M – R .

Hasil deagregasi umumnya disajikan sebagai histogram/plot 3D kontribusi $w(M, R)$ (atau $w(M, R, \varepsilon)$), kemudian diringkas menjadi kombinasi dominan (mis. mode) atau rata-rata berbobot $\bar{M}, \bar{R}$. Makrup dkk. (2010) menekankan bahwa informasi magnitudo dan jarak dominan ini diperlukan untuk interpretasi dan keputusan rekayasa. Untuk kebutuhan desain pada level MCER (gempa sangat jarang), deagregasi umumnya lebih tepat dilakukan pada tingkat bahaya yang sepadan dengan MCER, yaitu 2% probabilitas terlampaui dalam 50 tahun (≈ 2.475 tahun), sehingga skenario dominan yang diperoleh benar-benar merepresentasikan kejadian pengendali pada level bahaya tersebut. Dengan demikian, keluaran deagregasi dapat digunakan secara langsung untuk menyusun kriteria pemilihan rekaman (magnitudo, jarak, mekanisme, dan kedalaman) yang konsisten dengan target hazard/ MCE_R .

3.8 *Spectral Matching – Bedrock*

Pada analisis riwayat waktu linear (ARWL), beban gempa dimasukkan sebagai pasangan komponen ortogonal rekaman percepatan tanah yang diaplikasikan pada dasar bangunan dan respons struktur dihitung secara dinamik dalam model 3D. Imran & Kristianto (2019) menjelaskan bahwa prosedur ARWL mensyaratkan pemodelan 3D, penggunaan pasangan rekaman ortogonal, serta penyelesaian persamaan dinamik dengan direct integration, sehingga kualitas dan kesesuaian input gerak tanah menjadi faktor yang sangat menentukan hasil respons.

Dalam konteks tersebut, spectral matching dipilih karena dua alasan utama: (1) memenuhi persyaratan standar untuk ARWL, dan (2) mengurangi variasi antar-rekaman (record-to-record variability) sehingga respons rata-rata lebih cepat “konvergen” pada target. Dari sisi kebutuhan rekayasa, spectral matching juga dipakai untuk memastikan bahwa tuntutan spektral yang “dilihat” struktur benar-benar konsisten dengan spektrum target pada rentang periode penting.

Imran & Kristianto (2019) menekankan bahwa penggunaan tiga rekaman yang sudah spectrally matched dapat menghasilkan respons rata-rata yang sebanding dengan penggunaan lebih banyak rekaman yang hanya diskalakan amplitudonya, sehingga lebih efisien untuk analisis riwayat waktu linear.

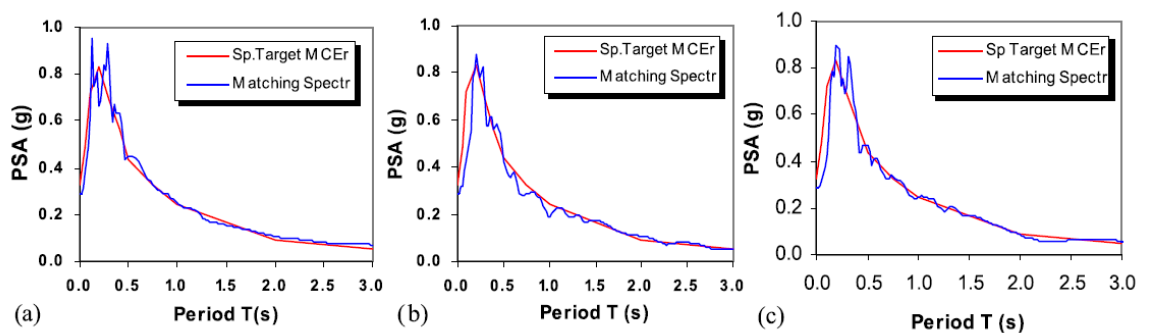
3.8.1 **Kriteria Pemilihan Rekaman Gempa**

Pemilihan rekaman gempa pada level bedrock idealnya tidak hanya “mencari rekaman yang bisa di-match”, tetapi juga memastikan rekaman tersebut hazard-consistent terhadap skenario yang mengendalikan tingkat bahaya target. Artati Artati (2023) menekankan bahwa spektrum target berada pada bedrock dan dipakai sebagai acuan pencocokan, sehingga pemilihan rekaman perlu mempertimbangkan parameter kejadian seperti lokasi sumber, magnitudo, kedalaman, mekanisme, dan jarak terhadap lokasi rencana. Sejalan dengan pendekatan berbasis skenario, NIST (2011) menjelaskan bahwa suatu kejadian gempa rujukan umumnya didefinisikan oleh magnitudo dan jarak sumber–situs, sehingga kedua parameter ini wajar dijadikan dasar awal seleksi rekaman.

Dalam konteks konsistensi hazard, hasil deagregasi pada level intensitas target (MCE_R) menyediakan ringkasan magnitudo dominan dan jarak dominan

(serta bila tersedia ε) yang paling berkontribusi pada hazard. Baker dan Cornell (2006) menunjukkan bahwa pemilihan rekaman dapat mempertimbangkan magnitudo–jarak– ε , dan menekankan bahwa karakter bentuk spektrum (spectral shape) yang tercermin pada ε penting untuk memperoleh respons struktur yang tidak bias; namun pemilihan awal berdasarkan magnitudo dan jarak tetap relevan sebagai filter seismologis agar rekaman tetap realistis terhadap skenario pengendali.

Bommer dan Acevedo J. Bommer & Acevedo (2004) juga menegaskan penggunaan kriteria seleksi yang memadukan pertimbangan geofisik (magnitudo, jarak, atau kelas situs) dan pertimbangan spektral, sehingga suite rekaman yang dipakai tetap masuk akal secara fisik sekaligus memenuhi kebutuhan analisis struktur. Gambar 3.22 ditampilkan sebagai contoh penerapan pemilihan tiga pasang rekaman yang kemudian dibuat kompatibel secara spektral terhadap spektrum target. Pada tiap panel, terlihat bahwa spektrum hasil matching dari masing-masing rekaman mengikuti spektrum target (MCE_R) pada rentang periode yang relevan, sehingga *suite* tiga pasang rekaman tersebut dapat digunakan sebagai input analisis riwayat waktu linear sesuai ketentuan jumlah minimum rekaman.



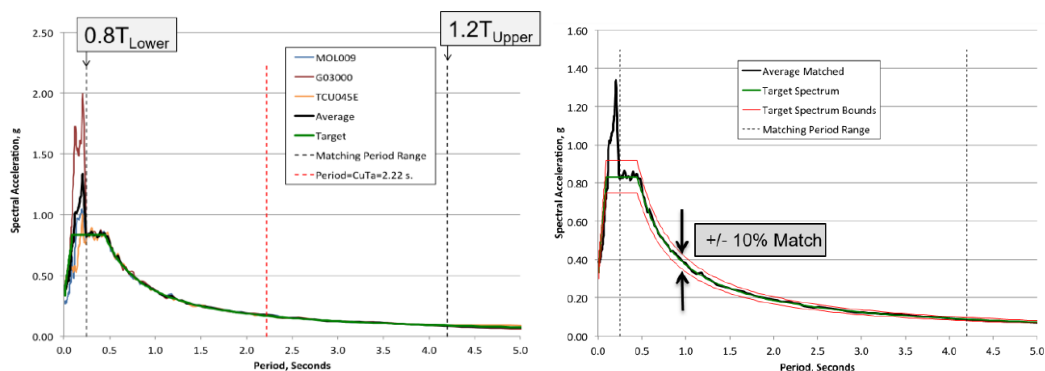
Gambar 3.22 Contoh Spectral Matching 3 Pasang Rekaman

Sumber : Widodo (2022) Fig 12

Dengan demikian, pemilihan “tiga pasang” rekaman yang baik umumnya dilakukan dengan filter seismologis berbasis deagregasi (dominant $M-R$, dan bila perlu ε), lalu dipastikan kompatibel secara spektral melalui proses matching sesuai ketentuan pada subbab berikutnya.

3.8.2 Rentang dan Batas *Matching*

Spectral matching memiliki standar dalam menetapkan rentang periode yang harus dipenuhi dan batas deviasi terhadap spektrum target. Untuk analisis riwayat waktu linear, SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.3 mensyaratkan bahwa setiap komponen gerak tanah (tiap arah) dicocokkan secara spektral pada rentang $0.8 T_{\text{lower}}$ sampai $1.2 T_{\text{upper}}$. Pada rentang periode tersebut, rata-rata spektrum percepatan semu (pseudo-acceleration) redaman 5% dari rekaman yang sudah di-*match* untuk masing-masing arah tidak boleh menyimpang lebih dari $\pm 10\%$ terhadap spektrum target sebagaimana Gambar 3.23. Ketentuan ini menegaskan bahwa proses matching harus menghasilkan *suite* rekaman yang kompatibel secara spektral pada rentang periode yang relevan terhadap respons struktur, sehingga hasil analisis tidak bias karena kecocokan yang hanya terjadi pada sebagian kecil periode.



Gambar 3.23 Rentang dan Batas Spectral Matching
Sumber : Imran & Kristianto (2019)

3.9 Analisis Respons Situs 1D (*One-Dimensional Site Response Analysis*)

Analisis respons-situs 1D (one-dimensional site response) digunakan untuk memodelkan bagaimana gerak tanah input pada batuan dasar/*bedrock* berubah saat merambat melalui lapisan tanah yang berstrata relatif horizontal, sehingga diperoleh gerak tanah di permukaan. Asumsi 1D umumnya menganggap perambatan gelombang geser dominan secara vertikal dan batas lateral “sangat luas”, sehingga pendekatan ini efisien untuk lokasi yang relatif datar dengan batas antarlapisan yang sejajar. Kramer dan Paulsen (2004) menjelaskan dasar metode

ekivalen-linear dengan menegaskan bahwa equivalent linear models use an iterative approach to approximate the nonlinear, inelastic behavior of soils.

Dalam skema ekivalen-linear, nonlinieritas tanah tidak dimodelkan sebagai plastisitas penuh, tetapi didekati lewat properti “setara” yang bergantung regangan: modulus geser sekant (secant shear modulus) dan redaman (damping ratio) diperbarui berulang sampai kompatibel dengan regangan yang terjadi. Karena itu, pemilihan regangan geser efektif menjadi kunci; Kramer dan Paulsen Kramer & Paulsen (2004) menegaskan bahwa regangan efektif harus dipilih dengan tepat agar hasil analisis tidak membuat respons tanah menjadi terlalu melunak (*over-softening*) atau sebaliknya terlalu kaku/kurang melunak (*under-softening*) dibanding perilaku yang semestinya.

3.9.1. Parameter dasar profil tanah dan tegangan overburden

Parameter kunci dalam respons-situs 1D meliputi tebal lapisan, berat isi γ , kecepatan gelombang geser V_s , serta kurva reduksi modulus dan redaman. Tegangan total vertikal pada kedalaman z dapat dihitung sederhana dari berat isi terhadap kedalaman, misalnya untuk pendekatan berlapis:

$$\sigma_v(z) = \sum(\gamma_i \Delta z_i) \quad (3.70)$$

dan tegangan efektif vertikal:

$$\sigma'_v(z) = \sigma_v(z) - u(z) \quad (3.71)$$

dengan u tekanan pori. Pada kondisi sederhana satu lapis homogen, konsep ini sering ditulis sebagai $\sigma_v = \gamma z$ (dan $\sigma'_v = \gamma' z$ untuk zona jenuh dengan $\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$). Besaran tegangan efektif ini penting karena banyak korelasi geoteknik dan pemilihan parameter dinamik tanah (termasuk korelasi berbasis SPT) bergantung pada σ'_v .

Untuk kondisi regangan kecil, modulus geser maksimum umumnya dihitung dari:

$$G_{\text{max}} = \rho V_s^2 \quad (3.72)$$

dengan ρ massa jenis tanah (dapat diperoleh dari $\rho = \gamma/g$). Nilai $G_{\max}$ kemudian “diturunkan” menjadi modulus secant efektif melalui kurva $G/G_{\max}$ sesuai tingkat regangan hasil iterasi.

3.9.2. Estimasi V_s dari SPT: Brandenberg–Bellana–Shantz (2010)

Pada tahap PSHA dan pemilihan GMPE, kondisi situs sering dinyatakan secara ringkas melalui parameter V_{s30} . Parameter ini berfungsi sebagai deskriptor utama efek situs pada GMPE dan juga menjadi basis klasifikasi kelas situs. Dalam beberapa aplikasi hazard, perhitungan dapat dilakukan pada kondisi batuan acuan (reference rock/bedrock) dengan V_{s30} tinggi (misalnya 760–800 m/s) untuk memperoleh hazard pada level acuan, sehingga pengaruh tanah lokal dapat dihitung terpisah melalui analisis respons situs. Namun, ketika efek situs dihitung secara eksplisit (misalnya dengan analisis respons 1D), maka yang dibutuhkan bukan hanya satu nilai V_{s30} , melainkan profil V_s berlapis terhadap kedalaman beserta parameter dinamik tanah untuk menggambarkan perilaku propagasi gelombang dari batuan dasar menuju permukaan.

Oleh karena itu, penyusunan profil V_s menjadi langkah kunci pada analisis respons situs. Profil ini idealnya diperoleh dari pengukuran langsung (misalnya *downhole*, *crosshole*, atau MASW). Akan tetapi, apabila data V_s hasil pengukuran tidak tersedia pada seluruh kedalaman, profil awal V_s dapat dibangun menggunakan korelasi empiris berbasis hasil SPT, yang kemudian dapat digunakan sebagai input analisis untuk memodelkan amplifikasi lokal dari bedrock ke permukaan.

Jika data V_s hasil pengukuran tidak tersedia pada seluruh kedalaman, V_s dapat diestimasi dari korelasi empiris berbasis SPT N_{60} dan tegangan efektif vertikal σ'_v . Brandenberg dkk. Brandenberg et al. (2010) menyatakan (terjemahan ringkas) bahwa bentuk regresi pada studi mereka mengekspresikan V_s (m/s) sebagai fungsi N_{60} , σ'_v , dan konstanta regresi dalam model efek-acak. Bentuk model yang mereka tuliskan adalah:

$$\ln(V_s) = \beta_0 + \beta_1 \ln(N_{60}) + \beta_2 \ln(\sigma'_v) + \eta_i + \varepsilon_{ij} \quad (3.73)$$

dengan η_i dan ε_{ij} merepresentasikan komponen variasi antar-boring dan intra-boring. Dalam penggunaan praktis untuk membangun profil awal, komponen acak dapat dipandang sebagai sumber ketidakpastian, sedangkan nilai median umumnya diambil dari bagian deterministik regresi (tanpa η dan ε).

3.9.3. Estimasi φ' dan peran σ'_v : Schmertmann (1975)

Selain untuk V_s , σ'_v juga sering muncul pada korelasi parameter kuat geser. Hettiarachchi & Brown (2009) menjelaskan (terjemahan ringkas) bahwa pengaruh tegangan overburden efektif (σ'_v) terhadap hubungan $N-\varphi'$ dimasukkan oleh Schmertmann (1975) dan kemudian didekati dalam bentuk persamaan oleh Kulhawy & Mayne (1990). Bentuk korelasi yang mereka tampilkan untuk pasir adalah:

$$\varphi' = \tan^{-1} \left[\frac{N_{60}}{\left(12.2 + 20.3 \left(\frac{\sigma'_v}{p_a} \right)^{0.34} \right)} \right] \quad (3.74)$$

dengan p_a adalah tekanan atmosfer (ditulis 100 kPa pada sumber tersebut). Korelasi ini menunjukkan bahwa estimasi φ' dari SPT tidak hanya dipengaruhi oleh N_{60} , tetapi juga oleh tingkat tegangan efektif vertikal pada kedalaman uji

3.9.4. Kuat geser tanah (shear strength)

Dalam analisis respons situs 1D, perilaku nonlinier tanah (penurunan modulus dan kenaikan redaman saat regangan membesar) sangat dipengaruhi oleh keadaan tegangan efektif awal dan parameter kekuatan geser. Kekuatan geser umumnya dinyatakan dengan kriteria Mohr–Coulomb, yaitu hubungan linear antara tegangan geser saat runtuh dan tegangan normal efektif pada bidang runtuh:

$$\tau_f = c' + \sigma'_n \tan \varphi' \quad (3.75)$$

Untuk pemakaian praktis di profil 1D, σ'_n sering diperkirakan berbasis tegangan efektif overburden (misalnya σ'_{v0}) sebagai proksi tingkat “kekangan” tanah pada kedalaman tersebut. Formulasi Mohr–Coulomb ini merupakan

pendekatan standar dalam mekanika tanah untuk merepresentasikan kekuatan geser melalui c' dan φ' .

Selain tegangan vertikal efektif σ'_{v0} , keadaan tegangan awal kolom tanah juga memerlukan estimasi tegangan horizontal efektif σ'_{h0} . Untuk kondisi tekanan tanah diam (at-rest), besaran ini dinyatakan melalui koefisien K_0 :

$$K_0 = \frac{\sigma'_{h0}}{\sigma'_{v0}} \Rightarrow \sigma'_{h0} = K_0 \sigma'_{v0} \quad (3.76)$$

Dalam analisis respons situs 1D, kondisi tegangan efektif awal umumnya dinyatakan melalui koefisien tekanan tanah diam K_0 , yaitu rasio tegangan efektif horizontal terhadap tegangan efektif vertikal in-situ. Untuk tanah normally consolidated (NC), pendekatan yang paling sering dipakai adalah relasi Jaky, yang menyatakan:

$$K_{0,NC} = 1 - \sin \varphi' \quad (3.77)$$

Michalowski (2005) menjelaskan bahwa bentuk Jaky (1944) ini telah lama diterima sebagai estimasi praktis K_0 pada endapan granular lepas dan lempung NC. Keadaan tanah tidak selalu NC; bila tanah pernah mengalami tegangan masa lalu lebih besar daripada tegangan saat ini, tanah menjadi overconsolidated dan derajatnya dinyatakan dengan overconsolidation ratio (OCR):

$$OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}} \quad (3.78)$$

dengan σ'_p adalah preconsolidation stress. Swan (catatan kuliah konsolidasi) menegaskan bahwa tanah NC memiliki $OCR = 1$, sedangkan tanah OC memiliki $OCR > 1$. Pada tanah overconsolidated, K_0 umumnya lebih besar daripada $K_{0,NC}$. Salah satu relasi empiris yang sering dipakai untuk mengaitkan pengaruh OCR terhadap K_0 menyatakan:

$$K_{0,OC} = K_{0,NC} OCR^{\sin \varphi'} \quad (3.79)$$

$$K_{0,OC} = (1 - \sin \varphi') OCR^{\sin \varphi'} \quad (3.80)$$

Hubungan ini menunjukkan bahwa peningkatan OCR (riwayat pembebanan) cenderung menaikkan tegangan lateral in-situ, sehingga memengaruhi kondisi tegangan efektif awal yang menjadi dasar respons tanah pada analisis respons situs 1D. Michalowski L. (2005) juga menunjukkan bentuk umum $K_{0,OC}$ sebagai fungsi OCR yang banyak dipakai dalam praktik.

Untuk tanah pasir, asumsi $OCR \approx 1$ (NC) sering dipakai bila tidak ada indikasi riwayat pembebanan yang signifikan; misalnya pada pasir lepas–sedang yang belum dipadatkan, Massarsch & Fellenius (2018) menyatakan deposit “untreated” sebelum pemadatan dapat diasumsikan normally consolidated sebagai asumsi konservatif.

3.9.5. Perambatan Gelombang ke Permukaan

Analisis respons situs 1D memodelkan kolom tanah sebagai lapisan horizontal tak berhingga dan responsnya didominasi oleh perambatan vertikal gelombang geser (SH) dari batuan dasar menuju permukaan. Pada mode linier/ekivalen-linear, perambatan ini dihitung melalui solusi persamaan gelombang pada medium viskoelastik berlapis dan penerapan kondisi batas di permukaan bebas serta di batuan dasar (half-space/rigid base). Formulasi ini merupakan dasar pendekatan yang digunakan pada program generasi SHAKE (1972) dan diadopsi oleh perangkat lunak respons situs ekivalen-linear modern seperti DEEPSOIL.

1. Persamaan gelombang 1D dan modulus geser kompleks

Untuk lapisan homogen isotropik, perpindahan horizontal $u(z, t)$ akibat gelombang SH memenuhi persamaan gelombang 1D. Dalam formulasi viskoelastik (Kelvin–Voigt) seperti yang digunakan pada teori SHAKE Schnabel et al. (1972), redaman dimodelkan melalui modulus geser kompleks:

$$G^* = G + i\omega\eta \approx G(1 + 2i\xi) \quad (3.81)$$

dengan G yaitu modulus geser, η koefisien viskositas, ξ rasio redaman kritis (small-strain damping), ω frekuensi sudut, dan $i = \sqrt{-1}$. Diasumsikan bahwa

gerak harmonik $u(z, t) = \Re\{U(z, \omega)e^{i\omega t}\}$, maka solusi di setiap lapisan m dapat ditulis sebagai superposisi gelombang naik dan turun:

$$U_m(z, \omega) = E_m e^{ik_m z} + F_m e^{-ik_m z} \quad (3.82)$$

dengan bilangan gelombang kompleks

$$k_m^2 = \frac{\rho_m \omega^2}{G_m^*}, V_{s,m}^* = \sqrt{\frac{G_m^*}{\rho_m}}, k_m = \frac{\omega}{V_{s,m}^*} \quad (3.83)$$

di mana ρ_m adalah massa jenis lapisan.

2. Tegangan geser dan kontinuitas antarlapisan

Tegangan geser dalam domain frekuensi diturunkan dari gradien perpindahan:

$$\tau_m(z, \omega) = G_m^* \frac{\partial U_m}{\partial z} = ik_m G_m^* (E_m e^{ik_m z} - F_m e^{-ik_m z}) \quad (3.84)$$

Pada setiap antarmuka lapisan, berlaku kontinuitas perpindahan dan kontinuitas tegangan geser (tidak ada slip maupun diskontinuitas gaya), sehingga respons dapat diturunkan secara rekursif dari satu lapisan ke lapisan lainnya.

3. Relasi “top–bottom” tiap lapisan (transfer/propagator)

Untuk lapisan m dengan tebal h_m , relasi antara vektor keadaan $\{U, \tau\}$ di dasar lapisan (bot) dan puncak lapisan (top) dapat ditulis:

$$\begin{bmatrix} U_m^{\text{top}} \\ \tau_m^{\text{top}} \end{bmatrix} = T_m(\omega) \begin{bmatrix} U_m^{\text{bot}} \\ \tau_m^{\text{bot}} \end{bmatrix} \quad (3.85)$$

dengan matriks propagasi:

$$T_m(\omega) = \begin{bmatrix} \cos(k_m h_m) & \frac{1}{ik_m G_m^*} \sin(k_m h_m) \\ ik_m G_m^* \sin(k_m h_m) & \cos(k_m h_m) \end{bmatrix} \quad (3.86)$$

Bentuk ini ekuivalen dengan formulasi gelombang naik–turun dan rekursi amplitudo pada SHAKE Schnabel et al. (1972) (transfer function antar level dapat dihitung setelah $\{E_m, F_m\}$ atau $\{U, \tau\}$ diketahui). Untuk sistem berlapis N lapisan, relasi dari batuan dasar (base) ke permukaan (surf) diperoleh dari perkalian matriks:

$$\begin{bmatrix} U^{\text{surf}} \\ \tau^{\text{surf}} \end{bmatrix} = \left(\prod_{m=1}^N T_m(\omega) \right) \begin{bmatrix} U^{\text{base}} \\ \tau^{\text{base}} \end{bmatrix} \quad (3.87)$$

4. Kondisi batas: permukaan bebas dan batuan dasar

Di permukaan bebas berlaku tegangan geser nol:

$$\tau^{\text{surf}}(\omega) = 0 \quad (3.88)$$

yang secara fisik berarti gelombang yang datang ke permukaan akan dipantulkan sehingga amplitudo gelombang naik dan turun di dekat permukaan menjadi sama. Di batuan dasar, kondisi batas bergantung pada definisi input:

- a. Elastic half-space (radiation condition): batuan dasar dimodelkan sebagai setengah ruang elastik sehingga gelombang pantul “larut” ke bawah. Secara praktis, kondisi ini diwujudkan melalui impedansi dinamik half-space (fungsi dari ρ_b dan $V_{s,b}^*$).
- b. Rigid base: perpindahan dasar dibatasi (pendekatan sederhana tertentu), yang akan memberi amplifikasi berbeda dibanding half-space.

5. Transfer function dari bedrock ke permukaan (FFT-based propagation)

Setelah sistem persamaan ditutup oleh kondisi batas, dapat didefinisikan fungsi alih (transfer function) antara gerak di dasar dan gerak di permukaan:

$$H_u(\omega) = \frac{U^{\text{surf}}(\omega)}{U^{\text{base}}(\omega)}, H_a(\omega) = \frac{A^{\text{surf}}(\omega)}{A^{\text{base}}(\omega)} = H_u(\omega) \quad (3.89)$$

karena $A(\omega) = -\omega^2 U(\omega)$ sehingga rasio percepatan sama dengan rasio perpindahan pada frekuensi yang sama. Perambatan time history dilakukan melalui transformasi Fourier:

$$A^{\text{surf}}(\omega) = H_a(\omega) A^{\text{base}}(\omega), a^{\text{surf}}(t) = \mathcal{F}^{-1}\{A^{\text{surf}}(\omega)\} \quad (3.90)$$

Konsep transfer function antar level (termasuk base–surface) dan penggunaannya untuk menghitung respons pada level mana pun dijelaskan pada teori SHAKE Schnabel et al. (1972).

6. Koreksi input: rock outcrop vs base rock (within)

Dalam praktik, rekaman input bisa didefinisikan sebagai rock outcrop motion (gerak pada permukaan batuan yang merupakan permukaan bebas) atau base rock motion/within motion (gerak di dalam half-space pada kedalaman dasar kolom). Untuk gelombang datang vertikal pada half-space elastik, di permukaan bebas half-space terjadi refleksi sempurna sehingga amplitudo di outcrop menjadi dua kali amplitudo gelombang datang (konsekuensinya, outcrop $\neq$ within). SHAKE Schnabel et al. (1972) menurunkan perbedaan ini dan menyatakan bahwa gerak outcrop dapat dihitung dari komponen gelombang datang–pantul dengan faktor penggandaan di permukaan bebas.

3.10 Spectral Matching- Permukaan : Spectral Desain SNI 1726-2019

Hasil utama analisis respons situs 1D adalah *ground motion* di permukaan beserta spektrum respons permukaan atau faktor amplifikasi sebagai rasio spektrum permukaan terhadap spektrum batuan pada tiap periode. Rathje & Kottke (2008) menjelaskan bahwa *site response analysis* pada dasarnya mempropagasikan gerak input batuan melalui kolom tanah untuk memperoleh gerak permukaan, dan hasil tipikalnya berupa spektrum respons percepatan permukaan atau faktor amplifikasi per periode.

Dalam alur rekayasa, jika analisis struktur dilakukan dengan input gerak permukaan, maka rekaman yang digunakan perlu dibuat kompatibel terhadap spektrum target permukaan pada rentang periode yang relevan. Hal ini penting karena rekaman yang sudah sesuai pada bedrock dapat berubah bentuk

spektrumnya setelah melewati kolom tanah; akibatnya, suite rekaman permukaan dapat “menyimpang” dari target desain pada periode tertentu. Contoh praktiknya dapat dilihat pada Widodo (2022) yang memilih tiga rekaman dan melakukan pencocokan spektral terhadap target (MCER/UHS yang ditetapkan) sebelum digunakan sebagai input, menunjukkan bahwa kompatibilitas spektral adalah syarat kunci agar input time history konsisten dengan tingkat bahaya yang ditargetkan.

Spektrum desain pada SNI 1726:2019 dibangun dari parameter peta bahaya gempa (MCER) pada batuan dasar, kemudian dikoreksi dengan faktor situs untuk menghasilkan spektrum rujukan di permukaan. Ringkasnya, SNI menggunakan parameter S_s (periode pendek, $\sim 0,2$ s) dan S_1 (periode 1,0 s) dari peta bahaya, lalu mengalikan dengan koefisien situs F_a dan F_v untuk memperoleh parameter spektrum elastik terkoreksi situs S_{MS} dan S_{M1} ; selanjutnya parameter spektrum desain diambil sebagai dua-pertiga dari nilai elastiknya, yaitu $S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$ dan $S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$. Uraian parameter ini konsisten dengan ringkasan penerapan SNI 1726:2019 dan pembahasan spektrum desain pada literatur yang membahas SNI 1726:2019.

Parameter tersebut dapat dituliskan:

$$S_{MS} = F_a S_s, S_{M1} = F_v S_1 \quad (3.91)$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}, S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.92)$$

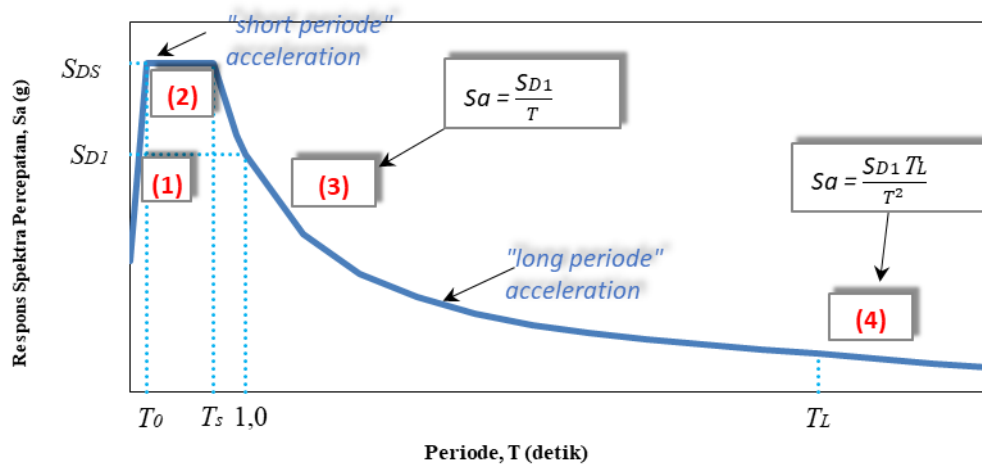
Titik “corner period” spektrum desain kemudian didefinisikan:

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, T_0 = 0.2 T_s \quad (3.93)$$

dan periode transisi panjang T_L diambil dari peta/ketentuan lokasi. Bentuk spektrum percepatan desain 5% redaman dinyatakan secara potongan (piecewise) sebagai:

$$S_a(T) = \begin{cases} S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right), & 0 \leq T < T_0 \\ S_{DS}, & T_0 \leq T \leq T_s \\ \frac{S_{D1}}{T}, & T_s < T \leq T_L \\ \frac{S_{D1} T_L}{T^2}, & T > T_L \end{cases} \quad (3.94)$$

Rumus bentuk spektrum dan definisi T_0 – T_s tersebut merupakan formulasi standar spektrum desain SNI 1726:2019 yang juga banyak dituliskan ulang secara konsisten pada dokumen ringkasan implementasi dan kajian-kajian spektrum desain SNI. Untuk memudahkan memahami bentuk spektrum desain pada SNI 1726:2019, Gambar 3.24 memperlihatkan sketsa spektrum respons percepatan 5% redaman yang dibangun dari parameter S_{DS} dan S_{D1} . Titik transisi periode T_0 dan T_s menandai perubahan bentuk kurva (naik awal, plateau, lalu menurun), sehingga spektrum dapat dibaca sebagai tuntutan percepatan desain pada berbagai periode struktur.



Gambar 3.24 Spektral Desain Berdasarkan SNI 1726:2019

3.11 Analisis Struktur Untuk *Checking Kinerja* – Ekuivalen Statik

FEMA P-751 (2012) menyusun alur analisis struktur gedung yang pada praktiknya dapat dipandang sebagai dua keluaran utama: (i) respons struktur dari analisis dan (ii) verifikasi kinerja terhadap kriteria. Bagian 3.11 ini difokuskan pada tahap analisis dan pembebanan untuk menghasilkan respons struktur awal,

sedangkan kriteria dan evaluasi kinerja dijelaskan terpisah pada Subbab 3.13 agar tidak terjadi pengulangan pembahasan.

Secara ringkas, alur analisis mengacu pada dua tahap berikut. Pada **Tahap 1** (pemeriksaan awal/konfigurasi), model struktur dan pembebanan gempa ditetapkan untuk memperoleh respons dasar yang diperlukan untuk pemeriksaan awal (indikasi ketidakberaturan, simpangan antar tingkat, dan kecenderungan efek P-Delta). Pada tahap ini, pembebanan gempa dapat menggunakan pendekatan Ekuivalen Statik untuk memastikan model dan konfigurasi struktur berada pada rentang perilaku yang wajar sebagai prasyarat analisis lanjutan. Selanjutnya pada Tahap 2 (analisis desain/lanjutan), respons struktur dihitung dengan metode dinamik (Riwayat Waktu) beserta penskalaan dan kombinasi beban yang digunakan dalam desain, sehingga diperoleh respons akhir yang akan dievaluasi terhadap kriteria kinerja.

Pada Tahap 1 (pemeriksaan awal/konfigurasi), pembebanan gempa ekuivalen statik digunakan untuk memperoleh respons global dasar—terutama koefisien geser seismik, gaya geser dasar, gaya tingkat, dan gaya geser tingkat (story shear)—sebagai indikasi awal kewajaran model sebelum analisis dinamik dilakukan. Prosedur ini mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 7.8, dengan input utama berupa berat seismik bangunan W , parameter spektrum desain S_{DS} dan S_{D1} , periode fundamental T , serta parameter sistem struktur (R, I_e) .

1. Gaya geser dasar rencana

Besaran target pembebanan ekuivalen statik adalah gaya geser dasar V , yang dihitung dari:

$$V = C_s W \quad (3.95)$$

dengan C_s adalah koefisien geser seismik dan W adalah berat seismik bangunan.

2. Penentuan koefisien geser seismik C_s

Untuk menentukan cabang spektrum yang dipakai, digunakan periode transisi:

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}, T_0 = 0,2 T_s \quad (3.96)$$

Selanjutnya C_s ditentukan berdasarkan nilai T_{relatif} terhadap T_0 dan T_s (SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1), yaitu:

untuk $T \leq T_0$:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.97)$$

untuk $T_0 < T \leq T_s$:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \quad (3.98)$$

untuk $T > T_s$:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T (R/I_e)} \quad (3.99)$$

Nilai C_s yang diperoleh kemudian harus memenuhi batas minimum (SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1):

$$C_{s,\min} = 0,044 S_{DS} I_e \quad (3.100)$$

sehingga C_s yang digunakan adalah nilai hasil perhitungan yang tidak kurang dari $C_{s,\min}$ (dan mengikuti kontrol lain yang relevan pada ketentuan SNI).

3. Distribusi gaya gempa pada tiap tingkat

Setelah gaya geser dasar V diperoleh, gaya gempa ekuivalen statik didistribusikan ke tiap tingkat sebagai gaya tingkat F_x (SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3):

$$F_x = C_{vx} V \quad (3.101)$$

dengan koefisien distribusi vertikal:

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.102)$$

dimana w_x adalah berat seismik pada tingkat x , h_x adalah tinggi tingkat x dari dasar, dan k adalah eksponen distribusi yang bergantung pada periode struktur T .

4. Gaya Geser Tingkat

Gaya geser tingkat pada level x diperoleh dari akumulasi gaya tingkat di atasnya:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3.103)$$

Dengan formulasi ini, story shear meningkat dari atap menuju dasar, dan pada tingkat dasar berlaku konsistensi: $V_{\text{dasar}} = V$.

Secara praktis, hasil ekivalen statik (V , F_x , dan V_x) digunakan untuk memeriksa kewajaran respons awal model (misalnya pola distribusi gaya, konsistensi akumulasi story shear, serta indikasi awal ketidakberaturan) sebelum respons akhir dievaluasi menggunakan analisis dinamik pada Tahap 2.

3.12 Analisis Riwayat Waktu

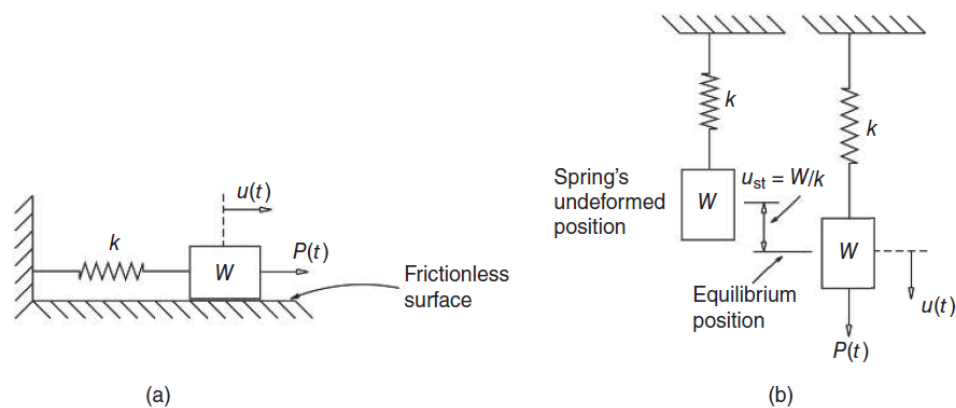
Analisis riwayat waktu (time history) digunakan untuk memperoleh respons struktur sebagai fungsi waktu akibat input percepatan tanah. Dalam penelitian ini, alur pemilihan/penyiapan rekaman dan tahapan analisis mengikuti kerangka prosedur FEMA P-751, sedangkan target spektrum, ketentuan penskalaan, kombinasi pembebanan, serta kriteria desain mengikuti ketentuan SNI 1726:2019.

3.12.1 *Dynamic Structure*

namika struktur membahas respons struktur terhadap beban yang berubah terhadap waktu, terutama beban gempa yang direpresentasikan sebagai riwayat percepatan tanah $\ddot{y}_g(t)$. Berbeda dengan analisis statik yang menganggap beban bekerja perlahan sehingga efek inersia dapat diabaikan, analisis dinamik secara eksplisit mempertimbangkan keberadaan massa pada struktur. Ketika tanah bergetar, massa struktur cenderung mempertahankan keadaannya sehingga timbul gaya inersia yang sebanding dengan percepatan gerak, dan respons struktur menjadi

hasil interaksi antara massa, kekakuan, dan redaman. Widodo (2017) menjelaskan bahwa ketiga komponen ini menentukan karakteristik getaran, termasuk periode alami dan besarnya respons yang terjadi selama pembebanan dinamik.

Untuk memudahkan pemahaman konsep respons dinamik, perilaku struktur terlebih dahulu diidealisasikan sebagai sistem satu derajat kebebasan / *Single Degree of Freedom* (SDOF), yaitu model yang hanya memiliki satu koordinat kebebasan untuk bergerak. Pada idealisasi ini, struktur direpresentasikan sebagai massa terkonsentrasi yang terhubung dengan elemen kekakuan (dan redaman bila dipertimbangkan), sehingga ketika menerima gaya yang berubah terhadap waktu akan berosilasi di sekitar posisi setimbang. Ilustrasi sistem pegas–massa sebagai representasi SDOF ditunjukkan oleh Friedman dkk. (2023) yang menegaskan bahwa perubahan massa dan kekakuan akan memengaruhi karakteristik getaran serta bentuk respons, dapat dilihat pada Gambar 3.25. Meskipun sederhana, model SDOF ini menjadi dasar penting karena secara konseptual setiap mode getar pada struktur *Multi Degree Of Freedom* MDOF dapat dipandang sebagai respons SDOF ekuivalen.



Gambar 3.25 Sistem Pegas SDOF Friedman dkk. (2023)

Pada bangunan gedung, gerak tidak terjadi hanya pada satu koordinat, melainkan pada banyak koordinat yang umumnya diasosiasikan dengan pergerakan lantai-lantai atau titik-titik massa, sehingga sistemnya menjadi MDOF. Karena lantai-lantai saling terhubung melalui elemen struktur, deformasi pada satu tingkat akan memengaruhi tingkat lain, sehingga persamaan geraknya bersifat saling

bergantung (coupled). Widodo (2017) menekankan bahwa untuk MDOF, pengaruh massa, redaman, dan kekakuan antar tingkat tidak dapat dipisahkan secara langsung, sehingga persamaan gerak lebih tepat dituliskan dalam bentuk matriks. Secara umum, persamaan gerak MDOF dapat dinyatakan sebagai

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{p(t)\} \quad (3.104)$$

dengan $[M]$, $[C]$, dan $[K]$ masing-masing adalah matriks massa, redaman, dan kekakuan. Dalam kasus gempa sebagai eksitasi dasar, gaya dinamik $\{p(t)\}$ dinyatakan sebagai gaya inersia akibat percepatan tanah, sehingga persamaan tersebut lazim dituliskan sebagai

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = -[M]\{r\}\ddot{y}_g(t) \quad (3.105)$$

di mana $\{r\}$ adalah vektor pengaruh yang merepresentasikan DOF yang terdampak oleh gerak tanah pada arah pembebanan. Bentuk ini menegaskan bahwa input gempa tidak dimasukkan sebagai gaya luar konvensional, melainkan sebagai pengaruh percepatan tanah yang menghasilkan gaya inersia pada massa struktur.

Persamaan gerak MDOF pada prinsipnya dapat diselesaikan secara langsung, namun karena jumlah derajat kebebasan yang besar dan keterkopelan antar DOF, penyelesaiannya menjadi kurang efisien untuk analisis linier dengan banyak rekaman dan banyak langkah waktu.

Oleh karena itu, pada praktik analisis struktur gedung, pendekatan yang umum digunakan adalah mentransformasikan sistem MDOF yang coupled menjadi serangkaian persamaan yang saling independen melalui analisis modal. Transformasi ini memerlukan pemodelan struktur yang konsisten sehingga matriks massa dan kekakuan terbentuk dengan benar, serta redaman ditetapkan sebagai redaman ekuivalen.

3.12.2 Modal Analysis

Pada struktur MDOF, persamaan gerak tersusun dalam bentuk matriks dan saling terkopel (*coupled*), sehingga respons pada satu derajat kebebasan dipengaruhi oleh derajat kebebasan lainnya. Analisis modal digunakan untuk

memecah sistem terkopel ini menjadi beberapa persamaan yang lebih sederhana dengan memindahkan penyelesaian dari koordinat fisik ke koordinat modal. Dalam kerangka ini, respons struktur dipandang sebagai penjumlahan (*superposisi*) kontribusi dari beberapa mode getar utama. Rade dan Steffen (2008) menjelaskan bahwa *modal analysis* memodelkan perilaku dinamik sistem bergetar melalui karakteristik modal, dan menggunakan transformasi dari koordinat fisik ke ruang modal.

Secara teoritis, karakteristik modal diperoleh dari getaran bebas tak teredam (*undamped free vibration*). Untuk sistem tanpa redaman dan tanpa gaya luar, persamaan gerak pada koordinat fisik (simpangan relatif) dituliskan sebagai:

$$[M]\{\Delta\ddot{y}(t)\} + [K]\{\Delta y(t)\} = \{0\} \quad (3.106)$$

Jika respons getaran bebas diasumsikan berbentuk harmonik, maka:

$$\{\Delta y(t)\} = \{\Delta y\} e^{i\omega t} \quad (3.107)$$

Substitusi Persamaan (3.107) ke Persamaan (3.106) menghasilkan masalah eigen (*generalized eigenvalue problem*):

$$([K] - \omega^2[M])\{\Delta y\} = \{0\} \quad (3.108)$$

Dengan mendefinisikan $\lambda = \omega^2$, dan menuliskan eigenvektor sebagai bentuk modus $\{\phi_r\}$, maka Persamaan (3.108) dapat ditulis:

$$([K] - \lambda_r[M])\{\phi_r\} = \{0\} \quad (3.109)$$

Pada Persamaan (3.109), λ_r adalah *eigenvalue* (berkaitan langsung dengan frekuensi alami ω_r), sedangkan $\{\phi_r\}$ adalah *eigenvector* yang merepresentasikan bentuk modus (*mode shape*). Dalam notasi komponen seperti pada PDF, elemen mode shape pada DOF/tingkat ke- i dan mode ke- r dapat ditulis ϕ_{ir} (atau ϕ_{ij} bila indeks kolom menyatakan nomor mode). Rade dan Steffen Rade & Steffen (2008) menunjukkan bahwa penyelesaian masalah eigen ini menghasilkan pasangan

$(\lambda_r, \{\phi_r\})$ untuk setiap mode getar. Kumpulan mode shape kemudian disusun menjadi matriks modal:

$$[\Phi] = [\Phi_1 \quad \Phi_2 \quad \dots \quad \Phi_n] \quad (3.110)$$

Selanjutnya, simpangan pada koordinat fisik dinyatakan sebagai kombinasi (*superposisi*) koordinat modal melalui transformasi:

$$\{\Delta y(t)\} = [\Phi]\{q(t)\} \quad (3.111)$$

dengan $\{q(t)\}$ adalah vektor koordinat modal. Transformasi inilah yang menjadi inti analisis modal: sistem MDOF yang semula terkopel di koordinat fisik diubah menjadi sistem yang lebih “terurai” di koordinat modal. Gavin (2018) memperlihatkan bahwa setelah masalah eigen diselesaikan dan vektor mode dinormalisasi, persamaan gerak dapat didiagonalisasi sehingga tiap koordinat modal $q_r(t)$ memenuhi persamaan orde-dua yang independen per mode (setara SDOF).

Sebagai pengantar menuju Subbab ARRR berikutnya, hasil utama *modal analysis* yang digunakan pada analisis riwayat waktu berbasis superposisi adalah: frekuensi/periode alami (ω_r, T_r), bentuk modus $\{\phi_r\}/\phi_{ir}$, serta transformasi modal $\{\Delta y(t)\} = [\Phi]\{q(t)\}$ yang memungkinkan respons tiap mode dihitung terpisah lalu digabungkan kembali menjadi respons total struktur.

3.12.3 Analisis Riwayat Respons Ragam, ARRR (*Modal Analysis/Superposition*)

Analisis Riwayat Respons Ragam (ARRR) adalah metode analisis riwayat waktu linier yang memanfaatkan hasil analisis modal untuk menghitung respons struktur akibat gempa. Dengan notasi yang mengikuti konvensi Widodo (2017), gagasan utamanya adalah mengubah persamaan gerak sistem MDOF pada koordinat fisik menjadi sekumpulan persamaan SDOF pada koordinat modal, sehingga respons total dapat diperoleh sebagai superposisi beberapa mode dominan. Bathe (2010) dan Chopra (2012) menjelaskan bahwa pendekatan

superposisi mode efektif untuk struktur linier dengan redaman “klasik” (classical damping), karena setiap mode dapat diperlakukan independen.

Untuk eksitasi gempa sebagai gerak dasar (base excitation), persamaan gerak pada koordinat fisik (simpangan relatif terhadap tanah) dapat dituliskan:

$$[M]\{\ddot{y}(t)\} + [C]\{\dot{y}(t)\} + [K]\{y(t)\} = -[M]\{r\}\ddot{y}_g(t) \quad (3.112)$$

dengan $\{r\}$ adalah vektor pengaruh arah gempa (influence vector) dan $\ddot{y}_g(t)$ adalah percepatan tanah.

Selanjutnya digunakan transformasi modal untuk menuliskan simpangan fisik sebagai kombinasi koordinat modal:

$$\{y(t)\} = [\Phi]\{q(t)\} \quad (3.113)$$

dengan $[\Phi]$ matriks mode shape dan $\{q(t)\}$ vektor koordinat modal. Dengan mensubstitusikan Persamaan (3.113) ke Persamaan (3.112), lalu memproyeksikan (premultiply) terhadap mode ke- r , diperoleh persamaan gerak untuk tiap mode dalam bentuk “modal SDOF”:

$$M_r \ddot{q}_r(t) + C_r \dot{q}_r(t) + K_r q_r(t) = -L_r \ddot{y}_g(t) \quad (3.114)$$

Parameter modal pada Persamaan (3.114) didefinisikan sebagai:

$$M_r = \{\phi_r\}^T [M] \{\phi_r\} \quad (3.115)$$

$$K_r = \{\phi_r\}^T [K] \{\phi_r\} \quad (3.116)$$

$$C_r = \{\phi_r\}^T [C] \{\phi_r\} \quad (3.117)$$

$$L_r = \{\phi_r\}^T [M] \{r\} \quad (3.118)$$

Jika redaman dinyatakan dengan rasio redaman ξ_r pada mode ke- r , maka redaman modal yang umum dipakai dapat ditulis:

$$C_r = 2 \xi_r \omega_r M_r \quad (3.119)$$

Karena $K_r = \omega_r^2 M_r$, Persamaan (3.114) dapat dinormalisasi (dibagi M_r) menjadi:

$$\ddot{q}_r(t) + 2 \xi_r \omega_r \dot{q}_r(t) + \omega_r^2 q_r(t) = -\Gamma_r \ddot{y}_g(t) \quad (3.120)$$

dengan Γ_r adalah faktor partisipasi mode:

$$\Gamma_r = \frac{L_r}{M_r} = \frac{\{\phi_r\}^T [M] \{r\}}{\{\phi_r\}^T [M] \{\phi_r\}} \quad (3.121)$$

Chopra Chopra (2012) menekankan bahwa Persamaan (3.120) menunjukkan tiap mode merespons input gempa dengan “kekuatan pemaksaan” yang dikontrol oleh Γ_r . Setelah respons modal $q_r(t)$ dihitung untuk sejumlah mode yang dianggap cukup, respons pada koordinat fisik dirakit kembali melalui superposisi:

$$\{y(t)\} = \sum_{r=1}^m \{\phi_r\} q_r(t) \quad (3.122)$$

Karena ARRR bekerja di domain waktu, penjumlahan pada Persamaan (3.122) dilakukan pada setiap t , sehingga riwayat simpangan, kecepatan, percepatan, serta besaran turunan (misalnya gaya dalam elemen dan gaya geser tingkat) dapat diperoleh sebagai riwayat waktu. Gavin Gavin (2018) menunjukkan bahwa untuk sistem linier, superposisi mode pada domain waktu memberikan representasi respons yang konsisten selama jumlah mode memadai dan asumsi redaman memenuhi syarat superposisi.

3.12.4 Gaya Geser Dasar Inelastik

Pada analisis riwayat waktu linier berbasis ragam, respons awal yang diperoleh dari model merupakan respons elastik. Mengacu SNI 1726:2019 pasal 7.9.2.5, untuk setiap rekaman gempa yang dianalisis perlu ditentukan terlebih dahulu gaya geser dasar elastik maksimum pada masing-masing arah ortogonal, yaitu V_{EX} untuk arah x dan V_{EY} untuk arah y . Imran dan Kristianto (2019) menegaskan bahwa model yang digunakan untuk memperoleh V_{EX} dan V_{EY} tidak boleh memasukkan pengaruh torsi tak terduga (accidental torsion), karena nilai ini dipakai sebagai basis penentuan skala.

Setelah V_{EX} dan V_{EY} diperoleh, gaya geser dasar tersebut dikonversi menjadi gaya geser dasar inelastik maksimum melalui faktor keutamaan gempa I_e dan faktor modifikasi respons R pada masing-masing arah. Imran dan Kristianto (2019) menuliskan hubungan SNI 1726:2019 pasal 7.9.2.5 sebagai berikut:

$$V_{IX} = \frac{V_{EX} I_e}{R_X} \quad (3.123)$$

$$V_{IY} = \frac{V_{EY} I_e}{R_Y} \quad (3.124)$$

Di sini V_{IX} dan V_{IY} adalah gaya geser dasar inelastik maksimum untuk masing-masing arah, sedangkan R_X dan R_Y mengikuti sistem penahan gaya gempa yang digunakan pada masing-masing arah utama struktur.

3.12.5 Penskalaan Gaya Geser Dasar

SNI 1726:2019 mensyaratkan agar respons dinamik yang digunakan untuk desain tidak lebih kecil dari acuan minimum gaya gempa desain. Oleh karena itu, setelah V_{IX} dan V_{IY} dihitung, ditentukan faktor skala gaya geser dasar untuk masing-masing arah dengan membandingkan terhadap gaya geser dasar rencana V_X dan V_Y yang dihitung mengikuti ketentuan statik ekuivalen (rujuk Pasal 7.8.1). Imran dan Kristianto (2021) merangkum ketentuan SNI 1726:2019 Subbab 7.9.2.5 dengan mendefinisikan faktor skala η_X dan η_Y sebagai:

$$\eta_X = \frac{V_X}{V_{IX}} \geq 1.0 \quad (3.125)$$

$$\eta_Y = \frac{V_Y}{V_{IY}} \geq 1.0 \quad (3.126)$$

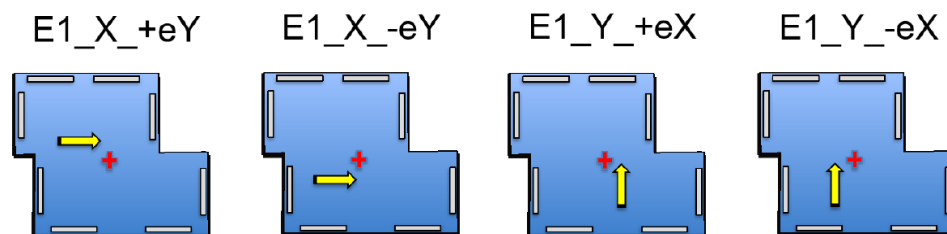
Makna praktisnya adalah: bila respons dinamik menghasilkan gaya geser dasar yang “terlalu kecil”, maka hasil analisis untuk arah tersebut harus diskalakan sehingga setara atau melampaui gaya rencana minimum. Selain itu, SNI 1726:2019 juga menekankan bahwa pembebanan gempa untuk arah x dan y dijalankan secara independen (bukan serentak) karena faktor skala dapat berbeda pada tiap arah.

Imran dan Kristianto (2019) menegaskan hal ini sebagai alasan mengapa analisis dilakukan terpisah untuk arah x dan arah y pada tiap rekaman.

3.12.6 Eksentrisitas dan Torsi Tak Terduga

SNI 1726:2019 mensyaratkan agar pengaruh torsi pada bangunan dimodelkan dalam analisis 3D, termasuk torsi tak terduga (accidental torsion) bila diperlukan. Dalam implementasinya, torsi tak terduga dimasukkan dengan cara menggeser pusat massa diafragma dari posisi aktualnya sebesar 5% dimensi horizontal yang diukur tegak lurus arah pembebanan gempa, dengan dua arah pergeseran (positif dan negatif) sesuai ketentuan Pasal 7.8.4.2. Untuk prosedur ini, pembesaran torsi sesuai Pasal 7.8.4.3 tidak diwajibkan.

Imran dan Kristianto (2019) mengilustrasikan kebutuhan analisis tambahan tersebut seperti pada Gambar 3.26: untuk gempa arah X terdapat dua kasus, yaitu $E1_X_+eY$ dan $E1_X_ -eY$, yang berarti pembebanan gempa arah X dengan pusat massa digeser masing-masing ke arah $+Y$ dan $-Y$; sedangkan untuk gempa arah Y terdapat dua kasus juga, yaitu $E1_Y_+eX$ dan $E1_Y_ -eX$, yang berarti pembebanan gempa arah Y dengan pusat massa digeser masing-masing ke arah $+X$ dan $-X$.



Gambar 3.26 Eksentrisitas Tambahan

Sumber : Imran dan Kristianto (2019)

Dengan demikian, ketika torsi tak terduga harus diperhitungkan, setiap rekaman gempa tidak hanya dianalisis pada dua arah utama, tetapi juga memerlukan variasi eksentrisitas $\pm e$ seperti pada Gambar 3.26 agar respons torsional dapat terenvelop dan kemudian digunakan pada tahap kombinasi.

3.12.7 Kombinasi Beban

Dalam analisis riwayat waktu berbasis superposisi (ARRR), kombinasi yang ditekankan SNI 1726:2019 bukan sekadar “100%–30%” seperti pada respons

spektrum, melainkan kombinasi berbasis dua analisis ortogonal yang dijalankan terpisah kemudian digabungkan pada tahap pascaproses (post-processing). Imran dan Kristianto (2019) merangkum ketentuan SNI 1726:2019 pasal 7.9.2.5 bahwa respons gaya terkombinasi untuk arah x ditentukan sebagai penjumlahan dari: (i) respons elastik arah x yang dihitung dengan model yang mempertimbangkan torsi tak terduga (bila dipersyaratkan) dan (ii) respons elastik arah y yang dihitung dengan model tanpa mempertimbangkan torsi tak terduga, lalu masing-masing dikalikan faktor desainnya. Secara umum (untuk respons gaya), bentuk kombinasinya dapat dituliskan:

$$\{F\}_{x,komb} = \left(\frac{I_e \eta_X}{R_X}\right) \{F\}_{E,x}^{(torsion)} + \left(\frac{I_e \eta_Y}{R_Y}\right) \{F\}_{E,y}^{(no\ torsion)} \quad (3.127)$$

$$\{F\}_{y,komb} = \left(\frac{I_e \eta_Y}{R_Y}\right) \{F\}_{E,y}^{(torsion)} + \left(\frac{I_e \eta_X}{R_X}\right) \{F\}_{E,x}^{(no\ torsion)} \quad (3.128)$$

Sedangkan untuk respons perpindahan, faktor modifikasi diganti menjadi faktor pembesaran simpangan C_d . Imran dan Kristianto (2019) menuliskan ketentuan SNI 1726:2019 pasal 7.9.2.5.4 sebagai:

$$\{\Delta\}_{x,komb} = \left(\frac{C_{dX} \eta_X}{R_X}\right) \{\Delta\}_{E,x}^{(torsion)} + \left(\frac{C_{dY} \eta_Y}{R_Y}\right) \{\Delta\}_{E,y}^{(no\ torsion)} \quad (3.129)$$

$$\{\Delta\}_{y,komb} = \left(\frac{C_{dY} \eta_Y}{R_Y}\right) \{\Delta\}_{E,y}^{(torsion)} + \left(\frac{C_{dX} \eta_X}{R_X}\right) \{\Delta\}_{E,x}^{(no\ torsion)} \quad (3.130)$$

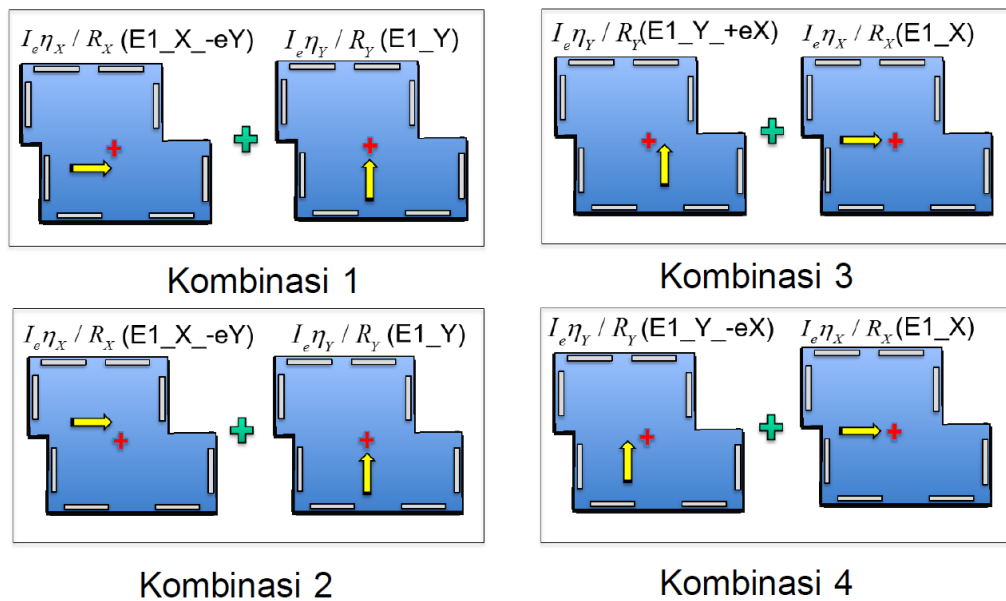
Untuk implementasi torsi tak terduga, Imran dan Kristianto (2019) juga menunjukkan pola empat kombinasi yang umum dipakai agar efek $\pm e$ teramplop. Notasi $E1_X_ \pm eY$ menyatakan analisis elastik arah x dengan eksentrisitas massa $\pm e$ terhadap arah y , dan $E1_Y_ \pm eX$ menyatakan analisis elastik arah y dengan eksentrisitas massa $\pm e$ terhadap arah x . Bentuk kombinasinya dapat dituliskan ulang menjadi:

$$\text{Kombinasi 1: } \left(\frac{I_e \eta_X}{R_X}\right) (E1_X_ - eY) + \left(\frac{I_e \eta_Y}{R_Y}\right) (E1_Y) \quad (3.131)$$

$$\text{Kombinasi 2: } \left(\frac{I_e \eta_X}{R_X} \right) (E1_X_- + eY) + \left(\frac{I_e \eta_Y}{R_Y} \right) (E1_Y) \quad (3.132)$$

$$\text{Kombinasi 3: } \left(\frac{I_e \eta_Y}{R_Y} \right) (E1_Y_- + eX) + \left(\frac{I_e \eta_X}{R_X} \right) (E1_X) \quad (3.133)$$

$$\text{Kombinasi 4: } \left(\frac{I_e \eta_Y}{R_Y} \right) (E1_Y_- - eX) + \left(\frac{I_e \eta_X}{R_X} \right) (E1_X) \quad (3.134)$$



Gambar 3.27 Kombinasi Beban

Sumber : Imran dan Kristianto (2019)

Ilustrasi pada Gambar 3.27 di atas menunjukkan cara penggabungan respons gempa dua arah ortogonal ketika torsi tak terduga diperhitungkan. Terakhir, sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.9.2.6 dan 7.9.2.7, besaran untuk desain diambil sebagai (envelope) dari seluruh respons yang telah dikombinasikan, mencakup dua arah ortogonal dan seluruh rekaman yang dianalisis. Imran dan Kristianto (2019) menegaskan bahwa gaya desain diambil sebagai amplop respons gaya terkombinasi, sedangkan simpangan antar tingkat untuk pemeriksaan drift diambil sebagai amplop simpangan antar tingkat dari respons perpindahan terkombinasi.

3.13 Evaluasi Kinerja Struktur

Kinerja struktur dievaluasi terhadap kriteria penerimaan yang disyaratkan oleh SNI 1726:2019. Evaluasi ini mencakup identifikasi ketidakberaturan, verifikasi batas simpangan antar tingkat (drift), serta efek $P-\Delta$. Dengan demikian, hasil akhir analisis tidak berhenti pada “respons maksimum”, tetapi diterjemahkan menjadi keputusan apakah struktur memenuhi persyaratan kinerja minimum yang dipersyaratkan standar.

3.13.1 Ketidakberaturan Struktur

Dalam SNI 1726:2019, ketidakberaturan struktur dibedakan menjadi ketidakberaturan horizontal (berbasis denah dan lintasan gaya lateral di bidang horizontal) dan ketidakberaturan vertikal (berbasis perubahan kekakuan, massa, geometri, atau kekuatan antar tingkat). Untuk ketidakberaturan horizontal, SNI mendefinisikan ketidakberaturan torsi ketika simpangan antar tingkat maksimum (yang sudah memasukkan torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$) pada salah satu ujung bangunan melintang sumbu lebih besar dari 1,2 kali simpangan rata-rata di kedua ujung bangunan; sedangkan ketidakberaturan torsi berlebihan terjadi bila rasio tersebut melampaui 1,4. Ketentuan torsi ini pada SNI ditekankan berlaku untuk struktur dengan diafragma kaku atau setengah kaku. Selain torsi, SNI juga mendefinisikan ketidakberaturan denah seperti sudut dalam (re-entrant corner) bila dua dimensi proyeksi denah dari lokasi sudut dalam melebihi 15% dimensi denah dalam arah yang ditinjau, serta diskontinuitas diafragma bila terdapat perubahan kekakuan mendadak atau bukaan/area terpotong lebih dari 50% area diafragma bruto tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% antar tingkat. SNI juga memasukkan pergeseran tegak lurus bidang (out-of-plane offset) bila lintasan tahanan gaya lateral mengalami diskontinuitas akibat offset elemen vertikal pemikul gaya lateral, serta sistem nonparalel bila elemen pemikul gaya lateral tidak sejajar sumbu ortogonal utama sistem.

Untuk ketidakberaturan vertikal, SNI mendefinisikan tingkat lunak (soft story) bila kekakuan lateral suatu tingkat kurang dari 70% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya; sedangkan tingkat lunak berlebihan bila kekakuannya kurang dari 60% tingkat di atas atau

kurang dari 70% rata-rata tiga tingkat di atasnya. SNI juga mendefinisikan ketidakberaturan massa ketika massa efektif pada suatu tingkat melebihi 150% massa efektif tingkat di dekatnya, ketidakberaturan geometri vertikal bila dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik pada suatu tingkat melebihi 130% tingkat di dekatnya, serta ketidakberaturan tingkat lemah bila kekuatan lateral tingkat kurang dari 80% tingkat di atasnya, dan tingkat lemah berlebihan bila kekuatan lateral tingkat kurang dari 65% tingkat di atasnya.

SNI juga memberikan pembatasan eksplisit: untuk struktur dengan kategori desain seismik E atau F, ketidakberaturan horizontal Tipe 1b serta ketidakberaturan vertikal Tipe 1b, 5a, atau 5b tidak diizinkan, dan untuk kategori desain seismik D, ketidakberaturan vertikal Tipe 5b tidak diizinkan. Selain pembatasan, terdapat konsekuensi desain tertentu; misalnya untuk kategori desain seismik D sampai F dengan ketidakberaturan horizontal Tipe 1a, 1b, 2, 3, atau 4 (atau vertikal Tipe 4), SNI mensyaratkan peningkatan gaya desain sebesar 25% untuk elemen kolektor serta sambungan diafragma–elemen vertikal (dengan pengecualian tertentu bila sudah memakai efek gaya seismik termasuk faktor kuat lebih).

Agar definisi torsi SNI dapat dituliskan ringkas dalam bentuk rasio, bentuk evaluasi yang umum dipakai adalah:

$$\frac{\Delta_{\max}}{\Delta_{\text{avg}}} > 1,2 \Rightarrow \text{ketidakberaturan torsi (Tipe 1a)}$$

$$\frac{\Delta_{\max}}{\Delta_{\text{avg}}} > 1,4 \Rightarrow \text{ketidakberaturan torsi berlebihan (Tipe 1b)}$$

(dengan $\Delta_{\max}$ = drift maksimum di salah satu ujung, Δ_{avg} = drift rata-rata dua ujung pada arah tinjauan).

3.13.2 Simpangan Antar Tingkat dan *Drift Ratio*

Pemeriksaan simpangan antar tingkat pada SNI didasarkan pada simpangan antar tingkat desain (Δ) yang dihitung dari selisih simpangan tingkat atas dan bawah pada pusat massa (atau proyeksi vertikal pusat massa bila tidak segaris), lalu dikalikan faktor pembesaran simpangan C_d dan dibagi faktor keutamaan gempa I_e . Representasi ini ditunjukkan pada skema penentuan simpangan antar tingkat, di

mana simpangan elastik δ_{xe} dari analisis elastik “diperbesar” menjadi simpangan desain. Secara konseptual, hubungan simpangan tingkat dapat ditulis:

$$\delta_x = \frac{C_d}{I_e} \delta_{xe} \quad (3.135)$$

dan simpangan antar tingkat desain:

$$\Delta_x = \frac{C_d}{I_e} (\delta_{xe,x} - \delta_{xe,x-1}) \quad (3.136)$$

Dalam kasus struktur dengan kategori desain seismik C sampai F yang memiliki ketidakberaturan torsi Tipe 1a atau 1b, SNI menegaskan bahwa Δ dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik-titik yang segaris vertikal di sepanjang salah satu tepi struktur (bukan semata di pusat massa).

Batas penerimaan drift ditetapkan pada Pasal 7.12.1, yaitu Δ tidak boleh melampaui Δ_a dari Tabel 20 untuk semua tingkat. Untuk ringkasnya, Tabel 20 memberi Δ_a dalam bentuk fraksi dari tinggi tingkat h_{sx} dan berbeda menurut kategori risiko serta tipe struktur (misalnya struktur batu bata vs lainnya). Untuk kebutuhan penulisan tesis, bentuk batas drift tersebut dapat dinyatakan sebagai:

$$\Delta_x \leq \Delta_a = \alpha h_{sx} \quad (3.137)$$

dengan α mengikuti Tabel 20 SNI 1726:2019 (contoh yang sering terpakai: “semua struktur lainnya” memiliki $\alpha = 0,020$ untuk kategori risiko I/II, $\alpha = 0,015$ untuk kategori risiko III, dan $\alpha = 0,010$ untuk kategori risiko IV). Drift ratio kemudian didefinisikan sebagai Δ_x/h_{sx} , sehingga evaluasi dapat dinyatakan baik dalam satuan simpangan (mm) maupun rasio drift.

SNI juga memberi ketentuan tambahan untuk struktur yang sistem pemikul gaya seismiknya hanya rangka momen dan berada pada kategori desain seismik D sampai F: simpangan antar tingkat desain Δ tidak boleh melebihi Δ_a/ρ , dengan ρ adalah faktor redundansi sesuai pasal terkait.

3.13.3 P-Delta Effect

Efek P- Δ merupakan pengaruh orde-kedua akibat gaya aksial gravitasi P yang bekerja bersamaan dengan simpangan lateral, sehingga menambah momen dan dapat memperbesar drift serta menurunkan stabilitas sistem. Dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7, pengaruh P- Δ dinyatakan tidak wajib diperhitungkan apabila koefisien stabilitas θ lebih kecil atau sama dengan 0,10. SNI mendefinisikan θ berdasarkan beban vertikal total pada dan di atas tingkat $x(P_x)$, drift desain yang terjadi serentak dengan gaya geser tingkat (Δ), gaya geser tingkat (V_x), tinggi tingkat (h_{sx}), serta parameter I_e dan C_d . Kriteria pengecualian P- Δ dapat dinyatakan sebagai:

$$\theta \leq 0,10 \Rightarrow \text{efek P-}\Delta \text{ boleh diabaikan} \quad (3.138)$$

Apabila $\theta > 0,10$ namun masih berada di bawah atau sama dengan $\theta_{\max}$, SNI menyatakan faktor peningkatan akibat P- Δ harus ditentukan dengan analisis rasional; sebagai alternatif yang diizinkan, perpindahan dan gaya komponen struktur dapat dikalikan dengan:

$$\frac{1}{1 - \theta} \quad (3.139)$$

Jika θ melampaui $\theta_{\max}$, struktur dianggap berpotensi tidak stabil dan perlu didesain ulang. SNI juga menegaskan bahwa bila analisis otomatis sudah memasukkan P- Δ , pemeriksaan terhadap batas $\theta_{\max}$ tetap dilakukan, dengan ketentuan penyesuaian nilai θ tertentu sebelum dibandingkan pada persyaratan tersebut.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif berbasis pemodelan numerik. Tahapan analisis menghasilkan parameter bahaya kegempaan, respons spektra hasil pemilihan dan pencocokan rekaman, serta respons struktur (gaya dalam, simpangan antar tingkat, dan indikator stabilitas) yang dievaluasi terhadap kriteria SNI 1726:2019.

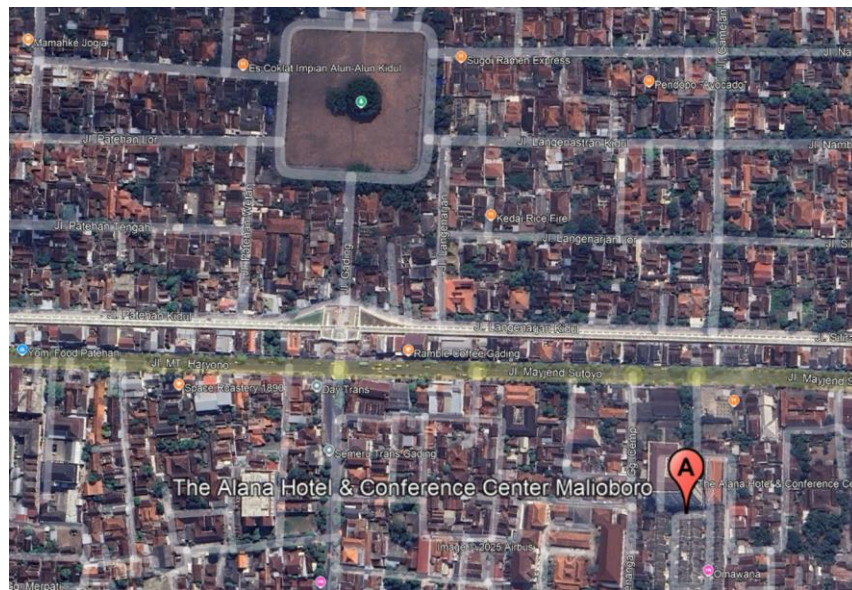
4.2 Data Penelitian

Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer berupa data kondisi tanah lokasi studi di Bantul yang direpresentasikan oleh borelog/lapisan tanah beserta parameter pendukung untuk analisis respons situs. Data primer juga mencakup data struktur gedung yang dimodelkan, seperti geometri, sistem struktur, properti material, beban gravitasi, serta asumsi pemodelan yang digunakan dalam ETABS. Data sekunder meliputi katalog kejadian gempa dan parameter sumber gempa dari basis data USGS, serta rekaman percepatan tanah (accelerogram) yang diambil dari basis data PEER untuk keperluan pemilihan dan pencocokan rekaman. Selain itu digunakan pula parameter desain dan ketentuan evaluasi yang mengacu pada SNI 1726:2019, serta model rujukan bahaya gempa Indonesia yang disusun oleh Irsyam dkk. (2017) yang telah modifikasi untuk analisis PSHA.

4.2.1 Lokasi Penelitian dan Bentuk Struktur

Lokasi dan model struktur diambil dari desain bangunan Hotel Alana Malioboro.

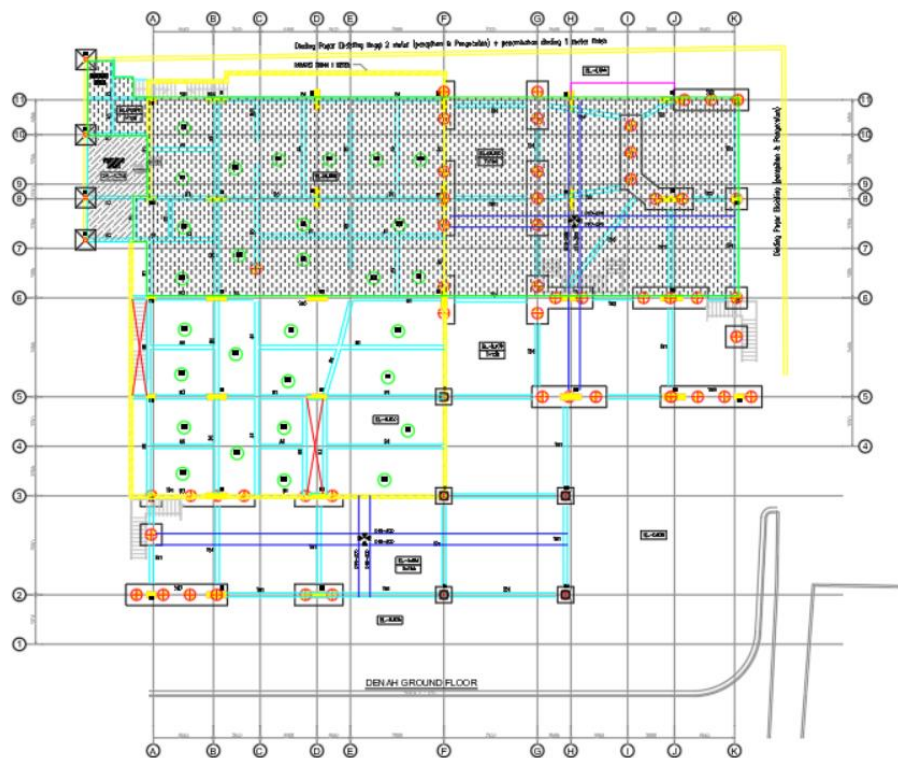
1. Koordinat lokasi Hotel Alana Malioboro terletak pada latitude -7,81 LS dan longitude 110,37 BU, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.1.



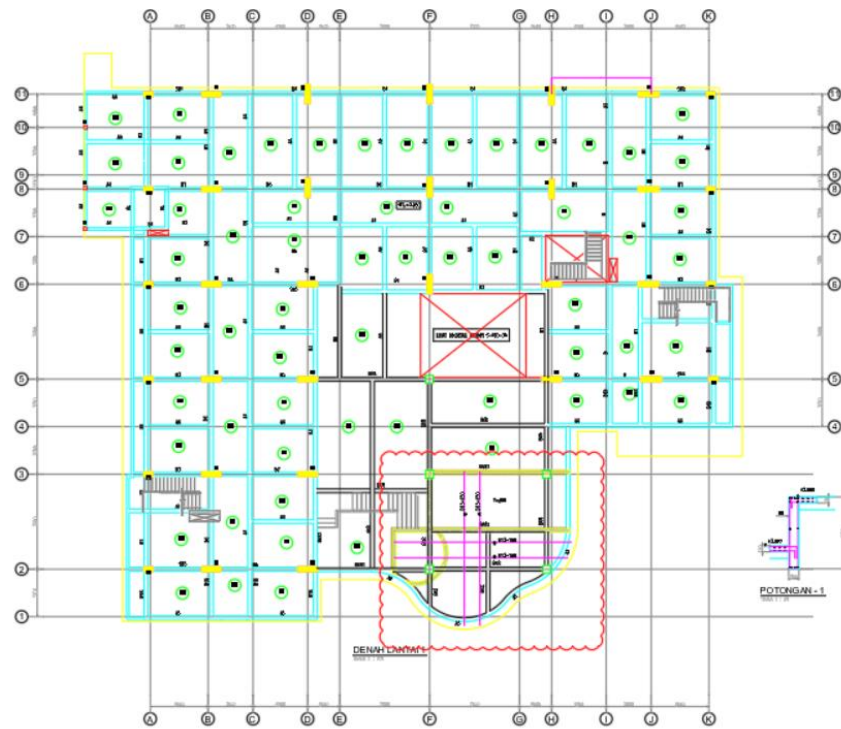
Gambar 4.1 Lokasi Penelitian

2. Model Struktur

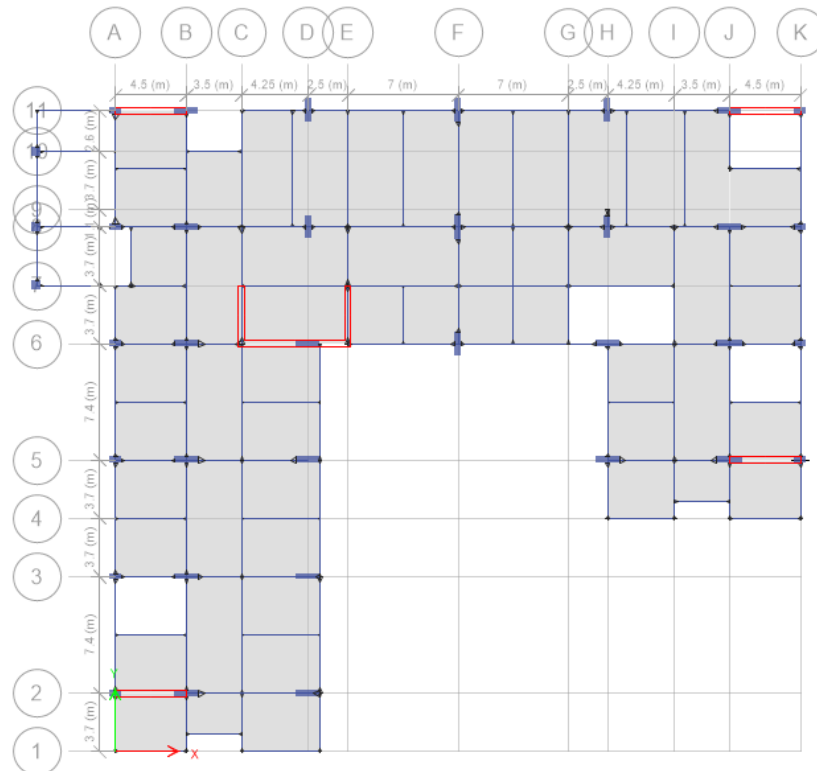
Struktur bangunan yang digunakan pada penelitian ini yaitu diambil model gedung Hotel Alana. Denah pada lantai dasar, lantai 1, serta potongan A ditampilkan pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.5.



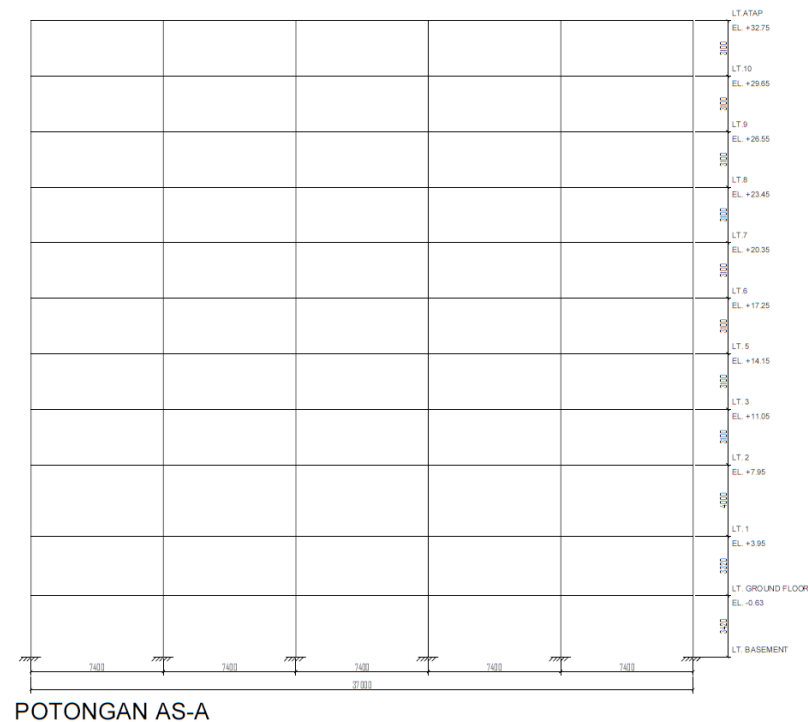
Gambar 4.2 Denah Ground Floor



Gambar 4.3 Denah Lantai 1



Gambar 4.4 Denah *Shear Wall*



Gambar 4.5 Potongan As A-A

4.2.2 Data Kegempaan dan Sumber Gempa

Data sumber gempa yang digunakan pada penelitian ini diambil dari daftar sumber yang disusun oleh PuSGeN (2017). Data ini digunakan sebagai dasar penyusunan model sumber gempa pada PSHA untuk wilayah studi di Pulau Jawa. Sesuai dengan ruang lingkup penelitian, sumber gempa yang digunakan dibatasi pada sumber yang berpotensi memengaruhi lokasi studi, yaitu sumber sesar kerak dangkal (fault) serta sumber subduksi yang dibedakan menjadi megathrust (interface) dan Benioff (intraslab). Pembagian ini sejalan dengan klasifikasi sumber gempa pada landasan teori, yaitu fault sebagai representasi sumber sesar kerak, megathrust sebagai sumber subduksi antarlempeng, dan Benioff sebagai sumber subduksi intralempeng.

Pada penelitian ini, sumber fault digunakan untuk merepresentasikan kejadian gempa kerak dangkal yang berasosiasi dengan sesar aktif terpetakan di wilayah Jawa. Daftar nama sesar yang digunakan tidak disusun ulang secara independen, tetapi langsung mengacu pada daftar sumber yang tersedia pada

PuSGeN (2017). Agar keterkaitan antara daftar sumber dan visualisasi spasial lebih mudah ditelusuri, setiap sesar atau segmen diberi nomor identitas yang digunakan secara konsisten pada Tabel 4.1 sebagai daftar sumber dan pada Gambar 4.6 sebagai peta sebaran. Penomoran ini hanya berfungsi sebagai penanda dalam tesis, sedangkan nama sumber tetap mengikuti nomenklatur pada acuan PuSGeN (2017).

Tabel 4.1 Daftar Sumber Fault

No	Fault	No	Fault
1	Cimandiri-Cimandiri	18	Ungaran2
2	Cimandiri-Nyaldung Cibeber	19	BaribisKendeng-Rawapening
3	Cimandiri-Rajamandala	20	Opak
4	Lembang	21	Merapi-Merbabu
5	Garsela-Kencana	22	BaribisKendeng-Demak
6	Garsela-Rakutai	23	Muria
7	BaribisKendeng-Subang	24	Pati
8	Ciremai	25	BaribisKendeng-Purwodadi
9	BaribisKendeng-Cirebon1	26	BaribisKendeng-Cepu
10	BaribisKendeng-Cirebon2	27	BaribisKendeng-Blumbang
11	BaribisKendeng-Brebes	28	BaribisKendeng-Waru
12	Ajibarang	29	BaribisKendeng-Surabaya
13	BaribisKendeng-Tegal	30	Pasuruan
14	BaribisKendeng-Pekalongan	31	Probolinggo
15	BaribisKendeng-Weleri	32	Bawean
16	BaribisKendeng-Semarang	33	RMKSEast
17	Ungaran1	34	UjungKulon B

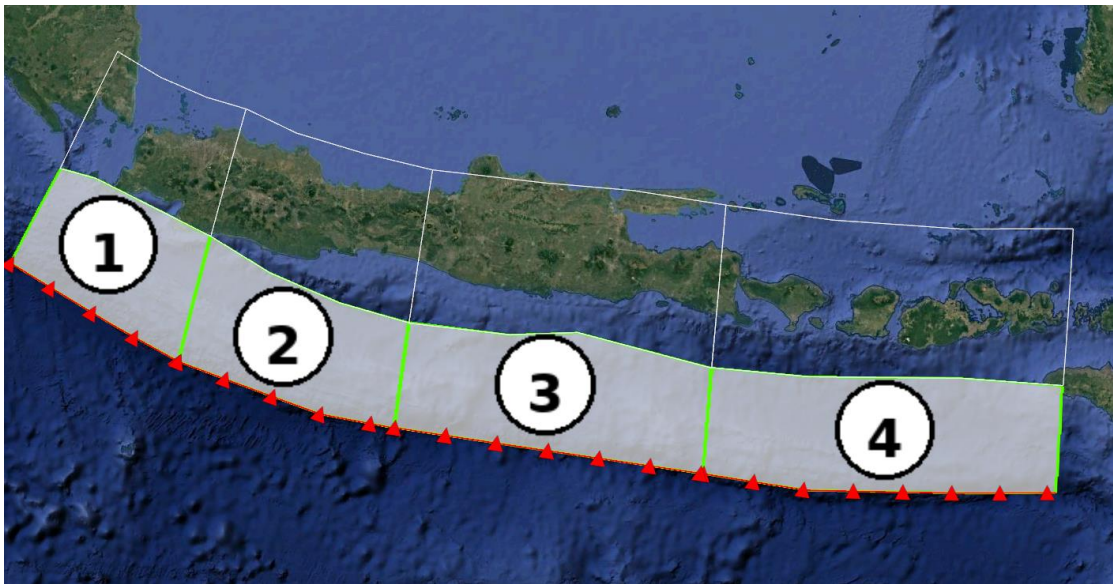


Gambar 4.6 Sebaran Fault dari PuSGeN (2017)

Sumber subduksi dibedakan menjadi dua rezim utama, yaitu megathrust (interface) dan Benioff (intraslab). Segmentasi yang digunakan terdiri atas empat bagian, yaitu Selat Sunda–Banten, Java1 (Jabar), Java2 (Jateng–Jatim), dan Java3 (Bali). Untuk memudahkan penelusuran antara daftar segmen dan visualisasi spasial, setiap segmen diberi nomor identitas yang digunakan secara konsisten pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.7, sedangkan nama segmennya tetap mengikuti nomenklatur acuan.

Tabel 4.2 Daftar Sumber Subduksi

No	Segmen Subduksi	Sumber Megathrust (Interface)	Sumber Benioff (Intraslab)
1	Selat Sunda–Banten	Selat Sunda–Banten	Selat Sunda–Banten
2	Java1 (Jabar)	Java1 (Jabar)	Java1 (Jabar)
3	Java2 (Jateng–Jatim)	Java2 (Jateng–Jatim)	Java2 (Jateng–Jatim)
4	Java3 (Bali)	Java3 (Bali)	Java3 (Bali)



Gambar 4.7 Sebaran Subduksi dari PuSGeN (2017)

4.3 Teknik Pengambilan Data

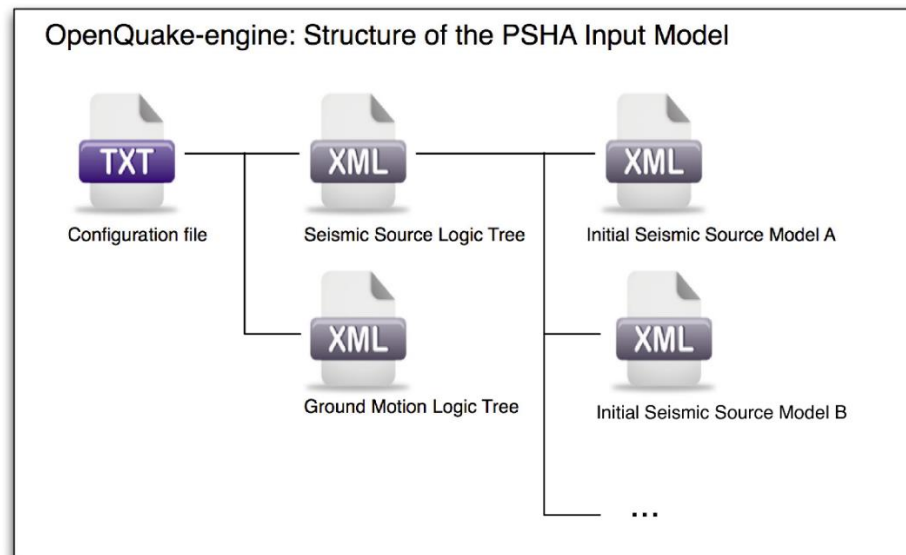
Pengambilan data dilakukan dalam dua kelompok. Pertama, data tanah diperoleh melalui pengumpulan borelog di lokasi studi; apabila borelog langsung di lokasi tidak tersedia, digunakan borelog terdekat yang masih merepresentasikan kondisi geologi dan jenis tanah yang sebanding, dan bila tetap tidak memadai maka diperlukan pengujian tambahan untuk melengkapi parameter yang dibutuhkan analisis respons situs. Kedua, data kegempaan diambil dari katalog USGS untuk penyusunan dataset seismisitas, sedangkan rekaman percepatan tanah diambil dari PEER dengan mempertimbangkan ketersediaan metadata (magnitudo, jarak, mekanisme, dan kondisi situs) agar dapat dipilih rekaman yang sesuai untuk proses spectral matching dan analisis riwayat waktu.

4.4 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data disusun mengikuti alur prosedur penelitian yang menggabungkan kerangka kerja FEMA P-751 untuk tahapan analisis struktur dengan kriteria dan ketentuan desain yang mengacu pada SNI 1726:2019. Secara berurutan, tahapan analisis mencakup: (1) penentuan bahaya gempa melalui PSHA,

(2) pemilihan serta penyesuaian rekaman gempa terhadap spektrum target, (3) analisis respons situs, (4) analisis struktur dinamik, dan (5) evaluasi kinerja struktur.

4.4.1 PSHA dengan OpenQuake



Gambar 4.8 PSHA OpenQuake Engine
(Sumber : Manual Hazard OpenQuake Engine)

Gambar 4.8 memperlihatkan struktur berkas masukan OpenQuake Engine untuk perhitungan PSHA. Seluruh pengaturan komputasi dikendalikan oleh *configuration file* berformat INI. Penelitian ini menggunakan dua file konfigurasi terpisah: **job.ini** untuk kalkulasi *classical* PSHA (Lampiran 27) dan **job_disagg.ini** untuk kalkulasi deagregasi (Lampiran 28).

File *job.ini* memanggil dua komponen utama, yaitu *logic tree* model sumber gempa (*ssmLT.xml*, Lampiran 30) dan *logic tree* GMPE/GSIM (*gmmLT.xml*, Lampiran 29). OpenQuake menghitung *hazard* untuk seluruh kombinasi cabang pada *logic tree*, kemudian menggabungkan hasilnya sesuai bobot masing-masing cabang. Setelah hasil *hazard* utama diperoleh, kalkulasi deagregasi dijalankan menggunakan *job_disagg.ini* untuk mengidentifikasi kontribusi dominan kombinasi magnitudo–jarak pada tingkat intensitas yang ditinjau.

Tahap PSHA dilakukan untuk memperoleh parameter bahaya gempa di lokasi studi berupa *hazard curve* dan UHS pada periode ulang yang ditinjau, serta (pada

tahap lanjutan) deagregasi untuk mengidentifikasi kontribusi dominan magnitudo–jarak. Implementasi PSHA dilakukan menggunakan OpenQuake dengan modifikasi dan pengembangan model *hazard* gempa Indonesia Irsyam dkk.(2017).

1. Input data dan penyusunan *Seismic Source Model* (SSM)

Model sumber gempa disusun dengan mengidentifikasi sumber yang relevan di sekitar lokasi studi, meliputi kerak dangkal (*active crust/fault*), subduksi *interface* (megathrust), dan subduksi intraslab (Benioff/inslab). Untuk tiap kelompok sumber, disiapkan geometri dan atribut sumber sesuai format SSM OpenQuake, serta parameter situs yang dibutuhkan dalam kalkulasi (mis. V_{S30} dan parameter lain yang diperlukan GMPE). Model rekurensi (MFD) disiapkan terlebih dahulu pada tahap berikut, kemudian ditanamkan ke dalam masing-masing sumber di berkas SSM sehingga SSM yang digunakan sudah lengkap (geometri + rekurensi) dan siap diproses pada perhitungan PSHA.

2. Penyusunan Model Rekurensi Dan MFD Untuk SSM

Parameter seismisitas hasil analisis katalog (declustering, M_c , serta parameter Gutenberg–Richter a dan b) digunakan untuk membangun model rekurensi tiap sumber. Pada penelitian ini, model rekurensi kemudian direpresentasikan di dalam Seismic Source Model (SSM) OpenQuake sebagai MFD inkremental.

- a. Untuk sumber fault/active crust dan subduction interface (megathrust), MFD dituliskan sebagai `<incrementalMFD minMag="..." binWidth="...">` yang berisi daftar `<occurRates>...</occurRates>` per bin magnitudo.
- b. Untuk sumber subduction intraslab (Benioff), pemodelan dilakukan sebagai kumpulan banyak titik sumber (grid/distributed seismicity) sehingga tiap titik dapat memiliki laju kejadian sendiri. Karena itu digunakan `<multiPointSource>` dengan `<multiMFD kind="incrementalMFD">`, yaitu koleksi MFD (satu MFD per titik) yang disimpan dalam satu struktur, dengan pemisahan deret laju per titik melalui elemen `<lengths>`.

Penggunaan multiMFD pada Benioff lebih sesuai (dan lebih efisien) dibanding menuliskan ribuan pointSource satu per satu, karena OpenQuake menyatakan dua keuntungan utama: kebutuhan ruang/data jauh lebih kecil (lebih hemat memori dan transfer data) serta serialisasi XML jauh lebih efisien (lebih sedikit

ukuran berkas dan lebih cepat baca/tulis). Pada saat komputasi, multiPointSource ini pada dasarnya dipecah menjadi pointSource sehingga perilaku perhitungannya tetap ekuivalen.

Dalam implementasi penelitian ini, ketidakpastian epistemik pada sisi rekurensi mengikuti struktur *source model logic tree* pada ssmLT.xml, yaitu kombinasi dua model rekurensi (*Characteristic* vs *Gutenberg–Richter*) dan tiga skenario $M_{\max}$. Struktur ssmLT.xml mendefinisikan sourceModel branch sebagai rujukan ke satu berkas *Seismic Source Model* (SSM) tertentu, sehingga setiap kelompok sumber memerlukan enam berkas SSM, yaitu tiga berkas untuk model *Characteristic* (tiga skenario) dan tiga berkas untuk model *Gutenberg–Richter* (tiga skenario yang sama). Dengan demikian, untuk setiap sumber skrip menghasilkan 6 berkas SSM:

- a. 3 berkas untuk model *Characteristic* dengan variasi $M_{\max}(M_{\max} - 0,2, M_{\max}, M_{\max} + 0,2)$, dan
 - b. 3 berkas untuk model *Gutenberg–Richter* dengan variasi $M_{\max}$ yang sama.
- Keenam berkas ini kemudian dipanggil sebagai cabang-cabang pada ssmLT.xml, sehingga SSM yang digunakan pada kalkulasi hazard telah memuat informasi rekurensi (MFD) dan skenario uncertainty yang konsisten dengan hasil analisis seismisitas.

3. Penyusunan *logic tree* (*source, recurrence* dan GMPE)

Penyusunan *logic tree* pada penelitian ini dilakukan dengan memodifikasi model yang digunakan PUSGEN pada Peta Deagregasi tahun 2022 untuk struktur percabangan model sumber dan rekurensi. Pada sisi model gerakan tanah, pemilihan GMPE mengikuti rekomendasi PUSGEN yang lebih mutakhir, yaitu tahun 2024, sehingga kerangka pemodelan sumber tetap konsisten, sementara pemilihan GMPE disesuaikan dengan perkembangan model atenuasi terbaru. Ketidakpastian epistemik dalam analisis PSHA direpresentasikan menggunakan *logic tree* pada sisi model sumber/rekurensi melalui berkas ssmLT.xml dan pada sisi model gerakan tanah melalui berkas gmmLT.xml.

Pada ssmLT.xml, sumber sesar (Active Shallow Crust) diberi bobot recurrence Characteristic = 0,66 dan Gutenberg–Richter = 0,34, sedangkan sumber subduksi, baik megathrust maupun Benioff, masing-masing diberi bobot Characteristic = 0,50 dan Gutenberg–Richter = 0,50. Setiap model *recurrence* dikombinasikan dengan tiga variasi magnitudo maksimum, yaitu $M_{\max} - \Delta M$, $M_{\max}$, dan $M_{\max} + \Delta M$, dengan bobot 0,20; 0,60; dan 0,20, sehingga ketika uncertaintyType = "sourceModel" diterapkan, ssmLT.xml mengembangkan 36 cabang kombinasi yang memuat perbedaan bobot recurrence antara sumber sesar dan subduksi. Struktur percabangan untuk sumber sesar dangkal ditunjukkan pada Gambar 4.9, sedangkan struktur percabangan untuk sumber subduksi (megathrust dan Benioff) ditunjukkan pada Gambar 4.10.

a. Cabang pada ssmLT.xml (*source model / recurrence*)

Pada ssmLT.xml, bobot recurrence untuk sumber sesar dihitung sebagai berikut:

- 1) Characteristic + $M_{\max} - 0,2 = 0,66 \times 0,20 = 0,132$
- 2) Characteristic + $M_{\max} = 0,66 \times 0,60 = 0,396$
- 3) Characteristic + $M_{\max} + 0,2 = 0,66 \times 0,20 = 0,132$
- 4) Gutenberg–Richter + $M_{\max} - 0,2 = 0,34 \times 0,20 = 0,068$
- 5) Gutenberg–Richter + $M_{\max} = 0,34 \times 0,60 = 0,204$
- 6) Gutenberg–Richter + $M_{\max} + 0,2 = 0,34 \times 0,20 = 0,068$

Sementara itu, untuk sumber subduksi, baik megathrust maupun Benioff, bobot recurrence dihitung sebagai berikut:

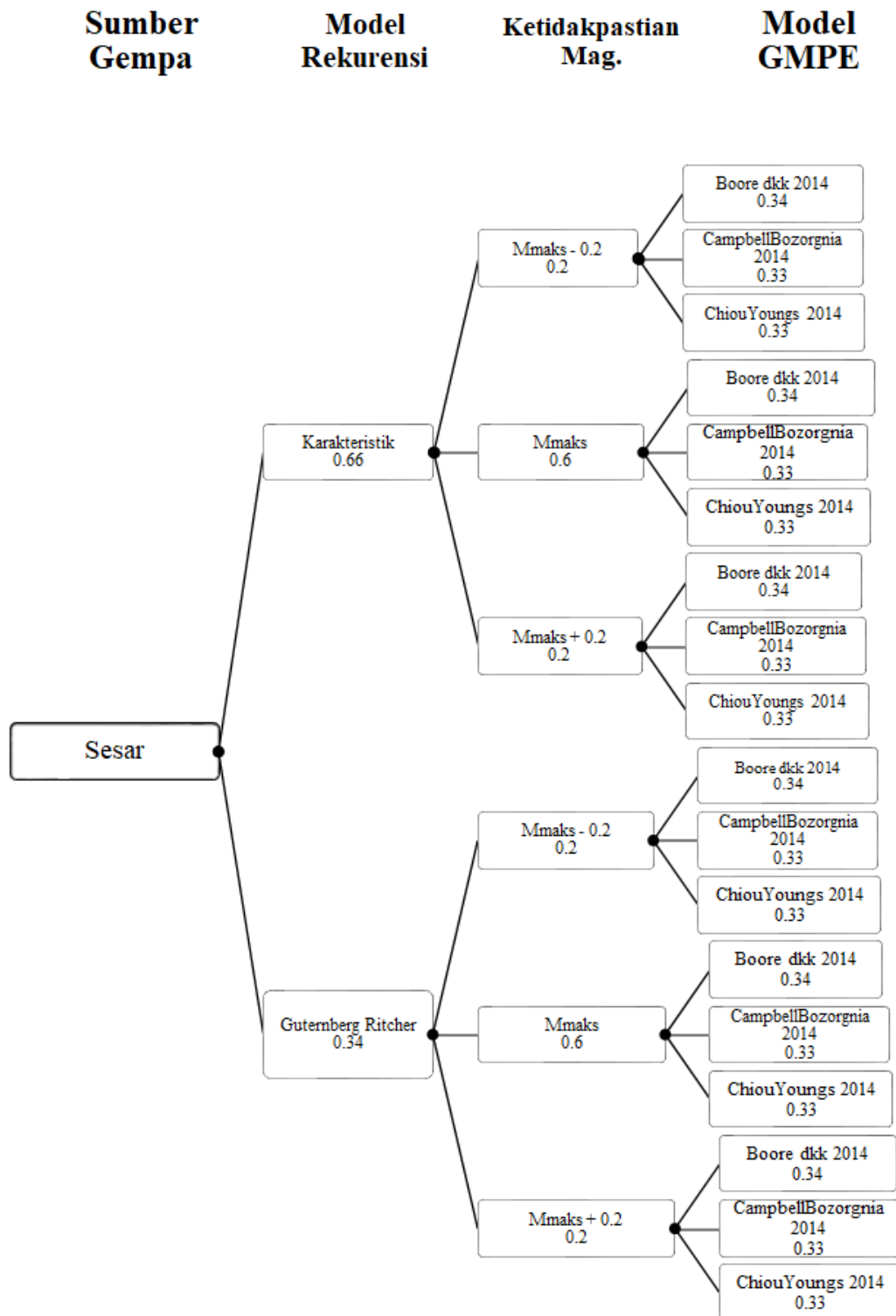
- 1) Characteristic + $M_{\max} - 0,2 = 0,50 \times 0,20 = 0,10$
- 2) Characteristic + $M_{\max} = 0,50 \times 0,60 = 0,30$
- 3) Characteristic + $M_{\max} + 0,2 = 0,50 \times 0,20 = 0,10$
- 4) Gutenberg–Richter + $M_{\max} - 0,2 = 0,50 \times 0,20 = 0,10$
- 5) Gutenberg–Richter + $M_{\max} = 0,50 \times 0,60 = 0,30$
- 6) Gutenberg–Richter + $M_{\max} + 0,2 = 0,50 \times 0,20 = 0,10$

Dalam implementasi ssmLT.xml, kombinasi bobot sumber sesar dan sumber subduksi tersebut kemudian dibentuk menjadi 36 *branch* kombinasi. Sebagai contoh, kombinasi crust Characteristic + $M_{\max} - 0,2$

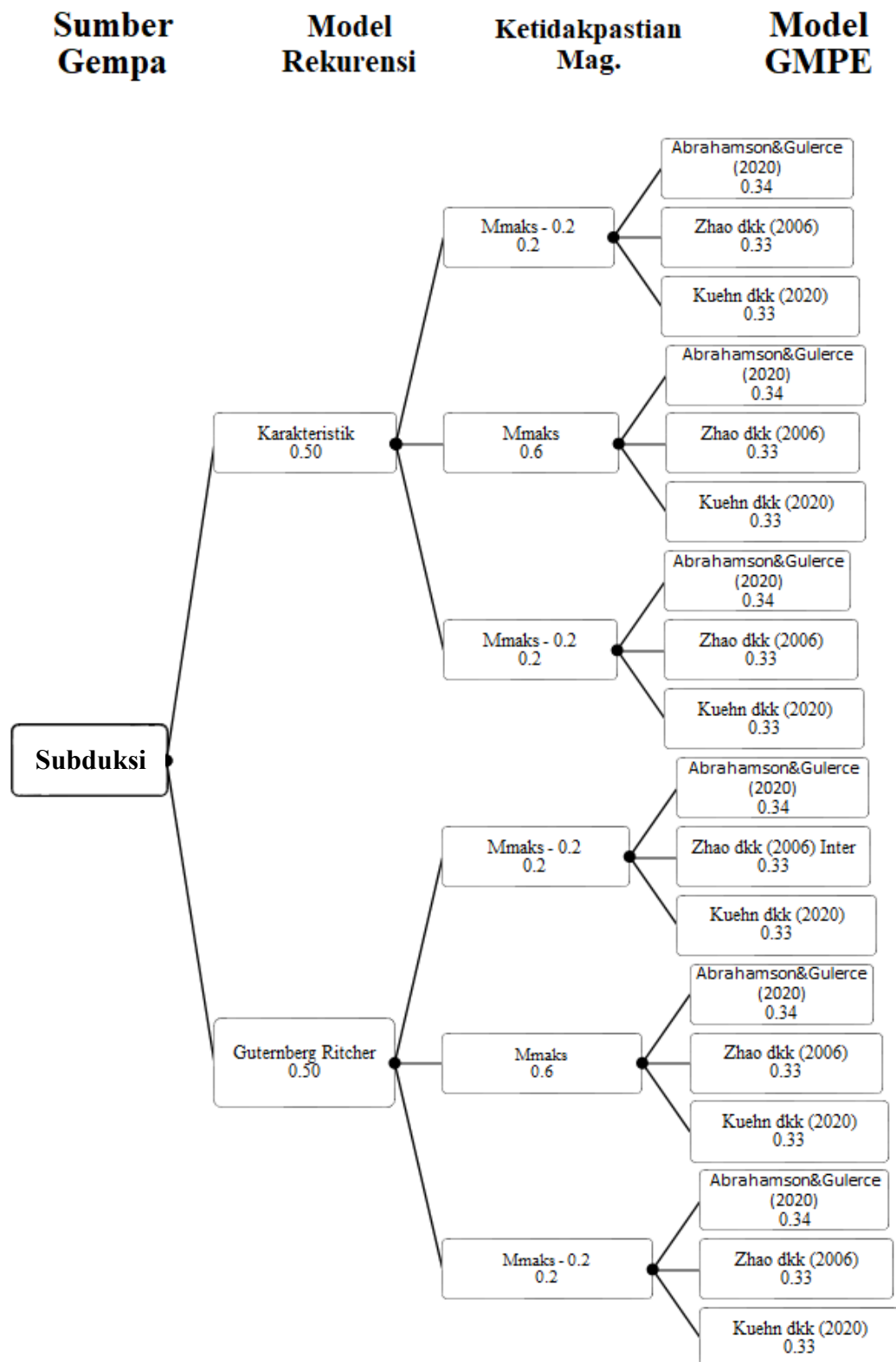
dengan subduction Characteristic + $M_{max} - 0,2$ menghasilkan bobot akhir $0,132 \times 0,10 = 0,0132$, sedangkan kombinasi crust Characteristic + M_{max} dengan subduction Characteristic + M_{max} menghasilkan bobot akhir $0,396 \times 0,30 = 0,1188$. Dengan cara ini, perbedaan bobot recurrence antara sumber sesar dan sumber subduksi tetap dapat direpresentasikan dalam satu file ssmLT.xml.

b. Cabang pada ssmLT.xml (*source model / recurrence*)

Pada gmmLT.xml, pemilihan GMPE dibedakan menurut tipe sumber. Untuk Active Shallow Crust, digunakan BooreEtAl2014 dengan bobot 0,33, CampbellBozorgnia2014 dengan bobot 0,34, dan ChiouYoungs2014 dengan bobot 0,33. Untuk Subduction Interface, digunakan AbrahamsonGulerce2020SInter dengan bobot 0,34, ZhaoEtAl2006SInter dengan bobot 0,33, dan KuehnEtAl2020SInter dengan bobot 0,33. Untuk Subduction Inslab, digunakan AbrahamsonGulerce2020SSlab dengan bobot 0,34, ZhaoEtAl2006SSlab dengan bobot 0,33, dan KuehnEtAl2020SSlab dengan bobot 0,33. Dengan demikian, jumlah bobot GMPE pada masing-masing kelompok sumber tetap sebesar 1,00.



