

TESIS

**RESPON TIMBUNAN BADAN JALAN TERHADAP
GERAKAN TANAH AKIBAT GEMPA YANG DITURUNKAN
SECARA PROBABILISTIK (*PROBABILISTIC SEISMIC
HAZARD ANALYSIS*)**

***RESPONSE OF ROAD EMBANKMENT TO EARTHQUAKE-DUE
GROUND MOTION BY PROBABILISTIC (PROBABILISTIC
SEISMIC HAZARD ANALYSIS)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Magister Teknik Sipil**



ANNISA DZUNNURAIN

NIM : 22914039

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

2025

HALAMAN PERSETUJUAN

TESIS

**RESPON TIMBUNAN BADAN JALAN TERHADAP
GERAKAN TANAH AKIBAT GEMPA YANG DITURUNKAN
SECARA PROBABILISTIK (*PROBABILISTIC SEISMIC***

***HAZARD ANALYSIS*)**

***RESPONSE OF ROAD EMBANKMENT TO EARTHQUAKE-DUE
GROUND MOTION BY PROBABILISTIC (PROBABILISTIC
SEISMIC HAZARD ANALYSIS)***



Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T.

Dosen Pembimbing I

Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing II

Tanggal :

Tanggal : 04 Sept 2025

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

**RESPON TIMBUNAN BADAN JALAN TERHADAP
GERAKAN TANAH AKIBAT GEMPA YANG DITURUNKAN
SECARA PROBABILISTIK (*PROBABILISTIC SEISMIC
HAZARD ANALYSIS*)**

***RESPONSE OF ROAD EMBANKMENT TO EARTHQUAKE-DUE
GROUND MOTION BY PROBABILISTIC (PROBABILISTIC
SEISMIC HAZARD ANALYSIS)***

disusun oleh:

ANNISA DZUNNURAIN

22914039

Telah diuji di depan Dewan Penguji
pada tanggal 23 Juli 2025

dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Penguji

Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T.

Dr. Hanindya KusumaArtati, S.T., M.T.

Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA.

Yogyakarta, 12 SEP 2025

Universitas Islam Indonesia

Program Studi Teknik Sipil, Program Magister

Ketua Program,



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

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (magister), baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali 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 sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 31 Juli 2025

Yang membuat pernyataan



Annisa Dzunnurain

NIM: 22914039

LEMBAR DEDIKASI

Tesis ini kupersembahkan untuk anakku Ahmad Faqih Althafunizam, alasan terindah bagiku untuk terus berjuang dan tidak menyerah.

Untuk suamiku tercinta Ahmad Faisal, sahabat sekaligus penopang yang selalu memberikan semangat, cinta, dan kesabaran di setiap langkah.

Dan untuk orang tuaku, Bapak Yudi dan Mama Riwiyati, serta mertua tersayang, Bapak Badri Lestari dan Ibu Mardiyati, terima kasih atas doa, kasih sayang, dan dukungan sehingga karya ini dapat terselesaikan

Untuk adikku tersayang Shafiya Nurkhalisa dan Yusuf Widiantera, terima kasih telah menjadi sumber semangat dan inspirasi. Semoga karya ini juga dapat menjadi penyemangat bagi langkah-langkahmu meraih cita-cita.

Annisa Dzunnurain

BEBAS PLAGIASI



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.uui.ac.id

SURAT KETERANGAN HASIL CEK PLAGIASI

Nomor: 2734764627/Perpus./10/Dir.Perpus/VII/2025

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Assalamualaikum Wr. Wb.

Dengan ini, menerangkan Bahwa:

Nama : Annisa Dzunnurain
Nomor Mahasiswa : 22914039
Pembimbing : Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T.; Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T.
Fakultas / Prodi : Teknik Sipil dan Perencanaan/ Magister Teknik Sipil
Judul Karya Ilmiah : RESPON TIMBUNAN BADAN JALAN TERHADAP GERAKAN TANAH AKIBAT GEMPA YANG DITURUNKAN SECARA PROBABILISTIK (PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS)

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, 8/25/2025

Direktur



Muhammad Jamil, SIP.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil ‘alamin, segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis ini yang berjudul “Respon Timbunan Badan Jalan Terhadap Gerakan Tanah Akibat Gempa yang Diturunkan Secara Probabilistik (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*)”

Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan tesis ini, penulis mendapatkan banyak bimbingan, arahan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Lalu Makrup, M.T. selaku dosen pembimbing utama, yang telah memberikan bimbingan, masukan, serta motivasi yang sangat berarti selama proses penyusunan tesis ini.
2. Ibu Dr. Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pendamping, atas segala saran, arahan, serta perhatian yang diberikan dalam penyempurnaan penelitian ini.
3. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA. selaku dosen penguji atas segala masukan, saran, dan kritik yang sangat berharga dalam penyempurnaan tesis ini.
4. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Seluruh dosen dan staf Program Studi Magister Teknik Sipil UII atas ilmu dan pengalaman berharga yang telah diberikan selama masa studi.

6. Orang tua dan suami tercinta atas segala doa, dukungan moral, dan semangat yang tidak pernah putus selama penulis menempuh pendidikan.
7. Rekan-rekan seperjuangan di Program Magister Teknik Sipil UII yang telah memberikan semangat dan kerja sama yang luar biasa selama masa studi dan penelitian.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, khususnya dalam bidang teknik sipil.

Yogyakarta, Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN	iii
LEMBAR DEDIKASI	iv
BEBAS PLAGIASI	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xix
ABSTRAK	xxi
<i>ABSTRACT</i>	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Batasan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Tinjauan Umum	10
2.2 Analisis Probabilitas Bahaya Gempa	10
2.3 Analisis Deterministik Bahaya Gempa	11
2.4 Timbunan Tanah Badan Jalan	12

2.5	Keaslian Penelitian	12
2.6	Perbedaan Penelitian Saat Ini	15
BAB III	LANDASAN TEORI	16
3.1	Gelombang Gempa	16
3.2	<i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)</i>	17
3.3	Pemodelan Sumber Gempa	21
	3.3.1 Sumber Gempa Subduksi	22
	3.3.2 Sumber Gempa Patahan (<i>Shallow Crustal</i>)	22
	3.3.3 Sumber Gempa <i>Background</i>	22
3.4	Persamaan Prediksi Gerakan Tanah	23
	3.4.1 Fungsi Atenuasi untuk <i>Fault (Shallow Crustal Event)</i>	24
	3.4.2 Fungsi Atenuasi untuk Zona Subduksi	33
3.5	Respon Spektra <i>Hazard</i> Seragam	38
3.6	Deagregasi <i>Hazard</i> Gempa	39
3.7	<i>Spectral Matching</i>	40
	3.7.1 <i>Spectral Matching</i> dalam Domain Waktu	41
	3.7.2 <i>Spectral Matching</i> dalam Domain Frekuensi	42
3.8	<i>Time history Actual</i>	44
3.9	Respon Spektra Target	44
3.10	Perambatan Gelombang	45
3.11	Program DEEPSOIL	46
3.12	Program Plaxis	47
BAB IV	METODE PENELITIAN	49
4.1	Tinjauan Umum	49
4.2	Lokasi Penelitian	49
4.3	Data Penelitian	49

4.4	Tahapan Penelitian	50
	4.4.1 Tahap Persiapan	50
	4.4.2 Tahap Pengumpulan Data	50
	4.4.3 Tahap Analisis Data	50
	4.4.4 Tahap Pembahasan	50
4.5	Tahapan Pemrograman DEEPSOIL	51
4.6	Tahapan Pemrograman <i>Plaxis 2D V20</i>	51
	4.6.1 <i>Plaxis Input</i>	51
	4.6.2 <i>Plaxis Calculation</i>	51
	4.6.3 <i>Plaxis Output</i>	51
4.7	Bagan Alir Penelitian	51
4.8	Bagan Alir Analisis Pemrograman DEEPSOIL	53
4.9	Bagan Alir Analisis Pemrograman Plaxis	54
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN <i>PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS</i>	55
5.1	Data Gempa	55
	5.1.1 Data Sumber Gempa	55
	5.1.2 Konversi Skala Magnitude Gempa (Mw)	56
	5.1.3 Pemisahan Gempa Utama dan Gempa Ikutan	57
	5.1.4 Kelengkapan Data Gempa Mc (<i>Magnitude Completeness</i>)	59
5.2	Identifikasi dan Pemodelan Sumber Gempa	64
5.3	Karakteristik Sumber Gempa	71
	5.3.1 Nilai-a dan Nilai-b pada Sumber Gempa	71
	5.3.2 Magnitude Maksimum dan <i>Slip-rate</i> Sumber Gempa	79
5.4	Mekanisme Sumber Gempa <i>Shallow Crustal</i>	81
5.5	Parameter Pemodelan 3D	83

5.6	Persamaan Prediksi Gerakan Tanah	84
5.7	<i>Logic tree</i>	85
5.8	Hasil <i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis</i> (PSHA)	87
5.9	Perbandingan dengan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2022	90
5.10	Deagregasi <i>Hazard</i> Gempa	92
5.11	Respon Spektra Target Hasil Analisis	93
5.12	Analisis Spektral <i>Matching</i>	94
BAB VI	HASIL DAN PEMBAHASAN TIMBUNAN TANAH	99
6.1	Data Tanah Timbunan	99
	6.1.1 Titik Koordinat Penelitian	99
	6.1.2 Dimensi Timbunan	99
	6.1.3 Data Parameter Tanah	100
6.2	Analisis Non-linier Ekuivalen Satu Dimensi	104
6.3	Analisis Plaxis	106
6.4	Pembahasan	110
BAB VII	KESIMPULAN DAN SARAN	113
7.1	Kesimpulan	113
7.2	Saran	114
	DAFTAR PUSTAKA	115
	LAMPIRAN	123

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	13
Tabel 2.2	Perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian saat ini	15
Tabel 3.1	Koefisien fungsi atenuasi Sadigh (1997) $M \leq 6.5$	26
Tabel 3.2	Koefisien fungsi atenuasi Sadigh (1997) $M \geq 6.5$	26
Tabel 3.3	Tabel koefisien Persamaan Boore-Atkinson (2006) NGA	29
Tabel 3.4	Koefisien fungsi atenuasi Youngs (1997) untuk menentukan <i>pseudo acceleration response spectra</i> dengan 5% damping (<i>rock site</i>)	35
Tabel 3.5	Koefisien Persamaan atenuasi Atkinsone – Boore (2003)	37
Tabel 5.1	Korelasi Konversi Antara Beberapa Skala Magnitude untuk wilayah Indonesia	56
Tabel 5.2	Zona Sumber Gempa Subduksi	66
Tabel 5.3	Zona Sumber Gempa <i>Fault</i>	66
Tabel 5.4	Sudut penunjaman zona subduksi Selat Sunda dan Jawa	71
Tabel 5.5	Nilai a dan b pada Sumber Gempa Subduksi	75
Tabel 5.6	Nilai a dan b pada Sumber Gempa <i>Fault</i>	76
Tabel 5.7	Perhitungan Laju Magnitude Pertahun atau Rate (v)	78
Tabel 5.8	<i>Slip-Rate</i> dan Magnitude Maksimum pada Sumber Gempa Subduksi Jawa	80
Tabel 5.9	<i>Slip-Rate</i> dan Magnitude Maksimum pada Sumber Gempa <i>Fault</i> Jawa	80
Tabel 5.10	<i>Source Mechanism</i> pada Sumber Gempa <i>Fault</i>	82
Tabel 5.11	Parameter Pemodelan 3D pada Sumber Gempa <i>Fault</i>	83
Tabel 5.12	Hasil Perhitungan Analisis PSHA	88
Tabel 5.13	Data Respon Spektra <i>Hazard</i> Seragam (UHS)	89

Tabel 5.14	Data <i>Time history</i>	95
Tabel 6.1	Klasifikasi Situs (AASHTO,2012)	100
Tabel 6.2	Korelasi empiris antara vs dengan nilai N-SPT	101
Tabel 6.3	Perhitungan Korelasi Empiris antara vs dengan nilai N-SPT	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Time history</i> hasil pengukuran gempa	5
Gambar 1.2	Lokasi Penelitian	8
Gambar 3.1	Contoh sumber gempa	18
Gambar 3.2	Hubungan jumlah kejadian kumulatif dan magnitude gempa	18
Gambar 3.3	Fungsi kerapatan distribusi magnitude	19
Gambar 3.4	Pengaruh geometri dari sumber gempa	19
Gambar 3.5	Hubungan GMPE dengan PGA	20
Gambar 3.6	Kurva <i>seismic hazard</i>	21
Gambar 3.7	Atenuasi Sadigh (1997) dalam bentuk kurva	27
Gambar 3.8	Atenuasi Boore-Atkinson (2006) NGA dalam bentuk kurva.	31
Gambar 3.9	Atenuasi Youngs (1997) dalam bentuk kurva	34
Gambar 3.10	Atenuasi Atkinson-Boore (2003) dalam bentuk kurva	36
Gambar 3.11	Bentuk kurva <i>seismic hazard</i> (SHC)	38
Gambar 3.12	Aplikasi model Poisson pada SHC	39
Gambar 3.13	Bentuk dari spektra <i>hazard</i> seragam (UHS)	39
Gambar 3.14	Alternatif pemilihan respon spektra desain	40
Gambar 4.1	Lokasi Penelitian	49
Gambar 4.2	Contoh timbunan tanah	50
Gambar 4.3	Bagan alir penelitian	52
Gambar 4.4	Bagan alir analisis pemrograman DEEPSOIL	53
Gambar 4.5	Bagan alir analisis pemrograman Plaxis	54
Gambar 5.1	Sebaran Data Gempa Radius 500 km	55
Gambar 5.2	Distribusi Episenter Gempa Bumi untuk Wilayah Tol Jogja Bawen dan sekitarnya dari Tahun 1973 – 2023	57
Gambar 5.3	Histogram dan Hasil dari <i>declustering</i> sebaran magnitude gempa wilayah Tol Jogja Bawen semua klaster	58