Gambar 4.9 Logic Tree Active Shallow Crustal



Gambar 4.10 Logic Tree Subduksi

4. Setting konfigurasi OpenQuake (job file) dan penentuan mode kalkulasi

Seluruh berkas konfigurasi OpenQuake yang digunakan dalam penelitian ini, termasuk `job.ini`, `job_disagg.ini`, serta *logic tree* `gmmLT.xml` dan `ssmLT.xml`, dipublikasikan dalam sebuah repositori kode daring di GitHub untuk mendukung replikasi analisis oleh peneliti lain (Firdaus (2026)). Parameter kunci yang digunakan adalah:

a. `calculation_mode`

Menentukan mode kalkulasi yang dijalankan. Pada penelitian ini digunakan dua run terpisah:

- 1) `calculation_mode = classical` pada `job.ini` (Lampiran 27) untuk memperoleh hazard curve dan UHS.
- 2) `calculation_mode = disaggregation` pada `job_disagg.ini` (Lampiran 28) untuk memperoleh hasil deagregasi (kontribusi dominan $M-R$). Artinya, `job.ini` dijalankan terlebih dahulu, kemudian `job_disagg.ini` dijalankan setelahnya.

b. `number_of_logic_tree_samples`

Mengatur jumlah *sampling/realization* logic tree yang dihitung. Nilai ini mengontrol banyaknya kombinasi cabang yang dievaluasi (berpengaruh pada runtime dan stabilitas statistik hasil).

c. `gsim_logic_tree_file`

Menunjuk berkas logic tree untuk GMPE/GSIM, yaitu `gmmLT.xml` (Lampiran 29). File ini mengatur pilihan GMPE sesuai *Tectonic Region Type* dan bobot tiap cabang.

d. `source_model_logic_tree_file`

Menunjuk berkas logic tree untuk model sumber gempa, yaitu `ssmLT.xml` (Lampiran 30). File ini mengatur variasi model sumber/rekurensi (mis. pilihan recurrence, variasi M_{max}) beserta bobot cabangnya.

e. `intensity_measure_types_and_levels`

Mendefinisikan IMT yang dihitung (mis. PGA/SA) beserta level intensitasnya.

- 1) Pada run classical (job.ini), pengaturan ini digunakan untuk menyusun hazard curve dan menjadi dasar ekstraksi UHS.
- 2) Pada run disaggregation (job_disagg.ini), IMT/level dibuat sesuai kebutuhan level target deagregasi (umumnya lebih fokus pada satu/beberapa IMT kunci).

f. [output]

Mengatur keluaran yang diekspor dan lokasi penyimpanannya. Pada kalkulasi classical - job.ini, diarahkan untuk menghasilkan keluaran utama hazard curve dan UHS. Pada kalkulasi disaggregation - job_disagg.ini, keluaran difokuskan pada hasil deagregasi sesuai konfigurasi deagregasi yang ditetapkan.

5. Perhitungan classical PSHA (hazard curve dan UHS)

Perhitungan hazard utama dilakukan menggunakan kalkulasi classical PSHA di OpenQuake. Pada tahap ini ditetapkan pengaturan komputasi hingga diperoleh keluaran berupa hazard curve dan UHS pada periode ulang yang ditinjau.

6. Deagregasi hazard (kontribusi dominan magnitudo–jarak)

Setelah hazard utama diperoleh, dilakukan kalkulasi deagregasi untuk memetakan kontribusi dominan dari kombinasi magnitudo–jarak. Hasil deagregasi digunakan untuk mengidentifikasi skenario dominan yang menjadi acuan pada tahap pemilihan rekaman dan penetapan spektrum target.

4.4.2 Spectral Matching Pada Bedrock

Berdasarkan hasil PSHA (UHS dan informasi dominasi sumber dari deagregasi), dipilih tiga pasang rekaman gempa dari basis data PEER yang sesuai karakteristik sumber dominan dan tersedia komponen dua arah. Rekaman terpilih kemudian dilakukan spectral matching menggunakan Seismomatch pada kondisi batuan dasar (bedrock) terhadap spektrum target (UHS) pada periode ulang rujukan penelitian.

4.4.3 Analisis Respons Situs 1D dan Spectral Matching Permukaan

Riwayat percepatan hasil *matching* pada bedrock dirambatkan ke permukaan melalui analisis respons situs 1D menggunakan DEEPSOIL, berdasarkan profil tanah dan parameter dinamik tanah yang digunakan pada penelitian. Hasil respons situs berupa riwayat percepatan permukaan dan spektrum respons permukaan kemudian dilakukan spectral matching tahap kedua agar spektrum permukaan memenuhi spektrum desain SNI 1726:2019 pada rentang periode yang ditetapkan di sekitar periode fundamental struktur.

4.4.4 Analisis Struktur (ETABS) dan Metode ARRR

Model struktur disusun secara tiga dimensi menggunakan ETABS. Pemodelan meliputi definisi geometri (grid dan story), material serta section elemen (balok anak, balok induk, kolom, dan pelat), serta boundary pada dasar struktur. Parameter desain dan ketentuan evaluasi mengacu pada SNI 1726:2019.

Konfigurasi analisis ditetapkan untuk mendukung analisis dinamik dua arah (UX dan UY), dengan pengaturan utama sebagai berikut:

1. Arah analisis dinamik (*ground motion input*): UX dan UY,
2. Mass source (MsSrc1): *Self Weight* dan *Additional Dead Load* (faktor 1,0) serta *Live Load* (faktor 0,25),
3. Diafragma lantai: semi-rigid,
4. P-Delta: menggunakan metode (*iterative based on loads*) dengan toleransi konvergensi 0,0001.
5. Analisis modal: *modal case* menggunakan Ritz vectors dengan jumlah awal 30 mode serta target 100% partisipasi massa di dua arah.

Selanjutnya dilakukan Analisis Riwayat Respons Ragam (ARRR) sebagai analisis riwayat waktu linier berbasis superposisi mode (*modal time history*), menggunakan tiga pasang rekaman percepatan hasil *spectral matching* pada permukaan. Output ARRR dievaluasi untuk respons global dan lokal struktur serta memenuhi ketentuan penskalaan dan *envelope* respons sesuai SNI 1726:2019.

Karena pada ETABS eksentrisitas tidak tersedia secara langsung sebagai opsi pada analisis riwayat waktu linier berbasis mode (ARRR), maka torsi tak terduga (eksentrisitas $\pm e$) dimodelkan melalui pendekatan berbasis mass source. Prinsipnya,

besar massa total tetap, tetapi lokasi pusat massa diafragma digeser sehingga timbul momen torsi terhadap pusat kekakuan saat struktur diberi input percepatan.

The 'Mass Source Data' dialog box for 'MsSrc1' shows the following settings:

- Mass Source Name:** MsSrc1
- Mass Source:**
 - ☐ Element Self Mass
 - ☐ Additional Mass
 - ☒ Specified Load Patterns
 - ☐ Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
 - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction: []
 - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction: []
- Mass Multipliers for Load Patterns:**

Load Pattern	Multiplier
Live	0.25
Additional Dead Load	1
Self Weight	1
- Mass Options:**
 - ☒ Include Lateral Mass
 - ☐ Include Vertical Mass
 - ☒ Lump Lateral Mass at Story Levels

Buttons: OK, Cancel

Gambar 4.11 Mass Source Tanpa Eksentrisitas, MsSrc1

Two side-by-side screenshots of the 'Mass Source Data' dialog box for eccentric mass sources:

- Left Screenshot (MS_EccX_minus):**
 - Mass Source Name:** MS_EccX_minus
 - Mass Source:**
 - ☐ Element Self Mass
 - ☐ Additional Mass
 - ☒ Specified Load Patterns
 - ☒ Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
 - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction: -0.05
 - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction: 0
- Right Screenshot (MS_EccX_plus):**
 - Mass Source Name:** MS_EccX_plus
 - Mass Source:**
 - ☐ Element Self Mass
 - ☐ Additional Mass
 - ☒ Specified Load Patterns
 - ☒ Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
 - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction: 0.05
 - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction: 0

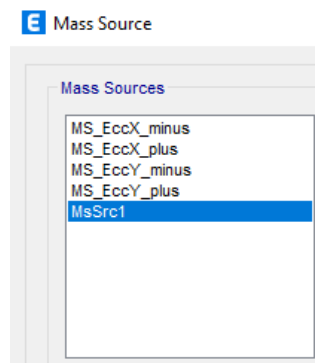
Gambar 4.12 Mass Source Eksentresitas $\pm 0,05e_x$

Two side-by-side screenshots of the 'Mass Source Data' dialog box for eccentric mass sources:

- Left Screenshot (MS_EccY_minus):**
 - Mass Source Name:** MS_EccY_minus
 - Mass Source:**
 - ☐ Element Self Mass
 - ☐ Additional Mass
 - ☒ Specified Load Patterns
 - ☒ Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
 - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction: 0
 - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction: -0.05
- Right Screenshot (MS_EccY_plus):**
 - Mass Source Name:** MS_EccY_plus
 - Mass Source:**
 - ☐ Element Self Mass
 - ☐ Additional Mass
 - ☒ Specified Load Patterns
 - ☒ Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
 - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction: 0
 - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction: 0.05

Gambar 4.13 Mass Source Eksentresitas $\pm 0,05e_y$

Mass source acuan tanpa eksentrisitas didefinisikan sebagai MsSrc1 (Gambar 4.11). Pada *mass source* ini, massa dibentuk dari Specified Load Patterns dengan pengali yang sama untuk seluruh skenario, yaitu Self Weight = 1,0, Additional Dead Load = 1,0, dan Live = 0,25. Opsi penggeseran pusat massa diafragma (*Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by*) tidak diaktifkan, sehingga pusat massa tetap berada pada kondisi nominal. MsSrc1 juga digunakan sebagai *default mass source* pada model (lihat daftar pada Gambar 4.14).



Gambar 4.14 Daftar *Mass Source*

Untuk merepresentasikan eksentrisitas tak terduga, dibuat variasi *mass source* dengan mengaktifkan opsi penggeseran pusat massa diafragma (*Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by*). Besarnya pergeseran dimasukkan dalam bentuk rasio terhadap dimensi diafragma, yaitu $\pm 0,05$ (5% dimensi diafragma) pada arah yang diinginkan, dengan komposisi massa tetap sama seperti MsSrc1. Variasi yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 sebagai berikut:

1. MS_EccX_plus: pusat massa digeser +0,05 pada arah X
(rasio $X = +0,05$; $Y = 0$).
2. MS_EccX_minus: pusat massa digeser -0,05 pada arah X
(rasio $X = -0,05$; $Y = 0$).
3. MS_EccY_plus: pusat massa digeser +0,05 pada arah Y
(rasio $X = 0$; $Y = +0,05$).
4. MS_EccY_minus: pusat massa digeser -0,05 pada arah Y
(rasio $X = 0$; $Y = -0,05$).

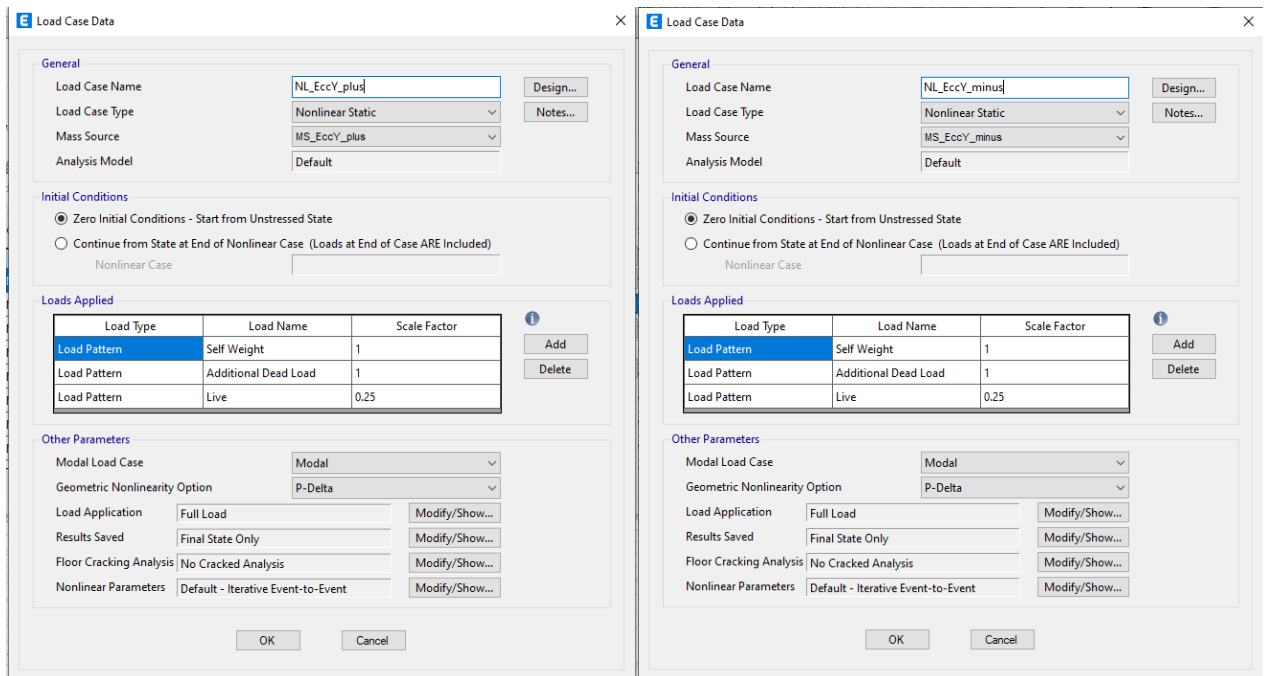
Untuk mengaktifkan variasi *mass source* (MsSrc1, MS_EccX $_{\pm}$, MS_EccY $_{\pm}$) pada analisis dinamik berbasis mode, ETABS memerlukan load case

husus karena *mass source* yang digunakan pada analisis melekat pada definisi load case (terutama load case modal). Oleh karena itu, dibuat kelompok load case yang secara eksplisit “memanggil” masing-masing *mass source* eksentris tersebut.

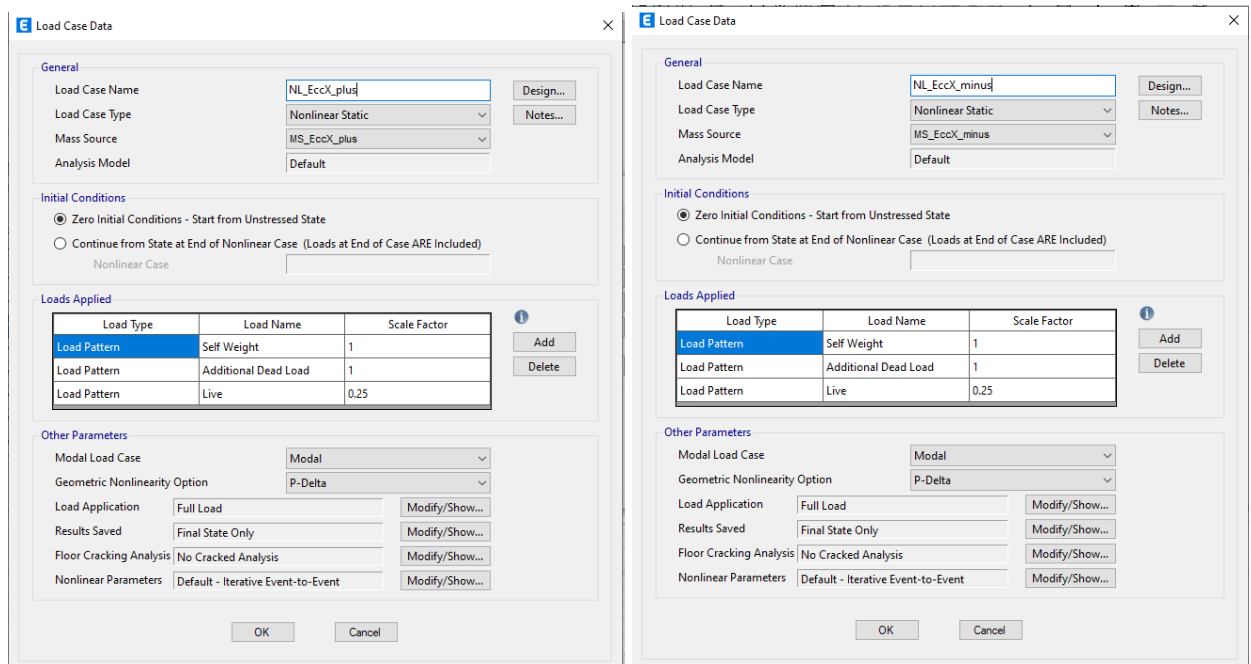
Pendekatan yang diterapkan terdiri dari dua tahap untuk setiap skenario eksentrisitas, yaitu (1) Nonlinear Static (NL) untuk membentuk kondisi P-Delta akibat beban gravitasi dan (2) Modal-Ritz (MOD_Ritz) untuk membangkitkan mode bentuk yang konsisten dengan *mass source* dan kondisi P-Delta.

1. Load case Nonlinear Static (NL_...) sebagai basis P-Delta

Load case Nonlinear Static dibuat untuk setiap variasi eksentrisitas, yaitu NL_EccY_plus, NL_EccY_minus, NL_EccX_plus, dan NL_EccX_minus. Pengaturan untuk skenario eksentrisitas arah Y ditunjukkan pada Gambar 4.15, sedangkan skenario eksentrisitas arah X ditunjukkan pada Gambar 4.16. Seluruh load case NL menggunakan Zero Initial Conditions (mulai dari kondisi tak terbebani) dan memuat beban gravitasi yang sama sesuai komposisi massa, yaitu Self Weight (1,0), Additional Dead Load (1,0), dan Live (0,25).



Gambar 4.15 Load Case Nonlinear Static NL_EccY

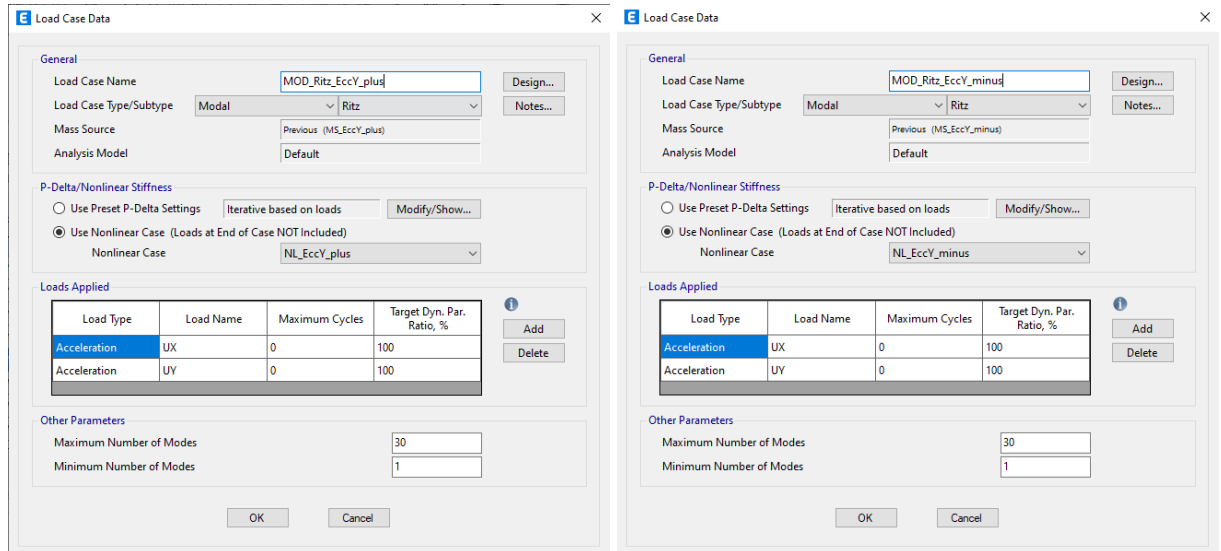


Gambar 4.16 Load Case Nonlinear Static NL_EccX

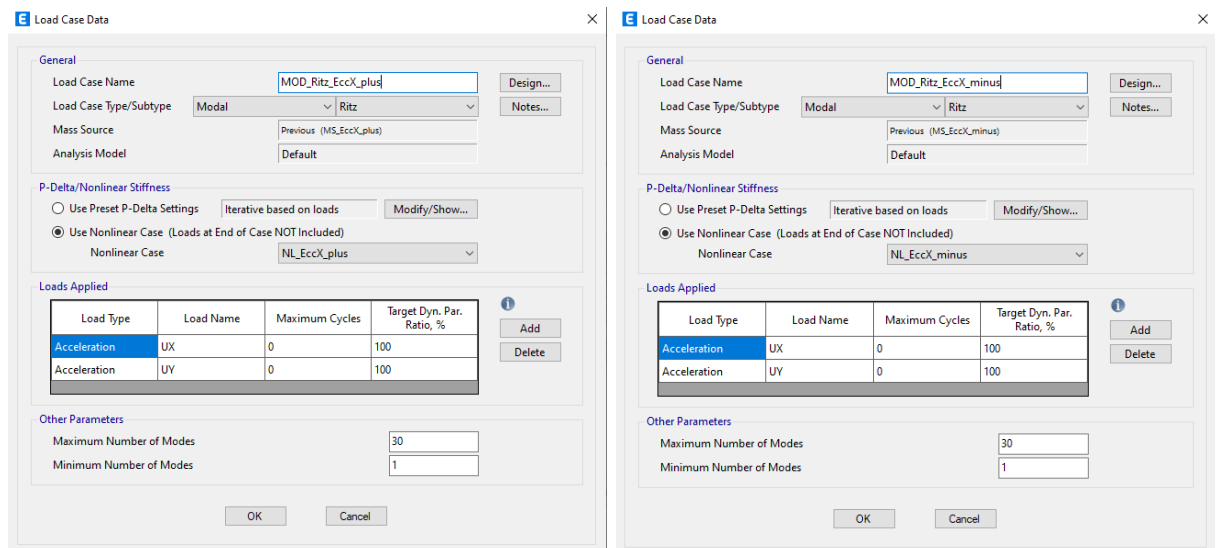
Pada bagian *Other Parameters*, opsi Geometric Nonlinearity Option ditetapkan sebagai P-Delta dan Results Saved diset Final State Only, sehingga kondisi akhir (kekakuan yang telah terpengaruh P-Delta) dapat digunakan sebagai referensi pada tahap analisis modal berikutnya (lihat Gambar 4.12–Gambar 4.13). Pemilihan *mass source* pada tiap load case NL dibuat konsisten dengan nama skenarionya, misalnya NL_EccY_plus menggunakan MS_EccY_plus dan NL_EccX_minus menggunakan MS_EccX_minus.

2. Load case Modal-Ritz (MOD_Ritz_...) untuk mode konsisten eksentrisitas
Setelah kondisi P-Delta terbentuk melalui load case NL, dibuat load case Modal-Ritz yang berpasangan untuk masing-masing NL, yaitu MOD_Ritz_EccY_plus, MOD_Ritz_EccY_minus, MOD_Ritz_EccX_plus, dan MOD_Ritz_EccX_minus. Pengaturan modal Ritz untuk skenario eksentrisitas arah Y ditunjukkan pada Gambar 4.17, sedangkan untuk arah X ditunjukkan pada Gambar 4.18. Pada load case ini, *mass source* ditampilkan sebagai Previous (MS_...), maksudnya yaitu menggunakan *mass source* hasil dari load case NL sebelumnya, sehingga mode yang dibangkitkan

merepresentasikan pusat massa diafragma yang telah digeser sesuai skenario eksentrisitas.



Gambar 4.17 Load Case MOD_Ritz_EccY

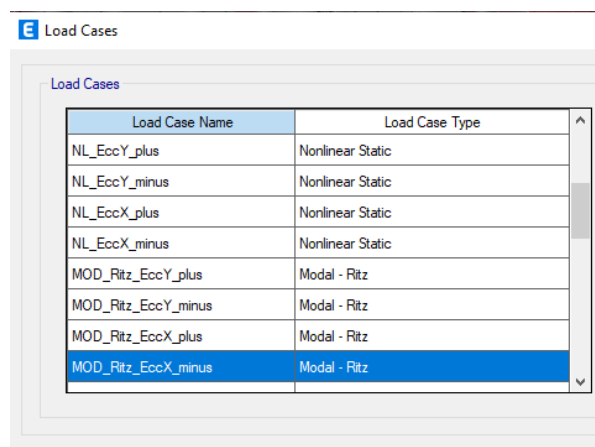


Gambar 4.18 Load Case MOD_Ritz_EccX

Agar efek P-Delta tetap terakomodasi pada analisis berbasis mode, pengaturan P-Delta/Nonlinear Stiffness menggunakan opsi Use Nonlinear Case (Loads at End of Case NOT included) dan menunjuk nonlinear case yang sesuai, misalnya MOD_Ritz_EccY_plus merujuk NL_EccY_plus dan MOD_Ritz_EccX_plus merujuk NL_EccX_plus. Pembentukan vektor Ritz dilakukan dengan beban *Acceleration* pada UX dan UY dengan Target

Dynamic Participation Ratio = 100%, serta jumlah mode maksimum diset (misalnya 30 mode) untuk memastikan partisipasi massa tercapai pada dua arah utama. Pengaturan MOD ini serupa dengan *load case* Modal pada pembahasan awal 4.4.4.

Dengan demikian, tiap skenario eksentrisitas memiliki pasangan load case NL_... → MOD_Ritz_... yang konsisten dalam aspek *mass source* dan kekakuan P-Delta. Daftar lengkap pasangan load case untuk seluruh skenario eksentrisitas ditampilkan pada Gambar 4.19. Pasangan load case ini kemudian digunakan sebagai dasar penyusunan load case ARRR per rekaman, termasuk pembentukan kombinasi dua arah ortogonal dan *envelope* respons, yang dibahas pada bagian berikutnya.



Load Case Name	Load Case Type
NL_EccY_plus	Nonlinear Static
NL_EccY_minus	Nonlinear Static
NL_EccX_plus	Nonlinear Static
NL_EccX_minus	Nonlinear Static
MOD_Ritz_EccY_plus	Modal - Ritz
MOD_Ritz_EccY_minus	Modal - Ritz
MOD_Ritz_EccX_plus	Modal - Ritz
MOD_Ritz_EccX_minus	Modal - Ritz

Gambar 4.19 Daftar Load Case untuk Eksentrisitas

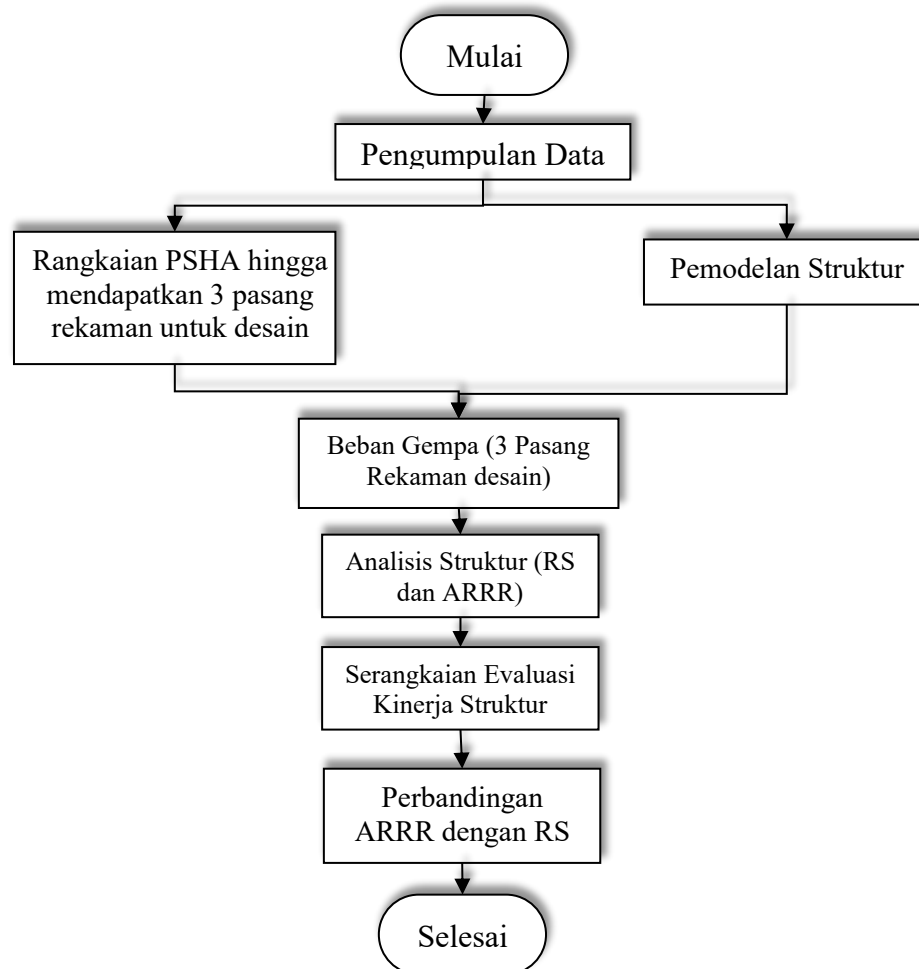
4.5 Alur Utama Penelitian

Secara garis besar, penelitian ini terdiri atas lima tahap utama, yaitu:

1. penyusunan model bahaya gempa melalui analisis PSHA untuk memperoleh: *hazard curve*, deagregasi, dan UHS sebagai dasar penentuan beban gempa,
2. pemilihan dan pencocokan rekaman percepatan tanah terhadap UHS serta propagasi gelombang dari bedrock ke permukaan,
3. analisis respons dinamik struktur gedung 10 tingkat menggunakan rekaman hasil pencocokan,
4. evaluasi kinerja struktur terhadap ketentuan SNI 1726:2019, dan

5. perbandingan hasil analisis ARRR dan analisis riwayat respons (RS), termasuk gaya geser dasar dan parameter respons struktur lainnya, untuk menilai perilaku dan peningkatan kinerja struktur sebelum dan sesudah perkuatan.

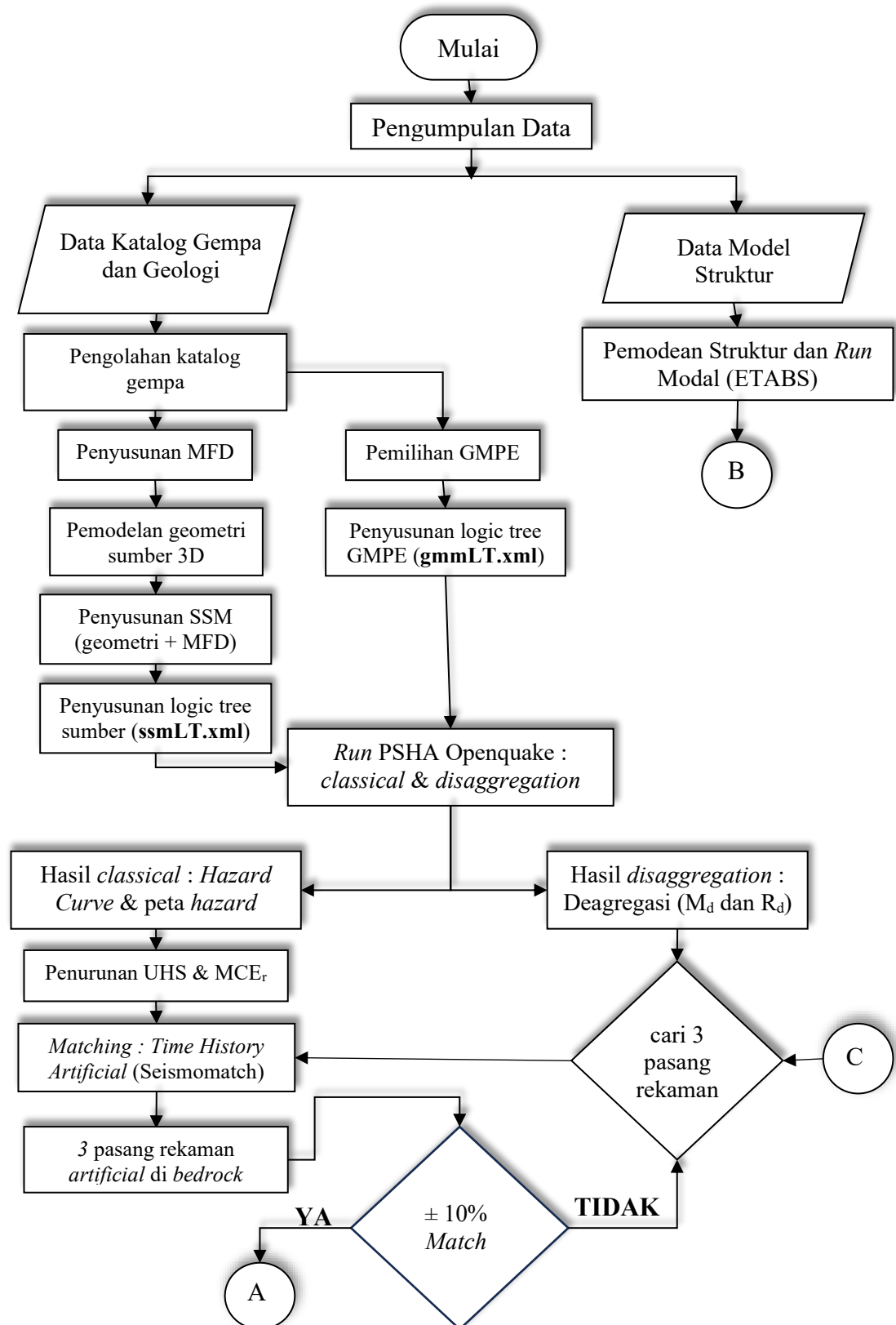
Alur utama kelima tahap tersebut divisualisasikan pada Gambar 4.20, yang merangkum proses penelitian ini.



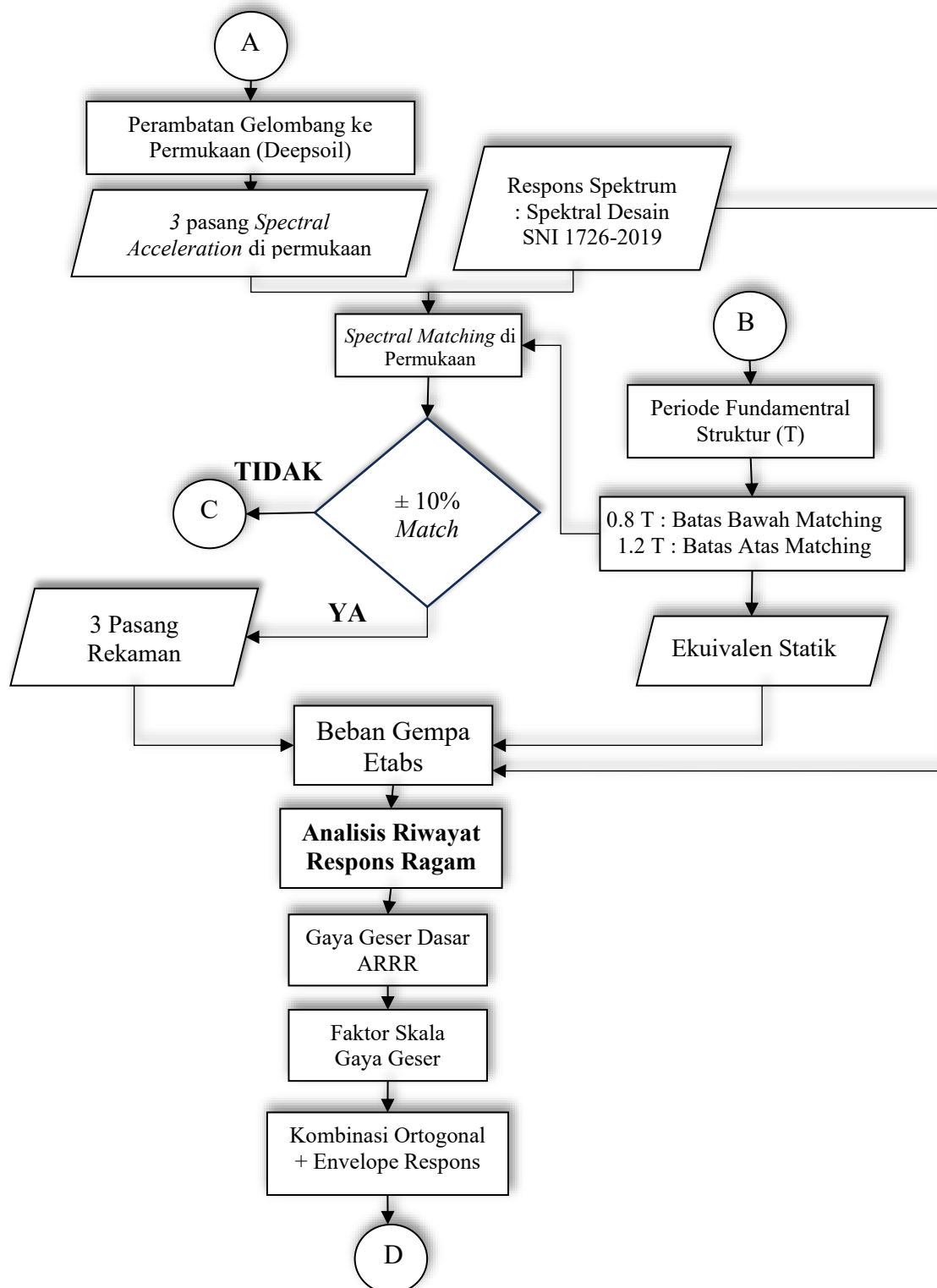
Gambar 4.20 Alur Utama Penelitian

4.6 Bagan Alir Penelitian

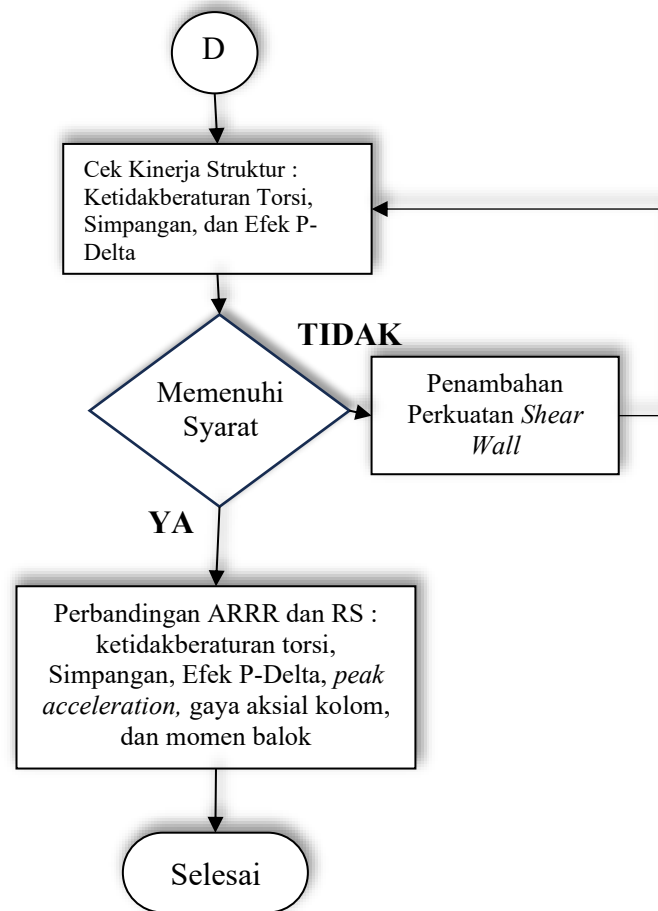
Tahapan penelitian dikelompokkan menjadi dua tahap utama. Tahap 1 mencakup PSHA, pemilihan dan *spectral matching* rekaman pada *bedrock*, serta analisis respons situs 1D untuk menghasilkan *input* gempa pada permukaan. Tahap 2 mencakup pemodelan struktur, ARRR, dan evaluasi kinerja struktur berdasarkan SNI 1726:2019. Bagan alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.21 berikut.



Gambar 4.21 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.21 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.21 Bagan Alir Penelitian

BAB V

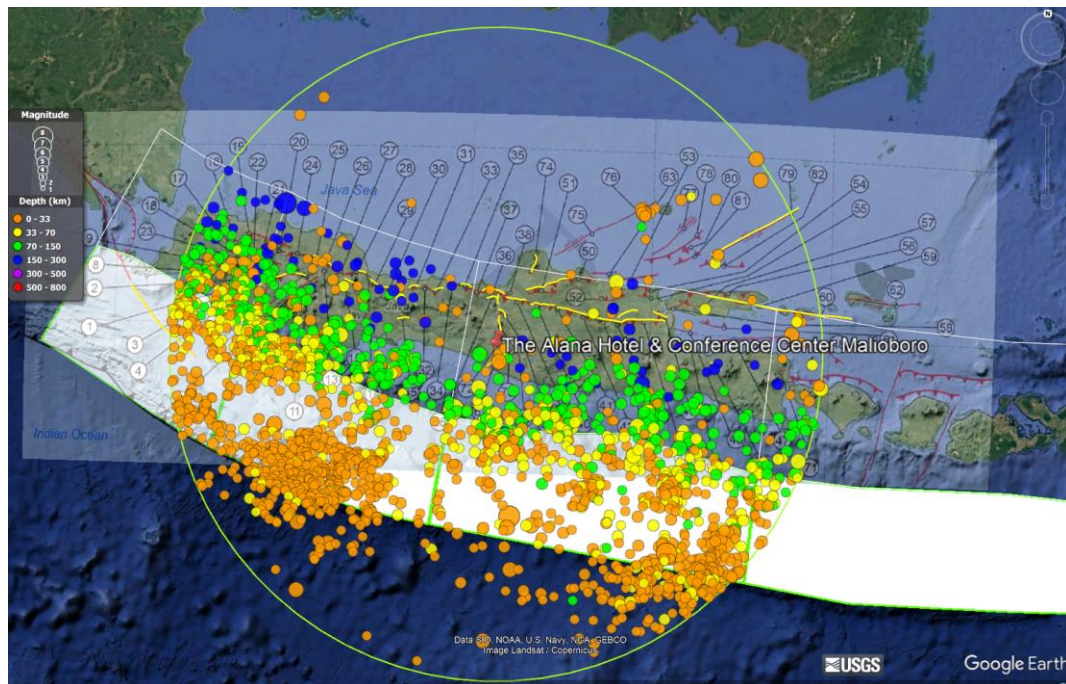
DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Seismisitas Katalog

Analisis dilakukan untuk memperoleh parameter utama yang diperlukan, yaitu pemisahan gempa utama dan aftershock (declustering), penentuan magnitude of completeness (M_c), serta estimasi parameter Gutenberg–Richter (a dan b) beserta laju kejadian. Seluruh proses dilakukan dengan menyusun katalog gempa sesuai batas wilayah dan periode penelitian, kemudian diproses menggunakan perangkat analisis seismisitas (ZMAP) sehingga keluaran yang dihasilkan dapat digunakan secara konsisten pada pemodelan sumber gempa dan perhitungan hazard pada tahap berikutnya.

5.1.1 Sumber Data Katalog, Periode Data, Dan Wilayah Studi

Katalog gempa yang digunakan pada penelitian ini diambil dari basis data USGS dengan titik acuan lokasi studi pada koordinat The Alana Hotel & Conference Center Malioboro (lintang -7.815176893 ; bujur 110.3656). Batas spasial data ditetapkan dalam radius 500 km dari titik acuan, dengan rentang waktu kejadian Tahun 1910 s.d. 2025 dan rentang magnitudo 4,70 s.d. 9,0. Berdasarkan kriteria tersebut, diperoleh 2398 kejadian gempa sebagai data mentah, termasuk magnitude (berbagai jenis seperti m_w , m_b , atau m_s) yang merepresentasikan sebaran kejadian di sekitar lokasi studi; visualisasi sebaran katalog ditunjukkan pada Gambar 5.1 untuk memastikan cakupan data sesuai batas wilayah yang ditetapkan.



Gambar 5.1 Pencarian Katalog USGS

5.1.2 Konversi magnitudo ke M_w

Data katalog hasil pencarian USGS umumnya masih memuat beberapa jenis magnitudo (misalnya m_b dan m_s). Agar analisis seismisitas konsisten, seluruh magnitudo pada katalog diseragamkan menjadi momen magnitudo M_w . Pada penelitian ini, konversi dilakukan menggunakan persamaan empiris Muntafi & Nojima (2021) sesuai rentang magnitudo yang direkomendasikan, yaitu untuk m_b (Persamaan (3.1)) dan m_s (Persamaan (3.2)–(3.3)). Secara praktis, jenis magnitudo pada tiap kejadian diidentifikasi terlebih dahulu (kolom *magType*), kemudian nilai M_w dihitung berdasarkan persamaan yang sesuai. Nilai M_w hasil konversi inilah yang kemudian digunakan sebagai magnitudo input pada Zmap7.

Sebagai ilustrasi penerapan, ditunjukkan dua contoh kejadian dari katalog USGS. Kejadian pertama tercatat pada 1 Februari 1973 (1973-02-01 T11:39:59.200Z) dengan episenter pada koordinat lintang -6.528 dan bujur 106.965 , kedalaman 77 km, serta jenis magnitudo $m_b = 4,5$. Karena berada pada rentang $3,2 \leq m_b \leq 8,2$, digunakan Persamaan (3.1):

$$M_w = 1.0332 m_b - 0.0834$$

$$M_w = 1.0332(4.5) - 0.0834 = 4.6494 - 0.0834 = 4.5660 \approx 4.57$$

Sementara itu, kejadian kedua tercatat pada 12 Maret 1973 (1973-03-12 T05:57:02.000Z) dengan episenter pada koordinat lintang -9.408 dan bujur 111.142 , kedalaman 38 km, serta jenis magnitudo $m_s = 5,4$. Karena berada pada rentang $3,1 \leq m_s \leq 6,3$, digunakan Persamaan (3.2):

$$M_w = 0.6354 m_s + 2.3115$$

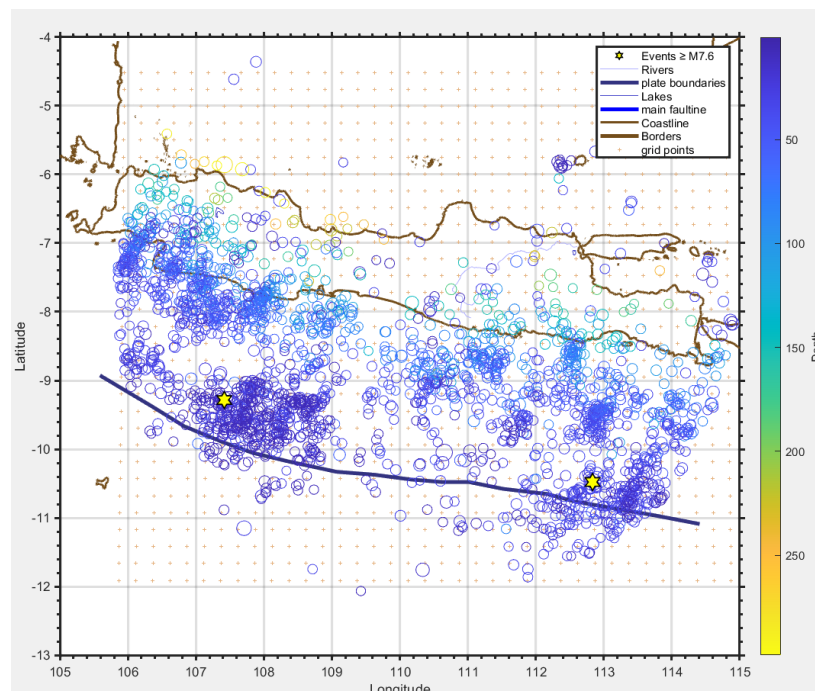
$$M_w = 0.6354(5.4) + 2.3115 = 3.43116 + 2.3115 = 5.74266 \approx 5.74$$

Nilai M_w hasil konversi tersebut kemudian digunakan sebagai magnitudo seragam pada dataset input Zmap7 untuk tahapan analisis seismisitas berikutnya.

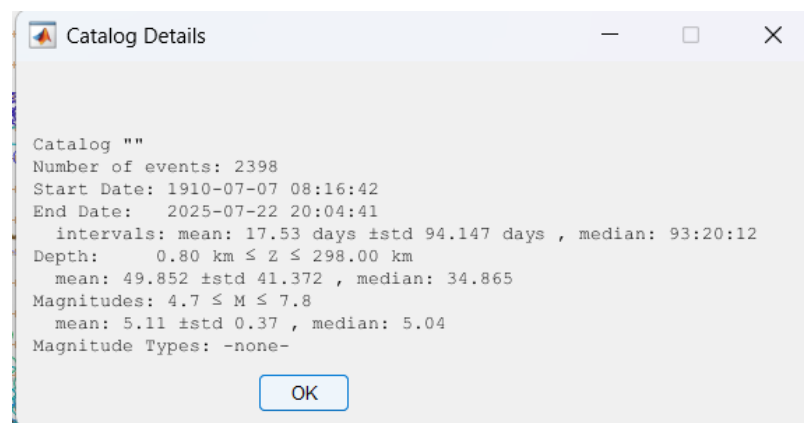
5.1.3 Declustering Katalog

Tahap *declustering* dilakukan untuk memisahkan kejadian gempa utama (*mainshock*) dari kejadian turunan seperti *foreshock* dan *aftershock*, sehingga katalog yang digunakan pada analisis berikutnya lebih merepresentasikan proses kegempaan independen (sesuai asumsi Poisson pada banyak analisis hazard). Pada bab ini, *declustering* diperlakukan sebagai langkah *quality control* terhadap katalog: bukan mengubah lokasi/magnitudo, tetapi menyaring kejadian yang masih berada dalam “kelompok” aktivitas seismik yang sama.

Proses diawali dengan memasukkan katalog awal ke perangkat analisis Zmap7 sebagaimana ditunjukkan pada . Peta pada Gambar 5.2 ini memperlihatkan sebaran episenter dan kedalaman (ditunjukkan oleh skala warna) pada area studi, beserta elemen pendukung seperti batas lempeng dan titik grid yang akan dipakai pada tahapan perhitungan berikutnya. Setelah katalog dimuat, ringkasan statistik katalog diperiksa melalui jendela *Catalog Details* pada Gambar 5.3. Ringkasan ini menampilkan jumlah kejadian, rentang waktu, serta statistik dasar untuk memastikan data yang masuk sudah konsisten dengan cakupan studi.



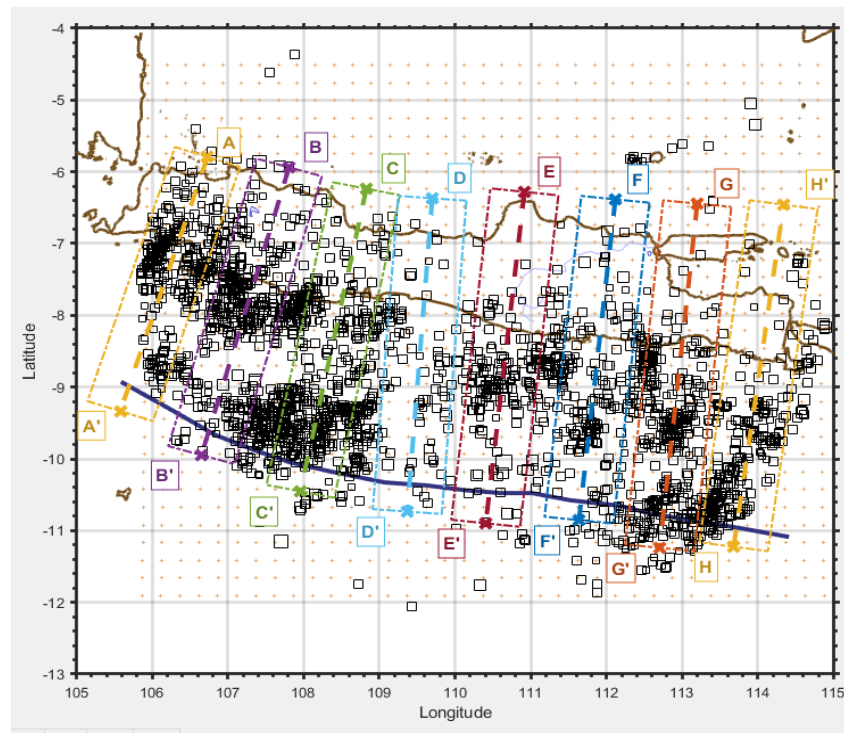
Gambar 5.2 Input Katalog ke Zmap7



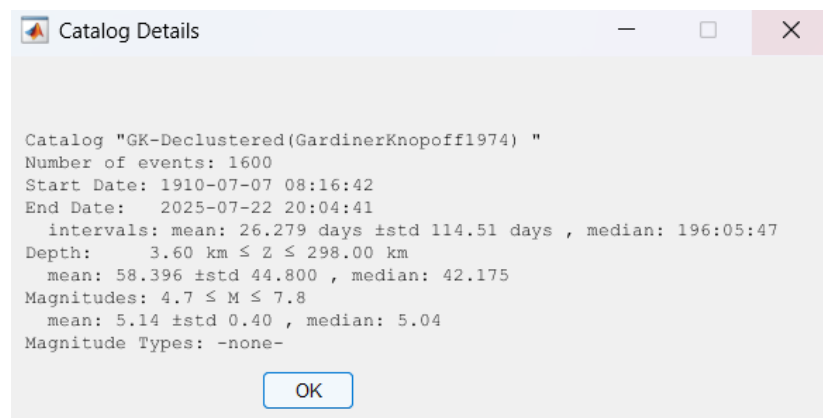
Gambar 5.3 Summary Katalog

Selanjutnya dilakukan declustering menggunakan pendekatan Gardner & Knopoff (1974), yang mengelompokkan kejadian berdasarkan jendela ruang–waktu yang bergantung magnitudo. Hasilnya divisualisasikan pada Gambar 5.4, di mana kejadian yang saling berkaitan membentuk klaster (ditandai pengelompokan A–H dan pasangan A’–H’). Visualisasi ini membantu memverifikasi bahwa kejadian rapat dalam ruang–waktu berhasil diidentifikasi sebagai satu kelompok, sementara kejadian yang terpisah tetap dipertahankan sebagai kandidat kejadian independen.

Sebagai tahap akhir, katalog hasil declustering kembali dievaluasi melalui ringkasan statistik, Gambar 5.5. Pada ringkasan ini terlihat jumlah kejadian berkurang dibanding katalog awal, sementara rentang waktu dan batasan magnitudo–kedalaman tetap terjaga.



Gambar 5.4 Peta Declustering GardnerKnopoff1974



Gambar 5.5 Hasil Declustering GardnerKnopoff1974

Perbandingan katalog sebelum dan setelah declustering lebih jelas sebagai berikut:

1. Jumlah Kejadian (N)

Katalog awal: 2398 kejadian

Katalog setelah declustering (Gardner–Knopoff 1974): 1600 kejadian

Perubahan: berkurang 798 kejadian ($\approx 33\%$). Ini menunjukkan sekitar sepertiga data awal merupakan bagian dari klaster (foreshock/aftershock) sehingga tidak dipertahankan sebagai kejadian independen.

2. Rentang Waktu Pengamatan

Tanggal awal–akhir katalog tetap sama, sehingga perubahan statistik terutama akibat proses *declustering*, bukan karena pemotongan periode data.

3. Interval Antar-Kejadian

Rata-rata interval meningkat dari 17.53 hari menjadi 26.279 hari (naik ≈ 8.75 hari, sekitar 50%).

Median interval meningkat dari sekitar 93 jam 20 menit menjadi sekitar 196 jam 05 menit (lebih dari dua kali lipat). Kenaikan ini konsisten dengan tujuan declustering: mengurangi rangkaian kejadian yang berdekatan dalam ruang–waktu.

4. Kedalaman (Z)

Kedalaman minimum naik dari 0.80 km menjadi 3.60 km.

Kedalaman maksimum tetap sekitar 298 km.

Rata-rata kedalaman meningkat dari 49.852 km menjadi 58.396 km. Ini mengindikasikan sebagian kejadian dangkal yang rapat (yang sering muncul dalam klaster) ikut tereliminasi, sehingga katalog menjadi sedikit “lebih dalam” secara rata-rata.

5. Magnitudo (M)

Rentang magnitudo tetap $4.7 \leq M \leq 7.8$.

Rata-rata magnitudo naik tipis dari 5.11 menjadi 5.14, sedangkan median tetap 5.04. Artinya declustering terutama mengubah kepadatan kejadian (clustering), bukan menggeser karakteristik magnitudo katalog secara signifikan.

5.1.4 Magnitude of completeness, M_c

Pada penelitian ini, evaluasi magnitude of completeness (M_c) difokuskan pada sumber subduksi, karena parameter laju kejadian untuk subduksi diturunkan langsung dari katalog yang telah melalui tahapan quality control dan declustering.

Dengan demikian, penentuan M_c diperlukan untuk memastikan bahwa perhitungan statistik frekuensi–magnitudo hanya menggunakan bagian katalog yang dianggap lengkap, sehingga estimasi parameter b , a , serta parameter turunan seperti β dan α tidak terpengaruh oleh kekurangan pencatatan pada magnitudo kecil. Sebaliknya, pada sumber kerak (crustal fault) yang dimodelkan menggunakan parameter MFD yang telah ditetapkan (seperti a , b , $M_{\min}$, dan $M_{\max}$ desain), perangkat lunak OpenQuake dapat melakukan perhitungan hazard tanpa memerlukan M_c secara eksplisit karena laju kejadian sudah didefinisikan pada model sumber.

Hasil perhitungan M_c pada sumber subduksi kemudian disajikan untuk dua domain, yaitu megathrust dan Benioff, pada masing-masing segmen penampang (A–H) serta nilai rata-rata per zona (Selat Sunda–Banten, Java1/Jabar, Java2/Jateng–Jatim, dan Java3/Bali). Tabel hasil memperlihatkan bahwa nilai M_c pada megathrust berada pada kisaran sekitar 4.7–5.3, sedangkan pada Benioff berada pada kisaran sekitar 4.7–4.9. Rentang M_c yang relatif seragam ini menunjukkan bahwa setelah tahapan penyaringan data, katalog subduksi memiliki tingkat kelengkapan yang konsisten antarsemen, sehingga dapat digunakan sebagai dasar yang stabil untuk estimasi parameter frekuensi–magnitudo pada tahap pemodelan sumber. Rekap nilai M_c beserta parameter b , a , β , α , serta batas $M_{\min}$ – $M_{\max}$ untuk tiap segmen ditampilkan pada Tabel 5.1 (hasil M_c Subduksi: Megathrust dan Benioff)

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan M_c

Main	Segmen	Section	M_c
Java Megathrust	Selat Sunda-Banten	A	4.8
		B	4.8
	Java1 (Jabar)	C	5
		D	4.7
		average	4.8
	Java2 (Jateng-Jatim)	E	4.9
		F	4.8
		G	5.3
		average	5
	Java3 (Bali)	H	5.2
Java Benioff	Selat Sunda-Banten	A	4.7
	Java1 (Jabar)	B	4.7
		C	4.7
		D	4.7

Main	Segmen	Section	Mc
	Java2 (Jateng-Jatim)	average	4.7
		E	4.7
		F	4.7
		G	4.9
		average	4.8
	Java3 (Bali)	H	4.9

5.1.5 Parameter Gutenberg–Richter (a – b) dan laju kejadian

Mengacu hasil magnitude completeness (M_c) pada Subbab , estimasi parameter Gutenberg–Richter *adan buntut* sumber subduksi dilakukan dengan memakai data di atas M_c pada masing-masing segmen. Jadi, dataset yang dipakai untuk *fitting* GR adalah bagian katalog yang sudah dianggap “complete”, sehingga nilai a – b yang diperoleh tidak bias oleh kekurangan event kecil.

Perhitungan a – b dilakukan per segmen penampang A–H untuk dua domain, yaitu megathrust dan Benioff. Namun untuk tahap pemodelan sumber berikutnya, parameter subduksi yang dipakai adalah nilai rata-rata per section, yaitu Selat Sunda–Banten, Java1 (Jabar), Java2 (Jateng–Jatim), dan Java3 (Bali). Dengan cara ini, variasi antarsegmen tetap tercatat, tetapi input model jadi lebih stabil dan representatif untuk tiap zona, sebagaimana Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Nilai a dan b value Tiap Section

Section	Segmen	Megathrust		Benioff	
		b value	a value	b value	a value
A	Selat Sunda–Banten	1.23	6.074	1.06	5.387
B	Java1 (Jabar)	1.04	5.192	0.95	4.667
C	Java1 (Jabar)	1.37	6.918	1.07	5.262
D	Java1 (Jabar)	1.1	5.368	0.96	4.806
E	Java2 (Jateng–Jatim)	1.06	5.216	0.85	4.247
F	Java2 (Jateng–Jatim)	1.02	4.969	1	4.877
G	Java2 (Jateng–Jatim)	1.37	7.007	1.01	4.923
H	Java3 (Bali)	1.21	6.448	1.06	5.236

Setelah nilai a – b dihitung untuk setiap segmen A–H, penelitian ini menggunakan nilai rata-rata per section sebagai parameter yang dipakai pada tahap

pemodelan sumber berikutnya. Ringkasan ini dibuat supaya input model lebih stabil dan representatif untuk tiap zona, sementara variasi detail antarsegmen tetap sudah ditunjukkan pada tabel segmen sebelumnya. Tabel 5.3 berikut menampilkan parameter b -value dan a -value rata-rata untuk masing-masing section pada dua domain subduksi, yaitu megathrust dan Benioff.

Tabel 5.3 Hasil a dan b value Pada Tiap Segmen Subduksi

Domain	Segmen	b-value	a-value
Megathrust	Selat Sunda–Banten	1.23	6.074
	Java1 (Jabar)	1.17	5.83
	Java2 (Jateng–Jatim)	1.15	5.73
	Java3 (Bali)	1.21	6.448
Benioff	Selat Sunda–Banten	1.06	5.387
	Java1 (Jabar)	0.99	4.91
	Java2 (Jateng–Jatim)	0.95	4.68
	Java3 (Bali)	1.06	5.236

Untuk sumber crustal fault, nilai b pada penelitian ini tidak diestimasi dari katalog, tetapi ditetapkan agar parameterisasi MFD antar-sesar konsisten dan mengikuti asumsi fisik yang lebih umum. Berdasarkan penelitian Varotsos dkk. (2004), b -value pada hukum Gutenberg–Richter dapat dijelaskan dari pertimbangan *first principles* dan secara praktis sering berada di sekitar $b \approx 1$ sebagai nilai yang “paling masuk akal” untuk merepresentasikan distribusi ukuran kejadian gempa. Karena itu, pada pemodelan sesar kerak di studi ini b dipasang = 1 untuk seluruh sumber, sehingga perbedaan karakter rekurensi antar sesar tidak berasal dari kemiringan kurva (yang dibuat seragam), melainkan terutama dari a -value yang dihitung berdasarkan parameter desain M_{max} dan periode ulang T_r melalui (3.11).

Pada contoh ini digunakan sesar UjungKulon B. Nilai M_{max} dan *Slip-rate* diambil dari PUSGEN 2017, yaitu $M_{max} = 7,6$. Slip rate = 10 mm/tahun, dan untuk seluruh crustal fault pada penelitian ini diambil nilai $b = 1$. Dengan input tersebut, a -value dihitung melalui penentuan slip per event D , periode ulang T_r , kemudian substitusi ke Persamaan (3.11).

1. Slip per event

$$D = 10^{(-5.46 + 0.82 \times 7.6)} = 10^{(-5.46 + 6.232)} = 10^{0.772} = 5.916 \text{ m}$$

2. Periode ulang

$$T_r = \left(\frac{1000}{10}\right) (5.916) = 100(5.916) = 591.6 \text{ tahun}$$

3. Perhitungan a -value

$$a = (1)(7.6) + \log_{10} \left(\frac{1}{591.6}\right) = 7.6 + \log_{10}(0.001690)$$

$$a = 7.6 + (-2.772) = 4.828$$

Langkah perhitungan yang sama kemudian diterapkan pada seluruh sumber crustal fault dengan menggunakan M_{max} dan slip rate (mengacu PUSGEN 2017) masing-masing sesar untuk memperoleh T_r , lalu dihitung a -value menggunakan Persamaan (3.11). Karena b ditetapkan seragam ($b = 1$), perbedaan karakter rekurensi antar sesar pada penelitian ini terutama tercermin dari variasi a -value yang dipengaruhi oleh kombinasi M_{max} dan slip rate: sesar dengan M_{max} lebih besar dan/atau slip rate lebih tinggi (sehingga T_r lebih kecil) akan menghasilkan a -value lebih besar dan $rate$ yang lebih tinggi pada magnitudo ambang yang sama, sedangkan sesar dengan slip rate rendah atau M_{max} lebih kecil akan memberikan a -value yang lebih kecil. Nilai a dan b untuk tiap sesar ditampilkan pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Hasil a dan b value Pada Tiap Segmen Fault

No	Fault	b-val	a-val
1	Cimandiri-Cimandiri	1	3.406
2	Cimandiri-NyaldungCibeber	1	2.630
3	Cimandiri-Rajamandala	1	2.648
4	Lembang	1	3.985
5	Garsela-Kencana	1	2.684
6	Garsela-Rakutai	1	2.630
7	BaribisKendeng-Subang	1	2.630
8	Ciremai	1	2.630
9	BaribisKendeng-Cirebon1	1	2.630
10	BaribisKendeng-Cirebon2	1	2.630
11	BaribisKendeng-Brebes	1	2.630
12	Ajibarang	1	2.630
13	BaribisKendeng-Tegal	1	2.630
14	BaribisKendeng-Pekalongan	1	2.630

No	Fault	b-val	a-val
15	BaribisKendeng-Weleri	1	2.630
16	BaribisKendeng-Semarang	1	2.630
17	Ungaran1	1	2.630
18	Ungaran2	1	2.630
19	BaribisKendeng-Rawapening	1	2.630
20	Opak	1	3.523
21	Merapi-Merbabu	1	2.648
22	BaribisKendeng-Demak	1	2.630
23	Muria	1	2.648
24	Pati	1	2.630
25	BaribisKendeng-Purwodadi	1	2.630
26	BaribisKendeng-Cepu	1	2.630
27	BaribisKendeng-Blumbang	1	2.630
28	BaribisKendeng-Waru	1	2.630
29	BaribisKendeng-Surabaya	1	2.630
30	Pasuruan	1	2.630
31	Probolinggo	1	2.630
32	Bawean	1	3.527
33	RMKSEast	1	4.040
34	UjungKulon B	1	4.828

Sehingga diperoleh a -value tertinggi pada sesar UjungKulon B sebesar 4.828. Nilai ini merepresentasikan tingkat aktivitas tahunan pada model Gutenberg–Richter ketika b ditetapkan seragam, sehingga perbedaan laju kejadian antar sesar terutama tercermin dari variasi a -value. Dengan kata lain, untuk dua sesar yang sama-sama memakai $b = 1$, sesar dengan a lebih besar akan menghasilkan *rate* yang lebih tinggi pada magnitudo ambang yang sama, sedangkan sesar dengan a lebih kecil akan relatif lebih jarang menghasilkan kejadian pada rentang magnitudo tersebut.

Untuk menjaga alur pembahasan tetap ringkas, tabel pada bagian utama hanya menampilkan rekap *adan buntut* setiap sesar. Sementara itu, rincian parameter yang digunakan dalam perhitungan—termasuk M_{max} , slip rate, dan periode ulang T_r —disajikan pada Lampiran 32.

5.2 Pemodelan Sumber Gempa

5.2.1. Pemodelan Sumber 3D Dan Parameter Jarak Rupture

Pada tahap ini, seluruh sumber gempa yang telah disusun sebelumnya, kemudian dibentuk sebagai geometri 3D di dalam *source model* OpenQuake agar parameter jarak berbasis rupture (misalnya R_{rup} , R_{jb} , R_x , dan metrik lain yang disyaratkan GMPE) dapat dihitung secara konsisten. Dalam studi ini, jarak-jarak tersebut tidak dihitung manual, melainkan dihitung otomatis oleh OpenQuake berdasarkan geometri sumber dan rupture yang dibangkitkan selama proses PSHA.

Tipe source yang digunakan pada OpenQuake dan konsekuensinya terhadap jarak rupture:

1. Fault kerak dangkal → *Simple Fault Source*
Sumber dibentuk sebagai bidang sesar 3D dari *trace* + dip + Top–Bottom. Konsekuensinya, OpenQuake membangkitkan rupture *finite-fault* pada bidang tersebut, sehingga $R_{rup}/R_{jb}/R_x$ dihitung terhadap permukaan rupture 3D.
2. Megathrust (interface) → *Complex Fault Source*
Sumber dibentuk sebagai permukaan 3D per segmen. Konsekuensinya sama: rupture dibangkitkan pada permukaan interface (finite-fault), sehingga $R_{rup}/R_{jb}/R_x$ merefleksikan jarak site terhadap bidang megathrust 3D.
3. Benioff/Intraslab → *Multi-Point Source (grid)*
Sumber direpresentasikan sebagai kumpulan titik/grid pada rentang kedalaman tertentu. OpenQuake membangkitkan rupture dari titik-titik grid tersebut sesuai pengaturan model (termasuk batas seismogenik), sehingga $R_{rup}/R_{jb}/R_x$ dihitung terhadap rupture yang dibangkitkan dari grid (bukan satu permukaan kontinu seperti fault/megathrust).

Untuk sumber subduksi, pemodelan dilakukan terpisah antara rezim megathrust (*interface*) dan Benioff/intraslab dan disegmentasi mengikuti pembagian wilayah pada Gambar 4.7. Pada megathrust, sumber dimodelkan sebagai permukaan 3D per-segmen (Tabel 5.5) dengan parameter dimensi L , W , dan A , serta batas kedalaman yang didefinisikan pada *source model* (Top = 5 km dan Bottom = 50 km). Pada Benioff/intraslab, sumber dimodelkan per-segmen (Tabel 5.6) dengan parameter dimensi L , W , dan A yang konsisten dengan hasil pengukuran poligon,

serta batas kedalaman yang didefinisikan pada *source model* (Top = 100 km dan Bottom = 225 km). Contoh pada segmen *Java2 (Jateng–Jatim)*, diperoleh $L = 474$ km dan $W = 252$ km (dengan $A = 119,448 \text{ km}^2$), dan pendekatan yang sama diterapkan pada segmen lainnya.

Tabel 5.5 Geometri Megathrust

Segmen	L (km)	W (km)	A (km ²)	Top (km)	Bottom (km)
Selat Sunda–Banten	280	200	56000	5	50
Java1 (Jabar)	320	200	64000	5	50
Java2 (Jateng–Jatim)	440	200	88000	5	50
Java3 (Bali)	500	200	100000	5	50

Tabel 5.6 Geometri Benioff

Segmen	L (km)	W (km)	A (km ²)	Top (km)	Bottom (km)
Selat Sunda–Banten	273	206	56238	100	225
Java1 (Jabar)	350	240	84000	100	225
Java2 (Jateng–Jatim)	474	252	119448	100	225
Java3 (Bali)	571	257	146747	100	225

Dengan geometri 3D sumber yang sudah terdefinisi tersebut, OpenQuake akan membangkitkan rupture sesuai konfigurasi model, lalu menghitung metrik jarak untuk setiap kombinasi site–rupture secara internal. Dalam konteks ini, R_{rup} dihitung sebagai jarak terdekat dari site ke permukaan rupture 3D, R_{jb} sebagai jarak terdekat ke proyeksi rupture pada bidang horizontal, dan R_x sebagai metrik jarak yang dihitung relatif terhadap orientasi strike dan posisi up-dip edge (sesuai kebutuhan GMPE). Oleh karena itu, konsistensi hasil jarak rupture pada output hazard terutama ditentukan oleh ketepatan dan konsistensi geometri sumber 3D yang dimasukkan ke OpenQuake (trace/poligon, dip, serta batas kedalaman/segmentasi), sedangkan perhitungan numeriknya mengikuti algoritma internal OpenQuake.

5.2.2. MFD/recurrence model pada tiap sumber

Setelah geometri sumber gempa (fault, megathrust, dan Benioff/intraslab) ditetapkan pada Subbab 5.2.1, tahap berikutnya adalah melengkapi setiap sumber dengan informasi rekurensi agar dapat diproses dalam perhitungan PSHA. Dalam OpenQuake, sebuah *seismic source model* pada dasarnya didefinisikan oleh dua parameter utama: geometri sumber (yang membatasi kemungkinan lokasi rupture) dan magnitude–frequency distribution (MFD) yang menyatakan laju kejadian tahunan pada suatu rentang magnitudo. Karena itu, pada subbab ini parameter seismisitas hasil analisis katalog (Subbab 5.1) dikonversi menjadi MFD untuk masing-masing kelompok sumber, sehingga SSM yang digunakan sudah merepresentasikan laju kejadian gempa secara konsisten untuk kebutuhan PSHA.

1. Penentuan Magnitudo minimum $M_{\min}$

Penentuan $M_{\min}$ pada PSHA tidak diperlakukan semata-mata sebagai nilai M_c , tetapi sebagai batas bawah integrasi magnitudo yang harus dinyatakan eksplisit dan dikaitkan dengan tujuan penggunaan hasil hazard. Bommer dan Crowley J. J. Bommer & Crowley (2017) menekankan bahwa batas-batas integrasi (termasuk $M_{\min}$) perlu dinyatakan jelas dan pemilihannya terkait dengan aplikasi/konsekuensi rekayasa dari hasil PSHA. Dengan pertimbangan tersebut, penelitian ini menggunakan $M_{\min}$ yang dibedakan menurut tipe sumber, mengikuti karakter kontribusinya terhadap bahaya gempa di lokasi studi:

- a. Sumber kerak dangkal (fault/active shallow crust) dan subduksi interface (megathrust): $M_{\min} = 5.0$. Nilai ini dipilih untuk menjaga konsistensi dengan batas pemodelan kejadian yang relevan secara rekayasa pada rentang periode yang dianalisis, sekaligus tetap mempertimbangkan hasil evaluasi kualitas katalog (termasuk M_c) pada Subbab 5.1.
- b. Sumber subduksi intraslab (Benioff): $M_{\min} = 5.5$. Penetapan ini mempertimbangkan karakter gempa intraslab yang terjadi pada kedalaman lebih besar (zona Benioff) dan pendekatan pemodelan “deep background” yang lazim dipakai untuk mewakili seismisitas dalam, Asrurifak dkk. (2010).

2. Penentuan Magnitudo Maksimum $M_{\max}$

Selain $M_{\min}$, pembentukan MFD juga memerlukan penetapan magnitudo maksimum $M_{\max}$ sebagai batas atas rentang pemodelan. Pada penelitian ini, $M_{\max}$ dibedakan untuk dua cabang model rekurensi, yaitu cabang Gutenberg–Richter (GR) dan cabang Characteristic (Char), sehingga parameter batas atas yang digunakan konsisten dengan asumsi rekurensi pada masing-masing cabang.

a. $M_{\max}$ untuk cabang GR (Gutenberg Richter)

Nilai $M_{\max}$ pada cabang GR diadopsi dari model sumber PuSGen (2017) untuk masing-masing sumber/segmen. Dalam penelitian ini, nilai tersebut digunakan sebagai batas atas pemodelan (upper truncation) pada cabang rekurensi GR, sehingga pemodelan tetap konsisten dengan rujukan nasional yang umum digunakan. Dengan demikian, $M_{\max}$ PuSGen diperlakukan sebagai $M_{\max}$ pada tiap sumber/segmen (lihat rekapitulasi pada tabel megathrust dan benioff, serta daftar sesar pada tabel fault)..

b. $M_{\max}$ untuk cabang Char (Characteristic)

Untuk cabang Characteristic, $M_{\max}$ ditentukan menggunakan pendekatan skala magnitudo–luas rupture dari Wells & Coppersmith sesuai persamaan (3.47).

Untuk sumber subduksi interface (megathrust) dan subduksi intraslab (Benioff), $M_{\max}$ ditetapkan mengikuti nilai maksimum desain yang digunakan pada pemodelan masing-masing zona/segmen (lihat tabel megathrust dan benioff), sehingga cabang Characteristic tetap merepresentasikan potensi kejadian gempa besar pada sistem subduksi sesuai segmentasi yang digunakan.

Tabel 5.7 $M_{\max}$ GR dan $M_{\max}$ Char Subduksi

Tipe sumber	Segmen	$M_{\max}^{GR}$	$M_{\max}^{Char}$
Megathrust	Selat Sunda–Banten	8.8	8.7
	Java1 (Jabar)	8.8	8.8
	Java2 (Jateng–Jatim)	8.9	8.9
	Java3 (Bali)	9	9

Tipe sumber	Segmen	M_{Max}^{GR}	M_{Max}^{Char}
Benioff	Selat Sunda–Banten	8.9	8.7
	Java1 (Jabar)	8.8	8.8
	Java2 (Jateng–Jatim)	8.9	9
	Java3 (Bali)	8.8	9.1

Tabel 5.8 M_{max}^{GR} dan M_{max}^{Char} Fault

No	Fault	M_{Max}^{GR}	M_{Max}^{Char}
1	Cimandiri–Cimandiri	6.7	6.7
2	Cimandiri–NyaldungCibeber	6.5	6.8
3	Cimandiri–Rajamandala	6.6	6.8
4	Lembang	6.8	6.7
5	Garsela–Kencana	6.8	6.4
6	Garsela–Rakutai	6.5	6.5
7	BaribisKendeng–Subang	6.5	6.9
8	Ciremai	6.5	6.5
9	BaribisKendeng–Cirebon1	6.5	6.5
10	BaribisKendeng–Cirebon2	6.5	6.6
11	BaribisKendeng–Brebes	6.5	6.7
12	Ajibarang	6.5	6.5
13	BaribisKendeng–Tegal	6.5	6.5
14	BaribisKendeng–Pekalongan	6.5	6.6
15	BaribisKendeng–Weleri	6.5	6.6
16	BaribisKendeng–Semarang	6.5	6.9
17	Ungaran1	6.5	6.5
18	Ungaran2	6.5	6.5
19	BaribisKendeng–Rawapening	6.5	6.6
20	Opak	6.6	6.9
21	Merapi–Merbabu	6.6	6.6
22	BaribisKendeng–Demak	6.5	6.8
23	Muria	6.6	6.6
24	Pati	6.5	7
25	BaribisKendeng–Purwodadi	6.5	6.9
26	BaribisKendeng–Cepu	6.5	7.3
27	BaribisKendeng–Blumbang	6.5	6.8
28	BaribisKendeng–Waru	6.5	7.1
29	BaribisKendeng–Surabaya	6.5	6.7
30	Pasuruan	6.5	6.5
31	Probolinggo	6.5	6.4
32	Bawean	7.6	7.4
33	RMKSEast	7.8	7.5
34	UjungKulon B	7.6	7.4

3. Pembentukan MFD inkremental dan occurRates

Nilai $M_{\min}$, Δm (lebar bin; pada penelitian ini $\Delta m = 0,1$), serta $M_{\max}$ digunakan untuk membentuk MFD inkremental pada SSM. Pada format MFD inkremental, laju kejadian tahunan dinyatakan sebagai deret occurRates, yaitu daftar laju kejadian untuk setiap bin magnitudo yang dibangkitkan mulai dari $M_{\min}$ dengan interval Δm hingga mencapai batas atas yang ditetapkan pada cabang terkait.

Secara implementasi, pada elemen incrementalMFD, batas atas $M_{\max}$ tidak dibaca sebagai atribut tersendiri, melainkan terwakili oleh panjang deret occurRates (jumlah bin): semakin besar $M_{\max}$, semakin panjang deret occurRates yang terbentuk. Dengan demikian, perbedaan nilai $M_{\max}$ dan $M_{\max}$ (termasuk variasi skenario $\pm 0,2$) tercermin langsung pada jumlah bin dan deret occurRates yang digunakan pada masing-masing cabang.

Untuk kelompok sumber fault dan megathrust, MFD disimpan sebagai incrementalMFD pada masing-masing berkas source model. Sementara itu, untuk sumber Benioff/intraslab yang direpresentasikan sebagai grid/kumpulan titik sumber, MFD disimpan dalam bentuk multiMFD kind="incrementalMFD" pada multiPointSource, sehingga satu berkas dapat memuat kumpulan MFD inkremental (satu MFD per titik) dengan lebih ringkas dan efisien.

Sebagai contoh, potongan struktur **incrementalMFD** untuk salah satu sumber sesar ditunjukkan berikut ini (geometri *posList* dipersingkat dan deret *occurRates* ditampilkan sebagian untuk keperluan ilustrasi):

```
<!-- Contoh: Cimandiri-Cimandiri (SSM cabang Characteristic, Mmax
baseline) -->
<simpleFaultSource id="Cimandiri-Cimandiri" name="J01 Cimandiri
(MidDip) (0)">
  <simpleFaultGeometry>
    <LineString>
      <posList>106.745265 -7.045967 ... 106.538201 -7.035377</posList>
    </LineString>
    <dip>45.0</dip>
    <upperSeismoDepth>0.0</upperSeismoDepth>
    <lowerSeismoDepth>15.0</lowerSeismoDepth>
  </simpleFaultGeometry>
  <incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0" nBins="17"
    a_val="3.4064" b_val="1.0"
    recurrence="Characteristic"
    MmaxGR_base="6.7" MmaxChar_base="6.7">
    <occurRates>
      0.0052429374 0.0041646132 0.0010383728 ... 0.0010383728
    </occurRates>
  </incrementalMFD>
</simpleFaultSource>
```

Potongan struktur *incrementalMFD* untuk salah satu sumber sesar ditunjukkan pada cuplikan sebelumnya (geometri *posList* dipersingkat dan deret *occurRates* ditampilkan sebagian untuk ilustrasi). Potongan lengkap berkas SSM—meliputi geometri rinci dan seluruh deret *occurRates* untuk setiap sumber pada masing-masing cabang (kombinasi tipe MFD dan variasi $M_{\max}$, termasuk skenario $\pm 0,2$)—disajikan pada 18 berkas SSM cabang yang dirangkum pada Tabel Lampiran MFD (Lampiran 31–48). Sementara itu, pemanggilan cabang serta bobotnya dijelaskan melalui berkas *ssmLT.xml* pada lampiran *logic tree*.

Tabel 5.9 Daftar Lampiran MFD

Kelompok sumber	Tipe MFD	Skenario $M_{\max}$	No. Lampiran
Megathrust	Characteristic	$M_{\max}$	31
Megathrust	Characteristic	$M_{\max} - 0.2$	32
Megathrust	Characteristic	$M_{\max} + 0.2$	33
Megathrust	Gutenberg–Richter	$M_{\max}$	34
Megathrust	Gutenberg–Richter	$M_{\max} - 0.2$	35

Kelompok sumber	Tipe MFD	Skenario $M_{\max}$	No. Lampiran
Megathrust	Gutenberg–Richter	$M_{\max} + 0.2$	36
Benioff/Intraslab	Characteristic	$M_{\max}$	37
Benioff/Intraslab	Characteristic	$M_{\max} - 0.2$	38
Benioff/Intraslab	Characteristic	$M_{\max} + 0.2$	39
Benioff/Intraslab	Gutenberg–Richter	$M_{\max}$	40
Benioff/Intraslab	Gutenberg–Richter	$M_{\max} - 0.2$	41
Benioff/Intraslab	Gutenberg–Richter	$M_{\max} + 0.2$	42
Crustal	Characteristic	$M_{\max}$	43
Crustal	Characteristic	$M_{\max} - 0.2$	44
Crustal	Characteristic	$M_{\max} + 0.2$	45
Crustal	Gutenberg–Richter	$M_{\max}$	46
Crustal	Gutenberg–Richter	$M_{\max} - 0.2$	47
Crustal	Gutenberg–Richter	$M_{\max} + 0.2$	48

5.3 Model Atenuasi dan Logic Tree

5.3.1 GMPE/attenuasi per tipe sumber

Pemilihan GMPE/GSIM pada penelitian ini mengikuti kerangka PUSGEN 2024, yaitu membedakan persamaan atenuasi berdasarkan *tectonic region type* (TRT) dan menggunakan lebih dari satu GMPE pada setiap TRT untuk merepresentasikan ketidakpastian epistemik melalui *logic tree*. Dengan pendekatan ini, model gerakan tanah dipilih sesuai dengan mekanisme sumber gempa yang ditinjau, yaitu kerak dangkal aktif, subduksi interface, dan subduksi intraslab, kemudian hasilnya digabungkan sebagai *weighted mean* dari beberapa model yang dianggap layak.

Untuk sumber active shallow crustal, pemilihan GMPE pada penelitian ini terdiri atas Boore et al. (2014) dengan bobot 0,33, Campbell dan Bozorgnia (2014) dengan bobot 0,34, serta Chiou dan Youngs (2014) dengan bobot 0,33. Ketiga model tersebut mewakili kelompok NGA-West2 yang umum digunakan untuk sumber gempa kerak dangkal aktif, sehingga sesuai untuk merepresentasikan variabilitas prediksi gerakan tanah pada sumber sesar dangkal. Dengan penggunaan tiga model tersebut, hasil hazard untuk sumber kerak dangkal tidak bergantung pada satu formulasi tunggal, tetapi mencerminkan konsensus beberapa model yang digunakan dalam kerangka PUSGEN 2024.

Untuk sumber subduksi interface (megathrust), digunakan AbrahamsonGulerce2020SInter dengan bobot 0,34, ZhaoEtAl2006SInter dengan

bobot 0,33, dan KuehnEtAl2020SInter dengan bobot 0,33. Sementara itu, untuk sumber subduksi intraslab (Benioff), digunakan AbrahamsonGulerce2020SSlab dengan bobot 0,34, ZhaoEtAl2006SSlab dengan bobot 0,33, dan KuehnEtAl2020SSlab dengan bobot 0,33. Susunan ini menunjukkan bahwa pemodelan subduksi pada penelitian ini mengacu pada kombinasi model subduksi modern dan model empiris yang tetap dipertahankan sebagai pembanding, sesuai dengan pemilihan GMPE pada PUSGEN 2024.

Bobot tiap GMPE dalam satu TRT diberikan hampir seimbang, sehingga tidak ada satu model yang mendominasi hasil akhir. Dengan demikian, hazard yang diperoleh merepresentasikan *mean tertimbang* dari beberapa GMPE yang relevan untuk masing-masing tipe sumber, sehingga hasil analisis menjadi lebih stabil dalam menangkap ketidakpastian epistemik pada pemodelan gerakan tanah

5.3.2 Parameter situs dan asumsi

Kondisi situs dalam perhitungan PSHA ditetapkan sebagai kondisi acuan (reference rock) agar hasil hazard yang diperoleh bersifat konsisten dan dapat dibandingkan lintas-skenario/cabang logic tree tanpa “tercampur” oleh variasi tanah dangkal yang sangat lokal. Karena itu, parameter situs yang dimasukkan difokuskan pada descriptor utama GMPE, yaitu V_{S30} sebagai representasi kekakuan tanah dangkal, serta parameter kedalaman cekungan $z_{1,0}$ dan $z_{2,5}$ sebagai pelengkap untuk GMPE modern yang sensitif terhadap efek sedimen/cekungan. Penetapan nilai dilakukan mengikuti praktik umum pemetaan hazard (termasuk pendekatan reference rock $V_{S30} \approx 760$ m/s) dan penggunaan relasi empiris berbasis V_{S30} untuk parameter kedalaman ketika data lokal tidak tersedia. Parameter situs yang digunakan

$$V_{S30} = 760 \text{ m/s}$$

Alasan pemilihan parameter Nilai $V_{S30} = 760$ m/s dipilih untuk merepresentasikan kondisi acuan (reference rock/firm rock) yang lazim digunakan pada pemetaan hazard karena berada pada batas kelas situs NEHRP B/C, sehingga hasil hazard lebih konsisten untuk perbandingan lintas-skenario dan tidak terikat pada kondisi tanah lunak tertentu. Praktik ini juga sejalan dengan keluaran hazard standar pada kondisi situs tertentu (mis. $V_{S30} = 760$ m/s) yang umum digunakan dalam pemetaan hazard, serta pendekatan reference rock pada pemetaan hazard

global (rentang $V_{S30} \approx 760\text{--}800$ m/s). $vs30Type = measured$ digunakan agar V_{S30} diperlakukan sebagai nilai yang ditetapkan/terukur (bukan *proxy/inferred*).

nilai $z_{1.0}$ dihitung memakai relasi empiris **CY14** persamaan (3.28) sebagai berikut:

$$Z_{1.0} = \exp \left[\left(-\frac{7.15}{4.0} \right) - \ln \left(\frac{760^4 + 571^4}{1360^4 + 571^4} \right) \right]$$

$$Z_{1.0} = 41.31 \text{ m}$$

Selanjutnya, nilai $z_{2.5}$ dihitung memakai relasi **CB14** persamaan (3.29) sebagaimana berikut

$$Z_{2.5} = \exp(7.089 - 1.144 \ln(760))$$

$$Z_{2.5} = 0.6068 \text{ km}$$

Sehingga ringkasan parameter - parameter yang digunakan yaitu:

1. $V_{S30} = 760$ m/s
2. $Z_{1.0} = 41.31$ m
3. $Z_{2.5} = 0.6068$ km

5.3.3 Struktur logic tree dan ketidakpastian (aleatory/epistemic)

Struktur *logic tree* yang digunakan dalam analisis PSHA pada penelitian ini telah disusun pada subbab 4.4.1 melalui dua komponen utama, yaitu *ssmLT.xml* untuk merepresentasikan ketidakpastian pada model sumber dan rekurensi, serta *gmmLT.xml* untuk merepresentasikan ketidakpastian pada pemilihan GMPE/GSIM. Pada *ssmLT.xml*, percabangan digunakan untuk mewakili variasi model rekurensi dan skenario magnitudo maksimum pada sumber sesar, megathrust, dan Benioff, sedangkan pada *gmmLT.xml* percabangan digunakan untuk mewakili pemilihan GMPE yang berbeda pada setiap *tectonic region type*. Dengan demikian, variasi antar-branch pada kedua *logic tree* tersebut merepresentasikan ketidakpastian epistemik, yaitu ketidakpastian yang timbul akibat perbedaan model yang masih dianggap layak digunakan dalam analisis.

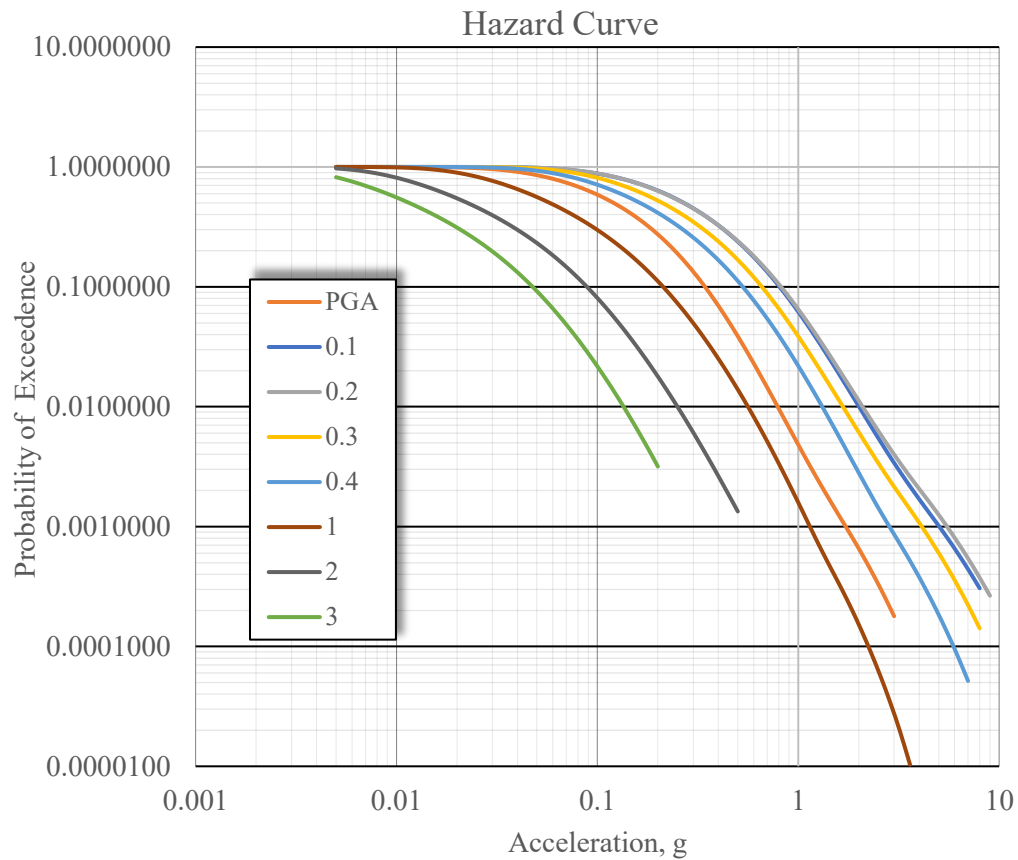
Sementara itu, ketidakpastian aleatory tercakup melalui dispersi atau variabilitas acak yang melekat pada masing-masing GMPE pada saat integrasi hazard

dilakukan. Oleh karena itu, keluaran hazard yang dihasilkan OpenQuake merupakan hasil penggabungan *mean tertimbang* dari seluruh *branch* yang ditinjau, sehingga secara simultan telah mempertimbangkan ketidakpastian epistemik dari struktur *logic tree* dan ketidakpastian aleatory dari model gerakan tanah. Dengan tersusunnya komponen model sumber, model gerakan tanah, dan pembobotan pada masing-masing *branch* tersebut, maka konfigurasi input PSHA telah lengkap untuk digunakan pada tahap perhitungan hazard

5.4 Hasil PSHA

5.4.1 Hazard curve

Hasil utama dari kalkulasi *classical PSHA* pada lokasi studi adalah kurva hazard, yaitu hubungan antara tingkat intensitas gerak tanah (*intensity measure level*, IML) dan laju tahunan terlampaui (*annual rate of exceedance*, λ). Kurva ini disajikan untuk beberapa *intensity measure type* (IMT) yang relevan terhadap respons struktur—yakni PGA dan SA(T) pada beberapa perioda—sehingga dapat menggambarkan seberapa sering suatu tingkat guncangan berpotensi terlampaui dalam satu tahun.



Gambar 5.6 Hazard Curve

Gambar 5.6 menampilkan hubungan antara percepatan tanah dan probabilitas tahunan terlampaui (annual probability of exceedance) dalam skala log–log untuk PGA serta SA(T) pada periode 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 1; 2; dan 3 detik. Seluruh kurva menunjukkan tren menurun yang konsisten: semakin besar percepatan, semakin kecil peluang tahunan terlampaui, yang berarti guncangan kecil lebih sering terjadi dibandingkan guncangan dengan intensitas besar. Nilai numerik tiap titik pada kurva tersebut disajikan dalam Lampiran 51 yang memuat pasangan percepatan (acc,g)–probabilitas terlampaui (poes) untuk masing-masing periode spektral.

Secara umum, kurva untuk periode pendek hingga menengah (PGA, 0,1–0,4 detik) cenderung berada di atas kurva periode panjang (1–3 detik) pada rentang percepatan menengah hingga besar, sehingga mengindikasikan bahwa hazard di lokasi studi relatif lebih dipengaruhi oleh kandungan frekuensi pendek–menengah. Hal ini tampak pada percepatan sekitar 0,1–0,3 g, di mana probabilitas tahunan

terlampai untuk periode 0,1–0,4 detik lebih tinggi dibandingkan periode 2–3 detik, sebagaimana tercermin dari laju tahunan yang menurun lebih lambat pada kurva periode pendek.

Pada percepatan yang sangat kecil, kurva untuk sebagian periode pendek–menengah tampil sebagai kurva tertinggi, dengan probabilitas tahunan terlampai yang mendekati atau sama dengan 1. Seiring meningkatnya percepatan hingga mendekati 1 g, kurva untuk periode panjang turun lebih cepat daripada kurva periode pendek, sehingga peluang terlampai pada periode 2–3 detik menjadi jauh lebih kecil. Pola ini menegaskan bahwa kontribusi respons spektral periode panjang terhadap hazard di lokasi studi relatif terbatas dibandingkan respons pada periode pendek–menengah.

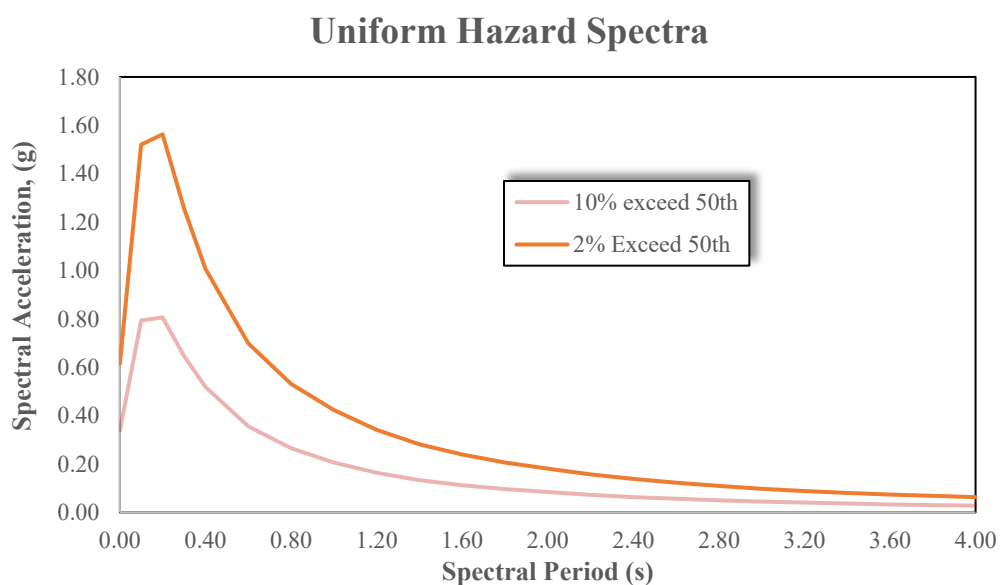
Dengan mengacu pada hazard curve di lokasi studi, terlihat bahwa kurva SA untuk periode pendek–menengah (sekitar 0,1–0,4 detik) secara konsisten berada di atas kurva periode panjang pada rentang percepatan menengah hingga besar, sehingga dapat diinterpretasikan bahwa guncangan di situs ini didominasi komponen frekuensi tinggi; konsekuensinya, bangunan bertingkat rendah–menengah dan komponen non-struktural kaku akan menerima tuntutan percepatan serta gaya inersia yang lebih besar, sedangkan peluang terlampai untuk respons spektral pada periode panjang 2–3 detik menjadi relatif kecil.

5.4.2 Uniform Hazard Spectrum (UHS)

Sebelum menurunkan UHS, terlebih dahulu ditentukan tingkat bahaya target dari hasil analisis *hazard curve* untuk setiap periode spektral. Pada studi ini dipilih dua tingkat bahaya yang umum digunakan, yaitu 10% dan 2% probabilitas terlampai dalam 50 tahun, yang pada pembahasan selanjutnya digunakan % probabilitas terlampai dalam 50 tahun sebagaimana yang dipersyaratkan dalam PBD. Kemudian untuk masing-masing periode diinterpolasi nilai percepatan spektral yang bersesuaian dengan probabilitas tahunan terlampai tersebut. Dengan cara ini, setiap titik pada spektrum UHS merepresentasikan intensitas guncangan yang memiliki tingkat bahaya seragam di seluruh rentang periode.

Sebagai ilustrasi, untuk periode pendek 0,2 detik pada tingkat bahaya 2% terlampai dalam 50 tahun diperoleh probabilitas tahunan terlampai $\lambda_t =$

0,020000. Nilai ini berada di antara dua titik pada *hazard curve* $SA(0,2\text{ s})$, yaitu ($SA = 1,52\text{ g}, \lambda = 0,023101$) dan ($SA = 1,73\text{ g}, \lambda = 0,016561$), sehingga melalui interpolasi linier terhadap sumbu log-log diperoleh ordinat spektral $SA(0,2\text{ s}) \approx 1,61\text{ g}$. Prosedur yang sama kemudian diterapkan secara otomatis oleh keluaran OpenQuake untuk seluruh periode sehingga membentuk kurva Uniform Hazard Spectrum pada tingkat bahaya 2% terlampaui dalam 50 tahun.



Gambar 5.7 Hasil UHS

Gambar 5.7 menampilkan UHS untuk dua tingkat bahaya, yaitu 10% terlampaui dalam 50 tahun dan 2% terlampaui dalam 50 tahun. Kedua kurva menunjukkan pola bentuk spektrum yang serupa: ordinat spektral meningkat pada perioda sangat pendek, mencapai nilai puncak pada perioda pendek, kemudian menurun secara bertahap menuju perioda menengah hingga panjang. Pada seluruh rentang perioda, kurva 2% terlampaui dalam 50 tahun secara konsisten berada di atas kurva 10% terlampaui dalam 50 tahun, yang menegaskan bahwa tingkat bahaya yang lebih tinggi berkorelasi dengan percepatan spektral yang lebih besar, dengan selisih yang paling jelas pada perioda pendek sampai menengah dan makin mengecil pada perioda panjang.

Secara lebih rinci, pada tingkat bahaya 2% terlampaui dalam 50 tahun, ordinat spektrum meningkat dari $SA(0 \text{ s}) = 0,629 \text{ g}$, kemudian naik tajam pada perioda pendek hingga mencapai $SA(0,1 \text{ s}) = 1,558 \text{ g}$ dan nilai puncaknya pada $SA(0,2 \text{ s}) = 1,606 \text{ g}$. Setelah melewati puncak tersebut, nilai spektrum mulai menurun menjadi $SA(0,3 \text{ s}) = 1,290 \text{ g}$ dan $SA(0,4 \text{ s}) = 1,033 \text{ g}$, lalu terus menurun pada perioda menengah dengan $SA(1,0 \text{ s}) = 0,437 \text{ g}$ dan $SA(1,2 \text{ s}) = 0,353 \text{ g}$. Penurunan ini berlanjut pada perioda yang lebih panjang hingga $SA(4,0 \text{ s}) = 0,067 \text{ g}$, menunjukkan bahwa kontribusi hazard berkurang secara bertahap seiring bertambahnya perioda.

Selanjutnya, spektrum UHS pada tingkat bahaya 2% terlampaui dalam 50 tahun digunakan sebagai dasar untuk membentuk spektrum MCEr dengan memasukkan faktor koreksi directivity $C_{dr}(T)$. Setelah spektrum MCEr diperoleh, spektrum desain kemudian diturunkan sebagai $2/3$ MCEr. Contoh perhitungan (periode $T = 0,3$)

1. Ordinat UHS pada $T = 0,3$:

$$S_a^{UHS}(0,3) = 1,29 \text{ g}$$

2. Karena $0,2 < T < 1,0$, maka $C_{dr}(T)$ diperoleh melalui interpolasi linier (Pers. (3.55)):

$$C_{dr}(T) = 1,10 + 0,25 (T - 0,2)$$

$$C_{dr}(0,3) = 1,10 + 0,25(0,3 - 0,2) = 1,125$$

3. Hitung $C_r(T)$:

$$C_r(0,3) = C_{dr}(0,3) R_f(0,3) = 1,125 \times 1 = 1,125$$

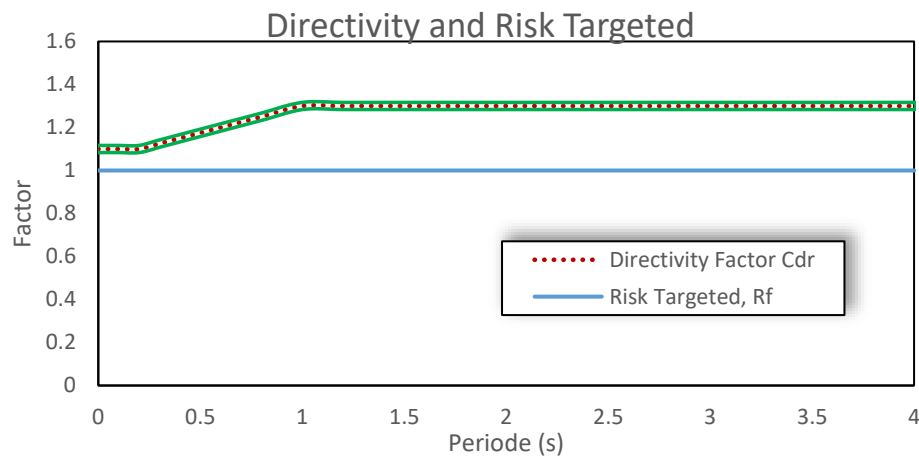
4. Hitung MCE_r :

$$\begin{aligned} S_a^{MCE_r}(0,3) &= C_r(0,3) S_a^{UHS}(0,3) = 1,125 \times 1,29 \\ &= 1,452 \text{ g} \end{aligned}$$

5. Hitung $2/3$ MCE_r :

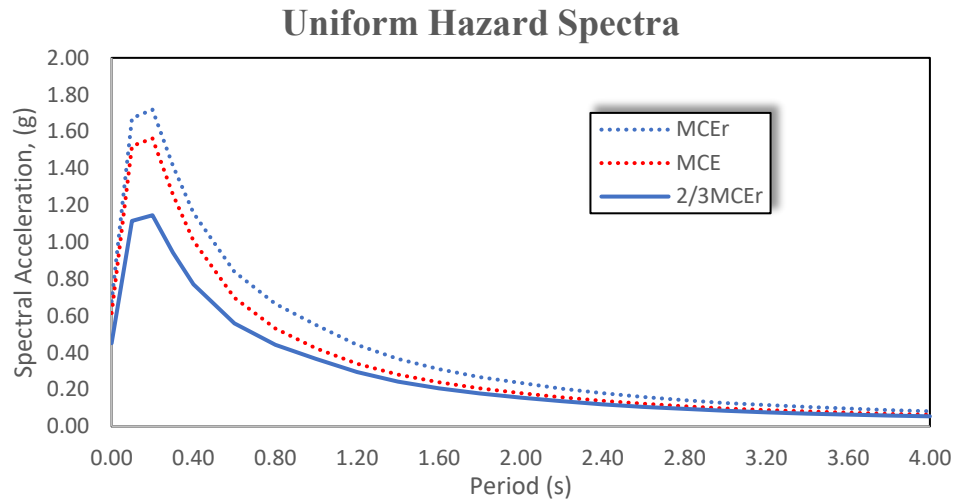
$$\begin{aligned} S_a^{(2/3 \text{ } MCE_r)}(0,3) &= \frac{2}{3} S_a^{MCE_r}(0,3) = \frac{2}{3} \times 1,452 \\ &= 0,968 \text{ g} \end{aligned}$$

Dengan prosedur yang sama, perhitungan dilakukan untuk seluruh perioda sehingga diperoleh kurva MCE_r dan $2/3 MCE_r$ pada rentang perioda yang ditinjau. Rekap nilai faktor koreksi yang digunakan pada setiap perioda ditunjukkan pada Gambar 5.8. Pada gambar tersebut, $C_{dr}(T)$ meningkat dari sekitar 1,10 pada perioda pendek menuju 1,30 mulai sekitar $T \approx 1,0$ s, sedangkan $R_f(T)$ bernilai konstan 1,0 karena parameter peta pada lokasi studi memberikan $C_{RS} = 1$ dan $C_{R1} = 1$. Konsekuensinya, faktor total $C_r(T)$ berimpit dengan kurva $C_{dr}(T)$, sehingga koreksi terhadap spektrum terutama dikendalikan oleh efek *directional*.



Gambar 5.8 Directivity dan Risk-Targeted Factor

Hasil penerapan faktor tersebut terhadap UHS 2%/50 tahun menghasilkan spektrum MCE_r beserta spektrum desain $2/3 MCE_r$ yang ditunjukkan pada Gambar 5.9. Kurva $2/3 MCE_r$ merupakan skala $2/3$ dari MCE_r pada seluruh perioda, sehingga bentuk spektrumnya tetap sama tetapi dengan ordinat yang lebih kecil. Detail keseluruhan hasil ditampilkan pada Lampiran 52.



Gambar 5.9 UHS 2/3 MCE_r

5.4.3 Deagregasi

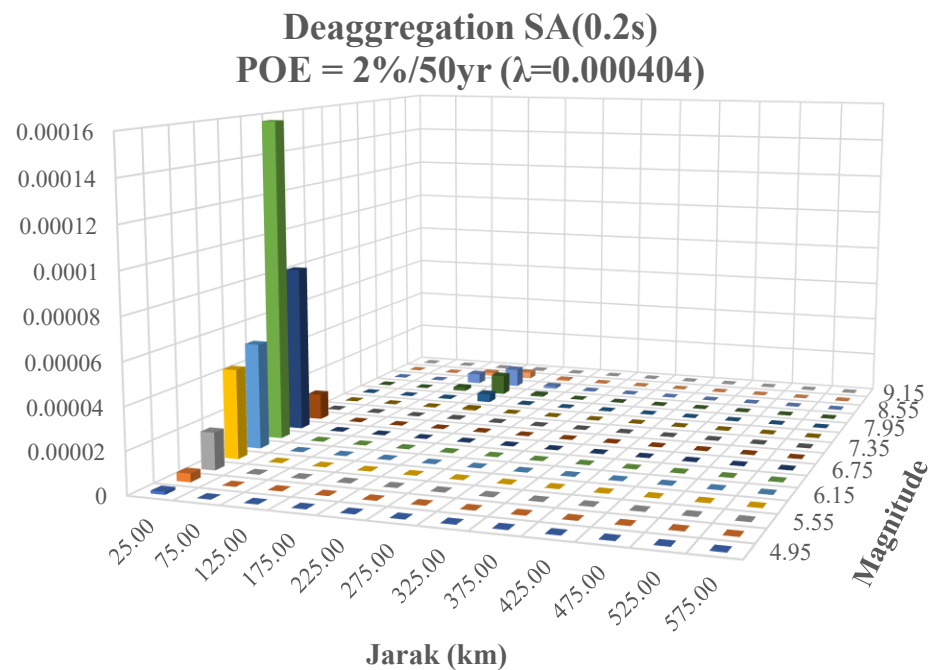
Setelah kurva UHS diperoleh, pembahasan dilanjutkan pada hasil deagregasi untuk mengidentifikasi sumber gempa yang paling berpengaruh terhadap tingkat bahaya di lokasi studi. Peninjauan ini dilakukan dengan melihat kontribusi sumber gempa serta sebaran kontribusi magnitudo–jarak pada level intensitas yang sama dengan UHS. Dalam penelitian ini, deagregasi dilakukan untuk SA(0,2 s) pada POE 2%/50 tahun ($\lambda = 0,000404$).

Ringkasan kontribusi sumber menunjukkan bahwa hazard pada level ini tidak lagi hanya dikendalikan oleh satu sumber saja, melainkan oleh kombinasi beberapa sumber dengan dominasi terbesar tetap berasal dari **Opak** sebesar 50,4307%. Kontributor terbesar berikutnya berasal dari Benioff Jateng–Jatim sebesar 29,4004% dan Benioff Jabar sebesar 19,7712%. Sementara itu, kontribusi dari sumber megathrust relatif sangat kecil, yaitu Megathrust Jawa Timur sebesar 0,2529% dan Megathrust Jawa Barat sebesar 0,1334%. Dengan demikian, hazard pada SA(0,2 s) terutama dikendalikan oleh kombinasi sumber kerak dangkal lokal dan sumber Benioff, dengan Opak sebagai sumber tunggal terbesar, sedangkan kontribusi megathrust pada level intensitas ini hampir tidak berpengaruh. Rincian kontribusi tiap sumber ditunjukkan pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Contribution Hazard Source

No.	Hazard (%)	Sumber
1	50.4307	Opak
2	29.4004	Benioff Jateng-Jatim
3	19.7712	Benioff Jabar
4	0.2529	Megathrust Jawa Timur
5	0.1334	Megathrust Jawa Barat

Sebaran kontribusi magnitudo-jarak memperkuat interpretasi tersebut. Berdasarkan Lampiran 53, kombinasi dominan terjadi pada $M_w = 6,45$ dengan jarak 25 km, dengan kontribusi sebesar $1,57 \times 10^{-4}$. Nilai ini merupakan kontribusi tunggal terbesar pada tabel deagregasi. Pada jarak yang sama, kontribusi penting lainnya juga muncul pada $M_w = 6,75$ sebesar $8,16 \times 10^{-5}$, $M_w = 6,15$ sebesar $5,14 \times 10^{-5}$, dan $M_w = 5,85$ sebesar $4,32 \times 10^{-5}$. Jika dijumlahkan per jarak, kontribusi pada 25 km mencapai sekitar $3,70 \times 10^{-4}$, sehingga mencakup sebagian besar total hazard pada level ini. Pola tersebut menunjukkan bahwa hazard periode pendek SA(0,2 s) terutama dikontrol oleh kejadian jarak dekat dengan magnitudo menengah hingga agak besar.

**Gambar 5.10 Visual 3D Deagregasi**

Gambar 5.10 menunjukkan pola yang sama. Batang tertinggi terkonsentrasi pada jarak terdekat, yaitu sekitar 25 km, dengan puncak utama pada magnitudo sekitar 6,45, kemudian diikuti oleh kontribusi yang masih cukup nyata pada magnitudo 6,15 dan 6,75. Di luar itu, masih terdapat kontribusi sekunder pada jarak yang lebih jauh dengan magnitudo lebih besar, tetapi nilainya jauh lebih kecil. Hal ini juga terlihat pada Lampiran 53, di mana magnitudo besar pada jarak menengah–jauh, seperti sekitar 8,25 dan 8,55, masih memberi kontribusi, namun tidak menggeser kendali utama hazard yang tetap berada pada kombinasi magnitudo menengah dan jarak dekat.

Secara keseluruhan, hasil deagregasi ini menunjukkan bahwa pada POE 2%/50 tahun dan perioda $T = 0,2$ s, skenario gempa yang paling representatif untuk mewakili hazard lokasi studi adalah gempa dengan karakter $M_w = 6,45$ pada jarak sekitar 25 km, yang terutama dipengaruhi oleh sumber Opak, dengan tambahan pengaruh dari sumber Benioff sebagai kontributor penting berikutnya. Implikasi dari hasil ini adalah bahwa pada tahap lanjutan, seperti pemilihan rekaman gempa atau interpretasi skenario pengendali, karakter gempa dekat dengan magnitudo menengah perlu menjadi acuan utama, sedangkan kontribusi sumber lain diperlakukan sebagai pengaruh sekunder. Detail numerik kontribusi R/M_w dapat dilihat pada Lampiran 53.

5.5 Pemilihan Rekaman dan Spectral Matching di Bedrock

5.5.1 Kriteria pemilihan 3 pasang rekaman (PEER)

Berdasarkan hasil deagregasi pada tingkat bahaya yang sama dengan UHS, yaitu POE 2% dalam 50 tahun pada $SA(0,2\text{ s})$, hazard di lokasi studi terutama dikendalikan oleh sumber Opak sebagai kontributor terbesar sebesar 50,4307%, kemudian diikuti oleh Benioff Jateng–Jatim sebesar 29,4004% dan Benioff Jabar sebesar 19,7712%, sedangkan kontribusi sumber megathrust relatif sangat kecil. Meskipun kontribusi sumber tidak lagi terpusat hampir sepenuhnya pada satu sumber, kombinasi magnitudo–jarak dominan tetap berada pada sekitar $M_w = 6,45$ dan jarak sekitar 25 km. Temuan ini kemudian dijadikan dasar untuk menyusun kriteria pencarian rekaman pada basis data PEER Ground Motion Database, sehingga

rekaman yang dipilih tetap merepresentasikan skenario pengendali hazard, yaitu gempa dekat dengan magnitudo menengah hingga agak besar, serta tidak menyimpang dari karakter dominan yang ditunjukkan oleh hasil deagregasi.

Kriteria pencarian utama pada PEER kemudian ditetapkan untuk mengakomodasi sebaran magnitudo dan jarak tersebut, dengan rentang yang masih berpusat pada skenario dominan hasil deagregasi. Berdasarkan pertimbangan tersebut, parameter pencarian digunakan sebagai berikut: Magnitude minimum 5,0; Magnitude maksimum 7,0; Rrup minimum 15 km; dan Rrup maksimum 35 km. Rentang ini dipilih agar rekaman yang diperoleh tetap mencakup skenario dominan pada $M_w = 6,45$ dan jarak sekitar 25 km, namun masih memberikan ruang variasi yang memadai untuk memperoleh pasangan rekaman yang sesuai pada proses *spectral matching*.

Selain filter magnitudo–jarak, proses pencarian di PEER juga dikontrol oleh beberapa pengaturan teknis yang menentukan bagaimana sistem memperlakukan komponen, redaman, serta scaling. Konfigurasi yang digunakan pada penelitian ini adalah: User-Defined Maximum Number of Records: (ditetapkan pengguna), Pulse: 1, Damping Ratio: 0.05, Scaling Method: No Scaling, Suite Average: Arithmetic, Single-Period-Scaling Period (sec): (tidak diisi), Component: SRSS, dan Fault Type: All Types.

Pengaturan Damping Ratio 5% memastikan evaluasi spektrum respons kandidat konsisten dengan redaman standar yang juga digunakan pada target UHS. Metode No Scaling (dan kolom *single-period scaling* yang tidak diisi) berarti rekaman dipertahankan pada amplitudo aslinya pada tahap pencarian, sehingga penyesuaian terhadap target spektrum baru dilakukan pada tahap *spectral matching*. Opsi Component = SRSS menyatakan bahwa dua komponen horizontal diperlakukan sebagai pasangan dan digabung menggunakan pendekatan *square-root-of-sum-of-squares*, sehingga keluaran PEER berupa pasangan rekaman (dua komponen ortogonal) dan bukan satu komponen tunggal. Sementara itu, Fault Type = All Types menunjukkan bahwa mekanisme sumber tidak dibatasi pada tahap awal, karena fokus utama seleksi diarahkan pada kesesuaian magnitudo–jarak hasil deagregasi.

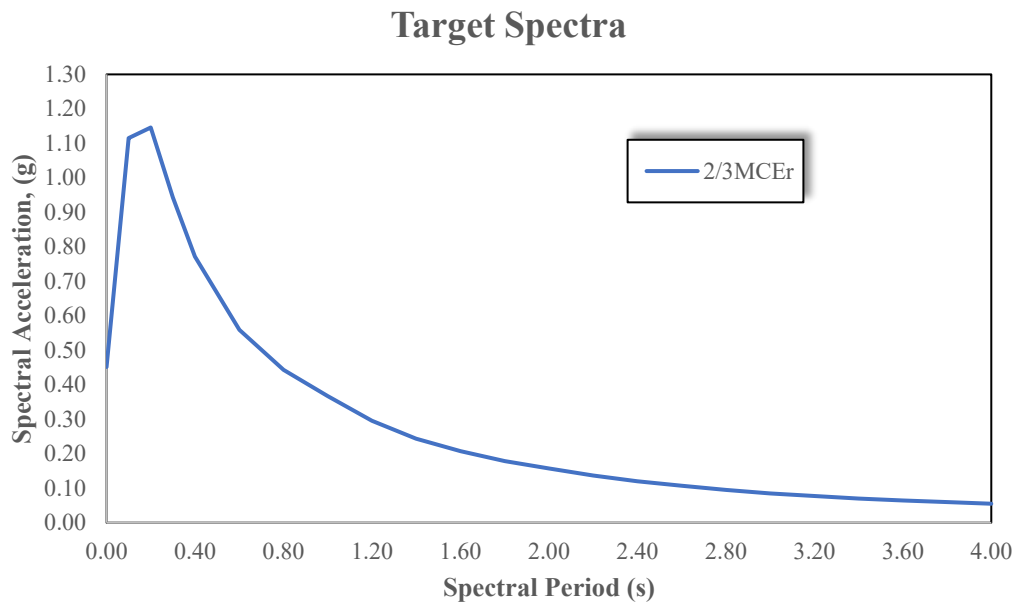
Dengan kombinasi kriteria utama (Magnitude–Rrup) dan konfigurasi teknis di atas, pencarian PEER menghasilkan 101 pasang rekaman sebagai keluaran mentah. Dari himpunan kandidat ini kemudian dilakukan seleksi lanjutan hingga diperoleh 3 pasang rekaman yang digunakan pada analisis, yaitu sebagaimana Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Tiga Pasang Rekaman Terpilih

NGA Record Number	Magnitude [Epicenter, Distance, km]	Vs30	Mechanism	Number of Points and Digitization Increment	Component Source Motion
212	24.95 [5.8]	403.37	Strike-Slip	6200 @ 0.005 sec	LIVERMOR_A-DVD246 LIVERMOR_A-DVD156
722	18.48 [6.54]	266.01	Strike-Slip	2204 @ 0.01 sec	SUPER.B_B-KRN360 SUPER.B_B-KRN270
2871	27.13 [6.2]	665.2	Strike-Slip	6498 @ 0.005 sec	CHICHI.04_TCU084E CHICHI.04_TCU084N

5.5.2 Target spektrum bedrock

Target spektrum yang digunakan pada tahap *spectral matching* di bedrock ditetapkan konsisten dengan spektrum rencana pada pembahasan UHS, yaitu kurva $2/3 MCE_r$. Dengan demikian, target yang dikejar oleh rekaman hasil *matching* bukan UHS 2%/50 tahun secara langsung, melainkan UHS yang telah dinyatakan dalam bentuk spektrum desain $2/3 MCE_r$.



Gambar 5.11 Target Spektral *Matching Bedrock*

Penetapan ini memastikan bahwa input gerak tanah di bedrock yang digunakan pada analisis lanjutan berada pada level intensitas yang sama dengan spektrum desain yang dipakai, sehingga kesesuaian antara rekaman hasil *matching* dan target spektrum dapat dievaluasi secara langsung pada seluruh rentang perioda yang ditinjau.

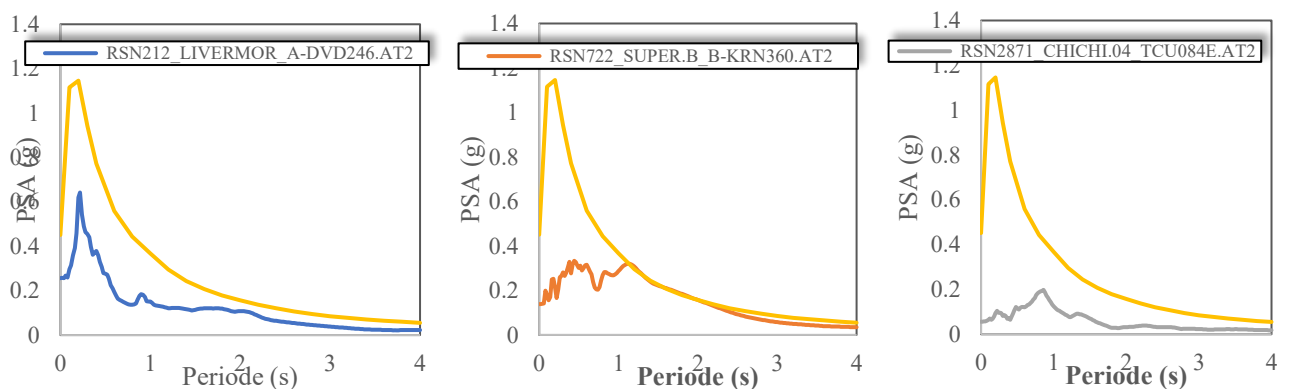
5.5.3 Hasil spectral matching bedrock dan verifikasi

Hasil *spectral matching* rekaman terpilih terhadap target spektrum bedrock ($UHS = 2/3 MCE_r$) pada bagian ini disajikan sekaligus dengan verifikasi tingkat kesesuaiannya pada rentang perioda yang ditinjau. Sebelum hasil akhir *matching* ditampilkan, terlebih dahulu diperlihatkan kondisi awal masing-masing rekaman, yaitu riwayat percepatan (*ground motion time history*, GMTH) dan spektrum respons percepatan (*pseudo spectral acceleration*, PSA), agar besarnya deviasi rekaman asli terhadap target dapat terlihat dengan jelas dan kebutuhan proses *matching* dapat dijelaskan secara langsung.

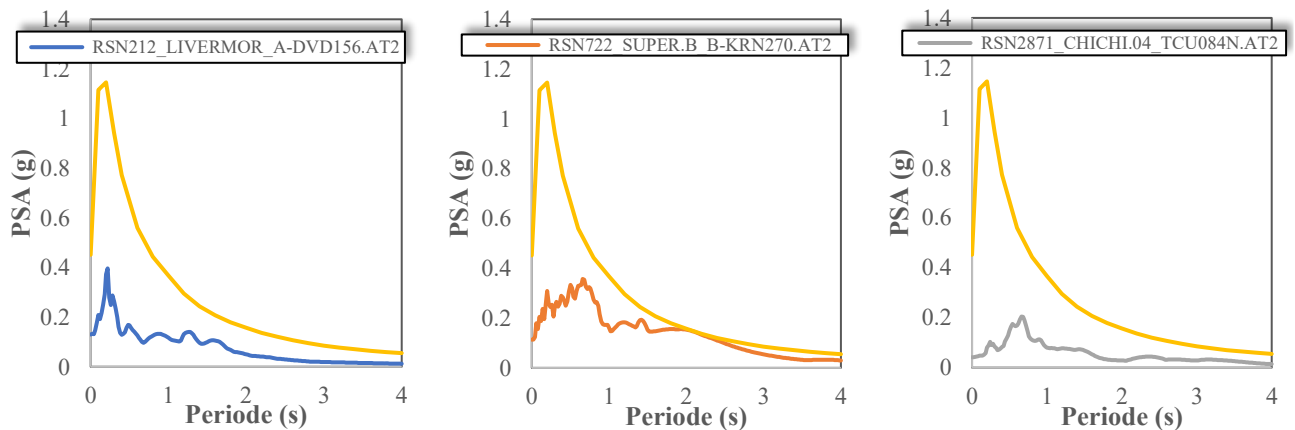
1. Kondisi awal spektrum (PSA) terhadap target

Plot PSA (*Peak Spectral Acceleration*) mentah (kurva rekaman) yang dioverlay dengan kurva target $2/3 MCE_r$ menunjukkan bahwa spektrum rekaman asli masih berada jauh di bawah target pada hampir seluruh rentang perioda,

terutama pada periode pendek yang menjadi pengendali demand, dapat dilihat pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13. Pada beberapa komponen, puncak PSA rekaman memang muncul pada periode pendek, namun ordinatnya tetap lebih kecil daripada kurva target. Perbedaan ini menegaskan bahwa bila rekaman digunakan langsung, maka input bedrock tidak akan kompatibel dengan level spektrum desain yang ditetapkan, sehingga *spectral matching* diperlukan agar PSA rekaman mengikuti target pada rentang periode evaluasi.



Gambar 5.12 PSA Sebelum Match Arah-x

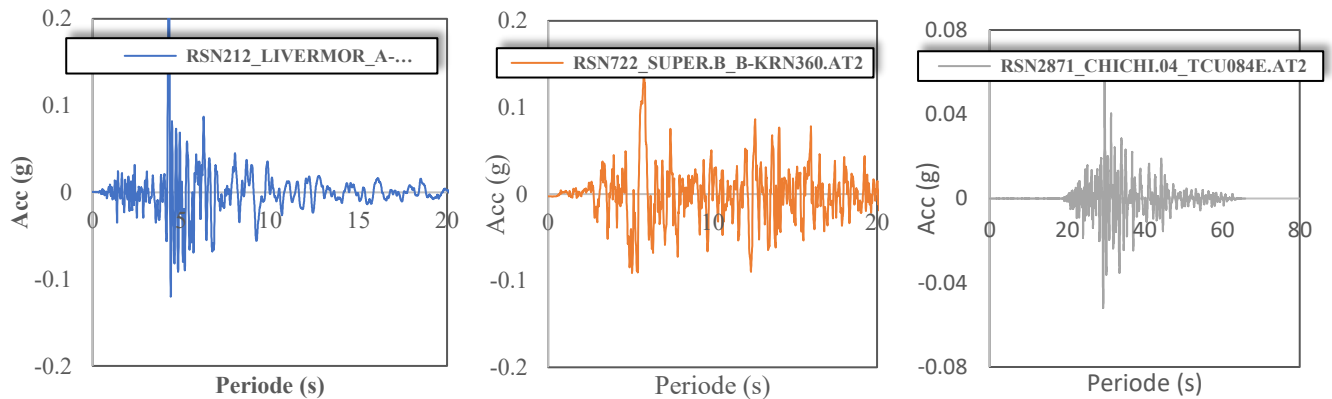


Gambar 5.13 PSA Sebelum Match Arah-y

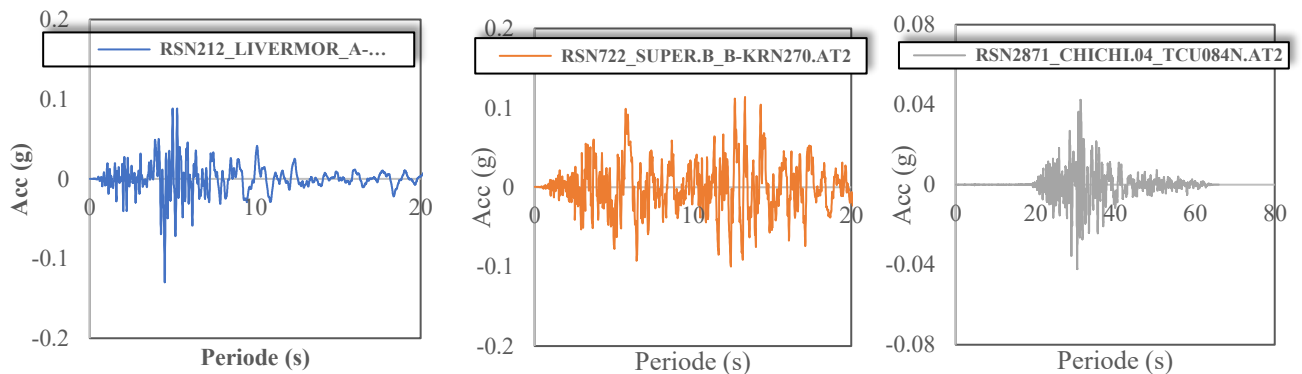
2. Kondisi awal rekaman (GMTH)

Plot GMTH (*Ground Motion Time History*) untuk enam komponen (dua komponen pada masing-masing dari tiga pasangan) memperlihatkan bentuk sinyal yang wajar: energi utama terkonsentrasi pada bagian awal–tengah rekaman, kemudian amplitudo mereda menuju kondisi kecil di bagian akhir. Secara umum, amplitudo puncak rekaman berbeda antar kejadian/komponen,

namun seluruhnya masih berada pada skala yang relatif lebih kecil dibanding level target desain yang akan dicapai melalui *matching*. Untuk memudahkan pembacaan, GMTH ditampilkan terpisah menurut arah komponen, yaitu komponen pertama (Arah-Y) dan komponen ortogonalnya (Arah-X), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.14 dan Gambar 5.15.



Gambar 5.14 GMTH Sebelum Match Arah-X



Gambar 5.15 GMTH Sebelum Match Arah-Y

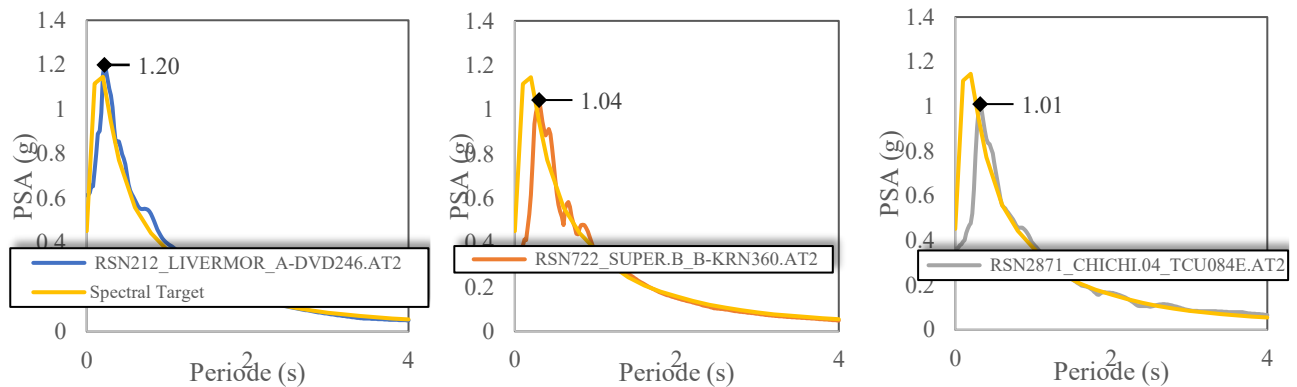
3. Konfigurasi *matching* (SeismoMatch)

Proses *spectral matching* dilakukan menggunakan SeismoMatch dengan pengaturan berikut: T_{min} : 0,05 s; T_{max} : 4,0 s; Scale : 1; dan Tolerance : 0,1. Rentang perioda 0,05–4,0 s dipilih agar kecocokan spektrum tercapai pada perioda pendek hingga menengah-panjang sesuai cakupan UHS yang digunakan. Parameter tolerance = 0,1 diterapkan sebagai kriteria verifikasi, yaitu deviasi ordinat spektrum hasil *matching* terhadap target diupayakan berada dalam batas toleransi tersebut pada rentang perioda yang ditentukan. Nilai scale = 1

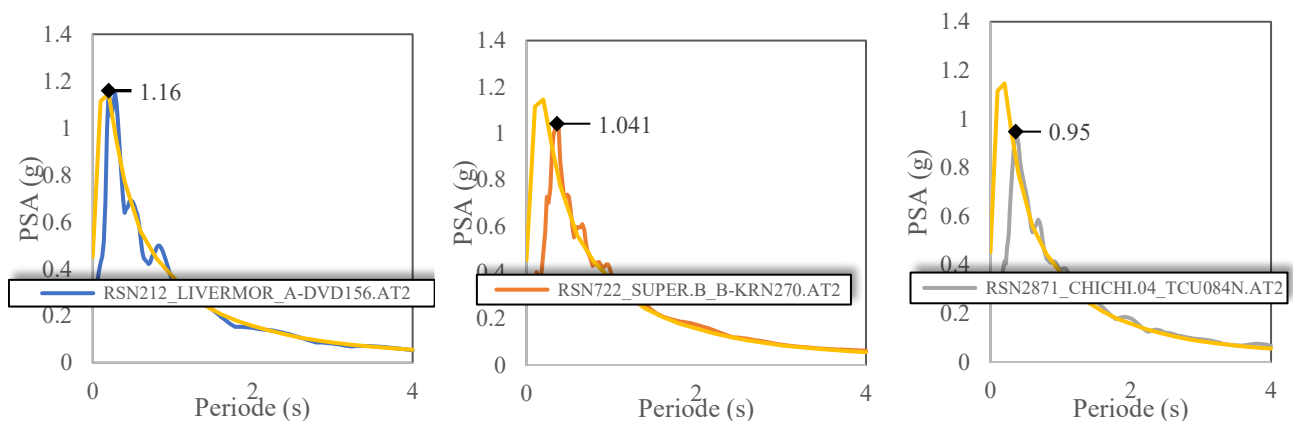
menunjukkan bahwa proses dimulai tanpa *pre-scaling* tambahan, sehingga penyesuaian spektrum dicapai melalui modifikasi sinyal pada prosedur *matching*.

4. Hasil *Matching*

Setelah kondisi awal rekaman ditinjau, 3 pasang rekaman kemudian dilakukan *spectral matching* terhadap target spektrum bedrock (UHS = $2/3$ MCE_r) pada rentang perioda $T = 0,05-4$ s dengan **tolerance 0,1** (konfigurasi pada subbab sebelumnya). Hasil proses ini ditunjukkan melalui dua keluaran utama, yaitu perubahan bentuk sinyal waktu (GMTH) dan tingkat kesesuaian spektrum (PSA) terhadap target.



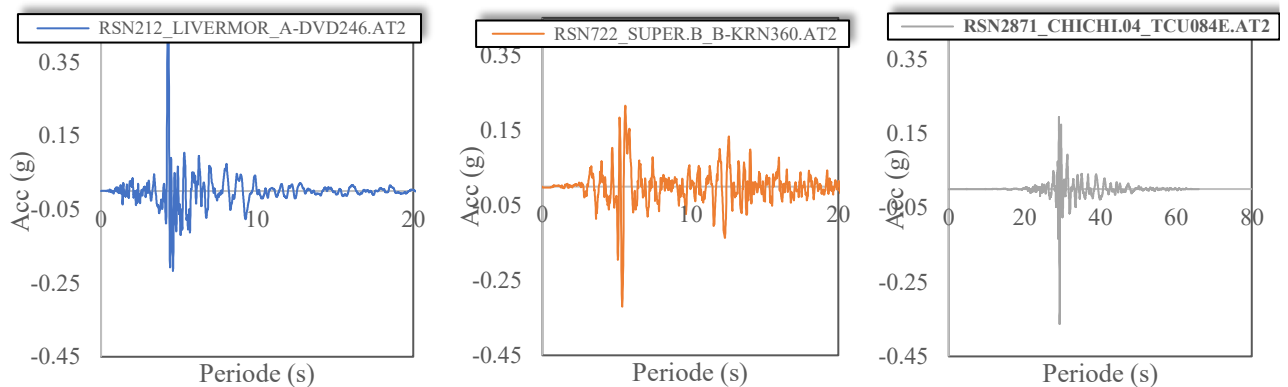
Gambar 5.16 Spectral Matching Arah-x



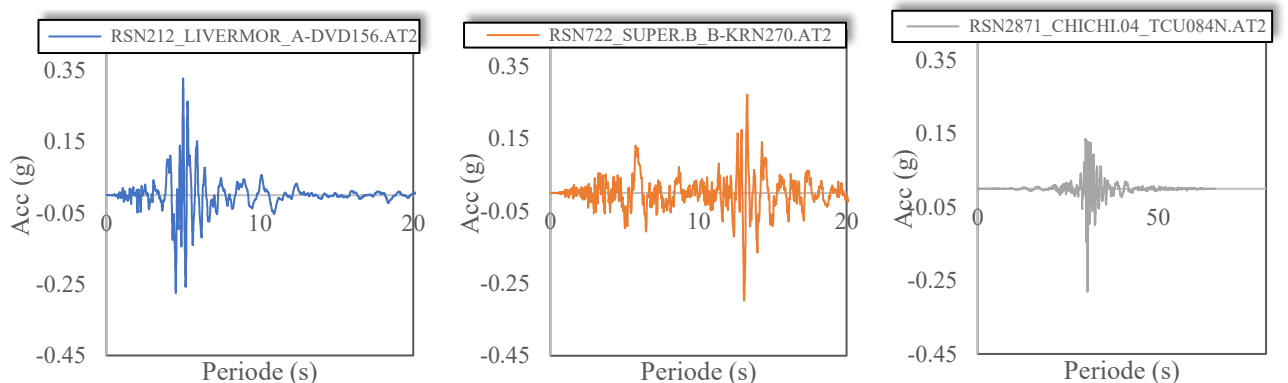
Gambar 5.17 Spectral Matching Arah-y

Kesesuaian spektrum hasil *matching* ditunjukkan pada Gambar 5.16 (PSA Setelah *Match* Arah-x) dan Gambar 5.17 (PSA Setelah *Match* Arah-y), proses spectral matching menghasilkan kecocokan yang baik antara PSA rekaman dan

spektrum target pada arah x maupun arah y. Pada arah x, puncak PSA hasil matching berturut-turut adalah 1,20 g, 1,04 g, dan 1,01 g, sedangkan pada arah y sebesar 1,16 g, 1,04 g, dan 0,95 g. Kurva hasil matching pada seluruh rekaman umumnya telah menempel pada kurva target, khususnya pada periode pendek sampai menengah, sehingga menunjukkan bahwa amplitudo rekaman telah berhasil disesuaikan terhadap spektrum rencana. Perbedaan kecil yang masih muncul pada beberapa titik tidak mengubah kecenderungan umum bahwa hasil matching telah memenuhi tujuan utama, yaitu menghasilkan input gerak gempa yang kompatibel dengan target spektral untuk masing-masing arah.



Gambar 5.18 Artificial GMTH Setelah Match Arah-x



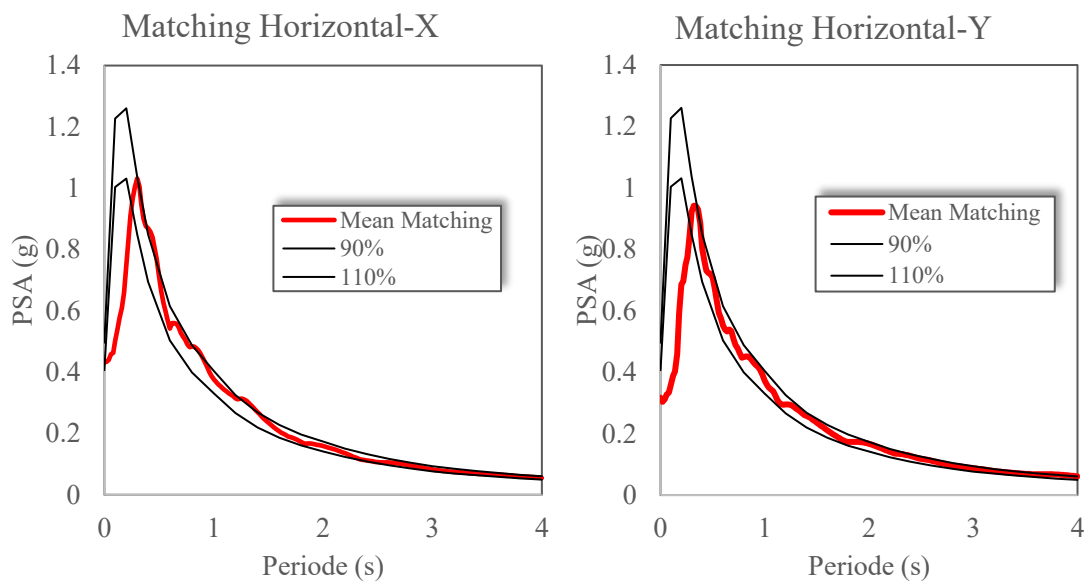
Gambar 5.19 Artificial GMTH Setelah Match Arah-y

Gambar 5.18 dan Gambar 5.19 menampilkan GMTH setelah *matching* untuk Arah-x dan Arah-y. Secara visual, bentuk umum sinyal masih mempertahankan karakter utama rekaman awal—energi dominan tetap terkonsentrasi pada bagian awal—tengah durasi rekaman dan mereda pada bagian akhir—namun amplitudo pada beberapa segmen meningkat sebagai konsekuensi penyesuaian spektrum

menuju level target. Tidak terlihat indikasi distorsi ekstrem seperti lonjakan tunggal yang tidak wajar atau perubahan durasi efektif yang menyimpang, sehingga secara kualitatif sinyal hasil *matching* masih dapat dianggap realistis sebagai input gerak tanah di bedrock.

5. Verifikasi Hasil *Matching* dengan Batas SNI

Kriteria kelayakan dinyatakan terpenuhi apabila kurva rata-rata PSA pada arah yang sama berada di dalam selubung $\pm 10\%$ (90%–110%) dari spektrum target pada rentang perioda yang ditinjau ($T = 0,05\text{--}4,0$ s). Hasil pemeriksaan ditunjukkan pada Gambar 5.20, di mana 3 rekaman yang dirata-ratakan (*mean matching*) dibandingkan dengan batas bawah (90%) dan batas atas (110%) dari target. Dapat dilihat bahwa kedua arah telah memenuhi batas, sehingga 3 pasang rekaman ini layak dipilih.



Gambar 5.20 Verifikasi Batas PSA

5.6 Analisis Respons Situs 1D

5.6.1 Profil tanah dan parameter dasar (overburden, σ'_v , dsb.)

Profil tanah disusun dari hasil investigasi geoteknik (log bor dan data SPT) dan diringkas menjadi lapisan representatif hingga kedalaman bedrock. Parameter yang digunakan pada tahap ini adalah ketebalan lapisan, berat isi (unit weight, γ), serta

kedalaman muka air tanah karena ketiganya menjadi dasar perhitungan tegangan overburden total dan tegangan efektif. Pada lokasi studi, muka air tanah berada pada kedalaman 6,7 m; sehingga $u = 0$ untuk kedalaman $\leq 6,7$ m dan mulai diperhitungkan pada kedalaman $> 6,7$ m.

Karena data γ tidak tersedia pada seluruh interval kedalaman, nilai unit weight diasumsikan seragam per jenis tanah (Pasir Halus/Sedang/Kasar dan Batu Pasir Halus) menggunakan nilai representatif dari data yang tersedia. Rekap stratigrafi, ketebalan, kedalaman, dan γ yang digunakan dalam perhitungan disajikan pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Jenis Tanah Tiap Lapisan

Layer	Jenis Tanah	thick (m)	Depth (m)	Unit Weight , γ (KN/m ³)
1	Pasir Sedang	0.7	0	14.8131
2	Pasir Halus	2.8	-0.7	14.2245
3	Pasir Sedang	1	-3.5	14.8131
4	Pasir Halus	1.5	-4.5	14.2245
5	Pasir Sedang	0.8	-6	14.8131
6	Pasir Halus	1.2	-6.8	17.1675
7	Pasir Halus	1	-8	17.1675
8	Pasir Sedang	1	-9	15.9903
9	Pasir Halus	1.6	-10	17.1675
10	Pasir Sedang	2.4	-11.6	15.9903
11	Pasir Halus	3	-14	17.1675
12	Pasir Kasar	1.7	-17	17.6772
13	Pasir Halus	5	-18.7	17.1675
14	Pasir Sedang	2	-23.7	15.9903
15	Pasir Halus	1	-25.7	17.1675
16	Batu Pasir Halus	5	-26.7	23.5
—	Bedrock	—	-31.7	31.7

Sumber : Ringkasan Lampiran 54

Penentuan jenis tanah dan batas ketebalan tiap lapisan merujuk pada Lampiran 54, sedangkan data *soil property* lengkap disajikan pada Lampiran 55. Berikutnya ditunjukkan contoh perhitungan numerik tegangan *overburden* efektif pada dua lapisan untuk memperjelas prosedur (satu lapisan di atas muka air dan satu lapisan di bawah muka air), sebelum perhitungan diterapkan ke seluruh lapisan pada profil.

1. Contoh lapisan di atas muka air: Layer 1 (0–0,7 m)

Layer 1 memiliki ketebalan 0,7 m dengan berat isi $\gamma = 14,8131$ kN/m³. Karena lapisan ini seluruhnya berada pada kedalaman $< 6,7$ m, maka tekanan air pori u

= 0. Sehingga diketahui: $h = 0,7\text{m}$; $\gamma = 14,8131\text{kN/m}^3$; $z_{wt} = 6,7\text{m}$; $z_{top} = 0\text{m}$; $z_{mid} = 0,35\text{m}$; $z_{bot} = 0,7\text{m}$; dan $u = 0$. Maka penyelesaiannya :

$$z_{top} = 0\text{m} \rightarrow \sigma_{top} = 0\text{kPa}$$

$$\Delta\sigma = \gamma \times h = 14,8131 \times 0,7 = 10,369\text{kPa}$$

$$\sigma_{bot} = \sigma_{top} + \Delta\sigma = 0 + 10,369 = 10,369\text{kPa}$$

$$\sigma_{mid} = \sigma_{top} + \gamma \times 0,35 = 0 + 14,8131 \times 0,35 = 5,185\text{kPa}$$

$$u_{mid} = 0 \rightarrow \sigma'_{mid} = \sigma_{mid} - u_{mid} = 5,185 - 0 = 5,185\text{kPa}$$

Hasil ini menunjukkan bahwa pada zona tak jenuh, perhitungan cukup berupa akumulasi berat lapisan (tegangan total), dan tegangan efektif tidak berkurang oleh tekanan air pori.

2. Contoh lapisan di bawah muka air: Layer 6 (6,8–8,0 m)

Diketahui: $h = 1,2\text{m}$; $\gamma = 17,1675\text{kN/m}^3$; $z_{wt} = 6,7\text{m}$; $z_{top} = 6,8\text{m}$; $z_{mid} = 7,4\text{m}$; $z_{bot} = 8,0\text{m}$; $\sigma_{top} = 98,198\text{kPa}$; $\gamma_w = 9,81\text{kN/m}^3$. Maka penyelesaiannya:

$$\Delta\sigma = \gamma \times h = 17,1675 \times 1,2 = 20,601\text{kPa}$$

$$\sigma_{bot} = \sigma_{top} + \Delta\sigma = 98,198 + 20,601 = 118,799\text{kPa}$$

$$\sigma_{mid} = \sigma_{top} + \gamma \times (h/2) = 98,198 + 17,1675 \times 0,6 = 108,499\text{kPa}$$

$$u_{mid} = \gamma_w \times (z_{mid} - z_{wt}) = 9,81 \times (7,4 - 6,7) = 6,867\text{kPa}$$

$$\sigma'_{mid} = \sigma_{mid} - u_{mid} = 108,499 - 6,867 = 101,632\text{kPa}$$

Contoh ini memperlihatkan bahwa pada zona jenuh, tegangan total tetap dihitung sebagai akumulasi berat lapisan, namun tegangan efektif menjadi lebih kecil karena dikurangi tekanan air pori yang mulai muncul setelah melewati kedalaman muka air tanah. Dengan prosedur numerik yang sama, perhitungan σ_{top} , σ_{mid} , σ_{bot} serta u dan σ' dilakukan untuk seluruh lapisan hingga kedalaman bedrock; rekap hasil perhitungan tegangan tiap lapisan disajikan pada Lampiran 56.

5.6.2 Estimasi V_s dari SPT

Estimasi V_s pada profil tanah dilakukan dengan korelasi Brandenberg–Bellana–Shantz (2010) sebagaimana pembahasan 3.9.2, dimana nilai V_s ini memerlukan input N_{60} . Data N_{60} hasil koreksi SPT disajikan pada Lampiran 57. Karena kedalaman pengujian SPT tidak persis berimpit dengan batas tiap lapisan pada model 1D, maka

nilai N_{60} untuk setiap lapisan ditetapkan pada kedalaman representatif lapisan melalui interpolasi, sehingga seluruh lapisan memperoleh nilai N_{60} yang konsisten sebelum dikonversi menjadi V_s .

Digunakan contoh pada layer 1, Diketahui (Layer 1): $N_{60} = 11$; $\sigma'_{v,mid} = 5.185 \text{ kPa}$; koefisien *Sand*: $\beta_0 = 4.045$, $\beta_1 = 0.096$, $\beta_2 = 0.236$.

$$\ln(V_s) = \beta_0 + \beta_1 \ln(N_{60}) + \beta_2 \ln(\sigma'_v)$$

$$\ln(V_s) = 4.045 + 0.096 \ln(11) + 0.236 \ln(5.185)$$

$$\ln(V_s) = 4.045 + 0.096(2.3979) + 0.236(1.6458) = 4.6636$$

$$V_s = \exp(4.6636) = 106.017 \text{ m/s}$$

Dengan prosedur yang sama seperti contoh perhitungan pada Layer 1, nilai V_s dihitung untuk seluruh lapisan menggunakan N_{60} hasil penetapan per lapisan (melalui interpolasi/pendekatan kedalaman representatif) dan $\sigma'_{v,mid}$ dari hasil perhitungan overburden. Rekap nilai $\sigma'_{v,mid}$, N_{60} , dan V_s untuk setiap lapisan yang digunakan sebagai input analisis respons situs 1D disajikan pada Lampiran 58.

5.6.3 Estimasi ϕ' dan parameter kuat geser

Estimasi sudut geser dalam efektif ϕ' pada profil tanah dilakukan menggunakan korelasi Schmertmann (1975) sebagaimana telah dibahas pada Subbab 3.9.3. Perhitungan memerlukan input N -SPT pada kedalaman representatif tiap lapisan serta tegangan efektif vertikal $\sigma'_{v,mid}$ hasil perhitungan overburden.

Diambil contoh perhitungan sudut geser, ϕ' pada layer 1. Diketahui (Layer 1): $N_{spt} = 10$; $\sigma'_{v,mid} = 5.184585 \text{ kPa}$; dan $P_a = 100 \text{ kPa}$. Parameter P_a merupakan tekanan atmosfer referensi ($\approx 1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa}$) yang pada penelitian ini dibulatkan menjadi 100 kPa untuk mempermudah perhitungan.

$$\phi' = \tan^{-1} \left[\frac{N_{spt}}{\left(12.2 + 20.3 \left(\frac{\sigma'_v}{P_a} \right) \right)^{0.34}} \right]$$

$$\frac{\sigma'_v}{P_a} = \frac{5.184585}{100} = 0.05185$$

$$12.2 + 20.3(0.05185) = 13.2525$$

$$\frac{10}{13.2525} = 0.7546$$

$$(0.7546)^{0.34} = 0.9086$$

$$\varphi' = \tan^{-1}(0.9086) = 42.26^\circ \approx 42.3^\circ$$

Dengan prosedur yang sama seperti contoh perhitungan pada Layer 1, nilai φ' dihitung untuk seluruh lapisan menggunakan N -SPT pada kedalaman representatif dan $\sigma'_{v,mid}$ hasil perhitungan overburden. Hasil estimasi menunjukkan φ' berada pada kisaran sekitar $38,5^\circ$ – $44,8^\circ$, yang kemudian digunakan sebagai parameter kuat geser efektif pada tahap analisis berikutnya. Rekap lengkap nilai $\sigma'_{v,mid}$, N -SPT, dan φ' tiap lapisan disajikan pada Lampiran 59.

Tahap berikutnya adalah menghitung kuat geser tanah (shear strength) pada kondisi tegangan kerja representatif. Karena profil tanah didominasi oleh material berbutir (pasir), komponen kohesi efektif dianggap $c' \approx 0$, sehingga kuat geser terutama dikendalikan oleh tegangan efektif vertikal $\sigma'_{v,mid}$ dan nilai φ' yang telah dihitung sebelumnya. Perhitungan dilakukan pada tiap lapisan menggunakan parameter efektif untuk menghasilkan nilai kuat geser per lapisan yang selanjutnya digunakan sebagai input/parameter pendukung dalam analisis respons situs 1D. Diambil contoh perhitungan pada lapisan 1. Diketahui data pada layer 1: $\sigma'_{v,mid} = 5.184$ kPa, $\varphi' = 42.3^\circ$, dan $c' = 0$ kPa. Maka penyelesaiannya:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan(\varphi')$$

$$\tau_f = 0 + \sigma' \tan(\varphi') = \sigma' \tan(\varphi')$$

$$\tau_{f,1} = 5.184 \times \tan(42.3^\circ)$$

$$\tan(42.3^\circ) = 0.9096$$

$$\tau_{f,1} = 5.184 \times 0.9096 = 4.715 \text{ kPa}$$

Selain kuat geser, parameter lain yang dibutuhkan untuk mendefinisikan kondisi tegangan awal pada profil tanah adalah koefisien tekanan tanah horizontal keadaan diam (K_0). Nilai K_0 diperlukan untuk membentuk initial stress state pada analisis propagasi gelombang 1D di DEEPSOIL, khususnya saat menggunakan *material curve* untuk pasir yang mensyaratkan input K_0 . Oleh karena itu, setelah φ' dan *shear strength* diperoleh, tahap berikutnya adalah menghitung K_0 per lapisan.

Diambil contoh layer 1. Didapatkan data hasil analisis sebelumnya: $\varphi' = 42.3^\circ$ dan $OCR = 1$. Maka penyelesaiannya:

$$K_0 = (1 - \sin \varphi') OCR^{\sin \varphi'}$$

$$\sin \varphi' = \sin (42.3^\circ) = 0.6730$$

$$K_0 = (1 - 0.6730) 1^{0.6730}$$

$$K_0 = 0.327$$

Dengan prosedur yang sama seperti contoh perhitungan pada Layer 1, nilai kuat geser efektif dihitung untuk seluruh lapisan dengan asumsi tanah berbutir ($c' = 0$) menggunakan $\sigma'_{v,mid}$ dan φ' . Selanjutnya, nilai koefisien tekanan tanah horizontal keadaan diam (K_0) ditentukan menggunakan persamaan Jaky dengan asumsi $OCR = 1$ untuk pasir. Rekap nilai γ , V_s , shear strength, dan K_0 per lapisan yang digunakan sebagai parameter input pada pemodelan DEEPSOIL disajikan pada Lampiran 60.

5.6.4 Hasil propagasi gelombang

Sebelum membahas keluaran propagasi gelombang, terlebih dahulu dijelaskan konfigurasi input yang digunakan pada pemodelan DEEPSOIL agar hasil yang diperoleh dapat ditelusuri dan direplikasi. Pemodelan dilakukan dengan skema analisis nonlinier pada domain waktu, menggunakan profil tanah hasil idealisasi lapisan serta parameter dinamik yang telah dihitung pada subbab sebelumnya.

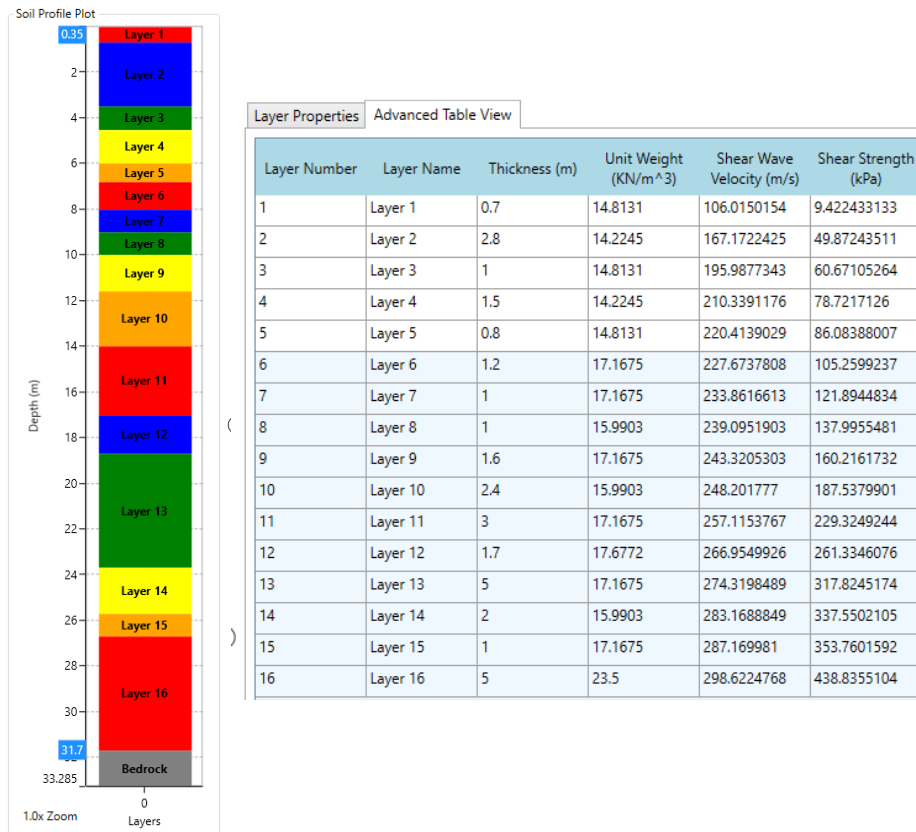
1. Definisi analisis

Metode analisis ditetapkan Nonlinear dengan solution type: Time Domain. Opsi tekanan air pori berlebih tidak diaktifkan (tidak dilakukan pemodelan *excess porewater pressure*), dan sistem satuan yang digunakan adalah Metric. Model tanah default menggunakan General Quadratic/Hyperbolic (GQ/H) dengan formulasi *hysteretic re/unloading* Non-Masing Re/Unloading. Tag analisis diset sebagai **DS-NL4**.

2. Definisi profil tanah dan input lapisan

Profil tanah dimasukkan secara manual hingga kedalaman 31,7 m (hingga batas bedrock), terdiri dari 16 lapisan. Parameter tiap lapisan pada *advanced layer table*—meliputi ketebalan, berat isi γ , V_s hasil estimasi, serta *shear strength*—

diisikan sesuai rekap pada Lampiran 60. Hasil input profil tanah dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.21 Input Profil Tanah

3. Reference curve per lapisan

Untuk lapisan pasir, kurva referensi dinamik menggunakan Darendeli (2001). Sebagai contoh pada Layer 1, parameter yang dimasukkan mencakup $OCR = 1$, $K_0 = 0.327$, dan N sesuai nilai per lapisan (dengan $PI = 0$ untuk pasir). Nilai K_0 ini mengikuti hasil perhitungan pada subbab sebelumnya dan diperlukan karena kurva pasir pada DEEPSOIL menggunakan kondisi tegangan awal berbasis K_0 , sebagaimana pada Gambar 5.22.

Layer 1 - "Layer 1"

Reference Curve

Sand Clay User Defined

Reference Curve Darendeli, 2001

Parameter	Value	Strain (%)	G/Gmax	Damping
OCR	1	0.0001	0.9859	2.378
Ko	0.327	0.0003	0.9622	2.634
N	10	0.001	0.8939	3.477
Frequency	1	0.003	0.7543	5.503
PI	0	0.01	0.5039	10.02
		0.03	0.2701	15.42
		0.1	0.109	20.15
		0.3	0.04269	22.2
		0.7	0.02006	22.44
		1	0.01453	22.29
		3	0.005344	21.25
		7	0.00246	20.14
		10	0.001774	19.64

Gambar 5.22 Reference Curve Layer 1

4. Curve fitting

Proses kalibrasi kurva dilakukan dengan prosedur MRDF with UIUC Reduction Factor, sehingga kurva $G/G_{\max}$ dan redaman terhadap regangan dapat mengikuti referensi yang dipilih sekaligus konsisten dengan *shear strength* lapisan, sebagaimana contoh layer 1 pada Gambar 5.23.

Curve Fitting

Fitting Procedure: MRDF with UIUC Reduction Factor

Fit

Parameter	Value	Strain (%)	G/Gmax	Damping
Dmin (%)	2.241	0.0001	0.9897	2.417
Shear Strength (kPa)	9.422	0.0003	0.9681	2.818
Theta1	-4.55	0.001	0.8938	4.245
Theta2	-4.37	0.003	0.7404	7.248
Theta3	0.02818	0.01	0.5131	11.63
Theta4	1	0.03	0.3257	15.48
Theta5	0.99	0.1	0.1776	19.39
A	1	0.3	0.09226	22.21
P1	0.82	0.7	0.05155	22.83
P2	0.55	1	0.03946	22.61
P3	23	3	0.01594	20.88
		7	0.007386	19.7
		10	0.005275	19.39

Use Fit

Gambar 5.23 Curve Fitting Layer 1

5. Properti bedrock

Properti bedrock mengikuti ketentuan awal pada tahapan PSHA, yaitu $V_s = 760$ m/s sebagai acuan batuan dasar. Berat isi bedrock diambil $\gamma = 23.5$ kN/m³ agar konsisten dengan asumsi material dasar pada pemodelan profil, sebagaimana .

Halfspace Definition - "Bedrock"

Forward Analysis
☒ Elastic Halfspace ☐ Rigid Halfspace

Bedrock Properties

Bedrock Name	
Shear Wave Velocity (m/s)	760.00
Unit Weight (KN/m ³)	23.50
Damping Ratio (%):	1.00

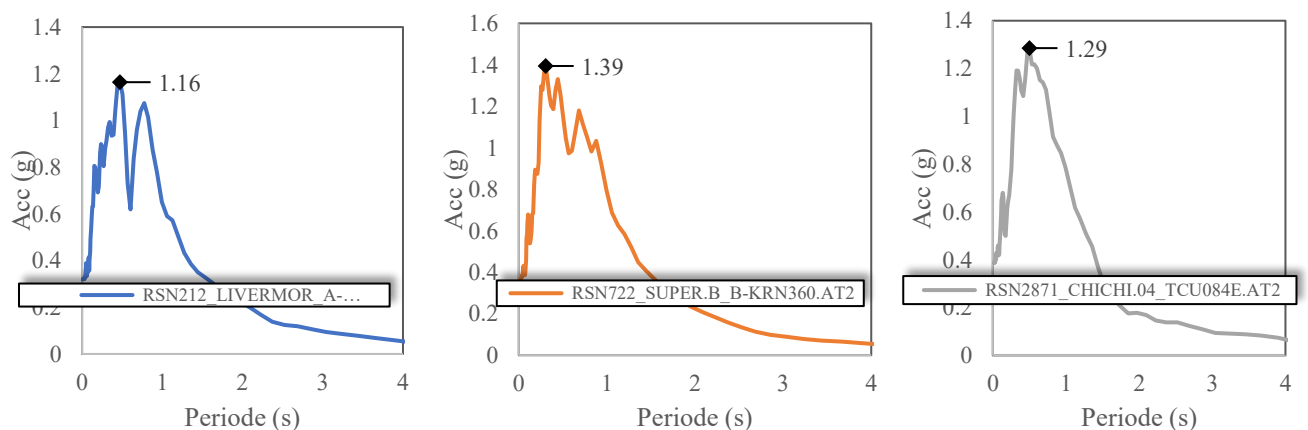
Gambar 5.24 Property Bedrock

6. Input gerakan gempa (bedrock motion)

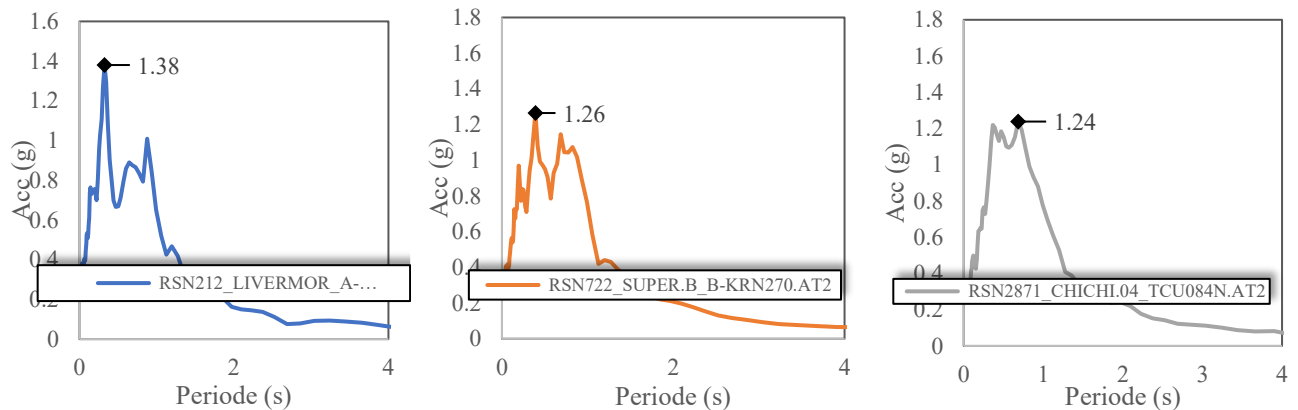
Eksitasi gempa diberikan sebagai input bedrock berupa 3 pasang rekaman (dua komponen horizontal) yang telah melalui proses spectral matching terhadap target spektrum bedrock. Enam komponen (.AT2) hasil matching tersebut digunakan sebagai riwayat waktu masukan pada analisis nonlinier domain waktu, sebagaimana Tabel 5.11 sebelumnya.

7. Hasil Propagasi Gelombang, PSA

Setelah GMTH permukaan dinyatakan wajar, respons propagasi gelombang dievaluasi dalam bentuk pseudo spectral acceleration (PSA) untuk menilai perubahan demand spektral akibat efek situs.



Gambar 5.25 Hasil Propagasi PSA Arah - X



Gambar 5.26 Hasil Propagasi PSA Arah - Y

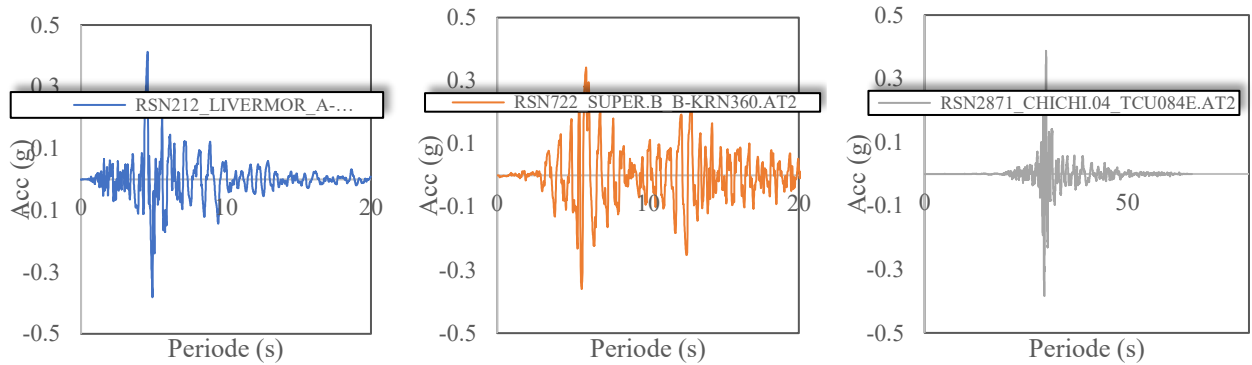
Gambar 5.25 dan Gambar 5.26, PSA permukaan hasil propagasi tetap menunjukkan respons yang dominan pada periode pendek untuk seluruh rekaman. Pada arah x, puncak PSA permukaan tercatat sebesar 1,16 g pada RSN212, 1,39 g pada RSN722, dan 1,29 g pada RSN2871. Pada arah y, puncak PSA permukaan masing-masing sebesar 1,38 g, 1,26 g, dan 1,24 g. Setelah mencapai puncak, seluruh kurva cenderung menurun secara bertahap seiring bertambahnya periode, sehingga pola umum spektrum tetap memperlihatkan konsentrasi respons pada periode pendek dan pelemahan pada periode menengah hingga panjang.

Jika dibandingkan dengan PSA bedrock hasil matching pada Gambar 5.16 dan Gambar 5.17, perubahan akibat propagasi terlihat cukup jelas. Pada arah x, RSN212 sedikit menurun dari 1,20 g menjadi 1,16 g, sedangkan RSN722 meningkat dari 1,04 g menjadi 1,39 g dan RSN2871 meningkat dari 1,01 g menjadi 1,29 g. Pada arah y, seluruh rekaman mengalami kenaikan, yaitu RSN212 dari 1,16 g menjadi 1,38 g, RSN722 dari 1,041 g menjadi 1,26 g, dan RSN2871 dari 0,95 g menjadi 1,24 g. Hasil ini menunjukkan bahwa efek propagasi tanah terutama memperbesar ordinat spektrum pada periode pendek, meskipun besarnya amplifikasi tidak seragam pada setiap rekaman dan setiap arah.

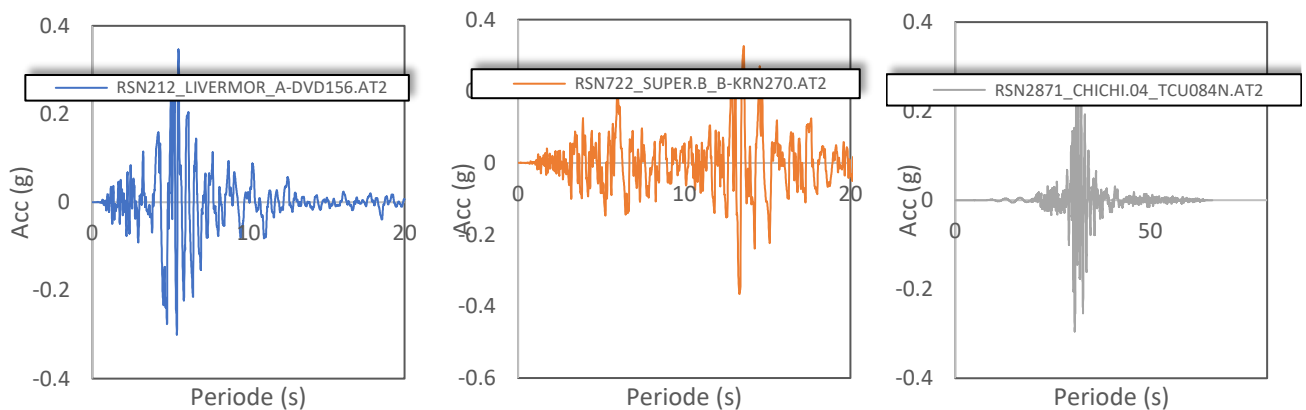
8. Hasil Propagasi Gelombang, GMTH

Hasil propagasi gelombang pada domain waktu terlebih dahulu ditinjau melalui GMTH untuk memastikan respons yang dihasilkan tetap realistis dan tidak

menunjukkan anomali numerik. Pada tahap ini, keluaran GMTH ditampilkan untuk masing-masing pasangan rekaman yang telah dimatching, dipisahkan menjadi dua komponen horizontal sesuai arah input.



Gambar 5.27 Hasil Propagasi GMTH – Arah X



Gambar 5.28 Hasil Propagasi GMTH – Arah Y

Dibandingkan GMTH input bedrock hasil matching (Gambar 5.18 dan Gambar 5.19) dengan GMTH permukaan setelah propagasi (Gambar 5.27 dan Gambar 5.28), bentuk gelombang utama tetap serupa: energi dominan muncul pada bagian awal–tengah durasi lalu meluruh. Perbedaannya, setelah propagasi amplitudo respons di permukaan menjadi lebih menonjol dan variasi antar rekaman masih terlihat pada kedua arah.

Secara visual, GMTH hasil propagasi pada Gambar 5.27 dan Gambar 5.28 tidak menunjukkan drift baseline atau lonjakan tak wajar, sehingga keluaran ini dinilai konsisten untuk dilanjutkan ke evaluasi PSA

5.7 Analisis Struktur dan Parameter Dinamik

Pada tahapan implementasi, pemodelan struktur di ETABS dapat dilakukan paralel dengan rangkaian PSHA. Namun, dalam alur penulisan penelitian ini, pembahasan struktur ditempatkan sebelum tahap spectral matching di permukaan, karena dua keluaran utama dari ETABS—yaitu periode fundamental struktur (T) dan parameter dinamik terkait—dibutuhkan untuk menetapkan rentang perioda matching permukaan ($0,8T$ – $1,2T$). Selain itu, spektrum target pada permukaan mengacu pada Spektrum Desain SNI 1726:2019, sehingga penyajiannya perlu didahulukan sebagai rujukan target pada tahap matching permukaan.

5.7.1 Pemodelan struktur 3D

Pemodelan struktur tiga dimensi dilakukan menggunakan ETABS dengan mengacu pada gambar denah dan potongan bangunan (Gambar 4.2–Gambar 4.5). Pada tahap ini ditetapkan sistem grid, level lantai (story), material, properti penampang elemen, serta sumber massa, sehingga model siap digunakan untuk analisis modal pada Subbab 5.7.2 selanjutnya serta penurunan parameter dinamik struktur.

Geometri model 3D pada ETABS ditetapkan dengan sistem grid sebagai koordinat acuan arah X dan Y, sehingga penempatan kolom–balok–pelat mengikuti sumbu pada gambar rencana. Koordinat setiap garis sumbu (grid X: A–K dan grid Y: 1–11) beserta nilainya dalam meter dirangkum pada Tabel 5.13 dan menjadi referensi utama dalam pemodelan denah.

Tabel 5.13 Grid Model Struktur

Grid X	Koordinat X (m)	Grid Y	Koordinat Y (m)
A	0	1	0
B	4.5	2	3.7
C	8	3	11.1
D	12.25	4	14.8
E	14.75	5	18.5
F	21.75	6	25.9
G	28.75	7	29.6
H	31.25	8	33.3
I	35.5	9	34.4
J	39	10	38.1
K	43.5	11	40.7

Selanjutnya, geometri vertikal bangunan didefinisikan melalui pembagian level lantai (story) dari Base hingga Atap; tinggi antar lantai dan elevasi setiap story yang digunakan pada model ditunjukkan pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Tingkat Struktur

Level	Lantai	Tinggi (m)	Elevasi (m)
10	Atap	3.1	32.75
9	Lt 10	3.1	29.65
8	Lt 9	3.1	26.55
7	Lt 8	3.1	23.45
6	Lt 7	3.1	20.35
5	Lt 6	3.1	17.25
4	Lt 5	3.1	14.15
3	Lt 3	4	11.05
2	Lt 2	3.1	7.05
1	Lt 1	4.58	3.95
0	Base	—	0

Material struktur pada pemodelan 3D di ETABS didefinisikan berdasarkan mutu beton dan baja tulangan yang digunakan pada elemen-elemen utama bangunan. Mutu beton dimodelkan dalam beberapa kelas (K-125, K-175, K-250, dan K-450) dengan berat isi seragam $\gamma = 2,4 \text{ tonf/m}^3$ ($23,5 \text{ kN/m}^3$), sedangkan nilai kuat tekan f'_c dikonversi ke satuan MPa agar konsisten dengan pelaporan parameter mekanik pada penelitian ini. Rekap mutu beton yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 5.15.

Untuk baja tulangan, material didefinisikan sebagai baja tulangan ulir dengan berat isi $\gamma = 7,85 \text{ tonf/m}^3$ ($\approx 76,98 \text{ kN/m}^3$) dan modulus elastisitas sesuai input ETABS, sementara parameter kekuatan (f_y dan f_u) dituliskan kembali dalam satuan MPa untuk memudahkan interpretasi. Pada model ini digunakan dua jenis baja tulangan, yaitu BJTS 420A dan BJTP 300, lengkap dengan nilai leleh minimum (f_y), kuat tarik minimum (f_u), serta nilai ekspektasi (f_{ye} dan f_{ue}) yang dipakai pada kebutuhan evaluasi lanjutan. Rekap parameter mutu baja tulangan disajikan pada Tabel 5.16.

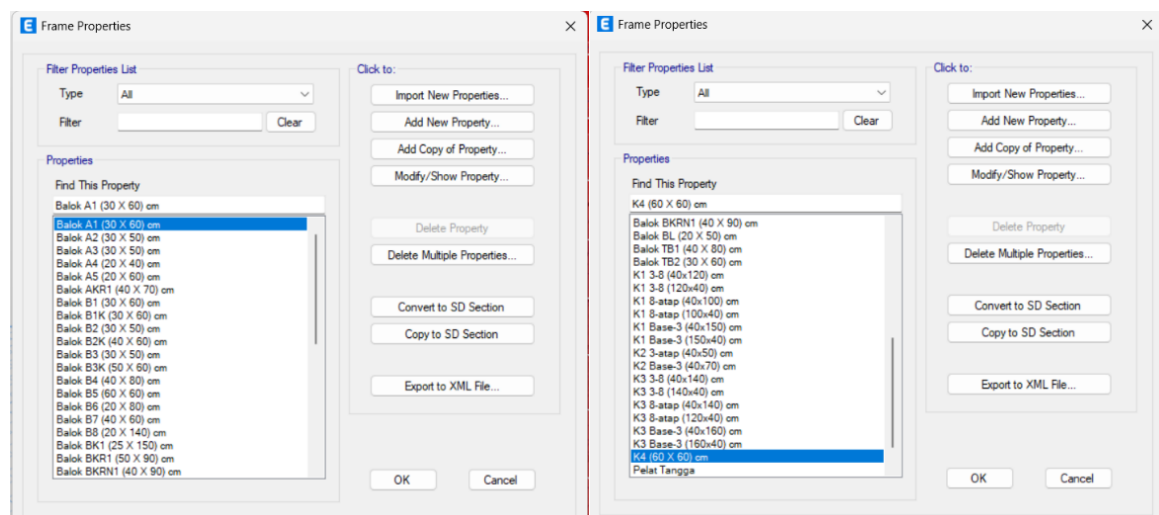
Tabel 5.15 Mutu Beton

Mutu beton	γ (tonf/m ³)	f'_c (MPa)
K-125	2.4	10.38
K-175	2.4	17.5
K-250	2.4	25
K-450	2.4	37.5

Tabel 5.16 Mutu Baja Tulangan

Baja Tulangan	γ (kN/m ³)	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_{ye} (MPa)	f_{ue} (MPa)
BJTS 420A	76.98	420	525	462	787.5
BJTP 300	76.98	300	490	330	539

Daftar *section properties* yang digunakan pada pemodelan ETABS ditunjukkan pada Gambar 5.29. Pada gambar tersebut, penamaan penampang dibedakan berdasarkan jenis elemen struktur: seri A (misalnya A1–A5) merepresentasikan balok anak, seri B (misalnya B1–B8) merepresentasikan balok induk, sedangkan seri K merepresentasikan penampang kolom. Variasi dimensi pada masing-masing seri mengikuti pembagian zona elemen dan kebutuhan desain pada tiap lantai. Rekap lengkap dimensi penampang untuk seluruh *section* pada model disajikan pada Lampiran 61.

**Gambar 5.29 Section Properties**

Setelah seluruh parameter – parameter pemodelan ditetapkan, tahap berikutnya adalah menjalankan analisis modal untuk memperoleh periode fundamental dan partisipasi massa struktur.

5.7.2 Hasil analisis modal: periode fundamental T ,

Analisis modal dilakukan pada model 3D ETABS untuk memperoleh periode fundamental (T) dan karakter bentuk getar sebagai dasar penentuan parameter dinamik struktur pada tahap analisis berikutnya. Sesuai rencana analisis pada Bab 4.4.4, load case Modal dijalankan menggunakan Ritz vectors dengan jumlah mode = 30 agar spektrum respons dinamik bangunan dapat terwakili secara memadai.

Hasil rekap periode untuk 30 mode ditunjukkan pada Lampiran 62. Periode terbesar terjadi pada Mode 1 sebesar 1,182 s, kemudian diikuti Mode 2 sebesar 0,650 s dan Mode 3 sebesar 0,399 s. Setelah itu, nilai periode terus menurun seiring bertambahnya nomor mode, hingga mencapai 0,020 s pada Mode 30. Pola ini menunjukkan bahwa mode awal merepresentasikan respons global struktur, sedangkan mode-mode selanjutnya menggambarkan respons dengan frekuensi lebih tinggi atau bentuk getar lokal yang semakin kompleks.

Tabel 5.17 Perilaku Modal

Mode	Periode, T (s)	Partisipasi massa translasi arah X	Partisipasi massa translasi arah Y	Interpretasi perilaku mode
1	1.182	0.0143	0.4443	Translasi dominan U_y
2	0.65	0.3797	0.0135	Translasi dominan U_x
3	0.399	0.0017	3.83E-05	Rotasi/Torsi

Selain besarnya periode, arah dominan tiap mode ditinjau dari partisipasi massa translasi arah X dan Y pada tiga mode awal sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.17. Mode 1 memiliki partisipasi massa translasi arah Y sebesar 0,4443, jauh lebih besar dibandingkan arah X sebesar 0,0143, sehingga diinterpretasikan sebagai translasi dominan U_y . Mode 2 menunjukkan kondisi sebaliknya, dengan partisipasi massa translasi arah X sebesar 0,3797 dan arah Y sebesar 0,0135, sehingga diinterpretasikan sebagai translasi dominan U_x . Sementara itu, Mode 3 memiliki

partisipasi translasi yang sangat kecil pada kedua arah, yaitu 0,0017 untuk arah X dan $3,83 \times 10^{-5}$ untuk arah Y, sehingga mode ini diinterpretasikan sebagai rotasi/torsi. Dengan demikian, perilaku modal struktur telah menunjukkan dua mode translasi utama pada arah ortogonal bangunan dan satu mode rotasi, sehingga secara umum telah sesuai dengan konsep perilaku model 3D pada analisis dinamik.

5.7.3 Berat Bangunan

Setelah periode fundamental dan karakteristik perilaku tiap mode diperoleh, tahap berikutnya adalah menghitung berat bangunan yang digunakan sebagai dasar dalam perhitungan gempa secara manual. Besaran ini diperlukan untuk menentukan berat seismik bangunan dan menghitung gaya geser dasar rencana, yang selanjutnya digunakan sebagai nilai acuan minimum dalam kontrol hasil analisis dinamik.

Berat bangunan dihitung sebagai akumulasi berat efektif tiap tingkat yang dimasukkan ke dalam massa seismik. Rekapitulasi berat total per tingkat ditunjukkan pada Tabel 5.18 sebagai berikut.

Tabel 5.18 Berat Bangunan Antar Tingkat

Tingkat	Tinggi m	Total ton
Atap	3.1	761.0
Lt 10	3.1	1197.4
Lt 9	3.1	1197.4
Lt 8	3.1	1211.1
Lt 7	3.1	1211.1
Lt 6	3.1	1211.1
Lt 5	3.1	1211.1
Lt 3	4	1296.8
Lt 2	3.1	1246.0
Lt 1	4.58	1742.0

Berdasarkan penjumlahan berat pada seluruh tingkat sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.18, diperoleh berat seismik total bangunan sebesar $W = 12285$ ton. Setelah berat seismik total bangunan diperoleh, tahap selanjutnya adalah menetapkan parameter spektrum gempa rencana yang akan digunakan dalam perhitungan beban gempa. Pada penelitian ini, parameter tersebut mengacu pada spektrum desain SNI 1726:2019 yang diturunkan dari nilai bahaya gempa di lokasi studi. Hasil penetapan

spektrum ini kemudian menjadi dasar untuk menentukan besaran respons gempa rencana pada tahap perhitungan berikutnya.

5.7.4 Spektrum Desain SNI 1726:2019

Parameter spektrum bahaya pada lokasi studi berupa S_s dan S_1 digunakan dalam bentuk MCEr yang diperoleh langsung dari portal *Respons Spektra Indonesia* (RSA) Kementerian PUPR, sehingga nilainya bersifat spesifik-koordinat (berbasis input lokasi) dan mengurangi potensi bias pembacaan manual dari peta cetak/kurva pada dokumen. Karena S_s dan S_1 yang dipakai sudah dalam format MCEr, faktor C_R dan C_I tidak lagi diterapkan pada tahap ini; perhitungan dilanjutkan dengan faktor situs F_a dan F_v untuk memperoleh spektrum desain (S_{DS} dan S_{D1}).

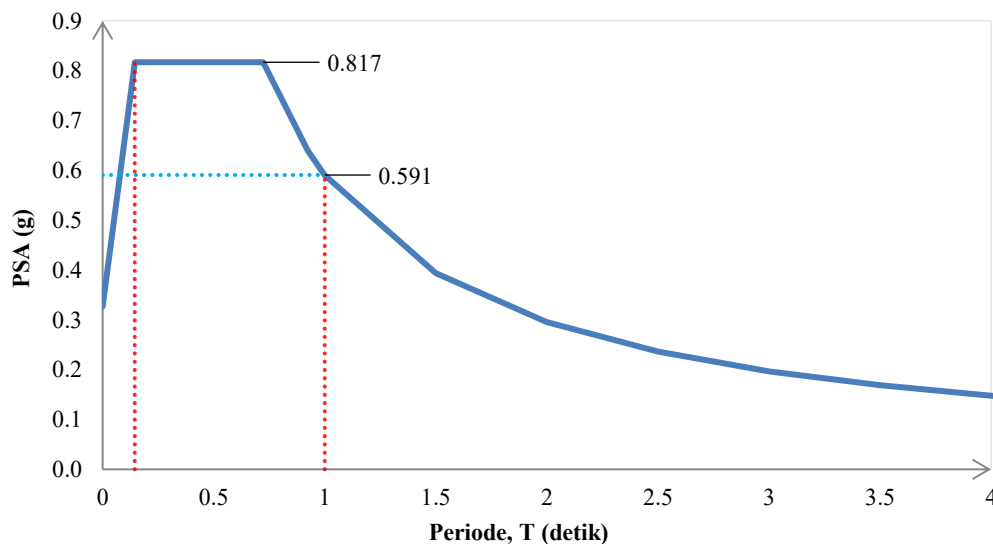
Diketahui (hasil RSA dan faktor situs): $S_s(MCEr) = 1.201g$, $S_1(MCEr) = 0.527g$, $F_a = 1.02$, $F_v = 1.70$. Langkah perhitungan sampai S_{DS} dan S_{D1} :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1.02 \times 1.201 = 1.225 g$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \approx 0.886 g$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1.225 = 0.817 g$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0.886 = 0.591 g$$



Gambar 5.30 Spektrum Desain

Grafik spektrum desain pada Gambar 5.30 menampilkan hubungan percepatan spektral S_a terhadap periode T yang dibentuk dari parameter $S_{DS} = 0,817 g$ dan $S_{D1} = 0,591 g$. Dua nilai ini ditunjukkan sebagai label pada kurva untuk memperjelas titik kendali spektrum: S_{DS} merepresentasikan daerah periode pendek–menengah, sedangkan S_{D1} mengontrol bagian menurun pada periode yang lebih panjang.

Parameter spektrum desain yang telah diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan gempa ekuivalen statik. Melalui nilai S_{DS} dan S_{D1} , respons gempa rencana dapat dinyatakan ke dalam bentuk koefisien geser seismik, kemudian diturunkan menjadi gaya geser dasar dan distribusi gaya lateral pada tiap tingkat.

5.7.5 Ekuivalen Statik

Parameter spektrum desain yang telah diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan gempa ekuivalen statik. Melalui nilai S_{DS} dan S_{D1} , respons gempa rencana dinyatakan dalam bentuk koefisien geser seismik, lalu diturunkan menjadi gaya geser dasar serta distribusi gaya lateral pada tiap tingkat. Pada bagian ini, perhitungan ekuivalen statik mencakup penentuan koefisien geser seismik C_s , perolehan gaya geser dasar V , hingga gaya tingkat dan gaya geser tingkat (*story shear*). Parameter input yang digunakan, berdasarkan hasil spektrum desain dan rekap model sebelumnya, adalah: $S_{DS} = 0,817 g$, $S_{D1} = 0,5906 g$, $R = 7,0$, $I = 1,0$, $T = 1,077 s$, $T_L = 6,0 s$, dan $W = 12285 \text{ ton}$.

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,5906}{0,817} = 0,723 s$$

$$T_0 = 0,2 T_s = 0,2 \times 0,723 = 0,145$$

Karena periode struktur $T = 1,077$ lebih besar dari $T_s = 0,723$, maka C_s ditentukan dengan cabang periode panjang (menurun), yaitu:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T (R/I)} = \frac{0,5906}{1,077 \times 7} = 0,07834 \approx 0,0784$$

$$C_{s,\min} = 0,044 S_{DS} I = 0,044 \times 0,817 \times 1,0 = 0,03595 \approx 0,036$$

$$C_s \text{ pakai} = 0,07834 \approx 0,0784$$

$$V = C_s \times W = 0,07834 \times 12285 = 962,674 \text{ ton},$$

$$V_X = 999,838 \text{ ton}$$

Untuk distribusi gaya tingkat, eksponen k ditentukan dari periode T . Karena $0,5 < T < 2,5$, maka:

$$k = 1 + \frac{T - 0,5}{2} = 1 + \frac{1,077 - 0,5}{2} = 1,288$$

$$C_{v,10} = \frac{w_{10} h_{10}^k}{\sum_{i=1}^n (w_i h_i^k)}$$

$$w_{10} h_{10}^k = 1241,40 \times (32,48)^{1,288}$$

$$\sum_{i=1}^n (w_i h_i^k) = 512174,8$$

$$C_{v,10} = \frac{1241,40 \times (32,48)^{1,288}}{512174,8} = 0,184$$

$$F_{10} = 0,184 \times 962,674 = 177,31 \text{ ton}$$

$$V_{10} = 128,09 + 177,31 = 305,4 \text{ ton}$$

Dengan gaya geser dasar rencana arah X sebesar $V_x = 962,674$ ton, gaya gempa ekuivalen kemudian didistribusikan ke tiap tingkat berdasarkan berat tingkat W_i dan tinggi kumulatif h_i , sehingga diperoleh gaya tingkat F_x dan gaya geser tingkat V_x . Prosedur yang sama diterapkan pada tingkat-tingkat di bawahnya hingga diperoleh gaya geser tingkat di dasar yang kembali sama dengan gaya geser dasar rencana arah X , yaitu $V_x = 962,674$ ton.

Langkah perhitungan yang sama selanjutnya diterapkan untuk arah Y dengan menggunakan periode struktur dan eksponen distribusi yang sesuai untuk arah tersebut. Rekapitulasi lengkap hasil distribusi gaya tingkat dan gaya geser tingkat untuk kedua arah disajikan pada Tabel 5.19. Terlihat bahwa gaya geser tingkat meningkat dari atap menuju dasar, dan pada tingkat paling bawah nilainya kembali sama dengan gaya geser dasar rencana masing-masing arah, yaitu $V_x = 962,674$ ton dan $V_y = 876,875$ ton. Hal ini menunjukkan bahwa hasil distribusi gaya lateral pada tiap tingkat telah konsisten dengan gaya geser dasar yang diperoleh pada tahap sebelumnya.

Tabel 5.19 Gaya Geser Tingkat Ekuivalen Statik

Tingkat	h_x (m)	W_x (ton)	F_x (ton)	V_x (ton)	F_y (ton)	V_y (ton)
Atap	32,80	760.99	128.09	128.09	119.26	119.26
Lt.10	29,70	1,197.36	177.31	305.40	164.23	283.49
Lt.9	26,60	1,197.36	153.80	459.20	141.62	425.11
Lt.8	23,50	1,211.14	132.57	591.77	121.28	546.40
Lt.7	20,40	1,211.14	110.44	702.21	100.28	646.68
Lt.6	17,30	1,211.14	89.26	791.46	80.35	727.02
Lt.5	14,20	1,211.14	69.15	860.62	61.60	788.63
Lt.3	11,10	1,296.81	53.84	914.46	47.34	835.97
Lt.2	7,10	1,246.02	29.00	943.46	24.90	860.87
Lt.1	4,00	1,741.96	19.22	962.67	16.01	876.88
Total		12,285.06		962.67		876.88

5.8 Penyiapan Input Gempa Permukaan untuk Analisis Struktur

Setelah besaran beban gempa rencana dan distribusi gaya lateral pada tiap tingkat diperoleh melalui perhitungan ekuivalen statik, tahapan berikutnya adalah menyiapkan rekaman gempa permukaan yang akan digunakan sebagai input analisis struktur di ETABS. Rekaman ini merupakan hasil propagasi 1D yang kemudian disesuaikan melalui *spectral matching* agar karakter spektralnya tetap mewakili kebutuhan analisis struktur. Karena respons bangunan paling sensitif pada rentang periode di sekitar periode fundamental, maka pengendalian *spectral matching* di permukaan dilakukan pada rentang periode tertentu yang merepresentasikan perilaku dinamik dominan struktur, dengan target spektrum mengacu pada Spektrum Desain SNI 1726:2019 yang telah ditetapkan pada pembahasan sebelumnya.

5.8.1 Penetapan rentang kontrol spectral matching berbasis T

Penyiapan input gempa permukaan untuk analisis struktur diawali dengan penetapan rentang periode yang dikontrol pada proses *spectral matching*. Sesuai ketentuan SNI 1726:2019 untuk analisis riwayat waktu linier, kecocokan spektral tidak dipaksakan untuk seluruh periode, melainkan dibatasi pada rentang yang paling relevan terhadap respons struktur, yaitu: $0.8 T_{\text{lower}}$ s.d. $1.2 T_{\text{upper}}$. Pada rentang tersebut, rata-rata spektrum 5% redaman dari suite rekaman yang sudah di-*match* untuk tiap arah harus kompatibel terhadap spektrum target.

Nilai T_{upper} ditetapkan sebagai periode fundamental terbesar dari dua arah translasi ortogonal (UX dan UY) dari hasil analisis modal. Berdasarkan hasil mode dominan translasi, periode terbesar adalah:

$$T_{upper} = 0.702 \text{ s} \Rightarrow 1.2 T_{upper} = 1.2(0.702) = 0.842 \text{ s}$$

Sementara itu, T_{lower} ditentukan dari keluaran Modal Participating Mass Ratios pada ETABS, yaitu periode saat partisipasi massa kumulatif mencapai 90% pada masing-masing arah horizontal. Dari hasil Gambar 5.31, maka didapatkan partisipasi massa:

arah UY telah melampaui 90% pada Mode 20, $T = 0.112 \text{ s}$ (SumUY = 0.9309),

arah UX melampaui 90% pada Mode 26, $T = 0.058 \text{ s}$ (SumUX = 0.9241).

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	20	0.112	0.0145	0.0002	0	0.826	0.9309	0	0.0006
Modal	21	0.1	0.0063	0.0062	0	0.8323	0.9371	0	0.0045
Modal	22	0.094	0.0387	4.377E-05	0	0.871	0.9371	0	0.0022
Modal	23	0.081	0.0001	0.0049	0	0.8711	0.942	0	0.0048
Modal	24	0.076	0.0267	0.0006	0	0.8978	0.9426	0	0.0053
Modal	25	0.06	0.0018	0.0204	0	0.8996	0.963	0	0.0025
Modal	26	0.058	0.0245	0.0001	0	0.9241	0.9631	0	0.0068
Modal	27	0.042	0.0033	0.0153	0	0.9274	0.9784	0	0.0186
Modal	28	0.038	0.0427	5.725E-06	0	0.9702	0.9784	0	0
Modal	29	0.021	0.0114	0.008	0	0.9816	0.9864	0	0
Modal	30	0.02	0.0093	0.0103	0	0.9909	0.9966	0	0.0031

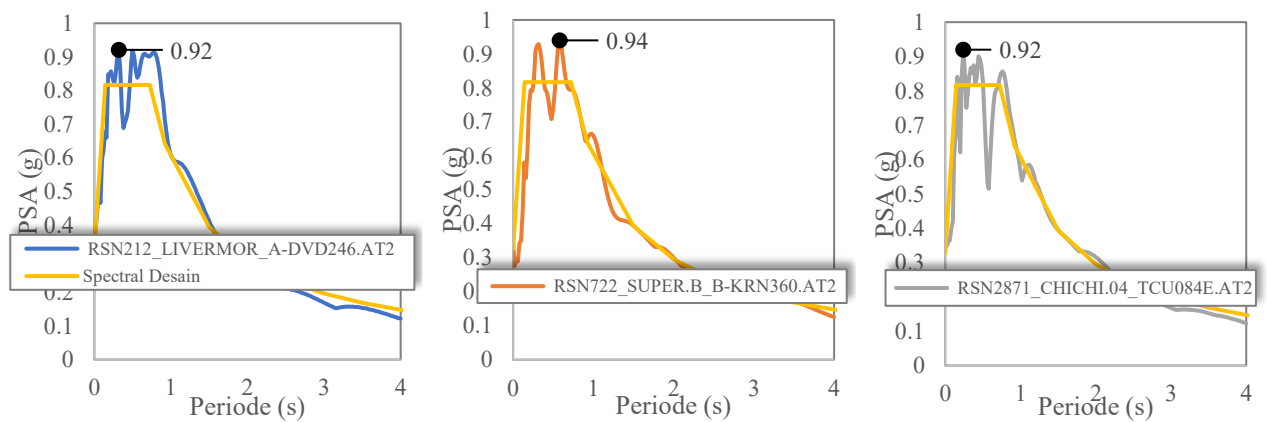
Gambar 5.31 Modal Participation 90%

Agar rentang kontrol tetap aman untuk kedua arah, dipakai nilai yang lebih konservatif: $T_{lower} = \min(0.112, 0.058) = 0.058 \text{ s} \Rightarrow 0.8 T_{lower} = 0.8(0.058) = 0.046 \text{ s}$. Dengan demikian, rentang kontrol *spectral matching* yang digunakan pada input gempa permukaan adalah: **0.046s s.d 0.842s**.

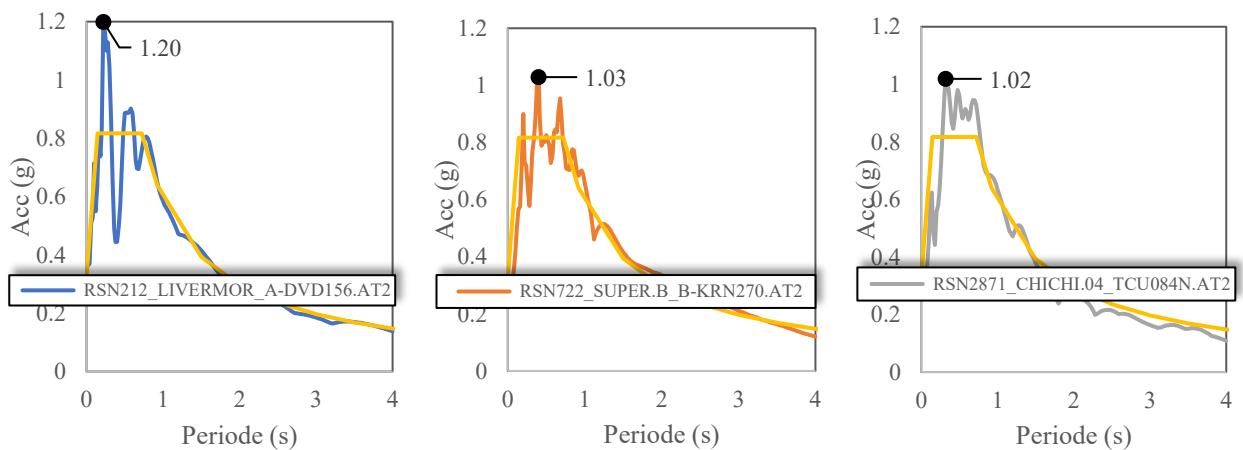
Rentang ini kemudian diterapkan pada proses *matching* tiap komponen arah (UX dan UY) agar suite rekaman permukaan yang digunakan pada ARRR kompatibel terhadap spektrum target pada periode yang mengendalikan respons struktur.

5.8.2 Hasil spectral matching permukaan terhadap spektrum desain SNI 1726:2019

Setelah GMTH berhasil dipropagasikan dari bedrock ke permukaan, langkah berikutnya adalah melakukan *spectral matching* pada gerak tanah permukaan agar kompatibel dengan spektrum desain SNI 1726:2019 (redaman 5%). Pada tahap ini, setiap komponen rekaman tidak lagi hanya “mewarisi” bentuk input dari bedrock, tetapi amplitudo spektralnya disesuaikan sehingga respons spektral hasil rekaman mendekati spektrum target yang dipakai sebagai acuan desain.



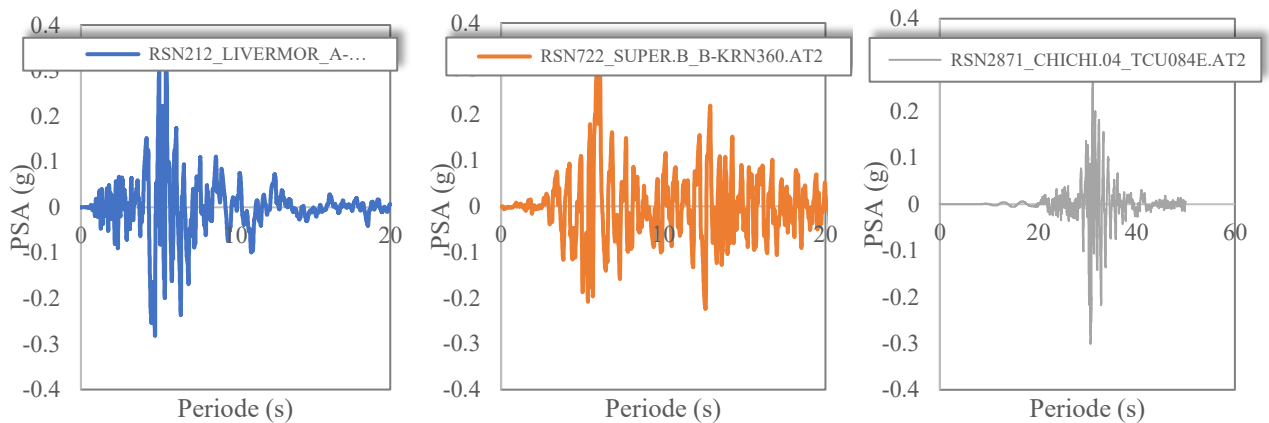
Gambar 5.32 PSA Match Permukaan -Arah X



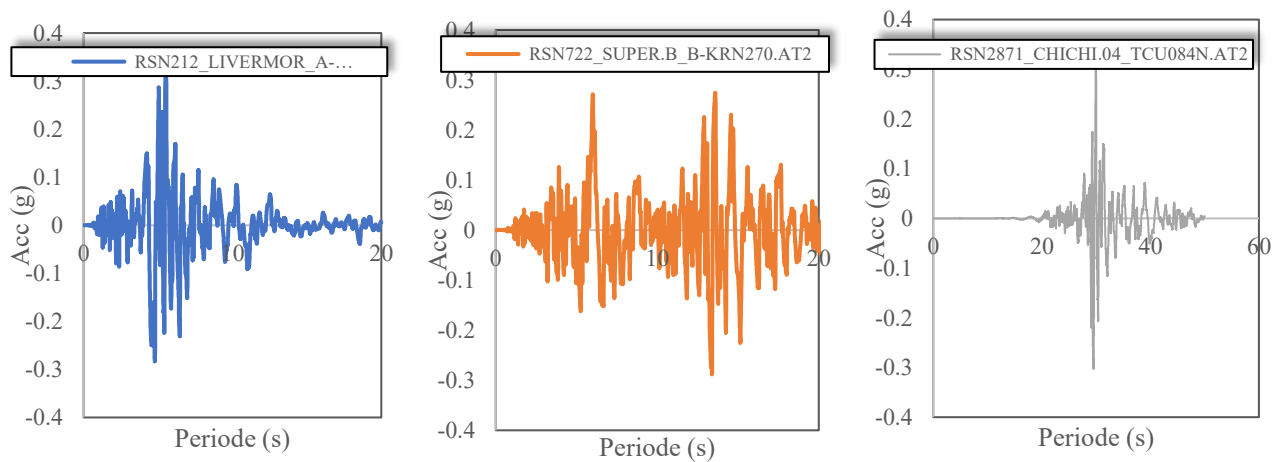
Gambar 5.33 PSA Match Permukaan -Arah Y

Kesesuaian hasil *spectral matching* pada domain spektrum ditunjukkan melalui perbandingan PSA 5% redaman antara spektrum tiap rekaman dan spektrum target. Untuk Arah-X, hasilnya disajikan pada Gambar 5.32, sedangkan untuk Arah-Y pada Gambar 5.33. Pada kedua gambar tersebut terlihat bahwa spektrum rekaman setelah

matching mengikuti bentuk spektrum target (desain) terutama pada rentang periode yang paling relevan terhadap respons struktur, sehingga tidak hanya amplitudo waktu (GMTH) yang terkoreksi, tetapi juga respons spektralnya menjadi kompatibel dengan spektrum desain.