Gambar 5.4	Hasil analisis pemisahan gempa utama (<i>independent</i>) terhadap gempa <i>foreshock</i> dan <i>aftershock</i> (dependen) menggunakan metode Gardner dan Knopoff (1974)	59
Gambar 5.5	Kelengkapan Data Gempa di Wilayah Tol Jogja Bawen	60
Gambar 5.6	Analisis Kelengkapan Data Gempa <i>Megathrust</i> Selat Sunda	61
Gambar 5.7	Analisis Kelengkapan Data Gempa Benioff Selat Sunda	61
Gambar 5.8	Analisis Kelengkapan Data Gempa <i>Megathrust</i> Jawa 1	62
Gambar 5.9	Analisis Kelengkapan Data Gempa Benioff Jawa 1	62
Gambar 5.10	Analisis Kelengkapan Data Gempa <i>Megathrust</i> 2	63
Gambar 5.11	Analisis Kelengkapan Data Gempa Benioff 2	63
Gambar 5.12	Analisis Kelengkapan Data Gempa <i>Megathrust</i> Jawa 3	64
Gambar 5.13	Analisis Kelengkapan Data Gempa Benioff Jawa 3	64
Gambar 5.14	Pemodelan Sumber Gempa	65
Gambar 5.15	Letak potongan melintang untuk menentukan sudut penunjaman zona subduksi Jawa.	68
Gambar 5.16	Sudut penunjaman untuk zona <i>megathrust</i> dan benioff di zona subduksi Selat Sunda.	69
Gambar 5.17	Sudut penunjaman untuk zona <i>megathrust</i> dan benioff di zona subduksi Jawa 1.	69
Gambar 5.18	Sudut penunjaman untuk zona <i>megathrust</i> dan benioff di zona subduksi Jawa 2.	70
Gambar 5.19	Sudut penunjaman untuk zona <i>megathrust</i> dan benioff di zona subduksi Jawa 3.	70
Gambar 5.20	Nilai-a dan Nilai-b <i>Megathrust</i> Selat Sunda	71
Gambar 5.21	Nilai-a dan Nilai-b <i>Megathrust</i> Jawa 1	72
Gambar 5.22	Nilai-a dan Nilai-b <i>Megathrust</i> Jawa 2	72
Gambar 5.23	Nilai-a dan Nilai-b <i>Megathrust</i> Jawa 3	73
Gambar 5.24	Nilai-a dan Nilai-b Benioff Selat Sunda	73
Gambar 5.25	Nilai-a dan Nilai-b Benioff Jawa 1	74
Gambar 5.26	Nilai-a dan Nilai-b Benioff Jawa 2	74
Gambar 5.27	Nilai-a dan Nilai-b Benioff Jawa 3	75

Gambar 5.28	Pemodelan <i>Logic tree</i> untuk Sumber Gempa Subduksi (<i>Megathrust</i> dan <i>Benioff</i>)	85
Gambar 5.29	Model <i>Logic tree</i> untuk Sumber Gempa <i>Fault</i>	86
Gambar 5.30	<i>Input</i> Parameter di SRModel	86
Gambar 5.31	Hasil SR Model	87
Gambar 5.32	Hasil Respon Spektra <i>Hazard</i> Seragam (UHS) Probabilitas Terlampau 2 % dan 2/3 dari 2% Dalam 50 Tahun	89
Gambar 5.33	Hasil Respon Spektra <i>Hazard</i> Seragam (UHS) Probabilitas Terlampau 2 % Dalam 50 Tahun	90
Gambar 5.34	Peta Gempa Percepatan Puncak di Batuan Dasar (S_B)	91
Gambar 5.35	Peta Spektrum Respon Percepatan 0.2 Detik Di Batuan Dasar	91
Gambar 5.36	Peta Spektrum Respon Percepatan 3 Detik Di Batuan Dasar	92
Gambar 5.37	Deagregasi <i>Hazard</i> Gempa	93
Gambar 5.38	Tampilan dari Peer Ground Motion Database	94
Gambar 5.39	Rekaman Gempa Morgan Hill, USA (1984)	95
Gambar 5.40	Respon Spektra Target Titik Penelitian	96
Gambar 5.41	<i>Matching</i> sebuah <i>Ground Motion</i> yang mendekati M dan R	96
Gambar 5.42	<i>Time history</i> Hasil <i>Matching</i> Software SeismoMatch	97
Gambar 5.43	Grafik Respon Spektra Hasil <i>Matching</i> , Respon Spektra Original, dan Respon Spektra Target	97
Gambar 5.44	Time History Morgan Hill, USA, USA (1984) dan Hasil <i>Matching</i>	98
Gambar 6.1	Lokasi Penelitian	99
Gambar 6.2	Potongan Melintang Timbunan Tanah Badan Jalan dan Parameter Tanah	100
Gambar 6.3	Hasil Pengujian Bor-Log SPT	102
Gambar 6.4	Parameter Tanah	104
Gambar 6.5	Perbandingan Respon Spektra <i>Matching</i> pada Batuan Dasar dengan Respon Spektra Permukaan	105
Gambar 6.6	Perbandingan <i>Time History</i> Hasil <i>Matching</i> pada Batuan Dasar dengan <i>Time History</i> Permukaan	105

Gambar 6.7	<i>Input Time history</i>	107
Gambar 6.8	Hasil Perhitungan <i>Displacement</i> Tanah Asli akibat Timbunan	107
Gambar 6.9	Hasil Perhitungan <i>Displacement</i> Timbunan Tanah Akibat Beban Kendaraan	108
Gambar 6.10	Hasil Perhitungan <i>Displacement</i> Timbunan Tanah Akibat Beban Dinamik dan Beban Kendaraan	109
Gambar 6.11	Hasil Perhitungan <i>Displacement</i> Timbunan Tanah	109
Gambar 6.12	Hasil Perhitungan <i>Safety Factor</i> Timbunan Tanah	110

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa	L-1
Lampiran 2 Hasil Aplikasi SeismoMatch	L-60
Lampiran 3 Gambar Potongan Jalan STA 30+750	L-62
Lampiran 4 Hasil DeepSoil	L-63

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

M	= Magnitudo gempa
R	= Jarak gempa ke lokasi (km)
$a(t)$	= Percepatan gempa sebagai fungsi waktu
a_{max}	= Nilai percepatan maksimum
PGA	= <i>Peak Ground Acceleration</i> (percepatan puncak gempa)
T	= Periode getar struktur (detik)
S_a	= Spektra percepatan (g)
G	= Modulus geser tanah saat kondisi kerja
G_{max}	= Modulus geser maksimum
ξ	= Rasio redaman
λ	= Laju kejadian gempa
P	= Probabilitas percepatan
$N(M)$	= Jumlah kejadian gempa dengan magnitudo $\geq M$
$P(X > x)$	= Probabilitas bahwa percepatan X melebihi nilai x
a,b	= Parameter persamaan Gutenberg-Richter (statistik frekuensi magnitudo)
PSHA	= <i>Probabilistic Seismic Hazard Analysis</i>
GMPE	= <i>Ground Motion Prediction Equation</i>
DEEPSOIL	= Software analisis propagasi gelombang vertikal
UHS	= <i>Uniform Hazard Spectrum</i>
BMKG	= Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
USGS	= <i>United States Geological Survey</i>
STA	= Station (penanda titik jalan)

SNI	= Standar Nasional Indonesia
FEM	= <i>Finite Element Method</i>
Vs	= Kecepatan gelombang geser
Vs30	= Nilai rata-rata Vs hingga kedalaman 30 meter
Mw	= <i>Moment Magnitude</i>
Ms	= <i>Surface wave magnitude</i>
ML	= <i>Local magnitude</i>
Mc	= <i>Magnitude Completeness</i>
1D	= Satu dimensi
2D	= Dua dimensi
PusGen	= Pusat Studi Gempa Nasional
V20	= versi 20
V17	= versi 17
SRModel	= <i>Seismic Risk Model</i>
UHS	= <i>Uniform Hazard Spectra</i>
NGA	= <i>Next Generation Attenuation</i>
SHC	= <i>Seismic Hazard Curve</i>
AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>

ABSTRAK

Indonesia merupakan wilayah dengan tingkat aktivitas seismik tinggi karena berada di pertemuan tiga lempeng tektonik utama. Getaran gempa dapat menyebabkan kerusakan serius pada infrastruktur jalan, khususnya timbunan badan jalan yang rentan mengalami deformasi dan keruntuhan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respon timbunan badan jalan terhadap gempa yang dimodelkan secara probabilistik. Penelitian dilakukan di lokasi pembangunan Jalan Tol Jogja–Bawen, STA 70+375, dengan memanfaatkan data katalog gempa dari BMKG dan USGS periode 1973–2023. Analisis bahaya gempa dilakukan menggunakan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) untuk memperoleh spektra target pada probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun. Selanjutnya, *spectral matching* dilakukan untuk menghasilkan *time history* gempa di batuan dasar, yang kemudian dirambatkan ke permukaan menggunakan program DEEPSOIL. Respon timbunan badan jalan dianalisis dengan perangkat lunak Plaxis 2D berdasarkan *time history* di permukaan. Hasil penelitian menunjukkan besarnya perpindahan dan deformasi timbunan yang signifikan akibat gempa, sehingga penting memperhitungkan aspek seismik dalam desain jalan. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi perencanaan infrastruktur jalan yang lebih tangguh terhadap gempa dan sebagai masukan bagi strategi mitigasi risiko bencana.

Kata Kunci: *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA), *Time History* Gempa, *Spectral Matching*, Timbunan Badan Jalan, Respon Dinamik Tanah

ABSTRACT

Indonesia is in a highly seismically active region due to the convergence of three major tectonic plates. Earthquake vibrations can cause serious damage to road infrastructure, particularly to embankments which are prone to deformation and failure. This study aims to analyze the response of road embankments to earthquakes modeled probabilistically. The research was conducted at the Jogja–Bawen Toll Road construction site, STA 70+375, utilizing earthquake catalog data from BMKG and USGS for the period 1973–2023. Seismic hazard analysis was carried out using the Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) method to obtain the target response spectrum at a 2% probability of exceedance in 50 years. Subsequently, spectral matching was performed to generate earthquake time history at the bedrock, which was then propagated to the ground surface using the DEEPSOIL program. The response of the road embankment was analyzed with Plaxis 2D software based on the surface time history. The results indicate significant displacement and deformation of the embankment due to seismic excitation, emphasizing the importance of incorporating seismic aspects in road design. These findings are expected to serve as a reference for planning more earthquake-resilient road infrastructure and as input for disaster risk mitigation strategies.

Keywords: *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), Spectral Matching, Time History, Road Embankment, Dynamic Soil Response*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia terletak di Cincin Api Pasifik, yang merupakan zona tektonik paling aktif di dunia, sehingga negara ini sangat rawan terhadap gempa bumi. Aktivitas seismik di Indonesia disebabkan oleh pertemuan tiga lempeng tektonik utama: Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Pertemuan dan pergerakan lempeng-lempeng ini sering menyebabkan gempa bumi, yang dapat berkisar dari yang kecil dan nyaris tidak terasa hingga yang besar dan merusak. Selain itu, Indonesia memiliki banyak gunung berapi aktif yang juga dapat memicu gempa bumi vulkanik. Kerawanan gempa bumi di Indonesia menuntut kesiapsiagaan dan mitigasi risiko yang terus-menerus dari pemerintah dan masyarakat untuk mengurangi dampak bencana tersebut terhadap kehidupan dan infrastruktur.

Pulau Jawa, sebagai salah satu pulau terpadat di Indonesia, juga tidak luput dari ancaman gempa bumi. Terletak di sepanjang batas pertemuan antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia, Pulau Jawa sering mengalami aktivitas seismik yang signifikan. Beberapa daerah di Jawa, seperti Yogyakarta dan wilayah pesisir selatan, memiliki sejarah gempa bumi besar yang telah menyebabkan kerusakan parah dan korban jiwa. Aktivitas vulkanik dari gunung-gunung berapi seperti Gunung Merapi juga dapat memicu gempa bumi vulkanik. Mengingat tingginya populasi dan padatnya infrastruktur di Pulau Jawa, dampak gempa bumi dapat sangat merusak dan menyebabkan kerugian besar. Oleh karena itu, penting bagi pemerintah daerah dan masyarakat untuk selalu siap siaga dengan memperkuat bangunan, meningkatkan sistem peringatan dini, dan melakukan latihan evakuasi secara berkala untuk meminimalkan risiko bencana.

Pulau Jawa dikenal dengan mobilitas penduduk yang tinggi, didukung oleh infrastruktur transportasi yang terus berkembang, salah satunya adalah Jalan Tol Trans-Jawa. Jalan tol ini menghubungkan kota-kota besar di sepanjang pulau, mulai dari Merak di ujung barat hingga Banyuwangi di ujung timur. Dengan panjang lebih dari 1.000 kilometer, Tol Trans-Jawa mempermudah pergerakan orang dan barang, meningkatkan efisiensi waktu perjalanan, dan mempercepat distribusi logistik. Hal ini berdampak positif pada perekonomian Jawa, memfasilitasi perdagangan antar daerah, serta mendukung sektor pariwisata dengan akses yang lebih mudah ke berbagai destinasi wisata. Mobilitas tinggi ini juga membantu mengurangi kemacetan di jalan-jalan utama non-tol, meskipun tantangan seperti pemeliharaan infrastruktur dan manajemen lalu lintas tetap perlu diperhatikan. Selain itu, adanya tol ini mempermudah penanganan bencana alam seperti gempa bumi, karena akses yang lebih cepat memungkinkan evakuasi dan distribusi bantuan menjadi lebih efisien.