Gambar 5.34 GMTH Match Permukaan -Arah X



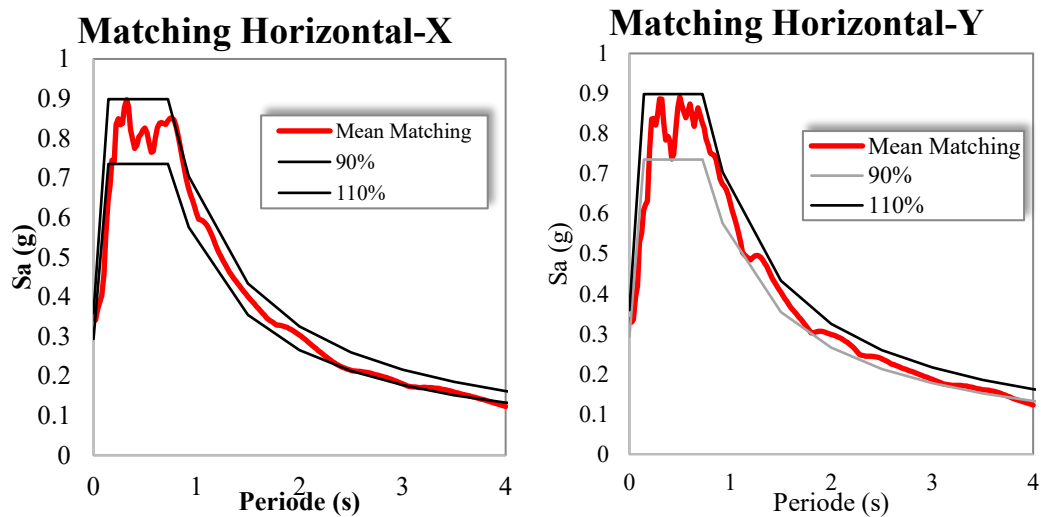
Gambar 5.35 GMTH Match Permukaan -Arah Y

Hasil GMTH permukaan setelah *matching* untuk Arah-X ditunjukkan pada Gambar 5.34, sedangkan untuk Arah-Y pada Gambar 5.35. Secara visual, bentuk gelombang tetap mempertahankan karakter utama masing-masing rekaman, namun amplitudo geraknya telah dicocokkan agar sesuai terhadap target spektrum.

5.8.3 Verifikasi kecocokan spektrum dan ringkasan rekaman final

Kriteria kelayakan *spectral matching* dinyatakan terpenuhi apabila kurva rata-rata PSA (mean matching) untuk setiap arah horizontal berada di dalam selubung

90%–110% dari spektrum target (atau deviasi $\leq \pm 10\%$) pada periode yang ditinjau. Pemeriksaan ini ditunjukkan pada Gambar 5.36, di mana kurva Mean Matching dibandingkan langsung terhadap batas bawah 90% dan batas atas 110% dari target untuk masing-masing arah (Horizontal-X dan Horizontal-Y).



Gambar 5.36 Verifikasi Batas Matching PSA Permukaan

Selain memenuhi batas deviasi $\pm 10\%$, evaluasi kecocokan juga difokuskan pada rentang periode kontrol sesuai SNI 1726:2019, yaitu $0,8T_{\text{lower}}$ hingga $1,2T_{\text{upper}}$. Pada penelitian ini, rentang kontrol tersebut setara dengan 0,046–0,842 s, sehingga kesesuaian utama dinilai pada interval periode yang paling relevan terhadap respons dinamik struktur. Berdasarkan Gambar 5.36, kurva rata-rata pada kedua arah berada dalam rentang 90%–110% pada rentang kontrol tersebut, sehingga tiga pasang rekaman permukaan yang telah di-match dinyatakan layak digunakan sebagai input analisis struktur pada tahap berikutnya.

5.9 Analisis Riwayat Waktu Linier Berbasis Superposisi Mode (ARRR)

5.9.1 Input Time History

Karena *setup* ARRR (arah pembebanan, redaman, skema eksentrisitas berbasis *mass source*, serta pasangan NL $\rightarrow$ MOD_Ritz) telah dijelaskan pada Subbab 4.4.4, maka pada subbab ini pembahasan difokuskan pada input rekaman hasil matching ke ETABS dan pembentukan load case ARRR untuk memenuhi kebutuhan kombinasi

analisis. Berdasarkan hasil PSHA, dipilih tiga pasang rekaman dari basis data NGA dengan karakteristik ringkas sebagai Tabel 5.20 berikut.

Tabel 5.20 Input *Time History* ETABS

NGA Record Number	Magnitude [Epicenter, Distance, km]	Vs30	Mechanism	Number of Points and Digitization Increment	Component Source Motion	Record Name
212	24.95 [5.8]	403.37	Strike-Slip	6200 @ 0.005 sec	LIVERMOR_A-DVD246 LIVERMOR_A-DVD156	E1X E1Y
722	18.48 [6.54]	266.01	Strike-Slip	2204 @ 0.01 sec 2197 @ 0.01 sec	SUPER.B_B-KRN360 SUPER.B_B-KRN270	E2X E2Y
2871	27.13 [6.2]	665.2	Strike-Slip	9999 @ 0.005 sec	CHICHI.04_TCU084E CHICHI.04_TCU084N	E3X E3Y

Ketiga pasang rekaman pada Tabel 5.20 merupakan rekaman terpilih hasil PSHA yang digunakan sebagai input ARRR. Rekaman tersebut telah melalui tahapan *matching* di bedrock, propagasi ke permukaan, dan *matching* di permukaan. Pada tahap ini, rekaman akhir (hasil *matching* permukaan) dimasukkan ke ETABS sebagai time history function, kemudian masing-masing komponen didefinisikan sebagai load case Linear Modal History dengan penamaan E1X–E3Y. Penamaan ini digunakan untuk menjaga keterlacakan antara sumber rekaman dan arah pembebanan, sehingga setiap pasangan rekaman memiliki dua load case dasar (arah X dan Y) yang selanjutnya dikembangkan menjadi enam load case per pasangan untuk memenuhi kombinasi dua arah dan eksentrisitas pada analisis ARRR

Sebagai contoh, E1X, Rekaman ini dipanggil sebagai fungsi percepatan pada arah global U1 (X), dengan jumlah titik dan interval waktu mengikuti data asli rekaman (6200 titik dengan $\Delta t = 0,005$ s). Jika file percepatan tersimpan dalam satuan g, maka digunakan faktor skala 9,81 untuk mengonversi ke m/s². Pengaturan ini memastikan bahwa input dinamik yang dianalisis di ETABS identik dengan rekaman hasil *matching* yang telah disiapkan pada subbab sebelumnya, sekaligus konsisten dengan konfigurasi modal dan redaman yang digunakan pada ARRR. Contoh input dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut.

Load Case Data

General

Load Case Name: E1_x

Load Case Type/Subtype: Time History / Linear Modal

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	RSN212_X	9.81

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Time History Motion Type: Transient

Number of Output Time Steps: 6200

Output Time Step Size: 0.005 sec

Modal Damping: Constant at 0.05

Buttons: Design..., Notes..., Add, Delete, Advanced, OK, Cancel

Gambar 5.37 Input Load Case Time History. E1X

5.9.2 Gaya geser dasar ARRR dan penskalaan

Pembahasan pada bagian ini difokuskan pada kontrol gaya geser dasar hasil ARRR serta penentuan faktor penskalaan agar respons dinamik memenuhi ketentuan minimum terhadap gaya gempa rencana. Hasil ARRR dari ETABS mula-mula memberikan gaya geser dasar elastik untuk setiap rekaman gempa pada masing-masing arah ortogonal, yaitu arah X dan arah Y . Nilai tersebut kemudian dikonversi menjadi gaya geser dasar desain (inelastik) sebagai dasar pengecekan, lalu dibandingkan dengan gaya geser dasar ekuivalen statik yang telah diperoleh pada Subbab 5.7, yaitu sebesar 962,67 ton untuk arah X dan 876,88 ton untuk arah Y . Apabila gaya geser dasar desain hasil ARRR masih lebih kecil dari nilai acuan tersebut, maka respons pada arah terkait harus diskalakan dengan faktor η sebelum digunakan pada tahap kombinasi dua arah ortogonal dan penentuan *envelope*.

Berdasarkan hasil analisis struktur ETABS, nilai puncak gaya geser dasar elastik maksimum yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$GMTH1:V_{E,X} = 5624,31 \text{ ton dan } V_{E,Y} = 5822,1 \text{ ton}$$

GMTH2: $V_{E,X} = 5515,48$ ton dan $V_{E,Y} = 4040,96$ ton

GMTH3: $V_{E,X} = 5774,39$ ton dan $V_{E,Y} = 5101,94$ ton

Dari riwayat waktu tersebut juga terlihat bahwa setiap rekaman memberikan karakter respons yang berbeda. Pada arah X, respons GMTH1 dan GMTH2 berkembang lebih awal dengan amplitudo besar pada awal hingga pertengahan durasi getaran, sedangkan GMTH3 menunjukkan puncak respons yang muncul lebih lambat. Pola serupa juga tampak pada arah Y, dengan GMTH3 menghasilkan amplitudo respons yang paling besar dibandingkan dua rekaman lainnya. Perbedaan ini menunjukkan bahwa respons gaya geser dasar sangat dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing rekaman gempa, baik dari segi amplitudo, kandungan frekuensi, maupun durasi gerakan kuat.

Nilai gaya geser dasar elastik tersebut kemudian dikonversi menjadi gaya geser dasar desain V_I dengan menggunakan faktor (I/R) pada model. Pada penelitian ini digunakan faktor keutamaan gempa $I = 1$ dan faktor modifikasi respons $R = 7$, sehingga diperoleh: $\frac{I}{R} = \frac{1}{7} = 0,142$. Dengan demikian, nilai gaya geser dasar desain yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

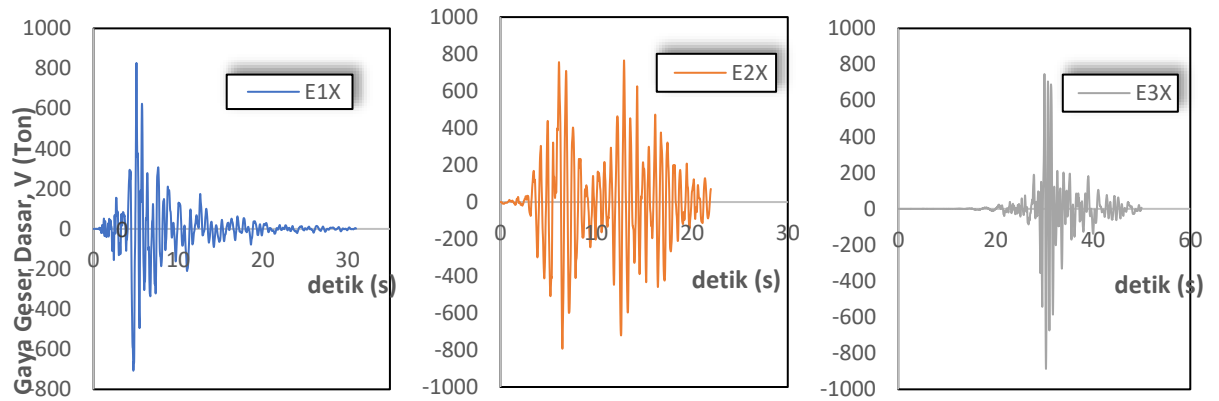
GMTH1: $V_{I,X} = 803,47$ ton dan $V_{I,Y} = 831,47$ ton;

GMTH2: $V_{I,X} = 787,92$ ton dan $V_{I,Y} = 577,28$ ton;

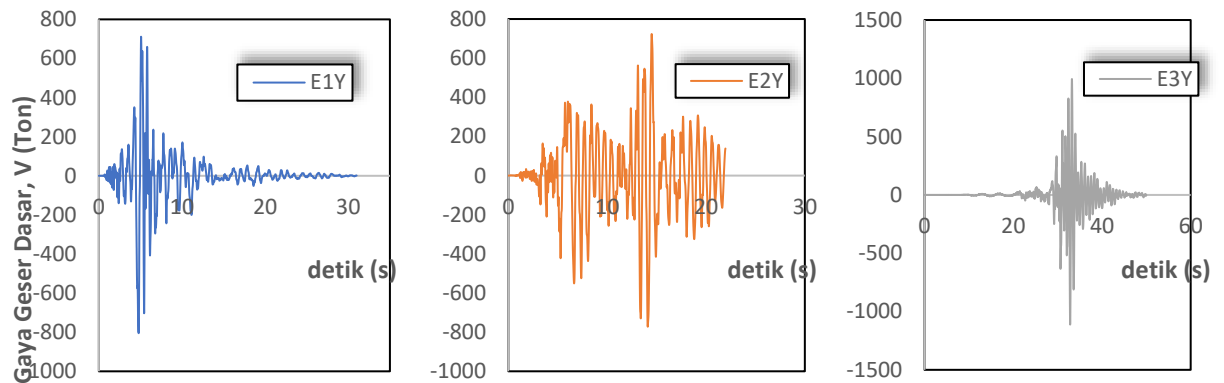
GMTH3: $V_{I,X} = 824,91$ ton dan $V_{I,Y} = 728,85$ ton.

Gaya geser dasar ekuivalen statik yang digunakan sebagai acuan adalah $V_x = 962,67$ ton dan $V_y = 876,88$ ton. Nilai gaya geser dasar hasil ARRR dari ETABS pada awalnya diperoleh dalam kondisi elastik, kemudian dikonversi menjadi gaya geser dasar desain V_I dengan menggunakan faktor (I/R) . Oleh karena itu, riwayat waktu yang ditampilkan pada Gambar 5.38 untuk arah X dan Gambar 5.39 untuk arah Y sudah menunjukkan respons gaya geser dasar desain setelah penerapan faktor (I/R) , bukan respons elastik mentah. Kurva tersebut digunakan untuk memperlihatkan perkembangan respons global struktur selama durasi pembebanan gempa, sedangkan nilai V_I yang dipakai dalam pengecekan diambil dari hasil rekap sebelumnya untuk masing-masing rekaman dan arah. Dengan demikian, grafik riwayat waktu berfungsi sebagai pendukung visual yang menunjukkan bahwa

besaran respons yang tampak tetap konsisten dengan nilai gaya geser dasar desain yang selanjutnya dibandingkan terhadap gaya geser dasar ekivalen statik sebagai dasar penentuan kebutuhan penskalaan.



Gambar 5.38 Riwayat Waktu Gaya Geser arah x



Gambar 5.39 Riwayat Waktu Gaya Geser arah y

Selanjutnya, seluruh nilai V_I dibandingkan dengan gaya geser dasar ekivalen statik. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa keenam kasus analisis masih berada di bawah nilai acuan, sehingga seluruhnya memerlukan penskalaan. Faktor penskalaan dihitung dengan persamaan: $\eta = \frac{V}{V_I}$. Berdasarkan persamaan tersebut, diperoleh faktor penskalaan sebagai berikut:

$$\text{GMTH1-X: } \eta = 962,67/803,47 = 1,198;$$

$$\text{GMTH1-Y: } \eta = 876,88/831,47 = 1,054;$$

$$\text{GMTH2-X: } \eta = 962,67/787,92 = 1,222;$$

$$\text{GMTH2-Y: } \eta = 876,88/577,28 = 1,519;$$

$$\text{GMTH3-X: } \eta = 962,67/824,91 = 1,167;$$

$$\text{GMTH3-Y: } \eta = 876,88/728,85 = 1,203.$$

Dengan demikian, dari enam kasus analisis, seluruhnya memerlukan penskalaan agar memenuhi batas minimum gaya geser dasar rencana. Faktor skala terbesar terjadi pada GMTH2 arah Y, yaitu sebesar 1,2950, yang menunjukkan bahwa respons awal pada arah tersebut paling jauh dari nilai acuan. Sebaliknya, faktor skala terkecil terjadi pada GMTH3 arah Y, yaitu sebesar 1,0054, yang menunjukkan bahwa respons arah tersebut sudah sangat dekat dengan nilai acuan, meskipun masih sedikit lebih rendah. Nilai η inilah yang selanjutnya diterapkan pada respons ARRR tiap arah sebelum masuk ke tahap kombinasi dua arah ortogonal.

5.9.3 Eksentrisitas/torsi tak terduga dan kombinasi ortogonal

Setelah gaya geser dasar ARRR dikontrol terhadap acuan statik, diperoleh faktor skala baru η untuk setiap rekaman dan masing-masing arah. Nilai acuan yang digunakan tidak lagi sama untuk kedua arah, melainkan sebesar $V_x = 962,674\text{ton}$ untuk arah X dan $V_y = 876,875\text{ton}$ untuk arah Y. Faktor skala ini kemudian digabungkan dengan faktor desain arah terkait, yaitu $\frac{I_e}{R}$, sehingga diperoleh faktor pengali akhir $\left(\frac{I_e \eta}{R}\right)$ yang digunakan pada respons ARRR sebelum dilakukan kombinasi ortogonal dua arah. Pada penelitian ini digunakan $I_e = 1$ dan $R = 7$, sehingga: $\frac{I_e \eta}{R} = \frac{1 \cdot \eta}{7}$

Berdasarkan hasil penskalaan pada Subbab 5.9.2, diperoleh faktor pengali akhir sebagai berikut.

1. GMTH 1:
 - arah X: $\eta = 1,198 \Rightarrow I_e \eta / R = 0,171$
 - arah Y: $\eta = 1,054 \Rightarrow I_e \eta / R = 0,151$
2. GMTH 2:
 - arah X: $\eta = 1,222 \Rightarrow I_e \eta / R = 0,175$
 - arah Y: $\eta = 1,519 \Rightarrow I_e \eta / R = 0,217$
3. GMTH 3:
 - arah X: $\eta = 1,167 \Rightarrow I_e \eta / R = 0,167$

$$\text{arah Y: } \eta = 1,203 \Rightarrow I_e \eta / R = 0,172$$

Nilai ($I_e \eta / R$) di atas selanjutnya dipasangkan pada masing-masing load case dasar dan load case eksentris untuk membentuk kombinasi ortogonal. Dengan demikian, kombinasi akhir dapat langsung dituliskan sebagai penjumlahan dua komponen respons yang sudah dikalikan faktor pengalinya. Berikut daftar kombinasi akhir:

1. E1

$$K1 = 0,171(E1x - ey) + 0,151(E1y)$$

$$K2 = 0,171(E1x + ey) + 0,151(E1y)$$

$$K3 = 0,151(E1y - ex) + 0,171(E1x)$$

$$K4 = 0,151(E1y + ex) + 0,171(E1x)$$

2. E2

$$K1 = 0,175(E2x - ey) + 0,217(E2y)$$

$$K2 = 0,175(E2x + ey) + 0,217(E2y)$$

$$K3 = 0,217(E2y - ex) + 0,175(E2x)$$

$$K4 = 0,217(E2y + ex) + 0,175(E2x)$$

3. E3

$$K1 = 0,167(E3x - ey) + 0,172(E3y)$$

$$K2 = 0,167(E3x + ey) + 0,172(E3y)$$

$$K3 = 0,172(E3y - ex) + 0,167(E3x)$$

$$K4 = 0,172(E3y + ex) + 0,167(E3x)$$

Dari hasil tersebut terlihat bahwa faktor pengali akhir terbesar terjadi pada GMTH 2 arah Y, yaitu 0,217, sedangkan yang terkecil terjadi pada GMTH 1 arah Y, yaitu 0,151. Seluruh kombinasi tersebut kemudian digunakan untuk memperoleh respons desain akhir, sedangkan nilai yang dipakai pada tahap evaluasi berikutnya diambil sebagai respons pembungkus dari seluruh kombinasi ortogonal untuk masing-masing rekaman E1 sampai E3 pada parameter yang ditinjau.

5.9.4 Perbandingan Gaya Geser Dasar ARRR dan RS

Perbandingan gaya geser dasar hasil ARRR dan RS dilakukan pada tingkat respons global struktur. Sebelum kedua metode dibandingkan, hasil gaya geser dasar

RS terlebih dahulu ditinjau karena, seperti halnya ARRR, nilainya diperoleh langsung dari output ETABS dan bukan dari perhitungan manual. Berdasarkan hasil rekap, analisis RS memberikan gaya geser dasar elastik sebesar 4.882,25 ton pada arah *X* dan 3.925,32 ton pada arah *Y*. Dengan menggunakan faktor $(I/R) = 1/7 = 0,142857$, nilai tersebut dikonversi menjadi gaya geser dasar desain sebesar 697,46 ton untuk arah *X* dan 560,76 ton untuk arah *Y*. Kedua nilai ini masih berada di bawah nilai acuan pada rekap kontrol, sehingga hasil RS pada kedua arah tetap memerlukan penskalaan. Faktor skala yang diperoleh masing-masing sebesar 1,257 untuk arah *X* dan 1,717 untuk arah *Y*.

Untuk memudahkan perbandingan dengan hasil ARRR, rekapitulasi gaya geser dasar elastik, gaya geser dasar desain, dan faktor penskalaan dari kedua metode disajikan pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Perbandingan Gaya Geser Dasar

Analisis	Arah Gaya	V Ton	VE Ton	VI (I/R) Ton	Faktor skala, η
E1	X	962.67	5624.31	803.47	1.198
E1	Y	876.88	5822.10	831.73	1.054
E2	X	962.67	5515.48	787.93	1.222
E2	Y	876.88	4040.96	577.28	1.519
E3	X	962.67	5774.39	824.91	1.167
E3	Y	876.88	5101.94	728.85	1.203
RS	X	876.88	4882.25	697.46	1.257
RS	Y	962.67	3925.32	560.76	1.717

Berdasarkan Tabel 5.21, pada arah *X* hasil RS menunjukkan gaya geser dasar desain paling kecil, yaitu 697,46 ton, lebih rendah daripada seluruh hasil ARRR, yaitu 803,47 ton pada E1, 787,93 ton pada E2, dan 824,91 ton pada E3. Sejalan dengan itu, faktor skala RS arah *X* sebesar 1,257 juga menjadi yang terbesar dibandingkan seluruh kasus ARRR pada arah yang sama, yaitu 1,198 pada E1, 1,222 pada E2, dan 1,167 pada E3. Hal ini menunjukkan bahwa pada arah *X*, respons global hasil RS cenderung lebih rendah dibandingkan respons ARRR, sehingga memerlukan koreksi penskalaan yang lebih besar agar memenuhi nilai minimum gaya geser dasar rencana.

Pada arah *Y*, hasil RS juga memberikan gaya geser dasar desain paling kecil, yaitu 560,76 ton. Nilai ini lebih rendah daripada seluruh hasil ARRR, yaitu 831,73

ton pada E1, 577,28 ton pada E2, dan 728,85 ton pada E3. Akibatnya, faktor skala RS arah Y sebesar 1,717 menjadi yang terbesar, bukan hanya pada arah Y, tetapi juga di antara seluruh kasus pada Tabel 5.22. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada arah Y, respons global hasil RS merupakan yang paling rendah terhadap nilai acuan, sehingga membutuhkan penskalaan paling besar dibandingkan seluruh respons ARRR.

Secara umum, baik ARRR maupun RS sama-sama menghasilkan gaya geser dasar desain yang pada kondisi awal masih berada di bawah nilai acuan, sehingga seluruh kasus tetap memerlukan penskalaan sebelum digunakan pada evaluasi lanjutan. Akan tetapi, hasil perbandingan ini menunjukkan bahwa RS tidak memberikan respons global yang lebih besar daripada ARRR, melainkan justru cenderung lebih kecil pada kedua arah. Kecenderungan tersebut terlihat paling jelas pada arah Y, ketika hasil RS menjadi yang terendah dan memerlukan faktor skala terbesar.

5.9.5 Perbandingan Gaya Geser Dasar ARRR Dan RS Pada Shear Wall

Setelah perbandingan gaya geser dasar ARRR dan RS ditinjau pada tingkat respons global struktur, pembahasan berikut diarahkan pada distribusi gaya lateral yang dipikul elemen penahan utama, yaitu *shear wall*. Peninjauan ini diperlukan untuk melihat apakah perbedaan respons global antara kedua metode juga diikuti oleh perbedaan kontribusi dinding geser dalam memikul gaya geser dasar, baik pada arah X maupun arah Y. Dengan demikian, evaluasi tidak hanya berhenti pada besarnya gaya geser total struktur, tetapi juga berlanjut pada bagaimana gaya tersebut didistribusikan ke elemen struktur yang berperan langsung dalam sistem penahan gaya lateral. Perbandingan gaya geser dasar pada *shear wall* ini kemudian digunakan untuk menunjukkan seberapa besar kontribusi dinding geser dalam memikul gaya lateral hasil ARRR dan RS.

Tabel 5.22 Kontribusi *Shear Wall* arah x

Shear Wall	Panjang, L (m)	ES	E1x	E2x	E3x	RSx
SW-X1	4.5	41.04	23.68	28.31	28.99	23.74
SW-X2	4.5	63.23	54.57	65.34	42.42	51.95
SW-X3	4.5	25.51	80.49	85.45	92.62	78.29
SW-X4	4.5	2.56	3.70	3.89	3.99	3.45
SW-X5	7	203.45	169.92	180.61	171.00	163.84
Jumlah		340.94	335.79	332.37	363.61	339.02
V Total		999.84	962.67	803.47	787.93	824.91
Pengaruh SW		34.1%	34.9%	41.4%	46.1%	41.1%

Tabel 5.23 Kontribusi *Shear Wall* arah y

Kode Shear Wall	Panjang, L (m)	ES	E1	E2	E3	RS
SW-Y1	3.7	161.24	162.35	124.23	176.29	148.68
SW-Y2	3.7	181.88	146.07	115.74	144.49	131.37
Jumlah		479.43	343.12	308.42	239.97	320.77
V Total		999.84	876.88	831.73	577.28	728.85
Pengaruh SW		47.95%	39.13%	37.08%	41.57%	44.01%

Berdasarkan Tabel 5.22, pada arah X jumlah gaya geser dasar yang dipikul oleh *shear wall* hasil ARRR berada pada kisaran 332,37–363,61 ton, sedangkan hasil RS sebesar 339,02 ton. Sebagai pembanding, hasil ES menunjukkan nilai sebesar 340,94 ton. Jika dibandingkan terhadap gaya geser dasar total struktur, kontribusi *shear wall* pada arah ini berada pada kisaran 34,9%–46,1% untuk ARRR, sebesar 41,1% untuk RS, dan 34,1% untuk ES. Hasil ini menunjukkan bahwa pada arah X, *shear wall* memberikan kontribusi yang cukup signifikan, tetapi belum mendominasi sistem penahan gaya lateral. Seluruh persentase tersebut masih berada di bawah 75%, sehingga perilaku struktur pada arah X masih konsisten dengan konsep sistem ganda, yaitu *shear wall* berperan penting namun rangka tetap ikut memikul sebagian gaya lateral.

Ditinjau dari distribusi tiap elemen pada arah X, SW-X5 secara konsisten memberikan kontribusi terbesar, yaitu 203,45 ton pada ES, 169,92 ton pada E1, 180,61 ton pada E2, 171,00 ton pada E3, dan 163,84 ton pada RS. Besarnya

kontribusi ini sejalan dengan panjang dindingnya yang paling besar, yaitu 7 m. Sebaliknya, SW-X4 selalu memikul gaya geser paling kecil, yaitu hanya sekitar 2,56–3,99 ton. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa panjang dan orientasi dinding sangat memengaruhi besarnya gaya lateral yang dapat dipikul oleh masing-masing *shear wall*.

Pada arah Y sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.23, jumlah gaya geser dasar yang dipikul oleh *shear wall* hasil ARRR adalah 343,12 ton untuk E1, 308,42 ton untuk E2, dan 239,97 ton untuk E3, sedangkan hasil RS sebesar 320,77 ton. Hasil ES pada arah ini adalah 479,43 ton. Persentase kontribusi *shear wall* terhadap gaya geser dasar total pada arah Y berada pada kisaran 37,08%–41,57% untuk ARRR, sebesar 44,01% untuk RS, dan 47,95% untuk ES. Nilai-nilai tersebut juga seluruhnya masih berada di bawah 75%, sehingga pada arah Y pun respons struktur masih memenuhi karakteristik sistem ganda. Artinya, meskipun *shear wall* berperan penting dalam memikul gaya lateral, kontribusinya belum melampaui batas yang menunjukkan dominasi penuh, sehingga rangka masih tetap berpartisipasi dalam sistem penahan gempa.

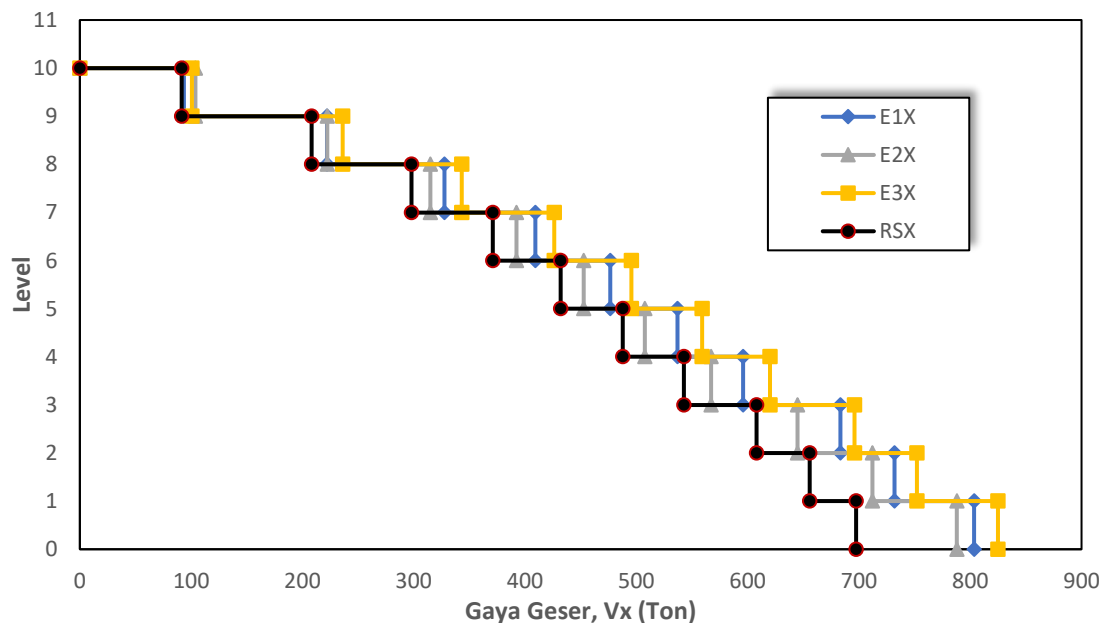
Distribusi gaya pada arah Y memperlihatkan bahwa kontribusi SW-Y1 dan SW-Y2 relatif berdekatan. Pada hasil ES, SW-Y2 sedikit lebih besar daripada SW-Y1, yaitu 181,88 ton berbanding 161,24 ton. Namun pada hasil ARRR dan RS, SW-Y1 justru cenderung lebih besar, yaitu 162,35 ton berbanding 146,07 ton pada E1, 124,23 ton berbanding 115,74 ton pada E2, 176,29 ton berbanding 144,49 ton pada E3, serta 148,68 ton berbanding 131,37 ton pada RS. Pola ini menunjukkan bahwa pada arah Y tidak terdapat satu *shear wall* yang mendominasi secara sangat kuat, sehingga distribusi gaya lateral di antara dinding geser arah Y cenderung lebih merata dibandingkan arah X.

Bila dibandingkan antara hasil ARRR dan RS, terlihat bahwa nilai gaya geser *shear wall* hasil RS berada di dalam rentang hasil ARRR pada kedua arah. Pada arah X, nilai RS sebesar 339,02 ton sangat dekat dengan hasil ES sebesar 340,94 ton, dan juga masih berada di antara hasil ARRR. Pada arah Y, nilai RS sebesar 320,77 ton juga masih berada dalam rentang hasil ARRR, meskipun tetap lebih kecil daripada hasil ES. Secara umum, hasil ARRR menunjukkan variasi antarrekaman yang lebih

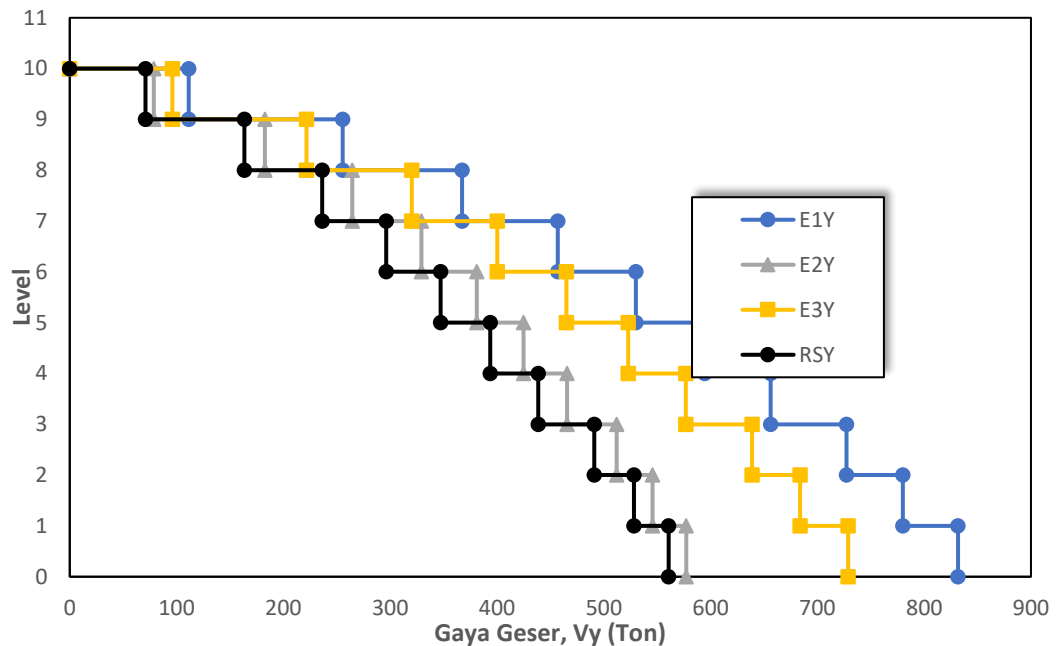
kelas, sedangkan RS memberikan respons yang lebih moderat. Hal ini menandakan bahwa karakteristik masing-masing rekaman gempa pada ARRR tetap memengaruhi besarnya gaya geser yang akhirnya dipikul oleh *shear wall*, baik pada arah *X* maupun arah *Y*, namun secara keseluruhan sistem struktur masih tetap bekerja sebagai sistem ganda karena kontribusi *shear wall* pada semua kasus tetap kurang dari 75%.

5.9.6 Distribusi Gaya Geser Tingkat ARRR dan RS

Setelah gaya geser dasar dibandingkan pada tingkat respons global, pembahasan selanjutnya difokuskan pada distribusi gaya geser di setiap tingkat bangunan. Peninjauan ini diperlukan karena besarnya gaya geser dasar belum sepenuhnya menunjukkan bagaimana gaya lateral disalurkan sepanjang tinggi struktur. Oleh karena itu, pada subbab ini distribusi gaya geser tingkat hasil ARRR dibandingkan dengan RS dan ekuivalen statik pada arah *X* dan arah *Y*. Rekapitulasi nilainya disajikan pada Lampiran 63, sedangkan profil distribusinya ditunjukkan pada Gambar 5.40 dan Gambar 5.41.



Gambar 5.40 Perbandingan Gaya Geser Arah X



Gambar 5.41 Perbandingan Gaya Geser Arah Y

Berdasarkan grafik dan rekap pada Lampiran 63, seluruh kurva menunjukkan pola distribusi yang sama, yaitu gaya geser tingkat semakin kecil pada bagian atas dan semakin besar ke arah dasar struktur. Pada arah X , respons terbesar secara konsisten ditunjukkan oleh E1X, sedangkan respons terkecil ditunjukkan oleh E2X. Nilai E1X meningkat dari 111,519 ton di atap menjadi 831,731 ton di Lt.1, sedangkan E2X meningkat dari 78,835 ton di atap menjadi 577,279 ton di Lt.1. Kurva E3X berada di antara keduanya, yaitu dari 96,227 ton di atap hingga 728,848 ton di Lt.1. Sementara itu, RSX juga memperlihatkan pola distribusi yang serupa, dengan nilai 91,613 ton di atap dan 697,460 ton di Lt.1, sehingga posisinya berada di bawah E1X dan E3X, tetapi masih di atas E2X. Hal ini menunjukkan bahwa pada arah X , perbedaan antara ARRR dan RS terutama terletak pada besar respons, sedangkan bentuk distribusi vertikalnya tetap sejalan.

Pada arah Y , pola distribusi juga meningkat bertahap dari atap menuju dasar. Berdasarkan Lampiran 63, E1Y kembali menjadi respons terbesar, dengan nilai 111,519 ton di atap dan 831,731 ton di Lt.1. Nilai E3Y berada di bawahnya, yaitu dari 96,227 ton di atap menjadi 728,848 ton di Lt.1, sedangkan E2Y meningkat dari 78,835 ton di atap menjadi 577,279 ton di Lt.1. Berbeda dengan arah X , pada arah

Ykurva RSY menjadi yang paling kecil di seluruh tingkat, yaitu dari 70,805 ton di atap hingga 560,760 ton di Lt.1. Dengan demikian, pada arah Yhasil RS cenderung lebih rendah dibandingkan seluruh hasil ARRR, dan selisihnya terhadap rekaman-rekaman ARRR juga tampak lebih jelas daripada pada arah X.

Secara umum, distribusi gaya geser tingkat pada kedua arah masih berlangsung secara wajar tanpa lonjakan yang tidak normal pada tingkat tertentu. Setiap kurva memperlihatkan kenaikan bertahap dari tingkat atas menuju tingkat bawah, sehingga penyaluran gaya lateral sepanjang tinggi bangunan dapat dikatakan konsisten. Hasil ini juga menegaskan bahwa perbedaan utama antara ARRR dan RS bukan terletak pada bentuk distribusi gaya geser tingkat, melainkan pada besarnya respons yang dihasilkan oleh masing-masing metode dan rekaman gempa.

5.10 Evaluasi Kinerja Struktur berdasarkan SNI 1726:2019

5.10.1 Ketidakberaturan Struktur

Setelah distribusi gaya geser tingkat ditinjau, pembahasan berikut diarahkan pada evaluasi kinerja struktur berdasarkan SNI 1726:2019, dimulai dari pemeriksaan ketidakberaturan torsi. Dalam penelitian ini, identifikasi ketidakberaturan dilakukan berdasarkan hasil analisis ekuivalen statik, sehingga penilaian difokuskan pada respons struktur yang digunakan sebagai dasar pemeriksaan awal ketidakberaturan. Parameter yang ditinjau adalah rasio torsi pada tiap tingkat (*Ratio*), yaitu perbandingan antara simpangan maksimum di tepi diafragma dan simpangan rata-rata diafragma pada tingkat yang sama. Nilai rasio tersebut kemudian digunakan untuk menentukan apakah struktur memenuhi kriteria ketidakberaturan torsi menurut SNI 1726:2019.

1. Arah X

Rasio torsi = 2,00 pada seluruh tingkat (indikator 1b).

Nilai terbesar terjadi di Atap:

maksimum = 0,0155 m, rata-rata = 0,0077 m, rasio = 2,004 → 1b

Contoh tingkat lain (konsisten):

Lt 10: maksimum 0,0135 m, rata-rata 0,0068 m, rasio 2,00 → 1b

Lt 1: maksimum 0,0009 m, rata-rata 0,0005 m, rasio 2,00 → 1b

2. Arah Y

Rasio torsi = 2,00 pada seluruh tingkat (indikator 1b).

Atap:

maksimum = 0,0288 m, rata-rata = 0,0144 m, rasio = 2,00 → 1b

Contoh tingkat lain (konsisten):

Lt 10: maksimum 0,0264 m, rata-rata 0,0132 m, rasio 2,00 → 1b

Lt 1: maksimum 0,0014 m, rata-rata 0,0007 m, rasio 2,00 → 1b

Berdasarkan keluaran ETABS, rekap rasio torsi per tingkat untuk arah X disajikan pada Tabel 5.24, sedangkan untuk arah Y pada

Tabel 5.25. Pada kedua arah, nilai Ratio tercatat 2,00 secara konsisten di seluruh tingkat, sehingga seluruh tingkat terklasifikasi sebagai ketidakberaturan torsi kategori 1b. Nilai maksimum simpangan terjadi di tingkat atas; pada arah X simpangan maksimum terbesar berada di Atap (0,0155 m) dengan rata-rata 0,0077 m, sedangkan pada arah Y di Atap juga (0,0288 m) dengan rata-rata 0,0144 m. Dengan demikian, hasil pada Tabel 5.24 dan

Tabel 5.25 menegaskan bahwa efek torsi merupakan respons pengendali dan perlu dipertahankan dalam evaluasi kinerja lanjutan.

Tabel 5.24 Ketidakberaturan Torsi arah x

Story	Direction	Maximum (m)	Average (m)	Ratio	Kategori
Atap	X	0.0155	0.0077	2	1b
Lt 10	X	0.0135	0.0068	2	1b
Lt 9	X	0.0121	0.006	2	1b
Lt 8	X	0.0105	0.0053	2	1b
Lt 7	X	0.0089	0.0044	2	1b
Lt 6	X	0.0072	0.0036	2	1b
Lt 5	X	0.0055	0.0027	2	1b
Lt 3	X	0.0039	0.0019	2	1b
Lt 2	X	0.002	0.001	2	1b
Lt 1	X	0.0009	0.0005	2	1b

Tabel 5.25 Ketidakberaturan Torsi arah x

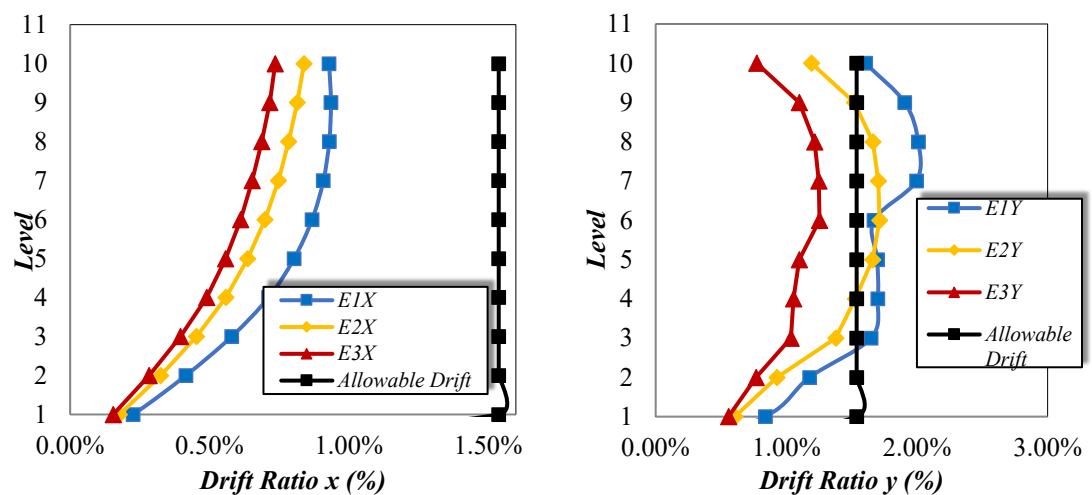
Story	Direction	Maximum (m)	Average (m)	Ratio	Kategori
Atap	Y	0.0288	0.0144	2	1b
Lt 10	Y	0.0264	0.0132	2	1b
Lt 9	Y	0.0227	0.0113	2	1b
Lt 8	Y	0.0194	0.0097	2	1b
Lt 7	Y	0.0162	0.0081	2	1b
Lt 6	Y	0.0129	0.0064	2	1b
Lt 5	Y	0.0097	0.0049	2	1b
Lt 3	Y	0.0067	0.0034	2	1b
Lt 2	Y	0.0034	0.0017	2	1b
Lt 1	Y	0.0014	0.0007	2	1b

5.10.2 Simpangan antar tingkat

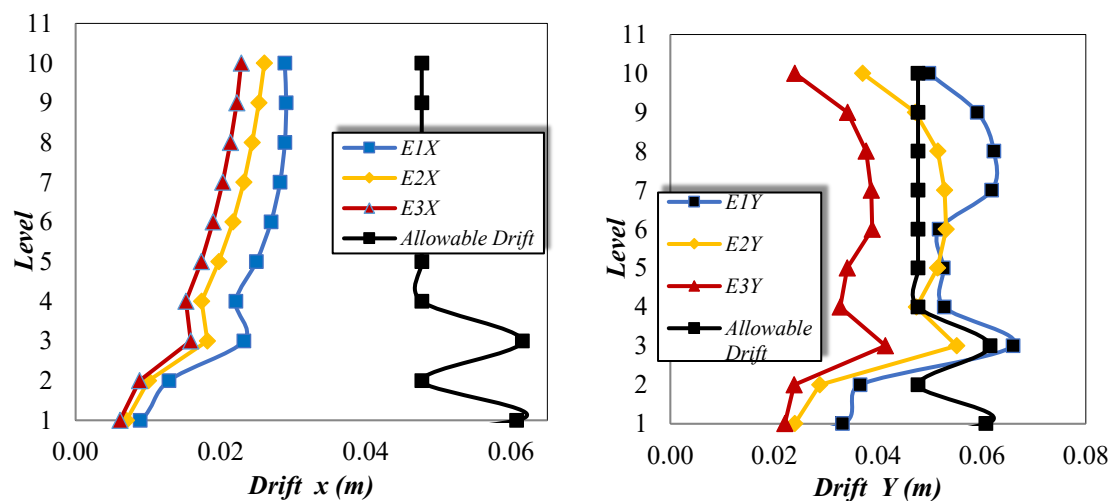
Setelah dilakukan evaluasi ketidakberaturan, selanjutnya dilakukan evaluasi simpangan. Penyajian hasil dilakukan dalam dua bagian. Pertama, ditampilkan respons simpangan hasil ARRR kombinasi, yaitu respons desain akhir untuk masing-masing rekaman E1, E2, dan E3 yang diperoleh dari *envelope* kombinasi K1–K4, berdasarkan subbab 5.9.3. Hasil ini merepresentasikan respons struktur yang sudah memperhitungkan pengaruh eksentrisitas, torsi tak terduga, dan kombinasi dua arah pembebanan. Selanjutnya, perbandingan simpangan murni ARRR dan RS secara langsung untuk melihat sejauh mana pola maupun besaran simpangan yang diperoleh dari ARRR tetap sejalan terhadap metode RS yang umum digunakan dalam praktik desain.

Pada penelitian ini bangunan dikategorikan sebagai “semua struktur lainnya” dengan Kategori Risiko II, sehingga batas drift ratio acuan adalah 2,0%. Sementara itu, berdasarkan hasil ketidakberaturan sebelumnya didapatkan bahwa kondisi struktur mengalami ketidakberaturan 1b, sehingga nilai redundansi dapat diambil sebesar 1,30. Maka $\Delta_{izin} = 2,0\%/\rho = 2,0\%/1,30 = 1.54\%$. Untuk drift hasil analisis dinamik, nilai drift elastik pada ETABS dikonversi menjadi drift desain dengan faktor $C_d = 5,5$ dan $R = 7$.

Hasil kombinasi pada arah X dan arah Y ditampilkan pada Gambar 5.42 dalam bentuk *drift ratio* (%) dan pada Gambar 5.43 dalam bentuk *drift* (m). Secara umum, hasil kombinasi menunjukkan bahwa respons arah X masih relatif terkendali untuk seluruh rekaman. Kurva E1X, E2X, dan E3X sama-sama meningkat bertahap terhadap ketinggian struktur, dengan respons terbesar dihasilkan oleh E1X, diikuti E2X, kemudian E3X. Rekap numerik pada Lampiran 64, Lampiran 65, dan Lampiran 66 menunjukkan bahwa rasio simpangan maksimum arah X masing-masing sebesar 0,936% untuk E1X, 0,839% untuk E2X, dan 0,736% untuk E3X. Nilai tersebut seluruhnya masih berada di bawah batas izin 1,54%, sehingga dapat dikatakan bahwa pada arah X struktur hasil modifikasi masih mampu mengendalikan deformasi lateral dengan baik.



Gambar 5.42 Rasio Simpangan Kombinasi

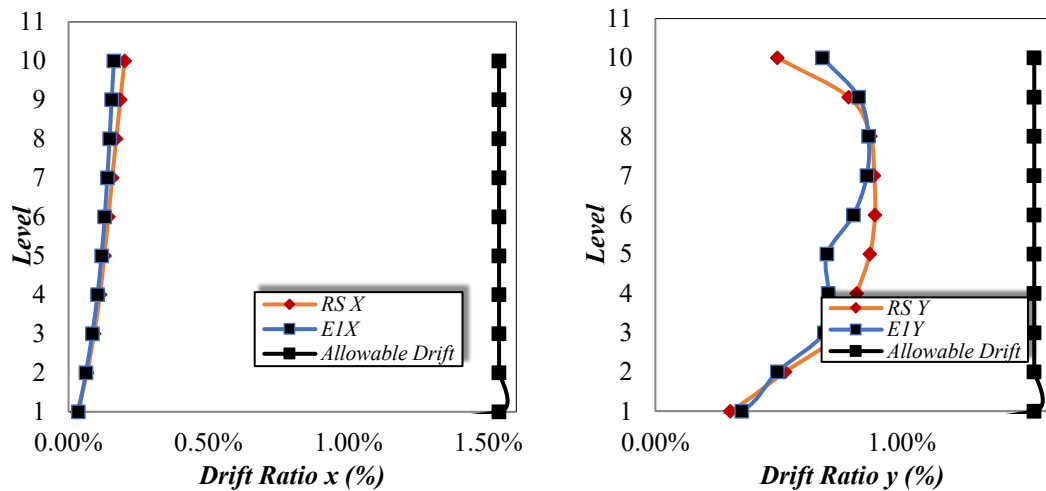


Gambar 5.43 Simpangan Kombinasi

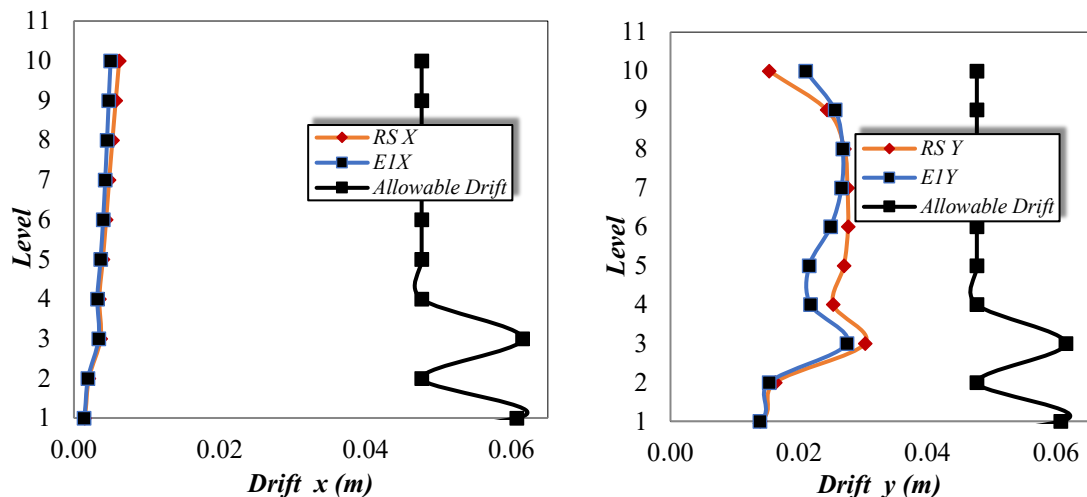
Berbeda dengan arah X, respons kombinasi pada arah Y tampak lebih dominan dan menjadi pengendali perilaku simpangan struktur. Pada Gambar 5.42, kurva E1Y, E2Y, dan E3Y terlihat berada lebih dekat, bahkan pada beberapa tingkat melampaui garis batas izin. Berdasarkan rekap numeriknya, E1Y menghasilkan *drift ratio* maksimum sebesar 2,010% pada Lt.9, sehingga melebihi batas izin dan menunjukkan kondisi tidak aman pada beberapa tingkat menengah hingga atas. E2Y juga masih menunjukkan kondisi kritis dengan *drift ratio* maksimum sebesar 1,714% pada Lt.7, sehingga pada beberapa tingkat masih berada di atas batas izin. Sementara itu, E3Y memberikan respons yang paling kecil dengan *drift ratio* maksimum sebesar 1,254%, sehingga seluruh tingkat masih berada dalam kategori aman.

Dalam bentuk simpangan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.43, arah Y juga menghasilkan simpangan yang lebih besar dibandingkan arah X. Nilai *drift* maksimum tercatat sebesar 0,0660 m untuk E1Y, 0,0551 m untuk E2Y, dan 0,0414 m untuk E3Y, yang secara umum terkonsentrasi pada tingkat menengah. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun kombinasi ortogonal telah diterapkan, arah Y tetap menjadi arah yang paling sensitif terhadap pembebanan gempa. Dengan demikian, dari hasil kombinasi dapat disimpulkan bahwa rekaman E1 merupakan kondisi yang paling mengontrol, sedangkan arah Y merupakan arah kritis yang masih menentukan kinerja simpangan struktur secara keseluruhan.

Setelah hasil kombinasi menunjukkan bahwa arah Y masih menjadi arah yang lebih kritis, peninjauan berikutnya diarahkan pada perbandingan murni antara respons ARRR dan RS pada masing-masing rekaman. Pada Gambar 5.44 sampai Gambar 5.49 akan ditampilkan profil simpangan antar tingkat pada masing-masing arah utama, yaitu hasil analisis Respons Spektrum (RS) dan hasil Analisis Riwayat Respons Ragam (ARRR) untuk setiap rekaman (E1–E3). Penyajian dilakukan dalam dua bentuk: (i) *drift ratio* (%) sebagai parameter pengecekan batas simpangan, serta (ii) drift antar tingkat (m) untuk menunjukkan besaran simpangan fisik. Garis batas pada grafik *drift ratio* menunjukkan $\Delta_{izin} = 1.54\%$. Adapun batas drift dalam satuan meter mengikuti konversi $0,02 \times h$ pada tiap tingkatnya.



Gambar 5.44 Rasio Simpangan E1x dan E1y

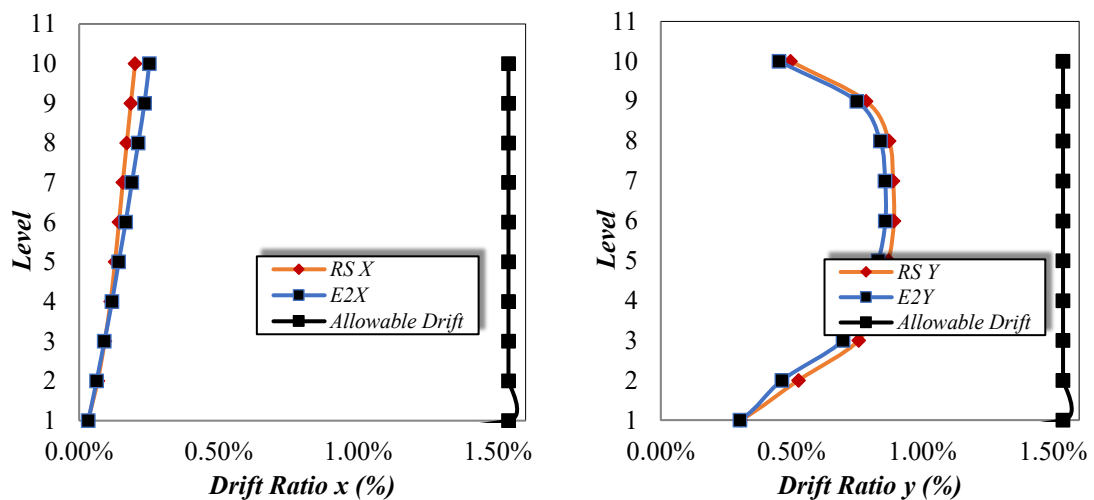


Gambar 5.45 Simpangan E1x dan E1y

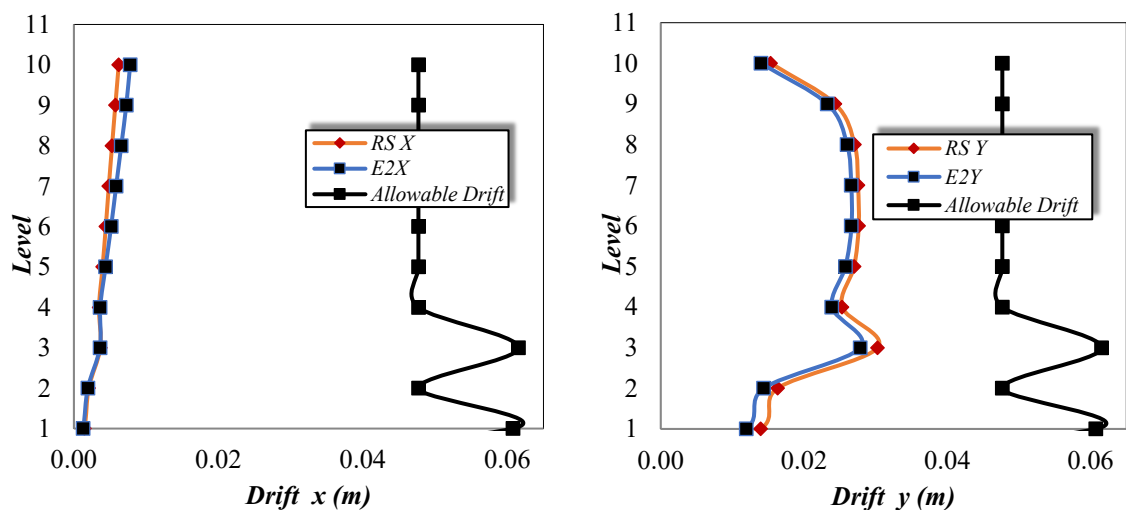
Untuk rekaman E1, hasil pada Gambar 5.44 dan Gambar 5.45 menunjukkan bahwa respons arah Y lebih dominan dibandingkan arah X. Secara visual, kurva ARRR pada arah X masih relatif sejalan dengan kurva RS-X dan menunjukkan respons yang lebih kecil. Berdasarkan Lampiran 67, simpangan arah X meningkat bertahap dari 0,0003 m pada Lt.1 menjadi 0,0066 m di Atap. Sementara itu, drift antartingkat arah X berkisar dari 0,0014 m pada Lt.1 hingga 0,0050 m di Atap, dengan drift ratio maksimum sebesar 0,162% yang terjadi di Atap. Nilai tersebut menunjukkan bahwa respons arah X masih jauh di bawah batas izin 1,54%.

Pada arah Y, kurva ARRR E1Y tampak lebih besar daripada arah X dan cenderung berada di atas kurva RS-Y pada sebagian besar tingkat. Berdasarkan

Lampiran 67, simpangan arah Y meningkat dari 0,0025 m pada Lt.1 menjadi 0,0409 m di Atap. Adapun drift antartingkat arah Y berada pada kisaran 0,0139–0,0275 m, sedangkan drift ratio maksimum mencapai 0,865% pada Lt.9. Nilai drift ratio arah Y pada tingkat menengah hingga atas juga relatif lebih tinggi dibandingkan arah X, namun seluruhnya masih berada di bawah batas izin 1,54%, sehingga respons rekaman E1 masih memenuhi kriteria aman meskipun arah Y tetap menjadi arah yang lebih dominan.



Gambar 5.46 Rasio Simpangan E2x dan E2y

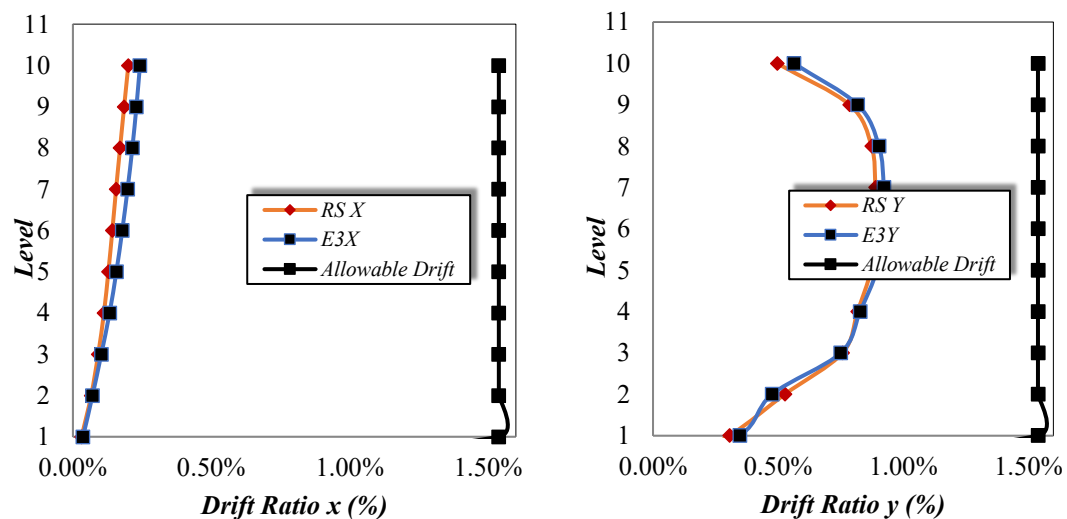


Gambar 5.47 Simpangan E2x dan E2y

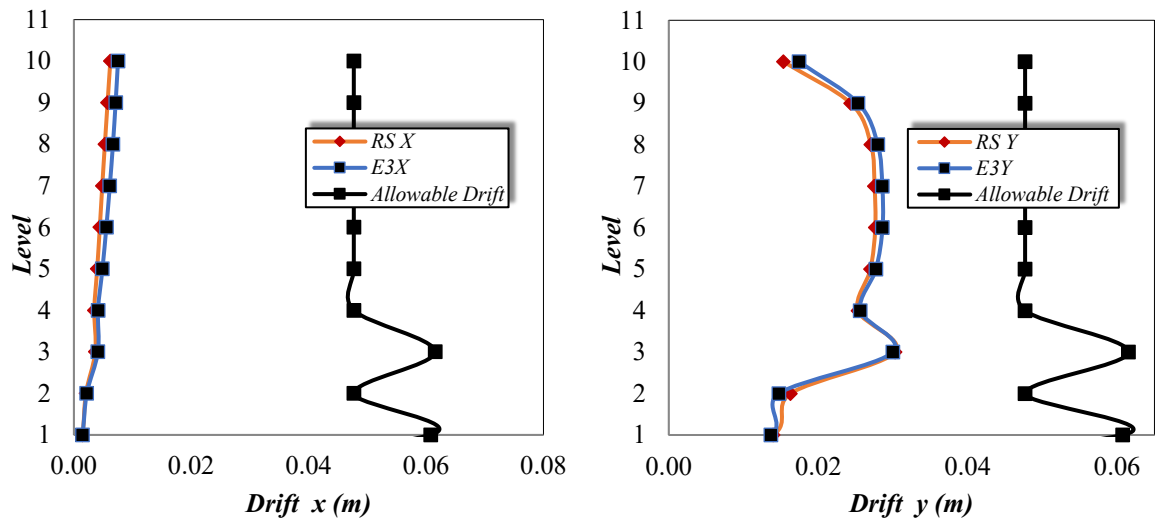
Untuk rekaman E2, hasil pada Gambar 5.46 dan Gambar 5.47 menunjukkan pola yang serupa dengan E1, yaitu respons arah Y tetap lebih dominan dibandingkan

arah X, meskipun seluruh nilainya masih berada di bawah batas izin 1,54%. Pada arah X, kurva ARRR E2X tampak relatif berdekatan dengan kurva RS-X dan menunjukkan respons yang lebih kecil. Berdasarkan Lampiran 68, simpangan arah X meningkat bertahap dari 0,0002 m pada Lt.1 menjadi 0,0086 m di Atap. Sementara itu, drift antartingkat arah X berada pada kisaran 0,0013–0,0078 m, dengan drift ratio maksimum sebesar 0,251% yang terjadi di Atap. Nilai tersebut menunjukkan bahwa respons arah X masih jauh di bawah batas izin yang ditetapkan.

Pada arah Y, kurva ARRR E2Y tampak lebih besar daripada arah X dan cenderung berada di atas kurva RS-Y pada sebagian besar tingkat. Berdasarkan Lampiran 68, simpangan arah Y meningkat dari 0,0022 m pada Lt.1 menjadi 0,0401 m di Atap. Adapun drift antartingkat arah Y berada pada kisaran 0,0120–0,0279 m, sedangkan drift ratio maksimum mencapai 0,859% pada Lt.7. Nilai drift ratio arah Y pada tingkat menengah hingga atas juga relatif tinggi, khususnya pada Lt.6 sampai Lt.10, yaitu sekitar 0,750%–0,859%, namun seluruhnya masih berada di bawah batas izin 1,54%. Dengan demikian, respons rekaman E2 masih memenuhi kriteria aman, meskipun arah Y tetap menjadi arah yang lebih dominan dibandingkan arah X.



Gambar 5.48 Rasio Simpangan E3x dan E3y



Gambar 5.49 Simpangan E3x dan E3y

Sementara itu, pada rekaman E3 yang terlihat pada Gambar 5.48 dan Gambar 5.49 respons arah X masih tampak sangat dekat dengan kurva RS-X, sehingga pola respons lateral yang diprediksi kedua metode relatif sejalan. Berdasarkan Lampiran 69, simpangan arah X meningkat bertahap dari 0,0003 m pada Lt.1 menjadi 0,0090 m di Atap. Sementara itu, drift antartingkat arah X berada pada kisaran 0,0014–0,0075 m, dengan drift ratio maksimum sebesar 0,242% yang terjadi di Atap. Nilai tersebut menunjukkan bahwa respons arah X masih jauh di bawah batas izin 1,54%.

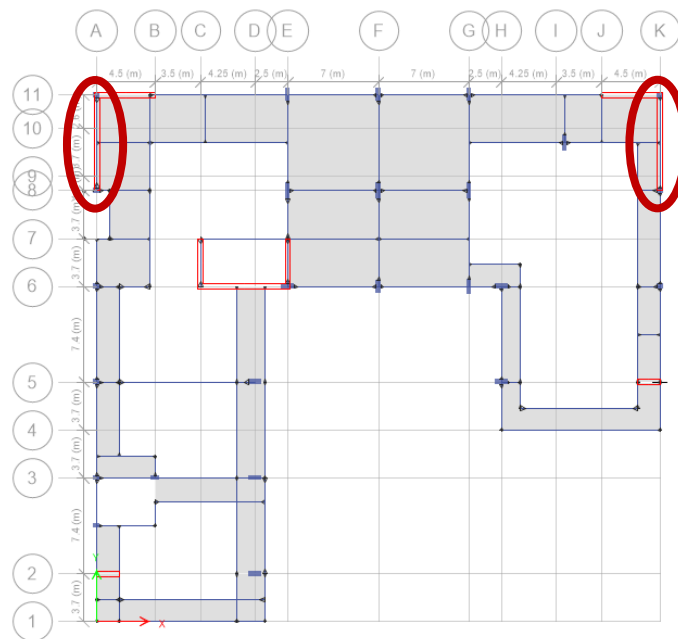
Pada arah Y, kurva ARRR E3Y tampak lebih besar dibandingkan arah X dan juga berada di atas kurva RS-Y pada sebagian besar tingkat. Berdasarkan Lampiran 69, simpangan arah Y meningkat dari 0,0025 m pada Lt.1 menjadi 0,0436 m di Atap. Adapun drift antartingkat arah Y berada pada kisaran 0,0137–0,0300 m, sedangkan drift ratio maksimum mencapai 0,923% pada Lt.7. Nilai drift ratio arah Y pada tingkat menengah hingga atas juga relatif tinggi, terutama pada Lt.6 sampai Lt.10, yaitu sekitar 0,818%–0,923%. Dengan demikian, respons rekaman E3 tetap menunjukkan dominasi arah Y terhadap arah X, namun seluruh nilainya masih berada di bawah batas izin 1,54% sehingga struktur tetap dinyatakan aman.

Secara visual, kurva *drift* hasil RS maupun ARRR pada kedua arah menunjukkan kecenderungan pola respons yang serupa, yaitu meningkat seiring bertambahnya ketinggian struktur dan menjadi lebih dominan pada tingkat menengah hingga atas, terutama pada arah Y. Pada arah X, kurva ARRR umumnya masih relatif

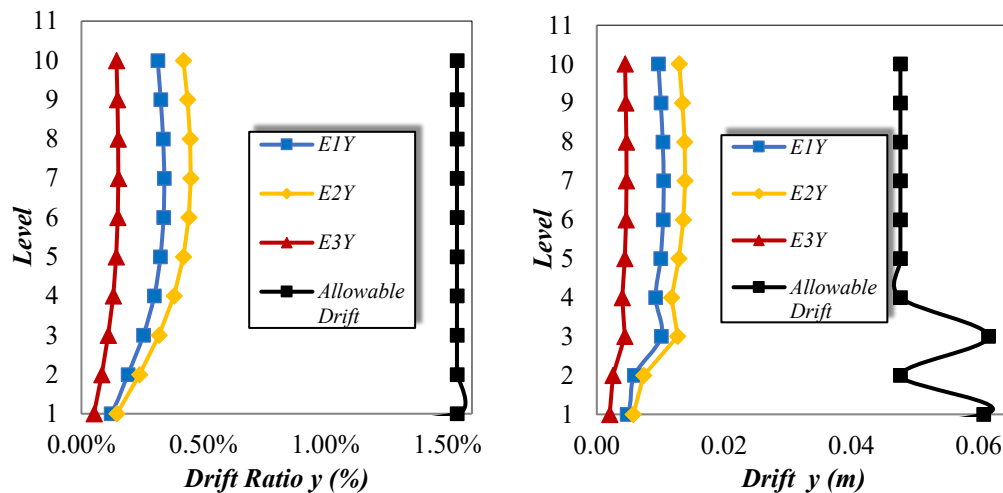
dekat dengan kurva RS-X, sedangkan pada arah Y kurva ARRR cenderung berada lebih tinggi daripada RS-Y pada seluruh rekaman. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk respons global bangunan yang diperoleh dari RS dan ARRR pada dasarnya tetap konsisten, tetapi secara numerik ARRR memberikan respons yang lebih besar, khususnya pada arah Y, karena respons dihitung langsung dari riwayat waktu dan kemudian diambil dalam bentuk *envelope* maksimum.

Peninjauan murni ARRR terhadap RS pada Gambar 5.44 sampai Gambar 5.49 menunjukkan bahwa dominasi respons arah Y sebenarnya sudah tampak sejak level rekaman individual, meskipun seluruh kurva masing-masing rekaman masih berada di bawah batas izin. Temuan ini penting untuk menjelaskan kecenderungan respons struktur, tetapi dasar penilaian desain tetap mengacu pada hasil kombinasi ortogonal pada Gambar 5.42 dan Gambar 5.43, karena kondisi tersebut merepresentasikan respons akhir struktur akibat pembebanan gempa dua arah. Dalam konteks ini, hasil kombinasi menegaskan bahwa arah Y tetap menjadi kondisi pengendali, dengan E1Y dan E2Y masih melampaui batas izin pada beberapa tingkat, sedangkan E3Y sudah berada dalam batas aman. Oleh karena itu, kebutuhan perkuatan tidak ditetapkan berdasarkan respons murni per rekaman, melainkan berdasarkan hasil kombinasi yang menunjukkan bahwa kekakuan lateral arah Y masih belum memadai.

Atas dasar itu, dilakukan perkuatan struktur melalui penambahan *shear wall* yang difokuskan khusus pada arah Y. Konfigurasi penambahan dinding geser ditunjukkan pada Gambar 5.50. Penempatan elemen tambahan ini diarahkan pada bagian denah yang efektif untuk meningkatkan kekakuan struktur terhadap pembebanan lateral arah Y, sehingga simpangan antartingkat dapat ditekan tanpa mengubah sistem struktur secara menyeluruh. Dengan penambahan ini, respons lateral arah Y diharapkan menjadi lebih terkendali, terutama pada tingkat menengah hingga atas yang sebelumnya menunjukkan respons paling besar.



Gambar 5.50 Penambahan *Shear Wall* arah Y



Gambar 5.51 Hasil Simpangan arah Y Setelah Penambahan SW

Hasil evaluasi setelah perkuatan ditunjukkan pada Gambar 5.51. Secara visual, baik kurva *drift ratio* maupun kurva *drift* arah Y setelah penambahan *shear wall* tampak bergeser ke kiri dibandingkan kondisi sebelumnya dan seluruhnya berada di bawah garis *allowable drift*. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kekakuan lateral pada arah Y berhasil menurunkan respons simpangan pada seluruh tingkat. Di antara ketiga rekaman, kurva E2Y masih tampak sebagai respons yang paling besar, E1Y berada sedikit di bawahnya, sedangkan E3Y menunjukkan respons yang paling

kecil. Dengan demikian, secara visual dapat dipahami bahwa penambahan *shear wall* pada arah Y efektif memperbaiki perilaku simpangan struktur pada arah yang sebelumnya paling kritis.

Berdasarkan rekap numerik pada Lampiran 71, nilai *drift ratio* maksimum setelah *strengthening* tercatat sebesar 0,339% untuk E1Y, 0,448% untuk E2Y, dan 0,151% untuk E3Y. Nilai maksimum tersebut terjadi pada Lt.8 untuk ketiga rekaman. Dalam satuan simpangan antar tingkat, nilai maksimum masing-masing adalah 0,0105 m untuk E1Y, 0,0139 m untuk E2Y, dan 0,0047 m untuk E3Y. Seluruh nilai tersebut sudah berada jauh di bawah batas izin 1,54%, sehingga arah Y yang sebelumnya menjadi kondisi pengendali dapat dinyatakan telah memenuhi kriteria simpangan yang digunakan.

Jika dibandingkan dengan kondisi sebelum perkuatan, hasil ini menunjukkan penurunan respons yang cukup signifikan. Berdasarkan rekap ARRR pada Lampiran 67 hingga Lampiran 70, *drift ratio* maksimum arah X masing-masing sebesar 0,162% untuk E1X, 0,251% untuk E2X, dan 0,242% untuk E3X, sehingga arah X sejak awal masih berada dalam kondisi aman. Sebaliknya, pada arah Y, *drift ratio* maksimum sebelum perkuatan mencapai 0,865% untuk E1Y, 0,859% untuk E2Y, dan 0,923% untuk E3Y, yang menunjukkan bahwa arah Y memang lebih sensitif dibandingkan arah X. Sebagai pembandingan, hasil RS pada Lampiran 70 menunjukkan *drift ratio* maksimum sebesar 0,230% pada arah X dan 0,340% pada arah Y. Dengan demikian, dapat dipahami bahwa arah Y merupakan arah yang paling kritis, dan penambahan *shear wall* pada arah tersebut terbukti efektif meningkatkan kekakuan lateral struktur hingga seluruh respons simpangan kembali berada di bawah batas izin. Berdasarkan hasil tersebut, kinerja simpangan struktur setelah perkuatan dapat dinyatakan aman dan memenuhi persyaratan yang digunakan..

5.10.3 Efek P-Delta

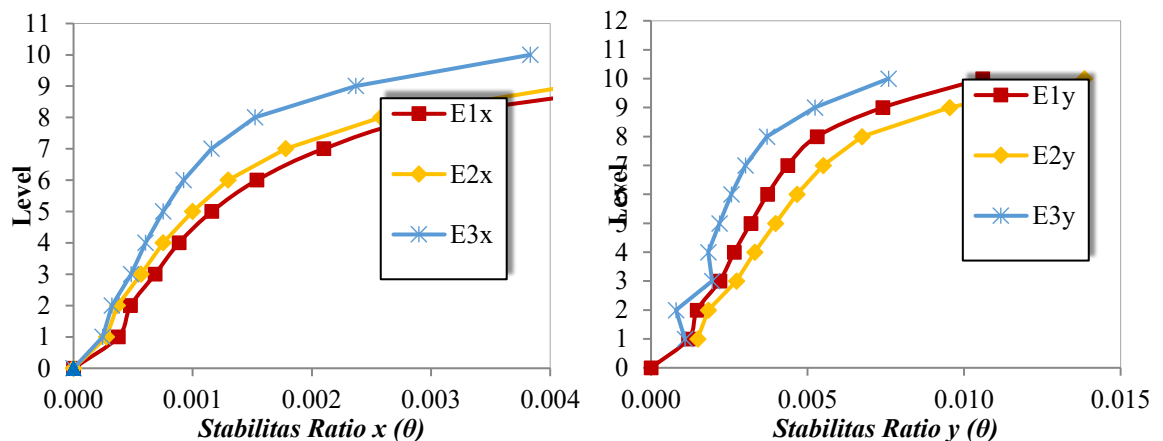
Subbab ini mengevaluasi potensi pengaruh efek P-Delta melalui koefisien stabilitas θ pada tiap tingkat. Sebelum membahas hasil grafik, terlebih dahulu ditetapkan batas maksimum yang digunakan sebagai kriteria penerimaan.

Nilai batas $\theta_{\max}$ ditentukan dari parameter desain simpangan dan faktor stabilitas yang digunakan pada model. Pada penelitian ini digunakan: $\beta = 1,0$ dan $C_d = 5,5$, Sehingga diperoleh:

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} = \frac{0,5}{1,0 \times 5,5} = 0,090909$$

Nilai ini juga memenuhi ketentuan batas atas $\theta_{\max} \leq 0,25$, sehingga $\theta_{\max} = 0,0909$ dipakai sebagai garis batas pada grafik (ditunjukkan sebagai garis vertikal $\theta_{\max}$). Kriteria evaluasi selanjutnya adalah: nilai θ pada setiap tingkat harus lebih kecil dari $\theta_{\max}$ agar efek P-Delta tidak mengontrol.

Sebelum membahas perbandingan hasil murni ARRR dan RS, terlebih dahulu ditinjau koefisien stabilitas θ dari hasil kombinasi pembebanan. Penyajian ini dimaksudkan untuk menunjukkan kondisi respons desain akhir struktur setelah pengaruh eksentrisitas, kombinasi dua arah pembebanan, dan envelope antar kasus diperhitungkan. Melalui hasil kombinasi tersebut, tingkat yang paling kritis terhadap efek P-Delta dapat diidentifikasi secara langsung pada kondisi desain. Selanjutnya, pembahasan dilanjutkan pada hasil murni ARRR dan RS untuk masing-masing rekaman agar kecenderungan dasar respons pada arah X dan arah Y dapat diamati secara lebih rinci serta dibandingkan secara langsung antar metode analisis.



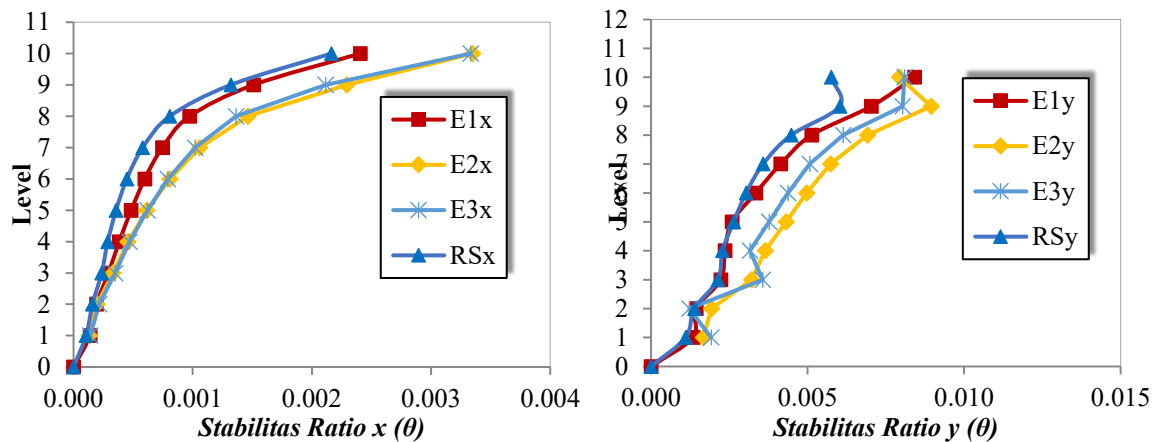
Gambar 5.52 Stabilitas Rasio Kombinasi ARRR

Berdasarkan Gambar 5.52, distribusi koefisien stabilitas θ hasil kombinasi ARRR pada arah X dan arah Y menunjukkan pola yang konsisten. Pada kedua arah, nilai θ cenderung kecil pada tingkat bawah dan meningkat secara bertahap menuju

tingkat atas, tanpa memperlihatkan lonjakan tajam pada tingkat tertentu. Secara visual, kurva arah Y tampak bergeser lebih ke kanan dibandingkan arah X, yang menunjukkan bahwa respons kombinasi terhadap efek P-Delta pada arah Y lebih dominan. Di antara seluruh kurva, E2Y terlihat memberikan nilai θ paling besar, sedangkan E3X merupakan yang paling kecil. Meskipun demikian, seluruh kurva masih berada jauh di sebelah kiri batas $\theta_{max} = 0,0909$, sehingga secara visual dapat dinyatakan bahwa respons desain akhir hasil kombinasi masih memenuhi kriteria stabilitas dan pengaruh P-Delta belum menjadi kondisi yang mengendalikan.

Temuan visual tersebut diperkuat oleh rekap numerik pada Lampiran 72 dan Lampiran 73. Pada arah X, nilai θ berkisar antara 0,0004–0,0078 untuk E1X, 0,0003–0,0061 untuk E2X, dan 0,00025–0,00383 untuk E3X, dengan nilai maksimum masing-masing terjadi pada tingkat Atap. Pada arah Y, nilai θ berkisar antara 0,0012–0,0106 untuk E1Y, 0,0015–0,0138 untuk E2Y, dan 0,00080–0,00759 untuk E3Y. Nilai terbesar secara keseluruhan diperoleh pada E2Y, yaitu sebesar 0,0138 di Atap, namun nilai tersebut masih jauh di bawah batas $\theta_{max} = 0,0909$, atau hanya sekitar 15% dari batas yang diizinkan. Dengan demikian, seluruh tingkat pada hasil kombinasi ARRR masih berada dalam kondisi aman terhadap pengaruh P-Delta.

Meskipun hasil kombinasi menunjukkan bahwa seluruh tingkat masih aman terhadap pengaruh P-Delta, peninjauan belum berhenti pada tahap tersebut. Pembahasan selanjutnya diarahkan pada hasil murni ARRR dan RS untuk masing-masing rekaman agar kecenderungan dasar distribusi koefisien stabilitas θ pada arah X dan arah Y dapat diamati secara lebih rinci serta dibandingkan secara langsung antar metode analisis. Hasil koefisien stabilitas θ untuk tiap tingkat ditunjukkan pada Gambar 5.53, dengan perbandingan antara kurva respons spektrum (RS_x/RS_y) dan kurva hasil ARRR untuk masing-masing rekaman gempa, yaitu E1, E2, dan E3.



Gambar 5.53 Stabilitas Rasio ARRR dan RS

Berdasarkan Gambar 5.53, profil koefisien stabilitas θ untuk seluruh rekaman pada arah X dan arah Y menunjukkan pola yang konsisten. Seluruh kurva, baik hasil ARRR maupun RS, berada sangat dekat dengan nol dan tetap jauh di sebelah kiri garis batas $\theta_{\max}$. Secara visual, nilai θ pada arah Y cenderung lebih besar dibandingkan arah X, sedangkan hasil ARRR umumnya sedikit lebih besar daripada RS, terutama pada arah Y. Meskipun demikian, tidak terlihat adanya lonjakan tajam pada tingkat tertentu karena nilai θ hanya meningkat secara bertahap menuju tingkat atas. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh P-Delta pada struktur masih relatif kecil dan belum menjadi kondisi yang mengendalikan respons bangunan.

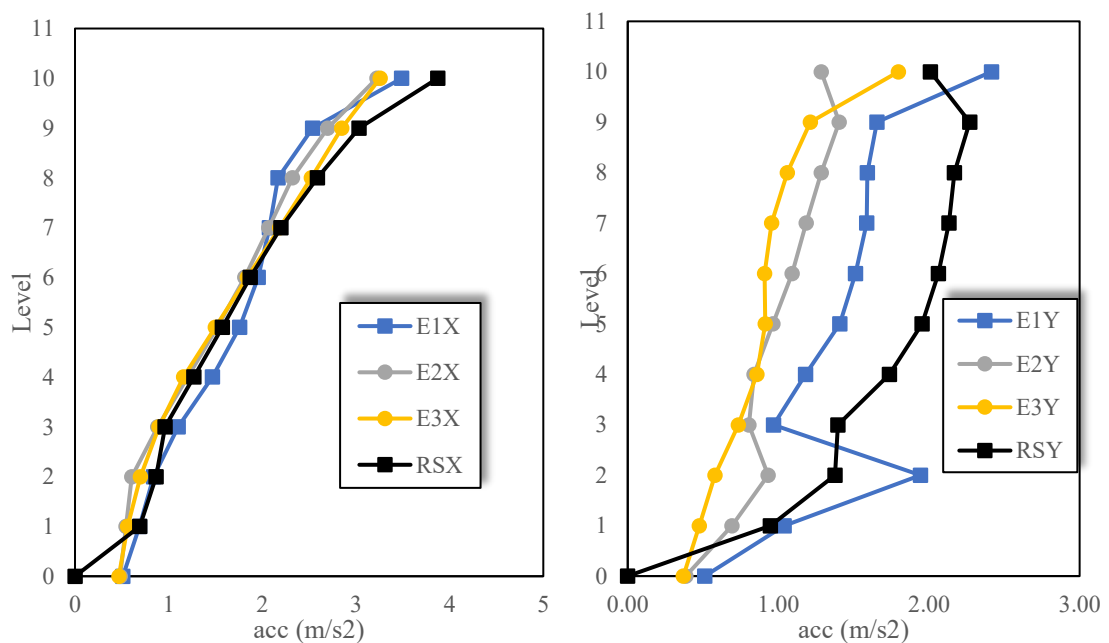
Temuan visual tersebut sejalan dengan rekap numerik pada Lampiran 74 sampai Lampiran 77. Pada arah X, nilai maksimum θ tercatat sebesar 0,0024 untuk E1X di Atap, 0,0033 untuk E2X di Atap, 0,0033 untuk E3X di Atap, dan 0,0022 untuk RSX di Atap. Pada arah Y, nilai maksimum θ tercatat sebesar 0,0084 untuk E1Y di Atap, 0,0089 untuk E2Y di Lt.10, 0,0081 untuk E3Y di Atap, serta 0,0060 untuk RSY di Lt.10. Dengan demikian, nilai terbesar secara keseluruhan berasal dari E2Y, yaitu 0,0089, namun nilai tersebut masih jauh di bawah batas $\theta_{\max} = 0,0909$. Artinya, seluruh tingkat pada semua kasus analisis masih memenuhi kriteria stabilitas dan dinyatakan aman.

Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa struktur lebih sensitif terhadap respons arah Y dibandingkan arah X, dan ARRR cenderung memberikan nilai θ yang sedikit lebih besar daripada RS. Namun karena seluruh nilai koefisien stabilitas tetap

berada jauh di bawah batas yang diizinkan, pengaruh P-Delta pada bangunan ini masih terkendali dengan baik dan tidak menjadi penentu utama dalam evaluasi kinerja struktur. Dengan selesainya pemeriksaan ketidakberaturan, simpangan antar tingkat, dan efek P-Delta, pembahasan selanjutnya dapat diarahkan pada respons dinamik struktur dalam bentuk akselerasi *joint mass* pada tiap tingkat.

5.11 Akselerasi Join Mass Tingkat

Setelah evaluasi kinerja struktur diselesaikan melalui pemeriksaan ketidakberaturan, simpangan antar tingkat, dan efek *P-Delta*, pembahasan berikut diarahkan pada respons dinamik struktur dalam bentuk *peak acceleration joint mass* pada tiap tingkat. Peninjauan ini melengkapi evaluasi sebelumnya karena tidak lagi berfokus pada parameter kinerja global, tetapi pada besarnya respons percepatan yang berkembang sepanjang tinggi bangunan akibat pembebanan gempa. Untuk itu, nilai *peak acceleration joint mass* pada tiap tingkat dibandingkan antara hasil ARRR dan Respons Spektrum (RS), sehingga kecenderungan distribusi akselerasi sepanjang tinggi bangunan pada kedua metode dapat diamati secara langsung



Gambar 5.54 Perbandingan ARRR vs RS

Berdasarkan Gambar 5.54, baik pada arah *X* maupun arah *Y* seluruh kurva menunjukkan kecenderungan umum yang sama, yaitu *peak acceleration joint mass*

meningkat dari tingkat bawah menuju tingkat atas bangunan. Pada arah X , profil ARRR dan RS tampak relatif sejalan, namun RSX cenderung memberikan respons yang lebih besar pada tingkat menengah hingga atas. Di Atap, nilai RSX mencapai sekitar $3,872 \text{ m/s}^2$, lebih besar daripada $E1X = 3,4874 \text{ m/s}^2$, $E2X = 3,2232 \text{ m/s}^2$, dan $E3X = 3,2565 \text{ m/s}^2$. Pola serupa juga terlihat pada Lt.10 dan Lt.9, ketika RSX masing-masing bernilai $3,0324 \text{ m/s}^2$ dan $2,5885 \text{ m/s}^2$, masih di atas seluruh respons ARRR. Meskipun demikian, pada beberapa tingkat menengah seperti Lt.7 hingga Lt.3, respons $E1X$ sempat sedikit melampaui RSX, misalnya di Lt.7 sebesar $1,9542 \text{ m/s}^2$ dibanding $1,8720 \text{ m/s}^2$, dan di Lt.3 sebesar $1,1005 \text{ m/s}^2$ dibanding $0,9628 \text{ m/s}^2$. Hal ini menunjukkan bahwa pada arah X , hasil RS umumnya lebih konservatif, terutama pada bagian atas bangunan, sedangkan hasil ARRR tetap mengikuti pola distribusi vertikal yang serupa.

Pada arah Y , pola kenaikan akselerasi ke arah atas juga tetap terlihat, tetapi perbedaan antar kurva tampak lebih menonjol. RSY menjadi yang terbesar pada sebagian besar tingkat menengah hingga atas, misalnya $2,2703 \text{ m/s}^2$ di Lt.10, $2,1678 \text{ m/s}^2$ di Lt.9, dan $1,3955 \text{ m/s}^2$ di Lt.3, yang seluruhnya lebih besar daripada hasil $E1Y$, $E2Y$, dan $E3Y$ pada tingkat yang sama. Namun, terdapat beberapa tingkat ketika hasil ARRR, terutama $E1Y$, melampaui RSY, yaitu di Atap ($2,4150 > 2,0090$), Lt.2 ($1,9433 > 1,3761$), dan Lt.1 ($1,0378 > 0,9467$). Di sisi lain, $E2Y$ dan $E3Y$ cenderung tetap berada di bawah RSY pada hampir seluruh tingkat. Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa distribusi akselerasi ARRR dan RS pada kedua arah memiliki bentuk yang sama, tetapi besarnya respons pada arah Y lebih bervariasi antarrekaman, sehingga pada tingkat tertentu ARRR masih dapat menghasilkan nilai yang melampaui RS.

5.12 Gaya dan Momen

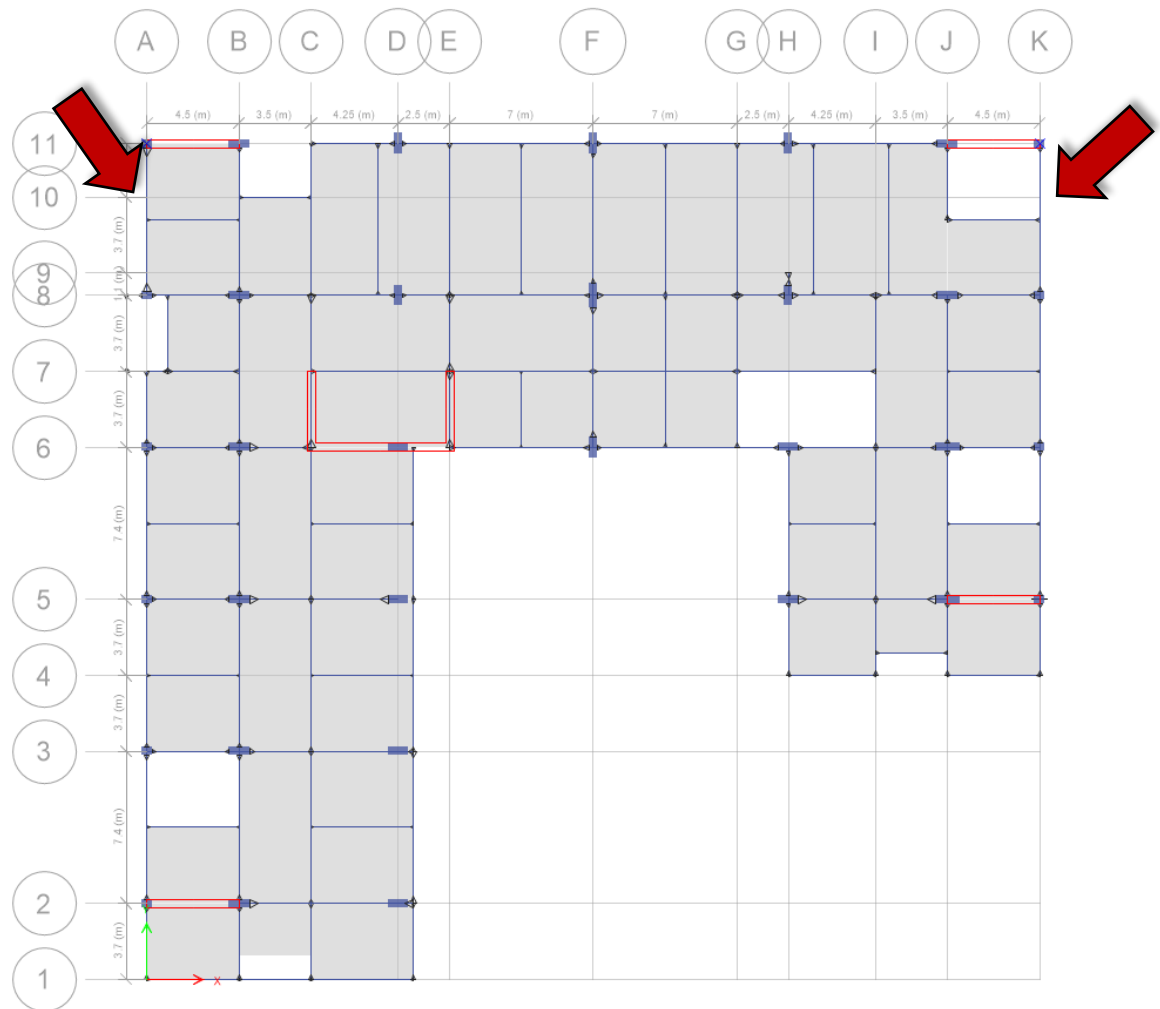
5.12.1 Gaya Aksial Kolom

Setelah respons dinamik struktur ditinjau melalui distribusi akselerasi *joint mass* pada tiap tingkat, pembahasan berikut diarahkan pada respons gaya dalam elemen struktur. Peninjauan ini diperlukan karena gaya lateral yang telah dibahas sebelumnya pada akhirnya diteruskan menjadi gaya-gaya internal pada elemen utama

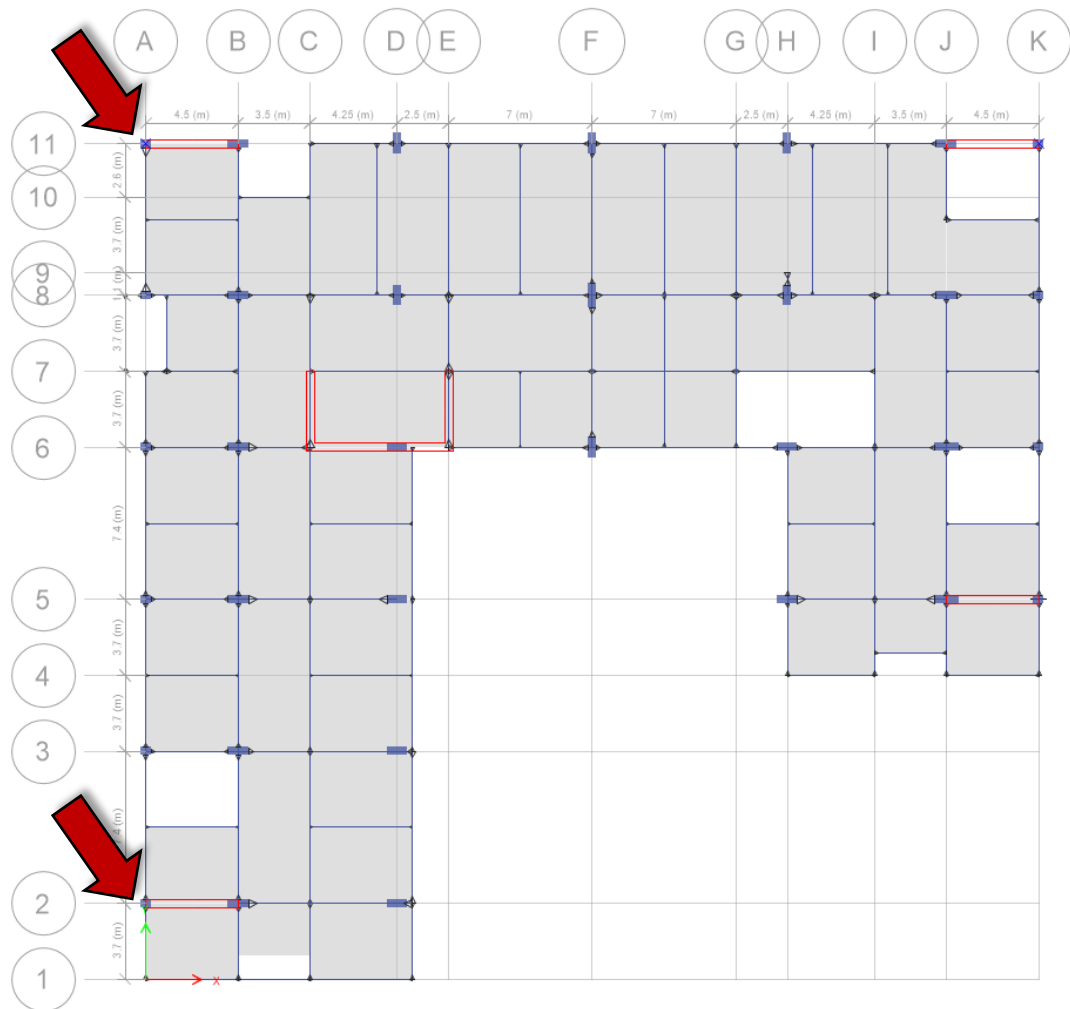
bangunan. Oleh karena itu, evaluasi selanjutnya difokuskan pada gaya aksial kolom sebagai salah satu parameter penting untuk melihat bagaimana pengaruh pembebanan gempa termanifestasi pada elemen vertikal struktur.

Pembahasan gaya aksial kolom dilakukan dengan membandingkan respons akibat pembebanan gempa menggunakan ARRR dan RS pada dua arah utama struktur, yaitu arah X dan arah Y. Titik tinjauan dipilih pada elemen-elemen yang mewakili posisi ekstrem pada portal yang ditinjau agar perbedaan respons antar metode dan antar rekaman dapat diamati secara lebih jelas. Untuk arah X, peninjauan dilakukan pada Portal 11, yaitu pada titik 11-A dan 11-K, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.55. Sementara itu, untuk arah Y, peninjauan dilakukan pada Portal A, yaitu pada titik A-11 dan A-2, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.56. Pemilihan titik-titik tersebut dimaksudkan untuk menangkap respons aksial pada lokasi-lokasi yang berada di bagian tepi sistem struktur, sehingga kecenderungan distribusi gaya akibat pengaruh translasi lateral dan torsi dapat ditinjau secara lebih representatif.

Uraian pembahasan disusun dalam dua tahap. Tahap pertama meninjau profil gaya aksial kolom pada tiap tingkat untuk setiap titik kontrol, sehingga pola perubahan respons sepanjang tinggi struktur serta perbedaan antara rekaman E1, E2, E3, dan RS dapat diamati secara visual. Tahap kedua membahas perbandingan besarnya gaya aksial antar metode pada titik-titik yang ditinjau, sehingga kecenderungan tingkat kritis serta dominasi respons pada masing-masing arah dapat dievaluasi secara lebih langsung.



Gambar 5.55 Titik Portal Gaya Aksial arah X



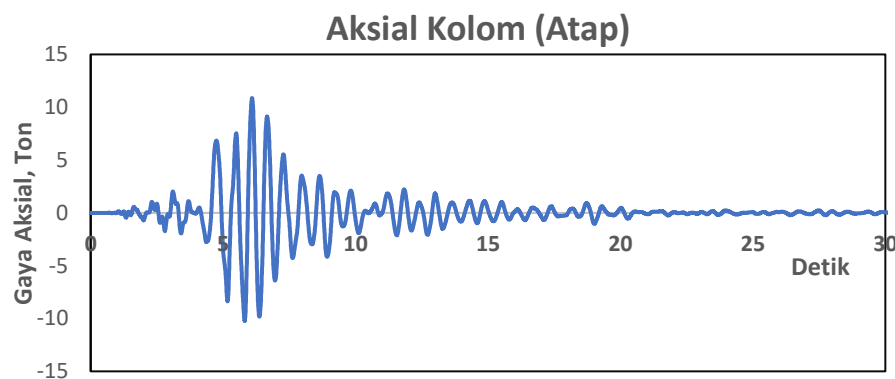
Gambar 5.56 Titik Portal Gaya Aksial arah Y

Gambar 5.55 dan Gambar 5.56 menunjukkan titik-titik tinjauan yang digunakan dalam evaluasi gaya aksial kolom, masing-masing pada arah X dan arah Y. Pada arah X, peninjauan dilakukan pada Portal 11 di titik 11-A dan 11-K untuk mewakili respons aksial pada sisi kiri dan sisi kanan bangunan, sedangkan pada arah Y, peninjauan dilakukan pada Portal A di titik A-11 dan A-2 untuk membandingkan perubahan respons aksial sepanjang portal yang sama pada arah pembebanan Y..

Setelah titik tinjauan ditetapkan, respons gaya aksial kolom pada arah X terlebih dahulu ditampilkan secara rinci pada tingkat Atap untuk rekaman Elx, sebagaimana terlihat pada Gambar 5.57. Penyajian detail ini dimaksudkan untuk memperlihatkan bentuk dasar riwayat waktu respons aksial terhadap durasi pembebanan, sehingga karakter osilasi, saat terjadinya respons dominan, dan

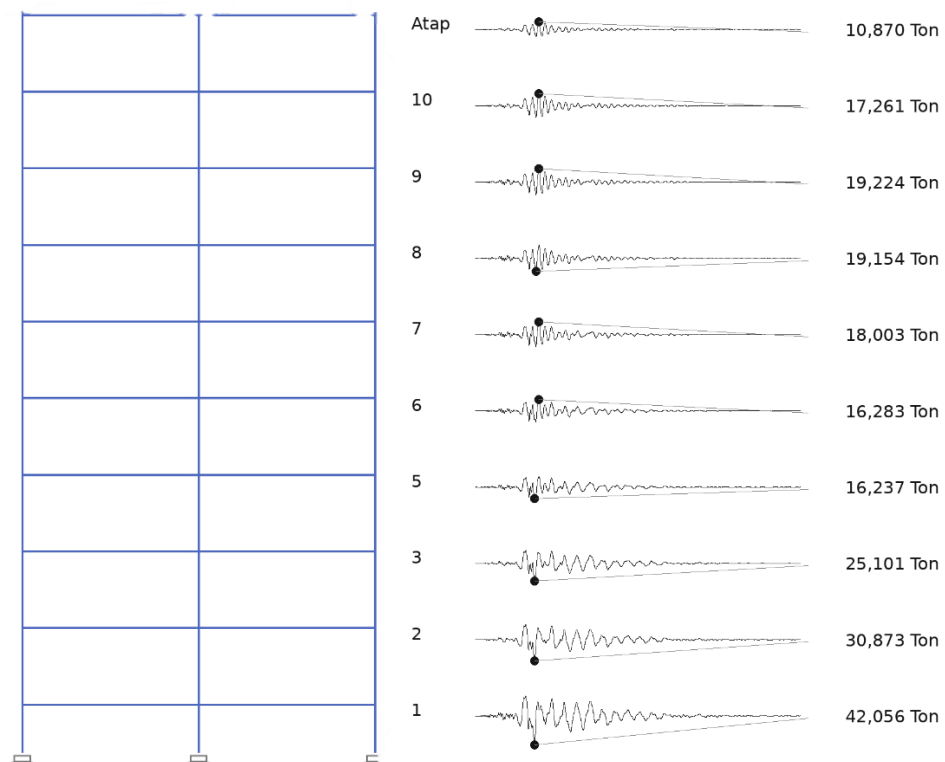
kecenderungan peredaman amplitudo dapat diamati dengan lebih jelas sebelum distribusi respons seluruh tingkat ditinjau secara bersamaan. Selanjutnya, Gambar 5.58 hingga Gambar 5.60 menyajikan riwayat waktu gaya aksial kolom pada tiap tingkat untuk arah X pada tiga rekaman pembebanan, yaitu E1x, E2x, dan E3x. Respons ditampilkan dalam bentuk proyeksi pada portal sehingga perbedaan amplitudo antar tingkat dapat dibaca secara vertikal. Secara umum, distribusi gaya aksial kolom pada arah X menunjukkan kecenderungan membesar dari tingkat atas menuju tingkat bawah.

Nilai pada Atap merupakan yang paling kecil, kemudian meningkat hampir bertahap ke tingkat-tingkat di bawahnya, dan mencapai nilai terbesar pada Lt.1. Dengan demikian, tingkat pengendali pada arah X berada pada bagian bawah struktur, terutama Lt.1, dengan Lt.2 dan Lt.3 juga menunjukkan respons yang relatif besar



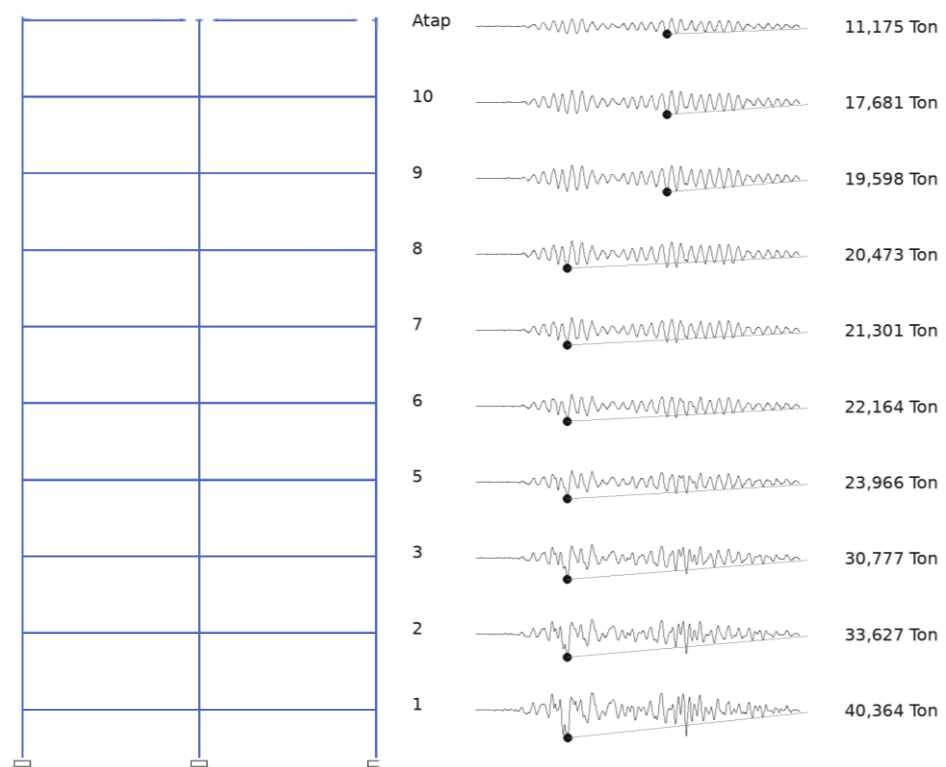
Gambar 5.57 Detail Gaya Aksial Waktu di Atap– E1x

Selanjutnya, riwayat waktu gaya aksial kolom pada arah X di titik 11-A disajikan pada Gambar 5.58 sampai Gambar 5.60 untuk tiga rekaman gempa, yaitu E1x, E2x, dan E3x. Respons ditampilkan dalam bentuk proyeksi portal sehingga perubahan besarnya gaya aksial pada setiap tingkat dapat diamati secara vertikal, sekaligus memperlihatkan kecenderungan distribusi respons sepanjang tinggi struktur.



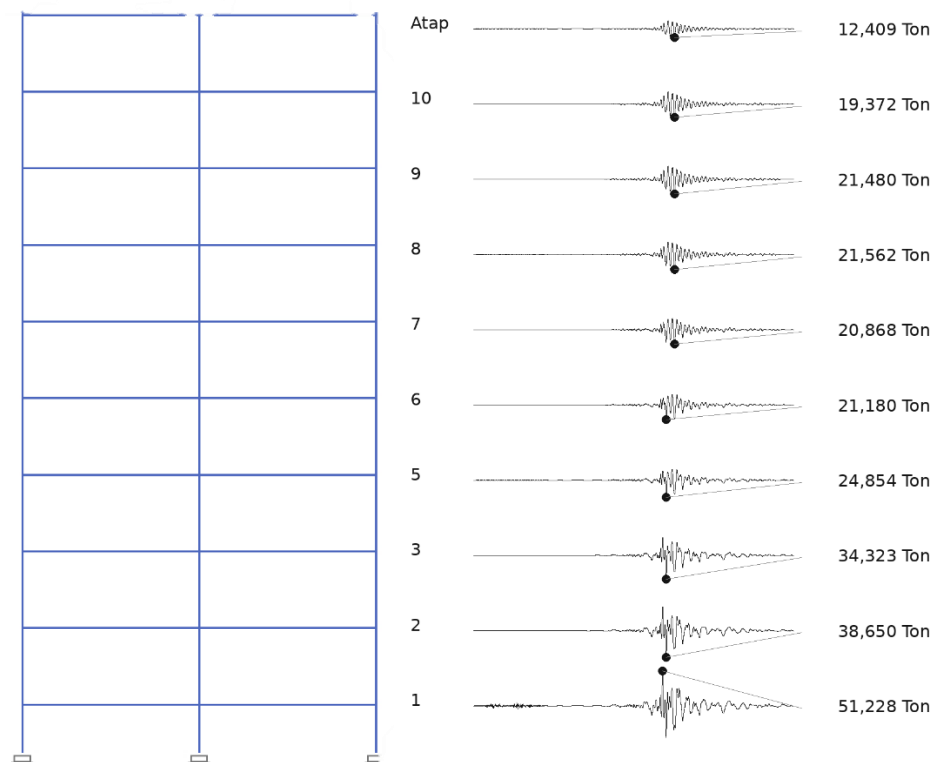
Gambar 5.58 Gaya Aksial Terhadap Waktu– E1x

Pada Gambar 5.58, respons gaya aksial kolom akibat E1x menunjukkan kecenderungan meningkat dari tingkat atas menuju tingkat bawah. Nilai pada Atap tercatat sebesar 10,870 ton, kemudian meningkat menjadi 17,261 ton di Lt.10 dan 19,224 ton di Lt.9. Pada tingkat menengah terlihat sedikit fluktuasi, namun besarnya respons secara umum tetap meningkat ke bawah hingga mencapai 25,101 ton di Lt.3, 30,873 ton di Lt.2, dan maksimum 42,056 ton di Lt.1. Pola ini menunjukkan bahwa konsentrasi gaya aksial terbesar untuk rekaman E1x berada pada bagian bawah struktur, dengan Lt.1 sebagai tingkat pengendali.



Gambar 5.59 Gaya Aksial Terhadap Waktu– E2x

Pada Gambar 5.59, distribusi gaya aksial kolom untuk E2x memperlihatkan pola yang serupa, tetapi dengan kenaikan yang lebih bertahap pada tingkat menengah. Nilai gaya aksial meningkat dari 11,175 ton pada Atap menjadi 17,681 ton di Lt.10, 19,598 ton di Lt.9, lalu terus bertambah pada tingkat-tingkat berikutnya hingga mencapai 30,777 ton di Lt.3, 33,627 ton di Lt.2, dan 40,364 ton di Lt.1. Dengan demikian, respons E2x juga memperlihatkan dominasi gaya aksial pada tingkat bawah, meskipun besarnya sedikit lebih rendah dibandingkan respons maksimum pada E1x di beberapa tingkat bawah.

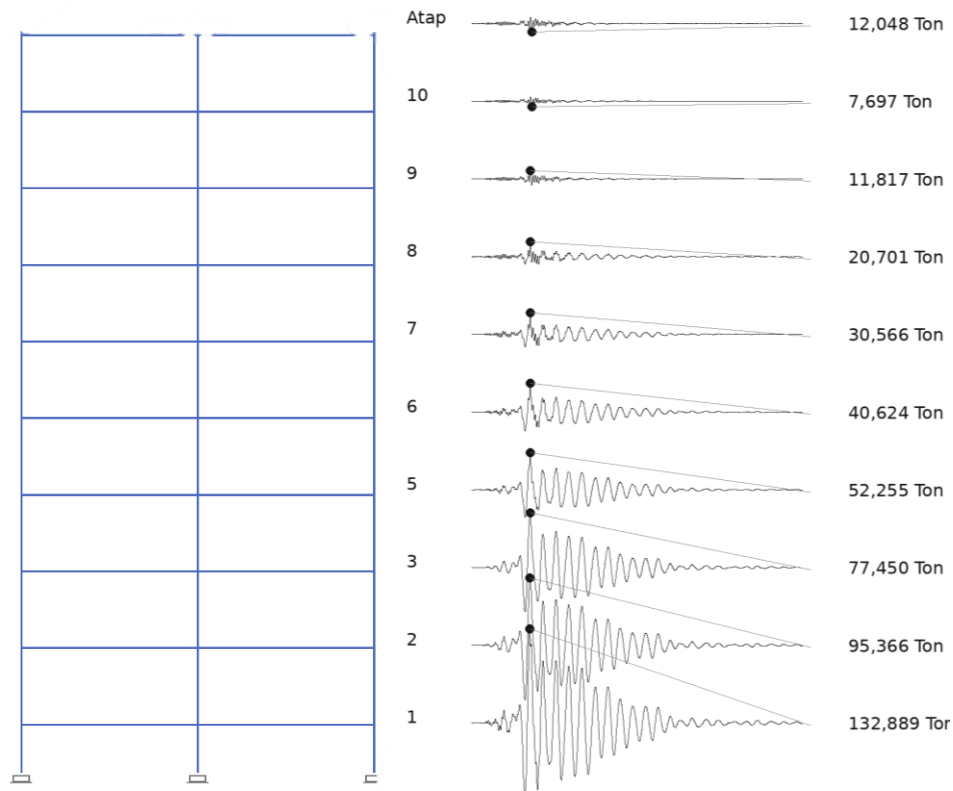


Gambar 5.60 Gaya Aksial Terhadap Waktu– E3x

Sementara itu, Gambar 5.60 menunjukkan bahwa rekaman E3x menghasilkan respons gaya aksial yang cenderung paling besar di antara ketiga rekaman. Nilai pada Atap sebesar 12,409 ton meningkat menjadi 19,372 ton di Lt.10 dan 21,480 ton di Lt.9, kemudian tetap tinggi pada tingkat menengah sebelum kembali meningkat secara nyata pada tingkat bawah. Pada bagian bawah struktur, gaya aksial mencapai 34,323 ton di Lt.3, 38,650 ton di Lt.2, dan nilai maksimum sekitar 51,228 ton di Lt.1. Hasil ini menunjukkan bahwa E3x memberikan demand aksial paling dominan, dengan tingkat pengendali tetap berada pada Lt.1.

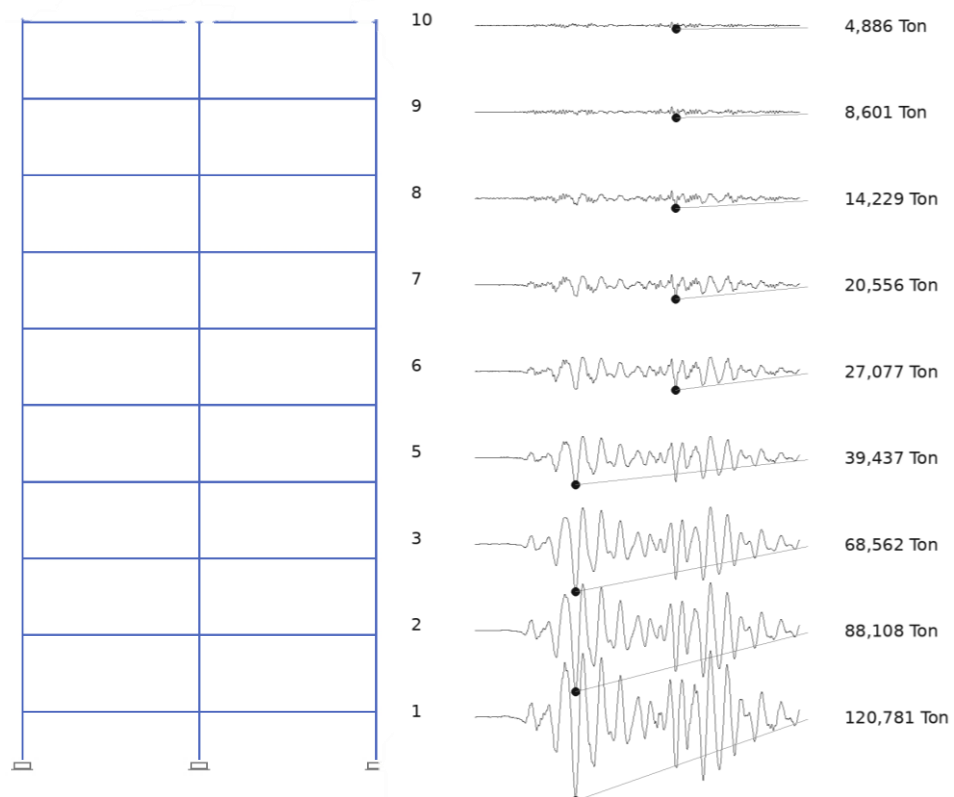
Setelah respons gaya aksial kolom pada arah X ditinjau pada titik 11-A sebagai titik representatif, pembahasan selanjutnya dialihkan ke arah Y pada titik A-2. Gambar 5.61 hingga Gambar 5.63 menyajikan riwayat waktu gaya aksial kolom pada tiap tingkat untuk tiga rekaman pembebanan, yaitu E1y, E2y, dan E3y. Sama seperti pada arah X, respons ditampilkan dalam bentuk proyeksi portal sehingga perubahan amplitudo gaya aksial pada setiap tingkat dapat diamati secara vertikal. Namun,

secara umum besaran respons pada arah Y terlihat lebih besar, terutama pada tingkat-tingkat bawah, sehingga arah ini menunjukkan kecenderungan demand aksial yang lebih dominan.



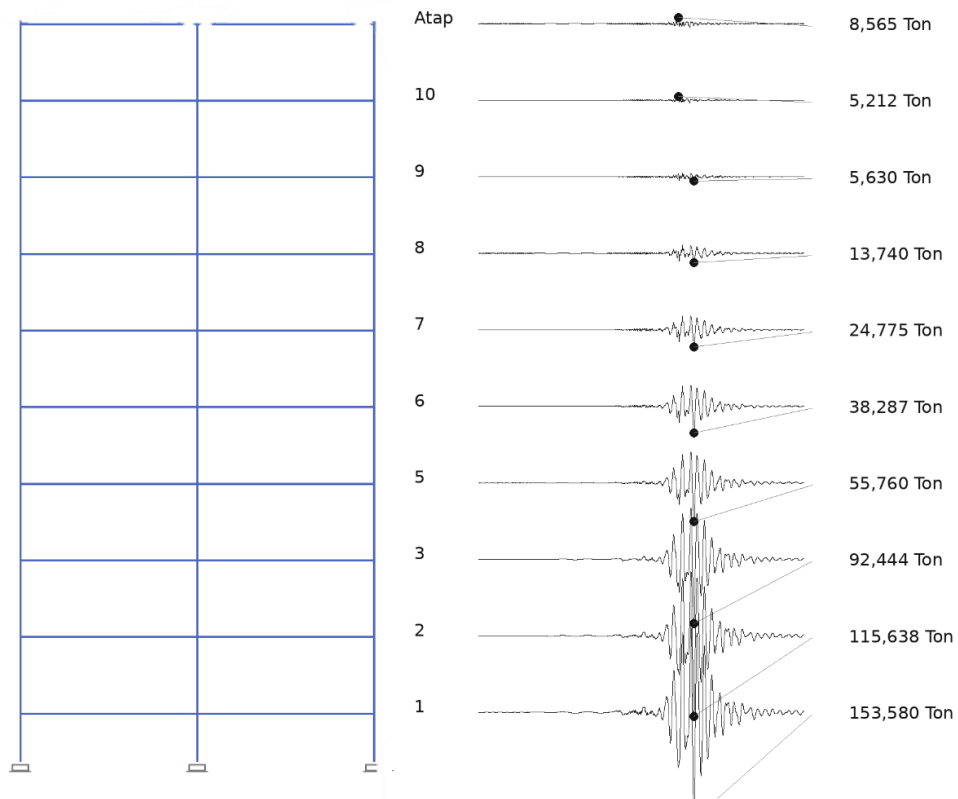
Gambar 5.61 Gaya Aksial Terhadap Waktu– E1y

Pada Gambar 5.61, respons gaya aksial kolom akibat E1y menunjukkan kecenderungan meningkat dari tingkat atas menuju tingkat bawah, meskipun pada tingkat paling atas masih tampak fluktuasi lokal. Nilai pada Atap tercatat sebesar 12,048 ton, kemudian menurun pada Lt.10 menjadi 7,697 ton, lalu kembali meningkat menjadi 11,817 ton di Lt.9 dan 20,701 ton di Lt.8. Kenaikan berlanjut cukup tajam pada tingkat-tingkat di bawahnya, yaitu 30,566 ton di Lt.7, 40,624 ton di Lt.6, 52,255 ton di Lt.5, 77,450 ton di Lt.3, 95,366 ton di Lt.2, dan mencapai maksimum 132,889 ton di Lt.1. Pola ini menunjukkan bahwa meskipun bagian atas masih memperlihatkan variasi respons, konsentrasi gaya aksial terbesar tetap terjadi pada bagian bawah struktur, dengan Lt.1 sebagai tingkat pengendali.



Gambar 5.62 Gaya Aksial Terhadap Waktu– E2y

Pada Gambar 5.62, distribusi gaya aksial kolom untuk E2y memperlihatkan kecenderungan yang serupa, yaitu relatif kecil pada tingkat atas dan semakin membesar ke arah bawah. Respons pada Lt.10 sebesar 4,886 ton meningkat menjadi 8,601 ton di Lt.9 dan 14,229 ton di Lt.8, kemudian terus bertambah menjadi 20,556 ton di Lt.7, 27,077 ton di Lt.6, dan 39,437 ton di Lt.5. Pada tingkat bawah, kenaikan respons menjadi lebih nyata, yakni 68,562 ton di Lt.3, 88,108 ton di Lt.2, dan maksimum 120,781 ton di Lt.1. Dengan demikian, E2y juga menegaskan bahwa tingkat bawah merupakan zona dengan respons aksial paling dominan, meskipun besarnya masih sedikit lebih rendah dibandingkan E1y pada beberapa tingkat.

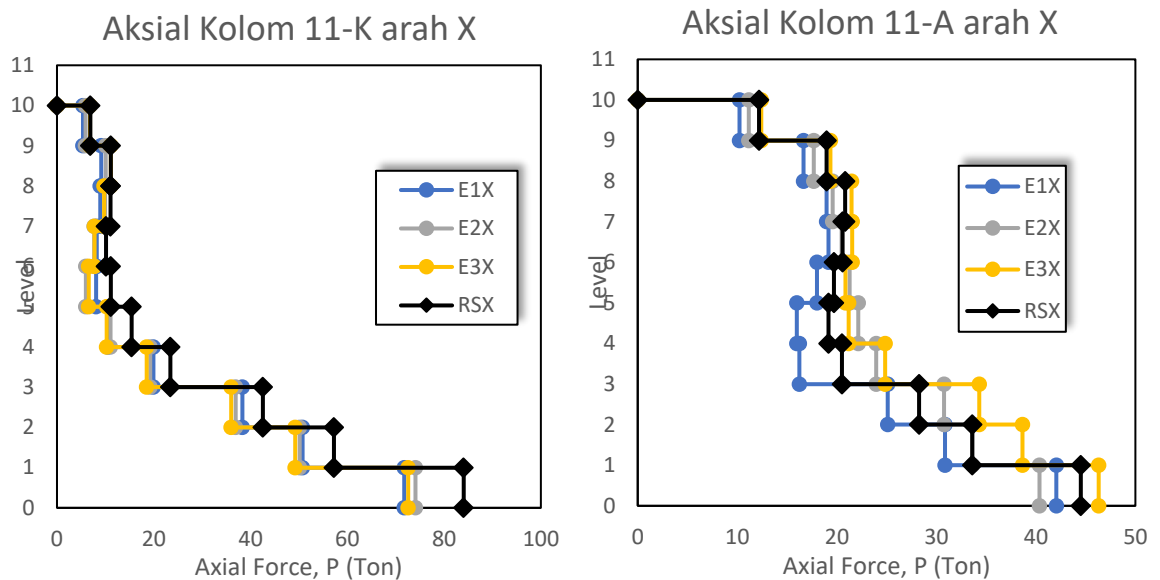


Gambar 5.63 Gaya Aksial Terhadap Waktu– E3y

Sementara itu, Gambar 5.63 menunjukkan bahwa rekaman E3y menghasilkan respons gaya aksial yang paling besar di antara ketiga rekaman arah Y. Nilai pada Atap sebesar 8,565 ton sempat menurun pada Lt.10 menjadi 5,212 ton dan Lt.9 sebesar 5,630 ton, tetapi kemudian meningkat tajam menjadi 13,740 ton di Lt.8, 24,775 ton di Lt.7, 38,287 ton di Lt.6, dan 55,760 ton di Lt.5. Pada bagian bawah struktur, gaya aksial bertambah sangat signifikan, yaitu 92,444 ton di Lt.3, 115,638 ton di Lt.2, dan mencapai maksimum 153,580 ton di Lt.1. Hasil ini menunjukkan bahwa E3y memberikan demand aksial paling dominan pada arah Y, dengan tingkat pengendali tetap berada pada Lt.1..

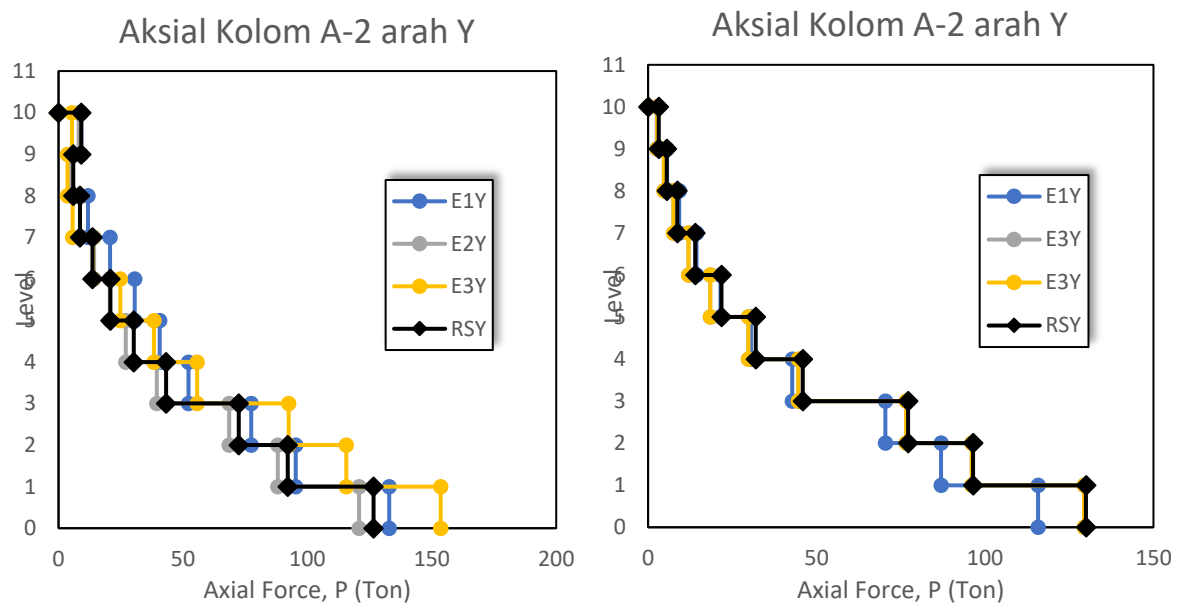
Setelah riwayat waktu gaya aksial kolom pada masing-masing rekaman dibahas secara terpisah, langkah berikutnya adalah membandingkan ketiga rekaman tersebut secara langsung dalam bentuk rekap nilai puncak per tingkat. Penyajian ini memudahkan pembacaan kecenderungan umum distribusi respons pada arah X dan

arah Y, sekaligus menunjukkan rekaman mana yang memberikan tuntutan gaya aksial kolom paling besar pada tiap tingkat.



Gambar 5.64 Perbandingan Gaya Aksial arah x

Gambar 5.64 memperlihatkan perbandingan distribusi gaya aksial kolom maksimum tiap tingkat pada arah X, masing-masing untuk titik 11-K dan 11-A. Secara visual, seluruh kurva baik hasil ARRR maupun RS menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu nilai gaya aksial relatif kecil pada tingkat atas dan meningkat menuju tingkat bawah. Pada titik 11-A, kurva E1x, E2x, E3x, dan RSx masih berada pada rentang yang relatif berdekatan, meskipun pada tingkat bawah E3x tampak memberikan respons yang sedikit lebih besar. Sementara itu, pada titik 11-K, perbedaan antar kurva terlihat lebih jelas, terutama pada tingkat bawah, dengan RSx cenderung berada di atas hasil ARRR. Pola ini menunjukkan bahwa pada arah X, konsentrasi respons aksial tetap terkendali di bagian bawah struktur, khususnya Lt.1 hingga Lt.3, dengan tingkat bawah pada sisi kanan portal memperlihatkan demand yang lebih besar dibanding sisi kiri.



Gambar 5.65 Perbandingan Gaya Aksial Arah y

Pada Gambar 5.65, menunjukkan perbandingan distribusi gaya aksial kolom maksimum tiap tingkat pada arah Y, masing-masing untuk titik A-2 dan A-11. Seperti halnya arah X, seluruh kurva pada arah Y juga memperlihatkan kecenderungan meningkat dari tingkat atas ke tingkat bawah. Akan tetapi, besaran respons pada arah Y tampak lebih tinggi dibandingkan arah X pada hampir seluruh tingkat. Pada titik A-2, hasil ARRR, terutama rekaman E3y, cenderung menghasilkan gaya aksial yang lebih besar daripada RSY pada tingkat bawah. Pada titik A-11, kurva ARRR dan RSY terlihat lebih berdekatan, meskipun pada beberapa tingkat RSY masih sedikit lebih tinggi. Secara umum, gambar ini menunjukkan bahwa respons aksial arah Y lebih dominan, dengan bagian bawah struktur tetap menjadi zona pengendali.

Temuan visual pada Gambar 5.64 dan Gambar 5.65 tersebut diperkuat oleh data numerik pada Lampiran 79 dan Lampiran 80. Rekap nilai menunjukkan bahwa distribusi gaya aksial kolom pada seluruh titik tinjauan memang meningkat dari tingkat atas ke tingkat bawah, baik untuk hasil ARRR maupun RS. Data lampiran tersebut juga menegaskan bahwa respons pada arah Y secara umum lebih besar daripada arah X, terutama pada titik A-2 dan A-11 di tingkat bawah. Namun demikian, hasil numerik menunjukkan bahwa RS tidak selalu menghasilkan nilai

terbesar pada seluruh titik dan seluruh tingkat. Pada arah X, RS cenderung lebih dominan di titik 11-K, sedangkan di titik 11-A nilai ARRR, khususnya E3x, dapat sedikit melampaui RS pada beberapa tingkat bawah. Pada arah Y, perbedaan tersebut tampak lebih jelas, terutama di titik A-2, di mana E1y dan terutama E3y menghasilkan gaya aksial yang lebih besar daripada RSy pada tingkat bawah. Dengan demikian, perbandingan ini menunjukkan bahwa meskipun pola distribusi ARRR dan RS secara umum serupa, besarnya respons lokal tetap dipengaruhi oleh titik tinjauan dan variasi rekaman gempa.

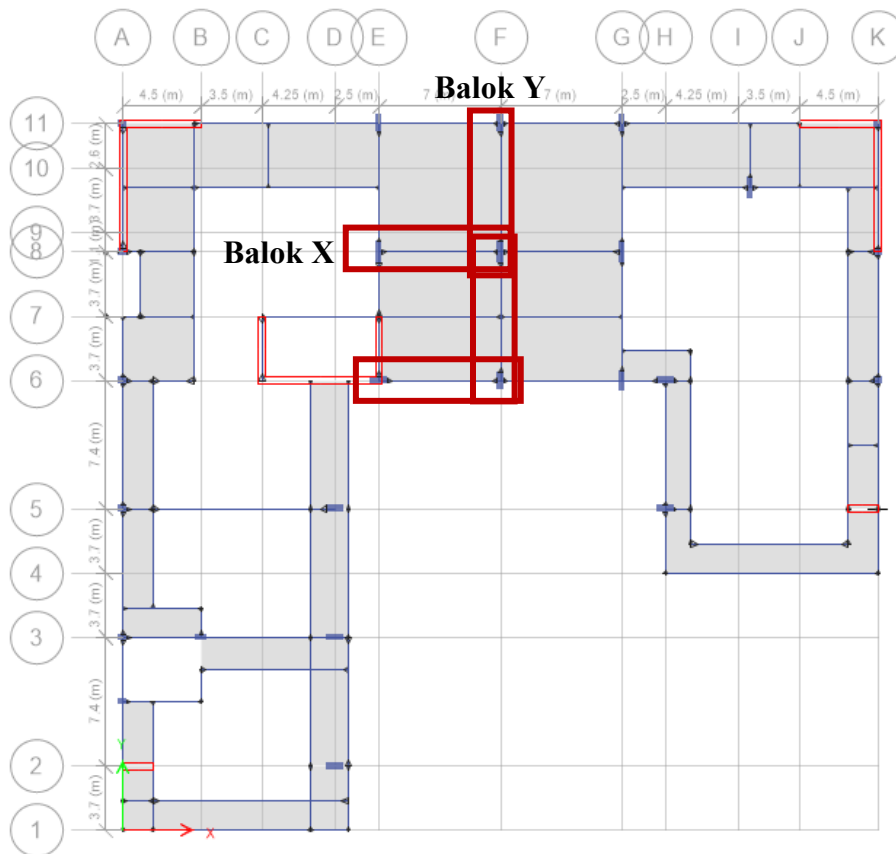
5.12.2 Momen Balok

Setelah respons gaya aksial pada elemen vertikal ditinjau, pembahasan selanjutnya diarahkan pada respons lentur elemen horizontal, yaitu momen balok. Peninjauan ini penting karena pembebanan gempa tidak hanya menimbulkan gaya aksial pada kolom, tetapi juga menghasilkan distribusi momen pada balok sebagai bagian dari mekanisme rangka dalam menahan gaya lateral. Dalam subbab ini, evaluasi difokuskan pada momen balok untuk melihat bagaimana tuntutan lentur berkembang pada elemen balok di berbagai tingkat bangunan, baik pada daerah tumpuan maupun lapangan.

Pembahasan momen balok dilakukan dengan membandingkan hasil ARRR dan RS pada dua arah utama struktur, yaitu arah X dan arah Y. Agar perbandingan respons dapat diamati secara lebih representatif, peninjauan tidak dilakukan hanya pada satu elemen, melainkan pada dua balok tinjauan untuk masing-masing arah. Untuk arah X, elemen yang ditinjau adalah balok X-EF8 dan balok X-EF6, sedangkan untuk arah Y peninjauan dilakukan pada balok Y-811F dan balok Y-68F, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.66. Pemilihan elemen-elemen tersebut dimaksudkan agar kecenderungan respons lentur balok dapat diamati pada lebih dari satu posisi, sehingga perbedaan hasil antar metode tidak hanya terbaca pada satu lokasi tunggal.

Berdasarkan balok tinjauan tersebut, pembahasan selanjutnya difokuskan pada perbandingan momen balok hasil ARRR dan RS pada daerah tumpuan dan lapangan di setiap tingkat. Dengan penyajian ini, perbedaan pola distribusi momen, besarnya

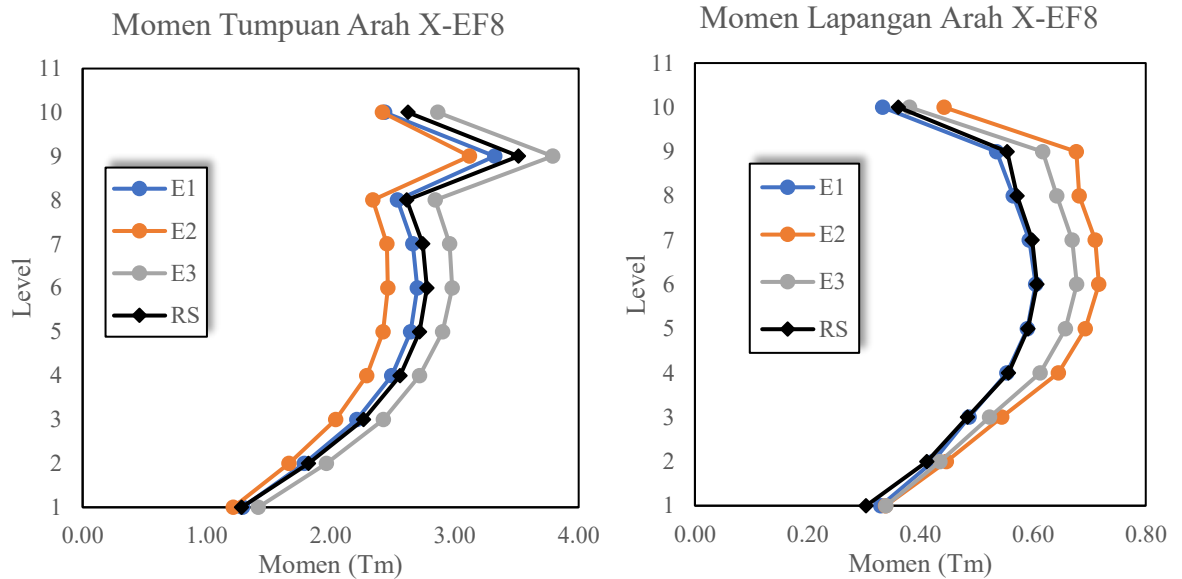
respons lentur, serta kecenderungan tingkat yang lebih kritis pada masing-masing arah dapat dievaluasi secara lebih jelas.



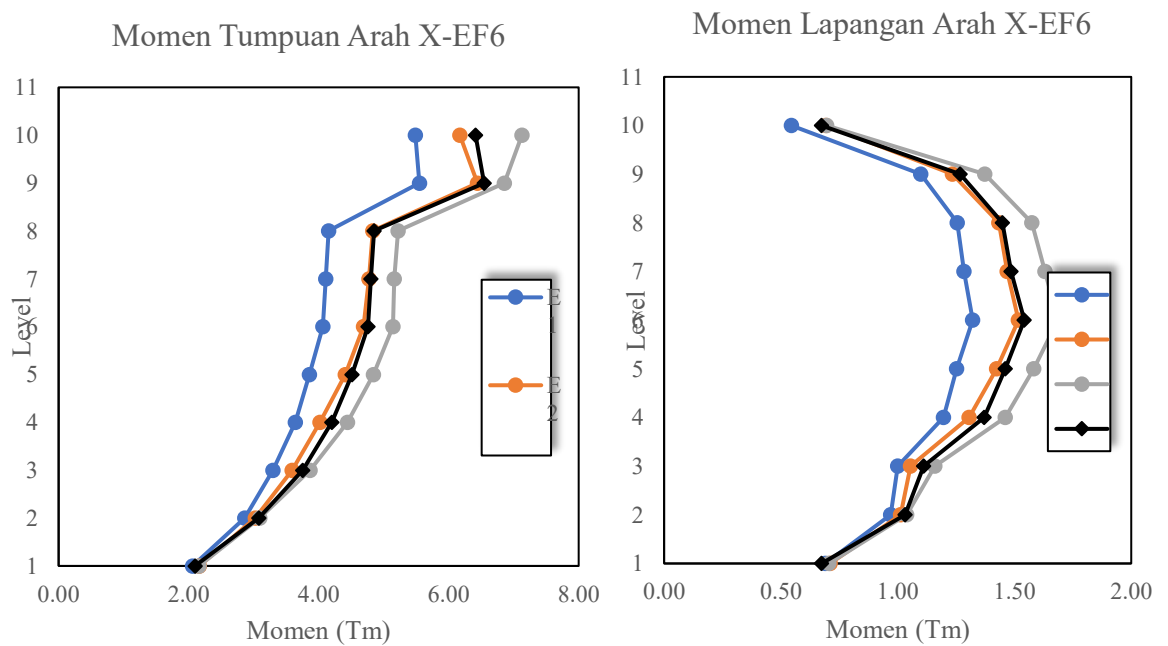
Gambar 5.66 Balok Tinjauan

Gambar 5.66 menunjukkan balok-balok tinjauan yang digunakan dalam evaluasi momen balok pada arah X dan arah Y. Pada arah X, elemen yang ditinjau berada pada bentang EF8 dan EF6, sedangkan pada arah Y elemen tinjauan berada pada garis F untuk segmen 8–11 dan 6–8. Berdasarkan balok-balok tinjauan tersebut, pembahasan berikutnya diarahkan pada perbandingan momen balok murni hasil ARRR dan RS, sehingga kecenderungan respons lentur pada daerah tumpuan maupun lapangan dapat ditinjau secara lebih jelas.

Pembahasan diawali dari arah X. Gambar 5.67 dan Gambar 5.69 menyajikan perbandingan momen balok arah X pada dua balok tinjauan, masing-masing pada daerah tumpuan dan lapangan.



Gambar 5.67 Perbandingan Momen Arah X-EF8



Gambar 5.68 Perbandingan Momen Arah X-EF6

Gambar 5.67 dan Gambar 5.68 memperlihatkan perbandingan momen balok arah X pada titik tumpuan dan lapangan antara hasil ARRR dan RS, masing-masing untuk balok X-EF8 dan X-EF6. Secara visual, seluruh kurva menunjukkan kecenderungan yang konsisten, yaitu momen pada daerah tumpuan selalu lebih besar dibandingkan momen pada daerah lapangan pada seluruh tingkat yang ditinjau.

Selain itu, besaran momen pada balok X-EF6 tampak lebih tinggi daripada balok X-EF8, baik pada tumpuan maupun lapangan. Berbeda dengan pola gaya aksial kolom yang membesar ke arah bawah, distribusi momen balok arah X justru cenderung meningkat dari tingkat bawah menuju tingkat menengah atas atau atas, kemudian menurun kembali di bagian paling atas pada beberapa kasus. Hal ini menunjukkan bahwa respons lentur balok arah X lebih dominan berkembang pada tingkat atas dan menengah atas struktur.

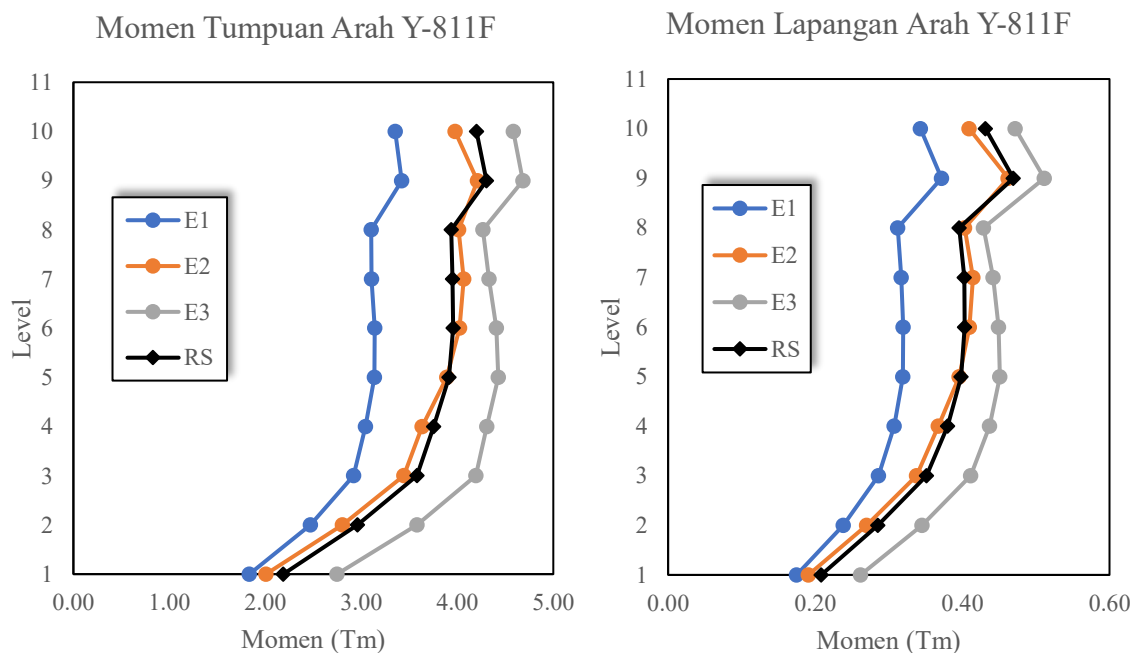
Pada Gambar 5.67, yaitu untuk balok X-EF8, kurva momen tumpuan memperlihatkan bahwa nilai terbesar umumnya terjadi pada tingkat atas. Nilai maksimum seluruh kasus pada tumpuan dicapai oleh E3 sebesar 3,790 Tm di Lt.10, diikuti RS sebesar 3,516 Tm, E1 sebesar 3,323 Tm, dan E2 sebesar 3,120 Tm pada tingkat yang sama. Pada daerah lapangan, besarnya momen jauh lebih kecil, dengan nilai maksimum juga dikendalikan oleh E3, yaitu 0,678 Tm di Lt.7, sedangkan RS mencapai 0,607 Tm dan E1 0,605 Tm pada tingkat tersebut. Secara umum, RS berada sangat dekat dengan hasil ARRR dan pada banyak tingkat masih berada di atas E1 dan E2, meskipun bukan selalu yang terbesar. Pola ini menunjukkan bahwa pada balok X-EF8, respons lentur tetap dikendalikan oleh rekaman E3, terutama pada tumpuan.

Sementara itu, Gambar 5.68 menunjukkan bahwa balok X-EF6 menghasilkan respons momen yang lebih besar dibandingkan X-EF8. Pada daerah tumpuan, nilai maksimum seluruh kasus kembali dikendalikan oleh E3, yaitu sebesar 7,127 Tm di Atas, sedangkan E1, E2, dan RS mencapai nilai tertinggi masing-masing 5,550 Tm, 6,443 Tm, dan 6,546 Tm di Lt.10. Pada daerah lapangan, nilai momen maksimum juga terjadi pada tingkat menengah atas, yaitu di Lt.7, dengan E3 sebesar 1,686 Tm, RS sebesar 1,542 Tm, E2 sebesar 1,517 Tm, dan E1 sebesar 1,321 Tm. Dengan demikian, pada balok X-EF6 tidak hanya terlihat bahwa momen tumpuan tetap lebih dominan daripada lapangan, tetapi juga bahwa tingkat kritis cenderung berada di bagian atas hingga menengah atas struktur.

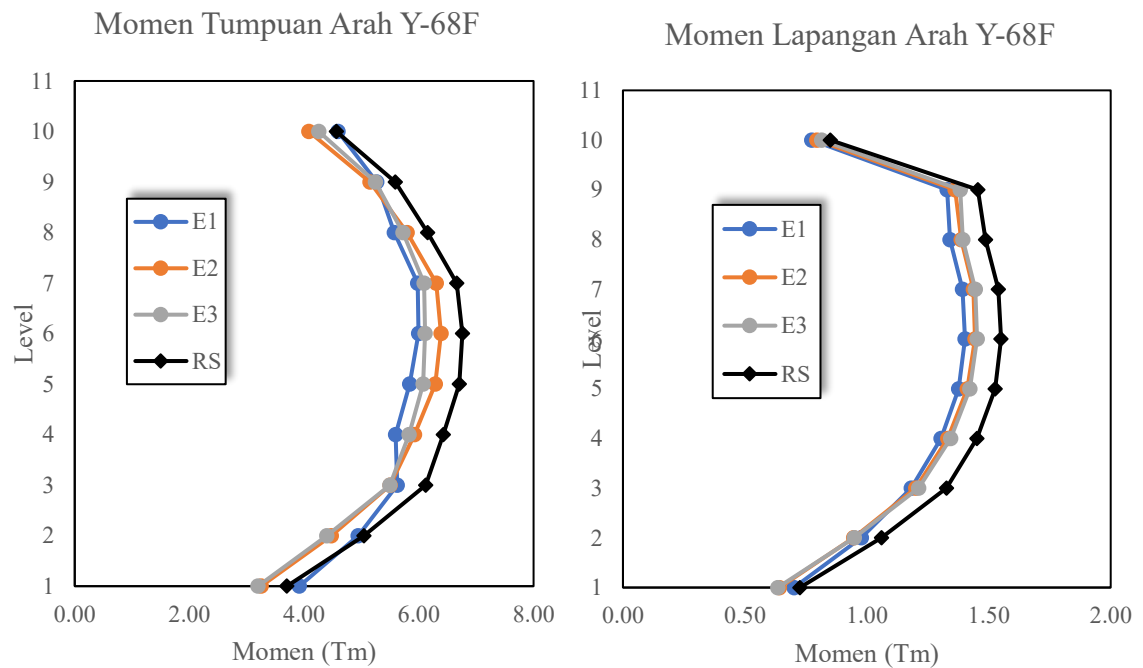
Temuan visual tersebut diperkuat oleh data numerik pada Lampiran 81 dan Lampiran 82. Rekap nilai menunjukkan bahwa pada kedua balok yang ditinjau, momen tumpuan selalu lebih besar daripada momen lapangan pada seluruh tingkat.

Data lampiran tersebut juga menegaskan bahwa balok X-EF6 memberikan respons yang lebih besar daripada X-EF8, sehingga dapat dipandang sebagai lokasi yang lebih kritis pada arah X. Di antara seluruh rekaman, E3 secara umum menghasilkan momen terbesar, sedangkan RS umumnya berada dekat dengan hasil ARRR dan pada banyak tingkat berada di antara E3 dan E1/E2. Namun demikian, RS tidak selalu menjadi nilai maksimum pada setiap tingkat. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa respons momen balok arah X lebih dominan terjadi pada daerah tumpuan serta cenderung mengontrol pada tingkat atas sampai menengah atas, dengan balok X-EF6 sebagai titik yang menunjukkan demand lentur lebih besar.

Selanjutnya, pembahasan beralih pada momen balok arah Y. Gambar 5.69 dan Gambar 5.70 menunjukkan perbandingan hasil ARRR dan RS untuk meninjau kecenderungan distribusi momen balok pada tiap tingkat, baik di daerah tumpuan maupun di daerah lapangan..



Gambar 5.69 Perbandingan Momen Arah Y-811F



Gambar 5.70 Perbandingan Momen Arah Y-811F

Gambar 5.69 memperlihatkan perbandingan momen balok arah Y pada balok Y-811F untuk titik tumpuan dan lapangan antara hasil ARRR dan RS. Secara visual, momen pada tumpuan tetap lebih besar daripada di lapangan pada seluruh tingkat, sehingga respons lentur balok arah Y pada balok ini lebih dominan terjadi di daerah tumpuan. Pada grafik momen tumpuan, nilai maksimum seluruh kasus terjadi di Lt.10, yaitu sebesar 4,683 Tm untuk E3, diikuti RS sebesar 4,304 Tm, E2 sebesar 4,209 Tm, dan E1 sebesar 3,421 Tm. Hasil ini menunjukkan bahwa E3 kembali menjadi kondisi pengendali, sedangkan RS berada sangat dekat dengan E2 dan tetap lebih besar daripada E1 pada hampir seluruh tingkat. Pada beberapa tingkat menengah, seperti Lt.7 hingga Lt.9, nilai E2 sedikit melampaui RS, tetapi selisihnya tetap relatif kecil dibandingkan E3. Pada grafik momen lapangan, pola yang sama juga terlihat, dengan nilai maksimum terjadi di Lt.10, yaitu 0,511 Tm untuk E3, disusul RS sebesar 0,469 Tm, E2 sebesar 0,462 Tm, dan E1 sebesar 0,372 Tm. Dengan demikian, pada balok Y-811F, hasil RS tidak menjadi nilai terbesar, tetapi tetap menunjukkan respons yang cukup dekat dengan hasil ARRR tingkat menengah dan atas, sementara kondisi pengendali tetap ditentukan oleh E3.

Sementara itu, Gambar 5.70 menunjukkan bahwa balok Y-68F menghasilkan respons momen yang lebih besar dibandingkan balok Y-811F, baik pada tumpuan maupun lapangan. Pada daerah tumpuan, seluruh kurva berada pada rentang yang lebih tinggi dan cenderung mencapai nilai maksimum pada tingkat atas hingga menengah atas. Kurva RS tampak berada di atas hasil E1, E2, dan E3 pada sebagian besar tingkat, terutama dari Lt.3 sampai Lt.10, sehingga pada balok ini RS justru menjadi kondisi yang paling dominan. Pola serupa juga terlihat pada daerah lapangan, di mana momen tetap lebih kecil dibandingkan tumpuan, tetapi kurva RS kembali berada pada posisi paling tinggi pada sebagian besar tingkat. Temuan ini menunjukkan bahwa pada balok Y-68F, respons lentur balok arah Y tidak lagi sepenuhnya dikendalikan oleh rekaman E3, melainkan pada banyak tingkat justru lebih besar pada hasil RS.

Temuan visual pada Gambar 5.69 dan Gambar 5.70 diperkuat oleh data numerik pada Lampiran 83 dan Lampiran 84. Rekap nilai menunjukkan pola yang konsisten, yaitu momen pada tumpuan umumnya lebih besar daripada di lapangan pada seluruh tingkat yang ditinjau. Pada balok Y-811F, nilai maksimum terjadi sebesar 4,683 Tm pada tumpuan dan 0,511 Tm pada lapangan, keduanya dikendalikan oleh E3 di Lt.10. Sementara itu, pada balok Y-68F, respons momen berada pada orde yang lebih besar dibandingkan Y-811F dan pada banyak tingkat hasil RS menjadi yang terbesar, baik pada tumpuan maupun lapangan. Dengan demikian, pada arah Y dapat dilihat bahwa karakter respons momen balok tidak sepenuhnya seragam pada kedua balok tinjauan: balok Y-811F masih memperlihatkan dominasi rekaman E3, sedangkan balok Y-68F menunjukkan kecenderungan respons RS yang lebih dominan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Hasil analisis PSHA menunjukkan bahwa kurva hazard untuk PGA dan SA(T) di lokasi penelitian memiliki tren menurun dengan dominasi respons periode pendek hingga menengah, sedangkan hasil UHS pada tingkat bahaya 10% dan 2% terlampaui dalam 50 tahun memperlihatkan bentuk spektrum yang serupa dengan puncak ordinat sekitar 1,61 g pada periode 0,2 detik dan penurunan nilai pada periode yang lebih panjang, serta deagregasi pada SA(0,2 s) untuk 2%/50 tahun mengindikasikan bahwa hazard terutama dikendalikan oleh kombinasi sumber Opak, Benioff Jateng–Jatim, dan Benioff Jabar dengan skenario pengendali gempa berkategori kerak dangkal jarak dekat bermagnitudo menengah sekitar $M_w = 6,45$ pada jarak kurang lebih 25 km yang selanjutnya menjadi dasar penetapan spektrum beban gempa dan pemilihan rekaman representatif untuk analisis struktur.
2. Evaluasi kinerja struktur gedung 10 tingkat berdasarkan analisis Response Spectrum (RS) dan Analisis Riwayat Respons Ragam (ARRR) menunjukkan bahwa kedua metode menghasilkan pola respons yang konsisten, namun berbeda dalam besaran respons. Pada parameter gaya geser dasar, hasil RS cenderung lebih kecil dibandingkan ARRR sehingga memerlukan faktor skala lebih besar, tetapi distribusi gaya geser tingkat tetap menunjukkan pola yang sama. Pada simpangan antar tingkat, arah Y menjadi kondisi paling kritis dengan drift ratio maksimum mencapai sekitar 0,923%, namun masih berada di bawah batas izin 1,54%. Efek P–Delta pada seluruh kasus juga berada jauh di bawah batas yang ditentukan, sehingga struktur masih stabil. Distribusi peak acceleration menunjukkan pola peningkatan dari bawah ke atas, dengan RS umumnya lebih konservatif pada beberapa tingkat, meskipun pada arah Y terdapat variasi respons antar rekaman ARRR yang cukup signifikan. Secara

keseluruhan, struktur masih memenuhi kriteria kinerja, dengan arah Y sebagai arah pengendali.

3. Karakteristik hasil analisis ARRR dan RS terhadap gaya dalam elemen struktur menunjukkan bahwa kedua metode menghasilkan pola distribusi respons yang serupa, namun dengan tingkat konservatisme yang berbeda. Pada gaya aksial kolom, RS cenderung memberikan nilai yang lebih besar dibandingkan ARRR, terutama pada arah Y, dengan nilai maksimum terjadi di tingkat bawah. Sebaliknya, pada momen balok, respons paling kritis tidak selalu dihasilkan oleh RS, melainkan oleh ARRR, khususnya rekaman E3. Dengan demikian, RS umumnya lebih konservatif dalam memprediksi gaya aksial kolom, sedangkan ARRR lebih menonjol dalam menangkap kondisi respons ekstrem pada momen balok.

Berdasarkan hasil penelitian ini, ARRR merupakan pendekatan desain yang layak dan realistis untuk kasus studi, karena menghasilkan tren respons struktur yang sejalan dengan RS dan tetap memenuhi batas kinerja seperti drift ratio dan stabilitas P-Delta. Pada arah yang lebih kritis, khususnya arah Y, ARRR cenderung memberikan respons lebih konservatif sehingga lebih efektif dalam mengidentifikasi kondisi kritis pada struktur dengan potensi torsi atau ketidakberaturan. Dengan dukungan tahapan penentuan input gempa berbasis PSHA, propagasi, dan proses penskalaan atau spectral matching yang konsisten, ARRR berpotensi digunakan sebagai alternatif utama terhadap RS dalam evaluasi struktur tahan gempa, selama prosedur pemilihan rekaman, jumlah rekaman, dan kombinasi respons diterapkan secara cermat agar hasil tetap stabil dan dapat dipertanggungjawabkan.

6.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan pemodelan basement dalam analisis struktur, sehingga pengaruh tambahan kekakuan dan massa di bawah permukaan tanah terhadap respons gempa gedung dapat dievaluasi secara lebih realistis.

2. Kajian bahaya gempa pada penelitian ini masih dibatasi pada sumber patahan dan subduksi tersegmentasi, sehingga pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan tipe sumber gempa grid, baik *shallow grid* maupun *deep grid*, agar kontribusi seismisitas latar (*background seismicity*) yang tidak terwakili oleh sumber patahan eksplisit dapat tercakup dengan lebih baik dalam pemodelan hazard.
3. Interaksi tanah–struktur perlu ditinjau pada penelitian berikutnya untuk berbagai kondisi tanah, agar pengaruh fleksibilitas dan nonlinieritas tanah terhadap perioda getar, amplifikasi respons, dan distribusi gaya dalam struktur dapat diakomodasi.
4. Dari sisi metode analisis dinamik, penelitian lanjutan dapat menggunakan analisis *direct integration time history* dan membandingkan hasilnya dengan ARRR berbasis analisis modal, guna menilai perbedaan detail respons waktu serta mengevaluasi kecukupan pendekatan ARRR pada struktur dengan ketidakberaturan.
5. Terkait strategi perkuatan, studi berikutnya dapat mengeksplorasi tipe perkuatan lain seperti sistem, perangkat redaman tambahan (*dampers*), atau kombinasi dengan *shear wall*, sehingga efektivitas masing-masing sistem dalam mengurangi drift, gaya dalam, dan efek P–Delta pada arah kritis dapat dibandingkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahamson, N. A. (2007). *SEISMIC HAZARD ASSESSMENT: PROBLEMS WITH CURRENT PRACTICE AND FUTURE DEVELOPMENTS*.
- Abrahamson, N. A., & Shedlock, K. M. (1997). Overview, *Seismological Research Letters*, 68(1), 9–23.
- Abrahamson, N. A., & Silva, W. J. (1997). Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes. 68(1).
- Abrahamson, N., Gregor, N., & Addo, K. (2016). BC Hydro Ground Motion Prediction Equations for Subduction Earthquakes. *Earthquake Spectra*, 32(1), 23–44. <https://doi.org/10.1193/051712EQS188MR>
- Abrahamson, N., & Gülerce, Z. (2020). Regionalized Ground-Motion Models for Subduction Earthquakes Based on the NGA-SUB Database (Report No. 2020/25). *Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*. <https://doi.org/https://doi.org10.55461/SSXE9861>
- Aki, K. (1965). Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 43, 237–239.
- Alecci, V., Stefano, M. De, & Galassi, S. (2024). Evaluation of vertical irregularity effects of historical masonry buildings through a simplified procedure : the case of Florence city center . *Bulletin of Earthquake Engineering*, 22.
- Amorèse, D. (2007). Applying a Change-Point Detection Method on Frequency-Magnitude Distributions. *Ulletin of the Seismological Society of America*, 97(5), 1742–1749.
- Artati, H. K. (2023). *Potensi Likuefaksi Menggunakan Pendekatan State Parameter Berdasarkan Percepatan Maksimum Permukaan Tanah Akibat Gempa Hasil Codes, Deterministic and Probabilistic Seismic Hazard Analysis (Studi Kasus: Gempa Palu, Sulawesi Tengah, M 7.4, 28 September 2018)*. Universitas Islam Indonesia.
- ASCE/SEI 7-22. (2025). Supplement 3 for Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-22). In *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures* (pp. S3-1-S3-1). <https://doi.org/doi:10.1061/9780784415788.sup3>
- Asrurifak, M. (2018). *Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi dalam*.

- Asrurifak, M., Irsyam, M., & Triyoso, W. (2010). Development of Spectral Hazard Map for Indonesia with a Return Period of 2500 Years using Probabilistic Method Development of Spectral Hazard Map for Indonesia with a Return Period of 2500 Years using Probabilistic Method. *Civil Engineering Dimension, Petra Christian University*.
- Baker, J. W. (2011). Conditional Mean Spectrum: Tool for Ground-Motion Selection. *Journal of Structural Engineering*, 137(3), 322–331. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000215](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000215)
- Baker, J. W. (2013). *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (White Pape).
- Baker, J. W., & Allin Cornell, C. (2006). Spectral shape, epsilon and record selection. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 35(9), 1077–1095. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/eqe.571>
- Baker, J., Whitney, J., Hanks, T., Abramson, N., & Board, M. (2013). Use of fragile geologic structures as indicators of unexceeded ground motions and direct constraints on probabilistic seismic hazard analysis. *BSSA*, 103(3), 1898–1911. <https://doi.org/10.1785/0120120202>
- Bathe, K. J. (2010). Mode Superposition Analysis; Time History. In *Finite Element Procedures for Solids and Structures* (Lecture 11). Massachusetts Institute of Technology.
- Bazzurro, P., & Allin Cornell, C. (1999). Disaggregation of seismic hazard. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89(2), 501–520. <https://doi.org/10.1785/BSSA0890020501>
- Bi, J., Song, C., & Cao, F. (2024). Declustering characteristics of the North China Plain seismic belt and its effect on probabilistic seismic hazard analysis. *Scientific Reports*, 1–18.
- Bommer, J., & Acevedo, A. B. (2004). The use of real accelerograms as input to dynamic analysis. *JOURNAL OF EARTHQUAKE ENGINEERING*, 8, 43–91. <https://doi.org/10.1080/13632460409350521>
- Bommer, J. J., Ake, J. P., & Munson, C. G. (2023). Seismic Source Zones for Site-Specific Probabilistic Seismic Hazard Analysis: The Very Real Questions Raised by Virtual Fault Ruptures. *Seismological Research Letters*, 94(4), 1900–1911.
- Bommer, J. J., & Crowley, H. (2017). The Purpose and Definition of the Minimum Magnitude Limit in PSHA Calculations. *Seismological Research Letters*, 88(4), 1097–1106. <https://doi.org/10.1785/0220170015>
- Boore, David M, Stewart, Jonathan P, Seyhan, Emel, & Atkinson, Gail M. (2014). NGA-West2 Equations for Predicting PGA, PGV, and 5% Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1057–1085. <https://doi.org/10.1193/070113EQS184M>
- Brandenberg, S., Bellana, N., & Shantz, T. (2010). Shear Wave Velocity as a Statistical Function of Standard Penetration Test Resistance and Vertical

- Effective Stress at Caltrans Bridge Sites. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering - SOIL DYNAM EARTHQUAKE ENG*, 30, 1026–1035. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.04.014>
- Budiono, B. (2019). Analisis Riwayat Waktu Respons Struktur Non-linier. *Sosialisasi Dan Workshop Nasional Penerapan SNI 1726:2019*, Hari Ke-3. https://www.youtube.com/live/98SjYIE0XIU?si=nmswTDUt_vhhoa_3
- Burgos, R. B., & Silva, L. E. (2023). Evaluation of the P- Δ (P-Delta) effect in columns and frames using the two-cycle method based on the solution of the beam-column differential equation. *MethodsX*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102248>
- Campbell, Kenneth W, & Bozorgnia, Yousef. (2014). NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1087–1115. <https://doi.org/10.1193/062913EQS175M>
- Chiou, Brian S.-J., & Youngs, Robert R. (2014). Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1117–1153. <https://doi.org/10.1193/072813EQS219M>
- Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of Structures*. Pearson Education. <https://books.google.co.id/books?id=eRcvAAAAQBAJ>
- Cornell, C. . llin. (1968). Engineering Seismic Risk Analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58(5), 1583–1606.
- Danciu, L., Giardini, D., Weatherill, G., Basili, R., Nandan, S., Rovida, A., Beauval, C., Bard, P.-Y., Paganì, M., Reyes, C. G., Sesetyan, K., Vilanova, S., Cotton, F., & Wiemer, S. (2024). The 2020 European Seismic Hazard Model: overview and results. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 24(9), 3049–3073. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-3049-2024>
- Deif, A., Mohamed, A. M. E., El-Hussain, I., Al-Shijbi, Y., El-Hady, S., & Al Habsi, Z. (2021). Site-specific seismic hazard levels at the economic zone of Duqm, Oman. *Journal of Geophysics and Engineering*, 18(5), 740–760. <https://doi.org/10.1093/jge/gxab050>
- Fauzi, M., & Mussadun. (2021). Dampak Bencana Gempa Bumi dan Tsunami di Kawasan Pesisir Lere Kota Palu. *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota*, 17(1), 16–24.
- FEMA. (2022). Seismic Retrofit Technical Review. *Hazard Mitigation Assistance Technical Review Job Aid Series*.
- FEMA 451B. (2002). *Earthquakes : Cause and Effect • Why earthquakes occur • How earthquakes are measured • Earthquake effects • Mitigation strategy • Earthquake time histories* (Vol. 97, Issue 9).
- FEMA P-749. (2010). *Earthquake-Resistant Design Concepts: An Introduction to the NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other*

- Structures*. Federal Emergency Management Agency and the National Institute of Building Sciences.
- FEMA P-750. (2009). *NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures* (2009 Editi). Building Seismic Safety Council.
- Field, E. H., Jordan, T. H., Page, M. T., Milner, K. R., Shaw, B. E., Dawson, T. E., Biasi, G. P., Parsons, T., Hardebeck, J. L., Michael, A. J., Weldon II, R. J., Powers, P. M., Johnson, K. M., Zeng, Y., Felzer, K. R., Elst, N. van der, Madden, C., Arrowsmith, R., Werner, M. J., & Thatcher, W. R. (2017). A Synoptic View of the Third Uniform California Earthquake Rupture Forecast (UCERF3). *Seismological Research Letters*, 88(5), 1259–1267. <https://doi.org/10.1785/0220170045>
- Firdaus, R. (2026). *OpenQuake PSHA for Yogyakarta [Online]*. GitHub. <https://github.com/Radrecsion/openquake-psha-thesis>
- Friedman, P. P., Lesieutre, G. A., & Huang, D. (2023). Review: Dynamics of Single-Degree-of-Freedom Systems. In *Structural Dynamics* (Vol. 50). Cambridge University Press & Assessment.
- Frohlich, C. (1989). Deep Earthquakes. *Scientific American*, 260(1), 48–55. <http://www.jstor.org/stable/24987107>
- Gao, W., & Lu, X. (2023). Controlling interstory drift ratio profiles via topology optimization strategies. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 17(2), 165–178.
- Gardner, J. ., & Knopoff, L. (1974). Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bulletin of the Seismological Society of America*, 64(5), 1363–1367.
- Gavin, H. P. (2018). *Modal Superposition* (Structural).
- Gutenberg, B., & Richter, C. F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34(4), 185–188.
- Hanks, T. C., & Kanamori, H. (1979). A Momen Magnitude Scale. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 84(B5), 2348–2350.
- Haynie, K., Thompson, E., Hearne, M., Hayes, G. P., Shelly, D., Shumway, A., Llenos, A., Michael, A., & Powers, P. (2025). Subduction zone earthquake catalog separation tool: Implementation in the USGS 2025 Puerto Rico and U.S. Virgin Islands National Seismic Hazard Model. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220250078>
- Hettiarachchi, H., & Brown, T. (2009). Use of SPT Blow Counts to Estimate Shear Strength Properties of Soils: Energy Balance Approach. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering - J GEOTECH GEOENVIRON ENG*, 135. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000016](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000016)
- Imran, I., & Kristianto, A. (2019). Analisis Riwayat Waktu Linear. *Sosialisasi Dan*

Workshop Nasional Penerapan SNI 1726:2019, 1.

- Irsyam, Masyhur, Cummins, Phil R, Asrurifak, M, Faizal, Lutfi, Natawidjaja, Danny Hilman, Widiyantoro, Sri, Meilano, Irwan, Triyoso, Wahyu, Rudiyanto, Ariska, Hidayati, Sri, Ridwan, M, Hanifa, Nuraini Rahma, & Syahbana, Arifan Jaya. (2020). Development of the 2017 national seismic hazard maps of Indonesia. *Earthquake Spectra*, 36(1_suppl), 112–136. <https://doi.org/10.1177/8755293020951206>
- Irsyam, M., Natawijaya, D. H., Daryono, M. R., Widiyantoro, S., Asrurifak, M., Meilano, I., Triyoso, W., Hidayati, S., Rudiyanto, A., Sabaruddin, A., & Faisal, L. (2017). Development of New Seismic Hazard Maps of Indonesia 2017. In *Proceedings of The 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul 2017*, 112–136. <https://doi.org/10.1177/8755293020951206>
- Johnson, K., Villani, M., Bayliss, K., Brooks, C., Chandrasekhar, S., Chartier, T., Chen, Y.-S., Garcia-Pelaez, J., Gee, R., Styron, R., Rood, A., Simionato, M., & Pagani, M. (2023). *Global Seismic Hazard Map*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.8409647>
- Joyner, W. B., & Boore, D. M. (1981). Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 imperial valley, California, earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71(6), 2011–2038. <https://doi.org/10.1785/BSSA0710062011>
- Kaklamanos, J., Baise, L., & Boore, D. (2011). Estimating unknown input parameters when implementing the NGA ground-motion prediction equations in engineering practice. *Earthquake Spectra*, 27(4), 1219–1235. <https://doi.org/10.1193/1.3650372>
- Kaklamanos, J., Boore, D., Thompson, E. M., & Campbell, K. (2010). Implementation of the Next Generation Attenuation (NGA) ground-motion prediction equations in Fortran and R. In *Open-File Report (Version 1.)*. <https://doi.org/10.3133/ofr20101296>
- Kijko, A. (2011). “*Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis*” (Extended version of contribution by A. Kijko, *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, Harsh Gupta (Ed.), Springer, 2011).
- Kiureghian, A. Der, & Ditlevsen, O. (2009). Aleatory or epistemic? Does it matter? *Structural Safety*, 31(2), 105–112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2008.06.020>
- Kramer, S. L., & Paulsen, S. B. (2004). *Practical Use of Geotechnical Site Response Models*.
- Kramer, S. L., & Stewart, J. P. (2024). *Geotechnical Earthquake Engineering*.
- Kuehn, N., Bozorgnia, Y., Campbell, K. W., & Gregor, N. (2020). Partially Non-Ergodic Ground-Motion Model for Subduction Regions using the NGA-Subduction Database. *PEER Report No. 2020/04*.

- Kulhaway, F. ., & Mayne, P. . (1990). Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design. In *Electric Power Research Institute EL-6800: Vol. Project 14*.
- L., M. R. (2005). Coefficient of Earth Pressure at Rest. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(11), 1429–1433. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2005\)131:11\(1429\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:11(1429))
- Luco, N. (2011). Development of Risk-Targeted Earthquake Ground Motions for use in ASCE 7. In USGS (Ed.), *National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) Advisory Committee (ACEHR) Meeting*.
- Makrup, L. L. (2009). *Pengembangan Peta Deagregasi Hazard untuk Indonesia melalui Pembuatan Software dengan Pemodelan Sumber Gempa Tiga Dimensi*. Institut Teknologi Bandung.
- Makrup, L. L., Irsyam, M., Sengara, I. W., & Hendriyawan. (2010). *Hazard Deaggregation for Indonesia*. 17(3), 181–190.
- Massarsch, K. R., & Fellenius, B. H. (2018). In situ tests for settlement design of compacted sand. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering*, 172(3), 207–217. <https://doi.org/10.1680/jgeen.18.00046>
- McGuire, R. (1976). FORTRAN computer program for seismic risk analysis. In *Open-File Report*. <https://doi.org/10.3133/ofr7667>
- McGuire, R. K. (2004). *Seismic Hazard and Risk Analysis*.
- Mignan, A., & Woessner, J. (2012). Estimating the magnitude of completeness in earthquake catalogs. *Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis*.
- Monelli, D., Pagani, M., Weatherill, G., Danciu, L., & Garcia, J. (2014). Modeling Distributed Seismicity for Probabilistic Seismic-Hazard Analysis: Implementation and Insights with the OpenQuake Engine. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104(4), 1636–1649. <https://doi.org/10.1785/0120130309>
- Moschetti, M., Powers, P., Petersen, M., Boyd, O., Chen, R., Field, E., Frankel, A., Haller, K., Harmsen, S., Mueller, C., Wheeler, R., & Zeng, Y. (2015). Seismic Source Characterization for The 2014 Update of the U.S. National Seismic Hazard Model. *Earthquake Spectra*, 31. <https://doi.org/10.1193/110514EQS183M>
- Munawar, A. M., Abdullah, & Afifuddin, M. (2016). Zonasi Dan Pemodelan Nilai Kerusakan Akibat Gempa Tahun 2012 di Kabupaten Bener Meriah Provinsi Aceh. *Jurnal Teknik Sipil*, 5(3), 291–302.
- Muntafi, Y., & Nojima, N. (2021). Seismic Properties and Fractal Dimension of Subduction Zone in Java and Its Vicinity Using Data From 1906 To 2020. *International Journal of GEOMATE*, 21(85), 71–83. <https://doi.org/10.21660/2021.85.j2217>

- Nguyen, N., Griffin, J., Cipta, A., & Cummins, P. R. (2015). *Indonesia s Historical Earthquakes : Modelled examples for improving the national hazard map*. Geoscience Australia.
- Nicolaou, A. S. (1998). *A GIS Platform for Earthquake Risk Analysis*. University of Newyork Bufallo.
- P-751, F. (2012). *2009 NEHRP Recommended Seismic Provisions: Design Examples* (Issue September). National Institute of Building Science.
- Pagani, M., Monelli, D., Weatherill, G., Danciu, L., Crowley, H., Silva, V., Henshaw, P., Butler, L., Nastasi, M., Panzeri, L., Simionato, M., & Vigano, D. (2014). OpenQuake Engine: An Open Hazard (and Risk) Software for the Global Earthquake Model. *Seismological Research Letters*, 85(3), 692–702.
- Patria, A., & Aulia, A. N. (2020). *Structural and Earthquake Evaluations Along Java Subduction Zone , Indonesia*. 30(1).
- PuSGeN, (National Research Center. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017* (Cetakan Pe). Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan (BNP), dan Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR).
- Rade, A. D., & Steffen, V. J. (2008). Structural Dynamics and Modal Analysis. *EOLSS–Encyclopedia of Life Support*.
- Rathje, E. M., & Kottke, A. R. (2008). *Procedures for Random Vibration Theory Based Seismic Site Response Analyses: A White Paper Prepared for the Nuclear Regulatory Commission,*” *Geotechnical Engineering Report GR08-09*.
- Reasenber, P. (1985). Second-order moment of central California seismicity, 1969–1982. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 90(7), 5479–5495.
- Rukstales, K. S., & Shumway, A. M. (2019). *Data Release for 2018 Update of the U.S. National Seismic Hazard Model*.
- Rydelek, P., & Sacks, I. (1989). Testing the completeness of earthquake catalogues and the hypothesis of self-similarity. *Nature*, 337, 251–253.
- Sarana, D., Saidi, T., & Muttaqin. (2018). *Analisis Respon Spektra Terhadap Percepatan Gerakan Tanah Akibat Gempa Aceh Tahun 2010 - 2013*. April.
- Schmertmann, J. H. (1975). Measurement of In-Situ Shear Strength. *Proceedings of ASCE Spec. Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties*, Vol.2, 57-138.
- Schnabel, P. B., Lysmer, J., & Seed, H. B. (1972). SHAKE - A computer program for earthquake analysis of horizontally layered sites. In *Earthquake Engineering Research Center*.
- SEAOC Vision 2000 Committee. (1995). Performance-Based Seismic Engineering. In *Structural Engineers Association of California*.
- Shumway, A., Petersen, M., Powers, P., & Rezaeian, S. (2018). Additional period

- and site class maps for the 2014 National Seismic Hazard Model for the conterminous United States. In *Open-File Report*. <https://doi.org/10.3133/ofr20181111>
- Silva, Vitor, Crowley, Helen, & Bazzurro, Paolo. (2016). Exploring Risk-Targeted Hazard Maps for Europe. *Earthquake Spectra*, 32(2), 1165–1186. <https://doi.org/10.1193/112514eqs198m>
- Soehami, A. (2008). Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa. *Jurnal Geologi Indonesia*, 3(4), 227–240.
- Sokolov, V., Zahran, H. M., & Toni, M. (2024). Areal-source and fault-source based probabilistic seismic hazard analysis using characteristic earthquake model and Monte-Carlo approach: An example of the Gulf of Aqaba region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 186, 108941. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108941>
- Spudich, P., & Chiou, B. (2015). Strike-parallel and strike-normal coordinate system around geometrically complicated rupture traces: use by NGA-West2 and further improvements. In *Open-File Report*. <https://doi.org/10.3133/ofr20151028>
- Stern, R. J. (2002). SUBDUCTION ZONES. *Reviews of Geophysics*, 40(4), 3–38. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2001RG000108>
- Supartoyo, Robiana, R., Natalia, M. C., & Hespianoro, S. (2020). Dampak Gempa Bumi Lombok Tahun 2018. *Jurnal Geominerba (Jurnal Geologi, Mineral Dan Batubara)*, 5(1), 61–76. <https://doi.org/10.58522/ppsd22.v5i1.65>
- Sutjipto, S., & Sumeru, I. (2021). *Anomaly Phenomena on the New Indonesian Seismic Code SNI 1726:2019 Design Response Spectra* (pp. 375–384). https://doi.org/10.1007/978-981-33-6311-3_43
- Syahbana, A., Goro, G., Saputra, O., Aditramulyadi, D., Irsyam, M., Asrurifak, M., & Djazilus, H. (2020). *Application of Modified PSHA USGS Software in Java Island Bed Rock Peak Ground Acceleration and Hazard Curve with 2475 Years Return Period*. 29, 3138–3148.
- Tavakoli, B., Sedaghati, F., & Pezeshk, S. (2018). An Analytical Effective Point-Source-Based Distance-Conversion Approach to Mimic the Effects of Extended Faults on Seismic Hazard Assessment. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(2), 742–760. <https://doi.org/10.1785/0120170171>
- Thompson, E. M., & Worden, C. B. (2017). Estimating Rupture Distances without a Rupture. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(1), 371–379. <https://doi.org/10.1785/0120170174>
- Varotsos, P. A., Sarlis, N. V., Skordas, E. S., & Tanaka, H. (2004). A plausible explanation of the b-value in the Gutenberg-Richter law from first Principles. In *Proceedings of the Japan Academy. Series B, Physical and Biological Sciences* (Vol. 80, Issue 9, pp. 429–434).
- Vats, F., & Basu, D. (2023). On the construction of Joyner-Boore distance (R_{jb}) for

- PESMOS and COSMOS databases. *Journal of Seismology*, 27(1), 173–202. <https://doi.org/10.1007/s10950-022-10129-1>
- Wei, J., Chen, K., Gao, M., Zhou, J., Wang, Y., & Cai, Y. (2025). A Fault Sources-Based Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Next-Generation Seismic Ground Motion Parameters Zonation Map of China. *International Journal of Disaster Risk Science*, 16(2), 248–261. <https://doi.org/10.1007/s13753-025-00632-7>
- Wells, D. L., & Coppersmith, K. J. (1994). New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(4), 974–1002.
- Whittaker, A., Atkinson, G., Baker, J., Bray, J., Grant, D., Hamburger, R., Haselton, C., & Somerville, P. (2011). *Selecting and Scaling Earthquake Ground Motions for Performing Response-History Analyses*. Grant/Contract Reports (NISTGCR), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=915482
- Widodo. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar.
- Widodo. (2017). *Analisis Dinamik Struktur*. Pustaka Pelajar.
- Widodo. (2018). The estimated PGA map of the Mw6.4 2006 Yogyakarta Indonesia earthquake, constructed from the Modified Mercalli intensity IMM. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 51(2), 92–104. <https://doi.org/https://doi.org/10.5459/bnzsee.51.2.92-104>
- Widodo. (2022). Ground Motions , Site Amplification and Building Damage at Near Source of the 2006 Yogyakarta , Indonesia Earthquake. *Geotechnical and Geological Engineering*, 5781–5798.
- Wiemer, S. (2001). A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters*, 72(3), 373–382.
- Wiemer, S., & Wyss, M. (2000). Minimum Magnitude of Completeness in Earthquake Catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(4), 859–869.
- Woessner, J., Laurentiu, D., Giardini, D., Crowley, H., Cotton, F., Grünthal, G., Valensise, G., Arvidsson, R., Basili, R., Demircioglu, M. B., Hiemer, S., Meletti, C., Musson, R. W., Rovida, A. N., Sesetyan, K., Stucchi, M., & Consortium, T. S. (2015). The 2013 European Seismic Hazard Model: key components and results. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(12), 3553–3596. <https://doi.org/10.1007/s10518-015-9795-1>
- Woessner, J., & Wiemer, S. (2005). Assessing the Quality of Earthquake Catalogues: Estimating the Magnitude of Completeness and Its Uncertainty. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(2), 684–698.
- Young, R. R., Chiou, S., Silva, W. J., & Humphrey, J. R. (1997). *Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes*. 68(1).

- Youngs, R. R., & Coppersmith, K. J. (1985). Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75(4), 939–964. <https://doi.org/10.1785/BSSA0750040939>
- Zhao, J. X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., Ogawa, H., Irikura, K., Thio, H. K., Somerville, P. G., Fukushima, Y., & Fukushima, Y. (2006). Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(3), 898–913. <https://doi.org/10.1785/0120050122>

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Koefisien GMPE Zhao dkk (2006)

IMT	a	b	c	d	e	FR	SI	SS	SSL
pga	1.101	-0.00564	0.0055	1.08	0.01412	0.251	0	2.607	-0.528
0.05	1.076	-0.00671	0.0075	1.06	0.01463	0.251	0	2.764	-0.551
0.1	1.118	-0.00787	0.009	1.083	0.01423	0.24	0	2.156	-0.42
0.15	1.134	-0.00722	0.01	1.053	0.01509	0.251	0	2.161	-0.431
0.2	1.147	-0.00659	0.012	1.014	0.01462	0.26	0	1.901	-0.372
0.25	1.149	-0.0059	0.014	0.966	0.01459	0.269	0	1.814	-0.36
0.3	1.163	-0.0052	0.015	0.934	0.01458	0.259	0	2.181	-0.45
0.4	1.2	-0.00422	0.01	0.959	0.01257	0.248	-0.041	2.432	-0.506
0.5	1.25	-0.00338	0.006	1.008	0.01114	0.247	-0.053	2.629	-0.554
0.6	1.293	-0.00282	0.003	1.088	0.01019	0.233	-0.103	2.702	-0.575
0.7	1.336	-0.00258	0.0025	1.084	0.00979	0.22	-0.146	2.654	-0.572
0.8	1.386	-0.00242	0.0022	1.088	0.00944	0.232	-0.164	2.48	-0.54
0.9	1.433	-0.00232	0.002	1.109	0.00972	0.22	-0.206	2.332	-0.522
1	1.479	-0.0022	0.002	1.115	0.01005	0.211	-0.239	2.233	-0.509
1.25	1.551	-0.00207	0.002	1.083	0.01003	0.251	-0.256	2.029	-0.469
1.5	1.621	-0.00224	0.002	1.091	0.00928	0.248	-0.306	1.589	-0.379
2	1.694	-0.00201	0.0025	1.055	0.00833	0.263	-0.321	0.966	-0.248
2.5	1.748	-0.00187	0.0028	1.052	0.00776	0.262	-0.337	0.789	-0.221
3	1.759	-0.00147	0.0032	1.025	0.00644	0.307	-0.331	1.037	-0.263
4	1.826	-0.00195	0.004	1.044	0.0059	0.353	-0.39	0.561	-0.169
5	1.825	-0.00237	0.005	1.065	0.0051	0.248	-0.498	0.225	-0.12

Lampiran 2 : Koefisien Kelas Situs Zhao dkk (2006)

IMT	CH	C1	C2	C3	C4	sigma
pga	0.293	1.111	1.344	1.355	1.42	0.604
0.05	0.939	1.684	1.793	1.747	1.814	0.64
0.1	1.499	2.061	2.135	2.031	2.082	0.694
0.15	1.462	1.916	2.168	2.052	2.113	0.702
0.2	1.28	1.669	2.085	2.001	2.03	0.692
0.25	1.121	1.468	1.942	1.941	1.937	0.682
0.3	0.852	1.172	1.683	1.808	1.77	0.67
0.4	0.365	0.655	1.127	1.482	1.397	0.659
0.5	-0.207	0.071	0.515	0.934	0.955	0.653
0.6	-0.705	-0.429	-0.003	0.394	0.559	0.653
0.7	-1.144	-0.866	-0.449	-0.111	0.188	0.652
0.8	-1.609	-1.325	-0.928	-0.62	-0.246	0.647
0.9	-2.023	-1.732	-1.349	-1.066	-0.643	0.653
1	-2.451	-2.152	-1.776	-1.523	-1.084	0.657
1.25	-3.243	-2.923	-2.542	-2.327	-1.936	0.66
1.5	-3.888	-3.548	-3.169	-2.979	-2.661	0.664
2	-4.783	-4.41	-4.039	-3.871	-3.64	0.669
2.5	-5.444	-5.049	-4.698	-4.496	-4.341	0.671
3	-5.839	-5.431	-5.089	-4.893	-4.758	0.667
4	-6.598	-6.181	-5.882	-5.698	-5.588	0.647
5	-6.752	-6.347	-6.051	-5.873	-5.798	0.643

Lampiran 3 : Koefisien Active Shallow Crust Zhao dkk (2006)

IMT	QC	WC	tauC
PGA	0	0	0.303
0.05	0	0	0.326
0.1	0	0	0.342
0.15	0	0	0.331
0.2	0	0	0.312
0.25	0	0	0.298
0.3	0	0	0.3
0.4	0	0	0.346
0.5	-0.0126	0.0116	0.338
0.6	-0.0329	0.0202	0.349
0.7	-0.0501	0.0274	0.351
0.8	-0.065	0.0336	0.356
0.9	-0.0781	0.0391	0.348
1	-0.0899	0.044	0.338
1.25	-0.1148	0.0545	0.313
1.5	-0.1351	0.063	0.306
2	-0.1672	0.0764	0.283
2.5	-0.1921	0.0869	0.287
3	-0.2124	0.0954	0.278
4	-0.2445	0.1088	0.273
5	-0.2694	0.1193	0.275

Lampiran 4 : Koefisien Subduction Interface Zhao dkk (2006)

IMT	QI	WI	tauI
PGA	0	0	0.308
0.05	0	0	0.343
0.1	0	0	0.403
0.15	-0.0138	0.0286	0.367
0.2	-0.0256	0.0352	0.328
0.25	-0.0348	0.0403	0.289
0.3	-0.0423	0.0445	0.28
0.4	-0.0541	0.0511	0.271
0.5	-0.0632	0.0562	0.277
0.6	-0.0707	0.0604	0.296
0.7	-0.0771	0.0639	0.313
0.8	-0.0825	0.067	0.329
0.9	-0.0874	0.0697	0.324
1	-0.0917	0.0721	0.328
1.25	-0.1009	0.0772	0.339
1.5	-0.1083	0.0814	0.352
2	-0.1202	0.088	0.36
2.5	-0.1293	0.0931	0.356
3	-0.1368	0.0972	0.338
4	-0.1486	0.1038	0.307
5	-0.1578	0.109	0.272

Lampiran 5 : Koefisien Subduction Intraslab Zhao dkk (2006)

IMT	PS	QS	WS	tauS
PGA	0.1392	0.1584	-0.0529	0.321
0.05	0.1636	0.1932	-0.0841	0.378
0.1	0.169	0.2057	-0.0877	0.42
0.15	0.1669	0.1984	-0.0773	0.372
0.2	0.1631	0.1856	-0.0644	0.324
0.25	0.1588	0.1714	-0.0515	0.294
0.3	0.1544	0.1573	-0.0395	0.284
0.4	0.146	0.1309	-0.0183	0.278
0.5	0.1381	0.1078	-0.0008	0.272
0.6	0.1307	0.0878	0.0136	0.285
0.7	0.1239	0.0705	0.0254	0.29
0.8	0.1176	0.0556	0.0352	0.299
0.9	0.1116	0.0426	0.0432	0.289
1	0.106	0.0314	0.0498	0.286
1.25	0.0933	0.0093	0.0612	0.277
1.5	0.0821	-0.0062	0.0674	0.282
2	0.0628	-0.0235	0.0692	0.3
2.5	0.0465	-0.0287	0.0622	0.292
3	0.0322	-0.0261	0.0496	0.274
4	0.0083	-0.0065	0.015	0.281
5	-0.0117	0.0246	-0.0268	0.296

Lampiran 6 : Koefisien Boore dkk. (2014)

Period (sec)	e0	e1	e2	e3	e4	e5	e6	Mh	c1	c2	c3	Mref	Rref (km)	h (km)
-1.	5.0370	5.0780	4.8490	5.0330	1.0730	-0.1536	0.2252	6.2000	-1.2430	0.1489	-0.0034	4.5	1.0	5.30
0.	0.4473	0.4856	0.2459	0.4539	1.4310	0.0505	-0.1662	5.5000	-1.1340	0.1917	-0.0081	4.5	1.0	4.50
0.01	0.4534	0.4916	0.2519	0.4599	1.4210	0.0493	-0.1659	5.5000	-1.1340	0.1916	-0.0081	4.5	1.0	4.50
0.02	0.4860	0.5236	0.2971	0.4888	1.4331	0.0534	-0.1656	5.5000	-1.1394	0.1896	-0.0081	4.5	1.0	4.50
0.022	0.4987	0.5365	0.3135	0.4997	1.4336	0.0549	-0.1652	5.5000	-1.1405	0.1892	-0.0081	4.5	1.0	4.50
0.025	0.5228	0.5613	0.3443	0.5200	1.4328	0.0575	-0.1650	5.5000	-1.1419	0.1888	-0.0082	4.5	1.0	4.50
0.029	0.5595	0.5992	0.3915	0.5500	1.4279	0.0607	-0.1663	5.5000	-1.1423	0.1884	-0.0083	4.5	1.0	4.50
0.03	0.5692	0.6092	0.4039	0.5578	1.4261	0.0614	-0.1669	5.5000	-1.1421	0.1884	-0.0083	4.5	1.0	4.49
0.032	0.5880	0.6288	0.4279	0.5733	1.4227	0.0628	-0.1681	5.5000	-1.1412	0.1884	-0.0084	4.5	1.0	4.45
0.035	0.6164	0.6582	0.4625	0.5970	1.4174	0.0646	-0.1702	5.5000	-1.1388	0.1884	-0.0086	4.5	1.0	4.40
0.036	0.6255	0.6677	0.4734	0.6050	1.4158	0.0650	-0.1708	5.5000	-1.1378	0.1884	-0.0087	4.5	1.0	4.38
0.04	0.6628	0.7060	0.5153	0.6383	1.4090	0.0662	-0.1736	5.5000	-1.1324	0.1882	-0.0090	4.5	1.0	4.32
0.042	0.6809	0.7244	0.5345	0.6551	1.4059	0.0664	-0.1749	5.5000	-1.1292	0.1880	-0.0092	4.5	1.0	4.29
0.044	0.6988	0.7428	0.5528	0.6723	1.4033	0.0667	-0.1762	5.5000	-1.1259	0.1878	-0.0094	4.5	1.0	4.27
0.045	0.7082	0.7523	0.5622	0.6814	1.4021	0.0668	-0.1769	5.5000	-1.1242	0.1876	-0.0094	4.5	1.0	4.25
0.046	0.7178	0.7620	0.5717	0.6908	1.4009	0.0669	-0.1777	5.5000	-1.1224	0.1875	-0.0095	4.5	1.0	4.24
0.048	0.7357	0.7802	0.5889	0.7085	1.3991	0.0671	-0.1792	5.5000	-1.1192	0.1873	-0.0097	4.5	1.0	4.22
0.05	0.7544	0.7991	0.6065	0.7273	1.3974	0.0674	-0.1808	5.5000	-1.1159	0.1871	-0.0098	4.5	1.0	4.20
0.055	0.7996	0.8445	0.6477	0.7737	1.3947	0.0678	-0.1848	5.5000	-1.1082	0.1866	-0.0101	4.5	1.0	4.15
0.06	0.8439	0.8888	0.6856	0.8207	1.3954	0.0686	-0.1886	5.5000	-1.1009	0.1858	-0.0103	4.5	1.0	4.11
0.065	0.8866	0.9312	0.7194	0.8672	1.4004	0.0701	-0.1918	5.5000	-1.0942	0.1849	-0.0105	4.5	1.0	4.08
0.067	0.9027	0.9471	0.7317	0.8853	1.4032	0.0709	-0.1929	5.5000	-1.0918	0.1844	-0.0105	4.5	1.0	4.07

Period (sec)	e0	e1	e2	e3	e4	e5	e6	Mh	c1	c2	c3	Mref	Rref (km)	h (km)
0.07	0.9265	0.9706	0.7494	0.9123	1.4082	0.0721	-0.1945	5.5000	-1.0884	0.1837	-0.0106	4.5	1.0	4.06
0.075	0.9645	1.0077	0.7768	0.9563	1.4174	0.0735	-0.1967	5.5000	-1.0831	0.1823	-0.0106	4.5	1.0	4.04
0.08	1.0003	1.0426	0.8016	0.9982	1.4261	0.0737	-0.1982	5.5000	-1.0785	0.1805	-0.0106	4.5	1.0	4.02
0.085	1.0340	1.0755	0.8242	1.0379	1.4322	0.0719	-0.1990	5.5100	-1.0745	0.1786	-0.0105	4.5	1.0	4.03
0.09	1.0666	1.1076	0.8459	1.0762	1.4350	0.0681	-0.1993	5.5200	-1.0709	0.1764	-0.0104	4.5	1.0	4.07
0.095	1.0981	1.1385	0.8670	1.1127	1.4339	0.0623	-0.1990	5.5300	-1.0678	0.1742	-0.0103	4.5	1.0	4.10
0.1	1.1268	1.1669	0.8871	1.1454	1.4293	0.0552	-0.1984	5.5400	-1.0652	0.1720	-0.0102	4.5	1.0	4.13
0.11	1.1785	1.2179	0.9270	1.2030	1.4110	0.0374	-0.1960	5.5700	-1.0607	0.1677	-0.0100	4.5	1.0	4.19
0.12	1.2230	1.2621	0.9662	1.2502	1.3831	0.0164	-0.1927	5.6200	-1.0572	0.1635	-0.0097	4.5	1.0	4.24
0.13	1.2596	1.2986	1.0031	1.2869	1.3497	-0.0052	-0.1890	5.6600	-1.0549	0.1598	-0.0095	4.5	1.0	4.29
0.133	1.2692	1.3082	1.0135	1.2961	1.3395	-0.0114	-0.1879	5.6700	-1.0545	0.1588	-0.0094	4.5	1.0	4.30
0.14	1.2883	1.3270	1.0360	1.3137	1.3162	-0.0247	-0.1857	5.7000	-1.0537	0.1567	-0.0092	4.5	1.0	4.34
0.15	1.3095	1.3481	1.0648	1.3324	1.2844	-0.0421	-0.1823	5.7400	-1.0532	0.1540	-0.0090	4.5	1.0	4.39
0.16	1.3235	1.3615	1.0876	1.3437	1.2541	-0.0576	-0.1785	5.7800	-1.0533	0.1516	-0.0087	4.5	1.0	4.44
0.17	1.3306	1.3679	1.1040	1.3487	1.2244	-0.0719	-0.1742	5.8200	-1.0541	0.1495	-0.0085	4.5	1.0	4.49
0.18	1.3327	1.3689	1.1149	1.3492	1.1941	-0.0856	-0.1694	5.8500	-1.0556	0.1477	-0.0082	4.5	1.0	4.53
0.19	1.3307	1.3656	1.1208	1.3463	1.1635	-0.0989	-0.1640	5.8900	-1.0579	0.1462	-0.0080	4.5	1.0	4.57
0.2	1.3255	1.3590	1.1220	1.3414	1.1349	-0.1110	-0.1585	5.9200	-1.0607	0.1449	-0.0077	4.5	1.0	4.61
0.22	1.3091	1.3394	1.1133	1.3281	1.0823	-0.1330	-0.1470	5.9700	-1.0670	0.1426	-0.0072	4.5	1.0	4.68
0.24	1.2881	1.3150	1.0945	1.3132	1.0366	-0.1530	-0.1345	6.0300	-1.0737	0.1404	-0.0067	4.5	1.0	4.75
0.25	1.2766	1.3017	1.0828	1.3052	1.0166	-0.1621	-0.1278	6.0500	-1.0773	0.1393	-0.0065	4.5	1.0	4.78
0.26	1.2651	1.2886	1.0710	1.2972	0.9993	-0.1704	-0.1212	6.0700	-1.0808	0.1382	-0.0063	4.5	1.0	4.82

Period (sec)	e0	e1	e2	e3	e4	e5	e6	Mh	c1	c2	c3	Mref	Rref (km)	h (km)
0.28	1.2429	1.2635	1.0476	1.2815	0.9728	-0.1846	-0.1071	6.1100	-1.0879	0.1360	-0.0059	4.5	1.0	4.88
0.29	1.2324	1.2517	1.0363	1.2736	0.9635	-0.1906	-0.1001	6.1200	-1.0913	0.1350	-0.0057	4.5	1.0	4.90
0.3	1.2217	1.2401	1.0246	1.2653	0.9568	-0.1959	-0.0929	6.1400	-1.0948	0.1339	-0.0055	4.5	1.0	4.93
0.32	1.2007	1.2177	1.0011	1.2479	0.9500	-0.2045	-0.0789	6.1600	-1.1013	0.1318	-0.0051	4.5	1.0	4.98
0.34	1.1790	1.1955	0.9768	1.2286	0.9496	-0.2113	-0.0651	6.1800	-1.1074	0.1298	-0.0048	4.5	1.0	5.03
0.35	1.1674	1.1836	0.9638	1.2177	0.9508	-0.2145	-0.0579	6.1800	-1.1105	0.1289	-0.0047	4.5	1.0	5.06
0.36	1.1558	1.1720	0.9512	1.2066	0.9528	-0.2172	-0.0510	6.1900	-1.1133	0.1281	-0.0045	4.5	1.0	5.08
0.38	1.1305	1.1468	0.9244	1.1816	0.9590	-0.2221	-0.0368	6.1900	-1.1190	0.1265	-0.0043	4.5	1.0	5.12
0.4	1.1046	1.1214	0.8977	1.1552	0.9677	-0.2261	-0.0232	6.2000	-1.1243	0.1251	-0.0041	4.5	1.0	5.16
0.42	1.0782	1.0955	0.8707	1.1276	0.9786	-0.2292	-0.0104	6.2000	-1.1291	0.1239	-0.0039	4.5	1.0	5.20
0.44	1.0515	1.0697	0.8436	1.0995	0.9914	-0.2317	0.0012	6.2000	-1.1337	0.1228	-0.0037	4.5	1.0	5.24
0.45	1.0376	1.0562	0.8294	1.0847	0.9988	-0.2326	0.0066	6.2000	-1.1359	0.1223	-0.0036	4.5	1.0	5.25
0.46	1.0234	1.0426	0.8151	1.0696	1.0064	-0.2335	0.0119	6.2000	-1.1381	0.1218	-0.0035	4.5	1.0	5.27
0.48	0.9972	1.0172	0.7886	1.0415	1.0215	-0.2346	0.0208	6.2000	-1.1420	0.1209	-0.0034	4.5	1.0	5.30
0.5	0.9699	0.9911	0.7615	1.0120	1.0384	-0.2352	0.0291	6.2000	-1.1459	0.1202	-0.0032	4.5	1.0	5.34
0.55	0.9048	0.9283	0.6984	0.9417	1.0833	-0.2345	0.0469	6.2000	-1.1543	0.1185	-0.0029	4.5	1.0	5.41
0.6	0.8417	0.8672	0.6388	0.8735	1.1336	-0.2313	0.0627	6.2000	-1.1615	0.1167	-0.0026	4.5	1.0	5.48
0.65	0.7818	0.8088	0.5823	0.8095	1.1861	-0.2267	0.0780	6.2000	-1.1676	0.1147	-0.0024	4.5	1.0	5.53
0.667	0.7626	0.7899	0.5642	0.7892	1.2035	-0.2250	0.0831	6.2000	-1.1694	0.1139	-0.0023	4.5	1.0	5.54
0.7	0.7251	0.7530	0.5288	0.7499	1.2375	-0.2214	0.0932	6.2000	-1.1728	0.1125	-0.0021	4.5	1.0	5.56
0.75	0.6690	0.6974	0.4752	0.6917	1.2871	-0.2159	0.1083	6.2000	-1.1777	0.1105	-0.0019	4.5	1.0	5.60
0.8	0.6135	0.6420	0.4217	0.6352	1.3341	-0.2105	0.1226	6.2000	-1.1819	0.1087	-0.0018	4.5	1.0	5.63

Period (sec)	e0	e1	e2	e3	e4	e5	e6	Mh	c1	c2	c3	Mref	Rref (km)	h (km)
0.85	0.5585	0.5870	0.3681	0.5797	1.3780	-0.2053	0.1361	6.2000	-1.1854	0.1071	-0.0016	4.5	1.0	5.66
0.9	0.5030	0.5314	0.3138	0.5236	1.4208	-0.2001	0.1498	6.2000	-1.1884	0.1055	-0.0015	4.5	1.0	5.69
0.95	0.4470	0.4754	0.2592	0.4671	1.4623	-0.1949	0.1643	6.2000	-1.1909	0.1039	-0.0013	4.5	1.0	5.72
1.	0.3932	0.4218	0.2070	0.4124	1.5004	-0.1898	0.1790	6.2000	-1.1930	0.1025	-0.0012	4.5	1.0	5.74
1.1	0.2848	0.3137	0.1018	0.3021	1.5690	-0.1800	0.2104	6.2000	-1.1966	0.1002	-0.0010	4.5	1.0	5.82
1.2	0.1734	0.2026	-0.0062	0.1887	1.6282	-0.1709	0.2441	6.2000	-1.1996	0.0985	-0.0008	4.5	1.0	5.92
1.3	0.0615	0.0911	-0.1135	0.0743	1.6794	-0.1623	0.2780	6.2000	-1.2018	0.0974	-0.0006	4.5	1.0	6.01
1.4	-0.0458	-0.0157	-0.2155	-0.0361	1.7239	-0.1541	0.3096	6.2000	-1.2039	0.0967	-0.0005	4.5	1.0	6.10
1.5	-0.1495	-0.1187	-0.3138	-0.1437	1.7622	-0.1467	0.3390	6.2000	-1.2063	0.0964	-0.0004	4.5	1.0	6.18
1.6	-0.2486	-0.2167	-0.4068	-0.2471	1.7955	-0.1400	0.3662	6.2000	-1.2086	0.0963	-0.0003	4.5	1.0	6.26
1.7	-0.3415	-0.3084	-0.4930	-0.3447	1.8259	-0.1336	0.3907	6.2000	-1.2106	0.0963	-0.0002	4.5	1.0	6.33
1.8	-0.4298	-0.3956	-0.5739	-0.4382	1.8564	-0.1269	0.4124	6.2000	-1.2123	0.0962	-0.0001	4.5	1.0	6.40
1.9	-0.5128	-0.4773	-0.6490	-0.5268	1.8868	-0.1196	0.4315	6.2000	-1.2141	0.0963	0.0000	4.5	1.0	6.48
2.	-0.5867	-0.5500	-0.7147	-0.6066	1.9152	-0.1124	0.4479	6.2000	-1.2159	0.0964	0.0000	4.5	1.0	6.54
2.2	-0.7214	-0.6822	-0.8300	-0.7540	1.9681	-0.0980	0.4802	6.2000	-1.2190	0.0965	0.0000	4.5	1.0	6.66
2.4	-0.8481	-0.8069	-0.9326	-0.8941	2.0170	-0.0838	0.5187	6.2000	-1.2202	0.0962	0.0000	4.5	1.0	6.73
2.5	-0.9097	-0.8677	-0.9823	-0.9619	2.0406	-0.0763	0.5388	6.2000	-1.2201	0.0961	0.0000	4.5	1.0	6.77
2.6	-0.9686	-0.9258	-1.0313	-1.0266	2.0628	-0.0689	0.5581	6.2000	-1.2198	0.0961	0.0000	4.5	1.0	6.81
2.8	-1.0817	-1.0367	-1.1301	-1.1495	2.1014	-0.0552	0.5939	6.2000	-1.2189	0.0967	0.0000	4.5	1.0	6.87
3.	-1.1898	-1.1420	-1.2300	-1.2664	2.1323	-0.0433	0.6269	6.2000	-1.2179	0.0976	0.0000	4.5	1.0	6.93
3.2	-1.2914	-1.2406	-1.3255	-1.3760	2.1545	-0.0344	0.6581	6.2000	-1.2169	0.0986	0.0000	4.5	1.0	6.99
3.4	-1.3860	-1.3322	-1.4150	-1.4786	2.1704	-0.0279	0.6876	6.2000	-1.2160	0.0996	0.0000	4.5	1.0	7.08