Pembangunan jalan tol Jogja-Bawen merupakan salah satu proyek infrastruktur penting yang bertujuan untuk meningkatkan konektivitas antara Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah. Tol ini direncanakan memiliki panjang sekitar 71 kilometer, menghubungkan Kota Yogyakarta dengan Kota Bawen yang berada di jalur utama menuju Semarang. Proyek ini diharapkan dapat mengurangi kemacetan lalu lintas di jalur nasional yang menghubungkan kedua kota tersebut, mempercepat waktu tempuh, dan mendorong pertumbuhan ekonomi regional. Selain itu, pembangunan tol Jogja-Bawen juga akan membuka akses yang lebih mudah ke berbagai destinasi wisata populer di sekitar Yogyakarta dan Jawa Tengah, seperti Candi Borobudur dan kawasan wisata Dieng. Peningkatan konektivitas ini tidak hanya akan mendukung sektor pariwisata tetapi juga akan memberikan dampak positif pada sektor perdagangan dan industri, dengan memperlancar distribusi barang dan jasa.

Gempa bumi memiliki dampak signifikan terhadap konstruksi jalan, terutama di daerah rawan gempa seperti Indonesia. Ketika gempa terjadi, getaran tanah dapat menyebabkan retakan, deformasi, atau bahkan keruntuhan pada struktur jalan,

termasuk jalan tol. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan pembangunan jalan, khususnya jalan tol, aspek tahan gempa menjadi salah satu pertimbangan utama. Teknik rekayasa seperti penggunaan material yang lebih fleksibel, desain fondasi yang mampu menahan getaran, dan pemasangan sistem penahan gempa, sangat penting untuk meningkatkan ketahanan jalan terhadap gempa. Selain itu, survei geologis dan pemetaan risiko gempa dilakukan secara menyeluruh untuk menentukan lokasi yang paling aman dan menentukan metode konstruksi yang tepat. Pembangunan jalan tol Jogja-Bawen, misalnya, harus mempertimbangkan potensi gempa di sepanjang jalurnya, sehingga dapat memastikan keamanan dan ketahanan infrastruktur tersebut. Implementasi teknologi canggih dan standar konstruksi yang ketat sangat diperlukan untuk mengurangi risiko kerusakan dan menjaga keselamatan pengguna jalan saat gempa terjadi.

Konstruksi infrastruktur jalan raya merupakan komponen vital dalam sistem transportasi. Salah satu komponen utama dari konstruksi jalan raya adalah timbunan tanah badan jalan yang harus dirancang untuk menahan berbagai beban, termasuk beban dinamis akibat gempa bumi. Perancangan struktur timbunan tanah yang mampu menahan gempa sangatlah penting. Gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan serius pada infrastruktur jalan, terutama pada timbunan tanah badan jalan yang bisa mengalami penurunan, deformasi, atau bahkan keruntuhan. Oleh karena itu, memahami respon timbunan tanah terhadap gempa sangat penting dalam rangka meningkatkan ketahanan infrastruktur terhadap bencana.

Usaha-usaha yang bisa dilakukan untuk mengurangi resiko akibat bencana gempa salah satunya adalah dengan merencanakan dan membangun bangunan yang tahan gempa (Irsyam dkk., 2010). Konsep perencanaan bangunan harus memperhitungkan tingkat bahaya gempa secara kuantitatif dengan mempertimbangkan aspek-aspek terkait seperti aspek seismologi, aspek geologi, aspek geoteknik serta aspek struktur (Mabesworo, 2008). Para ahli gempa terus berupaya untuk mengembangkan metode baru untuk meminimalisir kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa, salah satunya dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analisis* (PSHA). PSHA merupakan metode yang saat ini paling populer

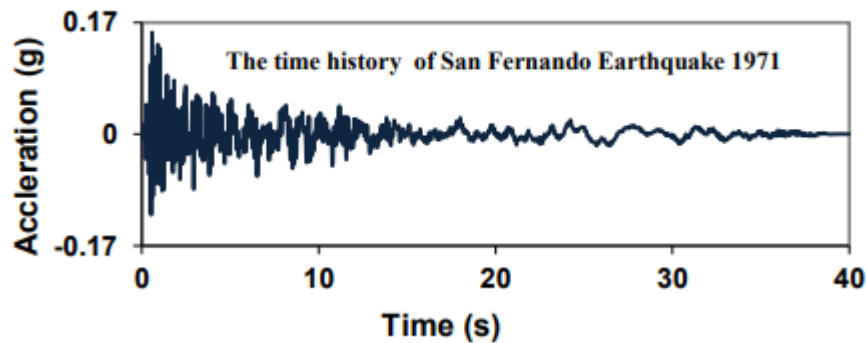
diaplikasikan dalam analisis *hazard* kegempaan. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Cornell (1968) dan terus mengalami perkembangan hingga populer seperti sekarang. Keunggulan metode PSHA antara lain memberikan kemungkinan untuk memperhitungkan pengaruh faktor-faktor ketidakpastian dalam analisis seperti halnya ketidakpastian ukuran, lokasi dan frekuensi kejadian gempa. Dalam metode PSHA faktor-faktor ketidakpastian dapat diidentifikasi dan diperkirakan untuk selanjutnya digabungkan dengan metode pendekatan yang rasional untuk mendapatkan Gambaran yang lebih lengkap tentang kejadian gempa. Keunggulan lain dari PSHA adalah mampu mengintegrasikan *hazard* dari suatu lokasi terhadap berbagai sumber gempa (Fauzi, 2011).

Metode PSHA memiliki banyak keunggulan, namun dilain sisi, metode ini juga memiliki beberapa kelemahan diantaranya kurang lengkap memberi informasi tentang magnitude (M) dan jarak (R) yang dominan dan tunggal dalam desain gempa serta belum mampu menyediakan ground motion untuk analisis gempa. Hal ini dikarenakan PSHA akan menghitung *hazard* gempa berdasarkan kumpulan hasil dari semua kejadian gempa dan gerak tanah yang mungkin terjadi di masa datang. Untuk itulah hasil dari PSHA perlu untuk dilakukan deagregasi guna mendapatkan magnitude dan jarak yang memberikan kontribusi terhadap *hazard* gempa pada suatu periode ulang tertentu dan periode struktur yang ditinjau (Sunardi, 2017).

Goncangan gempa adalah beban dinamis yang dapat menyebabkan bangunan runtuh jika kekuatan gempa cukup besar. Getaran gempa ini dapat direkam dan diukur. Rekaman gerakan tanah akibat gempa biasanya berbentuk gelombang percepatan gerakan tanah. Getaran gempa dapat dikembangkan menjadi gelombang getaran yang menyerupai rekaman gelombang percepatan gerakan tanah yang dapat diukur, yang dikenal sebagai *time history* gelombang percepatan gempa.

Time history gelombang percepatan gempa, atau yang selanjutnya disebut sebagai *time history* saja, adalah gelombang percepatan gempa yang dapat digunakan sebagai dasar dalam desain bangunan teknik sipil tahan gempa. *Time history* pada suatu titik dapat ditentukan berdasarkan *time history actual* yang

didapat dari hasil pengukuran serta jenis tanah atau lapisan tanah yang ada pada titik tersebut. Bentuk umum hasil pengukuran percepatan tanah gempa (*time history*) adalah berupa hubungan antara percepatan gerakan tanah gempa dengan waktu. Contoh hasil rekaman *time history* gempa dapat dilihat di dalam Gambar 1.1



Gambar 1.1 *Time history* hasil pengukuran gempa

Time history hasil pengukuran umumnya tidak dapat digunakan sebagai dasar untuk desain bangunan tahan gempa, karena lokasi pengukuran data tersebut tidak sesuai dengan lokasi bangunan yang akan dibangun. Selain itu, getaran gempa yang diukur biasanya tidak cukup kuat untuk dijadikan dasar dalam perhitungan desain bangunan tahan gempa. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengembangan *time history* baru yang sesuai dengan lokasi dan kebutuhan getaran bangunan yang akan didirikan. Hasil pengembangan ini disebut sebagai *time history* desain. Pengukuran percepatan *time history* dapat dikonversi menjadi gaya berdasarkan hukum Newton II. Metode yang dapat digunakan untuk menentukan *time history* pada suatu titik adalah metode spektral *matching*.

Hasil dari spectral *matching* merupakan bentuk *time history* yang berada di dasar batuan. Sehingga perlu perambatan gelombang agar *time history* tersebut menjadi di permukaan tanah. Program komputer/aplikasi DEEPSOIL dapat merambatkan gelombang di batuan dasar menjadi gelombang di permukaan. Untuk melihat respon timbunan badan jalan terhadap gelombang percepatan tanah diperlukan aplikasi/program komputer. Program komputer yang umum digunakan untuk analisis di bidang geoteknik adalah Plaxis.

Pengembangan *time history* desain telah banyak dilakukan oleh para ahli, baik untuk kepentingan riset maupun untuk desain bangunan tahan gempa. Gerakan tanah gempa untuk suatu titik dapat diturunkan secara deterministik maupun probabilistik. Makrup dan Jamal (2016) mengembangkan *time history* percepatan *artificial* dan respon spektra desain dengan analisis *seismic hazard probabilistic* dan spektral *matching* dalam domain waktu untuk wilayah Kabupaten Sleman. Makrup dan Muntafi (2016) mengembangkan gerakan tanah *artificial* akibat gempa untuk kota Semarang dan Solo, berdasarkan analisis *seismic hazard probabilistik* dan spektral *matching*. Suhariatmo, dkk (2021) mengembangkan *time history artificial* menggunakan metode spektral *matching* dalam domain frekuensi dengan spektra target berupa hasil dari PSHA. Makrup dan Amalina (2024) mengembangkan *time history* percepatan gempa berdasarkan prosedur spektral *matching* dalam bentuk *time history* yang diturunkan secara deterministik untuk mengetahui respon timbunan tanah

Berdasarkan latar belakang diatas, peneliti akan melakukan penelitian tentang *time history* yang diturunkan secara probabilistik untuk melihat respon timbunan tanah yang dianalisis menggunakan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*. Dalam studi ini, gelombang percepatan gempa akan dikembangkan dalam bentuk *time history* akibat gempa secara probabilistik dengan metode spektral *matching*. Hasil dari spektral *matching* tersebut di rambatkan kepermukaan agar memperoleh *time history* dipermukaan menggunakan aplikasi DEEPSOIL. *Time history* permukaan ini akan digunakan sebagai dasar dalam mengkaji respon timbunan tanah badan jalan menggunakan aplikasi Plaxis.

1.2 Rumusan Masalah

Berhubungan dengan pengembangan *time history* percepatan tanah gempa dan studi stabilitas timbunan tanah untuk badan jalan, beberapa permasalahan berikut dapat ditinjau.

1. Bagaimana memperoleh gelombang percepatan gempa di batuan dasar akibat gempa dominan di wilayah Pulau Jawa dengan menggunakan Analisis Probabilistik Seismik *Hazard* (PSHA)?
2. Bagaimana perambatan gelombang percepatan gempa maksimum satu dimensi di batuan dasar hingga gelombang percepatan gempa maksimum di permukaan menggunakan metode equivalent linear dengan program DEEPSOIL?
3. Bagaimana respon timbunan tanah badan jalan terhadap gelombang percepatan gempa maksimum di permukaan tanah dengan menggunakan software Plaxis?

1.3 Tujuan Penelitian

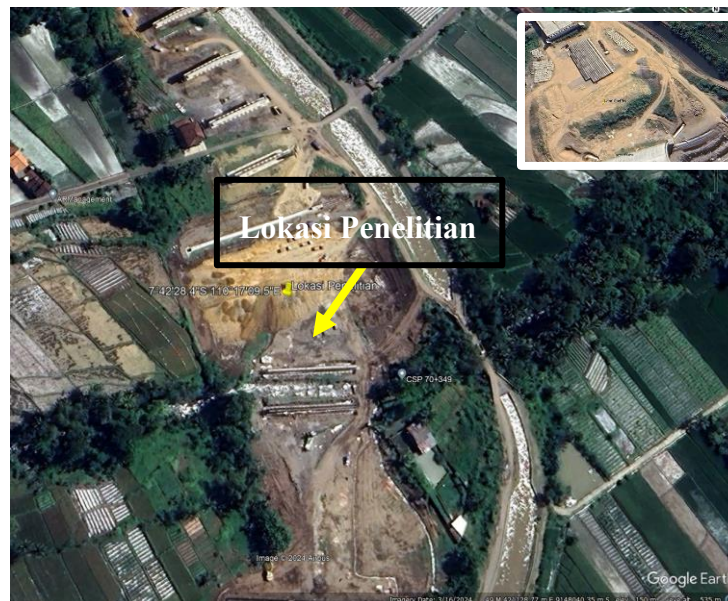
Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, sehingga tujuan penelitian dapat disusun sebagai berikut.