Period (sec)	e0	e1	e2	e3	e4	e5	e6	Mh	c1	c2	c3	Mref	Rref (km)	h (km)
3.5	-1.4332	-1.3778	-1.4599	-1.5297	2.1775	-0.0250	0.7022	6.2000	-1.2156	0.1000	0.0000	4.5	1.0	7.12
3.6	-1.4762	-1.4193	-1.5014	-1.5764	2.1834	-0.0226	0.7152	6.2000	-1.2156	0.1004	0.0000	4.5	1.0	7.16
3.8	-1.5617	-1.5014	-1.5865	-1.6685	2.1938	-0.0184	0.7403	6.2000	-1.2158	0.1014	-0.0001	4.5	1.0	7.24
4.	-1.6388	-1.5748	-1.6673	-1.7516	2.2040	-0.0146	0.7630	6.2000	-1.2162	0.1022	-0.0001	4.5	1.0	7.32
4.2	-1.7116	-1.6439	-1.7451	-1.8290	2.2123	-0.0122	0.7855	6.2000	-1.2165	0.1027	0.0000	4.5	1.0	7.39
4.4	-1.7798	-1.7089	-1.8192	-1.9011	2.2181	-0.0115	0.8079	6.2000	-1.2169	0.1030	0.0000	4.5	1.0	7.46
4.6	-1.8469	-1.7731	-1.8923	-1.9712	2.2230	-0.0118	0.8313	6.2000	-1.2175	0.1032	0.0000	4.5	1.0	7.52
4.8	-1.9063	-1.8303	-1.9573	-2.0326	2.2268	-0.0129	0.8524	6.2000	-1.2182	0.1034	0.0000	4.5	1.0	7.64
5.	-1.9660	-1.8882	-2.0245	-2.0928	2.2299	-0.0149	0.8731	6.2000	-1.2189	0.1035	0.0000	4.5	1.0	7.78
5.5	-2.1051	-2.0232	-2.1908	-2.2288	2.2389	-0.0195	0.9147	6.2000	-1.2204	0.1046	0.0000	4.5	1.0	8.07
6.	-2.2421	-2.1563	-2.3659	-2.3579	2.2377	-0.0264	0.9487	6.2000	-1.2232	0.1075	0.0000	4.5	1.0	8.48
6.5	-2.3686	-2.2785	-2.5322	-2.4770	2.2150	-0.0395	0.9764	6.2000	-1.2299	0.1123	0.0000	4.5	1.0	8.90
7.	-2.4827	-2.3881	-2.6818	-2.5854	2.1720	-0.0591	0.9976	6.2000	-1.2408	0.1185	0.0000	4.5	1.0	9.20
7.5	-2.5865	-2.4874	-2.8176	-2.6854	2.1187	-0.0816	1.0121	6.2000	-1.2543	0.1251	0.0000	4.5	1.0	9.48
8.	-2.6861	-2.5829	-2.9438	-2.7823	2.0613	-0.1038	1.0232	6.2000	-1.2688	0.1315	0.0000	4.5	1.0	9.57
8.5	-2.7820	-2.6752	-3.0597	-2.8776	2.0084	-0.1211	1.0335	6.2000	-1.2839	0.1374	0.0000	4.5	1.0	9.62
9.	-2.8792	-2.7687	-3.1713	-2.9759	1.9605	-0.1341	1.0453	6.2000	-1.2989	0.1429	0.0000	4.5	1.0	9.66
9.5	-2.9769	-2.8634	-3.2785	-3.0760	1.9189	-0.1436	1.0567	6.2000	-1.3130	0.1478	0.0000	4.5	1.0	9.66
10.	-3.0702	-2.9537	-3.3776	-3.1726	1.8837	-0.1510	1.0651	6.2000	-1.3253	0.1518	0.0000	4.5	1.0	9.66

Lampiran 7 : Koefisien Site Boore dkk. (2014)

Period (sec)	Anelastic attenuation	Linear site term			Nonlinear site term				Basin depth	
	$\Delta c3$ (globalCATW)	c	Vc (m/s)	Vref (m/s)	f1	f3	f4	f5	f6 (1/km)	f7
pgv	0.000	-0.84000	1300	760	0.000	0.100	-0.100000	-0.00844	-9.9000	-9.9000
pga	0.000	-0.60000	1500	760	0.000	0.100	-0.150000	-0.00701	-9.9000	-9.9000
0.010	0.000	-0.60372	1500	760	0.000	0.100	-0.148330	-0.00701	-9.9000	-9.9000
0.020	0.000	-0.57388	1500	760	0.000	0.100	-0.147100	-0.00728	-9.9000	-9.9000
0.022	0.000	-0.56675	1501	760	0.000	0.100	-0.148010	-0.00732	-9.9000	-9.9000
0.025	0.000	-0.55520	1501	760	0.000	0.100	-0.150150	-0.00736	-9.9000	-9.9000
0.029	0.000	-0.53850	1501	760	0.000	0.100	-0.153870	-0.00737	-9.9000	-9.9000
0.030	0.000	-0.53414	1503	760	0.000	0.100	-0.154850	-0.00735	-9.9000	-9.9000
0.032	0.000	-0.52529	1503	760	0.000	0.100	-0.156850	-0.00731	-9.9000	-9.9000
0.035	0.000	-0.51192	1503	760	0.000	0.100	-0.160160	-0.00721	-9.9000	-9.9000
0.036	0.000	-0.50752	1503	760	0.000	0.100	-0.161420	-0.00717	-9.9000	-9.9000
0.040	0.000	-0.49065	1503	760	0.000	0.100	-0.167770	-0.00698	-9.9000	-9.9000
0.042	0.000	-0.48290	1503	760	0.000	0.100	-0.171930	-0.00687	-9.9000	-9.9000
0.044	0.000	-0.47572	1503	760	0.000	0.100	-0.176640	-0.00677	-9.9000	-9.9000
0.045	0.000	-0.47236	1503	760	0.000	0.100	-0.179140	-0.00672	-9.9000	-9.9000
0.046	0.000	-0.46915	1502	760	0.000	0.100	-0.181700	-0.00667	-9.9000	-9.9000
0.048	0.000	-0.46321	1502	760	0.000	0.100	-0.186880	-0.00656	-9.9000	-9.9000
0.050	0.000	-0.45795	1501	760	0.000	0.100	-0.192000	-0.00647	-9.9000	-9.9000
0.055	0.000	-0.44787	1501	760	0.000	0.100	-0.203690	-0.00625	-9.9000	-9.9000
0.060	0.000	-0.44186	1500	760	0.000	0.100	-0.213740	-0.00607	-9.9000	-9.9000

Period (sec)	Anelastic attenuation	Linear site term			Nonlinear site term				Basin depth	
	Δc_3 (globalCATW)	c	Vc (m/s)	Vref (m/s)	f1	f3	f4	f5	f6 (1/km)	f7
0.065	0.000	-0.43951	1499	760	0.000	0.100	-0.222250	-0.00593	-9.9000	-9.9000
0.067	0.000	-0.43950	1497	760	0.000	0.100	-0.225240	-0.00588	-9.9000	-9.9000
0.070	0.000	-0.44040	1496	760	0.000	0.100	-0.229310	-0.00582	-9.9000	-9.9000
0.075	0.000	-0.44411	1494	760	0.000	0.100	-0.235000	-0.00573	-9.9000	-9.9000
0.080	0.000	-0.45020	1492	760	0.000	0.100	-0.239440	-0.00567	-9.9000	-9.9000
0.085	0.000	-0.45813	1489	760	0.000	0.100	-0.242850	-0.00563	-9.9000	-9.9000
0.090	0.000	-0.46732	1486	760	0.000	0.100	-0.245440	-0.00561	-9.9000	-9.9000
0.095	0.000	-0.47721	1483	760	0.000	0.100	-0.247470	-0.00560	-9.9000	-9.9000
0.100	0.000	-0.48724	1479	760	0.000	0.100	-0.249160	-0.00560	-9.9000	-9.9000
0.110	0.000	-0.50632	1475	760	0.000	0.100	-0.252130	-0.00562	-9.9000	-9.9000
0.120	0.000	-0.52438	1470	760	0.000	0.100	-0.254550	-0.00567	-9.9000	-9.9000
0.130	0.000	-0.54214	1464	760	0.000	0.100	-0.256280	-0.00572	-9.9000	-9.9000
0.133	0.000	-0.54752	1458	760	0.000	0.100	-0.256650	-0.00574	-9.9000	-9.9000
0.140	0.000	-0.56032	1451	760	0.000	0.100	-0.257190	-0.00578	-9.9000	-9.9000
0.150	0.000	-0.57962	1443	760	0.000	0.100	-0.257130	-0.00585	-9.9000	-9.9000
0.160	0.000	-0.60052	1434	760	0.000	0.100	-0.256040	-0.00591	-9.9000	-9.9000
0.170	0.000	-0.62252	1425	760	0.000	0.100	-0.254140	-0.00597	-9.9000	-9.9000
0.180	0.000	-0.64486	1415	760	0.000	0.100	-0.251730	-0.00602	-9.9000	-9.9000
0.190	0.000	-0.66681	1404	760	0.000	0.100	-0.249110	-0.00608	-9.9000	-9.9000
0.200	0.000	-0.68762	1393	760	0.000	0.100	-0.246580	-0.00614	-9.9000	-9.9000
0.220	0.000	-0.72431	1381	760	0.000	0.100	-0.242350	-0.00626	-9.9000	-9.9000

Period (sec)	Anelastic attenuation	Linear site term			Nonlinear site term				Basin depth	
	Δc_3 (globalCATW)	c	Vc (m/s)	Vref (m/s)	f1	f3	f4	f5	f6 (1/km)	f7
0.240	0.000	-0.75646	1369	760	0.000	0.100	-0.238230	-0.00638	-9.9000	-9.9000
0.250	0.000	-0.77177	1356	760	0.000	0.100	-0.235740	-0.00644	-9.9000	-9.9000
0.260	0.000	-0.78697	1344	760	0.000	0.100	-0.232800	-0.00650	-9.9000	-9.9000
0.280	0.000	-0.81613	1332	760	0.000	0.100	-0.226010	-0.00660	-9.9000	-9.9000
0.290	0.000	-0.82950	1320	760	0.000	0.100	-0.222500	-0.00665	-9.9000	-9.9000
0.300	0.000	-0.84165	1308	760	0.000	0.100	-0.219120	-0.00670	-9.9000	-9.9000
0.320	0.000	-0.86175	1298	760	0.000	0.100	-0.213180	-0.00680	-9.9000	-9.9000
0.340	0.000	-0.87726	1288	760	0.000	0.100	-0.208160	-0.00689	-9.9000	-9.9000
0.350	0.000	-0.88375	1278	760	0.000	0.100	-0.205920	-0.00693	-9.9000	-9.9000
0.360	0.000	-0.88965	1269	760	0.000	0.100	-0.203790	-0.00697	-9.9000	-9.9000
0.380	0.000	-0.90038	1261	760	0.000	0.100	-0.199780	-0.00705	-9.9000	-9.9000
0.400	0.000	-0.91092	1253	760	0.000	0.100	-0.195820	-0.00713	-9.9000	-9.9000
0.420	0.000	-0.92241	1245	760	0.000	0.100	-0.191710	-0.00719	-9.9000	-9.9000
0.440	0.000	-0.93459	1237	760	0.000	0.100	-0.187470	-0.00726	-9.9000	-9.9000
0.450	0.000	-0.94075	1229	760	0.000	0.100	-0.185340	-0.00729	-9.9000	-9.9000
0.460	0.000	-0.94686	1221	760	0.000	0.100	-0.183210	-0.00732	-9.9000	-9.9000
0.480	0.000	-0.95863	1213	760	0.000	0.100	-0.179020	-0.00738	-9.9000	-9.9000
0.500	0.000	-0.96930	1204	760	0.000	0.100	-0.175000	-0.00744	-9.9000	-9.9000
0.550	0.000	-0.98925	1195	760	0.000	0.100	-0.166010	-0.00758	-9.9000	-9.9000
0.600	0.000	-1.00120	1185	760	0.000	0.100	-0.158300	-0.00773	-9.9000	-9.9000
0.650	0.000	-1.00780	1175	760	0.000	0.100	-0.151440	-0.00787	0.0058	0.0038

Period (sec)	Anelastic attenuation	Linear site term			Nonlinear site term				Basin depth	
	Δc_3 (globalCATW)	c	Vc (m/s)	Vref (m/s)	f1	f3	f4	f5	f6 (1/km)	f7
0.667	0.000	-1.00930	1166	760	0.000	0.100	-0.149230	-0.00792	0.0264	0.0171
0.700	0.000	-1.01170	1156	760	0.000	0.100	-0.145030	-0.00800	0.0555	0.0357
0.750	0.000	-1.01540	1148	760	0.000	0.100	-0.138660	-0.00812	0.0923	0.0590
0.800	0.000	-1.02100	1139	760	0.000	0.100	-0.132010	-0.00822	0.1404	0.0885
0.850	0.000	-1.02820	1131	760	0.000	0.100	-0.125170	-0.00830	0.1950	0.1203
0.900	0.000	-1.03600	1124	760	0.000	0.100	-0.118310	-0.00836	0.2520	0.1516
0.950	0.000	-1.04360	1117	760	0.000	0.100	-0.111600	-0.00841	0.3094	0.1808
1.000	0.000	-1.05000	1110	760	0.000	0.100	-0.105210	-0.00844	0.3670	0.2079
1.100	0.000	-1.05730	1103	760	0.000	0.100	-0.093837	-0.00847	0.4245	0.2331
1.200	0.000	-1.05840	1096	760	0.000	0.100	-0.084144	-0.00842	0.4812	0.2561
1.300	0.000	-1.05540	1089	760	0.000	0.100	-0.075819	-0.00829	0.5360	0.2765
1.400	0.000	-1.05040	1081	760	0.000	0.100	-0.068543	-0.00806	0.5883	0.2942
1.500	0.000	-1.04540	1072	760	0.000	0.100	-0.062000	-0.00771	0.6379	0.3094
1.600	0.000	-1.04210	1062	760	0.000	0.100	-0.055927	-0.00723	0.6889	0.3245
1.700	0.000	-1.04040	1049	760	0.000	0.100	-0.050286	-0.00666	0.7358	0.3372
1.800	0.000	-1.03970	1036	760	0.000	0.100	-0.045096	-0.00603	0.7799	0.3496
1.900	0.000	-1.03950	1023	760	0.000	0.100	-0.040373	-0.00540	0.8243	0.3641
2.000	0.000	-1.03920	1009	760	0.000	0.100	-0.036136	-0.00479	0.8714	0.3825
2.200	0.000	-1.03680	996	760	0.000	0.100	-0.029105	-0.00378	0.9203	0.4040
2.400	0.000	-1.03230	981	760	0.000	0.100	-0.023710	-0.00302	0.9693	0.4274
2.500	0.000	-1.02940	967	760	0.000	0.100	-0.021509	-0.00272	1.0167	0.4514

Period (sec)	Anelastic attenuation	Linear site term			Nonlinear site term				Basin depth	
	Δc_3 (globalCATW)	c	Vc (m/s)	Vref (m/s)	f1	f3	f4	f5	f6 (1/km)	f7
2.600	0.000	-1.02620	952	760	0.000	0.100	-0.019576	-0.00246	1.0601	0.4742
2.800	0.000	-1.01900	938	760	0.000	0.100	-0.016324	-0.00208	1.0990	0.4954
3.000	0.000	-1.01120	922	760	0.000	0.100	-0.013577	-0.00183	1.1348	0.5159
3.200	0.000	-1.00320	909	760	0.000	0.100	-0.011030	-0.00167	1.1638	0.5341
3.400	0.000	-0.99512	896	760	0.000	0.100	-0.008665	-0.00158	1.1882	0.5515
3.500	0.000	-0.99100	883	760	0.000	0.100	-0.007568	-0.00155	1.2114	0.5698
3.600	0.000	-0.98682	870	760	0.000	0.100	-0.006537	-0.00154	1.2336	0.5893
3.800	0.000	-0.97826	857	760	0.000	0.100	-0.004702	-0.00152	1.2534	0.6092
4.000	0.000	-0.96938	844	760	0.000	0.100	-0.003212	-0.00152	1.2711	0.6294
4.200	0.000	-0.96012	832	760	0.000	0.100	-0.002103	-0.00152	1.2870	0.6516
4.400	0.000	-0.95049	821	760	0.000	0.100	-0.001324	-0.00150	1.3004	0.6742
4.600	0.000	-0.94050	811	760	0.000	0.100	-0.000804	-0.00148	1.3125	0.6970
4.800	0.000	-0.93018	801	760	0.000	0.100	-0.000471	-0.00146	1.3225	0.7189
5.000	0.000	-0.91954	793	760	0.000	0.100	-0.000255	-0.00144	1.3289	0.7381
5.500	0.000	-0.89176	786	760	0.000	0.100	0.000072	-0.00140	1.3450	0.7780
6.000	0.000	-0.86286	780	760	0.000	0.100	0.000188	-0.00138	1.3500	0.8030
6.500	0.000	-0.83355	776	760	0.000	0.100	0.000159	-0.00137	1.3490	0.8150
7.000	0.000	-0.80457	773	760	0.000	0.100	0.000056	-0.00137	1.3420	0.8160
7.500	0.000	-0.77665	771	760	0.000	0.100	-0.000055	-0.00137	1.3290	0.8090
8.000	0.000	-0.75033	761	760	0.000	0.100	-0.000117	-0.00137	1.3080	0.7950
8.500	0.000	-0.72544	765	760	0.000	0.100	-0.000131	-0.00137	1.2820	0.7770

Period (sec)	Anelastic attenuation	Linear site term			Nonlinear site term				Basin depth	
	Δc_3 (globalCATW)	c	Vc (m/s)	Vref (m/s)	f1	f3	f4	f5	f6 (1/km)	f7
9.000	0.000	-0.70161	768	760	0.000	0.100	-0.000108	-0.00137	1.2520	0.7540
9.500	0.000	-0.67850	772	760	0.000	0.100	-0.000060	-0.00136	1.2180	0.7290
10.000	0.000	-0.65575	775	760	0.000	0.100	0.000000	-0.00136	1.1830	0.7030

Lampiran 8 : Koefisien Aleatory Boore dkk. (2014)

Period (sec)	R1 (km)	R2 (km)	$\Delta\phi R$	$\Delta\phi V$	V1 (m/s)	V2 (m/s)	$\phi 1$	$\phi 2$	$\tau 1$	$\tau 2$
-1	105	272	0.082	0.068	225	300	0.644	0.552	0.401	0.346
0	110	270	0.1	0.084	225	300	0.695	0.495	0.398	0.348
0.01	111.67	270	0.096	0.079	225	300	0.698	0.499	0.402	0.345
0.02	113.1	270	0.092	0.079	225	300	0.702	0.502	0.409	0.346
0.022	113.37	270	0.088	0.08	225	300	0.707	0.505	0.418	0.349
0.025	113.07	270	0.086	0.081	225	300	0.711	0.508	0.427	0.354
0.029	112.36	270	0.084	0.081s	225	300	0.716	0.51	0.436	0.359
0.03	112.13	270	0.081	0.082	225	300	0.721	0.514	0.445	0.364
0.032	111.65	270	0.078	0.082	225	300	0.726	0.516	0.454	0.369
0.035	110.64	270	0.077	0.083	225	300	0.73	0.518	0.462	0.374
0.036	109.53	270	0.075	0.083	225	300	0.734	0.52	0.47	0.379
0.04	108.28	270	0.073	0.084	225	300	0.738	0.521	0.478	0.384
0.042	106.99	270	0.072	0.083	225	300	0.742	0.523	0.484	0.39
0.044	105.41	270	0.07	0.083	225	300	0.745	0.525	0.49	0.397
0.045	103.61	270	0.069	0.082	225	300	0.748	0.527	0.496	0.405
0.046	101.7	270	0.067	0.081	225	300	0.75	0.529	0.499	0.412
0.048	99.76	270	0.065	0.079	225	300	0.752	0.53	0.502	0.419
0.05	97.93	270	0.063	0.077	225	300	0.753	0.532	0.503	0.426
0.055	96.03	270	0.062	0.075	225	300	0.753	0.534	0.502	0.434
0.06	94.1	270.01	0.061	0.073	225	300	0.753	0.536	0.499	0.441
0.065	92.08	270.02	0.061	0.07	225	300	0.752	0.538	0.495	0.448
0.067	90.01	270.02	0.061	0.067	225	300	0.75	0.54	0.489	0.455
0.07	87.97	270.03	0.062	0.064	225	300	0.748	0.541	0.483	0.461
0.075	85.99	270.04	0.064	0.062	225	300	0.745	0.542	0.474	0.466
0.08	84.23	270.05	0.067	0.06	225	300	0.741	0.543	0.464	0.468
0.085	82.74	270.06	0.072	0.058	225	300	0.737	0.543	0.452	0.468
0.09	81.54	270.07	0.076	0.057	225	300	0.734	0.542	0.44	0.466
0.095	80.46	270.08	0.082	0.057	225	300	0.731	0.542	0.428	0.464
0.1	79.59	270.09	0.087	0.057	225	300	0.728	0.541	0.415	0.458
0.11	79.05	270.11	0.093	0.059	225	300	0.726	0.54	0.403	0.451
0.12	78.85	270.13	0.099	0.061	225	300	0.724	0.539	0.392	0.441
0.13	78.99	270.15	0.104	0.063	225	300	0.723	0.538	0.381	0.43
0.133	79.47	270.15	0.11	0.066	225	300	0.722	0.538	0.371	0.417
0.14	80.26	270.16	0.115	0.069	225	300	0.721	0.537	0.362	0.403
0.15	81.33	270.16	0.12	0.072	225	300	0.72	0.537	0.354	0.388
0.16	82.86	270.16	0.125	0.076	225	300	0.72	0.536	0.349	0.372
0.17	84.72	270.14	0.128	0.079	225	300	0.718	0.536	0.346	0.357
0.18	86.67	270.11	0.131	0.081	225	300	0.717	0.536	0.344	0.341
0.19	88.73	270.06	0.134	0.084	225	300	0.714	0.537	0.343	0.324
0.2	90.91	270	0.136	0.086	225	300	0.711	0.539	0.344	0.309
0.22	93.04	269.83	0.138	0.087	225	300	0.708	0.541	0.345	0.294
0.24	95.08	269.59	0.14	0.088	225	300	0.703	0.544	0.347	0.28
0.25	97.04	269.45	0.141	0.089	225	300	0.698	0.547	0.35	0.266
0.26	98.87	269.3	0.141	0.09	225	300	0.693	0.55	0.353	0.255
0.28	100.53	268.96	0.14	0.091	225	300	0.687	0.554	0.357	0.244
0.29	102.01	268.78	0.139	0.092	225	300	0.681	0.557	0.36	0.236
0.3	103.15	268.59	0.138	0.093	225	300	0.675	0.561	0.363	0.229
0.32	104	268.2	0.135	0.094	225	300	0.67	0.566	0.366	0.223
0.34	104.7	267.79	0.133	0.094	225	300	0.664	0.57	0.369	0.218
0.35	105.26	267.58	0.13	0.047	225	300	0.658	0.573	0.372	0.215

Period (sec)	R1 (km)	R2 (km)	$\Delta\phi_R$	$\Delta\phi_V$	V1 (m/s)	V2 (m/s)	ϕ_1	ϕ_2	τ_1	τ_2
0.36	105.61	267.37	0.128	0.047	225	300	0.653	0.576	0.375	0.212
0.38	105.87	266.95	0.125	0.048	225	300	0.648	0.578	0.378	0.21
0.4	106.02	266.54	0.122	0.049	225	300	0.643	0.58	0.381	0.21
0.42	106.03	266.16	0.12	0.051	225	300	0.638	0.583	0.384	0.21
0.44	105.92	265.8	0.117	0.053	225	300	0.634	0.585	0.388	0.211
0.45	105.79	265.64	0.115	0.054	225	300	0.629	0.589	0.393	0.213
0.46	105.69	265.48	0.113	0.055	225	300	0.624	0.592	0.398	0.216
0.48	105.59	265.21	0.111	0.057	225	300	0.619	0.595	0.404	0.219
0.5	105.54	265	0.109	0.06	225	300	0.615	0.599	0.41	0.224
0.55	105.61	264.74	0.108	0.066	225	300	0.61	0.603	0.417	0.229
0.6	105.83	264.83	0.106	0.071	225	300	0.605	0.607	0.424	0.235
0.65	106.2	265.2	0.105	0.073	225	300	0.599	0.611	0.431	0.243
0.667	106.75	265.38	0.103	0.074	225	300	0.593	0.615	0.44	0.25
0.7	107.48	265.78	0.102	0.073	225	300	0.587	0.619	0.448	0.258
0.75	108.39	266.51	0.1	0.07	225	300	0.581	0.622	0.457	0.266
0.8	109.62	267.32	0.099	0.063	225	300	0.576	0.624	0.466	0.274
0.85	111.08	268.14	0.099	0.053	225	300	0.57	0.625	0.475	0.281
0.9	112.71	268.9	0.098	0.042	225	300	0.564	0.626	0.483	0.288
0.95	114.5	269.55	0.098	0.03	225	300	0.558	0.626	0.491	0.294
1	116.39	270	0.098	0.02	225	300	0.553	0.625	0.498	0.298
1.9	129.86	245.25	0.106	0.071	225	300	0.526	0.618	0.532	0.326
2	130.37	240.14	0.105	0.069	225	300	0.526	0.618	0.532	0.329
2.2	130.67	229.55	0.103	0.066	225	300	0.527	0.619	0.533	0.332
2.4	130.81	219.05	0.1	0.064	225	300	0.528	0.619	0.533	0.335
2.5	130.81	214.04	0.097	0.061	225	300	0.53	0.619	0.534	0.337
2.6	130.72	209.32	0.094	0.058	225	300	0.531	0.62	0.535	0.34
2.8	130.57	201.08	0.091	0.056	225	300	0.532	0.619	0.536	0.342
3	130.36	195	0.088	0.053	225	300	0.534	0.619	0.537	0.344
3.2	130.13	191.61	0.084	0.05	225	300	0.535	0.618	0.538	0.345
3.4	129.9	190.73	0.081	0.047	225	300	0.535	0.618	0.54	0.346
3.5	129.71	191.11	0.078	0.045	225	300	0.536	0.617	0.541	0.347
3.6	129.56	191.98	0.075	0.042	225	300	0.536	0.616	0.542	0.348
3.8	129.49	195.01	0.072	0.039	225	300	0.536	0.616	0.543	0.349
4	129.49	199.45	0.07	0.036	225	300	0.536	0.616	0.543	0.349
4.2	129.57	204.93	0.068	0.034	225	300	0.535	0.616	0.542	0.349
4.4	129.71	211.09	0.066	0.033	225	300	0.534	0.617	0.54	0.347
4.6	129.87	217.56	0.064	0.032	225	300	0.533	0.619	0.538	0.345
4.8	130.05	223.99	0.063	0.032	225	300	0.531	0.621	0.535	0.341
5	130.22	230	0.061	0.032	225	300	0.528	0.622	0.532	0.335
5.5	130.39	241.86	0.06	0.031	225	300	0.526	0.624	0.528	0.329
6	130.53	249.34	0.059	0.031	225	300	0.524	0.625	0.524	0.321
6.5	130.63	252.94	0.059	0.032	225	300	0.52	0.634	0.517	0.312
7	130.7	253.12	0.059	0.033	225	300	0.515	0.636	0.514	0.302
7.5	130.72	250.39	0.058	0.034	225	300	0.512	0.634	0.511	0.27
8	130.87	245.23	0.059	0.033	225	300	0.51	0.63	0.507	0.278
8.5	130.71	238.13	0.059	0.031	225	300	0.509	0.622	0.503	0.265
9	130.5	229.56	0.06	0.028	225	300	0.509	0.613	0.498	0.252
9.5	130.26	220.02	0.06	0.025	225	300	0.509	0.604	0.492	0.239
10	130	210	0.06	0.025	225	300	0.51	0.604	0.487	0.239

Lampiran 9 : Koefisien Dependent Chiou & Youngs (2014)

Period(s)	c1	c1a	c1b	c1c	c1d	c11(cn)	cM	c3	c5	cHM	c6
PGA	-1.5065	0.165	-0.255	-0.165	0.255	16.0875	4.9993	1.9636	6.4551	3.0956	0.4908
PGV	2.3549	0.165	-0.0626	-0.165	0.0626	3.3024	5.423	2.3152	5.8096	3.0514	0.4407
0.01	-1.5065	0.165	-0.255	-0.165	0.255	16.0875	4.9993	1.9636	6.4551	3.0956	0.4908
0.02	-1.4798	0.165	-0.255	-0.165	0.255	15.7118	4.9993	1.9636	6.4551	3.0963	0.4925
0.03	-1.2972	0.165	-0.255	-0.165	0.255	15.8819	4.9993	1.9636	6.4551	3.0974	0.4992
0.04	-1.1007	0.165	-0.255	-0.165	0.255	16.4556	4.9993	1.9636	6.4551	3.0988	0.5037
0.05	-0.9292	0.165	-0.255	-0.165	0.255	17.6453	4.9993	1.9636	6.4551	3.1011	0.5048
0.075	-0.658	0.165	-0.254	-0.165	0.254	20.1772	5.0031	1.9636	6.4551	3.1094	0.5048
0.1	-0.5613	0.165	-0.253	-0.165	0.253	19.9992	5.0172	1.9636	6.8305	3.2381	0.5048
0.12	-0.5342	0.165	-0.252	-0.165	0.252	18.7106	5.0315	1.9795	7.1333	3.3407	0.5048
0.15	-0.5462	0.165	-0.25	-0.165	0.25	16.6246	5.0547	2.0362	7.3621	3.43	0.5045
0.17	-0.5858	0.165	-0.248	-0.165	0.248	15.3709	5.0704	2.0823	7.4365	3.4688	0.5036
0.2	-0.6798	0.165	-0.2449	-0.165	0.2449	13.7012	5.0939	2.1521	7.4972	3.5146	0.5016
0.25	-0.8663	0.165	-0.2382	-0.165	0.2382	11.2667	5.1315	2.2574	7.5416	3.5746	0.4971
0.3	-1.0514	0.165	-0.2313	-0.165	0.2313	9.1908	5.167	2.344	7.56	3.6232	0.4919
0.4	-1.3794	0.165	-0.2146	-0.165	0.2146	6.5459	5.2317	2.4709	7.5735	3.6945	0.4807
0.5	-1.6508	0.165	-0.1972	-0.165	0.1972	5.2305	5.2893	2.5567	7.5778	3.7401	0.4707
0.75	-2.1511	0.165	-0.162	-0.165	0.162	3.7896	5.4109	2.6812	7.5808	3.7941	0.4575
1	-2.5365	0.165	-0.14	-0.165	0.14	3.3024	5.5106	2.7474	7.5814	3.8144	0.4522
1.5	-3.0686	0.165	-0.1184	-0.165	0.1184	2.8498	5.6705	2.8161	7.5817	3.8284	0.4501
2	-3.4148	0.1645	-0.11	-0.1645	0.11	2.5417	5.7981	2.8514	7.5818	3.833	0.45
3	-3.9013	0.1168	-0.104	-0.1168	0.104	2.1488	5.9983	2.8875	7.5818	3.8361	0.45
4	-4.2466	0.0732	-0.102	-0.0732	0.102	1.8957	6.1552	2.9058	7.5818	3.8369	0.45
5	-4.5143	0.0484	-0.101	-0.0484	0.101	1.7228	6.2856	2.9169	7.5818	3.8376	0.45
7.5	-5.0009	0.022	-0.101	-0.022	0.101	1.5737	6.5428	2.932	7.5818	3.838	0.45
10	-5.3461	0.0124	-0.1	-0.0124	0.1	1.5265	6.7415	2.9396	7.5818	3.838	0.45

Lanjutan Lampiran 9 : Koefisien Dependent Chiou & Youngs (2014)

Period(s)	c7	c7b	c8	c8b	c9	c9a	c9b	c11b	cg1	cg2	cg3
PGA	0.0352	0.0462	0	0.4833	0.9228	0.1202	6.8607	-0.4536	-0.007146	-0.00676	4.2542
PGV	0.0324	0.0097	0.2154	5	0.3079	0.1	6.5	-0.3834	-0.001852	-0.0074	4.3439
0.01	0.0352	0.0462	0	0.4833	0.9228	0.1202	6.8607	-0.4536	-0.007146	-0.00676	4.2542
0.02	0.0352	0.0472	0	0.4833	0.9228	0.1202	6.8607	-0.4536	-0.007249	-0.00676	4.2542
0.03	0.0352	0.0533	0	1.9636	0.9396	0.1202	6.8607	-0.4536	-0.007278	-0.00676	4.2542
0.04	0.0352	0.0596	0	1.9636	0.9668	0.1202	6.8607	-0.4536	-0.007321	-0.00676	4.2542
0.05	0.0352	0.0639	0	1.9636	0.9794	0.1202	6.8607	-0.4536	-0.007381	-0.00676	4.3578
0.075	0.0352	0.063	0	1.6421	0.999	0.1194	6.9113	-0.4536	-0.007869	-0.00676	4.7603
0.1	0.0352	0.0532	0	2.181	1.0177	0.1176	7.0285	-0.4536	-0.008073	-0.00676	4.953
0.12	0.0352	0.0452	0	2.6087	1.0294	0.1146	7.1504	-0.4536	-0.00823	-0.00676	4.953
0.15	0.0352	0.0345	0	3.58	1.0071	0.1106	7.272	-0.444	-0.009537	-0.00381	5.0671
0.17	0.0352	0.0202	0	4.3439	0.9459	0.1208	7.3097	-0.444	-0.009796	-0.00398	5.188
0.2	0.0352	0	0	4.3439	0.8829	0.1175	7.2988	-0.444	-0.009905	-0.00269	5.1954
0.25	0.0352	-0.0128	0	4.0711	0.7884	0.1061	6.8739	-0.2688	-0.008251	-0.00181	5.2407
0.3	0.0352	-0.0004	0	0.2695	4.0711	0.8829	0.1175	6.8789	-0.2688	-0.00825	-0.00181
0.4	0.0352	-0.0227	0.0991	4.6309	0.6386	0.1062	6.526	-0.1628	-0.006492	-0.00107	5.1894
0.5	0.0352	-0.0237	0.1982	5.0371	0.5109	0.1	6.5	-0.1403	-0.005147	-0.00112	4.7834
0.75	0.0352	-0.031	0.2154	5.7033	0.3914	0.1	6.5	-0.1185	-0.00386	-0.0019	4.1067
1	0.0352	-0.0349	0.2154	6.362	0.3094	0.1	6.5	-0.1109	-0.00234	-0.00235	3.7928
1.5	0.0352	-0.0376	0.2154	7.1419	0.2008	0.1	6.5	-0.1048	-0.001346	-0.00331	3.4942
2	0.0352	-0.0403	0.2154	6.6437	0.1089	0.1	6.5	-0.1002	-0.000917	-0.00357	3.2049
3	0.016	-0.0539	0.2154	6.0583	0.0681	0.1	6.5	-0.1001	-0.001801	-0.00364	3.7349
4	0.006	-0.0635	0.2154	5.5844	0.0673	0.1	6.5	-0.1001	-0.001647	-0.00388	3.552
5	0.0029	-0.0739	0.2154	5.2451	0.0732	0.1	6.5	-0.1001	-0.001101	-0.00384	3.3299
7.5	0.0007	-0.0928	0.2154	4.275	0.0826	0.1	6.5	-0.1001	-0.000275	-0.00345	3.0835
10	0.0003	-0.1081	0.2154	3.799	0.0858	0.1	6.5	-0.1	-0.000095	-0.0037	3.623

Lampiran 10 : Koefisien Respons Situs Chiou & Youngs (2014)

Period(s)	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5	Φ_6
PGA	-0.521	-0.1417	-0.00701	0.102151	0	300
PGV	-0.7936	-0.0699	-0.00844	5.41	0.0202	300
0.01	-0.521	-0.1417	-0.00701	0.102151	0	300
0.02	-0.5055	-0.1364	-0.00728	0.10836	0	300
0.03	-0.4368	-0.1403	-0.00735	0.119888	0	300
0.04	-0.3752	-0.1591	-0.00698	0.133641	0	300
0.05	-0.3469	-0.1862	-0.00647	0.148927	0	300
0.075	-0.3747	-0.2538	-0.00573	0.190596	0	300
0.1	-0.444	-0.2943	-0.0056	0.230662	0	300
0.12	-0.4895	-0.3077	-0.0057	0.253169	0	300
0.15	-0.5477	-0.3113	-0.00585	0.266468	0	300
0.17	-0.5922	-0.3062	-0.00596	0.26506	0	300
0.2	-0.6693	-0.2927	-0.00614	0.255253	0	300
0.25	-0.7766	-0.2662	-0.00644	0.231541	0	300
0.3	-0.8501	-0.2405	-0.0067	0.207277	0.001	300
0.4	-0.9431	-0.1975	-0.00713	0.165464	0.004	300
0.5	-1.0044	-0.1633	-0.00744	0.133828	0.01	300
0.75	-1.0602	-0.1028	-0.00812	0.085153	0.034	300
1	-1.0941	-0.0699	-0.00844	0.058595	0.067	300
1.5	-1.1142	-0.0425	-0.00771	0.031787	0.143	300
2	-1.1154	-0.0302	-0.00479	0.019716	0.203	300
3	-1.1081	-0.0129	-0.00183	0.009643	0.277	300
4	-1.0603	-0.0016	-0.00152	0.005379	0.309	300
5	-0.9872	0	-0.00144	0.003223	0.321	300
7.5	-0.8274	0	-0.00137	0.001134	0.329	300
10	-0.7053	0	-0.00136	0.000515	0.33	300

Lampiran 11 : Koefisien di Luar California Chiou & Youngs (2014)

Period(s)	γ_{Jp-It}	γ_{Wn}	Φ_{1Jp}	Φ_{5Jp}	Φ_{6Jp}
PGA	1.5817	0.7594	-0.6846	0.459	800
PGV	2.2306	0.335	-0.7966	0.9488	800
0.01	1.5817	0.7594	-0.6846	0.459	800
0.02	1.574	0.7606	-0.6681	0.458	800
0.03	1.5544	0.7642	-0.6314	0.462	800
0.04	1.5502	0.7676	-0.5855	0.453	800
0.05	1.5391	0.7739	-0.5457	0.436	800
0.075	1.4804	0.7956	-0.4685	0.383	800
0.1	1.4094	0.7932	-0.4985	0.375	800
0.12	1.3682	0.7768	-0.5603	0.377	800
0.15	1.3241	0.7437	-0.6451	0.379	800
0.17	1.3071	0.7219	-0.6981	0.38	800
0.2	1.2931	0.6922	-0.7653	0.384	800
0.25	1.315	0.6579	-0.8469	0.393	800
0.3	1.3514	0.6362	-0.8999	0.408	800
0.4	1.4051	0.6049	-0.9618	0.462	800
0.5	1.4402	0.5507	-0.9945	0.524	800
0.75	1.528	0.3582	-1.0225	0.658	800
1	1.6523	0.2003	-1.0002	0.78	800
1.5	1.8872	0.0356	-0.9245	0.96	800
2	2.1348	0	-0.8626	1.11	800
3	3.5752	0	-0.7882	1.291	800
4	3.8646	0	-0.7195	1.387	800
5	3.7292	0	-0.656	1.433	800
7.5	2.3763	0	-0.5202	1.46	800
10	1.7679	0	-0.4068	1.464	800

Lampiran 12 : Koefisien Aleatory Chiou & Youngs (2014)

Period(s)	τ_1	τ_2	σ_1	σ_2	σ_3	$\sigma_{2/p}$
PGA	0.4	0.26	0.4912	0.3762	0.8	0.4528
PGV	0.3894	0.2578	0.4785	0.3629	0.7504	0.3918
0.01	0.4	0.26	0.4912	0.3762	0.8	0.4528
0.02	0.4026	0.2637	0.4904	0.3762	0.8	0.4551
0.03	0.4063	0.2689	0.4988	0.3849	0.8	0.4571
0.04	0.4095	0.2736	0.5049	0.391	0.8	0.4642
0.05	0.4124	0.2777	0.5096	0.3957	0.8	0.4716
0.075	0.4179	0.2855	0.5179	0.4043	0.8	0.5022
0.1	0.4219	0.2913	0.5236	0.4104	0.8	0.523
0.12	0.4244	0.2949	0.527	0.4143	0.8	0.5278
0.15	0.4275	0.2993	0.5308	0.4191	0.8	0.5304
0.17	0.4292	0.3017	0.5328	0.4217	0.8	0.531
0.2	0.4313	0.3047	0.5351	0.4252	0.8	0.5312
0.25	0.4341	0.3087	0.5377	0.4299	0.7999	0.5309
0.3	0.4363	0.3119	0.5395	0.4338	0.7997	0.5307
0.4	0.4396	0.3165	0.5422	0.4399	0.7988	0.531
0.5	0.4419	0.3199	0.5433	0.4446	0.7966	0.5313
0.75	0.4459	0.3255	0.5294	0.4533	0.7792	0.5309
1	0.4484	0.3291	0.5105	0.4594	0.7504	0.5302
1.5	0.4515	0.3335	0.4783	0.468	0.7136	0.5276
2	0.4534	0.3363	0.4681	0.4681	0.7035	0.5167
3	0.4558	0.3398	0.4617	0.4617	0.7006	0.4917
4	0.4574	0.3419	0.4571	0.4571	0.7001	0.4682
5	0.4584	0.3435	0.4535	0.4535	0.7	0.4517
7.5	0.4601	0.3459	0.4471	0.4471	0.7	0.4167
10	0.4612	0.3474	0.4426	0.4426	0.7	0.3755

Lampiran 13 : Koefisien Campbell & Bozorgnia (2014)

Period(s)	c0	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11	c12	c13	c14	c15
PGA	-4.416	0.98s4	0.537	-1.499	0.496	-2.773	0.248	6.768	0	-0.212	0.72	1.09	2.186	1.42	-0.0064	-0.202
PGV	-2.895	1.51	0.27	-1.299	0.453	-2.466	0.204	5.837	0	-0.168	0.305	1.713	2.602	2.457	0.106	0.332
0.01	-4.365	0.977	0.533	-1.485	-0.499	-2.773	0.248	6.753	0	-0.214	0.72	1.094	2.191	1.416	-0.007	-0.207
0.02	-4.348	0.976	0.549	-1.488	-0.501	-2.772	0.247	6.502	0	-0.208	0.73	1.149	2.189	1.453	-0.0167	-0.199
0.03	-4.024	0.931	0.628	-1.494	-0.517	-2.782	0.246	6.291	0	-0.213	0.759	1.29	2.164	1.476	-0.0422	-0.202
0.05	-3.479	0.887	0.674	-1.388	-0.615	-2.791	0.24	6.317	0	-0.244	0.826	1.449	2.138	1.549	-0.0663	-0.339
0.075	-3.293	0.902	0.726	-1.469	-0.596	-2.745	0.227	6.861	0	-0.266	0.815	1.535	2.446	1.772	-0.0794	-0.404
0.1	-3.666	0.993	0.698	-1.572	-0.536	-2.633	0.21	7.294	0	-0.229	0.831	1.615	2.969	1.916	-0.0294	-0.416
0.15	-4.866	1.267	0.51	-1.669	-0.49	-2.458	0.183	8.031	0	-0.211	0.749	1.877	3.544	2.161	0.0642	-0.407
0.2	-5.411	1.366	0.447	-1.75	-0.451	-2.421	0.182	8.385	0	-0.163	0.764	2.069	3.707	2.465	0.0968	-0.311
0.25	-5.962	1.458	0.274	-1.711	-0.404	-2.392	0.189	7.534	0	-0.15	0.716	2.205	3.343	2.766	0.1441	-0.172
0.3	-6.403	1.528	0.193	-1.77	-0.321	-2.376	0.195	6.99	0	-0.131	0.737	2.306	3.334	3.011	0.1597	-0.084
0.4	-7.566	1.739	-0.02	-1.594	-0.426	-2.303	0.185	7.012	0	-0.159	0.738	2.398	3.544	3.203	0.141	0.085
0.5	-8.379	1.872	0.121	-1.577	-0.44	-2.296	0.186	6.902	0	-0.153	0.718	2.355	3.016	3.333	0.1474	0.233
0.75	-9.841	2.021	0.042	-1.757	-0.443	2.232	0.186	5.522	0	-0.09	0.795	1.995	2.616	3.054	0.1764	0.411
1	-11.011	2.18	-0.069	-1.707	-0.527	-2.158	0.169	5.65	0	-0.105	0.556	1.447	2.47	2.562	0.2593	0.479
15	-12.469	2.27	0.047	-1.621	-0.63	-2.063	0.158	5.795	0	-0.058	0.48	0.33	2.108	1.453	0.2881	0.566
2	-12.969	2.271	0.149	-1.512	-0.768	-2.104	0.158	6.632	0	-0.028	0.401	-0.514	1.327	0.657	3.112	0.562
3	-13.306	2.15	0.368	-1.315	-0.89	-2.051	0.148	6.759	0	0	0.206	-0.848	0.601	0.367	3.478	0.534
4	-14.02	2.132	0.726	-1.506	-0.885	1.986	0.135	7.978	0	0	0.105	-0.793	0.568	0.306	3.747	0.522
5	-14.558	2.116	1.027	-1.721	0.878	-2.021	0.135	8.538	0	0	0	0.748	0.356	0.268	3.382	0.477
7.5	-15.509	2.223	0.169	0.756	1.077	-2.179	0.165	8.468	0	0	0	0.664	0.075	0.374	3.754	0.321
10	-15.975	2.132	0.367	-0.8	-1.282	-2.244	0.18	6.564	0	0	0	0.576	-0.027	0.297	3.506	0.174

Lanjutan Lampiran 13 : Koefisien Campbell & Bozorgnia (2014)

Period (s)	c16	c17	c18	c19	c20	Δc_{20JI}	Δc_{20CH}	k1	k2	k3	a1	h1	h2	h3	h5	h6
PGA	0.393	0.0097	0.0323	0.00061	-0.0055	-0.0035	0.0036	865	-1.955	1.929	0.167	0.244	1.474	-0.711	-0.233	-0.27
PGV	0.585	0.0052	0.0017	0	-0.0017	-0.0006	0.0036	400	-1.955	1.929	0.596	0.117	1.616	-0.733	-0.128	-0.756
0.01	0.39	0.0981	0.0334	0.00755	-0.0055	-0.0035	0.0036	865	-1.186	1.839	0.168	0.242	1.471	-0.714	0.336	-0.27
0.02	0.387	0.1009	0.0327	0.00759	-0.0055	-0.0035	0.0036	865	-1.219	1.84	0.166	0.244	1.467	-0.711	-0.339	-0.263
0.03	0.378	0.1095	0.0331	0.0079	-0.0057	-0.0034	0.0037	908	-1.273	1.841	0.167	0.246	1.467	-0.713	0.338	-0.259
0.05	0.295	0.1226	0.027	0.00803	-0.0063	-0.0037	0.004	1054	-1.346	1.843	0.173	0.24	1.449	-0.701	-0.338	-0.263
0.075	0.384	0.0998	0.0325	0.00774	-0.0073	-0.0034	0.0042	1032	-1.527	1.847	0.179	0.251	1.449	-0.701	-0.338	-0.263
0.1	0.417	0.076	0.0338	0.00716	-0.0069	-0.003	0.0042	878	-1.931	1.852	0.194	0.242	1.445	-0.708	-0.391	-0.201
0.15	0.44	0.0453	0.04	0.00586	-0.0055	-0.0033	0.0036	654	-2.381	1.861	0.185	0.244	1.461	-0.711	-0.449	-0.099
0.2	0.466	0.031	0.0463	0.00556	-0.0055	-0.0033	0.0036	503	-2.518	1.869	0.208	0.251	1.581	-0.731	-0.34	-0.219
0.25	0.466	0.0437	0.0465	0.00545	-0.0056	-0.0033	0.0036	457	-2.657	1.874	0.216	0.247	1.581	-0.737	-0.525	-0.11
0.3	0.54	0.0209	0.0432	0.00551	-0.0037	-0.0034	0.0028	410	-2.669	1.875	0.216	0.226	1.554	-0.77	-0.525	-0.086
0.4	0.776	0.0082	0.042	0.00401	-0.0037	-0.0034	0.0028	400	-2.401	1.906	0.596	0.226	1.554	-0.77	-0.371	-0.281
0.5	0.771	0.0131	0.0426	0.00402	-0.0016	-0.0032	0.0025	400	-1.955	1.929	0.596	0.154	1.626	-0.78	-0.128	-0.285
0.75	0.763	0.0077	0.0252	0.00448	0	0	0.0006	400	-0.299	2.019	0.596	0.117	1.616	-0.733	-0.128	-0.756
1	0.74	0.0122	0.0252	0.00448	0	0	0.0006	400	0	2.069	0.596	0.117	1.616	-0.733	-0.128	-0.756
1.5	0.691	0.0136	0.0102	0.00603	0	0	0	400	0	2.2	0.596	0.117	1.616	-0.733	-0.128	-0.756
2	0.688	0.0143	0.0102	0.00603	0	0	0	400	0	2.333	0.596	0.117	1.616	-0.733	-0.128	-0.756
3	0.621	0.0119	0.005	0.0028	0	0	0	400	0	2.744	0.596	0.117	1.616	-0.733	-0.128	-0.756
4	0.539	0.0096	0.0102	0.00063	0	0	0	400	0	3.037	0.596	0.117	1.616	-0.733	-0.128	-0.756
5	0.575	0.0118	0.005	0.00006	0	0	0	400	0	3.227	0.596	0.117	1.616	-0.733	-0.128	-0.756
7.5	0.393	0.0119	0.0102	0.00005	0	0	0	400	0	3.999	0.596	0.117	1.616	-0.733	-0.128	-0.756
10	0.585	0.0057	0.0327	0.00063	-0.0055	-0.0006	0.0036	865	-1.955	1.929	0.596	0.117	1.616	-0.733	-0.128	-0.756

Lampiran 14 : Standar Deviasi dan Aleatory Campbell & Bozorgnia (2014)

T (s)	τ_1	τ_2	Φ_1	Φ_2	Φ_3	σ		$\rho_{\ln PGA, \ln Y}$
						(M $\leq$ 4.5)	(M $>$ 5.5)	
PGA	0.409	0.322	0.734	0.492	0.3	0.84	0.588	1
PGV	0.317	0.297	0.655	0.494	0.3	0.728	0.576	0.684
0.01	0.404	0.325	0.734	0.492	0.3	0.838	0.59	1
0.02	0.417	0.326	0.738	0.496	0.3	0.848	0.594	0.998
0.03	0.446	0.344	0.747	0.503	0.3	0.87	0.609	0.986
0.05	0.508	0.377	0.777	0.52	0.3	0.928	0.642	0.938
0.075	0.504	0.418	0.782	0.535	0.3	0.93	0.679	0.887
0.1	0.445	0.426	0.769	0.543	0.3	0.888	0.69	0.87
0.15	0.382	0.387	0.769	0.543	0.3	0.859	0.667	0.876
0.2	0.339	0.338	0.761	0.552	0.3	0.833	0.647	0.87
0.25	0.34	0.316	0.744	0.545	0.3	0.818	0.63	0.85
0.3	0.34	0.3	0.727	0.568	0.3	0.803	0.642	0.819
0.4	0.356	0.264	0.69	0.593	0.3	0.776	0.649	0.743
0.5	0.379	0.263	0.663	0.611	0.3	0.764	0.665	0.684
0.75	0.43	0.326	0.606	0.633	0.3	0.743	0.712	0.562
1	0.47	0.353	0.579	0.628	0.3	0.746	0.72	0.467
1.5	0.497	0.399	0.541	0.603	0.3	0.735	0.723	0.364
2	0.499	0.4	0.529	0.588	0.3	0.727	0.711	0.298
3	0.5	0.417	0.527	0.578	0.3	0.726	0.713	0.234
4	0.543	0.393	0.521	0.559	0.3	0.753	0.683	0.202
5	0.534	0.421	0.502	0.551	0.3	0.733	0.693	0.184
7.5	0.523	0.438	0.457	0.546	0.3	0.695	0.7	0.176
10	0.466	0.438	0.441	0.543	0.3	0.642	0.698	0.154

Lampiran 15 : Koefisien utama AG2020 bagian 1

Period (s)	c1i	vlin	b	a1	a2	a6	a7	a8
PGA	8.2	865.1	-1.186	4.596	-1.45	-0.0043	3.21	0.044
0.01	8.2	865.1	-1.186	4.596	-1.45	-0.0043	3.21	0.044
0.02	8.2	865.1	-1.219	4.678	-1.45	-0.0043	3.21	0.044
0.03	8.2	907.8	-1.273	4.773	-1.45	-0.0044	3.21	0.044
0.05	8.2	1053.5	-1.346	5.029	-1.45	-0.0046	3.21	0.044
0.075	8.2	1085.7	-1.471	5.334	-1.45	-0.0047	3.21	0.044
0.1	8.2	1032.5	-1.624	5.455	-1.45	-0.0048	3.21	0.044
0.15	8.2	877.6	-1.931	5.376	-1.425	-0.0047	3.21	0.044
0.2	8.2	748.2	-2.188	4.936	-1.335	-0.0045	3.21	0.043
0.25	8.2	654.3	-2.381	4.636	-1.275	-0.0043	3.21	0.042
0.3	8.2	587.1	-2.518	4.423	-1.231	-0.0042	3.21	0.041
0.4	8.2	503	-2.657	4.124	-1.165	-0.004	3.21	0.04
0.5	8.2	456.6	-2.669	3.838	-1.115	-0.0037	3.21	0.039
0.6	8.2	430.3	-2.599	3.562	-1.071	-0.0035	3.21	0.038
0.75	8.15	410.5	-2.401	3.152	-1.02	-0.0032	3.21	0.037
1	8.1	400	-1.955	2.544	-0.95	-0.0029	3.21	0.035
1.5	8.05	400	-1.025	1.636	-0.86	-0.0026	3.21	0.034
2	8	400	-0.299	1.076	-0.82	-0.0024	3.21	0.032
2.5	7.95	400	0	0.658	-0.798	-0.0022	3.21	0.031
3	7.9	400	0	0.424	-0.793	-0.0021	3.13	0.03
4	7.85	400	0	0.093	-0.793	-0.002	2.985	0.029
5	7.8	400	0	-0.145	-0.793	-0.002	2.818	0.028
6	7.8	400	0	-0.32	-0.793	-0.002	2.682	0.027
7.5	7.8	400	0					

Lampiran 16 : Koefisien utama AG2020 bagian 2

Period (s)	a10	a11	a12	a13	a14
PGA	3.21	0.007	0.9	0	-0.46
0.01	3.21	0.007	0.9	0	-0.46
0.02	3.21	0.007	1.008	0	-0.46
0.03	3.21	0.007	1.127	0	-0.46
0.05	3.21	0.007	1.333	0	-0.46
0.075	3.21	0.007	1.565	0	-0.46
0.1	3.21	0.007	1.679	0	-0.46
0.15	3.21	0.007	1.853	0	-0.46
0.2	3.21	0.0062	2.022	0	-0.46
0.25	3.21	0.0056	2.181	0	-0.46
0.3	3.21	0.0051	2.281	-0.002	-0.46
0.4	3.21	0.0043	2.379	-0.007	-0.47
0.5	3.21	0.0037	2.339	-0.011	-0.48
0.6	3.21	0.0033	2.217	-0.015	-0.49
0.75	3.21	0.0027	1.946	-0.021	-0.5
1	3.21	0.0019	1.416	-0.028	-0.51
1.5	3.21	0.0008	0.394	-0.041	-0.52
2	3.21	0	-0.417	-0.05	-0.53
2.5	3.21	0	-0.725	-0.057	-0.54
3	3.13	0	-0.695	-0.065	-0.54
4	2.985	0	-0.638	-0.077	-0.54
5	2.818	0	-0.597	-0.088	-0.54
6	2.682	0	-0.561	-0.098	-0.54
7.5	2.515	0	-0.53	-0.11	-0.54
10	2.3	0	-0.486	-0.127	-0.54

Lampiran 17 : Koefisien regional AG2020 bagian 1A

Period (s)	a16	a17	a18	a19	a20	a21	a22	a23
PGA	0.09	0	-0.2	0	0	0.04	0.04	0
0.01	0.09	0	-0.2	0	0	0.04	0.04	0
0.02	0.09	0	-0.2	0	0	0.04	0.04	0
0.03	0.09	0	-0.2	0	0	0.04	0.04	0
0.05	0.09	0	-0.2	0	0	0.04	0.04	0
0.075	0.09	0	-0.2	0	0	0.06	0.06	0
0.1	0.09	0	-0.2	0	0	0.1	0.1	0
0.15	0.09	0	-0.186	0	-0.055	0.135	0.135	0.069
0.2	0.084	0	-0.15	0	-0.105	0.17	0.17	0.14
0.25	0.08	0	-0.14	0	-0.134	0.17	0.17	0.164
0.3	0.078	0	-0.12	0	-0.15	0.17	0.17	0.19
0.4	0.075	0	-0.1	0	-0.15	0.17	0.17	0.206
0.5	0.072	0	-0.08	0	-0.15	0.17	0.17	0.22
0.6	0.07	0	-0.06	0	-0.15	0.17	0.17	0.225
0.75	0.067	0	-0.047	0	-0.15	0.17	0.17	0.217
1	0.063	0	-0.035	0	-0.15	0.17	0.17	0.185
1.5	0.059	0	-0.018	0	-0.13	0.17	0.17	0.083
2	0.059	0	-0.01	0	-0.11	0.17	0.17	0.045
2.5	0.06	0	-0.005	0	-0.095	0.17	0.17	0.026
3	0.059	0	0	0	-0.085	0.17	0.17	0.035
4	0.05	0	0	0	-0.073	0.17	0.17	0.053
5	0.043	0	0	0	-0.065	0.17	0.17	0.072
6	0.038	0	0	0	-0.06	0.17	0.17	0.086
7.5	0.032	0	0	0	-0.055	0.17	0.17	0.115
10	0.024	0	0	0	-0.045	0.17	0.17	0.151

Lampiran 18 : Koefisien regional AG2020 bagian 1B

Period (s)	a24	a25	a26	a27	a28	a29	a30
PGA	0.0015	0.0007	0.0036	-0.0004	0.0025	0.0006	0.0033
0.01	0.0015	0.0007	0.0036	-0.0004	0.0025	0.0006	0.0033
0.02	0.0015	0.0006	0.0036	-0.0005	0.0025	0.0005	0.0033
0.03	0.0015	0.0006	0.0037	-0.0007	0.0025	0.0005	0.0034
0.05	0.0011	0.0006	0.0039	-0.0009	0.0026	0.0004	0.0036
0.075	0.0011	0.0004	0.0039	-0.0009	0.0026	0.0003	0.0037
0.1	0.0012	0.0003	0.0039	-0.0008	0.0026	0.0003	0.0038
0.15	0.0013	-0.0002	0.0037	-0.0009	0.0022	0.0001	0.0037
0.2	0.0013	-0.0007	0.0031	-0.001	0.0018	-0.0001	0.0035
0.25	0.0013	-0.0009	0.0027	-0.0011	0.0016	-0.0003	0.0033
0.3	0.0014	-0.001	0.002	-0.0009	0.0014	-0.0002	0.0032
0.4	0.0015	-0.001	0.0013	-0.0007	0.0011	0	0.003
0.5	0.0015	-0.0011	0.0009	-0.0007	0.0008	0.0002	0.0027
0.6	0.0015	-0.0012	0.0006	-0.0007	0.0006	0.0002	0.0025
0.75	0.0014	-0.0011	0.0003	-0.0007	0.0004	0.0002	0.0022
1	0.0013	-0.0008	0.0001	-0.0008	0.0002	0.0001	0.0019
1.5	0.0014	-0.0004	-0.0001	-0.0008	0.0001	0	0.0016
2	0.0015	0.0002	0	-0.0007	0.0002	0	0.0014
2.5	0.0014	0.0004	0	-0.0007	0.0002	-0.0002	0.0012
3	0.0014	0.0007	0.0003	-0.0007	0.0004	-0.0002	0.0011
4	0.0014	0.001	0.0007	-0.0006	0.0006	-0.0002	0.001
5	0.0014	0.0013	0.0014	-0.0004	0.0008	-0.0001	0.001
6	0.0014	0.0015	0.0015	-0.0003	0.0011	0	0.001
7.5	0.0014	0.0017	0.0015	-0.0002	0.0014	0.0001	0.001
10	0.0014	0.0017	0.0015	-0.0001	0.0017	0.0002	0.001

Lampiran 19 : Koefisien regional AG2020 bagian 2A

Period (s)	a31	a32	a33	a34	a35	a36	a37
PGA	3.7783	3.3468	3.8025	5.0361	4.6272	4.8044	3.5669
0.01	3.7783	3.3468	3.8025	5.0361	4.6272	4.8044	3.5669
0.02	3.8281	3.4401	3.9053	5.1375	4.6958	4.8943	3.6425
0.03	3.8933	3.5087	4.0189	5.2699	4.7809	5.0028	3.7063
0.05	4.2867	3.6553	4.2952	5.6157	5.0211	5.2819	3.9184
0.075	4.594	3.9799	4.5464	6.0204	5.3474	5.6123	4.2207
0.1	4.7077	4.1312	4.6138	6.1625	5.5065	5.7668	4.3536
0.15	4.6065	4.2737	4.529	5.9614	5.518	5.7313	4.3664
0.2	4.1866	3.965	4.1656	5.392	5.1668	5.2943	4.0169
0.25	3.8515	3.6821	3.9147	5.0117	4.8744	5.0058	3.759
0.3	3.5783	3.5415	3.7846	4.7057	4.6544	4.7588	3.5914
0.4	3.2493	3.3256	3.5702	4.2896	4.366	4.3789	3.3704
0.5	2.9818	3.1334	3.3552	3.9322	4.0779	4.0394	3.1564
0.6	2.7784	2.9215	3.0922	3.6149	3.8146	3.7366	2.9584
0.75	2.478	2.538	2.6572	3.1785	3.4391	3.293	2.6556
1	1.9252	1.9626	2.1459	2.5722	2.8056	2.6475	2.0667
1.5	0.9924	1.3568	1.3499	1.6499	1.8546	1.6842	1.3316
2	0.4676	0.818	0.8148	1.0658	1.302	1.1002	0.7607
2.5	0.0579	0.4389	0.3979	0.631	0.8017	0.6737	0.3648
3	-0.1391	0.1046	0.1046	0.3882	0.5958	0.4126	0.1688
4	-0.303	-0.1597	-0.2324	0.0164	0.3522	0.0097	-0.0323
5	-0.4094	-0.2063	-0.5722	-0.2802	0.1874	-0.2715	-0.1516
6	-0.501	-0.3223	-0.8631	-0.4822	-0.1243	-0.4591	-0.2217
7.5	-0.6209	-0.4223	-1.1773	-0.7566	-0.3316	-0.6822	-0.3338
10	-0.6221	-0.5909	-1.407	-1.087	-0.6783	-0.9173	-0.5441

Lampiran 20 : Koefisien regional AG2020 bagian 2B

Period (s)	a39	a41	USA- AK_Adj	CAS_Adj
PGA	0	-0.029	0.487	0.828
0.01	0	-0.029	0.487	0.828
0.02	0	-0.024	0.519	0.825
0.03	0	-0.034	0.543	0.834
0.05	0	-0.061	0.435	0.895
0.075	0	-0.076	0.41	0.863
0.1	0	-0.049	0.397	0.842
0.15	0	-0.026	0.428	0.737
0.2	0	-0.011	0.442	0.746
0.25	0.101	-0.009	0.494	0.796
0.3	0.184	0.005	0.565	0.782
0.4	0.315	0.04	0.625	0.768
0.5	0.416	0.097	0.634	0.728
0.6	0.499	0.145	0.581	0.701
0.75	0.6	0.197	0.497	0.685
1	0.731	0.269	0.469	0.642
1.5	0.748	0.347	0.509	0.325
2	0.761	0.384	0.478	0.257
2.5	0.77	0.397	0.492	0.211
3	0.778	0.404	0.47	0.296
4	0.79	0.397	0.336	0.232
5	0.799	0.378	0.228	0.034
6	0.807	0.358	0.151	-0.037
7.5	0.817	0.333	0.051	-0.178
10	0.829	0.281	-0.251	-0.313

Lampiran 21 : Koefisien variabilitas AG2020 bagian 1

Period (s)	d1	d2	rhoW	rhoB
PGA	0.325	0.137	1	1
0.01	0.325	0.137	1	1
0.02	0.325	0.137	0.99	0.99
0.03	0.325	0.137	0.99	0.99
0.05	0.325	0.137	0.97	0.985
0.075	0.325	0.137	0.95	0.98
0.1	0.325	0.137	0.92	0.97
0.15	0.325	0.137	0.9	0.96
0.2	0.325	0.137	0.87	0.94
0.25	0.325	0.137	0.84	0.93
0.3	0.325	0.137	0.82	0.91
0.4	0.325	0.137	0.74	0.86
0.5	0.325	0.137	0.66	0.8
0.6	0.325	0.137	0.59	0.78
0.75	0.325	0.137	0.5	0.73
1	0.325	0.137	0.41	0.69
1.5	0.312	0.113	0.33	0.62
2	0.302	0.096	0.3	0.56
2.5	0.295	0.082	0.27	0.52
3	0.289	0.072	0.25	0.495
4	0.28	0.055	0.22	0.43
5	0.273	0.041	0.19	0.4
6	0.267	0.03	0.17	0.37
7.5	0.259	0.017	0.14	0.32
10	0.25	0	0.1	0.28

Lampiran 22 : Koefisien variabilitas AG2020 bagian 2

Period (s)	phi_s2s_g1	phi_s2s_g2	phi_s2s_g3
PGA	0.396	0.396	0.545
0.01	0.396	0.396	0.545
0.02	0.396	0.396	0.545
0.03	0.396	0.396	0.545
0.05	0.396	0.467	0.644
0.075	0.396	0.516	0.713
0.1	0.396	0.516	0.713
0.15	0.396	0.516	0.647
0.2	0.396	0.516	0.596
0.25	0.396	0.501	0.539
0.3	0.396	0.488	0.488
0.4	0.396	0.468	0.468
0.5	0.396	0.451	0.451
0.6	0.396	0.438	0.438
0.75	0.396	0.42	0.42
1	0.396	0.396	0.396
1.5	0.379	0.379	0.379
2	0.366	0.366	0.366
2.5	0.356	0.356	0.356
3	0.348	0.348	0.348
4	0.335	0.335	0.335
5	0.324	0.324	0.324
6	0.314	0.314	0.314
7.5	0.301	0.301	0.301
10	0.286	0.286	0.286

Lampiran 23 : Koefisien penyesuaian epistemik AG2020

Period (s)	e1	e2	e3
PGA	0.55	-0.27	0.05
0.01	0.55	-0.27	0.05
0.02	0.55	-0.27	0.05
0.03	0.55	-0.27	0.05
0.05	0.56	-0.27	0.05
0.075	0.58	-0.27	0.05
0.1	0.59	-0.27	0.05
0.15	0.59	-0.27	0.05
0.2	0.57	-0.27	0.05
0.25	0.53	-0.224	0.043
0.3	0.49	-0.186	0.037
0.4	0.425	-0.126	0.028
0.5	0.375	-0.079	0.022
0.6	0.345	-0.041	0.016
0.75	0.3	0.005	0.009
1	0.24	0.065	0
1.5	0.23	0.065	0
2	0.23	0.065	0
2.5	0.23	0.065	0
3	0.24	0.065	0
4	0.27	0.065	0
5	0.3	0.065	0
6	0.32	0.065	0
7.5	0.35	0.065	0
10	0.35	0.065	0

Lampiran 24 : Koefisien Model 1 Kuehn dkk. (2020)

τ	θ_1^{if}	θ_1^{slab}	θ_2^{if}	θ_2^{slab}	θ_3	θ_4^{if}	θ_4^{slab}	θ_5
-1	6.4335	9.4357	-2.2174	-2.6695	0.1279	1.0145	1.3076	0.1237
0	3.7153	4.7891	-2.4609	-2.4381	0.1039	0.9522	1.1050	0.1282
0.01	3.5757	4.5596	-2.4289	-2.3950	0.1043	0.9454	1.1086	0.1291
0.02	3.7165	4.8082	-2.4597	-2.4432	0.1047	0.9588	1.1162	0.1324
0.03	4.0192	5.1672	-2.5138	-2.4964	0.1045	0.9731	1.1093	0.1348
0.05	4.5448	5.6403	-2.5895	-2.5411	0.1034	0.9912	1.0905	0.1373
0.075	4.9209	5.8482	-2.6199	-2.5256	0.1015	1.0003	1.0785	0.1379
0.1	5.0735	5.8309	-2.6083	-2.4779	0.0998	1.0019	1.0787	0.1373
0.15	5.0260	5.5311	-2.5317	-2.3613	0.0969	0.9972	1.0994	0.1350
0.2	4.7697	5.1327	-2.4343	-2.2530	0.0947	0.9909	1.1315	0.1324
0.25	4.4413	4.7380	-2.3382	-2.1622	0.0932	0.9867	1.1666	0.1299
0.3	4.0960	4.3747	-2.2502	-2.0880	0.0920	0.9851	1.2013	0.1278
0.4	3.4334	3.7572	-2.1029	-1.9793	0.0906	0.9892	1.2650	0.1245
0.5	2.8464	3.2652	-1.9900	-1.9079	0.0898	1.0007	1.3201	0.1221
0.75	1.7016	2.3988	-1.8114	-1.8190	0.0895	1.0473	1.4260	0.1186
1	0.8905	1.8296	-1.7200	-1.7915	0.0901	1.1038	1.5009	0.1172
1.5	-0.1751	1.0902	-1.6527	-1.7978	0.0919	1.2159	1.6008	0.1168
2	-0.8542	0.5866	-1.6460	-1.8250	0.0937	1.3137	1.6663	0.1177
3	-1.7076	-0.1462	-1.6766	-1.8759	0.0965	1.4631	1.7527	0.1202
4	-2.2577	-0.7112	-1.7098	-1.9083	0.0984	1.5660	1.8118	0.1226
5	-2.6636	-1.1826	-1.7326	-1.9258	0.0998	1.6379	1.8574	0.1247
7.5	-3.3681	-2.1007	-1.7500	-1.9334	0.1016	1.7386	1.9414	0.1283
10	-3.8378	-2.7690	-1.7353	-1.9181	0.1023	1.7804	2.0009	0.1306

Lampiran 25 : Koefisien Model 2 Kuehn dkk. (2020)

T	$\theta_{6,xc}$	θ_7	θ_9^{if}	θ_9^{slab}	$\theta_{nft,1}$	$\theta_{nft,2}$	$\delta Z_{B,if}$	$\delta Z_{B,slab}$
-1	-0.3352	1.6877	0.0162	0.0155	0.9364	0.2109	12.5661	-13.3591
0	-0.6042	0.8877	0.0255	0.0224	0.8946	0.1989	16.8161	-15.8413
0.01	-0.5920	0.8924	0.0251	0.0220	0.8964	0.1991	16.8238	-16.1251
0.02	-0.6198	0.9303	0.0272	0.0233	0.8972	0.1992	16.6622	-16.2840
0.03	-0.6550	1.0128	0.0293	0.0245	0.8964	0.1989	17.1817	-16.3145
0.05	-0.6926	1.1880	0.0319	0.0258	0.8935	0.1982	18.3207	-16.3002
0.075	-0.6955	1.3723	0.0328	0.0258	0.8894	0.1974	18.9237	-16.2401
0.1	-0.6765	1.5314	0.0324	0.0251	0.8858	0.1967	18.7586	-16.1473
0.15	-0.6203	1.8009	0.0302	0.0230	0.8799	0.1958	17.2866	-15.8777
0.2	-0.5638	2.0155	0.0275	0.0208	0.8757	0.1952	15.3217	-15.5266
0.25	-0.5138	2.1825	0.0249	0.0189	0.8726	0.1949	13.3749	-15.1264
0.3	-0.4704	2.3073	0.0226	0.0172	0.8704	0.1948	11.6135	-14.6994
0.4	-0.3992	2.4440	0.0187	0.0144	0.8675	0.1947	8.7682	-13.8183
0.5	-0.3423	2.4517	0.0158	0.0123	0.8660	0.1949	6.7281	-12.9480
0.75	-0.2339	2.0965	0.0114	0.0088	0.8650	0.1955	3.9648	-10.9532
1	-0.1509	1.5164	0.0092	0.0066	0.8656	0.1962	2.9984	-9.2559
1.5	-0.0238	0.4598	0.0078	0.0040	0.8680	0.1975	2.9586	-6.6006
2	0.0693	-0.1760	0.0081	0.0024	0.8705	0.1984	3.4678	-4.6463
3	0.1866	-0.5924	0.0098	0.0003	0.8744	0.1997	3.9273	-1.9942
4	0.2423	-0.5854	0.0117	-0.0012	0.8771	0.2005	3.3707	-0.3054
5	0.2590	-0.5127	0.0134	-0.0023	0.8788	0.2010	2.1296	0.8407
7.5	0.2091	-0.4316	0.0164	-0.0043	0.8810	0.2017	-2.2543	2.4724
10	0.1012	-0.4285	0.0183	-0.0055	0.8817	0.2020	-6.9491	3.2392

Lampiran 26 : Koefisien Mean Kuehn Dkk. (2020)

IMT	μ_1^{IF}	μ_1^{Slab}	μ_{c_6}	$\mu_{c_{6b}}$	μ_7
pgv	6.43354	9.435733	-0.0013	-0.00234	1.687675
pga	3.71531	4.78908	-0.0026	-0.00525	0.887679
0.01	3.57565	4.559572	-0.0027	-0.00528	0.892438
0.02	3.71649	4.808207	-0.0026	-0.00532	0.930261
0.03	4.0192	5.167198	-0.0025	-0.00544	1.012753
0.05	4.54477	5.640303	-0.0026	-0.00568	1.188013
0.075	4.92094	5.848238	-0.0027	-0.00593	1.372274
0.1	5.07349	5.830854	-0.0028	-0.00607	1.531424
0.15	5.02599	5.531067	-0.0031	-0.00618	1.800941
0.2	4.76966	5.132678	-0.0033	-0.00615	2.015482
0.25	4.44135	4.737977	-0.0034	-0.00607	2.182528
0.3	4.09596	4.374731	-0.0035	-0.00595	2.307342
0.4	3.43345	3.75722	-0.0036	-0.00571	2.444039
0.5	2.84644	3.265244	-0.0036	-0.00545	2.451674
0.75	1.70164	2.398837	-0.0035	-0.00489	2.09648
1	0.89049	1.829616	-0.0032	-0.00441	1.516382
1.5	-0.1751	1.090154	-0.0027	-0.00368	0.459844
2	-0.8542	0.586593	-0.0023	-0.00317	-0.17602
3	-1.7076	-0.14618	-0.0018	-0.0025	-0.59242
4	-2.2577	-0.71121	-0.0014	-0.00204	-0.58539
5	-2.6636	-1.18258	-0.0011	-0.00173	-0.51267
7.5	-3.3681	-2.10067	-0.0008	-0.00128	-0.43159
10	-3.8378	-2.769	-0.0007	-0.00104	-0.42849

Lampiran 27 : File konfigurasi OpenQuake (job klasik) — job.ini

```
[general]
description = PSHA model - Jawa (classic, optimized)
calculation_mode = classical
random_seed = 23

[geometry]
site_model_file = site_model.xml

[logic_tree]
# Sampling untuk memangkas runtime (tanpa mengubah IMTs/periode).
number_of_logic_tree_samples = 30

[erf]
# Dua ini yang paling berpengaruh ke jumlah rupture (runtime).
rupture_mesh_spacing = 3.0
complex_fault_mesh_spacing = 15
width_of_mfd_bin = 0.1
area_source_discretization = 10.0

[site_params]
reference_vs30_type = measured
reference_vs30_value = 760.0
reference_depth_to_1pt0km_per_sec = 30.0
reference_depth_to_2pt5km_per_sec = 0.57

[calculation]
source_model_logic_tree_file = ssmLT.xml
gsim_logic_tree_file = gmmLT.xml
investigation_time = 50

# IMTs/periode TIDAK diubah dari job.ini kamu
intensity_measure_types_and_levels = {
    "PGA": logscale(0.005, 3.00, 60),
    "SA(0.1)": logscale(0.005, 8.00, 60),
    "SA(0.2)": logscale(0.005, 9.00, 60),
    "SA(0.3)": logscale(0.005, 8.00, 60),
    "SA(0.4)": logscale(0.005, 7.00, 60),
    "SA(0.6)": logscale(0.005, 5.50, 60),
    "SA(0.8)": logscale(0.005, 4.50, 60),
    "SA(1.0)": logscale(0.005, 3.60, 60),
    "SA(1.2)": logscale(0.005, 3.00, 60),
    "SA(1.4)": logscale(0.005, 2.60, 60),
    "SA(1.6)": logscale(0.005, 2.40, 60),
    "SA(1.8)": logscale(0.005, 2.20, 60),
    "SA(2.0)": logscale(0.005, 0.50, 60),
    "SA(2.2)": logscale(0.005, 0.40, 60),
    "SA(2.4)": logscale(0.005, 0.35, 60),
    "SA(2.6)": logscale(0.005, 0.30, 60),
    "SA(2.8)": logscale(0.005, 0.25, 60),
    "SA(3.0)": logscale(0.005, 0.20, 60),
    "SA(3.2)": logscale(0.005, 0.18, 60),
    "SA(3.4)": logscale(0.005, 0.16, 60),
    "SA(3.6)": logscale(0.005, 0.14, 60),
```

```

    "SA(3.8)": logscale(0.005, 0.12, 60),
    "SA(4.0)": logscale(0.005, 0.10, 60)}

truncation_level = 3.0
maximum_distance = {'default': 500.}
horiz_comp_to_geom_mean = true
pointsource_distance = 200
reqv_file = {
    "Active Shallow Crust": "lookup_reqv_asc.hdf5",
    "Subduction Inslab": "lookup_reqv_slb.hdf5"}

[output]
export_dir = out
mean_hazard_curves = true
quantile_hazard_curves =
hazard_maps = true
uniform_hazard_spectra = true
poes = 0.1 0.02

```

Lampiran 28 : File konfigurasi OpenQuake deagregasi — job_disagg.ini

```
# PSHA Disaggregation Model
# Konsisten dengan job classical hazard
[general]
description = PSHA model - Jawa (disaggregation, by-source)
calculation_mode = disaggregation
random_seed = 23
individual_rlzs = true

[geometry]
site_model_file = site_model.xml

[logic_tree]
number_of_logic_tree_samples = 30

[erf]
# ERF = Earthquake Rupture Forecast
rupture_mesh_spacing = 3.0
complex_fault_mesh_spacing = 15
width_of_mfd_bin = 0.1
area_source_discretization = 10.0

[site_params]
reference_vs30_type = measured
# Vs30 = average shear-wave velocity in top 30 m
reference_vs30_value = 760.0
reference_depth_to_1pt0km_per_sec = 30.0
reference_depth_to_2pt5km_per_sec = 0.57

[calculation]
source_model_logic_tree_file = ssmLT.xml
gsim_logic_tree_file = gmmLT.xml
investigation_time = 50.0
intensity_measure_types_and_levels = {
  "SA(0.2)": logscale(0.005, 9.00, 60)
}

truncation_level = 3.0
maximum_distance = {'default': 500.}
pointsource_distance = 200

reqv_file = {
  "Active Shallow Crust": "lookup_reqv_asc.hdf5",
  "Subduction Inslab": "lookup_reqv_slb.hdf5"
}

[disaggregation]
# binning dibuat moderat agar histogram tetap stabil
mag_bin_width = 0.3
distance_bin_width = 50
coordinate_bin_width = 2.0
# epsilon bin lebih stabil dibanding 1
num_epsilon_bins = 3
```

```

# PoEs = Probabilities of Exceedance
# 0.02 = 2% probability of exceedance in 50 years
# (~2475-year return period)
poes_disagg = 0.02
disagg_by_src = true

# post-processing function
postproc_func = disagg_by_rel_sources.main

# IMT & IML target untuk deaggregation
# IML harus diambil dari hazard curve/UHS classical
# contoh:
#  $SA(0.2) \approx 1.56$  g pada 2% in 50 years

postproc_args = {
  "imts": ["SA(0.2)"],
  "imls_by_sid": {
    "0": [1.56]
  }
}

```

Lampiran 29 : Logic Tree GMPE/GSIM — gmmLT.xml

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<nrml>
  <logicTree logicTreeID="">
    <!-- Active Shallow Crust: tetap 5 GMPE @ 0.2 -->
    <logicTreeBranchSet branchSetID="bs_00"
      uncertaintyType="gmpeModel"
      applyToTectonicRegionType="Active Shallow Crust">
      <logicTreeBranch branchID="b_00_00">
        <uncertaintyModel>BooreEtAl2014</uncertaintyModel>
        <uncertaintyWeight>0.33</uncertaintyWeight>
      </logicTreeBranch>
      <logicTreeBranch branchID="b_00_01">
        <uncertaintyModel>CampbellBozorgnia2014</uncertaintyModel>
        <uncertaintyWeight>0.34</uncertaintyWeight>
      </logicTreeBranch>
      <logicTreeBranch branchID="b_00_02">
        <uncertaintyModel>ChiouYoungs2014</uncertaintyModel>
        <uncertaintyWeight>0.33</uncertaintyWeight>
      </logicTreeBranch>
    </logicTreeBranchSet>

    <!-- Subduction Interface: 3 GMPE sesuai logic tree -->
    <logicTreeBranchSet branchSetID="bs_01"
      uncertaintyType="gmpeModel"
      applyToTectonicRegionType="Subduction Interface">
      <logicTreeBranch branchID="b_01_05">
        <uncertaintyModel>AbrahamsonEtAl2015SInter</uncertaintyModel>
        <uncertaintyWeight>0.33</uncertaintyWeight>
      </logicTreeBranch>
      <logicTreeBranch branchID="b_01_06">
        <uncertaintyModel>ZhaoEtAl2006SInter</uncertaintyModel>
        <uncertaintyWeight>0.34</uncertaintyWeight>
      </logicTreeBranch>
      <logicTreeBranch branchID="b_01_07">
        <uncertaintyModel>KuehnEtAl2020SInter</uncertaintyModel>
        <uncertaintyWeight>0.33</uncertaintyWeight>
      </logicTreeBranch>
    </logicTreeBranchSet>

    <!-- Subduction Inslab: 3 GMPE slab dengan bobot sama -->
    <logicTreeBranchSet branchSetID="bs_02"
      uncertaintyType="gmpeModel"
      applyToTectonicRegionType="Subduction Inslab">
      <logicTreeBranch branchID="b_02_09">
        <uncertaintyModel>AbrahamsonEtAl2015SSlab</uncertaintyModel>
        <uncertaintyWeight>0.33</uncertaintyWeight>
      </logicTreeBranch>
      <logicTreeBranch branchID="b_02_10">
        <uncertaintyModel>ZhaoEtAl2006SSlab</uncertaintyModel>
        <uncertaintyWeight>0.34</uncertaintyWeight>
      </logicTreeBranch>
      <logicTreeBranch branchID="b_02_11">
        <uncertaintyModel>KuehnEtAl2020SSlab</uncertaintyModel>
        <uncertaintyWeight>0.33</uncertaintyWeight>
      </logicTreeBranch>
    </logicTreeBranchSet>
  </logicTree>
</nrml>
```

Lampiran 30 : Logic Tree Seismic Source Model — ssmLT.xml

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<nrml xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.4">
  <logicTree logicTreeID="lt1">
    <!--
      Branching Level 1:
      Kombinasi Recurrence Model (Characteristic vs GR)
      + Mag. Uncertainty (Mmax -0.2 / 0 / +0.2)
      untuk tiga tectonic region:
        - Active Shallow Crust
        - Subduction Interface
        - Subduction Inslab
      Deep grid (Benioff) dianggap fixed (tanpa epistemic tree).
    -->
    <logicTreeBranchingLevel branchingLevelID="b1">
      <logicTreeBranchSet uncertaintyType="sourceModel" branchSetID="bs1">

        <!-- 1) Characteristic, Mmax - 0.2 (0.66 * 0.20 = 0.132) -->
        <logicTreeBranch branchID="char_Mmaxm020">
          <uncertaintyModel>
            ssm/crust/Crust_Char_Mmax-0.2.xml
            ssm/sub/Mega_Char_Mmax-0.2.xml
            ssm/deep_grid/Benn_Char_Mmax-0.2.xml
          </uncertaintyModel>
          <uncertaintyWeight>0.132</uncertaintyWeight>
        </logicTreeBranch>

        <!-- 2) Characteristic, Mmax (0.66 * 0.60 = 0.396) -->
        <logicTreeBranch branchID="char_Mmax">
          <uncertaintyModel>
            ssm/crust/Crust_Char_Mmax.xml
            ssm/sub/Mega_Char_Mmax.xml
            ssm/deep_grid/Benn_Char_Mmax.xml
          </uncertaintyModel>
          <uncertaintyWeight>0.396</uncertaintyWeight>
        </logicTreeBranch>

        <!-- 3) Characteristic, Mmax + 0.2 (0.66 * 0.20 = 0.132) -->
        <logicTreeBranch branchID="char_Mmaxp020">
          <uncertaintyModel>
            ssm/crust/Crust_Char_Mmax+0.2.xml
            ssm/sub/Mega_Char_Mmax+0.2.xml
            ssm/deep_grid/Benn_Char_Mmax+0.2.xml
          </uncertaintyModel>
          <uncertaintyWeight>0.132</uncertaintyWeight>
        </logicTreeBranch>

        <!-- 4) Gutenberg-Richter, Mmax - 0.2 (0.34 * 0.20 = 0.068) -->
        <logicTreeBranch branchID="gr_Mmaxm020">
          <uncertaintyModel>
            ssm/crust/Crust_GR_Mmax-0.2.xml
            ssm/sub/Mega_GR_Mmax-0.2.xml
            ssm/deep_grid/Benn_GR_Mmax-0.2.xml
          </uncertaintyModel>
          <uncertaintyWeight>0.068</uncertaintyWeight>
        </logicTreeBranch>

        <!-- 5) Gutenberg-Richter, Mmax (0.34 * 0.60 = 0.204) -->
        <logicTreeBranch branchID="gr_Mmax">
```

```

        <uncertaintyModel>
ssm/crust/Crust_GR_Mmax.xml
ssm/sub/Mega_GR_Mmax.xml
ssm/deep_grid/Benn_GR_Mmax.xml
        </uncertaintyModel>
        <uncertaintyWeight>0.204</uncertaintyWeight>
    </logicTreeBranch>

    <!-- 6) Gutenberg-Richter, Mmax + 0.2 (0.34 * 0.20 = 0.068) -->
    <logicTreeBranch branchID="gr_Mmaxp020">
        <uncertaintyModel>
ssm/crust/Crust_GR_Mmax+0.2.xml
ssm/sub/Mega_GR_Mmax+0.2.xml
ssm/deep_grid/Benn_GR_Mmax+0.2.xml
        </uncertaintyModel>
        <uncertaintyWeight>0.068</uncertaintyWeight>
    </logicTreeBranch>

    </logicTreeBranchSet>
</logicTreeBranchingLevel>
</logicTree>
</nrml>

```

Lampiran 31 : Geometri Fault

No	Fault	Panjang (L) (km)	Dip	Top	Bottom	H = Bott - Top	W	A = L x W
1	Cimandiri-Cimandiri	23	90	3	20	17	17.00	2550.00
2	Cimandiri-NyaldungCibeber	30	45S	3	18	15	21.21	487.90
3	Cimandiri-Rajamandala	45	45S	3	18	15	21.21	636.40
4	Lembang	29.5	90	3	18	15	15.00	675.00
5	Garsela-Kencana	17	90	3	18	15	15.00	442.50
6	Garsela-Rakutai	19	90	3	18	15	15.00	255.00
7	BaribisKendeng-Subang	33	60E	3	18	15	17.32	329.09
8	Ciremai	20	45S	3	18	15	21.21	700.04
9	BaribisKendeng-Cirebon1	15	90	3	18	15	15.00	300.00
10	BaribisKendeng-Cirebon2	18	45S	3	18	15	21.21	318.20
11	BaribisKendeng-Brebes	22	45S	3	18	15	21.21	381.84
12	Ajibarang	20	45S	3	18	15	21.21	466.69
13	BaribisKendeng-Tegal	15	90	3	18	15	15.00	300.00
14	BaribisKendeng-Pekalongan	16	45S	3	18	15	21.21	318.20
15	BaribisKendeng-Weleri	17	45S	3	18	15	21.21	339.41
16	BaribisKendeng-Semarang	34	45S	3	18	15	21.21	360.62
17	Ungaran1	17	45S	3	18	15	21.21	721.25
18	Ungaran2	20	60S	3	18	15	17.32	294.45
19	BaribisKendeng-Rawapening	18	90	3	18	15	15.00	300.00
20	Opak	45	45S	3	18	15	21.21	381.84
21	Merapi-Merbabu	28	60E	3	18	15	17.32	779.42
22	BaribisKendeng-Demak	26	90	3	18	15	15.00	420.00
23	Muria	28	45S	3	18	15	21.21	551.54
24	Pati	69	90	3	18	15	15.00	420.00
25	BaribisKendeng-Purwodadi	38	90	3	18	15	15.00	1035.00

No	Fault	Panjang (L) (km)	Dip	Top	Bottom	H = Bott - Top	W	A = L x W
26	BaribisKendeng-Cepu	100	45S	3	18	15	21.21	806.10
27	BaribisKendeng-Blumbang	31	45S	3	18	15	21.21	2121.32
28	BaribisKendeng-Waru	64	45S	3	18	15	21.21	657.61
29	BaribisKendeng-Surabaya	25	45S	3	18	15	21.21	1357.65
30	Pasuruan	18	45S	3	18	15	21.21	530.33
31	Probolinggo	15	60S	3	18	15	17.32	311.77
32	Bawean	156	60N	3	18	15	17.32	259.81
33	Fault	230	90	3	18	15	15.00	2340.00

Lampiran 32 : Rekapitulasi Hasil *a* dan *b* value Pada Fault

No	Fault	Mmax (PUSGEN 2017)	Slip rate (mm/yr)	Tr (yr)	b-value	a-value
1	Cimandiri-Cimandiri	6.7	0.55	1966.24	1	3.4064
2	Cimandiri- NyaldungCibeber	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
3	Cimandiri-Rajamandala	6.6	0.1	8953.65	1	2.648
4	Lembang	6.8	2	653.09	1	3.985
5	Garsela-Kencana	6.8	0.1	13061.71	1	2.684
6	Garsela-Rakutai	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
7	BaribisKendeng-Subang	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
8	Ciremai	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
9	BaribisKendeng-Cirebon1	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
10	BaribisKendeng-Cirebon2	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
11	BaribisKendeng-Brebes	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
12	Ajibarang	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
13	BaribisKendeng-Tegal	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
14	BaribisKendeng- Pekalongan	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
15	BaribisKendeng-Weleri	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
16	BaribisKendeng-Semarang	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
17	Ungaran1	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
18	Ungaran2	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
19	BaribisKendeng- Rawapening	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
20	Opak	6.6	0.75	1193.82	1	3.5231
21	Merapi-Merbabu	6.6	0.1	8953.65	1	2.648
22	BaribisKendeng-Demak	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
23	Muria	6.6	0.1	8953.65	1	2.648
24	Pati	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
25	BaribisKendeng- Purwodadi	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
26	BaribisKendeng-Cepu	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
27	BaribisKendeng- Blumbang	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
28	BaribisKendeng-Waru	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
29	BaribisKendeng-Surabaya	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
30	Pasuruan	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
31	Probolinggo	6.5	0.1	7413.1	1	2.63
32	Bawean	7.6	0.5	11831.23	1	3.527
33	RMKSEast	7.8	1.5	5753.19	1	4.0401
34	UjungKulon B	7.6	10	591.56	1	4.828

Lampiran 33 : Mega_Char_Mmax

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<nrm1 xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrm1/0.5"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml">
<sourceModel name="Java Megathrust">
<sourceGroup name="Java Megathrust Merged MFDs" tectonicRegion="Subduction
Interface">
<!-- M1: Selat Sunda-Banten -->
<complexFaultSource id="M7_S_SUNDA_GRCH__Java_Tesis" name="Selat Sunda GR
Megathrust" tectonicRegion="Subduction Interface">
<complexFaultGeometry>
<faultTopEdge><LineString><posList>106.4424 -9.2287 5.0 105.4726 -8.7107 5.0
104.6985 -8.3035 5.0 103.9435 -7.7781 5.0</posList></LineString></faultTopEdge>
<faultBottomEdge><LineString><posList>106.4262 -7.4813 50.0 106.0797 -7.0606 50.0
105.4119 -6.7123 50.0 104.7067 -6.4716
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge>
</complexFaultGeometry>
<magScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel>
<ruptAspectRatio>2.0</ruptAspectRatio>
<incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="8.700000"
b_val="1.230000" a_val="6.074000" nBins="37" MmaxChar="8.700000"
MmaxGR_base="8.800000" MmaxChar_base="8.700000" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.500" CharTailNormalize="1"><occurRates>0.20704814 0.15598086
0.11750905 0.088526098 0.066691629 0.050242509 0.037850474 0.028514865
0.021481832 0.016183458 0.012191898 0.0091848342 0.006919446 0.0052128031
0.0039270942 0.0029584983 0.0022288012 0.0016790797 0.0012649441 0.00095295265
0.00071791218 0.00054084314 0.00010855713 0.00010855713 0.00010855713
0.00010855713 0.00010855713 0.00010855713 0.00010855713 0.00010855713
0.00010855713 0.00010855713 0.00010855713 0.00010855713 0.00010855713
0.00010855713 0.00010855713</occurRates></incrementalMFD>
<rake>90.0</rake>
</complexFaultSource>
<!-- M2: Java1 (Jabar) -->
<complexFaultSource id="M8_WEST_CENT_JAVA_GRCH__Java_Tesis" name="West cent Java
GR Megathrust" tectonicRegion="Subduction Interface">
<complexFaultGeometry>
<faultTopEdge><LineString><posList>109.5586 -10.1823 5.0 108.4483 -9.9679 5.0
107.4218 -9.6016 5.0 106.4424 -9.2287 5.0</posList></LineString></faultTopEdge>
<faultBottomEdge><LineString><posList>109.7913 -8.7155 50.0 108.7262 -8.4091 50.0
107.8271 -8.0232 50.0 106.4262 -7.4813
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge>
</complexFaultGeometry>
<magScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel>
<ruptAspectRatio>2.0</ruptAspectRatio>
<incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="8.800000"
b_val="1.170000" a_val="5.830000" nBins="38" MmaxChar="8.800000"
MmaxGR_base="8.800000" MmaxChar_base="8.800000" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.500" CharTailNormalize="1"><occurRates>0.22553508 0.17227176
0.13158734 0.10051112 0.076773987 0.058642718 0.044793407 0.034214807 0.026134494
0.019962462 0.015248043 0.011647 0.0088963958 0.0067953854 0.0051905585
0.0039647344 0.003028406 0.0023132048 0.0017669086 0.001349628 0.0010308942
0.00078743388 0.00060147017 0.00012741081 0.00012741081 0.00012741081
0.00012741081 0.00012741081 0.00012741081 0.00012741081 0.00012741081
0.00012741081 0.00012741081 0.00012741081 0.00012741081 0.00012741081
0.00012741081 0.00012741081</occurRates></incrementalMFD>
<rake>90.0</rake>
</complexFaultSource>
<!-- M3: Java2 (Jateng-Jatim) -->
<complexFaultSource id="M9_EAST_JAVA_GRCH__Java_Tesis" name="East Java GR
Megathrust" tectonicRegion="Subduction Interface">
```

```

<complexFaultGeometry>
<faultTopEdge><LineString><posList>113.9088 -10.8189 5.0 112.2374 -10.5648 5.0
111.0196 -10.3925 5.0 109.5586 -10.1823 5.0</posList></LineString></faultTopEdge>
<faultBottomEdge><LineString><posList>114.0312 -9.3767 50.0 112.1846 -8.8819 50.0
111.1841 -8.9063 50.0 109.7913 -8.7155
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge>
</complexFaultGeometry>
<magScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel>
<ruptAspectRatio>2.0</ruptAspectRatio>
<incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="8.900000"
b_val="1.150000" a_val="5.730000" nBins="39" MmaxChar="8.900000"
MmaxGR_base="8.900000" MmaxChar_base="8.900000" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.500" CharTailNormalize="1"><occurRates>0.22216805 0.17048321
0.13082225 0.10038796 0.077033851 0.059112811 0.045360894 0.034808203 0.026710475
0.02049659 0.015728294 0.012069287 0.0092615059 0.007106923 0.005453579
0.0041848665 0.0032113054 0.0024642321 0.0018909568 0.0014510474 0.0011134779
0.00085444007 0.00065566441 0.00050313162 0.00010855507 0.00010855507
0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507
0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507
0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507</occurRates></incrementalMFD>
<rake>90.0</rake>
</complexFaultSource>
<!-- M4: Java3 (Bali) -->
<complexFaultSource id="M10_JAVA3_BALI_GRCH" name="Java3 (Bali) GR Megathrust"
tectonicRegion="Subduction Interface">
<complexFaultGeometry>
<faultTopEdge><LineString><posList>119.1926 -11.1587 5.0 117.7301 -11.1411 5.0
115.4043 -11.0587 5.0 113.9088 -10.8189 5.0</posList></LineString></faultTopEdge>
<faultBottomEdge><LineString><posList>119.2159 -9.6168 50.0 117.6757 -9.5202 50.0
115.5038 -9.4877 50.0 114.0312 -9.3767
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge>
</complexFaultGeometry>
<magScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel>
<ruptAspectRatio>2.0</ruptAspectRatio>
<incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="9.000000"
b_val="1.210000" a_val="6.448000" nBins="40" MmaxChar="9.000000"
MmaxGR_base="9.000000" MmaxChar_base="9.000000" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.500" CharTailNormalize="1"><occurRates>0.60800174 0.46015572
0.34826099 0.26357537 0.19948251 0.15097493 0.11426279 0.086477838 0.065449273
0.049534162 0.037489084 0.028372972 0.021473598 0.016251926 0.012299992
0.0093090385 0.0070453865 0.0053321803 0.0040355694 0.0030542517 0.0023115582
0.0017494633 0.0013240513 0.0010020856 0.00075841135 0.00015495582 0.00015495582
0.00015495582 0.00015495582 0.00015495582 0.00015495582 0.00015495582
0.00015495582 0.00015495582 0.00015495582 0.00015495582 0.00015495582
0.00015495582 0.00015495582 0.00015495582</occurRates></incrementalMFD>
<rake>90.0</rake>
</complexFaultSource>
</sourceGroup>
</sourceModel>
</nrml>

```

Lampiran 34 : Mega_Char_Mmax-0.2

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<nrml xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"><sourceModel name="Java
Megathrust"><sourceGroup name="Java Megathrust Merged MFDs"
tectonicRegion="Subduction Interface"><!-- M1: Selat Sunda-Banten --
><complexFaultSource id="M7_S_SUNDA_GRCH_Java_Tesis" name="Selat Sunda
GR Megathrust" tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>106.
4424 -9.2287 5.0 105.4726 -8.7107 5.0 104.6985 -8.3035 5.0 103.9435 -
7.7781
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>106.4262 -7.4813 50.0 106.0797 -7.0606 50.0 105.4119 -6.7123 50.0
104.7067
-6.4716
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
MmaxGR="8.700000" b_val="1.230000" a_val="6.074000" nBins="37"
MmaxChar="8.700000" MmaxGR_base="8.800000" MmaxChar_base="8.700000"
recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><occurRates>0.20704814 0.15598086 0.11750905
0.088526098 0.066691629 0.050242509 0.037850474 0.028514865 0.021481832
0.016183458 0.012191898 0.0091848342 0.006919446 0.0052128031
0.0039270942 0.0029584983 0.0022288012 0.0016790797 0.0012649441
0.00095295265 0.00071791218 0.00054084314 0.00010855713 0.00010855713
0.00010855713 0.00010855713 0.00010855713 0.00010855713 0.00010855713
0.00010855713 0.00010855713 0.00010855713 0.00010855713 0.00010855713
0.00010855713</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFau
ltSource><!-- M2: Java1 (Jabar) --><complexFaultSource
id="M8_WEST_CENT_JAVA_GRCH_Java_Tesis" name="West cent Java GR
Megathrust" tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>109.
5586 -10.1823 5.0 108.4483 -9.9679 5.0 107.4218 -9.6016 5.0 106.4424 -
9.2287
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>109.7913 -8.7155 50.0 108.7262 -8.4091 50.0 107.8271 -8.0232 50.0
106.4262
-7.4813
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
MmaxGR="8.800000" b_val="1.170000" a_val="5.830000" nBins="38"
MmaxChar="8.800000" MmaxGR_base="8.800000" MmaxChar_base="8.800000"
recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><occurRates>0.22553508 0.17227176 0.13158734
0.10051112 0.076773987 0.058642718 0.044793407 0.034214807 0.026134494
0.019962462 0.015248043 0.011647 0.0088963958 0.0067953854 0.0051905585
0.0039647344 0.003028406 0.0023132048 0.0017669086 0.001349628
0.0010308942 0.00078743388 0.00060147017 0.00012741081 0.00012741081
0.00012741081 0.00012741081 0.00012741081 0.00012741081 0.00012741081
0.00012741081 0.00012741081 0.00012741081 0.00012741081 0.00012741081
0.00012741081</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFau
ltSource><!-- M3: Java2 (Jateng-Jatim) --><complexFaultSource
```

```

id="M9_EAST_JAVA_GRCH__Java_Tesis" name="East Java GR Megathrust"
tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>113.
9088 -10.8189 5.0 112.2374 -10.5648 5.0 111.0196 -10.3925 5.0 109.5586 -
10.1823
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>114.0312 -9.3767 50.0 112.1846 -8.8819 50.0 111.1841 -8.9063 50.0
109.7913
-8.7155
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
MmaxGR="8.900000" b_val="1.150000" a_val="5.730000" nBins="39"
MmaxChar="8.900000" MmaxGR_base="8.900000" MmaxChar_base="8.900000"
recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><occurRates>0.22216805 0.17048321 0.13082225
0.10038796 0.077033851 0.059112811 0.045360894 0.034808203 0.026710475
0.02049659 0.015728294 0.012069287 0.0092615059 0.007106923 0.005453579
0.0041848665 0.0032113054 0.0024642321 0.0018909568 0.0014510474
0.0011134779 0.00085444007 0.00065566441 0.00050313162 0.00010855507
0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507
0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507
0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507 0.00010855507
0.00010855507</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFau
ltSource><!-- M4: Java3 (Bali) --><complexFaultSource
id="M10_JAVA3_BALI_GRCH" name="Java3 (Bali) GR Megathrust"
tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>119.
1926 -11.1587 5.0 117.7301 -11.1411 5.0 115.4043 -11.0587 5.0 113.9088 -
10.8189
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>119.2159 -9.6168 50.0 117.6757 -9.5202 50.0 115.5038 -9.4877 50.0
114.0312
-9.3767
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
MmaxGR="9.000000" b_val="1.210000" a_val="6.448000" nBins="40"
MmaxChar="9.000000" MmaxGR_base="9.000000" MmaxChar_base="9.000000"
recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><occurRates>0.60800174 0.46015572 0.34826099
0.26357537 0.19948251 0.15097493 0.11426279 0.086477838 0.065449273
0.049534162 0.037489084 0.028372972 0.021473598 0.016251926 0.012299992
0.0093090385 0.0070453865 0.0053321803 0.0040355694 0.0030542517
0.0023115582 0.0017494633 0.0013240513 0.0010020856 0.00075841135
0.0002705253 0.0002705253 0.0002705253 0.0002705253 0.0002705253
0.0002705253 0.0002705253 0.0002705253 0.0002705253 0.0002705253
0.0002705253 0.0002705253 0.0002705253 0.0002705253 0.0002705253
0.0002705253</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaul
tSource></sourceGroup></sourceModel></nrml>

```

Lampiran 35 : Mega_Char_Mmax+0.2

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><nrml
xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"><sourceModel name="Java
Megathrust"><sourceGroup name="Java Megathrust Merged MFDs"
tectonicRegion="Subduction Interface"><!-- M1: Selat Sunda-Banten --
><complexFaultSource id="M7_S_SUNDA_GRCH_Java_Tesis" name="Selat Sunda
GR Megathrust" tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>106.
4424 -9.2287 5.0 105.4726 -8.7107 5.0 104.6985 -8.3035 5.0 103.9435 -
7.7781
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>106.4262 -7.4813 50.0 106.0797 -7.0606 50.0 105.4119 -6.7123 50.0
104.7067
-6.4716
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
MmaxGR="8.900000" b_val="1.230000" a_val="6.074000" nBins="39"
MmaxChar="8.900000" MmaxGR_base="8.900000" MmaxChar_base="8.900000"
recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><occurRates>0.20704814 0.15598086 0.11750905
0.088526098 0.066691629 0.050242509 0.037850474 0.028514865 0.021481832
0.016183458 0.012191898 0.0091848342 0.006919446 0.0052128031
0.0039270942 0.0029584983 0.0022288012 0.0016790797 0.0012649441
0.00095295265 0.00071791218 0.00054084314 0.00040747179 0.00030660855
8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05
8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05
8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-
05</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource><!--
M2: Java1 (Jabar) --><complexFaultSource
id="M8_WEST_CENT_JAVA_GRCH_Java_Tesis" name="West cent Java GR
Megathrust" tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>109.
5586 -10.1823 5.0 108.4483 -9.9679 5.0 107.4218 -9.6016 5.0 106.4424 -
9.2287
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>109.7913 -8.7155 50.0 108.7262 -8.4091 50.0 107.8271 -8.0232 50.0
106.4262
-7.4813
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
MmaxGR="9.000000" b_val="1.170000" a_val="5.830000" nBins="41"
MmaxChar="9.000000" MmaxGR_base="9.000000" MmaxChar_base="9.000000"
recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><occurRates>0.22553508 0.17227176 0.13158734
0.10051112 0.076773987 0.058642718 0.044793407 0.034214807 0.026134494
0.019962462 0.015248043 0.011647 0.0088963958 0.0067953854 0.0051905585
0.0039647344 0.003028406 0.0023132048 0.0017669086 0.001349628
0.0010308942 0.00078743388 0.00060147017 0.00045936095 0.00035082368
0.00026792456 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05
8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05
8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-
05</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource><!--
```