1. Memperoleh gelombang percepatan gempa di batuan dasar akibat gempa dominan di wilayah Jawa dengan Analisis Probabilistik Seismik *Hazard* (PSHA) menggunakan metode spektral *matching*.
2. Merambatkan gelombang percepatan gempa maksimum satu dimensi di batuan dasar hingga gelombang percepatan gempa maksimum di permukaan menggunakan metode equivalent linear dengan program DEEPSOIL.
3. Mengetahui respon timbunan berupa angka keamanan dan *displacement* tanah pada badan jalan terhadap gelombang percepatan gempa maksimum di permukaan tanah menggunakan software Plaxis.

1.4 Batasan Penelitian

Agar penelitian dapat terarah sesuai dengan tujuan penelitian, maka perlu diadakannya batasan penelitian sebagai berikut.

1. Penelitian ini dilakukan di lokasi pembangunan jalan tol Jogja – Bawen seksi 1 pada STA 70+375 dengan titik koordinat -7.707891; 110.285979 yang dapat dilihat pada Gambar 1.2 berikut.



Gambar 1.2 Lokasi Penelitian

(Sumber : Google Earth., 2024)

2. Metode analisis percepatan tanah yang digunakan adalah metode Analisis Probabilistik Seismik *Hazard* (PSHA) menggunakan program SRModel.
3. Data yang digunakan adalah data katalog gempa BMKG dan USGS dari tahun 1973 - 2023 dengan batasan magnitude ≥ 5 dan kedalaman maksimum 300 km.
4. Gempa yang digunakan adalah gempa utama (*main shock*) yang sudah melalui tahap pemisahan dari gempa ikutan (*foreshock* dan *aftershock*).
5. Sumber gempa yang dianalisis terbagi dalam sumber gempa subduksi (*megathrust* dan *benioff*) dan sumber gempa shallow crustal (*fault*).
6. Perhitungan *hazard* gempa dibatasi hanya untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang gempa 2.475 tahun), mengingat peraturan-peraturan gempa modern saat ini telah menggunakan periode ulang gempa 2.475 tahun seperti halnya pada NEHRP 1997, ASCE 7-98 dan IBC 2000 (Imran, 2010).
7. Data *input* parameter tanah timbunan sesuai lapangan.
8. Analisis spectral *matching* dengan bantuan *software* SeismoMatch.
9. Hanya menggunakan satu gempa hasil *matching* yang mendekati hasil spektra target.

10. Perambatan gelombang 1D dari batuan dasar ke permukaan menggunakan aplikasi DEEPSOIL v7.
11. Analisis timbunan tanah menggunakan aplikasi Plaxis 2D v20.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini dapat memberikan pemahaman tentang tanah timbunan badan jalan merespon gempa. Hal ini penting untuk merancang jalan yang lebih aman dan tahan gempa.
2. Dengan menggunakan pendekatan probabilistik, penelitian ini membantu dalam memperkirakan risiko gerakan tanah akibat gempa. Informasi ini dapat digunakan untuk mengembangkan strategi mitigasi yang lebih efektif dan mengurangi dampak bencana pada infrastruktur jalan.
3. Hasil penelitian ini dapat digunakan oleh insinyur sipil untuk merancang dan membangun infrastruktur jalan yang lebih tahan terhadap gempa bumi. Ini termasuk penggunaan material yang tepat dan teknik konstruksi yang dapat mengurangi risiko kerusakan.
4. Dengan memahami respon timbunan tanah terhadap gempa, dapat dihindari desain yang berlebihan atau kurang memadai, yang akhirnya dapat mengurangi biaya konstruksi dan perawatan jalan.
5. Infrastruktur jalan yang lebih tahan gempa berarti lebih sedikit risiko kerusakan dan kecelakaan selama dan setelah gempa. Ini langsung berdampak pada keselamatan publik dan kelancaran transportasi.
6. Informasi dari penelitian ini dapat digunakan untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan respon darurat terhadap bencana gempa, termasuk perencanaan evakuasi dan penyelamatan.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada ilmu pengetahuan dan rekayasa, tetapi juga memiliki dampak langsung pada kesejahteraan masyarakat dan keselamatan publik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan untuk mengembangkan *time history* percepatan gempa buatan dengan menggunakan beberapa metode pendekatan, seperti *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*, *Deterministic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*, dan *Spectral Matching*, baik dalam domain waktu maupun frekuensi, sebagai dasar perancangan struktur bangunan dan analisis geoteknik di berbagai wilayah Indonesia. Penelitian-penelitian tersebut bertujuan untuk menghasilkan *time history* yang sesuai dengan kondisi lokasi guna meningkatkan keandalan desain bangunan, termasuk gedung bertingkat dan infrastruktur jalan.

2.2 Analisis Probabilitas Bahaya Gempa

Pada penelitian ini Makrup dan Jamal (2016) yang berjudul *The Earthquake Ground Motion and Response Spektra Design for Sleman, Yogyakarta, Indonesia with Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Spektral Matching in Time Domain* mengembangkan *time history* percepatan *artificial* dan respon spektra desain dengan analisis *seismic hazard probabilistic* dan *spektral matching* dalam domain waktu untuk wilayah Kabupaten Sleman. Tujuan dari penelitian tersebut agar *time history* percepatan gempa yang di hasilkan dapat dimanfaatkan oleh Pemerintah Kabupaten Sleman sebagai dasar merancang gedung – gedung tinggi. Pencocokan spektral dalam domain waktu memberikan *time history* percepatan dengan domain frekuensi sama dengan domain frekuensi *time history artificial*. Karena spektrum target diasumsikan sesuai dengan lokasi, maka hasil *time history* juga sesuai dengan lokasi.

Pada penelitian ini Makrup dan Muntafi (2016) dengan judul *Artificial Ground Motion for the Cities of Semarang and Solo Indonesia Generated Based on Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Spektral Matching* mengembangkan gerakan tanah *artificial* akibat gempa untuk kota Semarang dan Solo, berdasarkan analisis *seismic hazard* probabilistik dan spektral *matching*. Tujuan dari penelitian tersebut yaitu agar *time history* yang dihasilkan dapat menjadi dasar untuk merancang gedung tinggi di kota tersebut. Penelitian ini melakukan spektral *matching* menggunakan domain frekuensi di lokasi yang sama dengan spektrum target. Sehingga *respon* spektra yang di hasilkan sesuai dengan *time history artificial*.

Adapun penelitian dari Suhariatmo, dkk (2021) berjudul Evaluasi Struktur Gedung Fakultas Hukum UII Berdasarkan Percepatan Gempa yang Diturunkan Secara Probabilistik, bertujuan untuk mengetahui simpangan struktur masih aman terhadap guncangan gempa desain. Pada penelitian ini mengembangkan *time history artificial* menggunakan metode spektral *matching* dalam domain frekuensi dengan spektra target berupa hasil dari PSHA.

2.3 Analisis Deterministik Bahaya Gempa

Amalina dan Makrup (2024) melakukan penelitian dengan judul Respon Timbunan Tanah Badan Jalan Terhadap Gerakan Tanah Akibat Gempa yang Diturunkan Secara Deterministik. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui respon timbunan tanah badan jalan terhadap gerakan tanah akibat gempa yang diturunkan secara deterministik. Mengembangkan *time history* percepatan gempa berdasarkan prosedur *spektral matching dalam bentuk time history*. *Respon spektra target yang digunakan dalam menurunkan time history* dihitung secara deterministik, dihitung langsung menggunakan Persamaan prediksi gerakan tanah.

Penelitian yang dilakukan oleh Artati et al (2023) dengan judul *Deterministic Seismic Hazard Analysis to Determine Liquefaction Potential Due to Earthquake* mengembangkan *time history* pada batuan dasar untuk menganalisis potensi

likuifaksi dengan metode deterministik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat potensinya likuifaksi di wilayah Palu Sulawesi Tengah. *Time history* pada batuan dasar kemudian dirambatkan ke permukaan tanah. Perambatan *time history* ke permukaan bumi dapat menyebabkan peristiwa likuifaksi pada lapisan tanah. Pada penelitian ini diketahui bahwa potensi likuifaksi terjadi di wilayah Palu, khususnya di Anutapura Gedung rumah sakit. Tidak ada hasil studi analisis potensi likuifaksi lainnya yang ditemukan di wilayah tersebut.

2.4 Timbunan Tanah Badan Jalan

Amalina dan Makrup (2024) melakukan penelitian untuk mengetahui respon timbunan tanah badan jalan terhadap gerakan tanah akibat gempa yang diturunkan secara deterministik. Penelitian tersebut dilakukan dengan mengembangkan *time history* percepatan gempa berdasarkan prosedur *spektral matching dalam bentuk time history*. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil penurunan tanah timbunan melalui *software* Plaxis.

2.5 Keaslian Penelitian

Berikut merupakan Tabel 2.1 yang berisi perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan sekarang.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

No.	Aspek	Terdahulu					Sekarang
		Makrup dan Jamal, 2016	Makrup dan Muntafi, 2016	Amalina dan Makrup, 2024	Suhariatmo, dkk, 2021	Artati, Makrup, Widodo, Paulus, 2023	Dzunnurain, 2025
1.	Judul	<i>The Earthquake Ground Motion and Response Spektra Design for Sleman, Yogyakarta, Indonesia with Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Spektral Matching in Time Domain</i>	<i>Artificial Ground Motion for the Cities of Semarang and Solo Indonesia Generated Based on Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Spektral Matching</i>	Respon Timbunan Tanah Badan Jalan Terhadap Gerakan Tanah Akibat Gempa yang Diturunkan Secara Deterministik	Evaluasi Struktur Gedung Fakultas Hukum UII Berdasarkan Percepatan Gempa yang Diturunkan Secara Probabilistik	<i>Deterministic Seismic Hazard Analysis to Determine Liquefaction Potential Due to Earthquake</i>	Respon Timbunan Badan Jalan Terhadap Pergerakan Tanah Akibat Gelombang Gempa yang Diturunkan Secara Probabilistik
2.	Tujuan	Menentukan <i>time history</i> percepatan gempa yang dapat dimanfaatkan oleh Pemerintah Kabupaten Sleman sebagai dasar merancang gedung – gedung tinggi	Membuat <i>time history</i> yang dapat dijadikan dasar Pemerintah wilayah Kota Semarang dan Solo dalam merancang gedung tinggi.	Menentukan <i>time history</i> percepatan gempa menggunakan metode deterministik	Menentukan <i>time history</i> artisial untuk menganalisis struktur.	Mengetahui potensi likuifaksi di wilayah Palu, Sulawesi Tengah dengan mengembangkan <i>time history</i> pada batuan dasar.	Mengetahui displacement timbunan tanah menggunakan percepatan gelombang gempa maksimum yang diturunkan secara probabilistik

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

No.	Aspek	Makrup dan Jamal, 2016	Makrup dan Muntafi, 2016	Amalina dan Makrup, 2024	Suhariatmo, dkk, 2021	Artati, Makrup, Widodo, Paulus, 2023	Dzunnurain, 2025
3.	Metode	Mengembangkan <i>time history</i> percepatan <i>artificial</i> dan respon spektra desain dengan analisis <i>seismic hazard</i> probabilistik dan spektral <i>matching</i> dalam domain waktu.	Mengembangkan gerakan tanah <i>artificial</i> akibat gempa untuk kota Semarang dan Solo, berdasarkan analisis <i>seismic hazard</i> probabilistik dan spektral <i>matching</i>	Mengembangkan <i>time history</i> percepatan gempa berdasarkan prosedur spektral <i>matching</i> dalam bentuk <i>time history</i> menggunakan metode deterministik	Mengembangkan <i>time history artificial</i> menggunakan metode spektral <i>matching</i> dalam domain frekuensi dengan spektra target berupa hasil dari PSHA.	Mengembangkan <i>time history</i> pada batuan dasar menggunakan metode <i>Deterministic Seismic Hazard Analysis</i> .	Mengembangkan <i>time history</i> pada batuan dasar menggunakan metode probabilistik <i>seismic hazard</i> analisis
4.	Hasil	Mengetahui <i>time history</i> percepatan gempa <i>artificial</i> dan respon spektra desain pada wilayah Kabupaten Sleman.	Mengetahui <i>time history</i> Kota Semarang dan Solo berdasarkan analisis <i>seismic hazard</i> probabilistik dan spektral <i>matching</i> .	Mengetahui respon timbunan tanah badan jalan terhadap gerakan tanah akibat gempa yang diturunkan secara deterministik.	Mengetahui simpangan struktur fakultas Hukum UII masih aman terhadap guncangan gempa desain.	Mengetahui likuifaksi terjadi di wilayah Palu, khususnya di Anutapura gedung rumah sakit. Tidak ada studi analisis potensi likuifaksi lainnya yang ditemukan di wilayah tersebut.	Mengetahui <i>displacement</i> timbunan tanah badan jalan terhadap gelombang percepatan gempa maksimum yang diturunkan secara probabilistik

2.6 Perbedaan Penelitian Saat Ini

Setelah meninjau penelitian terdahulu, dapat dilihat perbedaan dalam penelitian ini pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian saat ini

No.	Penelitian Terdahulu	Kesamaan dengan Penelitian Saat ini	Perbedaan dengan Penelitian Saat Ini
1.	Makrup dan Jamal (2016)	Menggunakan analisis <i>seismic hazard</i> probabilistik dalam mengembangkan <i>time history</i> .	Lokasi penelitian dan GMPE yang digunakan.
2.	Makrup dan Muntafi (2016)	Menggunakan analisis <i>seismic hazard probabilistik</i> dalam mengembangkan <i>time history</i> .	Lokasi penelitian dan GMPE yang digunakan.
3.	Amalina dan Makrup (2024)	Menganalisis timbunan tanah badan jalan dan menggunakan metode <i>spectral matching</i> .	Lokasi penelitian dan metode analisis data.
4.	Suhariatmo, dkk (2021)	Menggunakan analisis <i>seismic hazard</i> probabilistik dalam mengembangkan <i>time history</i> .	Lokasi penelitian dan obyek analisis.
5.	Artati, et al (2023)	Menggunakan analisis <i>seismic hazard deterministic</i> dalam mengembangkan <i>time history</i> .	Lokasi penelitian, metode analisis, dan obyek analisis.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Gelombang Gempa

Gelombang gempa atau yang disebut *time history* gelombang percepatan gempa yang dicatat atau direkam pada sebuah stasiun rekaman gempa menggunakan alat perekamnya disebut sebagai akselerograf. Gelombang gempa adalah getaran yang menyebar dari sumber gempa (hiposenter) ke seluruh permukaan bumi. Gelombang ini dihasilkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba akibat patahan atau pergerakan di dalam kerak bumi. Ada dua jenis utama gelombang gempa, yaitu gelombang badan dan gelombang permukaan.