```

--      M3:      Java2      (Jateng-Jatim)      --><complexFaultSource
id="M9_EAST_JAVA_GRCH__Java_Tesis"      name="East      Java      GR      Megathrust"
tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>113.
9088 -10.8189 5.0 112.2374 -10.5648 5.0 111.0196 -10.3925 5.0 109.5586 -
10.1823
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>114.0312 -9.3767 50.0 112.1846 -8.8819 50.0 111.1841 -8.9063 50.0
109.7913
-8.7155
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD      binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"
MmaxGR="9.100000"      b_val="1.150000"      a_val="5.730000"      nBins="43"
MmaxChar="9.100000"      MmaxGR_base="9.100000"      MmaxChar_base="9.100000"
recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><occurRates>0.22216805      0.17048321      0.13082225
0.10038796 0.077033851 0.059112811 0.045360894 0.034808203 0.026710475
0.02049659 0.015728294 0.012069287 0.0092615059 0.007106923 0.005453579
0.0041848665 0.0032113054 0.0024642321 0.0018909568 0.0014510474
0.0011134779 0.00085444007 0.00065566441 0.00050313162 0.00038567608
0.00029562835 0.00022661356 0.00017372031 0.00013316822 0.00010207535
8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05
8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05
8.8758077e-05
8.8758077e-05
05</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource><!
--      M4:      Java3      (Bali)      --><complexFaultSource      id="M10_JAVA3_BALI_GRCH"
name="Java3      (Bali)      GR      Megathrust"      tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>119.
1926 -11.1587 5.0 117.7301 -11.1411 5.0 115.4043 -11.0587 5.0 113.9088 -
10.8189
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>119.2159 -9.6168 50.0 117.6757 -9.5202 50.0 115.5038 -9.4877 50.0
114.0312
-9.3767
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD      binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"
MmaxGR="9.200000"      b_val="1.210000"      a_val="6.448000"      nBins="45"
MmaxChar="9.200000"      MmaxGR_base="9.200000"      MmaxChar_base="9.200000"
recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><occurRates>0.60800174      0.46015572      0.34826099
0.26357537 0.19948251 0.15097493 0.11426279 0.086477838 0.065449273
0.049534162 0.037489084 0.028372972 0.021473598 0.016251926 0.012299992
0.0093090385 0.0070453865 0.0053321803 0.0040355694 0.0030542517
0.0023115582 0.0017494633 0.0013240513 0.0010020856 0.00075841135
0.00057396446 0.00043439852 0.00032877992 0.00024884871 0.0001883581
0.0001425797 0.00010793619 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05
8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05
8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-05 8.8758077e-
05</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource></
sourceGroup></sourceModel></nrml>

```

Lampiran 36 : Mega_GR_Mmax

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><nrml
xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"><sourceModel name="Java
Megathrust"><sourceGroup name="Java Megathrust Merged MFDs"
tectonicRegion="Subduction Interface"><!-- M1: Selat Sunda-Banten --
><complexFaultSource id="M7_S_SUNDA_GR__Java_Tesis" name="Selat Sunda GR
Megathrust" tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>106.
4424 -9.2287 5.0 105.4726 -8.7107 5.0 104.6985 -8.3035 5.0 103.9435 -
7.7781
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>106.4262 -7.4813 50.0 106.0797 -7.0606 50.0 105.4119 -6.7123 50.0
104.7067
-6.4716
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
maxMag="8.700000"><occurRates>0.20704814 0.15598086 0.11750905
0.088526098 0.066691629 0.050242509 0.037850474 0.028514865 0.021481832
0.016183458 0.012191898 0.0091848342 0.006919446 0.0052128031
0.0039270942 0.0029584983 0.0022288012 0.0016790797 0.0012649441
0.00095295265 0.00071791218 0.00054084314 0.00040747179 0.00030660855
0.00023064931 0.00017346459 0.00013045559 9.8115849e-05 7.3800601e-05
5.5514797e-05 4.176662e-05 3.1416111e-05 2.3641401e-05 1.7796532e-05
1.3404442e-05 1.0106261e-05 7.622442e-
06</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource><!--
M2: Java1 (Jabar) --><complexFaultSource
id="M8_WEST_CENT_JAVA_GR__Java_Tesis" name="West cent Java GR Megathrust"
tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>109.
5586 -10.1823 5.0 108.4483 -9.9679 5.0 107.4218 -9.6016 5.0 106.4424 -
9.2287
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>109.7913 -8.7155 50.0 108.7262 -8.4091 50.0 107.8271 -8.0232 50.0
106.4262
-7.4813
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
maxMag="8.800000"><occurRates>0.22553508 0.17227176 0.13158734
0.10051112 0.076773987 0.058642718 0.044793407 0.034214807 0.026134494
0.019962462 0.015248043 0.011647 0.0088963958 0.0067953854 0.0051905585
0.0039647344 0.003028406 0.0023132048 0.0017669086 0.001349628
0.0010308942 0.00078743388 0.00060147017 0.00045936095 0.00035082368
0.00026792456 0.0002046242 0.00015626347 0.00011932267 9.1106407e-05
6.9563528e-05 5.3141081e-05 4.0596158e-05 3.1012806e-05 2.3694489e-05
1.8102556e-05 1.3830505e-05 1.0566903e-
05</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource><!--
M3: Java2 (Jateng-Jatim) --><complexFaultSource
id="M9_EAST_JAVA_GR__Java_Tesis" name="East Java GR Megathrust"
tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>113.
9088 -10.8189 5.0 112.2374 -10.5648 5.0 111.0196 -10.3925 5.0 109.5586 -
10.1823
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
```

```

osList>114.0312 -9.3767 50.0 112.1846 -8.8819 50.0 111.1841 -8.9063 50.0
109.7913 -8.7155
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
maxMag="8.900000"><occurRates>0.22216805 0.17048321 0.13082225
0.10038796 0.077033851 0.059112811 0.045360894 0.034808203 0.026710475
0.02049659 0.015728294 0.012069287 0.0092615059 0.007106923 0.005453579
0.0041848665 0.0032113054 0.0024642321 0.0018909568 0.0014510474
0.0011134779 0.00085444007 0.00065566441 0.00050313162 0.00038567608
0.00029562835 0.00022661356 0.00017372031 0.00013316822 0.00010207535
7.8227664e-05 5.9961723e-05 4.5952458e-05 3.5213632e-05 2.6970192e-05
2.0646268e-05 1.5791704e-05 1.2061005e-05 9.1934013e-
06</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource><!
-- M4: Java3 (Bali) --><complexFaultSource id="M10_JAVA3_BALI_GR"
name="Java3 (Bali) GR Megathrust" tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>119.
1926 -11.1587 5.0 117.7301 -11.1411 5.0 115.4043 -11.0587 5.0 113.9088 -
10.8189
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>119.2159 -9.6168 50.0 117.6757 -9.5202 50.0 115.5038 -9.4877 50.0
114.0312 -9.3767
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
maxMag="9.000000"><occurRates>0.60800174 0.46015572 0.34826099
0.26357537 0.19948251 0.15097493 0.11426279 0.086477838 0.065449273
0.049534162 0.037489084 0.028372972 0.021473598 0.016251926 0.012299992
0.0093090385 0.0070453865 0.0053321803 0.0040355694 0.0030542517
0.0023115582 0.0017494633 0.0013240513 0.0010020856 0.00075841135
0.00057396446 0.00043439852 0.00032877992 0.00024884871 0.0001883581
0.0001425797 0.00010793619 8.1675709e-05 6.1778849e-05 4.6746981e-05
3.5373681e-05 2.6774431e-05 2.0274354e-05 1.5363684e-05 1.1655423e-05
8.8546234e-06 6.7371826e-06 5.1377405e-06 3.9303577e-06 3.0188358e-06
2.330246e-06 1.810221e-06 1.4172468e-06 1.1208877e-06 8.972196e-07
7.2832747e-07 6.0089066e-07 5.0473932e-07 4.321588e-07 3.7736108e-07
3.3597858e-07 3.0477752e-07 2.8125697e-07 2.6349687e-07 2.5008347e-07
2.3995575e-07 2.3230861e-07 2.2653557e-07 2.2217736e-07 2.1888628e-07
2.1640032e-07 2.1452374e-07 2.1311324e-07 2.1206723e-07 2.1131731e-07
2.1082125e-07 2.1055749e-07 2.1052095e-07 2.1072084e-07 2.1117759e-07
2.1192098e-07 2.129889e-07 2.1442688e-07 2.162869e-07 2.1862618e-07
2.2150596e-07 2.2499051e-07 2.2914593e-07 2.3403922e-07 2.3973717e-07
2.4629975e-07 2.5377312e-07 2.6218259e-07 2.7152354e-07 2.8174994e-07
2.9276777e-07 3.0443411e-07 3.1656104e-07 3.2892227e-07 3.4126505e-07
3.5332919e-07 3.6487022e-07 3.7568629e-07 3.856372e-07 3.9465822e-07
4.0276465e-07 4.1004844e-07 4.1666683e-07 4.2282075e-07 4.2873066e-07
4.3460961e-07 4.406335e-07 4.4691734e-07 4.5350445e-07 4.6037085e-07
4.6744801e-07 4.7465369e-07 4.8191096e-07 4.8915979e-07 4.9636668e-07
5.0352885e-07 5.1067396e-07 5.1785673e-07 5.2515122e-07 5.326419e-07
5.4041518e-07 5.4855297e-07 5.5712794e-07 5.662, ... (dan seterusnya
persis seperti file aslinya)
</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource></so
urceGroup></sourceModel></nrml>

```

Lampiran 37 : Mega_GR_Mmax-0.2

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><nrml
xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"><sourceModel name="Java
Megathrust"><sourceGroup name="Java Megathrust Merged MFDs"
tectonicRegion="Subduction Interface"><!-- M1: Selat Sunda-Banten --
><complexFaultSource id="M7_S_SUNDA_GR__Java_Tesis" name="Selat Sunda GR
Megathrust" tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>106.
4424 -9.2287 5.0 105.4726 -8.7107 5.0 104.6985 -8.3035 5.0 103.9435 -
7.7781
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>106.4262 -7.4813 50.0 106.0797 -7.0606 50.0 105.4119 -6.7123 50.0
104.7067
-6.4716
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
maxMag="8.500000"><occurRates>0.20704814 0.15598086 0.11750905
0.088526098 0.066691629 0.050242509 0.037850474 0.028514865 0.021481832
0.016183458 0.012191898 0.0091848342 0.006919446 0.0052128031
0.0039270942 0.0029584983 0.0022288012 0.0016790797 0.0012649441
0.00095295265 0.00071791218 0.00054084314 0.00040747179 0.00030660855
0.00023064931 0.00017346459 0.00013045559 9.8115849e-05 7.3800601e-05
5.5514797e-05 4.176662e-05 3.1416111e-05 2.3641401e-05 1.7796532e-05
1.3404442e-05 1.0106261e-
05</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource><!--
M2: Java1 (Jabar) --><complexFaultSource
id="M8_WEST_CENT_JAVA_GR__Java_Tesis" name="West cent Java GR Megathrust"
tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>109.
5586 -10.1823 5.0 108.4483 -9.9679 5.0 107.4218 -9.6016 5.0 106.4424 -
9.2287
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>109.7913 -8.7155 50.0 108.7262 -8.4091 50.0 107.8271 -8.0232 50.0
106.4262
-7.4813
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
maxMag="8.600000"><occurRates>0.22553508 0.17227176 0.13158734
0.10051112 0.076773987 0.058642718 0.044793407 0.034214807 0.026134494
0.019962462 0.015248043 0.011647 0.0088963958 0.0067953854 0.0051905585
0.0039647344 0.003028406 0.0023132048 0.0017669086 0.001349628
0.0010308942 0.00078743388 0.00060147017 0.00045936095 0.00035082368
0.00026792456 0.0002046242 0.00015626347 0.00011932267 9.1106407e-05
6.9563528e-05 5.3141081e-05 4.0596158e-05 3.1012806e-05 2.3694489e-05
1.8102556e-05 1.3830505e-
05</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource><!--
M3: Java2 (Jateng-Jatim) --><complexFaultSource
id="M9_EAST_JAVA_GR__Java_Tesis" name="East Java GR Megathrust"
tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>113.
9088 -10.8189 5.0 112.2374 -10.5648 5.0 111.0196 -10.3925 5.0 109.5586 -
10.1823
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
```

```

osList>114.0312 -9.3767 50.0 112.1846 -8.8819 50.0 111.1841 -8.9063 50.0
109.7913 -8.7155
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
maxMag="8.700000"><occurRates>0.22216805 0.17048321 0.13082225
0.10038796 0.077033851 0.059112811 0.045360894 0.034808203 0.026710475
0.02049659 0.015728294 0.012069287 0.0092615059 0.007106923 0.005453579
0.0041848665 0.0032113054 0.0024642321 0.0018909568 0.0014510474
0.0011134779 0.00085444007 0.00065566441 0.00050313162 0.00038567608
0.00029562835 0.00022661356 0.00017372031 0.00013316822 0.00010207535
7.8227664e-05 5.9961723e-05 4.5952458e-05 3.5213632e-05 2.6970192e-05
2.0646268e-05 1.5791704e-
05</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource><!
-- M4: Java3 (Bali) --><complexFaultSource id="M10_JAVA3_BALI_GR"
name="Java3 (Bali) GR Megathrust" tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>119.
1926 -11.1587 5.0 117.7301 -11.1411 5.0 115.4043 -11.0587 5.0 113.9088 -
10.8189
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>119.2159 -9.6168 50.0 117.6757 -9.5202 50.0 115.5038 -9.4877 50.0
114.0312 -9.3767
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
maxMag="8.800000"><occurRates>0.60800174 0.46015572 0.34826099
0.26357537 0.19948251 0.15097493 0.11426279 0.086477838 0.065449273
0.049534162 0.037489084 0.028372972 0.021473598 0.016251926 0.012299992
0.0093090385 0.0070453865 0.0053321803 0.0040355694 0.0030542517
0.0023115582 0.0017494633 0.0013240513 0.0010020856 0.00075841135
0.00057396446 0.00043439852 0.00032877992 0.00024884871 0.0001883581
0.0001425797 0.00010787103 8.1640344e-05 6.1788098e-05 4.6763265e-05
3.5391977e-05 2.6785812e-05 2.0272384e-
05</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource></
sourceGroup></sourceModel></nrml>

```

Lampiran 38 : Mega_GR_Mmax+0.2

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><nrml
xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"><sourceModel name="Java
Megathrust"><sourceGroup name="Java Megathrust Merged MFDs"
tectonicRegion="Subduction Interface"><!-- M1: Selat Sunda-Banten --
><complexFaultSource id="M7_S_SUNDA_GRCH__Java_Tesis" name="Selat Sunda
GR Megathrust" tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>106.
4424 -9.2287 5.0 105.4726 -8.7107 5.0 104.6985 -8.3035 5.0 103.9435 -
7.7781
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>106.4262 -7.4813 50.0 106.0797 -7.0606 50.0 105.4119 -6.7123 50.0
104.7067
-6.4716
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
MmaxGR="9.000000" b_val="1.230000" a_val="6.074000" nBins="40"
MmaxChar="9.000000" MmaxGR_base="8.900000" MmaxChar_base="9.000000"
recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><occurRates>0.20704814 0.15598086 0.11750905
0.088526098 0.066691629 0.050242509 0.037850474 0.028514865 0.021481832
0.016183458 0.012191898 0.0091848342 0.006919446 0.0052128031
0.0039270942 0.0029584983 0.0022288012 0.0016790797 0.0012649441
0.00095295265 0.00071791218 0.00054084314 0.00040747179 0.00030660855
0.00023064931 0.00017346459 0.00013045559 9.8115849e-05 7.3800601e-05
5.5514797e-05 4.176662e-05 3.1416111e-05 2.3641401e-05 1.7796532e-05
1.3404442e-05 1.0106261e-05 7.622442e-06 5.7499414e-06 4.3350477e-06
3.2699489e-
06</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource><!--
M2: Java1 (Jabar) --><complexFaultSource
id="M8_WEST_CENT_JAVA_GRCH__Java_Tesis" name="West cent Java GR
Megathrust" tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>109.
5586 -10.1823 5.0 108.4483 -9.9679 5.0 107.4218 -9.6016 5.0 106.4424 -
9.2287
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>109.7913 -8.7155 50.0 108.7262 -8.4091 50.0 107.8271 -8.0232 50.0
106.4262
-7.4813
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
MmaxGR="9.100000" b_val="1.170000" a_val="5.830000" nBins="42"
MmaxChar="9.100000" MmaxGR_base="9.000000" MmaxChar_base="9.100000"
recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><occurRates>0.22553508 0.17227176 0.13158734
0.10051112 0.076773987 0.058642718 0.044793407 0.034214807 0.026134494
0.019962462 0.015248043 0.011647 0.0088963958 0.0067953854 0.0051905585
0.0039647344 0.003028406 0.0023132048 0.0017669086 0.001349628
0.0010308942 0.00078743388 0.00060147017 0.00045936095 0.00035082368
0.00026792456 0.0002046242 0.00015626347 0.00011932267 9.1106407e-05
6.9563528e-05 5.3141081e-05 4.0596158e-05 3.1012806e-05 2.3694489e-05
1.8102556e-05 1.3830505e-05 1.0573386e-05 8.0763307e-06 6.1689904e-06
4.7146639e-06
3.6032144e-
```

```

06</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource><!
-- M3: Java2 (Jateng-Jatim) --><complexFaultSource
id="M9_EAST_JAVA_GRCH_Java_Tesis" name="East Java GR Megathrust"
tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>113.
9088 -10.8189 5.0 112.2374 -10.5648 5.0 111.0196 -10.3925 5.0 109.5586 -
10.1823
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>114.0312 -9.3767 50.0 112.1846 -8.8819 50.0 111.1841 -8.9063 50.0
109.7913 -8.7155
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
MmaxGR="9.200000" b_val="1.150000" a_val="5.730000" nBins="44"
MmaxChar="9.200000" MmaxGR_base="9.100000" MmaxChar_base="9.200000"
recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><occurRates>0.22216805 0.17048321 0.13082225
0.10038796 0.077033851 0.059112811 0.045360894 0.034808203 0.026710475
0.02049659 0.015728294 0.012069287 0.0092615059 0.007106923 0.005453579
0.0041848665 0.0032113054 0.0024642321 0.0018909568 0.0014510474
0.0011134779 0.00085444007 0.00065566441 0.00050313162 0.00038567608
0.00029562835 0.00022661356 0.00017372031 0.00013316822 0.00010207535
7.8227664e-05 5.9961723e-05 4.5952458e-05 3.5213632e-05 2.6970192e-05
2.0646268e-05 1.5791704e-05 1.2061005e-05 9.4772341e-06 7.2724645e-06
5.5806092e-06 4.2859518e-06 3.2946844e-06 2.5358657e-
06</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource><!
-- M4: Java3 (Bali) --><complexFaultSource id="M10_JAVA3_BALI_GRCH"
name="Java3 (Bali) GR Megathrust" tectonicRegion="Subduction
Interface"><complexFaultGeometry><faultTopEdge><LineString><posList>119.
1926 -11.1587 5.0 117.7301 -11.1411 5.0 115.4043 -11.0587 5.0 113.9088 -
10.8189
5.0</posList></LineString></faultTopEdge><faultBottomEdge><LineString><p
osList>119.2159 -9.6168 50.0 117.6757 -9.5202 50.0 115.5038 -9.4877 50.0
114.0312 -9.3767
50.0</posList></LineString></faultBottomEdge></complexFaultGeometry><mag
ScaleRel>StrasserInterface</magScaleRel><ruptAspectRatio>2.0</ruptAspect
Ratio><incrementalMFD binWidth="0.100000" minMag="5.000000"
MmaxGR="9.300000" b_val="1.210000" a_val="6.448000" nBins="46"
MmaxChar="9.300000" MmaxGR_base="9.200000" MmaxChar_base="9.300000"
recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><occurRates>0.60800174 0.46015572 0.34826099
0.26357537 0.19948251 0.15097493 0.11426279 0.086477838 0.065449273
0.049534162 0.037489084 0.028372972 0.021473598 0.016251926 0.012299992
0.0093090385 0.0070453865 0.0053321803 0.0040355694 0.0030542517
0.0023115582 0.0017494633 0.0013240513 0.0010020856 0.00075841135
0.00057396446 0.00043439852 0.00032877992 0.00024884871 0.0001883581
0.0001425797 0.00010793619 8.1675709e-05 6.1778849e-05 4.6746981e-05
3.5373681e-05 2.6774431e-05 2.0274354e-05 1.5363684e-05 1.1655423e-05
8.8546234e-06 6.7371826e-06 5.1377405e-06 3.9303577e-06 3.0188358e-06
2.330246e-
06</occurRates></incrementalMFD><rake>90.0</rake></complexFaultSource></
sourceGroup></sourceModel></nrml>

```

Lampiran 39 : Benn_Char_Mmax

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><nrml
xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"><sourceModel name="Java Inslab Deep Grid
(Layer2 only)"><sourceGroup name="Java Inslab Deep Grid Segments (Layer2)"
tectonicRegion="Subduction Inslab"><!-- B1: Selat Sunda-Banten (Inslab, Layer2:
100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B1_SUNDA_BANTEN_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B1 Selat Sunda-Banten Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>103.9435 -7.7781 104.7067 -6.4716
104.6985 -8.3035 105.4119 -6.7123 105.4726 -8.7107 106.0797 -7.0606 106.4424 -
9.2287 106.4262 -
7.4813</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><!-- Depth window sama dengan layer2 --><!-- MFD
placeholder, akan diisi/overwrite lewat GUI (multiMFD incrementalMFD) --
><multiMFD kind="incrementalMFD" size="8" MmaxGR="8.700000" b_val="1.060000"
a_val="5.387000" MmaxChar="8.700000" MmaxGR_base="8.900000"
MmaxChar_base="8.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width>
<!-- GUI akan mengganti lengths & occurRates --
><lengths>32</lengths><occurRates>0.0097613307 0.0076473158 0.0059911339
0.0046936319 0.0036771304 0.0028807729 0.0022568829 0.001768109 0.001385189
0.0010851981 0.00085017636 0.00066605336 0.00052180595 0.00040879825
0.00032026467 0.00025090483 0.00019656628 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
0.0097613307 0.0076473158 0.0059911339 0.0046936319 0.0036771304 0.0028807729
0.0022568829 0.001768109 0.001385189 0.0010851981 0.00085017636 0.00066605336
0.00052180595 0.00040879825 0.00032026467 0.00025090483 0.00019656628 4.618593e-
05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 0.0097613307 0.0076473158 0.0059911339 0.0046936319
0.0036771304 0.0028807729 0.0022568829 0.001768109 0.001385189 0.0010851981
0.00085017636 0.00066605336 0.00052180595 0.00040879825 0.00032026467 0.00025090483
0.00019656628 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 0.0097613307 0.0076473158
0.0059911339 0.0046936319 0.0036771304 0.0028807729 0.0022568829 0.001768109
0.001385189 0.0010851981 0.00085017636 0.00066605336 0.00052180595 0.00040879825
0.00032026467 0.00025090483 0.00019656628 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
0.0097613307 0.0076473158 0.0059911339 0.0046936319 0.0036771304 0.0028807729
0.0022568829 0.001768109 0.001385189 0.0010851981 0.00085017636 0.00066605336
0.00052180595 0.00040879825 0.00032026467 0.00025090483 0.00019656628 4.618593e-
05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 0.0097613307 0.0076473158 0.0059911339 0.0046936319
0.0036771304 0.0028807729 0.0022568829 0.001768109 0.001385189 0.0010851981
0.00085017636 0.00066605336 0.00052180595 0.00040879825 0.00032026467 0.00025090483
0.00019656628 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
0.0097613307 0.0076473158 0.0059911339 0.0046936319 0.0036771304 0.0028807729
0.0022568829 0.001768109 0.001385189 0.0010851981 0.00085017636 0.00066605336
0.00052180595 0.00040879825 0.00032026467 0.00025090483 0.00019656628 4.618593e-
05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 0.0097613307 0.0076473158 0.0059911339 0.0046936319
```

```

0.0036771304 0.0028807729 0.0022568829 0.001768109 0.001385189 0.0010851981
0.00085017636 0.00066605336 0.00052180595 0.00040879825 0.00032026467
0.00025090483 0.00019656628 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05
05</occurRates><max_mag>8.900000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><!-- contoh
hampir isotropik; bisa kamu ganti ke versi detail --><nodalPlane strike="0.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><!-- B2: Jawa bagian barat
(Inslab, Layer2: 100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B2_JAVA1_JABAR_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B2 Java1 (Jabar) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>106.4262 -7.4813 107.4529 -5.7074
107.8271 -8.0232 108.2223 -6.0632 108.7262 -8.4091 109.1867 -6.3712 109.7913 -
8.7155 110.1291 -
6.6138</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><!-- Depth window sama dengan layer2 --><!-- MFD
placeholder, akan diisi/overwrite lewat GUI (multiMFD incrementalMFD) --
><multiMFD kind="incrementalMFD" size="8" MmaxGR="8.800000" b_val="0.990000"
a_val="4.910000" MmaxChar="8.800000" MmaxGR_base="8.800000"
MmaxChar_base="8.800000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width>
<lengths>33</lengths><occurRates>0.0074336277 0.0059183522 0.0047119515
0.0037514642 0.0029867633 0.0023779395 0.0018932188 0.0015073038 0.0012000541
0.00095543425 0.00076067792 0.00060562083 0.00048217069 0.0003838847 0.0003056334
0.00024333289 0.00019373175 0.00015424135 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
0.0074336277 0.0059183522 0.0047119515 0.0037514642 0.0029867633 0.0023779395
0.0018932188 0.0015073038 0.0012000541 0.00095543425 0.00076067792 0.00060562083
0.00048217069 0.0003838847 0.0003056334 0.00024333289 0.00019373175 0.00015424135
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 0.0074336277 0.0059183522 0.0047119515
0.0037514642 0.0029867633 0.0023779395 0.0018932188 0.0015073038 0.0012000541
0.00095543425 0.00076067792 0.00060562083 0.00048217069 0.0003838847 0.0003056334
0.00024333289 0.00019373175 0.00015424135 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 0.0074336277 0.0059183522 0.0047119515
0.0037514642 0.0029867633 0.0023779395 0.0018932188 0.0015073038 0.0012000541
0.00095543425 0.00076067792 0.00060562083 0.00048217069 0.0003838847 0.0003056334
0.00024333289 0.00019373175 0.00015424135 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 0.0074336277 0.0059183522 0.0047119515
0.0037514642 0.0029867633 0.0023779395 0.0018932188 0.0015073038 0.0012000541

```

```

0.00095543425 0.00076067792 0.00060562083 0.00048217069 0.0003838847 0.0003056334
0.00024333289 0.00019373175 0.00015424135 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
0.0074336277 0.0059183522 0.0047119515 0.0037514642 0.0029867633 0.0023779395
0.0018932188 0.0015073038 0.0012000541 0.00095543425 0.00076067792 0.00060562083
0.00048217069 0.0003838847 0.0003056334 0.00024333289 0.00019373175 0.00015424135
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05
05</occurRates><max_mag>8.800000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><!-- B3: Jawa tengah + Jawa
timur (Inslab, Layer2: 100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B3_JAVA2_JATENG_JATIM_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B3 Java2 (Jateng-Jatim)
Inslab L2" tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>109.7913 -8.7155 110.1291 -6.6138
111.1841 -8.9063 111.5244 -6.7793 112.1846 -8.8819 112.9534 -6.9133 114.0312 -
9.3767 114.2409 -
7.1044</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><!-- Depth window sama dengan layer2 --><!-- MFD
placeholder, akan diisi/overwrite lewat GUI (multiMFD incrementalMFD) --
><multiMFD kind="incrementalMFD" size="8" MmaxGR="9.000000" b_val="0.950000"
a_val="4.680000" MmaxChar="9.000000" MmaxGR_base="8.900000"
MmaxChar_base="9.000000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width>
<lengths>35</lengths><occurRates>0.0070018827 0.0056261956 0.0045207952
0.003632577 0.0029188705 0.0023453887 0.0018845811 0.0015143101 0.0012167878
0.00097772074 0.00078562416 0.00063126953 0.00050724156 0.00040758184
0.00032750266 0.00026315694 0.00021145348 0.00016990839 0.00013652583
0.00010970207 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-
05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05
2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05
0.0070018827 0.0056261956 0.0045207952 0.003632577 0.0029188705 0.0023453887
0.0018845811 0.0015143101 0.0012167878 0.00097772074 0.00078562416 0.00063126953
0.00050724156 0.00040758184 0.00032750266 0.00026315694 0.00021145348
0.00016990839 0.00013652583 0.00010970207 2.8786025e-05 2.8786025e-05
0.00016990839 0.00013652583 0.00010970207 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-
05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05
2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-
05 2.8786025e-05 0.0070018827 0.0056261956 0.0045207952 0.003632577 0.0029188705
0.0023453887 0.0018845811 0.0015143101 0.0012167878 0.00097772074 0.00078562416
0.00063126953 0.00050724156 0.00040758184 0.00032750266 0.00026315694
0.00021145348 0.00016990839 0.00013652583 0.00010970207 2.8786025e-05 2.8786025e-
05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05
2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-
05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05
0.0045207952 0.003632577 0.0029188705 0.0023453887 0.0018845811 0.0015143101
0.0012167878 0.00097772074 0.00078562416 0.00063126953 0.00050724156
0.00040758184 0.00032750266 0.00026315694 0.00021145348 0.00016990839
0.00013652583 0.00010970207 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-
05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05

```

```

2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-
05 0.0070018827 0.0056261956 0.0045207952 0.003632577 0.0029188705 0.0023453887
0.0018845811 0.0015143101 0.0012167878 0.00097772074 0.00078562416 0.00063126953
0.00050724156 0.00040758184 0.00032750266 0.00026315694 0.00021145348
0.00016990839 0.00013652583 0.00010970207 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-
05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05
2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-
05 2.8786025e-05 0.0070018827 0.0056261956 0.0045207952 0.003632577 0.0029188705
0.0023453887 0.0018845811 0.0015143101 0.0012167878 0.00097772074 0.00078562416
0.00063126953 0.00050724156 0.00040758184 0.00032750266 0.00026315694
0.00021145348 0.00016990839 0.00013652583 0.00010970207 2.8786025e-05 2.8786025e-
05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05
2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-
05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 0.0070018827 0.0056261956 0.0045207952 0.003632577
0.0029188705 0.0023453887 0.0018845811 0.0015143101 0.0012167878 0.00097772074
0.00078562416 0.00063126953 0.00050724156 0.00040758184 0.00032750266
0.00026315694 0.00021145348 0.00016990839 0.00013652583 0.00010970207 2.8786025e-
05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05
2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-
05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05
2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-
05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-
05</occurRates><max_mag>8.900000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><!-- B4: Jawa Timur-Bali-
NT (Inslab, Layer2: 100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B4_JAVA3_BALI_NT_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B4 Java3 (Bali-NT) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>114.0312 -9.3767 114.2409 -7.1044
115.5038 -9.4877 115.5651 -7.2623 117.6757 -9.5202 117.7487 -7.4107 119.2159 -
9.6168 119.3377
7.3841</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><!-- Depth window sama dengan layer2 --><!-- MFD
placeholder, akan diisi/overwrite lewat GUI (multiMFD incrementalMFD) --
><multiMFD kind="incrementalMFD" size="8" MmaxGR="9.100000" b_val="1.060000"
a_val="5.236000" MmaxChar="9.100000" MmaxGR_base="8.800000"
MmaxChar_base="9.100000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width>
<lengths>36</lengths><occurRates>0.0068945992 0.0054014334 0.004231643
0.0033151946 0.0025972217 0.0020347405 0.001594076 0.0012488464 0.00097838329
0.00076649447 0.00060049449 0.00047044518 0.0003685607 0.00028874138
0.00022620856 0.00017721849 0.00013883822 0.00010876997 8.5213622e-05 6.6758878e-
05 5.2300884e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05
1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-
05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05
0.0068945992 0.0054014334 0.004231643 0.0033151946 0.0025972217 0.0020347405
0.001594076 0.0012488464 0.00097838329 0.00076649447 0.00060049449 0.00047044518
0.0003685607 0.00028874138 0.00022620856 0.00017721849 0.00013883822
0.00010876997 8.5213622e-05 6.6758878e-05 5.2300884e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-
05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05
1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-
05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 0.0068945992 0.0054014334 0.004231643 0.0033151946
0.0025972217 0.0020347405 0.001594076 0.0012488464 0.00097838329 0.00076649447
0.00060049449 0.00047044518 0.0003685607 0.00028874138 0.00022620856
0.00017721849 0.00013883822 0.00010876997 8.5213622e-05 6.6758878e-05 5.2300884e-
05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05
1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-
05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-
05 0.0068945992
0.0054014334 0.004231643 0.0033151946 0.0025972217 0.0020347405 0.001594076

```


Lampiran 40 : Benn_Char_Mmax-0.2

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><nrml
xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"><sourceModel name="Java Inslab Deep Grid
(Layer2 only)"><sourceGroup name="Java Inslab Deep Grid Segments (Layer2)"
tectonicRegion="Subduction Inslab"><multiPointSource
id="B1_SUNDA_BANTEN_INSLAB_L2__Java_Tesis" name="B1 Selat Sunda-Banten Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>103.9435 -7.7781 104.7067 -6.4716
104.6985 -8.3035 105.4119 -6.7123 105.4726 -8.7107 106.0797 -7.0606 106.4424 -
9.2287
106.4262
-
7.4813</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD" size="8"
MmaxGR="8.500000" b_val="1.060000" a_val="5.387000" MmaxChar="8.500000"
MmaxGR_base="8.700000" MmaxChar_base="8.500000" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width>
<lengths>30</lengths><occurRates>0.0097613307 0.0076473158 0.0059911339
0.0046936319 0.0036771304 0.0028807729 0.0022568829 0.001768109 0.001385189
0.0010851981 0.00085017636 0.00066605336 0.00052180595 0.00040879825
0.00032026467 0.00025090483 0.00019656628 0.0001540225 0.00012072904 9.4679026e-
05 7.4227631e-05 5.8183878e-05 4.5609754e-05 3.5745322e-05 2.7997553e-05
4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-
05</occurRates><max_mag>8.700000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><multiPointSource
id="B2_JAVA1_JABAR_INSLAB_L2__Java_Tesis" name="B2 Java1 (Jabar) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>106.4262 -7.4813 107.4529 -5.7074
107.8271 -8.0232 108.2223 -6.0632 108.7262 -8.4091 109.1867 -6.3712 109.7913 -
8.7155
110.1291
-
6.6138</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD" size="8"
MmaxGR="8.600000" b_val="0.990000" a_val="4.910000" MmaxChar="8.600000"
MmaxGR_base="8.800000" MmaxChar_base="8.600000" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width>
<lengths>31</lengths><occurRates>0.0074336277 0.0059183522 0.0047119515
0.0037514642 0.0029867633 0.0023779395 0.0018932188 0.0015073038 0.0012000541
0.00095543425 0.00076067792 0.00060562083 0.00048217069 0.0003838847 0.0003056334
0.00024333289 0.00019373175 0.00015424135 0.00012281876 9.7825719e-05 7.785599e-
05 6.1919123e-05 4.9243446e-05 3.9161365e-05 3.1131887e-05 2.4748744e-05
3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-05 3.884764e-
05</occurRates><max_mag>8.800000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><multiPointSource
id="B3_JAVA2_JATENG_JATIM_INSLAB_L2__Java_Tesis" name="B3 Java2 (Jateng-Jatim)
Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>109.7913 -8.7155 110.1291 -6.6138
111.1841 -8.9063 111.5244 -6.7793 112.1846 -8.8819 112.9534 -6.9133 114.0312 -
9.3767
114.2409
-
```

```

7.1044</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD" size="8"
MmaxGR="8.700000" b_val="0.950000" a_val="4.680000" MmaxChar="8.700000"
MmaxGR_base="9.000000" MmaxChar_base="8.700000" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width>
<lengths>32</lengths><occurRates>0.0070018827 0.0056261956 0.0045207952
0.003632577 0.0029188705 0.0023453887 0.0018845811 0.0015143101 0.0012167878
0.00097772074 0.00078562416 0.00063126953 0.00050724156 0.00040758184
0.00032750266 0.00026315694 0.00021145348 0.00016990839 0.00013652583
0.00010970207 8.8146427e-05 7.0794578e-05 5.6860016e-05 4.5668671e-05 3.6680814e-
05 2.9458273e-05 2.3653557e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05 2.8786025e-05
2.8786025e-05
05</occurRates><max_mag>8.900000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><multiPointSource
id="B4_JAVA3_BALI_NT_INSLAB_L2__Java_Tesis" name="B4 Java3 (Bali-NT) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>114.0312 -9.3767 114.2409 -7.1044
115.5038 -9.4877 115.5651 -7.2623 117.6757 -9.5202 117.7487 -7.4107 119.2159 -
9.6168 119.3377
-
7.3841</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD" size="8"
MmaxGR="8.800000" b_val="1.060000" a_val="5.236000" MmaxChar="8.800000"
MmaxGR_base="9.100000" MmaxChar_base="8.800000" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width>
<lengths>34</lengths><occurRates>0.0068945992 0.0054014334 0.004231643
0.0033151946 0.0025972217 0.0020347405 0.001594076 0.0012488464 0.00097838329
0.00076649447 0.00060049449 0.00047044518 0.0003685607 0.00028874138
0.00022620856 0.00017721849 0.00013883822 0.00010876997 8.5213622e-05 6.6758878e-
05 5.2300884e-05 4.0991131e-05 3.2116088e-05 2.515027e-05 1.9684497e-05
1.5403775e-05 1.205013e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-
05 1.2288806e-05 1.2288806e-05 1.2288806e-05
05</occurRates><max_mag>8.800000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource></sourceGroup></sourceMode
l></nrml>

```

Lampiran 41 : Benn_Char_Mmax+0.2

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><nrml
xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"><sourceModel name="Java Inslab Deep Grid
(Layer2 only)"><sourceGroup name="Java Inslab Deep Grid Segments (Layer2)"
tectonicRegion="Subduction Inslab"><multiPointSource
id="B1_SUNDA_BANTEN_INSLAB_L2__Java_Tesis" name="B1 Selat Sunda-Banten Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>103.9435 -7.7781 104.7067 -6.4716
104.6985 -8.3035 105.4119 -6.7123 105.4726 -8.7107 106.0797 -7.0606 106.4424 -
9.2287 106.4262 -
7.4813</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD" size="8"
MmaxGR="8.900000" b_val="1.060000" a_val="5.387000" MmaxChar="8.900000"
MmaxGR_base="8.700000" MmaxChar_base="8.900000" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width>
<lengths>34</lengths><occurRates>0.0097613307 0.0076473158 0.0059911339
0.0046936319 0.0036771304 0.0028807729 0.0022568829 0.001768109 0.001385189
0.0010851981 0.00085017636 0.00066605336 0.00052180595 0.00040879825
0.00032026467 0.00025090483 0.00019656628 0.0001540225 0.00012072904 9.4679026e-
05 7.4227631e-05 5.8183878e-05 4.5609754e-05 3.5745322e-05 2.7997553e-05
2.1930318e-05 1.7178328e-05 1.3456694e-05 1.0542227e-05 8.259578e-06 6.4724191e-
06 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-05 4.618593e-
05</occurRates><max_mag>8.700000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><multiPointSource
id="B2_JAVA1_JABAR_INSLAB_L2__Java_Tesis" name="B2 Java1 (Jabar) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>106.4262 -7.4813 107.4529 -5.7074
107.8271 -8.0232 108.2223 -6.0632 108.7262 -8.4091 109.1867 -6.3712 109.7913 -
8.7155 110.1291 -
6.6138</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD" size="8"
MmaxGR="9.000000" b_val="0.990000" a_val="4.910000" MmaxChar="9.000000"
MmaxGR_base="8.600000" MmaxChar_base="9.000000" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width>
<lengths>36</lengths><occurRates>0.0074336277 0.0059183522 0.0047119515
0.0037514642 0.0029867633 0.0023779395 0.0018932188 0.0015073038 0.0012000541
0.00095543425 0.00076067792 0.00060562083 0.00048217069 0.0003838847 0.0003056334
0.00024333289 0.00019373175 0.00015424135 0.00012281876 9.7825719e-05 7.785599e-
05 6.1919123e-05 4.9243446e-05 3.9161365e-05 3.1131887e-05 2.4748744e-05
1.967216e-05 1.5652388e-05 1.2446997e-05 9.8962666e-06 7.8668664e-06 6.2531998e-
06 4.9700378e-06 3.9495735e-06 3.1378789e-06 3.884764e-
05</occurRates><max_mag>8.800000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><multiPointSource
id="B3_JAVA2_JATENG_JATIM_INSLAB_L2__Java_Tesis" name="B3 Java2 (Jateng-Jatim)
Inslab L2" tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>109.7913 -8.7155 110.1291 -6.6138
```

```

111.1841 -8.9063 111.5244 -6.7793 112.1846 -8.8819 112.9534 -6.9133 114.0312 -
9.3767 114.2409 -
7.1044</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD" size="8"
MmaxGR="9.100000" b_val="0.950000" a_val="4.680000" MmaxChar="9.100000"
MmaxGR_base="8.700000" MmaxChar_base="9.100000" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width>
<lengths>38</lengths><occurRates>0.0070018827 0.0056261956 0.0045207952
0.003632577 0.0029188705 0.0023453887 0.0018845811 0.0015143101 0.0012167878
0.00097772074 0.00078562416 0.00063126953 0.00050724156 0.00040758184
0.00032750266 0.00026315694 0.00021145348 0.00016990839 0.00013652583
0.00010970207 8.8146427e-05 7.0794578e-05 5.6860016e-05 4.5668671e-05 3.6680814e-
05 2.9458273e-05 2.3653557e-05 1.9003201e-05 1.5278143e-05 1.2297064e-05
9.9098487e-06 7.9967193e-06 6.4648488e-06 5.2352508e-06 4.2483895e-06 3.4561958e-
06 2.8197896e-06 2.3070353e-
06</occurRates><max_mag>8.900000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><multiPointSource
id="B4_JAVA3_BALI_NT_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B4 Java3 (Bali-NT) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>114.0312 -9.3767 114.2409 -7.1044
115.5038 -9.4877 115.5651 -7.2623 117.6757 -9.5202 117.7487 -7.4107 119.2159 -
9.6168 119.3377 -
7.3841</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD" size="8"
MmaxGR="9.200000" b_val="1.060000" a_val="5.236000" MmaxChar="9.200000"
MmaxGR_base="8.800000" MmaxChar_base="9.200000" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width>
<lengths>40</lengths><occurRates>0.0068945992 0.0054014334 0.004231643
0.0033151946 0.0025972217 0.0020347405 0.001594076 0.0012488464 0.00097838329
0.00076649447 0.00060049449 0.00047044518 0.0003685607 0.00028874138
0.00022620856 0.00017721849 0.00013883822 0.00010876997 8.5213622e-05 6.6758878e-
05 5.2300884e-05 4.0991131e-05 3.2116088e-05 2.515027e-05 1.9684497e-05
1.5403775e-05 1.205013e-05 9.4271445e-06 7.3751984e-06 5.7704602e-06 4.5156208e-
06 3.5332872e-06 2.7641833e-06 2.1618897e-06 1.6900391e-06 1.3201288e-06 1.030,
...</occurRates><max_mag>8.800000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlan
e strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane
strike="90.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane
strike="180.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane
strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource></sourceGroup></sourceMode
l></nrml>

```

Lampiran 42 : Benn_GR Mmax

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><nrml
xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"><sourceModel name="Java Inslab Deep Grid
(Layer2 only)"><sourceGroup name="Java Inslab Deep Grid Segments (Layer2)"
tectonicRegion="Subduction Inslab"><!-- B1: Selat Sunda-Banten (Inslab, Layer2:
100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B1_S_SUNDA_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B1 Selat Sunda-Banten Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>104.7067 -6.4716 105.5687 -4.8116
105.4119 -6.7123 106.2688 -5.0642 106.0797 -7.0606 106.9506 -5.3322 106.4262 -
7.4813 107.4529 -
5.7074</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD"
size="8"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width><lengths>32</
lengths><occurRates>0.0097613307 0.0076473158 0.0059911339 0.0046936319
0.0036771304 0.0028807729 0.0022568829 0.001768109 0.001385189 0.0010851981
0.00085017636 0.00066605336 0.00052180595 0.00040879825 0.00032026467
0.00025090483 0.00019656628 0.0001540225 0.00012072904 9.4679026e-05 7.4227631e-
05 5.8183878e-05 4.5609754e-05 3.5745322e-05 2.7997553e-05 2.1930318e-05
1.7178328e-05 1.3456694e-05 1.0542227e-05 8.259578e-06 6.4724191e-06 5.0714715e-
06</occurRates><max_mag>8.700000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><!-- B2: Jawa bagian barat
(Inslab, Layer2: 100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B2_JAVA1_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B2 Java1 (Jabar) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>107.4529 -5.7074 108.0782 -3.9717
108.2223 -6.0632 108.8704 -4.2268 109.1867 -6.3712 109.8566 -4.441 110.1291 -
6.6138 111.5244 -
6.7793</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD"
size="8"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width><lengths>33</
lengths><occurRates>0.0074336277 0.0059183522 0.0047119515 0.0037514642
0.0029867633 0.0023779395 0.0018932188 0.0015073038 0.0012000541 0.00095543425
0.00076067792 0.00060562083 0.00048217069 0.0003838847 0.0003056334 0.00024333289
0.00019373175 0.00015424135 0.00012281876 9.7825719e-05 7.785599e-05 6.1919123e-
05 4.9243446e-05 3.9161365e-05 3.1131887e-05 2.4748744e-05 1.967216e-05
1.5652388e-05 1.2446997e-05 9.8962666e-06 7.8668664e-06 6.2531998e-06 4.9700378e-
06</occurRates><max_mag>8.800000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><!-- B3: Jawa tengah + Jawa
timur (Inslab, Layer2: 100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B3_JAVA2_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B3 Java2 (Jateng-Jatim) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>111.5244 -6.7793 111.721 -4.517
112.9534 -6.9133 113.182 -4.5697 114.2409 -7.1044 114.5152 -4.8157 115.5651 -
7.2623 117.7487 -
7.4107</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD"
size="8"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width><lengths>35</
```

```

lengths><occurRates>0.0070018827    0.0056261956    0.0045207952    0.003632577
0.0029188705 0.0023453887 0.0018845811 0.0015143101 0.0012167878 0.00097772074
0.00078562416 0.00063126953 0.00050724156 0.00040758184 0.00032750266
0.00026315694 0.00021145348 0.00016990839 0.00013652583 0.00010970207 8.8146427e-
05 7.0794578e-05 5.6860016e-05 4.5668671e-05 3.6680814e-05 2.9458273e-05
2.3653557e-05 1.9003201e-05 1.5278143e-05 1.2297064e-05 9.9098487e-06 7.9967193e-
06 6.4648488e-06 5.2352508e-06 4.2483895e-
06</occurRates><max_mag>8.900000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><!-- B4: Jawa Timur-Bali-
NT (Inslab, Layer2: 100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B4_JAVA3_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B4 Java3 (Bali-NT) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>117.7487 -7.4107 117.9954 -4.6582
119.3377 -7.3841 119.5992 -4.3052 120.9852 -7.2617 121.2999 -3.9027 122.1701 -
7.1512 122.4768 -
3.6309</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD"
size="8"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width><lengths>36</
lengths><occurRates>0.0068945992    0.0054014334    0.004231643    0.0033151946
0.0025972217 0.0020347405 0.001594076 0.0012488464 0.00097838329 0.00076649447
0.00060049449 0.00047044518 0.0003685607 0.00028874138 0.00022620856
0.00017721849 0.00013883822 0.00010876997 8.5213622e-05 6.6758878e-05 5.2300884e-
05 4.0991131e-05 3.2116088e-05 2.515027e-05 1.9684497e-05 1.5403775e-05
1.205013e-05 9.4271445e-06 7.3751984e-06 5.7704602e-06 4.5156208e-06 3.5332872e-
06 2.7641833e-06 2.1618897e-06 1.6900391e-06 1.3201288e-
06</occurRates><max_mag>9.000000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource></sourceGroup></sourceMode
l></nrml>

```

Lampiran 43 : Benn_GR Mmax-0.2

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<nrm1
xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrm1/0.5"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"><sourceModel name="Java Inslab Deep Grid
(Layer2 only)"><sourceGroup name="Java Inslab Deep Grid Segments (Layer2)"
tectonicRegion="Subduction Inslab"><!-- B1: Selat Sunda-Banten (Inslab, Layer2:
100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B1_S_SUNDA_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B1 Selat Sunda-Banten Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>104.7067 -6.4716 105.5687 -4.8116
105.4119 -6.7123 106.2688 -5.0642 106.0797 -7.0606 106.9506 -5.3322 106.4262 -
7.4813
107.4529
-
5.7074</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD
kind="incrementalMFD"
size="8"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width><lengths>30</
lengths><occurRates>0.0097613307 0.0076473158 0.0059911339 0.0046936319
0.0036771304 0.0028807729 0.0022568829 0.001768109 0.001385189 0.0010851981
0.00085017636 0.00066605336 0.00052180595 0.00040879825 0.00032026467
0.00025090483 0.00019656628 0.0001540225 0.00012072904 9.4679026e-05 7.4227631e-
05 5.8183878e-05 4.5609754e-05 3.5745322e-05 2.7997553e-05 2.1930318e-05
1.7178328e-05 1.3456694e-05 1.0542227e-05 8.259578e-
06</occurRates><max_mag>8.500000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth
depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><!-- B2: Jawa bagian barat
(Inslab, Layer2: 100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B2_JAVA1_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B2 Java1 (Jabar) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>107.4529 -5.7074 108.0782 -3.9717
108.2223 -6.0632 108.8704 -4.2268 109.1867 -6.3712 109.8566 -4.441 110.1291 -
6.6138
111.5244
-
6.7793</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD
kind="incrementalMFD"
size="8"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width><lengths>31</
lengths><occurRates>0.0074336277 0.0059183522 0.0047119515 0.0037514642
0.0029867633 0.0023779395 0.0018932188 0.0015073038 0.0012000541 0.00095543425
0.00076067792 0.00060562083 0.00048217069 0.0003838847 0.0003056334 0.00024333289
0.00019373175 0.00015424135 0.00012281876 9.7825719e-05 7.785599e-05 6.1919123e-
05 4.9243446e-05 3.9161365e-05 3.1131887e-05 2.4748744e-05 1.967216e-05
1.5652388e-05 1.2446997e-05 9.8962666e-06 7.8668664e-
06</occurRates><max_mag>8.600000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth
depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><!-- B3: Jawa tengah + Jawa
timur (Inslab, Layer2: 100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B3_JAVA2_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B3 Java2 (Jateng-Jatim) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>111.5244 -6.7793 111.721 -4.517
112.9534 -6.9133 113.182 -4.5697 114.2409 -7.1044 114.5152 -4.8157 115.5651 -
7.2623
117.7487
-
7.4107</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD
kind="incrementalMFD"
size="8"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width><lengths>32</
```

```

lengths><occurRates>0.0070018827    0.0056261956    0.0045207952    0.003632577
0.0029188705 0.0023453887 0.0018845811 0.0015143101 0.0012167878 0.00097772074
0.00078562416 0.00063126953 0.00050724156 0.00040758184 0.00032750266
0.00026315694 0.00021145348 0.00016990839 0.00013652583 0.00010970207 8.8146427e-
05 7.0794578e-05 5.6860016e-05 4.5668671e-05 3.6680814e-05 2.9458273e-05
2.3653557e-05 1.9003201e-05 1.5278143e-05 1.2297064e-05 9.9098487e-06 7.9967193e-
06</occurRates><max_mag>8.700000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><!-- B4: Jawa Timur-Bali-
NT (Inslab, Layer2: 100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B4_JAVA3_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B4 Java3 (Bali-NT) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>117.7487 -7.4107 117.9954 -4.6582
119.3377 -7.3841 119.5992 -4.3052 120.9852 -7.2617 121.2999 -3.9027 122.1701 -
7.1512 122.4768 -
3.6309</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD"
size="8"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width><lengths>34</
lengths><occurRates>0.0068945992    0.0054014334    0.004231643    0.0033151946
0.0025972217 0.0020347405 0.001594076 0.0012488464 0.00097838329 0.00076649447
0.00060049449 0.00047044518 0.0003685607 0.00028874138 0.00022620856
0.00017721849 0.00013883822 0.00010876997 8.5213622e-05 6.6758878e-05 5.2300884e-
05 4.0991131e-05 3.2116088e-05 2.515027e-05 1.9684497e-05 1.5403775e-05
1.205013e-05 9.4271445e-06 7.3751984e-06 5.7704602e-06 4.5156208e-06 3.5332872e-
06 2.7641833e-06 2.1618897e-
06</occurRates><max_mag>8.800000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource></sourceGroup></sourceMode
l></nrml>

```

Lampiran 44 : Benn_GR Mmax+0.2

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><nrml
xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"><sourceModel name="Java Inslab Deep Grid
(Layer2 only)"><sourceGroup name="Java Inslab Deep Grid Segments (Layer2)"
tectonicRegion="Subduction Inslab"><!-- B1: Selat Sunda-Banten (Inslab, Layer2:
100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B1_S_SUNDA_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B1 Selat Sunda-Banten Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>104.7067 -6.4716 105.5687 -4.8116
105.4119 -6.7123 106.2688 -5.0642 106.0797 -7.0606 106.9506 -5.3322 106.4262 -
7.4813 107.4529 -
5.7074</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD"
size="8"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width><lengths>34</
lengths><occurRates>0.0097613307 0.0076473158 0.0059911339 0.0046936319
0.0036771304 0.0028807729 0.0022568829 0.001768109 0.001385189 0.0010851981
0.00085017636 0.00066605336 0.00052180595 0.00040879825 0.00032026467
0.00025090483 0.00019656628 0.0001540225 0.00012072904 9.4679026e-05 7.4227631e-
05 5.8183878e-05 4.5609754e-05 3.5745322e-05 2.7997553e-05 2.1930318e-05
1.7178328e-05 1.3456694e-05 1.0542227e-05 8.259578e-06 6.4724191e-06 5.0714715e-
06 3.9729554e-06 3.1114497e-
06</occurRates><max_mag>8.900000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><!-- B2: Jawa bagian barat
(Inslab, Layer2: 100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B2_JAVA1_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B2 Java1 (Jabar) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>107.4529 -5.7074 108.0782 -3.9717
108.2223 -6.0632 108.8704 -4.2268 109.1867 -6.3712 109.8566 -4.441 110.1291 -
6.6138 111.5244 -
6.7793</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD kind="incrementalMFD"
size="8"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width><lengths>36</
lengths><occurRates>0.0074336277 0.0059183522 0.0047119515 0.0037514642
0.0029867633 0.0023779395 0.0018932188 0.0015073038 0.0012000541 0.00095543425
0.00076067792 0.00060562083 0.00048217069 0.0003838847 0.0003056334 0.00024333289
0.00019373175 0.00015424135 0.00012281876 9.7825719e-05 7.785599e-05 6.1919123e-
05 4.9243446e-05 3.9161365e-05 3.1131887e-05 2.4748744e-05 1.967216e-05
1.5652388e-05 1.2446997e-05 9.8962666e-06 7.8668664e-06 6.2531998e-06 4.9700378e-
06 3.9495735e-06 3.1378789e-06 2.492,
...</occurRates><max_mag>9.000000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlan
e strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane
strike="90.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane
strike="180.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane
strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><!-- B3: Jawa tengah + Jawa
timur (Inslab, Layer2: 100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B3_JAVA2_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B3 Java2 (Jateng-Jatim) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>111.5244 -6.7793 111.721 -4.517
112.9534 -6.9133 113.182 -4.5697 114.2409 -7.1044 114.5152 -4.8157 115.5651 -
7.2623 117.7487 -
```

```

7.4107</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD                                kind="incrementalMFD"
size="8"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width><lengths>38</
lengths><occurRates>0.0070018827    0.0056261956    0.0045207952    0.003632577
0.0029188705 0.0023453887 0.0018845811 0.0015143101 0.0012167878 0.00097772074
0.00078562416 0.00063126953 0.00050724156 0.00040758184 0.00032750266
0.00026315694 0.00021145348 0.00016990839 0.00013652583 0.00010970207 8.8146427e-
05 7.0794578e-05 5.6860016e-05 4.5668671e-05 3.6680814e-05 2.9458273e-05
2.3653557e-05 1.9003201e-05 1.5278143e-05 1.2297064e-05 9.9098487e-06 7.9967193e-
06 6.4648488e-06 5.2352508e-06 4.2483895e-06 3.4561958e-06 2.8197896e-06
2.3070353e-
06</occurRates><max_mag>9.100000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlane
strike="0.0" dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="90.0"
dip="60.0" rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="180.0" dip="60.0"
rake="90.0" probability="0.25"/><nodalPlane strike="270.0" dip="60.0" rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth    depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource><!-- B4: Jawa Timur-Bali-
NT (Inslab, Layer2: 100-225 km, hypo 125 km) --><multiPointSource
id="B4_JAVA3_INSLAB_L2_Java_Tesis" name="B4 Java3 (Bali-NT) Inslab L2"
tectonicRegion="Subduction
Inslab"><multiPointGeometry><upperSeismoDepth>100.0</upperSeismoDepth><lowerSeis
moDepth>225.0</lowerSeismoDepth><gml:posList>117.7487 -7.4107 117.9954 -4.6582
119.3377 -7.3841 119.5992 -4.3052 120.9852 -7.2617 121.2999 -3.9027 122.1701 -
7.1512                                122.4768
-
3.6309</gml:posList></multiPointGeometry><magScaleRel>WC1994</magScaleRel><ruptA
spectRatio>2.0</ruptAspectRatio><multiMFD                                kind="incrementalMFD"
size="8"><min_mag>5.500000</min_mag><bin_width>0.100000</bin_width><lengths>40</
lengths><occurRates>0.0068945992    0.0054014334    0.004231643    0.0033151946
0.0025972217 0.0020347405 0.001594076 0.0012488464 0.00097838329 0.00076649447
0.00060049449 0.00047044518 0.0003685607 0.00028874138 0.00022620856
0.00017721849 0.00013883822 0.00010876997 8.5213622e-05 6.6758878e-05 5.2300884e-
05 4.0991131e-05 3.2116088e-05 2.515027e-05 1.9684497e-05 1.5403775e-05
1.205013e-05 9.4271445e-06 7.3751984e-06 5.7704602e-06 4.5156208e-06 3.5332872e-
06 2.7641833e-06 2.1618897e-06 1.6900391e-06 1.3201288e-06 1.030,
...</occurRates><max_mag>9.200000</max_mag></multiMFD><nodalPlaneDist><nodalPlan
e    strike="0.0"    dip="60.0"    rake="90.0"    probability="0.25"/><nodalPlane
strike="90.0"    dip="60.0"    rake="90.0"    probability="0.25"/><nodalPlane
strike="180.0"    dip="60.0"    rake="90.0"    probability="0.25"/><nodalPlane
strike="270.0"                                dip="60.0"                                rake="90.0"
probability="0.25"/></nodalPlaneDist><hypoDepthDist><hypoDepth    depth="125.0"
probability="1.0"/></hypoDepthDist></multiPointSource></sourceGroup></sourceMode
l></nrml>

```

Lampiran 45 : Crust_Char Mmax

```
<?xml version='1.0' encoding='utf-8'?>
<ns0:nrml xmlns:ns0="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:ns1="http://www.opengis.net/gml"><ns0:sourceModel name="Java Tesis
Crust"><ns0:sourceGroup name="Java Crustal MFDs" tectonicRegion="Active Shallow
Crust"><ns0:simpleFaultSource id="Cimandiri-Cimandiri" name="J01 Cimandiri
(MidDip) (0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>106.745 -
7.046 106.686 -7.034 106.611 -7.020 106.592 -7.022 106.538 -
7.035</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.406400" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0052429374 0.0041646132 0.0010383728
0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728
0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728
0.0010383728
0.0010383728</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource
id="Cimandiri-NyaldungCibeber" name="J02 Nyalindung Cibeber (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.034 -6.991
106.977 -6.990 106.928 -7.022 106.836 -7.032 106.766 -
7.051</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.398700" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0051505926 0.0040894994 0.0010281364
0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364
0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364
0.0010281364
0.0010281364</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource
id="Cimandiri-Cikundul" name="J03 Cikundul (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.083 -6.989
107.166 -6.950 107.250 -6.909 107.318 -6.877 107.464 -
6.835</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.289000" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0039887163 0.0031690737 0.0008063831
0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831
0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831
0.0008063831
0.0008063831</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Lembang"
name="J04 Lembang (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.485 -6.826
107.516 -6.819 107.570 -6.825 107.652 -6.830 107.743 -
6.855</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.900000" b_val="1.000000"
```

```

a_val="3.667400"      nBins="19"      MmaxChar="6.900000"      MmaxGR_base="6.900000"
MmaxChar_base="6.900000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0080026355  0.0063646909  0.0016011612
0.0016011612  0.0016011612  0.0016011612  0.0016011612  0.0016011612  0.0016011612
0.0016011612  0.0016011612  0.0016011612  0.0016011612  0.0016011612  0.0016011612
0.0016011612  0.0016011612  0.0016011612
0.0016011612</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Garsela"
name="J05"                                Garsela                                (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.650      -7.281
107.622      -7.309      107.588      -7.333      107.545      -7.366      107.522      -
7.380</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.700000"      b_val="1.000000"
a_val="3.176900"      nBins="17"      MmaxChar="6.700000"      MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0030737351  0.0024431846  0.0007818836
0.0007818836  0.0007818836  0.0007818836  0.0007818836  0.0007818836  0.0007818836
0.0007818836  0.0007818836  0.0007818836  0.0007818836  0.0007818836  0.0007818836
0.0007818836
0.0007818836</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource>                                <ns0:simpleFaultSource
id="Baribis"                                name="J06"                                Baribis                                (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.795      -7.121
107.734      -7.188      107.709      -7.230      107.714      -7.263      107.713      -
7.275</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.800000"      b_val="1.000000"
a_val="3.414600"      nBins="18"      MmaxChar="6.800000"      MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0053420698  0.0042439538  0.0010673608
0.0010673608  0.0010673608  0.0010673608  0.0010673608  0.0010673608  0.0010673608
0.0010673608  0.0010673608  0.0010673608  0.0010673608  0.0010673608  0.0010673608
0.0010673608
0.0010673608</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Kendeng"
name="J07"                                Kendeng                                (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.091      -6.714
108.034      -6.665      107.929      -6.611      107.887      -6.585      107.832      -
6.574</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="7.000000"      b_val="1.000000"
a_val="3.583500"      nBins="20"      MmaxChar="7.000000"      MmaxGR_base="7.000000"
MmaxChar_base="7.000000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0068697204  0.0054598427  0.0013786637
0.0013786637  0.0013786637  0.0013786637  0.0013786637  0.0013786637  0.0013786637
0.0013786637  0.0013786637  0.0013786637  0.0013786637  0.0013786637  0.0013786637
0.0013786637
0.0013786637</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Lasem"
name="J08"                                Lasem                                (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.274      -6.878
108.375      -6.922      108.400      -6.933      108.429      -6.937      108.487      -
6.950</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe

```

```

ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.242500" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0035982198 0.0028594395 0.0007766520
0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520
0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520
0.0007766520</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Muria"
name="J09" Muria (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.582 -6.795
108.523 -6.777 108.505 -6.778 108.474 -6.768 108.443 -
6.767</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.600000" b_val="1.000000"
a_val="2.991900" nBins="16" MmaxChar="6.600000" MmaxGR_base="6.600000"
MmaxChar_base="6.600000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0020477340 0.0016270519 0.0007571624
0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624
0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624
0.0007571624</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Pati"
name="J10" Pati (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.760 -6.996
108.758 -6.977 108.721 -6.940 108.712 -6.932 108.633 -
6.887</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.215100" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0033774325 0.0026849669 0.0007757572
0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572
0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572
0.0007757572</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource
id="Rawapening" name="J11" Rawapening (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.983 -7.034
108.961 -7.017 108.923 -6.997 108.875 -6.988 108.789 -
6.985</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.600000" b_val="1.000000"
a_val="3.021200" nBins="16" MmaxChar="6.600000" MmaxGR_base="6.600000"
MmaxChar_base="6.600000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0022190574 0.0017631699 0.0007573189
0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189
0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189
0.0007573189</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Opak"
name="J12" Opak (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>109.024 -7.417
109.135 -7.429 109.156 -7.460 109.148 -7.479 109.067 -

```

```

7.526</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.800000" b_val="1.000000"
a_val="3.304100" nBins="18" MmaxChar="6.800000" MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0041998246 0.0033385365 0.0008080516
0.0008080516 0.0008080516 0.0008080516 0.0008080516 0.0008080516 0.0008080516
0.0008080516 0.0008080516 0.0008080516 0.0008080516 0.0008080516 0.0008080516
0.0008080516 0.0008080516 0.0008080516</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Patiaya"
name="J13" Patiaya (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>109.732 -7.764
109.676 -7.724 109.313 -7.632 109.216 -7.608 109.022 -
7.561</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.800000" b_val="1.000000"
a_val="3.360700" nBins="18" MmaxChar="6.800000" MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0047914465 0.0038093227 0.0008307194
0.0008307194 0.0008307194 0.0008307194 0.0008307194 0.0008307194 0.0008307194
0.0008307194 0.0008307194 0.0008307194 0.0008307194 0.0008307194 0.0008307194
0.0008307194 0.0008307194</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource> <ns0:simpleFaultSource id="Progo"
name="J14" Progo (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.493 -7.041
110.395 -6.986 110.270 -6.964 110.217 -6.975 110.188 -
7.009</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.222300" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0034335886 0.0027296002 0.0007760194
0.0007760194 0.0007760194 0.0007760194 0.0007760194 0.0007760194 0.0007760194
0.0007760194 0.0007760194 0.0007760194 0.0007760194 0.0007760194 0.0007760194
0.0007760194 0.0007760194</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Ungaran"
name="J15" Ungaran (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.399 -7.105
110.354 -7.074 110.325 -7.075 110.293 -7.084 110.246 -
7.099</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.500000" b_val="1.000000"
a_val="2.944400" nBins="15" MmaxChar="6.500000" MmaxGR_base="6.500000"
MmaxChar_base="6.500000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0018358766 0.0014584984 0.0007462198
0.0007462198 0.0007462198 0.0007462198 0.0007462198 0.0007462198 0.0007462198
0.0007462198 0.0007462198 0.0007462198 0.0007462198 0.0007462198 0.0007462198
0.0007462198</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource
id="SesarKebumen" name="J16" Sesar Kebumen (MidDip)

```

```

(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.407      -7.041
110.400      -7.117      110.398      -
7.179</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.200000"      b_val="1.000000"
a_val="2.703000"      nBins="12"      MmaxChar="6.200000"      MmaxGR_base="6.200000"
MmaxChar_base="6.200000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0010123267      0.0008042925      0.0007280173
0.0007280173      0.0007280173      0.0007280173      0.0007280173      0.0007280173
0.0007280173      0.0007280173
0.0007280173</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource
id="SesarKulonProgo"      name="J17      Sesar      Kulon      Progo      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.512      -7.365
110.475      -7.270      110.417      -7.248      110.410      -
7.248</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.500000"      b_val="1.000000"
a_val="2.924900"      nBins="15"      MmaxChar="6.500000"      MmaxGR_base="6.500000"
MmaxChar_base="6.500000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0017508070      0.0013908742      0.0007447070
0.0007447070      0.0007447070      0.0007447070      0.0007447070      0.0007447070
0.0007447070      0.0007447070      0.0007447070      0.0007447070      0.0007447070
0.0007447070</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource
id="SesarKaliOpakSelatan"      name="J18      Sesar      Kali      Opak      Selatan      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.277      -8.025
110.382      -7.917      110.436      -7.859      110.510      -7.767      110.556      -
7.710</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.800000"      b_val="1.000000"
a_val="3.247500"      nBins="18"      MmaxChar="6.800000"      MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0036497341      0.0028991121      0.0007975415
0.0007975415      0.0007975415      0.0007975415      0.0007975415      0.0007975415
0.0007975415      0.0007975415      0.0007975415      0.0007975415      0.0007975415
0.0007975415      0.0007975415
0.0007975415</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource
id="SesarKaliOpakUtara"      name="J19      Sesar      Kali      Opak      Utara      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.464      -7.574
110.452      -7.497      110.421      -7.376      110.430      -7.338      110.437      -
7.328</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.600000"      b_val="1.000000"
a_val="3.064000"      nBins="16"      MmaxChar="6.600000"      MmaxGR_base="6.600000"
MmaxChar_base="6.600000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0024440961      0.0019419156      0.0007588727
0.0007588727      0.0007588727      0.0007588727      0.0007588727      0.0007588727
0.0007588727      0.0007588727      0.0007588727      0.0007588727      0.0007588727
0.0007588727</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource
id="SesarPurwodadi"      name="J20      Sesar      Purwodadi      (MidDip)

```

```

(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.789      -7.122
110.759      -7.102      110.701      -7.108      110.579      -7.092      110.509      -
7.082</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.700000"      b_val="1.000000"
a_val="3.169400"      nBins="17"      MmaxChar="6.700000"      MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0030217010      0.0024021122      0.0007690088
0.0007690088      0.0007690088      0.0007690088      0.0007690088      0.0007690088
0.0007690088      0.0007690088      0.0007690088      0.0007690088      0.0007690088
0.0007690088
0.0007690088</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource
id="SesarRembang"      name="J21"      Sesar      Rembang      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.854      -6.731
110.879      -6.638      110.910      -6.556      110.903      -6.504      110.892      -
6.485</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.700000"      b_val="1.000000"
a_val="3.082300"      nBins="17"      MmaxChar="6.700000"      MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0025531458      0.0020287968      0.0007596965
0.0007596965      0.0007596965      0.0007596965      0.0007596965      0.0007596965
0.0007596965      0.0007596965      0.0007596965      0.0007596965      0.0007596965
0.0007596965
0.0007596965</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="SesarCepu"
name="J22"      Sesar      Cepu      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>111.381      -6.795
111.284      -6.806      111.004      -6.829      111.196      -6.851      110.784      -
6.978</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.900000"      b_val="1.000000"
a_val="3.339900"      nBins="19"      MmaxChar="6.900000"      MmaxGR_base="6.900000"
MmaxChar_base="6.900000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0045652138      0.0036306792      0.0008194613
0.0008194613      0.0008194613      0.0008194613      0.0008194613      0.0008194613
0.0008194613      0.0008194613      0.0008194613      0.0008194613      0.0008194613
0.0008194613
0.0008194613</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource
id="SesarBabat"      name="J23"      Sesar      Babat      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>111.189      -7.171
111.131      -7.164      111.004      -7.160      110.892      -7.164      110.848      -
7.161</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.800000"      b_val="1.000000"
a_val="3.189700"      nBins="18"      MmaxChar="6.800000"      MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0031649413      0.0025160463      0.0007707317
0.0007707317      0.0007707317      0.0007707317      0.0007707317      0.0007707317
0.0007707317      0.0007707317      0.0007707317      0.0007707317      0.0007707317
0.0007707317
0.0007707317</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra

```



```

0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006
0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006
0.0011623006
0.0011623006</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:rake>
<ns0:magnitude>WC1994</ns0:magnitude><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</ns0:ruptAspectRatio>
</ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource
id="SundaStrait" name="J32" Sunda Strait (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>105.225 -7.002
105.429 -7.256 105.666 -7.551 105.867 -7.706 106.190 -
7.974</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="7.200000" b_val="1.000000"
a_val="3.200100" nBins="22" MmaxChar="7.200000" MmaxGR_base="7.200000"
MmaxChar_base="7.200000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0031622764 0.0025138861 0.0007702884
0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884
0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884
0.0007702884</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:rake>
<ns0:magnitude>WC1994</ns0:magnitude><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</ns0:ruptAspectRatio>
</ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource
id="WetarThrust" name="J33" Wetar Thrust (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>125.534 -7.835
125.402 -7.823 125.270 -7.807 125.184 -7.796 125.096 -
7.785</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.800000" b_val="1.000000"
a_val="3.170000" nBins="18" MmaxChar="6.800000" MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0030258759 0.0024056082 0.0007691076
0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076
0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076
0.0007691076</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:rake>
<ns0:magnitude>WC1994</ns0:magnitude><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</ns0:ruptAspectRatio>
</ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource
id="FloresBackarc" name="J34" Flores Back-arc (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>120.977 -7.898
120.768 -7.890 120.425 -7.876 120.287 -7.873 120.150 -
7.865</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="7.000000" b_val="1.000000"
a_val="3.208800" nBins="20" MmaxChar="7.000000" MmaxGR_base="7.000000"
MmaxChar_base="7.000000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0033287894 0.0026475916 0.0007754294
0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294
0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294
0.0007754294</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:rake>
<ns0:magnitude>WC1994</ns0:magnitude><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</ns0:ruptAspectRatio>
</ns0:simpleFaultSource></ns0:sourceGroup></ns0:sourceModel>
</ns0:nrm1>

```

Lampiran 46 : Crust_Char Mmax-0.2

```
<?xml version='1.0' encoding='utf-8'?>
<ns0:nrml xmlns:ns0="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:ns1="http://www.opengis.net/gml"><ns0:sourceModel name="Java Tesis
Crust"><ns0:sourceGroup name="Java Crustal MFDs" tectonicRegion="Active Shallow
Crust"><!--1. Cimandiri--><ns0:simpleFaultSource id="Cimandiri-Cimandiri"
name="J01 Cimandiri (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>106.745 -7.046
106.709 -7.047 106.579 -7.018 106.538 -
7.035</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.406400" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0052429374 0.0041646132 0.0010383728
0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728
0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728 0.0010383728
0.0010383728
0.0010383728</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--2. NyalindungCibeber--
><ns0:simpleFaultSource id="Cimandiri-NyalindungCibeber" name="J02 Nyalindung
Cibeber (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.034 -6.991
107.014 -7.000 106.830 -7.032 106.766 -
7.051</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.398700" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0051505926 0.0040894994 0.0010281364
0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364
0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364 0.0010281364
0.0010281364
0.0010281364</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--3. Cikundul--
><ns0:simpleFaultSource id="Cimandiri-Cikundul" name="J03 Cikundul (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.083 -6.989
107.216 -6.926 107.340 -6.866 107.464 -
6.835</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.289000" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0039887163 0.0031690737 0.0008063831
0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831
0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831 0.0008063831
0.0008063831
0.0008063831</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--4. Lembang--
><ns0:simpleFaultSource id="Lembang" name="J04 Lembang (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.485 -6.826
107.549 -6.823 107.702 -6.845 107.743 -
6.855</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
```

```

1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.900000" b_val="1.000000"
a_val="3.667400" nBins="19" MmaxChar="6.900000" MmaxGR_base="6.900000"
MmaxChar_base="6.900000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0080026355 0.0063646909 0.0016011612
0.0016011612 0.0016011612 0.0016011612 0.0016011612 0.0016011612 0.0016011612
0.0016011612 0.0016011612 0.0016011612 0.0016011612 0.0016011612 0.0016011612
0.0016011612 0.0016011612 0.0016011612
0.0016011612</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--5. Garsela--
><ns0:simpleFaultSource id="Garsela" name="J05 Garsela (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.650 -7.281
107.597 -7.327 107.546 -7.365 107.522 -
7.380</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.176900" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0030737351 0.0024431846 0.0007818836
0.0007818836 0.0007818836 0.0007818836 0.0007818836 0.0007818836 0.0007818836
0.0007818836 0.0007818836 0.0007818836 0.0007818836 0.0007818836 0.0007818836
0.0007818836
0.0007818836</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--6. Baribis--
><ns0:simpleFaultSource id="Baribis" name="J06 Baribis (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.795 -7.121
107.704 -7.238 107.714 -7.263 107.713 -
7.275</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.800000" b_val="1.000000"
a_val="3.414600" nBins="18" MmaxChar="6.800000" MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0053420698 0.0042439538 0.0010673608
0.0010673608 0.0010673608 0.0010673608 0.0010673608 0.0010673608 0.0010673608
0.0010673608 0.0010673608 0.0010673608 0.0010673608 0.0010673608 0.0010673608
0.0010673608
0.0010673608</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--7. Kendeng--
><ns0:simpleFaultSource id="Kendeng" name="J07 Kendeng (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.091 -6.714
107.929 -6.611 107.881 -6.583 107.832 -
6.574</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="7.000000" b_val="1.000000"
a_val="3.583500" nBins="20" MmaxChar="7.000000" MmaxGR_base="7.000000"
MmaxChar_base="7.000000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0068697204 0.0054598427 0.0013786637
0.0013786637 0.0013786637 0.0013786637 0.0013786637 0.0013786637 0.0013786637
0.0013786637 0.0013786637 0.0013786637 0.0013786637 0.0013786637 0.0013786637
0.0013786637
0.0013786637</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--8. Lasem--
><ns0:simpleFaultSource id="Lasem" name="J08 Lasem (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.274 -6.878

```

```

108.392      -6.930      108.429      -6.937      108.487      -
6.950</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.242500" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0035982198 0.0028594395 0.0007766520
0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520
0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520 0.0007766520
0.0007766520
0.0007766520</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--9. Muria--
><ns0:simpleFaultSource id="Muria" name="J09 Muria (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.582 -6.795
108.514 -6.778 108.474 -6.768 108.443 -
6.767</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.600000" b_val="1.000000"
a_val="2.991900" nBins="16" MmaxChar="6.600000" MmaxGR_base="6.600000"
MmaxChar_base="6.600000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0020477340 0.0016270519 0.0007571624
0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624
0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624 0.0007571624
0.0007571624</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--10. Anjatan--
><ns0:simpleFaultSource id="Anjatan" name="J10 Anjatan (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.760 -6.996
108.730 -6.949 108.713 -6.932 108.633 -
6.887</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.215100" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0033774325 0.0026849669 0.0007757572
0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572
0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572 0.0007757572
0.0007757572
0.0007757572</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--11. Rawapening--
><ns0:simpleFaultSource id="Rawapening" name="J11 Rawapening (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.983 -7.034
108.947 -7.008 108.875 -6.988 108.789 -
6.985</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.600000" b_val="1.000000"
a_val="3.021200" nBins="16" MmaxChar="6.600000" MmaxGR_base="6.600000"
MmaxChar_base="6.600000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0022190574 0.0017631699 0.0007573189
0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189
0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189 0.0007573189
0.0007573189</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--12. Ajibarang--
><ns0:simpleFaultSource id="Ajibarang" name="J12 Ajibarang (MidDip)

```

```

(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>109.024      -7.417
109.144      -7.438      109.149      -7.479      109.067      -
7.526</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.800000"      b_val="1.000000"
a_val="3.304100"      nBins="18"      MmaxChar="6.800000"      MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0041998246      0.0033385365      0.0008080516
0.0008080516      0.0008080516      0.0008080516      0.0008080516      0.0008080516
0.0008080516      0.0008080516      0.0008080516      0.0008080516      0.0008080516
0.0008080516      0.0008080516      0.0008080516      0.0008080516      0.0008080516
0.0008080516</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource>      <!--13.      Patiaya--
><ns0:simpleFaultSource      id="Patiaya"      name="J13      Patiaya      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>109.732      -7.764
109.652      -7.706      109.216      -7.608      109.022      -
7.561</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.800000"      b_val="1.000000"
a_val="3.360700"      nBins="18"      MmaxChar="6.800000"      MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0047914465      0.0038093227      0.0008307194
0.0008307194      0.0008307194      0.0008307194      0.0008307194      0.0008307194
0.0008307194      0.0008307194      0.0008307194      0.0008307194      0.0008307194
0.0008307194      0.0008307194      0.0008307194      0.0008307194      0.0008307194
0.0008307194</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--14.      Progo--
><ns0:simpleFaultSource      id="Progo"      name="J14      Progo      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.493      -7.041
110.365      -6.977      110.217      -6.975      110.188      -
7.009</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.700000"      b_val="1.000000"
a_val="3.222300"      nBins="17"      MmaxChar="6.700000"      MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0034335886      0.0027296002      0.0007760194
0.0007760194      0.0007760194      0.0007760194      0.0007760194      0.0007760194
0.0007760194      0.0007760194      0.0007760194      0.0007760194      0.0007760194
0.0007760194      0.0007760194      0.0007760194      0.0007760194      0.0007760194
0.0007760194</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--15.      Ungaran--
><ns0:simpleFaultSource      id="Ungaran"      name="J15      Ungaran      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.399      -7.105
110.354      -7.074      110.293      -7.084      110.246      -
7.099</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.500000"      b_val="1.000000"
a_val="2.944400"      nBins="15"      MmaxChar="6.500000"      MmaxGR_base="6.500000"
MmaxChar_base="6.500000"      recurrence="Characteristic"      CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0018358766      0.0014584984      0.0007462198
0.0007462198      0.0007462198      0.0007462198      0.0007462198      0.0007462198
0.0007462198      0.0007462198      0.0007462198      0.0007462198      0.0007462198
0.0007462198      0.0007462198      0.0007462198      0.0007462198      0.0007462198
0.0007462198</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n

```

```

s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--16.                                Kebumen--
><ns0:simpleFaultSource id="SesarKebumen" name="J16 Sesar Kebumen (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.407      -7.041
110.400      -7.117      110.398      -7.179      110.398      -
7.179</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.200000" b_val="1.000000"
a_val="2.703000" nBins="12" MmaxChar="6.200000" MmaxGR_base="6.200000"
MmaxChar_base="6.200000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0010123267 0.0008042925 0.0007280173
0.0007280173 0.0007280173 0.0007280173 0.0007280173 0.0007280173 0.0007280173
0.0007280173
0.0007280173</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--17.                                KulonProgo--
><ns0:simpleFaultSource id="SesarKulonProgo" name="J17 Sesar Kulon Progo (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.512      -7.365
110.475      -7.270      110.410      -7.248      110.410      -
7.248</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.500000" b_val="1.000000"
a_val="2.924900" nBins="15" MmaxChar="6.500000" MmaxGR_base="6.500000"
MmaxChar_base="6.500000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0017508070 0.0013908742 0.0007447070
0.0007447070 0.0007447070 0.0007447070 0.0007447070 0.0007447070 0.0007447070
0.0007447070
0.0007447070</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--18.                                OpakSelatan--
><ns0:simpleFaultSource id="SesarKaliOpakSelatan" name="J18 Sesar Kali Opak
Selatan (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.277      -8.025
110.410      -7.890      110.510      -7.767      110.556      -
7.710</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.800000" b_val="1.000000"
a_val="3.247500" nBins="18" MmaxChar="6.800000" MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0036497341 0.0028991121 0.0007975415
0.0007975415 0.0007975415 0.0007975415 0.0007975415 0.0007975415 0.0007975415
0.0007975415
0.0007975415</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--19.                                OpakUtara--
><ns0:simpleFaultSource id="SesarKaliOpakUtara" name="J19 Sesar Kali Opak Utara
(MidDip) (0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.464 -
7.574      110.436      -7.423      110.430      -7.338      110.437      -
7.328</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.600000" b_val="1.000000"
a_val="3.064000" nBins="16" MmaxChar="6.600000" MmaxGR_base="6.600000"
MmaxChar_base="6.600000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0024440961 0.0019419156 0.0007588727
0.0007588727 0.0007588727 0.0007588727 0.0007588727 0.0007588727 0.0007588727
0.0007588727
0.0007588727</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra

```

```

ke><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--20. Purwodadi--
><ns0:simpleFaultSource id="SesarPurwodadi" name="J20 Sesar Purwodadi (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.789 -7.122
110.701 -7.108 110.579 -7.092 110.509 -
7.082</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.169400" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurences>0.0030217010 0.0024021122 0.0007690088
0.0007690088 0.0007690088 0.0007690088 0.0007690088 0.0007690088 0.0007690088
0.0007690088 0.0007690088 0.0007690088 0.0007690088 0.0007690088 0.0007690088
0.0007690088
0.0007690088</ns0:occurences></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--21. Rembang--
><ns0:simpleFaultSource id="SesarRembang" name="J21 Sesar Rembang (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.854 -6.731
110.910 -6.556 110.903 -6.504 110.892 -
6.485</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.082300" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurences>0.0025531458 0.0020287968 0.0007596965
0.0007596965 0.0007596965 0.0007596965 0.0007596965 0.0007596965 0.0007596965
0.0007596965 0.0007596965 0.0007596965 0.0007596965 0.0007596965 0.0007596965
0.0007596965
0.0007596965</ns0:occurences></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--22. Cepu--><ns0:simpleFaultSource
id="SesarCepu" name="J22 Sesar Cepu (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>111.381 -6.795
111.223 -6.829 111.196 -6.851 110.784 -
6.978</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.900000" b_val="1.000000"
a_val="3.339900" nBins="19" MmaxChar="6.900000" MmaxGR_base="6.900000"
MmaxChar_base="6.900000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurences>0.0045652138 0.0036306792 0.0008194613
0.0008194613 0.0008194613 0.0008194613 0.0008194613 0.0008194613 0.0008194613
0.0008194613 0.0008194613 0.0008194613 0.0008194613 0.0008194613 0.0008194613
0.0008194613
0.0008194613</ns0:occurences></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--23. Babat--
><ns0:simpleFaultSource id="SesarBabat" name="J23 Sesar Babat (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>111.189 -7.171
111.004 -7.160 110.892 -7.164 110.848 -
7.161</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.800000" b_val="1.000000"
a_val="3.189700" nBins="18" MmaxChar="6.800000" MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurences>0.0031649413 0.0025160463 0.0007707317
0.0007707317 0.0007707317 0.0007707317 0.0007707317 0.0007707317 0.0007707317
0.0007707317 0.0007707317 0.0007707317 0.0007707317 0.0007707317 0.0007707317
0.0007707317

```

```

0.0007707317 0.0007707317 0.0007707317 0.0007707317 0.0007707317 0.0007707317
0.0007707317 0.0007707317
0.0007707317</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:rake>
<ns0:magnitude>WC1994</ns0:magnitude><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</ns0:ruptAspectRatio>
</ns0:simpleFaultSource><!--24. Waru--><ns0:simpleFaultSource
id="SesarWaru" name="J24 Sesar Waru (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>112.118 -7.371
111.616 -7.281 111.479 -7.247 111.211 -
7.194</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="7.100000" b_val="1.000000"
a_val="3.582000" nBins="21" MmaxChar="7.100000" MmaxGR_base="7.100000"
MmaxChar_base="7.100000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0068506274 0.0054446711 0.0013748369
0.0013748369 0.0013748369 0.0013748369 0.0013748369 0.0013748369 0.0013748369
0.0013748369 0.0013748369 0.0013748369 0.0013748369 0.0013748369 0.0013748369
0.0013748369 0.0013748369 0.0013748369 0.0013748369 0.0013748369 0.0013748369
0.0013748369</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:rake>
<ns0:magnitude>WC1994</ns0:magnitude><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource>
<!--25. Surabaya--
><ns0:simpleFaultSource id="SesarSurabaya" name="J25 Sesar Surabaya (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>112.321 -7.204
112.177 -7.223 112.112 -7.258 112.058 -
7.310</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.800000" b_val="1.000000"
a_val="3.311800" nBins="18" MmaxChar="6.800000" MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0042753193 0.0033985595 0.0008092370
0.0008092370 0.0008092370 0.0008092370 0.0008092370 0.0008092370 0.0008092370
0.0008092370 0.0008092370 0.0008092370 0.0008092370 0.0008092370 0.0008092370
0.0008092370 0.0008092370 0.0008092370 0.0008092370 0.0008092370 0.0008092370
0.0008092370</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:rake>
<ns0:magnitude>WC1994</ns0:magnitude><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--26. Pasuruan--
><ns0:simpleFaultSource id="SesarPasuruan" name="J26 Sesar Pasuruan (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>112.699 -7.334
112.335 -7.326 112.117 -7.358 112.117 -
7.358</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.900000" b_val="1.000000"
a_val="3.355100" nBins="19" MmaxChar="6.900000" MmaxGR_base="6.900000"
MmaxChar_base="6.900000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0047257465 0.0037597287 0.0008266064
0.0008266064 0.0008266064 0.0008266064 0.0008266064 0.0008266064 0.0008266064
0.0008266064 0.0008266064 0.0008266064 0.0008266064 0.0008266064 0.0008266064
0.0008266064 0.0008266064 0.0008266064 0.0008266064 0.0008266064 0.0008266064
0.0008266064</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:rake>
<ns0:magnitude>WC1994</ns0:magnitude><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--27. Probolinggo--
><ns0:simpleFaultSource id="SesarProbolinggo" name="J27 Sesar Probolinggo
(MidDip) (0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>112.731 -
7.283 112.596 -7.233 112.574 -7.228 112.529 -
7.202</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.600000" b_val="1.000000"
a_val="3.078500" nBins="16" MmaxChar="6.600000" MmaxGR_base="6.600000"

```

```

MmaxChar_base="6.600000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0025295484 0.0020100432 0.0007594622
0.0007594622 0.0007594622 0.0007594622 0.0007594622 0.0007594622 0.0007594622
0.0007594622 0.0007594622 0.0007594622 0.0007594622 0.0007594622 0.0007594622
0.0007594622</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--28. Sumenep--
><ns0:simpleFaultSource id="SesarSumenep" name="J28 Sesar Sumenep (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>113.108 -7.716
113.035 -7.679 112.999 -7.669 112.964 -
7.647</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.600000" b_val="1.000000"
a_val="3.033200" nBins="16" MmaxChar="6.600000" MmaxGR_base="6.600000"
MmaxChar_base="6.600000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0022724612 0.0018068353 0.0007577393
0.0007577393 0.0007577393 0.0007577393 0.0007577393 0.0007577393
0.0007577393 0.0007577393 0.0007577393 0.0007577393 0.0007577393 0.0007577393
0.0007577393</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--29. Kangean--
><ns0:simpleFaultSource id="SesarKangean" name="J29 Sesar Kangean (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>113.338 -7.878
113.414 -7.870 113.443 -7.863 113.473 -
7.854</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.300000" b_val="1.000000"
a_val="2.787600" nBins="13" MmaxChar="6.300000" MmaxGR_base="6.300000"
MmaxChar_base="6.300000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0012331391 0.0009805090 0.0007323161
0.0007323161 0.0007323161 0.0007323161 0.0007323161 0.0007323161
0.0007323161 0.0007323161 0.0007323161 0.0007323161 0.0007323161
0.0007323161</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--30. SumbaBackarc--
><ns0:simpleFaultSource id="SumbaBackarc" name="J30 Sumba Back-arc (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>113.310 -6.406
113.940 -6.032 114.507 -5.698 114.507 -
5.698</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="7.100000" b_val="1.000000"
a_val="3.304400" nBins="21" MmaxChar="7.100000" MmaxGR_base="7.100000"
MmaxChar_base="7.100000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0042068550 0.0033427373 0.0008087172
0.0008087172 0.0008087172 0.0008087172 0.0008087172 0.0008087172
0.0008087172 0.0008087172 0.0008087172 0.0008087172 0.0008087172 0.0008087172
0.0008087172</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--31. TimorTrough--
><ns0:simpleFaultSource id="TimorTrough" name="J31 Timor Trough (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>113.255 -6.965
113.972 -7.054 114.426 -7.122 115.296 -
7.194</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="7.300000" b_val="1.000000"
a_val="3.488600" nBins="23" MmaxChar="7.300000" MmaxGR_base="7.300000"

```

```

MmaxChar_base="7.300000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0060277501 0.0047905694 0.0011623006
0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006
0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006
0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006 0.0011623006
0.0011623006</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magnitudeRel>WC1994</ns0:magnitudeRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--32. SundaStrait--
><ns0:simpleFaultSource id="SundaStrait" name="J32 Sunda Strait (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>105.225 -7.002
105.666 -7.551 105.867 -7.706 106.190 -
7.974</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="7.200000" b_val="1.000000"
a_val="3.200100" nBins="22" MmaxChar="7.200000" MmaxGR_base="7.200000"
MmaxChar_base="7.200000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0031622764 0.0025138861 0.0007702884
0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884
0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884 0.0007702884
0.0007702884</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magnitudeRel>WC1994</ns0:magnitudeRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--33. WetarThrust--
><ns0:simpleFaultSource id="WetarThrust" name="J33 Wetar Thrust (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>125.534 -7.835
125.270 -7.807 125.184 -7.796 125.096 -
7.785</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.800000" b_val="1.000000"
a_val="3.170000" nBins="18" MmaxChar="6.800000" MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0030258759 0.0024056082 0.0007691076
0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076
0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076 0.0007691076
0.0007691076</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magnitudeRel>WC1994</ns0:magnitudeRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--34. FloresBackarc--
><ns0:simpleFaultSource id="FloresBackarc" name="J34 Flores Back-arc (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>120.977 -7.898
120.425 -7.876 120.287 -7.873 120.150 -
7.865</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E01</ns0:dip><ns0:upperSei
smoDepth>0.000000E00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="7.000000" b_val="1.000000"
a_val="3.208800" nBins="20" MmaxChar="7.000000" MmaxGR_base="7.000000"
MmaxChar_base="7.000000" recurrence="Characteristic" CharTailWidth="1.500"
CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0033287894 0.0026475916 0.0007754294
0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294
0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294 0.0007754294
0.0007754294</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E01</ns0:ra
ke><ns0:magnitudeRel>WC1994</ns0:magnitudeRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E00</n
s0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource></ns0:sourceGroup></ns0:sourceModel><
/ns0:nrml>

```

Lampiran 47 : Crust_Char_Mmax+0.2

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><ns0:nrml
xmlns:ns0="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:ns1="http://www.opengis.net/gml"><ns0:sourceModel name="Java Tesis
Crust"><ns0:sourceGroup name="Java Crustal MFDs" tectonicRegion="Active Shallow
Crust"><!-- 1. Cimandiri-Cimandiri --><ns0:simpleFaultSource id="Cimandiri-
Cimandiri" name="J01 Cimandiri (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>106.745 -7.046
106.693 -7.034 106.592 -7.022 106.538 -
7.035</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.9" b_val="1.0" a_val="3.4084" nBins="19" MmaxChar="6.9"
MmaxGR_base="6.9" MmaxChar_base="6.9" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0052652344
0.0041823202 0.0010403222 0.0010403222 0.0010403222 0.0010403222 0.0010403222
0.0010403222 0.0010403222 0.0010403222 0.0010403222 0.0010403222 0.0010403222
0.0010403222 0.0010403222 0.0010403222 0.0010403222 0.0010403222
0.0010403222</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 2. Cimandiri-NyaldungCibeber --
><ns0:simpleFaultSource id="Cimandiri-NyaldungCibeber" name="J02 Nyalindung
Cibeber (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.034 -6.991
106.977 -6.990 106.836 -7.032 106.766 -
7.051</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.9" b_val="1.0" a_val="3.4007" nBins="19" MmaxChar="6.9"
MmaxGR_base="6.9" MmaxChar_base="6.9" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0051724880
0.0041068848 0.0010300688 0.0010300688 0.0010300688 0.0010300688 0.0010300688
0.0010300688 0.0010300688 0.0010300688 0.0010300688 0.0010300688 0.0010300688
0.0010300688 0.0010300688 0.0010300688 0.0010300688 0.0010300688
0.0010300688</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 3. Cimandiri-Cikundul --><ns0:simpleFaultSource
id="Cimandiri-Cikundul" name="J03 Cikundul (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.083 -6.989
107.166 -6.950 107.318 -6.877 107.464 -
6.835</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.9" b_val="1.0" a_val="3.2910" nBins="19" MmaxChar="6.9"
MmaxGR_base="6.9" MmaxChar_base="6.9" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0040051206
0.0031821384 0.0008077787 0.0008077787 0.0008077787 0.0008077787 0.0008077787
0.0008077787 0.0008077787 0.0008077787 0.0008077787 0.0008077787 0.0008077787
0.0008077787 0.0008077787 0.0008077787 0.0008077787 0.0008077787
0.0008077787</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 4. Lembang --><ns0:simpleFaultSource id="Lembang"
name="J04 Lembang (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.485 -6.826
107.516 -6.819 107.652 -6.830 107.743 -
6.855</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="7.1" b_val="1.0" a_val="3.6694" nBins="21" MmaxChar="7.1"
MmaxGR_base="7.1" MmaxChar_base="7.1" recurrence="Characteristic"
```

```

CharTailWidth="1.5"          CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0080362272
0.0063913126 0.0016032536 0.0016032536 0.0016032536 0.0016032536 0.0016032536
0.0016032536 0.0016032536 0.0016032536 0.0016032536 0.0016032536 0.0016032536
0.0016032536 0.0016032536 0.0016032536 0.0016032536 0.0016032536 0.0016032536
0.0016032536
0.0016032536</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 5. Garsela --><ns0:simpleFaultSource id="Garsela"
name="J05"          Garsela          (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.650      -7.281
107.588      -7.333      107.545      -7.366      107.522      -
7.380</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD      binWidth="0.1"      minMag="5.0"
MmaxGR="6.9"      b_val="1.0"      a_val="3.1789"      nBins="19"      MmaxChar="6.9"
MmaxGR_base="6.9"      MmaxChar_base="6.9"      recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5"          CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0030864030
0.0024531251 0.0007826581 0.0007826581 0.0007826581 0.0007826581 0.0007826581
0.0007826581 0.0007826581 0.0007826581 0.0007826581 0.0007826581 0.0007826581
0.0007826581 0.0007826581 0.0007826581 0.0007826581 0.0007826581
0.0007826581</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 6. Baribis --><ns0:simpleFaultSource id="Baribis"
name="J06"          Baribis          (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.795      -7.121
107.709      -7.230      107.714      -7.263      107.713      -
7.275</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD      binWidth="0.1"      minMag="5.0"
MmaxGR="7.0"      b_val="1.0"      a_val="3.4166"      nBins="20"      MmaxChar="7.0"
MmaxGR_base="7.0"      MmaxChar_base="7.0"      recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5"          CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0053631612
0.0042607058 0.0010694890 0.0010694890 0.0010694890 0.0010694890 0.0010694890
0.0010694890 0.0010694890 0.0010694890 0.0010694890 0.0010694890 0.0010694890
0.0010694890 0.0010694890 0.0010694890 0.0010694890 0.0010694890
0.0010694890</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 7. Kendeng --><ns0:simpleFaultSource id="Kendeng"
name="J07"          Kendeng          (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.091      -6.714
108.034      -6.665      107.887      -6.585      107.832      -
6.574</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD      binWidth="0.1"      minMag="5.0"
MmaxGR="7.2"      b_val="1.0"      a_val="3.5855"      nBins="22"      MmaxChar="7.2"
MmaxGR_base="7.2"      MmaxChar_base="7.2"      recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5"          CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0069012628
0.0054848970 0.0013805104 0.0013805104 0.0013805104 0.0013805104 0.0013805104
0.0013805104 0.0013805104 0.0013805104 0.0013805104 0.0013805104 0.0013805104
0.0013805104 0.0013805104 0.0013805104 0.0013805104 0.0013805104
0.0013805104</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 8. Lasem --><ns0:simpleFaultSource id="Lasem"
name="J08"          Lasem          (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.274      -6.878
108.400      -6.933      108.429      -6.937      108.487      -
6.950</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD      binWidth="0.1"      minMag="5.0"
MmaxGR="6.9"      b_val="1.0"      a_val="3.2445"      nBins="19"      MmaxChar="6.9"

```

```

MmaxGR_base="6.9"          MmaxChar_base="6.9"          recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5"        CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0036120104
0.0028704402 0.0007773895 0.0007773895 0.0007773895 0.0007773895 0.0007773895
0.0007773895 0.0007773895 0.0007773895 0.0007773895 0.0007773895 0.0007773895
0.0007773895 0.0007773895 0.0007773895 0.0007773895 0.0007773895
0.0007773895</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 9. Muria --><ns0:simpleFaultSource id="Muria"
name="J09" Muria (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.582 -6.795
108.505 -6.778 108.474 -6.768 108.443 -
6.767</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.8" b_val="1.0" a_val="2.9939" nBins="18" MmaxChar="6.8"
MmaxGR_base="6.8" MmaxChar_base="6.8" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0020560208
0.0016336355 0.0007577514 0.0007577514 0.0007577514 0.0007577514 0.0007577514
0.0007577514 0.0007577514 0.0007577514 0.0007577514 0.0007577514 0.0007577514
0.0007577514 0.0007577514 0.0007577514 0.0007577514
0.0007577514</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 10. Pati --><ns0:simpleFaultSource id="Pati"
name="J10 Pati (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.760 -6.996
108.721 -6.940 108.712 -6.932 108.633 -
6.887</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.9" b_val="1.0" a_val="3.2171" nBins="19" MmaxChar="6.9"
MmaxGR_base="6.9" MmaxChar_base="6.9" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0033929955
0.0026973481 0.0007764697 0.0007764697 0.0007764697 0.0007764697 0.0007764697
0.0007764697 0.0007764697 0.0007764697 0.0007764697 0.0007764697 0.0007764697
0.0007764697 0.0007764697 0.0007764697 0.0007764697
0.0007764697</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0
<ns0:simpleFaultSource id="Rawapening" name="J11 Rawapening (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.983 -7.034
108.923 -6.997 108.875 -6.988 108.789 -
6.985</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.8" b_val="1.0" a_val="3.0232" nBins="18" MmaxChar="6.8"
MmaxGR_base="6.8" MmaxChar_base="6.8" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0022280002
0.0017702765 0.0007579081 0.0007579081 0.0007579081 0.0007579081 0.0007579081
0.0007579081 0.0007579081 0.0007579081 0.0007579081 0.0007579081 0.0007579081
0.0007579081 0.0007579081 0.0007579081
0.0007579081</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 12. Opak --><ns0:simpleFaultSource id="Opak"
name="J12 Opak (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>109.024 -7.417
109.135 -7.429 109.148 -7.479 109.067 -
7.526</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="7.0" b_val="1.0" a_val="3.3061" nBins="20" MmaxChar="7.0"
MmaxGR_base="7.0" MmaxChar_base="7.0" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0042185328

```



```

0.0013766921 0.0013766921 0.0013766921 0.0013766921 0.0013766921 0.0013766921
0.0013766921 0.0013766921 0.0013766921 0.0013766921 0.0013766921 0.0013766921
0.0013766921 0.0013766921 0.0013766921 0.0013766921 0.0013766921 0.0013766921
0.0013766921</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 25. SesarSurabaya --><ns0:simpleFaultSource
id="SesarSurabaya" name="J25 Sesar Surabaya (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>112.321 -7.204
112.177 -7.223 112.112 -7.258 112.058 -
7.310</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="7.0" b_val="1.0" a_val="3.3138" nBins="20" MmaxChar="7.0"
MmaxGR_base="7.0" MmaxChar_base="7.0" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0042945315
0.0034138321 0.0008103577 0.0008103577 0.0008103577 0.0008103577 0.0008103577
0.0008103577 0.0008103577 0.0008103577 0.0008103577 0.0008103577 0.0008103577
0.0008103577 0.0008103577 0.0008103577 0.0008103577 0.0008103577 0.0008103577
0.0008103577</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 26. SesarPasuruan --><ns0:simpleFaultSource
id="SesarPasuruan" name="J26 Sesar Pasuruan (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>112.699 -7.334
112.176 -
7.329</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="7.1" b_val="1.0" a_val="3.3571" nBins="21" MmaxChar="7.1"
MmaxGR_base="7.1" MmaxChar_base="7.1" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0047502190
0.0037791746 0.0008278036 0.0008278036 0.0008278036 0.0008278036 0.0008278036
0.0008278036 0.0008278036 0.0008278036 0.0008278036 0.0008278036 0.0008278036
0.0008278036 0.0008278036 0.0008278036 0.0008278036 0.0008278036 0.0008278036
0.0008278036</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 27. SesarProbolinggo --><ns0:simpleFaultSource
id="SesarProbolinggo" name="J27 Sesar Probolinggo (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>112.731 -7.283
112.596 -7.233 112.574 -7.228 112.529 -
7.202</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.8" b_val="1.0" a_val="3.0805" nBins="18" MmaxChar="6.8"
MmaxGR_base="6.8" MmaxChar_base="6.8" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0025412580
0.0020193571 0.0007600523 0.0007600523 0.0007600523 0.0007600523 0.0007600523
0.0007600523 0.0007600523 0.0007600523 0.0007600523 0.0007600523 0.0007600523
0.0007600523 0.0007600523 0.0007600523 0.0007600523 0.0007600523 0.0007600523
0.0007600523</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 28. SesarSumenep --><ns0:simpleFaultSource
id="SesarSumenep" name="J28 Sesar Sumenep (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>113.108 -7.716
113.035 -7.679 112.999 -7.669 112.964 -
7.647</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.8" b_val="1.0" a_val="3.0352" nBins="18" MmaxChar="6.8"
MmaxGR_base="6.8" MmaxChar_base="6.8" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0022816260

```