1. Gelombang Badan (*Body Waves*)

- Gelombang Primer: Merupakan gelombang kompresional yang bergerak paling cepat dan pertama kali terdeteksi oleh seismometer. Gelombang ini bergerak melalui padatan, cairan, dan gas.
- Gelombang Sekunder: Merupakan gelombang geser yang bergerak lebih lambat dibandingkan gelombang primer dan hanya bisa melalui padatan. Gelombang sekunder menyebabkan partikel bergetar tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang.

2. Gelombang Permukaan (*Surface Waves*)

- Gelombang *Love*: Merupakan gelombang geser yang bergerak di sepanjang permukaan bumi dan menyebabkan goyangan horizontal. Gelombang ini biasanya lebih lambat daripada gelombang primer dan sekunder tetapi dapat menyebabkan kerusakan besar.
- Gelombang *Rayleigh*: Gelombang yang menyebabkan gerakan eliptis pada permukaan bumi, mirip dengan gelombang air di laut. Gelombang ini juga bergerak lebih lambat dan bisa sangat merusak.

Pemahaman tentang gelombang gempa penting dalam bidang seismologi untuk menentukan lokasi, kekuatan, dan potensi kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa bumi.

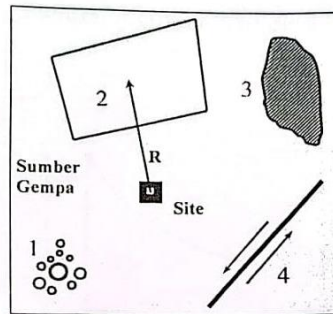
Untuk menganalisis dampak respon timbunan tanah terhadap gelombang percepatan gempa, digunakan metode *Spektral Matching*. Metode ini memerlukan satu set data *time history* percepatan gempa yang terekam pada lokasi dengan kondisi tanah tertentu. Data *time history* tersebut kemudian menjadi dasar dalam analisis perilaku timbunan tanah. Pada penelitian ini, spektra target akan dikembangkan secara probabilistik dengan menggunakan *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) sebagai dasar perhitungannya.

3.2 Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

Metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) merupakan satu metode yang digunakan dalam analisis bahaya kegempaan berdasarkan definisi fungsi distribusi probabilitas yang memperhitungkan dan menggabungkan ketidakpastian dari skala kejadian gempa, lokasi, dan frekuensi kejadiannya. untuk mendapatkan Gambaran yang menyeluruh mengenai tingkat *hazard* suatu lokasi yang ditinjau.

Tahapan analisis *hazard* gempa dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dapat diuraikan menjadi enam tahap proses (Makrup, L., 2009) sebagai berikut

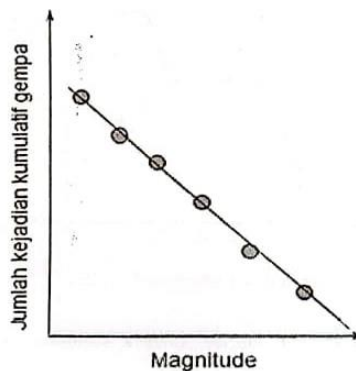
1. Tahapan pertama adalah menunjau seismisitas lokal (*local seismicity*) dari suatu daerah yang akan diidentifikasi dan dipertimbangkan sebagai sumber gempa potensial sesuai dengan kondisi geologi dan sejarah kegempaan dari daerah tersebut. Gambar 3.1 menunjukkan contoh-contoh sumber gempa yang berpotensi mempengaruhi suatu daerah.



Gambar 3.1 Contoh sumber gempa

(Sumber: Makrup, L., 2009)

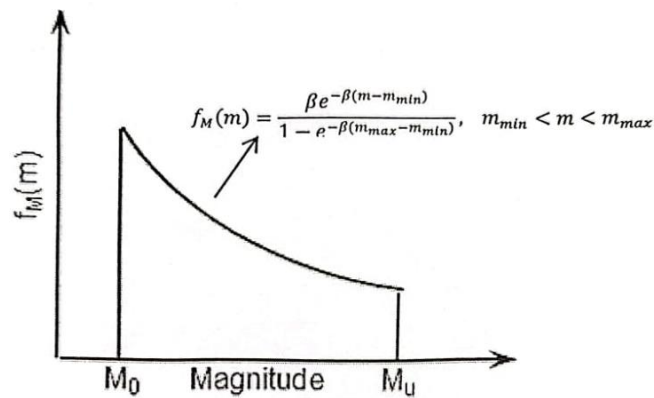
2. Langkah berikutnya adalah meninjau aktifitas sumber gempa yang ditentukan melalui laporan jumlah kejadian gempa sebelumnya yaitu dengan catatan magnitud dan intensitas gempa pada sumber yang bersangkutan. Selanjutnya dilakukan plotting dalam bentuk hubungan jumlah kejadian dan magnitud gempa sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Hubungan jumlah kejadian kumulatif dan magnitud gempa

(Sumber: Makrup, L., 2009)

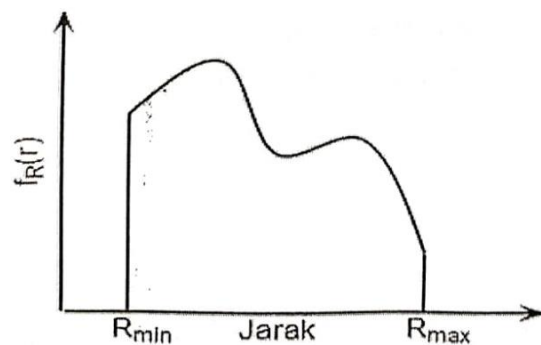
3. Berdasarkan data di atas, selanjutnya diturunkan model probabilistik untuk memprediksi kemungkinan tiap sumber dapat menimbulkan gempa dengan magnitud tertentu dalam satu periode waktu tertentu (biasanya dalam tahun) Gambar 3.3 menunjukkan fungsi kerapatan distribusi magnitud.



Gambar 3.3 Fungsi kerapatan distribusi magnitudo

(Sumber: Makrup, L., 2009)

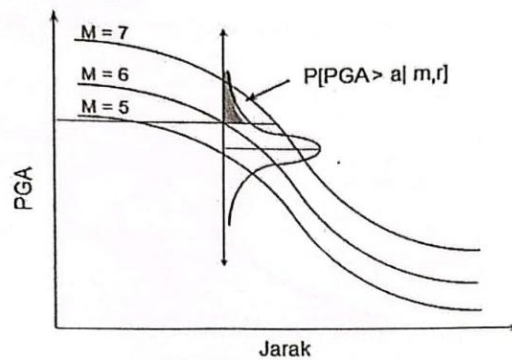
4. Selanjutnya pengaruh geometri dari sumber gempa termasuk didalamnya jarak site ke sumber gempa diperlukan untuk menghitung dan menentukan distribusi probabilitas dari jarak tersebut sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pengaruh geometri dari sumber gempa

(Sumber: Makrup, L., 2009)

5. Memprediksi parameter seismik berupa percepatan tanah dan respon spektra menggunakan fungsi dari magnitudo dan jarak dari site ke sumber gempa yang dikenal dengan GMPE. Gambar 3.5 menunjukkan contoh hubungan GMPE dengan PGA.



Gambar 3.5 Hubungan GMPE dengan PGA

(Sumber: Makrup, L., 2009)

6. Berdasarkan informasi yang diperoleh dan bersama ketidakpastian yang terjadi pada proses 1 – 5 selanjutnya dilakukan perhitungan dalam bentuk integrasi Persamaan 3.1 berikut (Cornell, 1968):

$$P_x(x) = \int_M \int_R P(X > x | m, r) f_M(m) f_R(r) dr dm \quad (3.1)$$

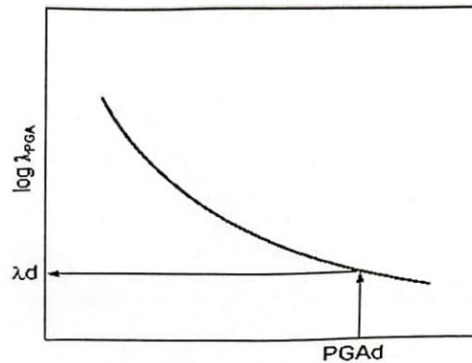
$P_x(x)$ = Probabilitas total dari suatu gempa yang menghasilkan percepatan puncak $X > x$, magnitude M , jarak R selama rentang waktu yang ditinjau

f_M = fungsi distribusi dari magnitude

f_R = fungsi distribusi dari jarak hiposenter

Integrasi dilakukan dalam rentang batas probabilitas variable acak yang berkaitan dengan analisis guna menentukan probabilitas dari parameter seismik yang akan terlampaui di masa yang akan datang untuk setiap sumber gempa. Tingkat terlampauinya parameter sesuai dengan periode waktu yang ditetapkan dapat ditentukan dengan perkalian sederhana probabilitas yang sudah dihitung dengan sejumlah kejadian yang telah diestimasi untuk setiap sumber gempa. Keluaran yang diperoleh dari analisis ini adalah kurva *seismic hazard*. Kurva tersebut didefinisikan sebagai laju terlampauinya parameter vs intensitas. Kontribusi setiap sumber gempa dapat dijumlahkan satu dengan yang lainnya sebagai hasil akhir untuk mendapatkan kurva *seismic hazard* (*seismic hazard curve*) dari parameter yang dipilih untuk

desain. Berikut merupakan kurva *seismic hazard* yang dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Kurva *seismic hazard*

(Sumber: Makrup, L., 2009)

Kurva *seismic hazard* dapat mudah digunakan untuk model *time independent*. Model *time independent* yang biasa digunakan adalah distribusi Poisson. Model ini dapat memberi jawaban mengenai amplitud gerak tanah yang diperlukan untuk satu rancangan periode waktu tertentu sesuai dengan probabilitas terlampauinya amplitud tersebut sebagaimana yang sudah ditentukan sebelumnya.

3.3 Pemodelan Sumber Gempa

Zona sumber gempa didefinisikan sebagai suatu area yang mempunyai derajat gempa yang sama, dimana setiap titik dalam zona tersebut mempunyai kemungkinan yang sama terjadinya gempa dimasa mendatang. Model sumber gempa diperlukan sebagai hubungan antara data kejadian gempa dengan model perhitungan yang digunakan dalam menentukan tingkat bahaya gempa. Batasan pemodelan suatu zona sumber gempa yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Kedalaman sumber gempa dibatasi hingga 300 km.
2. Jarak lokasi sumber gempa ke lokasi yang ditinjau dibatasi hingga 500 km.
3. GMPE yang digunakan untuk tiap-tiap model adalah GMPE yang dianggap sesuai dengan karakteristik kegempaan dan model sumber gempa wilayah Indonesia.

Pemodelan sumber gempa dilakukan berdasarkan interpretasi terhadap kondisi seismotektonik yang diketahui dari data geologi, geofisika dan seismologi. Model sumber gempa dapat diklasifikasikan dalam tiga (3) macam meliputi:

1. Sumber gempa subduksi, yaitu zona pertemuan lempeng dimana lempeng samudera menunjam ke dalam lempeng benua atau dua benua yang saling menumpu dan menghasilkan gempa-gempa besar (Kertapati, 2006).
2. Sumber gempa sesar (*fault*), yaitu zona kejadian gempa patahan dangkal (*shallow crustal fault*) yang terjadi pada patahan-patahan yang sudah teridentifikasi dengan baik.
3. Sumber gempa *background*, yaitu sumber gempa yang belum diketahui secara jelas. Model sumber gempa ini sangat cocok untuk daerah yang sesar atau patahannya belum teridentifikasi dengan jelas namun daerah tersebut memiliki sejarah kejadian gempa. Kejadian gempa pada zona *background* biasanya adalah gempa-gempa kecil sampai sedang.

3.3.1 Sumber Gempa Subduksi

Gempa yang dipicu oleh *thrust fault*, *normal fault*, *reverse slip*, dan *strike slip* di sepanjang batas pertemuan lempeng dikategorikan sebagai gempa pada zona subduksi. Zona subduksi ini terbagi menjadi dua, yaitu zona *megathrust interplate* yang terletak pada kedalaman kurang dari 50 km, dan zona *benioff intraslab* yang berada pada kedalaman lebih dari 50 km.

3.3.2 Sumber Gempa Patahan (*Shallow Crustal*)

Model ini dikenal sebagai model sumber gempa tiga dimensi karena dalam perhitungan probabilitas jaraknya mempertimbangkan jarak dari lokasi (*site*) ke hiposenter. Pemodelan zona gempa pada kerak dangkal (*shallow crustal*) mencakup arah patahan, panjang patahan, koordinat, serta kedalaman posisinya.