```

0.0007583284 0.0007583284 0.0007583284 0.0007583284 0.0007583284 0.0007583284
0.0007583284 0.0007583284 0.0007583284 0.0007583284 0.0007583284 0.0007583284
0.0007583284 0.0007583284 0.0007583284 0.0007583284 0.0007583284 0.0007583284
0.0007583284</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 29. SesarKangean --><ns0:simpleFaultSource
id="SesarKangean" name="J29 Sesar Kangean (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>113.338 -7.878
113.414 -7.870 113.443 -7.863 113.473 -
7.854</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.5" b_val="1.0" a_val="2.7896" nBins="15" MmaxChar="6.5"
MmaxGR_base="6.5" MmaxChar_base="6.5" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0012385771
0.0009848321 0.0007329954 0.0007329954 0.0007329954 0.0007329954 0.0007329954
0.0007329954 0.0007329954 0.0007329954 0.0007329954 0.0007329954 0.0007329954
0.0007329954
0.0007329954</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 30. SumbaBackarc --><ns0:simpleFaultSource
id="SumbaBackarc" name="J30 Sumba Back-arc (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>113.310 -6.406
113.940 -6.032 114.507 -5.698 114.507 -
5.698</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="7.3" b_val="1.0" a_val="3.3064" nBins="23" MmaxChar="7.3"
MmaxGR_base="7.3" MmaxChar_base="7.3" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0042256735
0.0033574804 0.0008098855 0.0008098855 0.0008098855 0.0008098855 0.0008098855
0.0008098855 0.0008098855 0.0008098855 0.0008098855 0.0008098855 0.0008098855
0.0008098855 0.0008098855 0.0008098855 0.0008098855 0.0008098855 0.0008098855
0.0008098855
0.0008098855</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 31. TimorTrough --><ns0:simpleFaultSource
id="TimorTrough" name="J31 Timor Trough (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>113.255 -6.965
113.790 -7.037 114.426 -7.122 115.296 -
7.194</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="7.5" b_val="1.0" a_val="3.4906" nBins="25" MmaxChar="7.5"
MmaxGR_base="7.5" MmaxChar_base="7.5" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5" CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0060552479
0.0048124153 0.0011641339 0.0011641339 0.0011641339 0.0011641339 0.0011641339
0.0011641339 0.0011641339 0.0011641339 0.0011641339 0.0011641339 0.0011641339
0.0011641339 0.0011641339 0.0011641339 0.0011641339 0.0011641339 0.0011641339
0.0011641339
0.0011641339</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 32. SundaStrait --><ns0:simpleFaultSource
id="SundaStrait" name="J32 Sunda Strait (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>105.225 -7.002
105.666 -7.551 105.867 -7.706 106.190 -
7.974</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="7.4" b_val="1.0" a_val="3.2021" nBins="24" MmaxChar="7.4"
MmaxGR_base="7.4" MmaxChar_base="7.4" recurrence="Characteristic"

```

```

CharTailWidth="1.5"          CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0031754695
0.0025243883 0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983
0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983
0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983
0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983 0.0007709983
0.0007709983</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 33.  WetarThrust --><ns0:simpleFaultSource
id="WetarThrust"          name="J33  Wetar          Thrust          (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>125.534 -7.835
125.270 -7.807 125.184 -7.796 125.096 -
7.785</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="7.0" b_val="1.0" a_val="3.1720" nBins="20" MmaxChar="7.0"
MmaxGR_base="7.0" MmaxChar_base="7.0" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5"          CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0030388567
0.0024159092 0.0007698503 0.0007698503 0.0007698503 0.0007698503 0.0007698503
0.0007698503 0.0007698503 0.0007698503 0.0007698503 0.0007698503 0.0007698503
0.0007698503 0.0007698503 0.0007698503 0.0007698503 0.0007698503
0.0007698503</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource><!-- 34.  FloresBackarc --><ns0:simpleFaultSource
id="FloresBackarc"          name="J34  Flores          Back-arc          (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>120.977 -7.898
120.425 -7.876 120.287 -7.873 120.150 -
7.865</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="7.2" b_val="1.0" a_val="3.2108" nBins="22" MmaxChar="7.2"
MmaxGR_base="7.2" MmaxChar_base="7.2" recurrence="Characteristic"
CharTailWidth="1.5"          CharTailNormalize="1"><ns0:occurRates>0.0033430334
0.0026589257 0.0007761417 0.0007761417 0.0007761417 0.0007761417 0.0007761417
0.0007761417 0.0007761417 0.0007761417 0.0007761417 0.0007761417 0.0007761417
0.0007761417 0.0007761417 0.0007761417 0.0007761417 0.0007761417
0.0007761417</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:
magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRati
o></ns0:simpleFaultSource></ns0:sourceGroup></ns0:sourceModel></ns0:nrm1>

```

Lampiran 48 : Crust GR Mmax

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<ns0:nrml xmlns:ns0="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:ns1="http://www.opengis.net/gml"><ns0:sourceModel name="Java Tesis
Crust"><ns0:sourceGroup name="Java Crustal MFDs" tectonicRegion="Active Shallow
Crust"><ns0:areaSource id="Cimandiri (MidDip) (0)" name="Cimandiri (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
06.745 -7.046 106.679 -7.028 106.606 -7.019 106.538 -
7.035</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.406400" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0052429374
0.0041646132 0.0033085151 0.0026285151 0.0020896151 0.0016605151 0.0013195151
0.0010485151 0.0008335151 0.0006625151 0.0005265151 0.0004185151 0.0003325151
0.0002635151 0.0002095151 0.0001665151
0.0001325151</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="2.450000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Nyalindung Cibeber (MidDip) (0)" name="Nyalindung Cibeber (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
07.034 -6.991 106.928 -7.022 106.898 -7.021 106.766 -
7.051</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.398700" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0051505926
0.0040894994 0.0032488747 0.0025818747 0.0020528747 0.0016318747 0.0012968747
0.0010308747 0.0008198747 0.0006528747 0.0005198747 0.0004138747 0.0003288747
0.0002618747 0.0002078747 0.0001658747
0.0001318747</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="2.650000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Cikundul (MidDip) (0)" name="Cikundul (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
07.083 -6.989 107.166 -6.950 107.302 -6.879 107.464 -
6.835</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.289000" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0039887163
0.0031690737 0.0025183731 0.0020033731 0.0015953731 0.0012713731 0.0010133731
0.0008083731 0.0006453731 0.0005153731 0.0004113731 0.0003283731 0.0002623731
0.0002093731 0.0001673731 0.0001333731
0.0001063731</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="3.000000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Lembang (MidDip) (0)" name="Lembang (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
07.485 -6.826 107.559 -6.813 107.667 -6.834 107.743 -
6.855</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.667400" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0080026355
0.0063646909 0.0050565230 0.0040195230 0.0031965230 0.0025415230 0.0020225230
0.0016105230 0.0012825230 0.0010225230 0.0008145230 0.0006495230 0.0005175230
0.0004125230 0.0003295230 0.0002625230 0.0002095230 0.0001675230
```

```

0.0001335230</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="2.600000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Garsela (MidDip) (0)" name="Garsela (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
07.650 -7.281 107.605 -7.317 107.563 -7.346 107.522 -
7.380</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.176900" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0030737351
0.0024431846 0.0019414850 0.0015424850 0.0012254850 0.0009734850 0.0007734850
0.0006134850 0.0004864850 0.0003864850 0.0003074850 0.0002444850 0.0001944850
0.0001544850 0.0001234850 0.0000984850
0.0000784850</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="2.250000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Baribis (MidDip) (0)" name="Baribis (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
07.795 -7.121 107.718 -7.206 107.714 -7.263 107.713 -
7.275</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.414600" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0053420698
0.0042439538 0.0033724361 0.0026794361 0.0021294361 0.0016924361 0.0013454361
0.0010694361 0.0008504361 0.0006764361 0.0005384361 0.0004274361 0.0003404361
0.0002704361 0.0002144361 0.0001704361 0.0001354361
0.0001074361</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="1.800000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Kendeng (MidDip) (0)" name="Kendeng (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
08.091 -6.714 108.040 -6.670 107.893 -6.585 107.832 -
6.574</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.583500" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0068697204
0.0054598427 0.0043339783 0.0034399783 0.0027309783 0.0021669783 0.0017199783
0.0013659783 0.0010849783 0.0008629783 0.0006869783 0.0005469783 0.0004359783
0.0003469783 0.0002759783 0.0002199783 0.0001759783 0.0001399783 0.0001119783
0.0000899783</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="2.900000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Lasem (MidDip) (0)" name="Lasem (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
08.274 -6.878 108.390 -6.932 108.429 -6.937 108.487 -
6.950</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.242500" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0035982198
0.0028594395 0.0022720134 0.0018050134 0.0014330134 0.0011380134 0.0009030134
0.0007180134 0.0005700134 0.0004520134 0.0003590134 0.0002850134 0.0002260134
0.0001800134 0.0001430134 0.0001130134
0.0000900134</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal

```

```

Plane probability="1.000000E+00" strike="7.000000E+01" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Muria (MidDip) (0)" name="Muria (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
08.582 -6.795 108.506 -6.778 108.474 -6.768 108.443 -
6.767</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="2.991900" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0020477340
0.0016270519 0.0012919021 0.0010269021 0.0008169021 0.0006499021 0.0005169021
0.0004109021 0.0003269021 0.0002609021 0.0002079021 0.0001659021 0.0001329021
0.0001059021 0.0000849021
0.0000679021</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="1.200000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Anjatan (MidDip) (0)" name="Anjatan (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
08.760 -6.996 108.722 -6.941 108.713 -6.932 108.633 -
6.887</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.215100" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0033774325
0.0026849669 0.0021334886 0.0016964886 0.0013504886 0.0010754886 0.0008574886
0.0006834886 0.0005444886 0.0004334886 0.0003444886 0.0002744886 0.0002184886
0.0001744886 0.0001394886 0.0001114886
0.0000884886</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="1.350000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Rawapening (MidDip) (0)" name="Rawapening (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
08.983 -7.034 108.925 -6.997 108.875 -6.988 108.789 -
6.985</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.021200" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0022190574
0.0017631699 0.0014003068 0.0011133068 0.0008853068 0.0007043068 0.0005603068
0.0004463068 0.0003553068 0.0002833068 0.0002253068 0.0001793068 0.0001433068
0.0001143068 0.0000913068
0.0000733068</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="1.750000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Ajibarang (MidDip) (0)" name="Ajibarang (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
09.024 -7.417 109.135 -7.429 109.148 -7.479 109.067 -
7.526</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.304100" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0041998246
0.0033385365 0.0026539510 0.0021109510 0.0016819510 0.0013409510 0.0010699510
0.0008559510 0.0006859510 0.0005509510 0.0004449510 0.0003609510 0.0002939510
0.0002409510 0.0001989510 0.0001659510 0.0001409510
0.0001219510</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="3.100000E+02" dip="4.500000E+01"

```

```

rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Patiaya (MidDip) (0)" name="Patiaya (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
09.732 -7.764 109.325 -7.635 109.216 -7.608 109.022 -
7.561</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.360700" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0047914465
0.0038093227 0.0030270069 0.0024060069 0.0019130069 0.0015210069 0.0012090069
0.0009610069 0.0007640069 0.0006070069 0.0004830069 0.0003840069 0.0003050069
0.0002430069 0.0001930069 0.0001530069 0.0001220069
0.0000970069</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="2.900000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Progo (MidDip) (0)" name="Progo (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
10.493 -7.041 110.284 -6.965 110.217 -6.975 110.188 -
7.009</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.222300" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0034335886
0.0027296002 0.0021706289 0.0017276289 0.0013766289 0.0010976289 0.0008766289
0.0007006289 0.0005606289 0.0004496289 0.0003606289 0.0002896289 0.0002326289
0.0001876289 0.0001516289 0.0001226289
0.0000996289</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="3.150000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource> <ns0:areaSource
id="Ungaran (MidDip) (0)" name="Ungaran (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
10.399 -7.105 110.328 -7.075 110.293 -7.084 110.246 -
7.099</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="2.944400" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0018358766
0.0014584984 0.0011595762 0.0009225762 0.0007345762 0.0005855762 0.0004665762
0.0003725762 0.0002965762 0.0002365762 0.0001885762 0.0001505762 0.0001205762
0.0000965762
0.0000775762</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="3.100000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Kebumen (MidDip) (0)" name="Kebumen (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
10.407 -7.041 110.402 -7.110 110.399 -7.174 110.398 -
7.179</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="2.703000" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0010123267
0.0008042925 0.0006387949 0.0005077949 0.0004037949 0.0003217949 0.0002567949
0.0002047949 0.0001627949 0.0001297949 0.0001037949
0.0000827949</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="1.800000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"

```

```

depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Kulon Progo (MidDip) (0)" name="Kulon Progo (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
10.512 -7.365 110.477 -7.272 110.417 -7.248 110.410 -
7.248</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="2.924900" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0017508070
0.0013908742 0.0011059415 0.0008799415 0.0007009415 0.0005589415 0.0004469415
0.0003579415 0.0002869415 0.0002299415 0.0001849415 0.0001489415 0.0001199415
0.0000979415
0.0000799415</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="2.850000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Opak Selatan (MidDip) (0)" name="Opak Selatan (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
10.277 -8.025 110.425 -7.867 110.510 -7.767 110.556 -
7.710</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.247500" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0036497341
0.0028991121 0.0023035489 0.0018315489 0.0014565489 0.0011595489 0.0009225489
0.0007355489 0.0005855489 0.0004675489 0.0003735489 0.0002985489 0.0002385489
0.0001905489 0.0001525489 0.0001225489 0.0000985489
0.0000795489</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="3.300000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Opak Utara (MidDip) (0)" name="Opak Utara (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
10.464 -7.574 110.416 -7.371 110.430 -7.338 110.437 -
7.328</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.064000" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0024440961
0.0019419156 0.0015428689 0.0012278689 0.0009778689 0.0007798689 0.0006228689
0.0004988689 0.0003998689 0.0003208689 0.0002588689 0.0002078689 0.0001678689
0.0001358689 0.0000918689</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="3.300000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Purwodadi (MidDip) (0)" name="Purwodadi (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
10.789 -7.122 110.701 -7.108 110.579 -7.092 110.509 -
7.082</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.169400" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0030217010
0.0024021122 0.0019090083 0.0015180083 0.0012070083 0.0009610083 0.0007650083
0.0006090083 0.0004860083 0.0003880083 0.0003090083 0.0002460083 0.0001960083
0.0001560083 0.0001240083 0.0000990083
0.0000790083</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="2.950000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource

```



```

(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
12.321      -7.204      112.177      -7.223      112.112      -7.258      112.058      -
7.310</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.311800" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0042753193
0.0033985595 0.0027027288 0.0021507288 0.0017137288 0.0013667288 0.0010917288
0.0008737288 0.0007007288 0.0005637288 0.0004547288 0.0003677288 0.0002997288
0.0002447288 0.0002017288 0.0001667288 0.0001397288
0.0001187288</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="2.800000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Pasuruan (MidDip) (0)" name="Pasuruan (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
12.699      -7.334      112.176      -
7.329</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.355100" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0047257465
0.0037597287 0.0029872287 0.0023752287 0.0018902287 0.0015052287 0.0012002287
0.0009582287 0.0007662287 0.0006132287 0.0004922287 0.0003952287 0.0003182287
0.0002572287 0.0002082287 0.0001692287 0.0001382287 0.0001132287
0.0000932287</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="2.800000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Probolinggo (MidDip) (0)" name="Probolinggo (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
12.731      -7.283      112.596      -7.233      112.574      -7.228      112.529      -
7.202</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.078500" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0025295484
0.0020100432 0.0016009193 0.0012769193 0.0010209193 0.0008179193 0.0006579193
0.0005299193 0.0004289193 0.0003489193 0.0002839193 0.0002329193 0.0001919193
0.0001589193 0.0001329193
0.0001129193</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="2.800000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Sumenep (MidDip) (0)" name="Sumenep (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1
13.108      -7.716      113.035      -7.679      112.999      -7.669      112.964      -
7.647</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="3.033200" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0022724612
0.0018068353 0.0014344116 0.0011394116 0.0009054116 0.0007194116 0.0005724116
0.0004554116 0.0003634116 0.0002894116 0.0002314116 0.0001844116 0.0001474116
0.0001184116 0.0000954116
0.0000774116</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="2.800000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource><ns0:areaSource
id="Kangean (MidDip) (0)" name="Kangean (MidDip)
(0)"><ns0:areaGeometry><ns1:Polygon><ns1:exterior><ns1:LinearRing><ns1:posList>1

```

```

13.338      -7.878      113.414      -7.870      113.443      -7.863      113.473      -
7.854</ns1:posList></ns1:LinearRing></ns1:exterior></ns1:Polygon><ns0:upperSeism
oDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+01</
ns0:lowerSeismoDepth></ns0:areaGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.100000"
minMag="5.000000" aVal="2.787600" bVal="1.000000"><ns0:occurRates>0.0012331391
0.0009805090 0.0007792627 0.0006192627 0.0004922627 0.0003912627 0.0003112627
0.0002472627 0.0001972627 0.0001572627 0.0001252627 0.0001002627
0.0000812627</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:nodalPlaneDist><ns0:nodal
Plane probability="1.000000E+00" strike="2.800000E+02" dip="4.500000E+01"
rake="9.000000E+01"/></ns0:nodalPlaneDist><ns0:hypoDepthDist><ns0:hypoDepth
probability="1.000000E+00"
depth="7.500000E+00"/></ns0:hypoDepthDist></ns0:areaSource></ns0:sourceGroup></
ns0:sourceModel></ns0:nrml>

```

Lampiran 49 : Crust_GR Mmax-0.2

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><ns0:nrml
xmlns:ns0="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:ns1="http://www.opengis.net/gml"><ns0:sourceModel name="Java Tesis
Crust"><ns0:sourceGroup name="Java Crustal MFDs" tectonicRegion="Active Shallow
Crust"><!-- 1. Cimandiri-Cimandiri --><ns0:simpleFaultSource id="Cimandiri-
Cimandiri" name="J01 Cimandiri (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>106.745 -7.046
106.679 -7.028 106.597 -7.023 106.538 -
7.035</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.500000" b_val="1.000000"
a_val="3.406400" nBins="15" MmaxChar="6.500000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0052429374 0.0041646132
0.0033080699 0.0026276933 0.002087251 0.0016579624 0.0013169663 0.0010461035
0.00083094959 0.00066004672 0.00052429374 0.00041646132 0.00033080699
0.00026276933
0.0002087251</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 2. Cimandiri-NyalindungCibeber -
--><ns0:simpleFaultSource id="Cimandiri-NyalindungCibeber" name="J02 Nyalindung
Cibeber (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.034 -6.991
106.987 -6.984 106.928 -7.022 106.766 -
7.051</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.500000" b_val="1.000000"
a_val="3.398700" nBins="15" MmaxChar="6.500000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0051505926 0.0040894994
0.0032484378 0.0025810668 0.0020499984 0.0016284089 0.0012934237 0.0010272155
0.00081679305 0.00065005715 0.00051765926 0.00041004312 0.00032484378
0.00025810668
0.00020499984</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 3. Cimandiri-Rajamandala --
--><ns0:simpleFaultSource id="Cimandiri-Rajamandala" name="J03 Rajamandala (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.083 -6.989
107.302 -6.879 107.383 -6.863 107.464 -
6.835</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.500000" b_val="1.000000"
a_val="3.289000" nBins="15" MmaxChar="6.500000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0039887163 0.0031690737
0.0025180399 0.002002757 0.0015931648 0.0012683131 0.0010100476 0.00080582479
0.0006437433 0.00051485776 0.00041218268 0.00032930297 0.00026180399 0.0002092757
0.00016731648</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 4. Lembang --
--><ns0:simpleFaultSource id="Lembang" name="J04 Lembang (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.485 -6.826
107.605 -6.822 107.743 -
6.855</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
```

```

binWidth="0.100000"    minMag="5.000000"    MmaxGR="6.700000"    b_val="1.000000"
a_val="3.667400"        nBins="17"        MmaxChar="6.700000"    MmaxGR_base="6.900000"
MmaxChar_base="6.900000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0080026355          0.0063646909
0.0050558404 0.0040182618 0.0031931265 0.0025372564 0.0020175181 0.0016059909
0.001279529 0.0010206644 0.00081519694 0.00065026102 0.00051808192 0.00041364909
0.00033115759          0.00026593126
0.00020175181</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 5. Baribis --
><ns0:simpleFaultSource id="Baribis" name="J05 Baribis (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.795 -7.121
107.734 -7.199 107.713 -
7.275</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"    minMag="5.000000"    MmaxGR="6.600000"    b_val="1.000000"
a_val="3.414600"        nBins="16"        MmaxChar="6.600000"    MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0053420698          0.0042439538
0.0033719476 0.0026785305 0.0021276365 0.0016906568 0.0013439683 0.0010684777
0.00084800173 0.00067361472 0.00053513216 0.00042439538 0.00033719476
0.00026785305          0.00021276365
0.00016906568</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 6. BaribisKendeng-Cirebon1 --
><ns0:simpleFaultSource id="BaribisKendeng-Cirebon1" name="J06 Cirebon 1 (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.446 -6.859
108.409 -6.832 108.340 -6.780 108.318 -
6.755</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"    minMag="5.000000"    MmaxGR="6.500000"    b_val="1.000000"
a_val="3.385200"        nBins="15"        MmaxChar="6.500000"    MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0050446791          0.004006407
0.0031813551 0.0025266028 0.0020063177 0.0015928057 0.0012640688 0.0010022493
0.00079415074 0.00062999182 0.00049902012 0.00039846693 0.00031698005
0.00025266028
0.00020063177</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 7. BaribisKendeng-Cirebon2 --
><ns0:simpleFaultSource id="BaribisKendeng-Cirebon2" name="J07 Cirebon 2 (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.347 -6.731
108.245 -6.669 108.182 -6.629 108.086 -
6.569</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"    minMag="5.000000"    MmaxGR="6.600000"    b_val="1.000000"
a_val="3.392700"        nBins="16"        MmaxChar="6.600000"    MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0051325433          0.0040760706
0.0032361848 0.0025695479 0.0020408223 0.0016200645 0.0012852344 0.0010194096
0.00081000706 0.00064261848 0.00051325433 0.00040760706 0.00032361848
0.00025695479          0.00020408223
0.00016200645</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 8. BaribisKendeng-Tegal --
><ns0:simpleFaultSource id="BaribisKendeng-Tegal" name="J08 Tegal (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>109.228 -6.967
109.019 -6.865 108.827 -

```

```

6.776</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.600000" b_val="1.000000"
a_val="3.435400" nBins="16" MmaxChar="6.600000" MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0056586489 0.0044939259
0.0035679335 0.0028332324 0.0022499594 0.0017867898 0.0014185475 0.0011247759
0.00089569259 0.00071186489 0.00056586489 0.00044939259 0.00035679335
0.00028332324 0.00022499594
0.00017867898</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 9. BaribisKendeng-Pekalongan
--><ns0:simpleFaultSource id="BaribisKendeng-Pekalongan" name="J12 Pekalongan
(MidDip) (0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>109.656 -
6.979 109.518
7.010</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.577700" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.900000"
MmaxChar_base="6.900000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0079594329 0.0063303335
0.0050349519 0.0040089716 0.0031901647 0.0025396631 0.0020224659 0.0016121243
0.0012853876 0.0010279601 0.00081872889 0.00065363335 0.00051934329 0.00041303335
0.0003284659 0.00025921243
0.00020224659</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 10. BaribisKendeng-Semarang -
--><ns0:simpleFaultSource id="BaribisKendeng-Semarang" name="J13 Semarang (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.409 -6.891
110.278 -6.841 110.187 -6.811 110.129
6.790</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.700000" b_val="1.000000"
a_val="3.487800" nBins="17" MmaxChar="6.700000" MmaxGR_base="6.900000"
MmaxChar_base="6.900000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0064720223 0.0051479674
0.004096155 0.0032613741 0.0025989173 0.0020720223 0.00165279674 0.0013196741
0.0010486155 0.00083513741 0.00065989173 0.00051479674 0.0004096155 0.00032613741
0.00025989173 0.00020720223
0.00016527967</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 11. Kendeng --
--><ns0:simpleFaultSource id="Kendeng" name="J14 Kendeng (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>109.983 -6.833
109.903 -6.798 109.826 -6.762 109.718
6.728</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.900000" b_val="1.000000"
a_val="3.583500" nBins="19" MmaxChar="6.900000" MmaxGR_base="7.100000"
MmaxChar_base="7.100000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0068697204 0.0054598427
0.004333392 0.003438893 0.0027280585 0.0021604317 0.0017100887 0.0013533359
0.0010761516 0.00085698427 0.00068053478 0.00054298427 0.0004333392 0.0003438893
0.00027280585 0.00021604317 0.00017100887 0.00013533359
0.00010761516</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 12. Lasem --

```

```

<ns0:simpleFaultSource id="Lasem" name="J15 Lasem (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>111.021 -6.820
110.927 -6.782 110.855 -6.754 110.785 -
6.721</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.500000" b_val="1.000000"
a_val="3.242500" nBins="15" MmaxChar="6.500000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0035982198 0.0028594395
0.0022717126 0.0018044645 0.001432453 0.0011370218 0.00090287346 0.00071686449
0.00056982198 0.00045148743 0.00035982198 0.00028594395 0.00022717126
0.00018044645
0.0001432453</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:r
ake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00<
/ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 13. Muria --
><ns0:simpleFaultSource id="Muria" name="J16 Muria (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.718 -6.585
110.659 -6.550 110.610 -6.519 110.579 -
6.493</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.400000" b_val="1.000000"
a_val="2.991900" nBins="14" MmaxChar="6.400000" MmaxGR_base="6.600000"
MmaxChar_base="6.600000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.002047734 0.0016270519
0.0012917325 0.0010265893 0.00081438042 0.00064719214 0.0005161734 0.00041053191
0.00032633593 0.00026095114 0.0002077734 0.00016270519 0.00012917325
0.00010265893</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 14. Progo --
><ns0:simpleFaultSource id="Progo" name="J17 Progo (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.213 -7.007
110.183 -6.969 110.154 -6.934 110.119 -
6.903</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.500000" b_val="1.000000"
a_val="3.222300" nBins="15" MmaxChar="6.500000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0034335886 0.0027296002
0.0021703404 0.0017270981 0.0013745448 0.0010954879 0.00087379041 0.0006988867
0.00055995886 0.00044831561 0.00035998038 0.00028795545 0.00021703404
0.00017270981
0.00013745448</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 15. Opak --
><ns0:simpleFaultSource id="Opak" name="J29 Opak (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.557 -7.710
110.460 -7.585 110.392 -7.478 110.342 -
7.418</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.600000" b_val="1.000000"
a_val="3.304100" nBins="16" MmaxChar="6.600000" MmaxGR_base="6.800000"
MmaxChar_base="6.800000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0041998246 0.0033385365
0.0026535706 0.0021102518 0.0016790106 0.0013365563 0.0010654571 0.00085215365
0.00068157134 0.00054518246 0.00043398246 0.00034495365 0.00026535706
0.00021102518 0.00016790106
0.00013365563</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:

```

```

rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 16. Rawapening --
><ns0:simpleFaultSource id="Rawapening" name="J30 Rawapening (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.477 -7.272
110.424 -7.206 110.359 -7.140 110.293 -
7.084</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.400000" b_val="1.000000"
a_val="3.021200" nBins="14" MmaxChar="6.400000" MmaxGR_base="6.600000"
MmaxChar_base="6.600000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0022190574 0.0017631699
0.0013999354 0.0011126205 0.00088509688 0.00070307817 0.00056075743 0.0004455786
0.00035661686 0.00027815513 0.00022190574 0.00017631699 0.00013999354
0.00011126205</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 17. Garsela-Kencana --
><ns0:simpleFaultSource id="Garsela-Kencana" name="J32 Garsela-Kencana (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.650 -7.281
107.522 -
7.380</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.500000" b_val="1.000000"
a_val="3.234500" nBins="15" MmaxChar="6.500000" MmaxGR_base="6.700000"
MmaxChar_base="6.700000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0034274002 0.0027246824
0.0021664307 0.0017231867 0.0013705947 0.0010906824 0.00086864824 0.00069244947
0.000553561 0.00044223867 0.00035401448 0.00028516824 0.00023164307 0.00018731867
0.00015305947</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 18. Ungaran2 --
><ns0:simpleFaultSource id="Ungaran2" name="J37 Ungaran2 (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.407 -7.041
110.398 -
7.179</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.300000" b_val="1.000000"
a_val="2.944400" nBins="13" MmaxChar="6.300000" MmaxGR_base="6.500000"
MmaxChar_base="6.500000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0018358766 0.0014584984
0.0011594242 0.00092229409 0.00073354532 0.00058475256 0.00046431934 0.0003674984
0.00029187756 0.00023194984 0.00018358766 0.00014584984
0.00011594242</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!-- 19. KulonProgo --
><ns0:simpleFaultSource id="KulonProgo" name="J39 Kulon Progo (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.512 -7.365
110.477 -7.272 110.417 -7.248 110.410 -
7.248</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000" minMag="5.000000" MmaxGR="6.300000" b_val="1.000000"
a_val="2.924900" nBins="13" MmaxChar="6.300000" MmaxGR_base="6.500000"
MmaxChar_base="6.500000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.001750807 0.0013908742
0.0011057967 0.00087958134 0.00069985944 0.00055634908 0.0004435807 0.00035084742
0.00027993292 0.0002222807 0.0001750807 0.00013908742
0.00011057967</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00

```

```

</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--      20.      Pasuruan      --
><ns0:simpleFaultSource      id="Pasuruan"      name="J39      Pasuruan      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>112.699      -7.334
112.176
7.329</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.700000"      b_val="1.000000"
a_val="3.355100"      nBins="17"      MmaxChar="6.700000"      MmaxGR_base="6.900000"
MmaxChar_base="6.900000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0047257465      0.0037597287
0.002986833      0.002374491      0.0018886599      0.0015038915      0.0011985746      0.00095607891
0.00076477465      0.00061147465      0.0004867465      0.00038297287      0.0002986833      0.0002374491
0.00018886599      0.00015038915
0.00011985746</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--      21.      Probolinggo      --
><ns0:simpleFaultSource      id="Probolinggo"      name="J40      Probolinggo      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>112.731      -7.283
112.651      -7.258      112.596      -7.233      112.529      -
7.202</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.400000"      b_val="1.000000"
a_val="3.078500"      nBins="14"      MmaxChar="6.400000"      MmaxGR_base="6.600000"
MmaxChar_base="6.600000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0025295484      0.0020100432
0.0016005784      0.0012762904      0.0010192179      0.00081571152      0.00065495484      0.00052910432
0.00042762904      0.00034962904      0.00028295484      0.00022710432      0.00019005784
0.00015802904</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--      22.      Bawean      --
><ns0:simpleFaultSource      id="Bawean"      name="J41      Bawean      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>112.592      -5.716
112.669      -5.759      112.712      -5.782      112.797      -
5.835</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.300000"      b_val="1.000000"
a_val="2.896700"      nBins="13"      MmaxChar="6.300000"      MmaxGR_base="6.500000"
MmaxChar_base="6.500000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0016505415      0.0013111878
0.0010419114      0.00082834154      0.00065887437      0.00052423312      0.00041715415
0.00033111878      0.00026105415      0.00020711878      0.00016505415      0.00013111878
0.00010419114</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00
</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--      23.      Sumenep      --
><ns0:simpleFaultSource      id="Sumenep"      name="J42      Sumenep      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>113.108      -7.716
113.035      -7.679      112.999      -7.669      112.964      -
7.647</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.400000"      b_val="1.000000"
a_val="3.033200"      nBins="14"      MmaxChar="6.400000"      MmaxGR_base="6.600000"
MmaxChar_base="6.600000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0022724612      0.0018068353
0.0014341553      0.0011389364      0.00090402371      0.00071772407      0.00056924612      0.00045469829
0.00036061553      0.00028646124      0.00022724612      0.00018068353      0.00014341553
0.00011389364</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:
rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00

```

```

</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><!--      24.      Kangean      --
><ns0:simpleFaultSource      id="Kangean"      name="J43      Kangean      (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>113.338      -7.878
113.414      -7.870      113.443      -7.863      113.473      -
7.854</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>4.500000E+01</ns0:dip><ns0:upperSe
ismoDepth>0.000000E+00</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>1.500000E+0
1</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD
binWidth="0.100000"      minMag="5.000000"      MmaxGR="6.300000"      b_val="1.000000"
a_val="2.787600"      nBins="13"      MmaxChar="6.300000"      MmaxGR_base="6.300000"
MmaxChar_base="6.300000"
recurrence="GutenbergRichter"><ns0:occurRates>0.0012331391      0.000980509
0.00077918437 0.00061871963 0.00049181391 0.0003903509 0.00031031391 0.0002469509
0.00019591844      0.0001556799      0.00012331391      9.80509e-05      7.7918437e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>9.000000E+01</ns0:rake><ns0:m
agScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.000000E+00</ns0:ruptA
spectRatio></ns0:simpleFaultSource></ns0:sourceGroup></ns0:sourceModel></ns0:nrm
l>

```

Lampiran 50 : Crust_GR Mmax+0.2

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?><ns0:nrml
xmlns:ns0="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5"
xmlns:ns1="http://www.opengis.net/gml"><ns0:sourceModel
name="crust_tesis_gr_Mmaxp020"><ns0:sourceGroup name="Active Shallow Crust"
tectonicRegion="Active Shallow Crust"><ns0:simpleFaultSource id="Cimandiri-
Cimandiri" name="J01 Cimandiri (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>106.745 -7.046
106.579 -7.018 106.538 -
7.035</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.9" b_val="1.0" a_val="3.4064" nBins="19"><ns0:occurRates>0.0052429374
0.0041646132 0.0033085151 0.0026285151 0.0020896151 0.0016605151 0.0013195151
0.0010485151 0.0008335151 0.0006625151 0.0005265151 0.0004185151 0.0003325151
0.0002635151 0.0002095151 0.0001665151 0.0001325151 0.0001055151 8.35151e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:s
impleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Cimandiri-NyaldungCibeber" name="J02
Nyaldung Cibeber (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.034 -6.991
106.987 -6.984 106.928 -7.022 106.766 -
7.051</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.9" b_val="1.0" a_val="3.3987" nBins="19"><ns0:occurRates>0.0051505926
0.0040894994 0.0032488747 0.0025818747 0.0020528747 0.0016318747 0.0012968747
0.0010308747 0.0008198747 0.0006528747 0.0005198747 0.0004138747 0.0003288747
0.0002618747 0.0002078747 0.0001658747 0.0001318747 0.0001048747 8.198747e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:s
impleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Cimandiri-Rajamandala" name="J03
Rajamandala (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.083 -6.989
107.302 -6.879 107.383 -6.863 107.464 -
6.835</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.9" b_val="1.0" a_val="3.289" nBins="19"><ns0:occurRates>0.0039887163
0.0031690737 0.0025183731 0.0020033731 0.0015953731 0.0012713731 0.0010133731
0.0008083731 0.0006453731 0.0005153731 0.0004113731 0.0003283731 0.0002623731
0.0002093731 0.0001673731 0.0001333731 0.0001063731 8.53731e-05 6.453731e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:s
impleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Lembang" name="J04 Lembang (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.485 -6.826
107.605 -6.822 107.743 -
6.855</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="7.1" b_val="1.0" a_val="3.6674" nBins="21"><ns0:occurRates>0.0080026355
0.0063646909 0.005056523 0.004019523 0.003196523 0.002541523 0.002022523
0.001610523 0.001282523 0.001022523 0.000814523 0.000649523 0.000517523
0.000412523 0.000329523 0.000262523 0.000209523 0.000167523 0.000133523
0.000107523 8.15223e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:s
impleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Baribis" name="J05 Baribis (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>107.795 -7.121
107.734 -7.199 107.713 -
```

```

7.275</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0" MmaxGR="7.0" b_val="1.0" a_val="3.4146" nBins="20"><ns0:occurRates>0.0053420698 0.0042439538 0.0033724361 0.0026794361 0.0021294361 0.0016924361 0.0013454361 0.0010694361 0.0008504361 0.0006764361 0.0005384361 0.0004274361 0.0003404361 0.0002704361 0.0002144361 0.0001704361 0.0001354361 0.0001074361 8.504361e-05 6.764361e-05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="BaribisKendeng-Cirebon1" name="J06 Cirebon 1 (MidDip) (0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.446 -6.859 108.347 -6.731 108.318 -6.755</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0" MmaxGR="6.9" b_val="1.0" a_val="3.3852" nBins="19"><ns0:occurRates>0.0050446791 0.004006407 0.0031813551 0.0025266028 0.0020063177 0.0015928057 0.0012640688 0.0010022493 0.0007941507 0.0006299918 0.0004990201 0.0003984669 0.00031698 0.0002526603 0.0002006318 0.0001592806 0.0001264069 0.0001002249 7.941507e-05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="BaribisKendeng-Cirebon2" name="J07 Cirebon 2 (MidDip) (0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>108.347 -6.731 108.182 -6.629 108.086 -6.569</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0" MmaxGR="7.0" b_val="1.0" a_val="3.3927" nBins="20"><ns0:occurRates>0.0051325433 0.0040760706 0.0032361848 0.0025695479 0.0020408223 0.0016200645 0.0012852344 0.0010194096 0.0008100071 0.0006426185 0.0005132543 0.0004076071 0.0003236185 0.0002569548 0.0002040822 0.0001620065 0.0001285234 0.000101941 8.10007e-05 6.426185e-05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="BaribisKendeng-Tegal" name="J08 Tegal (MidDip) (0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>109.228 -6.967 109.019 -6.865 108.827 -6.776</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0" MmaxGR="7.0" b_val="1.0" a_val="3.4354" nBins="20"><ns0:occurRates>0.0056586489 0.0044939259 0.0035679335 0.0028332324 0.0022499594 0.0017867898 0.0014185475 0.0011247759 0.0008956926 0.0007118649 0.0005658649 0.0004493926 0.0003567934 0.0002833232 0.0002249959 0.000178679 0.0001418547 0.0001124776 8.956926e-05 7.118649e-05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRel>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="BaribisKendeng-Pekalongan" name="J12 Pekalongan (MidDip) (0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>109.690 -6.936 109.449 -6.786 109.383 -6.754</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0" MmaxGR="7.1" b_val="1.0" a_val="3.5777" nBins="21"><ns0:occurRates>0.0079594329 0.0063303335 0.0050349519 0.0040089716 0.0031901647 0.0025396631 0.0020224659 0.0016121243 0.0012853876 0.0010279601 0.0008187289 0.0006536334 0.0005193433 0.0004130334 0.0003188165 0.0002539663 0.0002022466 0.0001612124 0.0001285388

```

```

0.000102796 8.187289e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:s
impleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="BaribisKendeng-Semarang" name="J13
Semarang (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.409 -6.891
110.187 -6.811 110.129 -
6.790</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="7.1" b_val="1.0" a_val="3.4878" nBins="21"><ns0:occurRates>0.0064720223
0.0051479674 0.004096155 0.0032613741 0.0025989173 0.0020720223 0.0016527967
0.0013196741 0.0010486155 0.0008351374 0.0006598917 0.0005147967 0.0004096155
0.0003261374 0.0002598917 0.0002072022 0.0001652797 0.0001319674 0.0001048616
8.351374e-05 6.598917e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:s
impleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Kendeng" name="J14 Kendeng (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>109.983 -6.833
109.826 -6.762 109.718 -
6.728</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="7.3" b_val="1.0" a_val="3.5835" nBins="23"><ns0:occurRates>0.0068697204
0.0054598427 0.0043339783 0.0034399783 0.0027309783 0.0021669783 0.0017199783
0.0013659783 0.0010849783 0.0008629783 0.0006869783 0.0005469783 0.0004359783
0.0003469783 0.0002759783 0.0002199783 0.0001759783 0.0001399783 0.000119783
8.99783e-05 7.19783e-05 5.79783e-05 4.359783e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:s
impleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Lasem" name="J15 Lasem (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>111.021 -6.820
110.855 -6.754 110.785 -
6.721</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.9" b_val="1.0" a_val="3.2425" nBins="19"><ns0:occurRates>0.0035982198
0.0028594395 0.0022720134 0.0018050134 0.0014330134 0.0011380134 0.0009030134
0.0007180134 0.0005700134 0.0004520134 0.0003590134 0.0002850134 0.0002260134
0.0001800134 0.0001430134 0.0001130134 9.00134e-05 7.20134e-05 5.700134e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:s
impleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Muria" name="J16 Muria (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.718 -6.585
110.610 -6.519 110.579 -
6.493</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.8" b_val="1.0" a_val="2.9919" nBins="18"><ns0:occurRates>0.002047734
0.0016270519 0.0012919021 0.0010269021 0.0008169021 0.0006499021 0.0005169021
0.0004109021 0.0003269021 0.0002609021 0.0002079021 0.0001659021 0.0001329021
0.0001059021 8.49021e-05 6.79021e-05 5.169021e-05 4.109021e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:s
impleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Progo" name="J17 Progo (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.213 -7.007
110.154 -6.934 110.119 -
6.903</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.9" b_val="1.0" a_val="3.2223" nBins="19"><ns0:occurRates>0.0034335886

```

```

0.0027296002 0.0021706289 0.0017276289 0.0013766289 0.0010976289 0.0008766289
0.0007006289 0.0005606289 0.0004496289 0.0003606289 0.0002896289 0.0002326289
0.0001876289 0.0001516289 0.0001226289 9.96289e-05 7.006289e-05 5.606289e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:sim
pleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Opak" name="J29 Opak (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.557 -7.710
110.392 -7.478 110.342 -
7.418</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="7.0" b_val="1.0" a_val="3.3041" nBins="20"><ns0:occurRates>0.0041998246
0.0033385365 0.002653951 0.002110951 0.001681951 0.001340951 0.001069951
0.000855951 0.000685951 0.000550951 0.000444951 0.000360951 0.000293951
0.000240951 0.000198951 0.000165951 0.000140951 0.000121951 9.0951e-05 7.0951e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:sim
pleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Rawapening" name="J30 Rawapening
(MidDip) (0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.477 -
7.272 110.359 -7.140 110.293 -
7.084</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.8" b_val="1.0" a_val="3.0212" nBins="18"><ns0:occurRates>0.0022190574
0.0017631699 0.0014003068 0.0011133068 0.0008853068 0.0007043068 0.0005603068
0.0004463068 0.0003553068 0.0002833068 0.0002253068 0.0001793068 0.0001433068
0.0001143068 9.13068e-05 7.43068e-05 5.603068e-05 4.463068e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:sim
pleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Ungaran2" name="J37 Ungaran2 (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.394 -7.105
110.283 -7.103 110.246 -
7.099</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.7" b_val="1.0" a_val="2.9444" nBins="17"><ns0:occurRates>0.0018358766
0.0014584984 0.0011595762 0.0009225762 0.0007345762 0.0005855762 0.0004665762
0.0003725762 0.0002965762 0.0002365762 0.0001885762 0.0001505762 0.0001205762
9.65762e-05 7.75762e-05 6.15762e-05 4.65762e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:sim
pleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Kebumen" name="J38 Kebumen (MidDip)
(0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.407 -7.041
110.398 -
7.179</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.4" b_val="1.0" a_val="2.703" nBins="14"><ns0:occurRates>0.0010123267
0.0008042925 0.0006387949 0.0005077949 0.0004037949 0.0003217949 0.0002567949
0.0002047949 0.0001627949 0.0001297949 0.0001037949 8.27949e-05 6.387949e-05
5.077949e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:sim
pleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="KulonProgo" name="J39 Kulon Progo
(MidDip) (0)"><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>110.512 -
7.365 110.477 -7.272 110.417 -7.248 110.410 -
7.248</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth
>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns
0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0"
MmaxGR="6.7" b_val="1.0" a_val="2.9249" nBins="17"><ns0:occurRates>0.001750807
0.0013908742 0.0011059415 0.0008799415 0.0007009415 0.0005589415 0.0004469415

```

```

0.0003579415 0.0002869415 0.0002299415 0.0001849415 0.0001489415 0.0001199415
9.79415e-05 7.09415e-05 5.59415e-05 4.469415e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Pasuruan" name="J39 Pasuruan (MidDip)"></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>112.699 -7.334
112.176 -
7.329</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0" MmaxGR="7.1" b_val="1.0" a_val="3.3551" nBins="21"><ns0:occurRates>0.0047257465
0.0037597287 0.0029872287 0.0023752287 0.0018902287 0.0015052287 0.0012002287
0.0009582287 0.0007662287 0.0006132287 0.0004922287 0.0003952287 0.0003182287
0.0002572287 0.0002082287 0.0001692287 0.0001382287 0.0001132287 9.32287e-05
7.32287e-05 5.92287e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Probolinggo" name="J40 Probolinggo (MidDip)"></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>112.731 -
7.283 112.596 -7.233 112.529 -
7.202</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0" MmaxGR="6.8" b_val="1.0" a_val="3.0785" nBins="18"><ns0:occurRates>0.0025295484
0.0020100432 0.0016009193 0.0012769193 0.0010209193 0.0008179193 0.0006579193
0.0005299193 0.0004289193 0.0003489193 0.0002839193 0.0002329193 0.0001919193
0.0001589193 0.0001329193 0.0001129193 9.19193e-05 7.89193e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Bawean" name="J41 Bawean (MidDip)"></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>112.592 -5.716
112.728 -5.789 112.797 -
5.835</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0" MmaxGR="6.7" b_val="1.0" a_val="2.8967" nBins="17"><ns0:occurRates>0.0016505415
0.0013111878 0.0010419114 0.0008283415 0.0006588744 0.0005242331 0.0004171541
0.0003311188 0.0002610541 0.0002071188 0.0001650541 0.0001311188 0.0001041911
8.283415e-05 6.588744e-05 5.242331e-05 4.171541e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Sumenep" name="J42 Sumenep (MidDip)"></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>113.108 -7.716
112.964 -
7.647</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0" MmaxGR="6.8" b_val="1.0" a_val="3.0332" nBins="18"><ns0:occurRates>0.0022724612
0.0018068353 0.0014344116 0.0011394116 0.0009054116 0.0007194116 0.0005724116
0.0004554116 0.0003634116 0.0002894116 0.0002314116 0.0001844116 0.0001474116
0.0001184116 9.54116e-05 7.74116e-05 5.724116e-05 4.554116e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magnitudeScaleRel>WC1994</ns0:magnitudeScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultSource id="Kangean" name="J43 Kangean (MidDip)"></ns0:simpleFaultSource><ns0:simpleFaultGeometry><ns1:LineString><ns1:posList>113.338 -7.878
113.413 -7.869 113.473 -
7.854</ns1:posList></ns1:LineString><ns0:dip>45.0</ns0:dip><ns0:upperSeismoDepth>0.0</ns0:upperSeismoDepth><ns0:lowerSeismoDepth>15.0</ns0:lowerSeismoDepth></ns0:simpleFaultGeometry><ns0:incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="5.0" MmaxGR="6.5" b_val="1.0" a_val="2.7876" nBins="15"><ns0:occurRates>0.0012331391
0.000980509 0.0007792627 0.0006192627 0.0004922627 0.0003912627 0.0003112627

```

```

0.0002472627 0.0001972627 0.0001572627 0.0001252627 0.0001002627 8.12627e-05
6.292627e-05 4.922627e-
05</ns0:occurRates></ns0:incrementalMFD><ns0:rake>90.0</ns0:rake><ns0:magScaleRe
l>WC1994</ns0:magScaleRel><ns0:ruptAspectRatio>2.0</ns0:ruptAspectRatio></ns0:s
impleFaultSource></ns0:sourceGroup></ns0:sourceModel></ns0:nrml>

```

Lampiran 51 : Tabel *Hazard Curve*

PGA		0.10		0.20		0.30		0.40		1.00		2.00		3.00	
acc (g)	poes	acc (g)	poes	acc (g)	poes	acc (g)	poes	acc (g)	poes	acc (g)	poes	acc (g)	poes	acc (g)	poes
0.005	1.000	0.005	1.000	0.005	1.000	0.005	1.000	0.005	1.000	0.005	1.000	0.005	0.972	0.005	0.822
0.006	1.000	0.006	1.000	0.006	1.000	0.006	1.000	0.006	1.000	0.006	1.000	0.005	0.963	0.005	0.800
0.006	1.000	0.006	1.000	0.006	1.000	0.006	1.000	0.006	1.000	0.006	1.000	0.006	0.951	0.006	0.778
0.007	1.000	0.007	1.000	0.007	1.000	0.007	1.000	0.007	1.000	0.007	0.999	0.006	0.938	0.006	0.754
0.008	1.000	0.008	1.000	0.008	1.000	0.008	1.000	0.008	1.000	0.008	0.998	0.007	0.922	0.006	0.731
0.009	1.000	0.009	1.000	0.009	1.000	0.009	1.000	0.009	1.000	0.009	0.996	0.007	0.904	0.007	0.706
0.010	1.000	0.011	1.000	0.011	1.000	0.011	1.000	0.010	1.000	0.010	0.992	0.008	0.883	0.007	0.682
0.011	1.000	0.012	1.000	0.012	1.000	0.012	1.000	0.012	1.000	0.011	0.987	0.009	0.861	0.008	0.657
0.012	1.000	0.014	1.000	0.014	1.000	0.014	1.000	0.013	1.000	0.012	0.979	0.009	0.837	0.008	0.632
0.013	0.999	0.015	1.000	0.016	1.000	0.015	1.000	0.015	1.000	0.014	0.968	0.010	0.810	0.009	0.608
0.015	0.998	0.017	1.000	0.018	1.000	0.017	1.000	0.017	1.000	0.015	0.952	0.011	0.783	0.009	0.583
0.016	0.996	0.020	1.000	0.020	1.000	0.020	1.000	0.019	0.999	0.017	0.933	0.012	0.754	0.010	0.559
0.018	0.994	0.022	1.000	0.023	1.000	0.022	0.999	0.022	0.998	0.019	0.908	0.013	0.725	0.011	0.535
0.020	0.990	0.025	1.000	0.026	1.000	0.025	0.999	0.025	0.996	0.021	0.879	0.014	0.694	0.011	0.511
0.023	0.984	0.029	0.999	0.030	0.999	0.029	0.997	0.028	0.992	0.024	0.846	0.015	0.664	0.012	0.487
0.025	0.976	0.033	0.998	0.034	0.998	0.033	0.995	0.032	0.986	0.027	0.809	0.016	0.633	0.013	0.464
0.028	0.966	0.037	0.996	0.038	0.996	0.037	0.990	0.036	0.977	0.030	0.769	0.017	0.602	0.014	0.442
0.032	0.952	0.042	0.992	0.043	0.992	0.042	0.984	0.040	0.964	0.033	0.726	0.019	0.571	0.014	0.420
0.035	0.936	0.047	0.987	0.049	0.987	0.047	0.974	0.046	0.947	0.037	0.682	0.020	0.540	0.015	0.398
0.039	0.915	0.054	0.979	0.056	0.978	0.054	0.960	0.052	0.924	0.042	0.637	0.022	0.510	0.016	0.377
0.044	0.890	0.061	0.967	0.063	0.966	0.061	0.941	0.058	0.895	0.047	0.591	0.024	0.480	0.017	0.356
0.049	0.862	0.069	0.952	0.072	0.950	0.069	0.917	0.066	0.861	0.052	0.545	0.026	0.451	0.019	0.335

PGA		0.10		0.20		0.30		0.40		1.00		2.00		3.00	
0.054	0.829	0.078	0.933	0.082	0.928	0.078	0.887	0.074	0.822	0.058	0.500	0.028	0.423	0.020	0.316
0.061	0.793	0.089	0.908	0.093	0.902	0.089	0.851	0.084	0.778	0.065	0.456	0.030	0.395	0.021	0.296
0.067	0.754	0.101	0.879	0.105	0.869	0.101	0.810	0.095	0.731	0.073	0.413	0.033	0.367	0.022	0.277
0.075	0.711	0.114	0.845	0.120	0.832	0.114	0.764	0.108	0.680	0.081	0.371	0.035	0.341	0.024	0.259
0.084	0.665	0.129	0.806	0.136	0.788	0.129	0.715	0.122	0.628	0.091	0.331	0.038	0.315	0.025	0.242
0.093	0.618	0.146	0.762	0.154	0.741	0.146	0.662	0.138	0.575	0.102	0.293	0.041	0.290	0.027	0.224
0.104	0.569	0.166	0.714	0.175	0.689	0.166	0.607	0.156	0.522	0.113	0.257	0.044	0.266	0.029	0.208
0.116	0.519	0.188	0.662	0.199	0.634	0.188	0.552	0.176	0.469	0.127	0.223	0.048	0.243	0.031	0.192
0.129	0.468	0.213	0.608	0.226	0.578	0.213	0.496	0.199	0.417	0.142	0.192	0.052	0.221	0.033	0.177
0.144	0.418	0.241	0.552	0.257	0.521	0.241	0.441	0.225	0.366	0.159	0.163	0.056	0.200	0.035	0.162
0.161	0.368	0.273	0.495	0.291	0.464	0.273	0.387	0.254	0.318	0.177	0.137	0.061	0.180	0.037	0.149
0.179	0.321	0.310	0.438	0.331	0.407	0.310	0.336	0.288	0.273	0.198	0.113	0.066	0.161	0.039	0.135
0.199	0.275	0.351	0.382	0.376	0.353	0.351	0.287	0.325	0.231	0.222	0.093	0.071	0.143	0.042	0.123
0.222	0.232	0.398	0.328	0.427	0.301	0.398	0.241	0.368	0.192	0.248	0.075	0.077	0.127	0.045	0.111
0.248	0.193	0.451	0.278	0.484	0.253	0.451	0.199	0.416	0.157	0.277	0.059	0.083	0.112	0.047	0.100
0.276	0.158	0.511	0.231	0.550	0.208	0.511	0.162	0.470	0.126	0.310	0.046	0.090	0.098	0.051	0.090
0.308	0.127	0.579	0.188	0.625	0.169	0.579	0.129	0.531	0.099	0.346	0.036	0.097	0.085	0.054	0.081
0.343	0.100	0.656	0.151	0.709	0.134	0.656	0.101	0.601	0.077	0.387	0.027	0.105	0.074	0.057	0.072
0.382	0.078	0.743	0.118	0.805	0.104	0.743	0.077	0.679	0.058	0.433	0.021	0.113	0.063	0.061	0.064
0.426	0.059	0.842	0.091	0.914	0.079	0.842	0.058	0.768	0.044	0.484	0.015	0.123	0.054	0.065	0.057
0.475	0.045	0.955	0.069	1.038	0.060	0.955	0.043	0.868	0.032	0.541	0.011	0.133	0.046	0.069	0.050
0.529	0.033	1.082	0.051	1.179	0.044	1.082	0.032	0.982	0.023	0.605	0.008	0.143	0.039	0.074	0.044
0.590	0.024	1.226	0.038	1.339	0.032	1.226	0.023	1.110	0.016	0.676	0.006	0.155	0.033	0.078	0.038
0.658	0.018	1.389	0.027	1.520	0.023	1.389	0.016	1.255	0.012	0.756	0.004	0.168	0.027	0.083	0.033

PGA		0.10		0.20		0.30		0.40		1.00		2.00		3.00	
0.733	0.013	1.574	0.019	1.726	0.017	1.574	0.012	1.419	0.008	0.845	0.003	0.181	0.023	0.089	0.029
0.817	0.009	1.784	0.014	1.960	0.012	1.784	0.008	1.604	0.006	0.944	0.002	0.196	0.019	0.094	0.025
0.910	0.006	2.022	0.010	2.225	0.008	2.022	0.006	1.814	0.004	1.056	0.001	0.212	0.015	0.101	0.021
1.014	0.005	2.291	0.007	2.526	0.006	2.291	0.004	2.050	0.003	1.180	0.001	0.229	0.013	0.107	0.018
1.131	0.003	2.596	0.005	2.869	0.004	2.596	0.003	2.318	0.002	1.320	0.001	0.248	0.010	0.114	0.016
1.260	0.002	2.942	0.004	3.257	0.003	2.942	0.002	2.621	0.001	1.475	0.000	0.268	0.008	0.121	0.013
1.404	0.002	3.334	0.003	3.698	0.002	3.334	0.002	2.964	0.001	1.649	0.000	0.290	0.007	0.129	0.011
1.565	0.001	3.778	0.002	4.200	0.002	3.778	0.001	3.351	0.001	1.844	0.000	0.313	0.005	0.137	0.010
1.745	0.001	4.281	0.001	4.768	0.001	4.281	0.001	3.789	0.000	2.061	0.000	0.338	0.004	0.146	0.008
1.944	0.001	4.851	0.001	5.414	0.001	4.851	0.001	4.284	0.000	2.305	0.000	0.366	0.003	0.156	0.007
2.167	0.001	5.498	0.001	6.148	0.001	5.498	0.000	4.843	0.000	2.576	0.000	0.396	0.003	0.166	0.006
2.415	0.000	6.230	0.001	6.981	0.001	6.230	0.000	5.476	0.000	2.880	0.000	0.428	0.002	0.176	0.005
2.692	0.000	7.060	0.000	7.926	0.000	7.060	0.000	6.191	0.000	3.220	0.000	0.462	0.002	0.188	0.004
3.000	0.000	8.000	0.000	9.000	0.000	8.000	0.000	7.000	0.000	3.600	0.000	0.500	0.001	0.200	0.003

Lampiran 52 : Hasil UHS dan $2/3 MCE_r$

Periode	UHS	Faktor			Sa	
T (s)	Sa (g)	Cdr	Rf	Cr	MCEr (g)	$\frac{2}{3}MCEr$ (g)
0	0.629	1.1	1	1.1	0.692	0.461
0.1	1.558	1.1	1	1.1	1.713	1.142
0.2	1.606	1.1	1	1.1	1.766	1.178
0.3	1.290	1.125	1	1.125	1.452	0.968
0.4	1.033	1.15	1	1.15	1.188	0.792
0.6	0.713	1.2	1	1.2	0.856	0.571
0.8	0.546	1.25	1	1.25	0.682	0.455
1	0.437	1.3	1	1.3	0.568	0.379
1.2	0.353	1.3	1	1.3	0.459	0.306
1.4	0.293	1.3	1	1.3	0.381	0.254
1.6	0.249	1.3	1	1.3	0.324	0.216
1.8	0.216	1.3	1	1.3	0.281	0.187
2	0.191	1.3	1	1.3	0.248	0.166
2.2	0.167	1.3	1	1.3	0.216	0.144
2.4	0.147	1.3	1	1.3	0.191	0.127
2.6	0.130	1.3	1	1.3	0.169	0.113
2.8	0.115	1.3	1	1.3	0.150	0.100
3	0.103	1.3	1	1.3	0.134	0.090
3.2	0.094	1.3	1	1.3	0.122	0.081
3.4	0.086	1.3	1	1.3	0.111	0.074
3.6	0.078	1.3	1	1.3	0.102	0.068
3.8	0.072	1.3	1	1.3	0.094	0.063
4	0.067	1.3	1	1.3	0.087	0.058

Lampiran 53 : Hasil Deagregasi

R/MW	4.95	5.25	5.55	5.85	6.15	6.45	6.75	7.05
25	1.35E-06	4.11E-06	1.80E-05	4.32E-05	5.14E-05	1.57E-04	8.16E-05	1.29E-05
75	0	0	0	0	0	0	0	0
125	0	0	0	0	0	0	0	0
175	0	0	0	0	0	0	0	2.66E-09
225	0	0	0	0	0	0	0	0
275	0	0	0	0	0	0	0	0
325	0	0	0	0	0	0	0	0
375	0	0	0	0	0	0	0	0
425	0	0	0	0	0	0	0	0
475	0	0	0	0	0	0	0	0
525	0	0	0	0	0	0	0	0
575	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	1.35E-06	4.11E-06	1.80E-05	4.32E-05	5.14E-05	1.57E-04	8.16E-05	1.29E-05

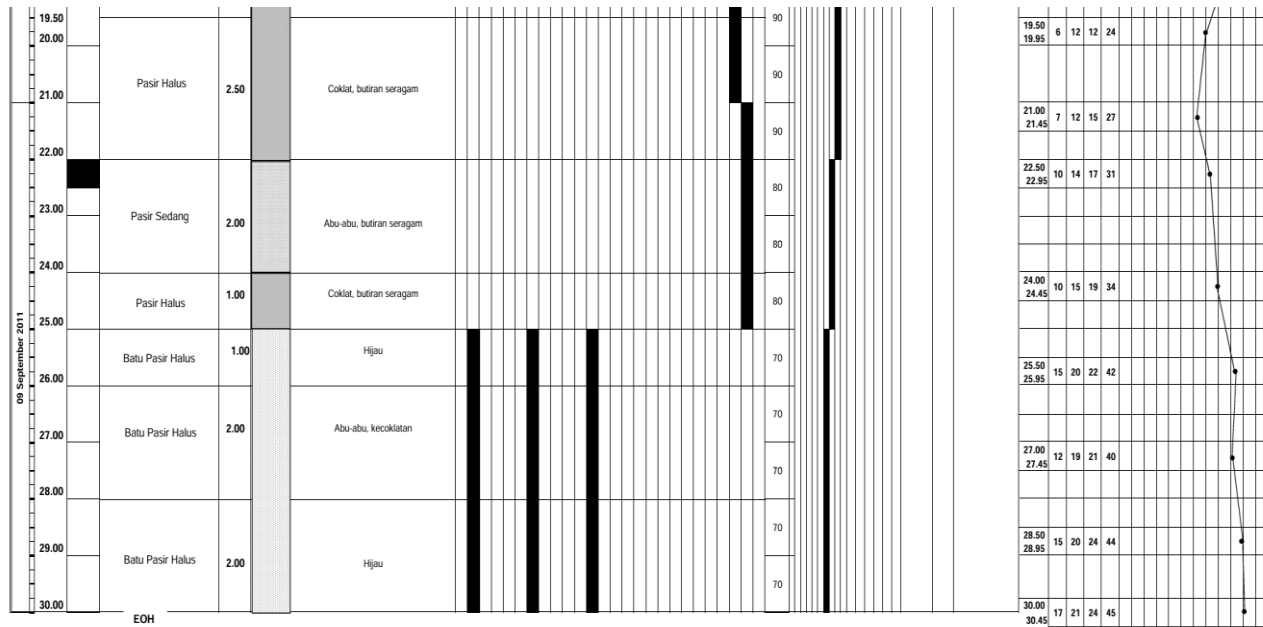
R/MW	7.35	7.65	7.95	8.25	8.55	8.85	9.15	TOTAL
25	0	0	0	0	0	0	0	3.70E-04
75	0	0	0	0	0	0	0	0
125	7.79E-10	2.06E-08	2.60E-07	1.78E-06	5.14E-06	1.57E-06	0.00E+00	8.78E-06
175	2.53E-07	8.33E-07	4.36E-06	1.00E-05	9.30E-06	3.38E-06	2.51E-07	2.84E-05
225	0	0	1.69E-07	9.13E-07	1.26E-06	5.86E-07	4.75E-08	2.98E-06
275	0	0	0	2.97E-08	1.46E-07	1.41E-07	1.89E-08	3.36E-07
325	0	0	0	0	4.89E-08	5.25E-08	6.12E-09	1.07E-07
375	0	0	0	0	0	0	0	0
425	0	0	0	0	0	2.76E-11	1.67E-10	1.95E-10
475	0	0	0	0	0	0	1.34E-10	1.34E-10
525	0	0	0	0	0	0	0	0
575	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	2.54E-07	8.54E-07	4.79E-06	1.28E-05	1.59E-05	5.73E-06	3.24E-07	4.11E-04

Lampiran 54 : Geological Drill Log

GEOLOGICAL DRILL LOG

HOLE No : BH3

[illegible]



Lampiran 55 : Soil Property Tiap Lapisan

Test Point No	Depth m	Moisture content w _N , (%)	Specific Gravity G _s	Liquid Limit LL, (%)	Plastic Limit PL, (%)	Plasticity Index PI, (%)	Liquid Limit Index LI, (%)	Void Ratio e	Degree of Saturation S _r , (%)	Finer # 200 (%)	Coef. of Gradation		Classi- fication Unified	Strength Parameters			
											Cc	Cu		Bulk den- sity, (gr/cm ³)	Dry den- sity, (gr/cm ³)	direct shear	
																φ°	c (kg/cm ²)
BT1	1.50-2.00	14.38	2.56	NON PLASTIC				0.57	65.06	11.48	1.02	7.76	SW-SM	1.87	1.63	44.13	0.00
BT1	2.50-3.00	9.47	2.76	NON PLASTIC				0.64	40.71	11.08	0.81	7.39	SW-SM	1.84	1.68	36.91	0.01
BT2	1.50-2.50	6.90	2.75	NON PLASTIC				0.60	31.75	15.48	-	-	SM	1.84	1.72	38.54	0.05
BT2	2.50-3.00	12.53	2.77	NON PLASTIC				0.68	50.68	10.67	0.84	8.30	SW-SM	1.85	1.64	42.29	0.01
BT3	2.00-2.50	8.19	2.77	NON PLASTIC				0.95	23.98	18.60	-	-	SM	1.54	1.42	32.20	0.07
BT3	3.50-4.00	8.16	2.77	NON PLASTIC				0.84	26.97	20.86	-	-	SM	1.63	1.51	37.36	0.05
BT4	2.50-3.00	10.82	2.75	NON PLASTIC				0.75	39.60	3.35	0.97	10.51	SP	1.74	1.57	40.81	0.06
BT4	4.00-4.50	5.88	2.75	NON PLASTIC				0.69	23.34	10.26	0.95	7.12	SW-SM	1.72	1.62	37.76	0.02
BT5	2.00-2.50	9.21	2.81	NON PLASTIC				0.61	42.66	3.64	1.31	5.48	SW	1.91	1.75	44.34	0.01
BT5	5.50-6.00	9.02	2.56	NON PLASTIC				0.50	46.14	2.44	0.60	7.37	SP	1.86	1.71	43.33	0.00
											-	-					
BH1	5.00-5.50	39.71	2.64	NON PLASTIC				1.20	87.70	20.79	-	-	SM	1.68	1.20	33.89	0.04
BH1	16.00-16.50	12.91	2.46	NON PLASTIC				0.80	39.52	19.25			SM	1.54	1.36	30.04	0.50
BH2	3.50-4.00	22.99	2.63	NON PLASTIC				0.84	72.16	23.37	-	-	SM	1.76	1.43	38.33	0.07
BH2	7.00-7.50	31.53	2.32	NON PLASTIC				0.75	97.05	16.96	-	-	SM	1.74	1.32	36.03	0.05
BH3	8.50-9.00	20.52	2.62	NON PLASTIC				0.80	66.84	31.36	-	-	SM	1.75	1.45	37.10	0.03
BH3	14.00-14.50	13.81	2.73	NON PLASTIC				0.79	47.99	22.77	-	-	SM	1.74	1.53	32.53	0.02
BH4	6.50-7.00	41.76	2.45	NON PLASTIC				0.94	100.00	16.08	-	-	SM	1.79	1.26	36.53	0.06
BH4	11.50-12.00	39.79	2.63	NON PLASTIC				1.05	99.30	18.23	-	-	SM	1.79	1.28	38.25	0.12

NOTE : Cc and Cu if only finer #200 less than 12 %

Lampiran 56 : Rekapitulasi Perhitungan Tegangan Overburden, σ'

Layer	Jenis Tanah	h (m)	D_top (m)	D_mid (m)	γ (kN/m ³)	σ_{top} (kPa)	σ_{mid} (kPa)	σ_{bot} (kPa)	u_mid (kPa)	σ'_{mid} (kPa)
1	Pasir Sedang	0.7	0	0.35	14.8131	0	5.185	10.369	0	5.185
2	Pasir Halus	2.8	0.7	2.1	14.2245	10.369	30.283	50.198	0	30.283
3	Pasir Sedang	1	3.5	4	14.8131	50.198	57.604	65.011	0	57.604
4	Pasir Halus	1.5	4.5	5.25	14.2245	65.011	75.679	86.348	0	75.679
5	Pasir Sedang	0.8	6	6.4	14.8131	86.348	92.273	98.198	0	92.273
6	Pasir Halus	1.2	6.8	7.4	17.1675	98.198	108.499	118.799	6.867	101.632
7	Pasir Halus	1	8	8.5	17.1675	118.799	127.383	135.967	17.658	109.725
8	Pasir Sedang	1	9	9.5	15.9903	135.967	143.962	151.957	27.468	116.494
9	Pasir Halus	1.6	10	10.8	17.1675	151.957	165.691	179.425	40.221	125.47
10	Pasir Sedang	2.4	11.6	12.8	15.9903	179.425	198.613	217.802	59.841	138.772
11	Pasir Halus	3	14	15.5	17.1675	217.802	243.553	269.304	86.328	157.225
12	Pasir Kasar	1.7	17	17.85	17.6772	269.304	284.33	299.355	109.382	174.948
13	Pasir Halus	5	18.7	21.2	17.1675	299.355	342.274	385.193	142.245	200.029
14	Pasir Sedang	2	23.7	24.7	15.9903	385.193	401.183	417.173	176.58	224.603
15	Pasir Halus	1	25.7	26.2	17.1675	417.173	425.757	434.341	191.295	234.462
16	Batu Pasir Halus	5	26.7	29.2	23.5	434.341	493.091	551.841	220.725	272.366

Lampiran 57 : Data N-SPT

Kedalaman (m)	BH-1	BH-2	BH-3	BH-4	N-rata- rata lapangan	N₆₀
1.5	15	17	14	20	17	15
3	18	19	17	23	19	18
4.5	16	25	19	25	21	20
6	18	20	25	20	21	19
7.5	20	23	20	30	23	21
9	26	25	26	31	27	25
10.5	28	25	23	30	27	24
12	30	10	30	21	23	21
13.5	33	27	32	25	29	27
15	30	29	24	27	28	25
16.5	23	31	27	25	27	24
18	31	34	37	27	32	30
19.5	25	37	24	37	31	28
21	28	12	27	39	27	24
22.5	31	26	31	41	32	30
24	34	30	34	24	31	28
25.5	27	38	42	15	31	28
27	29	42	40	26	34	32
28.5	18	45	44	38	36	33
30	20	48	45	20	33	31

Lampiran 58 : Rekapitulasi V_s Tiap Lapisan

Layer	Depth (m)	$\sigma'_{v,mid}$ (kPa)	N_{60}	V_s (m/s)
1	0	5.185	11	106.015
2	-0.7	30.283	17	167.172
3	-3.5	57.604	18	195.988
4	-4.5	75.679	19	210.339
5	-6	92.273	19	220.414
6	-6.8	101.632	21	227.674
7	-8	109.725	23	233.862
8	-9	116.494	25	239.095
9	-10	125.47	25	243.321
10	-11.6	138.772	24	248.202
11	-14	157.225	26	257.115
12	-17	174.948	29	266.955
13	-18.7	200.029	28	274.32
14	-23.7	224.603	29	283.169
15	-25.7	234.462	30	287.17
16	-26.7	272.366	31	298.622
—	-31.7	—	—	—

Lampiran 59 : Rekapitulasi ϕ' Tiap Lapisan

Layer	Depth (m)	$\sigma'_{v,mid}$ (kPa)	N_{spt}	ϕ' (°)
1	0	5.1846	10	42.3
2	-0.7	30.2835	18	44.8
3	-3.5	57.6043	20	43
4	-4.5	75.6792	21	42.4
5	-6	92.2729	21	41.2
6	-6.8	101.6316	23	41.5
7	-8	109.7249	25	41.9
8	-9	116.4938	27	42.2
9	-10	125.4699	27	41.8
10	-11.6	138.7723	26	40.7
11	-14	157.2249	28	40.4
12	-17	174.9482	32	41.1
13	-18.7	200.0291	30	39.5
14	-23.7	224.6032	31	39
15	-25.7	234.4622	33	39.2
16	-26.7	272.3659	34	38.5

Lampiran 60 : Rekapitulasi Parameter Input Deepsoil Tiap Lapisan

Layer	thick (m)	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	τ_f (kPa)	K_0
1	0.7	14.813	106.015	9.422	0.327
2	2.8	14.225	167.172	49.872	0.295
3	1	14.813	195.988	60.671	0.318
4	1.5	14.225	210.339	78.722	0.326
5	0.8	14.813	220.414	86.084	0.341
6	1.2	17.168	227.674	105.26	0.337
7	1	17.168	233.862	121.894	0.332
8	1	15.99	239.095	137.996	0.328
9	1.6	17.168	243.321	160.216	0.334
10	2.4	15.99	248.202	187.538	0.348
11	3	17.168	257.115	229.325	0.352
12	1.7	17.677	266.955	261.335	0.342
13	5	17.168	274.32	317.825	0.364
14	2	15.99	283.169	337.55	0.371
15	1	17.168	287.17	353.76	0.368
16	5	23.5	298.622	438.836	0.378

Lampiran 61 : List Section Properties

No	Tipe elemen	Nama section	Dimensi (cm)
1	Balok Anak (A)	Balok A1	30×60
2	Balok Anak (A)	Balok A2	30×50
3	Balok Anak (A)	Balok A3	30×50
4	Balok Anak (A)	Balok A4	20×40
5	Balok Anak (A)	Balok A5	20×60
6	Balok Anak (A)	Balok AKR1	40×70
7	Balok Induk (B)	Balok B1	30×60
8	Balok Induk (B)	Balok B1K	30×60
9	Balok Induk (B)	Balok B2	30×50
10	Balok Induk (B)	Balok B2K	40×60
11	Balok Induk (B)	Balok B3	30×50
12	Balok Induk (B)	Balok B3K	50×60
13	Balok Induk (B)	Balok B4	40×80
14	Balok Induk (B)	Balok B5	60×60
15	Balok Induk (B)	Balok B6	20×80
16	Balok Induk (B)	Balok B7	40×60
17	Balok Induk (B)	Balok B8	20×140
18	Balok Induk (B)	Balok BK1	25×150
19	Balok Induk (B)	Balok BKR1	50×90
20	Balok Induk (B)	Balok BKRN1	40×90
21	Balok Induk (B)	Balok BL	20×50
22	Balok Induk (B)	Balok TB1	40×80
23	Balok Induk (B)	Balok TB2	30×60
24	Kolom (K)	K1 3–8	40×120
25	Kolom (K)	K1 8–atap	40×100
26	Kolom (K)	K1 Base–3	40×150
27	Kolom (K)	K2 3–atap	40×50
28	Kolom (K)	K2 Base–3	40×70
29	Kolom (K)	K3 3–8	40×140
30	Kolom (K)	K3 8–atap	40×140
31	Kolom (K)	K3 Base–3	40×160
32	Kolom (K)	K4	60×60

Lampiran 62 : Periode Fundamental, T

Mode	T(s)
1	1.182
2	0.65
3	0.399
4	0.37
5	0.329
6	0.276
7	0.24
8	0.216
9	0.202
10	0.195
11	0.182
12	0.175
13	0.16
14	0.155
15	0.151
16	0.145
17	0.135
18	0.133
19	0.122
20	0.119
21	0.105
22	0.097
23	0.085
24	0.081
25	0.065
26	0.062
27	0.044
28	0.042
29	0.024
30	0.02

Lampiran 63 : Rekap Gaya Geser Tingkat

Tingkat	Arah x				Arah y			
	E1 (ton)	E2 (ton)	E3 (ton)	RS (ton)	E1 (ton)	E2 (ton)	E3 (ton)	RS (ton)
Atap	111.519	78.835	96.227	91.613	111.519	78.835	96.227	70.805
Lt 10	255.637	182.593	221.696	208.168	255.637	182.593	221.696	163.498
Lt 9	367.281	264.385	320.415	298.056	367.281	264.385	320.415	236.409
Lt 8	456.929	329.411	400.299	370.899	456.929	329.411	400.299	296.426
Lt 7	530.037	380.973	465.012	432.038	530.037	380.973	465.012	347.295
Lt 6	594.61	424.858	522.763	487.893	594.61	424.858	522.763	393.653
Lt 5	656.245	465.542	576.776	542.865	656.245	465.542	576.776	438.652
Lt 3	727.379	512.115	638.924	608.13	727.379	512.115	638.924	490.967
Lt 2	780.039	545.587	683.776	655.677	780.039	545.587	683.776	528.386
Lt 1	831.731	577.279	728.848	697.46	831.731	577.279	728.848	560.76

Lampiran 64 : Rekap Drift E1 (Kombinasi)

Tingkat	Elevasi (m)	h (m)	Envelope Simp. E1X (m)	Simp. E1X (m)	Rasio X (%)	Envelope Simp. E1Y (m)	Drift E1Y (m)	Rasio Y (%)	Batas Rasio Simp. (%)	Cek
Atap	32.8	3.1	0.0425	0.0288	0.930	0.0956	0.0498	1.606	1.54	Tidak Aman
Lt 10	29.7	3.1	0.0373	0.0290	0.936	0.0865	0.0591	1.906	1.54	Tidak Aman
Lt 9	26.6	3.1	0.0320	0.0288	0.930	0.0758	0.0623	2.010	1.54	Tidak Aman
Lt 8	23.5	3.1	0.0267	0.0282	0.909	0.0645	0.0619	1.995	1.54	Tidak Aman
Lt 7	20.4	3.1	0.0216	0.0269	0.868	0.0532	0.0518	1.670	1.54	Tidak Aman
Lt 6	17.3	3.1	0.0167	0.0249	0.804	0.0438	0.0526	1.696	1.54	Tidak Aman
Lt 5	14.2	3.1	0.0122	0.0221	0.712	0.0342	0.0527	1.701	1.54	Tidak Aman
Lt 3	11.1	4	0.0082	0.0232	0.580	0.0247	0.0660	1.649	1.54	Tidak Aman
Lt 2	7.1	3.1	0.0040	0.0129	0.415	0.0127	0.0365	1.178	1.54	Aman
Lt 1	4	3.95	0.0016	0.0089	0.226	0.0060	0.0332	0.840	1.54	Aman

Lampiran 65 : Rekap Drift E2 (Kombinasi)

Tingkat	Elevasi (m)	h (m)	Envelope Simp. E2X (m)	Simp. E2X (m)	Rasio X (%)	Envelope Simp. E2Y (m)	Drift E2Y (m)	Rasio Y (%)	Batas Rasio Simp. (%)	Cek
Atap	32.8	3.1	0.0351	0.0260	0.839	0.0815	0.0370	1.193	1.54	Aman
Lt 10	29.7	3.1	0.0303	0.0253	0.815	0.0748	0.0472	1.522	1.54	Tidak Aman
Lt 9	26.6	3.1	0.0257	0.0243	0.785	0.0662	0.0515	1.662	1.54	Tidak Aman
Lt 8	23.5	3.1	0.0213	0.0232	0.747	0.0568	0.0528	1.703	1.54	Tidak Aman
Lt 7	20.4	3.1	0.0171	0.0217	0.700	0.0472	0.0531	1.714	1.54	Tidak Aman
Lt 6	17.3	3.1	0.0131	0.0198	0.638	0.0376	0.0515	1.660	1.54	Tidak Aman
Lt 5	14.2	3.1	0.0096	0.0173	0.560	0.0282	0.0474	1.528	1.54	Aman
Lt 3	11.1	4	0.0064	0.0181	0.453	0.0196	0.0551	1.379	1.54	Aman
Lt 2	7.1	3.1	0.0031	0.0101	0.325	0.0096	0.0288	0.928	1.54	Aman
Lt 1	4	3.95	0.0013	0.0070	0.177	0.0044	0.0240	0.607	1.54	Aman

Lampiran 66 : Rekap Drift E3 (Kombinasi)

Tingkat	Elevasi (m)	h (m)	Envelope Simp. E3X (m)	Simp. E3X (m)	Rasio X (%)	Envelope Simp. E3Y (m)	Drift E3Y (m)	Rasio Y (%)	Batas Rasio Simp. (%)	Cek
Atap	32.8	3.1	0.0307	0.0228	0.736	0.0595	0.0240	0.773	1.54	Aman
Lt 10	29.7	3.1	0.0266	0.0222	0.716	0.0552	0.0341	1.100	1.54	Aman
Lt 9	26.6	3.1	0.0225	0.0213	0.688	0.0490	0.0377	1.217	1.54	Aman
Lt 8	23.5	3.1	0.0186	0.0203	0.654	0.0421	0.0387	1.248	1.54	Aman
Lt 7	20.4	3.1	0.0150	0.0190	0.612	0.0351	0.0389	1.254	1.54	Aman
Lt 6	17.3	3.1	0.0115	0.0173	0.558	0.0280	0.0340	1.098	1.54	Aman
Lt 5	14.2	3.1	0.0084	0.0152	0.490	0.0218	0.0327	1.054	1.54	Aman
Lt 3	11.1	4	0.0056	0.0159	0.397	0.0159	0.0414	1.036	1.54	Aman
Lt 2	7.1	3.1	0.0027	0.0088	0.284	0.0083	0.0238	0.768	1.54	Aman
Lt 1	4	3.95	0.0011	0.0061	0.154	0.0040	0.0220	0.558	1.54	Aman

Lampiran 67 : Rekap Drift E1

Tingkat	Elevasi (m)	h (m)	Envelope Simp. E1X (m)	Simp. E1X (m)	Rasio X (%)	Envelope Simp. E1Y (m)	Drift E1Y (m)	Rasio Y (%)	Batas Rasio Simp. (%)	Cek
Atap	32.8	3.1	0.0066	0.0050	0.162	0.0409	0.0210	0.678	1.54	Aman
Lt 10	29.7	3.1	0.0057	0.0048	0.154	0.0371	0.0256	0.826	1.54	Aman
Lt 9	26.6	3.1	0.0048	0.0045	0.147	0.0325	0.0268	0.865	1.54	Aman
Lt 8	23.5	3.1	0.0040	0.0043	0.139	0.0276	0.0266	0.859	1.54	Aman
Lt 7	20.4	3.1	0.0032	0.0040	0.129	0.0227	0.0249	0.804	1.54	Aman
Lt 6	17.3	3.1	0.0025	0.0037	0.118	0.0182	0.0216	0.697	1.54	Aman
Lt 5	14.2	3.1	0.0018	0.0032	0.104	0.0143	0.0218	0.703	1.54	Aman
Lt 3	11.1	4	0.0012	0.0034	0.085	0.0103	0.0275	0.687	1.54	Aman
Lt 2	7.1	3.1	0.0006	0.0019	0.062	0.0053	0.0154	0.495	1.54	Aman
Lt 1	4	3.95	0.0003	0.0014	0.035	0.0025	0.0139	0.351	1.54	Aman

Lampiran 68 : Rekap Drift E2

Tingkat	Elevasi (m)	h (m)	Envelope Simp. E2X (m)	Simp. E2X (m)	Rasio X (%)	Envelope Simp. E2Y (m)	Drift E2Y (m)	Rasio Y (%)	Batas Rasio Simp. (%)	Cek
Atap	32.8	3.1	0.0086	0.0078	0.251	0.0401	0.0140	0.452	1.54	Aman
Lt 10	29.7	3.1	0.0072	0.0073	0.234	0.0375	0.0233	0.750	1.54	Aman
Lt 9	26.6	3.1	0.0059	0.0066	0.212	0.0333	0.0260	0.840	1.54	Aman
Lt 8	23.5	3.1	0.0047	0.0059	0.189	0.0286	0.0266	0.858	1.54	Aman
Lt 7	20.4	3.1	0.0036	0.0052	0.166	0.0237	0.0266	0.859	1.54	Aman
Lt 6	17.3	3.1	0.0027	0.0044	0.142	0.0189	0.0258	0.832	1.54	Aman
Lt 5	14.2	3.1	0.0019	0.0036	0.118	0.0142	0.0239	0.771	1.54	Aman
Lt 3	11.1	4	0.0012	0.0036	0.090	0.0099	0.0279	0.697	1.54	Aman
Lt 2	7.1	3.1	0.0006	0.0019	0.062	0.0048	0.0144	0.464	1.54	Aman
Lt 1	4	3.95	0.0002	0.0013	0.032	0.0022	0.0120	0.303	1.54	Aman

Lampiran 69 : Rekap Drift E3

Tingkat	Elevasi (m)	h (m)	Envelope Simp. E3X (m)	Simp. E3X (m)	Rasio X (%)	Envelope Simp. E3Y (m)	Drift E3Y (m)	Rasio Y (%)	Batas Rasio Simp. (%)	Cek
Atap	32.8	3.1	0.0090	0.0075	0.242	0.0436	0.0175	0.563	1.54	Aman
Lt 10	29.7	3.1	0.0077	0.0071	0.230	0.0404	0.0253	0.818	1.54	Aman
Lt 9	26.6	3.1	0.0064	0.0067	0.215	0.0358	0.0280	0.903	1.54	Aman
Lt 8	23.5	3.1	0.0052	0.0061	0.198	0.0307	0.0286	0.922	1.54	Aman
Lt 7	20.4	3.1	0.0041	0.0055	0.178	0.0255	0.0286	0.923	1.54	Aman
Lt 6	17.3	3.1	0.0030	0.0049	0.157	0.0203	0.0277	0.895	1.54	Aman
Lt 5	14.2	3.1	0.0022	0.0041	0.133	0.0153	0.0257	0.827	1.54	Aman
Lt 3	11.1	4	0.0014	0.0041	0.103	0.0106	0.0300	0.750	1.54	Aman
Lt 2	7.1	3.1	0.0007	0.0022	0.071	0.0052	0.0147	0.475	1.54	Aman
Lt 1	4	3.95	0.0003	0.0014	0.037	0.0025	0.0137	0.347	1.54	Aman

Lampiran 70 : Rekap Drift RS

Tingkat	Elevasi (m)	h (m)	Envelope Simp. RSX (m)	Simp. RSX (m)	Rasio X (%)	Envelope Simp. RSY (m)	Drift RSY (m)	Rasio Y (%)	Batas Rasio Simp. (%)	Cek
Atap	32.75	3.1	0.0097	0.0071	0.23	0.0165	0.0089	0.286	2	Aman
Lt 10	29.65	3.1	0.0084	0.0068	0.218	0.0149	0.0097	0.314	2	Aman
Lt 9	26.55	3.1	0.0072	0.0065	0.211	0.0131	0.0103	0.331	2	Aman
Lt 8	23.45	3.1	0.006	0.0063	0.202	0.0113	0.0105	0.34	2	Aman
Lt 7	20.35	3.1	0.0049	0.006	0.192	0.0094	0.0105	0.34	2	Aman
Lt 6	17.25	3.1	0.0038	0.0055	0.178	0.0074	0.0102	0.328	2	Aman
Lt 5	14.15	3.1	0.0028	0.0049	0.159	0.0056	0.0094	0.303	2	Aman
Lt 3	11.05	4	0.0019	0.0052	0.131	0.0039	0.0103	0.258	2	Aman
Lt 2	7.05	3.1	0.0009	0.003	0.097	0.002	0.0061	0.196	2	Aman
Lt 1	3.95	4.58	0.0004	0.0021	0.045	0.0009	0.005	0.108	2	Aman

Lampiran 71 : Rekap Drift Setelah *Strengthening*

Tingkat	Elevasi (m)	h (m)	Envelope drift E1Y (m)	Drift E1Y (m)	Drift Ratio E1Y (%)	Envelope drift E2Y (m)	Drift E2Y (m)	Drift Ratio E2Y (%)	Envelope drift E3Y (m)	Drift E3Y (m)	Drift Ratio E3Y (%)	Allowable Drift Ratio (%)	Check
Atap	32.8	3.1	0.0166	0.0097	0.312	0.0215	0.0129	0.418	0.0073	0.0044	0.143	1.54	Safe
Lt 10	29.7	3.1	0.0148	0.0101	0.325	0.0191	0.0135	0.435	0.0065	0.0046	0.147	1.54	Safe
Lt 9	26.6	3.1	0.013	0.0104	0.334	0.0167	0.0138	0.445	0.0057	0.0047	0.15	1.54	Safe
Lt 8	23.5	3.1	0.0111	0.0105	0.339	0.0142	0.0139	0.448	0.0049	0.0047	0.151	1.54	Safe
Lt 7	20.4	3.1	0.0092	0.0104	0.336	0.0117	0.0136	0.439	0.004	0.0046	0.149	1.54	Safe
Lt 6	17.3	3.1	0.0073	0.01	0.323	0.0092	0.0129	0.417	0.0032	0.0044	0.142	1.54	Safe
Lt 5	14.2	3.1	0.0055	0.0093	0.298	0.0068	0.0118	0.379	0.0024	0.004	0.13	1.54	Safe
Lt 3	11.1	4	0.0038	0.0101	0.254	0.0047	0.0127	0.318	0.0016	0.0044	0.11	1.54	Safe
Lt 2	7.1	3.1	0.0019	0.0059	0.19	0.0024	0.0074	0.238	0.0008	0.0026	0.083	1.54	Safe
Lt 1	4	3.95	0.0009	0.0048	0.121	0.001	0.0057	0.145	0.0004	0.002	0.051	1.54	Safe

Lampiran 72 : Rekap Efek P-Delta Kombinasi Arah X

Tingkat	Δ amplifikasi E1X (m)	θ E1X	Δ amplifikasi E2X (m)	θ E2X	Δ amplifikasi E3X (m)	θ E3X	θ_{max}	Check
Atap	0.0155	0.0078	0.0135	0.0061	0.0082	0.0038	0.0909	Aman
Lt 10	0.0149	0.0049	0.0127	0.0042	0.0077	0.0024	0.0909	Aman
Lt 9	0.0134	0.0030	0.0112	0.0026	0.0072	0.0015	0.0909	Aman
Lt 8	0.0117	0.0021	0.0095	0.0018	0.0067	0.0012	0.0909	Aman
Lt 7	0.0100	0.0015	0.0080	0.0013	0.0062	0.0009	0.0909	Aman
Lt 6	0.0085	0.0012	0.0069	0.0010	0.0057	0.0008	0.0909	Aman
Lt 5	0.0072	0.0009	0.0058	0.0008	0.0051	0.0006	0.0909	Aman
Lt 3	0.0076	0.0007	0.0059	0.0006	0.0055	0.0005	0.0909	Aman
Lt 2	0.0046	0.0005	0.0035	0.0004	0.0032	0.0003	0.0909	Aman
Lt 1	0.0036	0.0004	0.0026	0.0003	0.0024	0.0002	0.0909	Aman

Lampiran 73 : Rekap Efek P-Delta Kombinasi Arah Y

Tingkat	Δ amplifikasi E1Y (m)	θ E1Y	Δ amplifikasi E2Y (m)	θ E2Y	Δ amplifikasi E3Y (m)	θ E3Y	θ_{max}	Check
Atap	0.0250	0.0106	0.0231	0.0138	0.01547	0.00759	0.0909	Aman
Lt 10	0.0260	0.0074	0.0239	0.0095	0.01594	0.00524	0.0909	Aman
Lt 9	0.0268	0.0053	0.0245	0.0067	0.01628	0.00370	0.0909	Aman
Lt 8	0.0271	0.0044	0.0246	0.0055	0.01640	0.00302	0.0909	Aman
Lt 7	0.0268	0.0037	0.0241	0.0047	0.01618	0.00256	0.0909	Aman
Lt 6	0.0257	0.0032	0.0230	0.0040	0.01551	0.00218	0.0909	Aman
Lt 5	0.0237	0.0027	0.0209	0.0033	0.01431	0.00183	0.0909	Aman
Lt 3	0.0259	0.0022	0.0227	0.0027	0.01572	0.00195	0.0909	Aman
Lt 2	0.0152	0.0015	0.0132	0.0018	0.00931	0.00080	0.0909	Aman
Lt 1	0.0120	0.0012	0.0103	0.0015	0.00747	0.00109	0.0909	Aman

Lampiran 74 : Rekap Efek P-Delta E1

Tingkat	Δ amplifikasi E1X (m)	θ (E1X)	Δ amplifikasi E1Y (m)	θ (E1Y)	$\theta_{\max}$	Cek
Atap	0.0050	0.0024	0.0210	0.0084	0.0909	Aman
Lt 10	0.0048	0.0015	0.0256	0.0070	0.0909	Aman
Lt 9	0.0045	0.0010	0.0268	0.0051	0.0909	Aman
Lt 8	0.0043	0.0007	0.0266	0.0041	0.0909	Aman
Lt 7	0.0040	0.0006	0.0249	0.0033	0.0909	Aman
Lt 6	0.0037	0.0005	0.0216	0.0026	0.0909	Aman
Lt 5	0.0032	0.0004	0.0218	0.0024	0.0909	Aman
Lt 3	0.0034	0.0003	0.0275	0.0022	0.0909	Aman
Lt 2	0.0019	0.0002	0.0154	0.0014	0.0909	Aman
Lt 1	0.0014	0.0001	0.0139	0.0013	0.0909	Aman

Lampiran 75 : Rekap Efek P-Delta E2

Tingkat	Δ amplifikasi E2X (m)	θ (E2X)	Δ amplifikasi E2Y (m)	θ (E2Y)	$\theta_{\max}$	Cek
Atap	0.0078	0.0033	0.0140	0.0079	0.0909	Aman
Lt 10	0.0073	0.0023	0.0233	0.0089	0.0909	Aman
Lt 9	0.0066	0.0015	0.0260	0.0069	0.0909	Aman
Lt 8	0.0059	0.0011	0.0266	0.0057	0.0909	Aman
Lt 7	0.0052	0.0008	0.0266	0.0050	0.0909	Aman
Lt 6	0.0044	0.0006	0.0258	0.0043	0.0909	Aman
Lt 5	0.0036	0.0005	0.0239	0.0036	0.0909	Aman
Lt 3	0.0036	0.0003	0.0279	0.0032	0.0909	Aman
Lt 2	0.0019	0.0002	0.0144	0.0019	0.0909	Aman
Lt 1	0.0013	0.0001	0.0120	0.0017	0.0909	Aman

Lampiran 76 : Rekap Efek P-Delta E3

Tingkat	Δ amplifikasi E3X (m)	θ (E3X)	Δ amplifikasi E3Y (m)	θ (E3Y)	$\theta_{\max}$	Cek
Atap	0.0075	0.00333	0.01745	0.00809	0.0909	Aman
Lt 10	0.0071	0.0021	0.0253	0.00803	0.0909	Aman
Lt 9	0.0067	0.0014	0.0280	0.00613	0.0909	Aman
Lt 8	0.0061	0.0010	0.0286	0.00507	0.0909	Aman
Lt 7	0.0055	0.0008	0.0286	0.00437	0.0909	Aman
Lt 6	0.0049	0.0006	0.0277	0.00377	0.0909	Aman
Lt 5	0.0041	0.0005	0.0257	0.00316	0.0909	Aman
Lt 3	0.0041	0.0003	0.0300	0.00357	0.0909	Aman
Lt 2	0.0022	0.0002	0.0147	0.00122	0.0909	Aman
Lt 1	0.0014	0.0001	0.0137	0.00192	0.0909	Aman

Lampiran 77 : Rekap Efek P-Delta RS

Tingkat	Δ amplifikasi RSX (m)	θ (RSX)	Δ amplifikasi RSY (m)	θ (RSY)	$\theta_{\max}$	Cek
Atap	0.0062	0.0022	0.0154	0.00575	0.0909	Aman
Lt 10	0.0057	0.0013	0.0243	0.00603	0.0909	Aman
Lt 9	0.0053	0.0008	0.0271	0.00447	0.0909	Aman
Lt 8	0.0048	0.0006	0.0275	0.00358	0.0909	Aman
Lt 7	0.0044	0.0004	0.0276	0.00304	0.0909	Aman
Lt 6	0.0040	0.0004	0.0270	0.00264	0.0909	Aman
Lt 5	0.0035	0.0003	0.0253	0.00228	0.0909	Aman
Lt 3	0.0037	0.0002	0.0303	0.00214	0.0909	Aman
Lt 2	0.0021	0.0002	0.0163	0.00139	0.0909	Aman
Lt 1	0.0015	0.0001	0.0140	0.00110	0.0909	Aman

Lampiran 78 : Akselerasi Joint Massa

Tingkat	E1X	E2X	E3X	RSX	E1Y	E2Y	E3Y	RSY
Atap	3.4874	3.2232	3.2565	3.872	2.415	1.2852	1.7972	2.009
Lt 10	2.5355	2.698	2.8487	3.0324	1.6544	1.4039	1.2132	2.2703
Lt 9	2.1695	2.3232	2.5218	2.5885	1.5911	1.2858	1.0594	2.1678
Lt 8	2.0757	2.07	2.1832	2.1996	1.5862	1.185	0.9564	2.1325
Lt 7	1.9542	1.8112	1.841	1.872	1.5112	1.0911	0.9094	2.0634
Lt 6	1.7574	1.5201	1.4966	1.5715	1.4071	0.9634	0.9119	1.9549
Lt 5	1.4687	1.2035	1.1588	1.2706	1.1798	0.8395	0.8583	1.7384
Lt 3	1.1005	0.8824	0.8971	0.9628	0.9676	0.805	0.7347	1.3955
Lt 2	0.838	0.6048	0.6979	0.8646	1.9433	0.9312	0.5787	1.3761
Lt 1	0.6891	0.5452	0.5616	0.6902	1.0378	0.6929	0.476	0.9467

Lampiran 79 : Gaya Aksial Kolom arah X

Tingkat	11-A				11-K			
	E1	E2	E3	RS	E1	E2	E3	RS
Atap	10.213	11.175	12.409	12.177	5.379	5.894	6.806	6.884
Lt 10	16.669	16.669	16.669	16.669	9.159	10.044	11.102	11.157
Lt 9	18.971	18.971	18.971	18.971	8.974	9.926	9.713	11.064
Lt 8	19.154	19.154	19.154	19.154	8.211	7.684	7.776	10.150
Lt 7	17.996	17.996	17.996	17.996	8.112	5.938	6.537	11.123
Lt 6	15.998	15.998	15.998	15.998	10.502	11.044	10.273	15.401
Lt 5	16.237	16.237	16.237	16.237	19.932	19.259	18.546	23.403
Lt 3	25.101	25.101	25.101	25.101	38.346	36.909	36.011	42.536
Lt 2	30.873	30.873	30.873	30.873	50.782	50.156	49.248	57.225
Lt 1	42.056	42.056	42.056	42.056	71.762	74.081	72.584	84.057

Lampiran 80 : Gaya Aksial Kolom arah Y

Tingkat	A-2				A-11			
	E1	E2	E3	RS	E1	E2	E3	RS
Atap	9.173	8.144	5.376	9.195	2.626	2.778	2.669	3.109
Lt 10	5.659	4.886	3.653	5.899	5.611	4.228	4.650	5.541
Lt 9	11.817	8.601	5.630	8.617	9.245	6.887	7.518	8.657
Lt 8	20.701	14.229	13.740	13.673	14.405	11.498	11.951	13.951
Lt 7	30.566	20.556	24.775	20.855	21.466	19.471	18.425	21.778
Lt 6	40.624	27.077	38.287	30.226	30.506	29.554	29.797	31.987
Lt 5	52.255	39.437	55.760	43.272	42.776	42.780	44.603	45.871
Lt 3	77.450	68.562	92.444	72.375	70.406	71.809	76.612	77.204
Lt 2	95.366	88.108	115.638	92.078	86.952	89.192	96.122	96.445
Lt 1	132.889	120.781	153.580	126.592	115.754	119.117	129.389	129.963

Lampiran 81 : Momen Balok X-EF8

Tingkat	E1 Tumpuan	E1 Lapangan	E2 Tumpuan	E2 Lapangan	E3 Tumpuan	E3 Lapangan	RS Tumpuan	RS Lapangan
Atap	2.435	0.333	2.417	0.306	2.865	0.381	2.625	0.361
Lt 10	3.323	0.536	3.120	0.485	3.790	0.617	3.516	0.554
Lt 9	2.539	0.565	2.340	0.514	2.843	0.642	2.613	0.572
Lt 8	2.664	0.593	2.453	0.541	2.959	0.669	2.742	0.598
Lt 7	2.699	0.605	2.460	0.544	2.979	0.678	2.776	0.607
Lt 6	2.646	0.590	2.423	0.520	2.903	0.658	2.716	0.591
Lt 5	2.492	0.554	2.291	0.496	2.716	0.613	2.560	0.556
Lt 3	2.212	0.487	2.041	0.436	2.425	0.523	2.266	0.484
Lt 2	1.788	0.422	1.665	0.379	1.967	0.435	1.821	0.411
Lt 1	1.290	0.330	1.214	0.295	1.416	0.339	1.282	0.304

Lampiran 82 : Momen Balok X-EF6

Tingkat	E1 Tumpuan	E1 Lapangan	E2 Tumpuan	E2 Lapangan	E3 Tumpuan	E3 Lapangan	RS Tumpuan	RS Lapangan
Atap	5.488	0.545	6.171	0.694	7.127	0.697	6.412	0.675
Lt 10	5.550	1.099	6.443	1.235	6.856	1.373	6.546	1.268
Lt 9	4.155	1.255	4.831	1.433	5.220	1.575	4.854	1.448
Lt 8	4.107	1.285	4.773	1.469	5.164	1.631	4.806	1.486
Lt 7	4.064	1.321	4.690	1.517	5.144	1.686	4.758	1.542
Lt 6	3.857	1.252	4.408	1.424	4.842	1.583	4.515	1.461
Lt 5	3.642	1.197	4.022	1.306	4.445	1.461	4.204	1.370
Lt 3	3.298	1.001	3.594	1.055	3.870	1.160	3.757	1.112
Lt 2	2.861	0.971	3.027	1.013	3.093	1.038	3.081	1.032
Lt 1	2.062	0.690	2.166	0.711	2.160	0.706	2.098	0.675

Lampiran 83 : Momen Balok Y-811F

Tingkat	E1 Tumpuan	E1 Lapangan	E2 Tumpuan	E2 Lapangan	E3 Tumpuan	E3 Lapangan	RS Tumpuan	RS Lapangan
Atap	3.352	0.343	3.977	0.409	4.584	0.472	4.199	0.431
Lt 10	3.421	0.372	4.209	0.462	4.683	0.511	4.304	0.469
Lt 9	3.103	0.312	4.014	0.403	4.265	0.429	3.936	0.396
Lt 8	3.107	0.317	4.068	0.415	4.328	0.442	3.949	0.403
Lt 7	3.138	0.320	4.024	0.410	4.405	0.449	3.957	0.403
Lt 6	3.136	0.319	3.889	0.396	4.428	0.451	3.914	0.398
Lt 5	3.041	0.308	3.633	0.368	4.308	0.437	3.752	0.380
Lt 3	2.919	0.286	3.442	0.338	4.195	0.411	3.579	0.351
Lt 2	2.469	0.238	2.801	0.270	3.580	0.345	2.958	0.285
Lt 1	1.833	0.175	2.006	0.191	2.746	0.262	2.187	0.208

Lampiran 84 : Momen Balok Y-68F

Tingkat	E1 Tumpuan	E1 Lapangan	E2 Tumpuan	E2 Lapangan	E3 Tumpuan	E3 Lapangan	RS Tumpuan	RS Lapangan
Atap	4.587	0.775	4.081	0.796	4.254	0.815	4.560	0.851
Lt 10	5.268	1.329	5.149	1.362	5.240	1.383	5.586	1.455
Lt 9	5.570	1.341	5.795	1.387	5.721	1.393	6.152	1.487
Lt 8	5.982	1.392	6.305	1.437	6.090	1.445	6.662	1.540
Lt 7	5.993	1.403	6.385	1.444	6.108	1.452	6.759	1.551
Lt 6	5.838	1.377	6.287	1.412	6.073	1.423	6.703	1.526
Lt 5	5.595	1.304	5.925	1.332	5.829	1.343	6.427	1.452
Lt 3	5.624	1.182	5.502	1.200	5.495	1.212	6.117	1.327
Lt 2	4.944	0.978	4.474	0.946	4.395	0.949	5.044	1.060
Lt 1	3.916	0.702	3.248	0.642	3.193	0.635	3.698	0.726