3.3.3 Sumber Gempa *Background*

Model gempa ini memperkirakan potensi terjadinya gempa besar di sekitar lokasi gempa kecil hingga menengah yang pernah terjadi sebelumnya. Model ini

sangat sesuai diterapkan pada wilayah yang sesar atau patahannya belum teridentifikasi secara jelas, namun memiliki riwayat aktivitas kegempaan. Kejadian gempa pada zona *background* biasanya adalah gempa-gempa kecil sampai sedang. Katalog gempa yang digunakan dalam analisis zona sumber *background* terdiri dari gempa-gempa utama atau gempa *independen* yang diperoleh dari data katalog gempa setelah proses pemisahan *foreshock* dan *aftershock*.

3.4 Persamaan Prediksi Gerakan Tanah

Kajian terhadap bahaya gempa dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu secara deterministik dengan menggunakan skenario gempa tertentu dan secara probabilistik dengan mempertimbangkan seluruh gempa beserta kemungkinan kejadiannya. Dalam pengembangan gerakan tanah berbasis pendekatan probabilistik, dasar perhitungannya menggunakan *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE). GMPE adalah Persamaan matematis yang mengaitkan parameter gempa pada sumber, seperti magnitudo (M) dan jarak (R), dengan parameter respons gerakan tanah di lokasi tertentu, berupa spektrum percepatan (Campbell, 2008). GMPE bersifat spesifik untuk masing-masing wilayah dan jenis mekanisme patahan, misalnya model GMPE untuk patahan strike-slip berbeda dengan model untuk patahan reverse atau thrust.

Salah satu sumber data utama dalam pengembangan GMPE adalah data time history yang diperoleh dari pencatatan alat accelerograph saat terjadi gempa. Penyusunan seluruh model GMPE didasarkan pada analisis statistik terhadap data rekaman gerakan tanah. Model GMPE yang dihasilkan dari proses tersebut dapat diperbarui seiring tersedianya data rekaman gempa terbaru. Pembaruan model GMPE ini dapat dilihat melalui kemunculan model-model GMPE tahun 2006/2007 yang tergabung dalam kelompok Next Generation Attenuation (NGA). Beberapa model yang termasuk dalam kelompok NGA antara lain Boore dan Atkinson (2006), Chiou dan Youngs (2006), Campbell dan Bozorgnia (2006), Idriss (2007), Boore dan Atkinson PEER-NGA (2007), serta Abrahamson dan Silva (2007).

Terbatasnya data rekaman time history di Indonesia menyebabkan penggunaan GMPE yang dikembangkan di negara lain menjadi hal yang tidak terhindarkan. Pemilihan GMPE ini didasarkan pada kesamaan karakteristik geologi dan kondisi tektonik antara wilayah asal GMPE tersebut dan wilayah Indonesia. Meskipun dalam dua dekade terakhir telah banyak dikembangkan model GMPE, hingga saat ini belum ada GMPE yang disusun berdasarkan data gempa yang terjadi di Indonesia. Oleh karena itu, GMPE yang diterapkan di Indonesia masih mengacu pada data gempa dari negara lain. Pemilihan GMPE yang digunakan juga harus disesuaikan dengan mekanisme sumber gempa yang dianalisis.

Dalam penelitian ini, GMPE diklasifikasikan berdasarkan jenis mekanisme sumber gempa, yaitu

1. GMPE untuk sumber gempa subduksi
2. GMPE untuk sumber gempa *shallow crustal*

GMPE yang telah dikembangkan oleh para ahli cukup banyak. Namun dalam penelitian ini akan digunakan 5 buah GMPE sebagai langkah mengakomodasi ketidakpastian dari penggunaan sebuah GMPE. Hasil perhitungan dengan masing-masing GMPE berupa respon spektra pada sebuah *site*. Dalam kasus penelitian ini di ambil *site* berupa tanah (permukaan tanah). Respon spektra ini kemudian akan digunakan sebagai respon spektra target dalam melakukan spektral *matching* untuk menentukan *time history* di permukaan tanah.

3.4.1 Fungsi Atenuasi untuk *Fault (Shallow Crustal Event)*

Model atenuasi ini dikembangkan dalam wilayah dengan sumber gempa *fault (the shallow crustal)* yang sudah distudi secara baik, terutama *fault-fault* yang berada di Amerika Utara bagian barat (California). Sebagai contoh di wilayah California, terdapat *fault-fault* yang sudah distudi oleh para ahli geologi dan seismologi seperti *fault* San Andreas dan San Gregorio. Kedua *fault* ini dan beberapa *fault* yang lain di California dan sekitarnya memiliki data kegempaan yang sudah terekam dalam puluhan tahun, sehingga dapat secara baik untuk digunakan

mengembangkan fungsi atenuasi. Sebagai contoh Sadigh et al. (1997) mengembangkan fungsi atenuasi dari data gempa dari wilayah ini. Ahli-ahli gempa yang lain ada juga yang mengembangkan model atenuasi dengan melibatkan data kegempaan diluar Amerika. Pada penelitian ini digunakan GMPE untuk *fault* adalah GMPE Sadigh et al. (1997), Chiou dan Young (2006), dan GMPE Atkinson-Bore (2006).

1. GMPE Sadigh et al. (1997)

Hubungan atenuasi yang diberikan Sadigh et. al. (1997) adalah untuk memprediksi percepatan tanah puncak dan respon spektra percepatan akibat gempa-gempa *shallow crustal*. Hubungan ini didasarkan pada data gerakan tanah aktual yang diperoleh terutama dari gempa-gempa California. Hubungan diturunkan berdasarkan gempa-gempa *strike-slip* dan *reverse-faulting*, dengan *site* berupa batuan dan tanah dengan magnitude momen gempa berkisar $M = 4$ sampai dengan $M=8$ dan jarak dari *site* ke sumber gempa (R_{np}) sampai 100 km. Berikut bentuk Persamaan 3.2 a merupakan Persamaan Sadigh (1997) pada batuan.

$$\ln y = C_1 + C_2 M + C_3 (8.5 - M)^{2.5} + C_4 \ln\{R_{np} + \exp(C_5 + C_6 M)\} + C_7 \ln\{R_{np} + 2\} \quad (3.2 a)$$

Berikut merupakan Persamaan 3.2 b Sadigh (1997) pada tanah.

$$\ln Y = C_1 + C_2 M + C_3 \ln\{R_{np} + C_4 e^{C_5 M}\} + C_6 + C_7 (8.5 - M)^{2.5} \quad (3.2 b)$$

dengan,

y = percepatan spektra (g)

M = magnitude momen ($M = 4 - 8$)

R_{rup} = jarak terdekat ke permukaan rupture ($R_{rup} = 0 - 100$ km)

Untuk magnitude lebih besar dari 8.5 diambil magnitude = 8.5

Fungsi atenuasi untuk *reverse/thrust faulting* diperoleh dengan mengalikan korelasi untuk *strike slip* dengan faktor 1.2. Berikut merupakan Tabel 3.1 koefisien fungsi sadigh (1997) untuk $M \leq 6, 5$.

Tabel 3.1 Koefisien fungsi atenuasi Sadigh (1997) $M \leq 6.5$

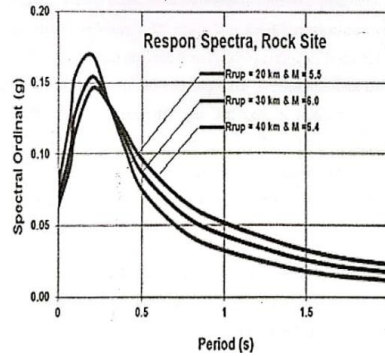
Period (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PGA	-0.624	1	0	-2.1	1.29649	0.25	0
0.075	0.11	1	0.006	-2.128	1.29649	0.25	-0.082
0.1	0.275	1	0.006	-2.148	1.29649	0.25	-0.041
0.2	0.153	1	-0.004	-2.148	1.29649	0.25	0
0.3	-0.057	1	-0.017	-2.08	1.29649	0.25	0
0.4	-0.298	1	-0.028	-2.028	1.29649	0.25	0
0.5	-0.588	1	-0.04	-1.99	1.29649	0.25	0
0.75	-1.208	1	-0.05	-1.945	1.29649	0.25	0
1.0	-1.705	1	-0.055	-1.865	1.29649	0.25	0
1.5	-2.407	1	-0.065	-1.725	1.29649	0.25	0
2	-2.945	1	-0.07	-1.67	1.29649	0.25	0

Berikut merupakan Tabel 3.2 koefisien fungsi sadigh (1997) untuk $M \geq 6,5$.

Tabel 3.2 Koefisien fungsi atenuasi Sadigh (1997) $M \geq 6.5$

Period (s)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
PGA	-1.274	1.1	0	-2.1	-0.4845	0.524	0
0.075	-0.54	1.1	0.006	-2.128	-0.4845	0.524	-0.082
0.1	-0.375	1.1	0.006	-2.148	-0.4845	0.524	-0.041
0.2	-0.497	1.1	-0.004	-2.148	-0.4845	0.524	0
0.3	-0.707	1.1	-0.017	-2.08	-0.4845	0.524	0
0.4	-0.948	1.1	-0.028	-2.028	-0.4845	0.524	0
0.5	-1.238	1.1	-0.04	-1.99	-0.4845	0.524	0
0.75	-1.858	1.1	-0.05	-1.945	-0.4845	0.524	0
1.0	-2.355	1.1	-0.055	-1.865	-0.4845	0.524	0
1.5	-3.057	1.1	-0.065	-1.725	-0.4845	0.524	0
2	-3.595	1.1	-0.07	-1.67	-0.4845	0.524	0
3	-4.35	1.1	-0.08	-1.61	-0.4845	0.524	0
4	-4.88	1.1	-0.1	-1.57	-0.4845	0.524	0

Berikut merupakan grafik atenuasi Sadigh (1997) dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Atenuasi Sadigh (1997) dalam bentuk kurva

2. GMPE Boore - Atkinson (2006)

Model atenuasi Boore-Atkinson (2006) merupakan Persamaan yang digunakan untuk memprediksi besaran gerakan tanah pada komponen horizontal, dengan mempertimbangkan faktor mekanisme sumber gempa, jarak dari lokasi ke sumber gempa, kecepatan rata-rata gelombang geser, serta tipe patahan. Model ini digunakan untuk menghitung percepatan tanah puncak (PGA) dan spektrum percepatan *pseudo-absolut* dengan redaman 5%, pada rentang periode antara 0,01 hingga 5 detik. Persamaan Boore-Atkinson (2006) atau NGA ini dikembangkan melalui analisis regresi empiris dengan menggunakan database gempa kuat yang dikumpulkan oleh PEER NGA. Bentuk model atenuasi NGA Boor-Atkinson (2006) pada Persamaan 3.3 berikut.

$$\ln y = F_M(M) + F_D(R_{jb}, M) + F_S(V_{S30}, R_{jb}, M) + \varepsilon\sigma_T \quad (3.3)$$

dengan:

$F_D(R_{jb}, M)$ merupakan fungsi pengaruh jarak terdapat pada Persamaan 3.4 berikut.

$$F_D(R_{jb}, M) = [c_1 + c_2 (M - M_{ref})] \ln \frac{R}{R_{ref}} + c_3 (R - R_{ref}) \quad (3.4)$$

$$R = \sqrt{r_{jb}^2 + h^2}$$

$c_1, c_2, c_3, M_{ref}, R_{ref}$, dan h adalah koefisien yang dapat diambil dari Tabel

$F_M(M)$ merupakan fungsi pengaruh penskalaan magnitude untuk $M \leq M_h$ terdapat pada Persamaan 3.5 berikut.

$$F_M(M) = a_1U + a_2S + a_3N + a_4R + a_5(M - M_h) + a_6(M - M_h)^2 \quad (3.5)$$

Berikut merupakan fungsi pengaruh penskalaan magnitude untuk $M > M_h$ terdapat pada Persamaan 3.6 berikut.

$$F_M(M) = a_1U + a_2S + a_3N + a_4R + a_7(M - M_h) \quad (3.6)$$

U , SS , NS dan RS merupakan variabel *dummy* yang digunakan untuk menspesifikasi tipe *fault* dengan U (*unspecified fault*), SS (*strike slip fault*), NS (*normal slip fault*) dan RS (*reverse slip fault*). Berikut merupakan Tabel 3.3 koefisien Persamaan atenuasi Boore-Atkinson (2006) NGA.

Tabel 3.3 Tabel koefisien Persamaan Boore-Atkinson (2006) NGA

Period	Source Type	1	2	3	4	5	6	7	8	M _h	CI	C2	C3	C4
PGA	All Sources	-1,11599	-1,079	-1,35	-1,086	0,3898	-0,12	0	0	7	-0,66	0,1196	-0,012	0
0.05	All Sources	-0,8604	-0,782	-1,07	-0,942	0,4101	-0,1	0,018	0	7	-0,535	0,1544	-0,019	0
0.1	All Sources	-0,4966	-0,541	-0,68	-0,505	0,2158	-0,14	0	0	7	-0,652	0,1188	-0,014	0
0.2	All Sources	-0,18575	-0,167	-0,35	-0,142	0,4106	-0,17	0	0	7	-0,583	0,0429	-0,01	0
0.3	All Sources	-0,31699	-0,31	-0,51	-0,233	0,5091	-0,18	0,006	0	7	-0,554	0,0196	-0,08	0
0.5	All Sources	-0,62784	-0,621	-0,81	-0,55	0,6514	-0,14	0	0	7	-0,692	0,0609	-0,005	0
1	All Sources	-1,27487	-1,24	-1,6	-1,198	0,6938	-0,2	0,006	0	7	-0,818	0,1027	-0,003	0
2	All Sources	-2,06005	-1,986	-2,42	-2,107	0,7212	-0,31	0,326	0	7	-0,829	0,0944	-0,002	0
3	All Sources	-260,576	-2,521	-3,01	-2,694	0,749	-0,42	0,696	0	7	-0,785	0,0729	-0,002	0
4	All Sources	-2,93734	-2,848	-3,29	-3,071	11,195	-0,36	0,685	0	7	-0,685	0,0375	-0,002	0
5	All Sources	-2,26498	-2,191	-2,49	-2,392	0,1052	-0,39	0	0	7	-0,507	-0,024	-0,002	0

Source Type	Mref	Tref	h	bus	Ures	b1	b2	V1	V2	a,	Pga low	a2	sigma /	sigma 2u	sigma tu	sigma 2m	sigma tm
All Sources	4,5	5	1,4	-0,36	760	-0,64	-0,14	180	300	0	0,06	0,1	0,502	0,262	0,566	0,26	0,562
All Sources	4,5	5	1,4	-0,29	760	-0,64	-0,11	180	300	0	0,06	0,1	0,576	0,368	0,684	0,37	0,682
All Sources	4,5	5	1,7	-0,25	760	-0,6	-0,13	180	300	0	0,06	0,1	0,53	0,325	0,622	0,33	0,622
All Sources	4,5	5	2	-0,31	760	-0,52	-0,19	180	300	0	0,06	0,1	0,523	0,286	0,596	0,29	0,596
All Sources	4,5	5	1,4	-0,36	760	-0,64	-0,14	180	300	0	0,06	0,1	0,502	0,262	0,566	0,26	0,562
All Sources	4,5	5	2,1	-0,44	760	-0,52	-0,14	180	300	0	0,06	0,1	0,546	0,269	0,608	0,27	0,608
All Sources	4,5	5	2,3	-0,6	760	-0,5	-0,06	180	300	0	0,06	0,1	0,555	0,262	0,612	0,26	0,612
All Sources	4,5	5	2,5	-0,7	760	-0,44	0	180	300	0	0,06	0,1	0,573	0,313	0,654	0,3	0,645
All Sources	4,5	5	2,7	-0,73	760	-0,38	0	180	300	0	0,06	0,1	0,58	0,396	0,702	0,39	0,698
All Sources	4,5	5	2,8	-0,74	760	-0,34	0	180	300	0	0,06	0,1	0,566	0,41	0,7	0,4	0,693
All Sources	4,5	5	2,8	-0,75	760	-0,31	0	180	300	0	0,06	0,1	0,583	0,389	0,702	0,38	0,695
All Sources	4,5	5	2,9	-0,75	760	-0,3	0	180	300	0	0,06	0,1	0,603	0,414	0,732	0,44	0,744

F_s merupakan efek amplifikasi site pada Persamaan 3.7 berikut.

$$F_s = F_{LIN} + F_{NL} \quad (3.7)$$

dengan suku linear F_{LIN} pada Persamaan 3.8 berikut.

$$F_{LIN} = b_{lin} \ln(V_{s30}/V_{ref}) \quad (3.8)$$

dengan suku nonlinear F_{NL} pada Persamaan 3.9 berikut untuk $pga_{4ln} \leq a_1$

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{low}/0.1) \quad (3.9)$$

untuk $pga_{4ln} \leq a_1$ pada Persamaan 3.10 berikut.

$$F_{NL} = b_{nl} \ln\left(\frac{pga_{low}}{0.1}\right) + c \left\{ \ln\left(\frac{pga_{4nl}}{a_1}\right) \right\}^2 + d \{ \ln(pga_{4nl}/a_1) \}^3 \quad (3.10)$$

untuk $pga_{4ln} < a_2$ pada Persamaan 3.11 berikut.

$$F_{NL} = b_{nl} \ln(pga_{4nl}/0.1) \quad (3.11)$$

Notasi a_1 dan a_2 ditentukan untuk level batas bawah amplifikasi linear dan nonlinear. pga_{low} merupakan variabel yang menandai adanya transisi antara perilaku linear dan nonlinear. Sedangkan pga_{4ln} adalah estimasi awal untuk nilai PGA prediksi untuk $V_{s30} \geq 760$ m/dt yang dapat dihitung dengan Persamaan (2.3) dengan mengambil $F_s = 0.0$ dan $\varepsilon = 0.0$ Fungsi slope nonlinear (b_{nl}) merupakan fungsi dari perioda dan V_{s30} untuk $V_{s30} \leq V_1$ pada Persamaan 3.12 berikut.

$$b_{nl} = b_1 \quad (3.12)$$

Untuk $V_1 < V_{s30} \leq V_1$ pada Persamaan 3.13 berikut.

$$b_{nl} = (b_1 - b_2) \ln(V_{s30}/V_2) / \ln(V_1/V_2) + b_2 \quad (3.13)$$

Untuk $V_2 < V_{s30} < V_{ref}$ pada Persamaan 3.14 berikut.

$$b_{nl} = b_2 \ln(V_{s30}/V_2) / \ln(V_1/V_2) \quad (3.14)$$

Untuk $V_{ref} \leq V_{s30}$ pada Persamaan 3.15 berikut.

$$b_{nl} = 0.0 \quad (3.15)$$

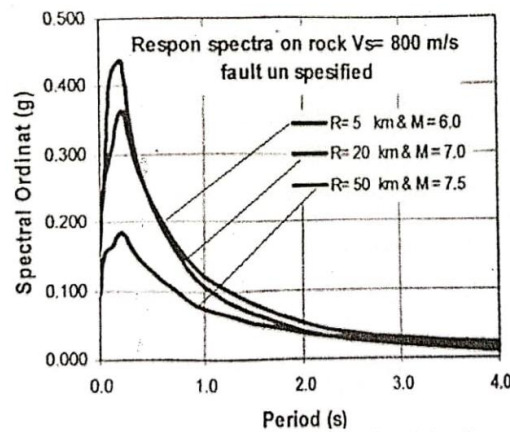
$$c = (3\Delta y - b_{nl}\Delta x) / \Delta x^2$$

$$d = -(2\Delta y - b_{nl}\Delta x) / \Delta x^3$$

$$\Delta x = \ln(a_2/a_1)$$

$$\Delta y = b_{nl} \ln(a_2/pga_low)$$

Berikut merupakan Gambar 3.8 Atenuasi Boore-Atkinson (2006) NGA dalam bentuk kurva.



Gambar 3.8 Atenuasi Boore-Atkinson (2006) NGA dalam bentuk kurva.

3. Chiou dan Young (2006)

Model atenuasi Chiou dan Young (2006) dirancang untuk mewakili gerakan tanah di permukaan bebas dari gempa kerak dangkal di wilayah aktif seperti

California. Model ini diturunkan untuk percepatan tanah puncak (PGA) dan pseudo-percepatan spektra dengan redaman 5% dengan rentang periode dari 0.01 sampai 10 detik. Fungsi GMPE Chiou dan Young (2006) dapat digunakan untuk magnitude antara 4 sampai 8.5 dengan mekanisme gempa *strike-slip* sedangkan untuk mekanisme normal-*slip* atau *reverse-slip* magnituda gempa yang dapat digunakan antara 4 sampai 8.0. Untuk perhitungan spektra percepatan juga disarankan jarak *rupture* maksimum 200 km serta VS30 antara 150 sampai 1500 m/det. GMPE Chiou dan Young (2006) adalah pengembangan dari model sebelumnya dan menyesuaikan struktur data agar tetap relevan dengan kondisi lapangan dan dataset NGA terbaru. Bentuk model atenuasi NGA Chiou dan Young (2006) terdapat pada Persamaan 3.16 berikut.

$$\ln(SA_{ij}) = \ln(SA_{1130ij}) + \phi_1 \cdot \min[\ln(vs30_{ij}), 0] + \phi_2 \{ \exp[\phi_2(vs30_{ij}, 1130)] - \exp[\phi_3(1130 - 360)] \} \cdot \ln[(SA_{1130ij} + \phi_4)/\phi_4] + \sigma_{zij} \quad (3.16)$$

Dengan nilai SA_{1130ij} terdapat pada Persamaan 3.17 berikut.

$$\begin{aligned} \ln(SA_{1130_ij}) = & C_1 + C_{1a}F_{Rv_i} + C_{1b}F_{NM_i} + C_7(Z_{TORI} - 4) + C_2(M_i - 6) + [(C_2 + \\ & C_3)/C_n] \ln[1 + \exp\{C_n \cdot (C_M - M_i)\}] + C_4 \cdot \ln[R_{RUPij}] + \\ & C_5 \cdot \cosh\{C_6 \cdot (M_i - C_{HM}, 0)_{\max}\} + (C_{4a} - C_4) \cdot \ln[(R_{RUPij}^2 + \\ & R_{RB}^2)] + [C_{y1} + C_{y2} / \cosh\{(M_i - C_{y3}, 0)_{\max}\}] \cdot R_{RUPij} + \\ & C_9 \cdot (\cos \delta_i)^2 \tan(R_{RUPij}/2) \cdot \tan^{-1}[W_i \cdot \cos \delta_i / 2 \cdot (Z_{TORI} - 1)] / \\ & (\pi/2) \cdot [1 - R_j B_{ij} / (R_j B_{ij} - 0.001)] + \tau_{zi} \end{aligned} \quad (3.17)$$

dengan,

R_{RUP} = jarak terdekat ke bidang rupture (km)

R_{JB} = jarak ke bidang rupture sebagaimana diturunkan dari Joiner-Boore (km)

δ = sudut ruptue

W = lebar rupture

Z_{tor} = kedalaman dari bidang rupture

V_{aFRV} = 1 atau 0 ditentukan oleh besarnya sudut rake (λ)

F_{NM}	= 1 atau 0 ditentukan oleh besarnya sudut rake (λ)
$VS30$	= nilai kecepatan geser rata-rata (m/det)
τ	= standar error untuk inter-event
σ	= standar error untuk intra-event

3.4.2 Fungsi Atenuasi untuk Zona Subduksi

Model atenuasi ini dikembangkan untuk gempa-gempa yang berpusat pada plat subduksi. Model atenuasi ini lebih banyak sudah dikembangkan di Amerika Utara dan Jepang. Plat subduksi menunjam di bawah plat yang lain dengan dua sudut penunjaman. Sudut Penunjaman yang lebih landai terjadi pada awal penunjaman dan disebut sebagai zona *megathrust*, pada zona ini gempa terjadi pada zona *interface* (*interface event*) yaitu zona tumbukan antara plat yang menunjam dan plat yang menumpang, sedang sudut penunjaman yang lebih menukik terjadi pada posisi yang lebih dalam yang disebut sebagai zona *benioff* dan pada zona ini gempa terjadi di dalam slab dari plat (*intraslab even*). Pada zona ini slab plat sudah lepas dari zona tumbukan. Masing-masing dari kedua zona ini telah dikembangkan model atenuasi yang berbeda oleh para ahli. Pada penelitian ini digunakan GMPE untuk zona subduksi adalah GMPE Youngs et al, (1997) dan GMPE Atkinson-Bore (2003).

1. Youngs et. al., (1997)

Model atenuasi yang dikembangkan oleh Youngs et al. (1997) merupakan fungsi empiris yang digunakan untuk memperkirakan percepatan tanah puncak dan percepatan respon spektra pada gempa zona subduksi, baik tipe *interface* maupun *intraslab*, dengan momen magnitudo minimal 5.0 dan jarak *rupture* antara 10 hingga 500 km dari lokasi pengamatan ke sumber gempa. Model ini disusun melalui metode analisis regresi. Berdasarkan hasil Persamaan atenuasi tersebut, laju pelemahan percepatan tanah puncak pada gempa zona subduksi cenderung lebih rendah dibandingkan dengan gempa *crustal* dangkal pada wilayah tektonik aktif, khususnya pada gempa berkekuatan besar. Selain itu, percepatan tanah puncak akan meningkat seiring bertambahnya kedalaman sumber gempa, di mana gempa *intraslab*

menghasilkan percepatan tanah puncak sekitar 50% lebih tinggi dibandingkan gempa *interface*. Bentuk dari fungsi atenuasi Youngs et al (1997) untuk batuan terdapat pada Persamaan 3.18 berikut.

$$\ln y = 0.2148 + 1.414 M + C_1 + C_2(10 + M)^3 - C_3 \ln(r_{rub} + 1.7818 e^{0.554M}) + 0.00607 H + 0.3846 Z_T \quad (3.18)$$

Untuk tanah batuan terdapat pada Persamaan 3.19 berikut.

$$\ln y = -0.6687 + 1.438 M + C_1 + C_2(10 + M)^3 - C_3 \ln(r_{rup} + 1.097 e^{0.617M}) + 0.00648 H + 0.3643 Z_T \quad (3.19)$$

dengan

$\sigma \ln y = C_4 + C_5 M$ untuk $M > 8$ maka $\sigma \ln y =$ untuk $M = 8$.

y = percepatan spektra (g)

M = magnitude momen ($M \geq 5$)

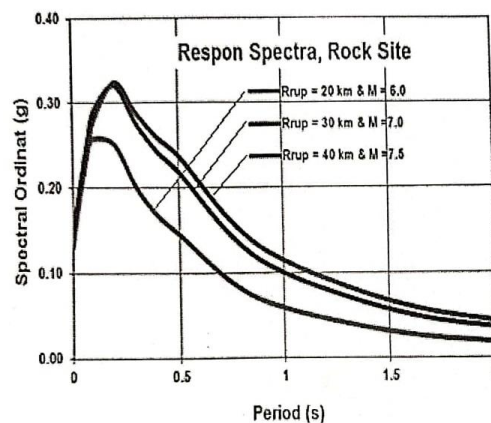
H = kedalaman (km)

Z_T = tipe sumber (0 untuk kejadian *interface* dan 1 untuk kejadian *interslab*)

R dan r_{rup} = jarak terdekat ke rupture (km) ($10 \text{ km} \leq R_{RUP} \leq 500 \text{ km}$).

Fungsi atenuasi ini hanya berlaku untuk sumber gempa zona subduksi.

Gambar 3.9 menunjukkan atenuasi Youngs (1997) dalam bentuk kurva.



Gambar 3.9 Atenuasi Youngs (1997) dalam bentuk kurva

Tabel 3.4 menunjukkan koefisien yang dipergunakan dalam fungsi atenuasi Youngs (1997).

Tabel 3.4 Koefisien fungsi atenuasi Youngs (1997) untuk menentukan *pseudo acceleration response spectra* dengan 5% damping (rock site)

Period (s)	Source type	C1	C2	C3	C4	C5	Zr
PGA	<i>Subduction</i>	0.0	0.0	-2.552	1.45	-0.1	0
0.075	<i>Subduction</i>	1.275	0.0	-2.707	1.45	-0.1	0
0.1	<i>Subduction</i>	1.188	-0.0011	-2.655	1.45	-0.1	0
0.2	<i>Subduction</i>	0.722	-0.0027	-2.528	1.45	-0.1	0
0.3	<i>Subduction</i>	0.246	-0.0036	-2.454	1.45	-0.1	0
0.4	<i>Subduction</i>	-0.115	-0.0043	-2.401	1.45	-0.1	0
0.5	<i>Subduction</i>	-0.4	-0.0048	-2.360	1.45	-0.1	0
0.75	<i>Subduction</i>	-1.149	-0.0057	-2.286	1.45	-0.1	0
1.0	<i>Subduction</i>	-1.736	-0.0064	-2.234	1.45	-0.1	0
1.5	<i>Subduction</i>	-2.634	-0.0073	-2.160	1.45	-0.1	0
2.0	<i>Subduction</i>	-3.328	-0.008	-2.107	1.45	-0.1	0
3.0	<i>Subduction</i>	-4.511	-0.0089	-2.033	1.45	-0.1	0

2. Atkinson-Boore (2003)

Fungsi atenuasi Atkinson-Boore (2003) merupakan model hubungan atenuasi gempa pada zona subduksi yang menjadi komponen penting dalam analisis bahaya seismik di berbagai wilayah dunia. Model ini dikembangkan berdasarkan kompilasi data respon spektra dari ratusan catatan gempa kuat dengan momen magnitudo (M_w) antara 5 hingga 8.3 yang terjadi di zona subduksi global, mencakup gempa tipe *interface* dan *intraslab*. Jumlah data yang digunakan dalam pengembangan model ini mencapai empat kali lebih besar dibandingkan basis data yang digunakan dalam regresi empiris sebelumnya untuk zona subduksi. Besarnya jumlah data tersebut meningkatkan keakuratan estimasi parameter atenuasi dan penskalaan magnitudo, baik untuk gempa *interface* maupun *intraslab*. Selain itu, parameter respons tanah juga dapat ditentukan dengan lebih presisi. Karena itu penggunaan atenuasi ini adalah khusus untuk zona subduksi. Bentuk fungsi atenuasi Atkinson-Boore (2003) pada Persamaan 3.20 berikut.

$$\log y = fn(M) + C_3 h + C_4 R - g \log R + C_5 sl S_C + C_6 sl S_D + C_7 sl S_E \quad (3.20)$$

dengan:

M = magnitude momen

$M = 8.5$ untuk kejadian *interface* yang memiliki $M > 8.5$

$M = 8.0$ untuk kejadian inslab yang memiliki $M > 8.0$

$$fn = c_1 + c_2 M$$

h = kedalaman sumber gempa (km), bila $h > 100$ maka $h = 100$ km

$$R = \sqrt{D_{fault}^2 - \Delta^2}$$

D_{fault}^2 = jarak terdekat ke permukaan *fault* (km)

$$\Delta = 0.00274 \times 10^{0.507M}$$

S_C = 1 untuk NEHRPP tanah tipe B ($360 < V_s < 760$ m/dt) dan $S_C = 0$

S_D = 1 untuk NEHRPP tanah tipe C ($180 < V_s < 360$ m/dt) dan $S_D = 0$

S_E = 1 untuk NEHRPP tanah tipe D ($V_s < 180$ m/dt) dan $S_D = 0$

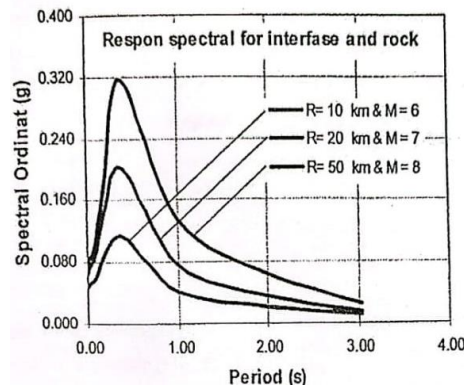
g = $10^{(1.2 - 0.13M)}$ untuk kejadian *interface*

g = $10^{(0.301 - 0.01M)}$ untuk kejadian *intraslab*

$$sl = \begin{cases} 1 & \text{untuk } PGA_{TX} \leq dt^2 \text{ atau frek} \leq 1\text{Hz} \\ 1 - (f - 1)(PGA_{TX} - 100)/400 & \text{untuk } 100 \leq PGA_{TX} \leq 500 \text{ cm/dt}^2 \text{ atau } 1\text{Hz} \leq f \leq 2\text{Hz} \\ 1 - (f - 1) & \text{untuk } PGA_{TX} \leq dt^2 \text{ atau frek} \leq 1\text{Hz} \\ 1 - (PGATN - 100)/400 & \text{untuk } 100 \leq PGA_{TX} \leq 500 \text{ cm/dt}^2 \text{ atau } 1\text{Hz} \leq f \leq 2\text{Hz} \\ 0 & \text{untuk } PGA_{TX} \leq dt^2 \text{ atau frek} \leq 1\text{Hz} \end{cases}$$

PGA_{TX} = PGA perkiraan pada buatan (NEHRP tanah B) dalam cm/dt

Berikut merupakan Gambar 3.10 kurva atenuasi Atkinson-Boore (2003).



Gambar 3.10 Atenuasi Atkinson-Boore (2003) dalam bentuk kurva

Berikut merupakan Tabel 3.5 koefisien Persamaan atenuasi Atkinson-Boore (2003).

Tabel 3.5 Koefisien Persamaan atenuasi Atkinsone – Boore (2003)

Interface Event

Period	Source Type	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	ltype	PGArx C1	PGArx C2	PGArx C3	PGArx C4	Sigma (log(y))
PGA	Subduction	-0.201	0.35	0.008	-0.002	0.19	0.24	0.29	0	-0.2	0.03525	0.0076	-0.00206	0.23
0.04	Subduction	-0.391	0.071	0.01	-0.003	0.15	0.2	0.2	0	-0.2	0.03525	0.0076	-0.00206	0.26
0.1	Subduction	-0.491	0.098	0.01	-0.003	0.15	0.23	0.2	0	-0.2	0.03525	0.0076	-0.00206	0.27
0.2	Subduction	-0.451	0.124	0.009	-0.003	0.15	0.27	0.25	0	-0.2	0.03525	0.0076	-0.00206	0.28
0.4	Subduction	-0.491	0.148	0.007	-0.002	0.13	0.37	0.38	0	-0.2	0.03525	0.0076	-0.00206	0.29
1	Subduction	-0.811	0.135	0.005	-0.001	0.1	0.3	0.55	0	-0.2	0.03525	0.0076	-0.00206	0.34
2	Subduction	-0.661	0.071	0.002	0	0.1	0.25	0.4	0	-0.2	0.03525	0.0076	-0.00206	0.34
3.03	Subduction	-0.631	0.022	0.001	0	0.1	0.25	0.36	0	-0.2	0.03525	0.0076	-0.00206	0.36
average														0.29625

Intraslab Event

Period	Source Type	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	ltype	PGArx C1	PGArx C2	PGArx C3	PGArx C4	Sigma (log(y))
PGA	Subduction	-3.241	0.691	0.011	-0.002	0.19	0.24	0.29	1	-3.24	0.6909	0.0113	-0.00202	0.27
0.04	Subduction	-2.761	0.633	0.013	-0.002	0.15	0.2	0.2	1	-3.24	0.6909	0.0113	-0.00202	0.25
0.1	Subduction	-2.831	0.667	0.011	-0.002	0.15	0.23	0.2	1	-3.24	0.6909	0.0113	-0.00202	0.28
0.2	Subduction	-2.591	0.692	0.006	-0.002	0.15	0.27	0.25	1	-3.24	0.6909	0.0113	-0.00202	0.28
0.4	Subduction	-3.001	0.773	0.002	-0.002	0.13	0.37	0.38	1	-3.24	0.6909	0.0113	-0.00202	0.28
1	Subduction	-3.971	0.879	0.001	-0.002	0.1	0.3	0.55	1	-3.24	0.6909	0.0113	-0.00202	0.29
2	Subduction	-5.241	0.996	0.004	-0.001	0.1	0.25	0.4	1	-3.24	0.6909	0.0113	-0.00202	0.3
3.03	Subduction	-6.631	1.117	0.006	-0.005	0.1	0.25	0.36	1	-3.24	0.6909	0.0113	-0.00202	0.3
average														0.28125

3.5 Respon Spektra *Hazard* Seragam

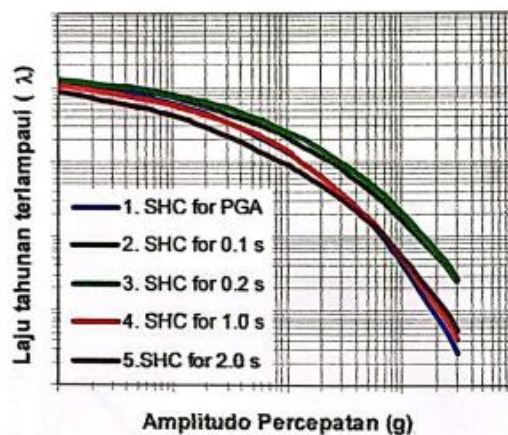
Analisis PSHA untuk menentukan percepatan tanah ini dikembangkan pada awalnya oleh Cornell dan lalu oleh Merz dan Cornell. Perhitungan untuk mendapatkan parameter percepatan gerakan tanah akibat gempa dilakukan dengan menggunakan teorema probabilitas total dalam bentuk fungsi integral pada Persamaan 3.21 berikut.

$$P_x(x) = \int_M \int_R P(x > x|m, r) f_M(m) f_R(r) dr dm \quad (3.21)$$

Persamaan 3.22 dikaitkan dengan frekuensi kejadian gempa pertahun (*the annual rate of exceedance*).

$$\lambda_x(x) = v \int_M \int_R P(x > x|m, r) f_M(m) f_R(r) dr dm \quad (3.22)$$

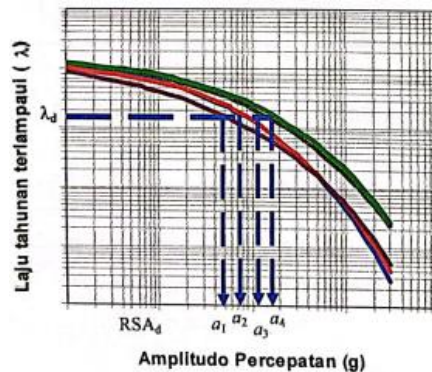
dengan $P(X > x/m, r)$, $f(m)$, $f(r)$ masing-masing adalah fungsi kerapatan distribusi parameter *seismic* terlampaui (probabilitas GMPE), fungsi kerapatan distribusi magnitude dan fungsi kerapatan distribusi jarak. Sedang v adalah *rate* kejadian gempa pertahun. Hubungan antara $\lambda_x(x)$ dan parameter percepatan gempa disebut kurva *seismic hazard* (*Seismic Hazard Curve/SHC*), dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Bentuk kurva *seismic hazard* (SHC)

(Sumber: Makrup, L., 2009)

Berikut merupakan Gambar 3.12 aplikasi model Poisson pada SHC.



Gambar 3.12 Aplikasi model Poisson pada SHC

(Sumber: Makrup, L., 2009)

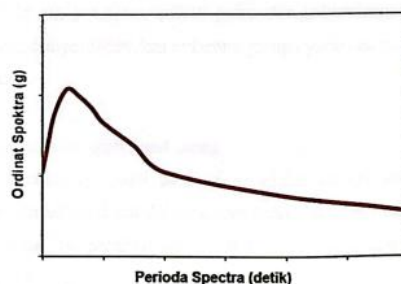
Kombinasi kuva *seismic hazard*, $\lambda_x(x)$, dengan distribusi Poisson pada Persamaan 3.23 dapat ditentukan paramater gerakan tanah gempa.

$$P = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3.23)$$

Atau pada Persamaan 3.24 berikut.

$$\lambda = -\ln(1 - P)/t \quad (3.24)$$

Berdasarkan probabilitas yang besarnya sudah ditentukan misalnya P maka akan diperoleh nilai λ . Bila nilai λ diplot kedalam kurva *seismic hazard* akan diperoleh percepatan gempa sesuai dengan periode spektra yang diinginkan. Hasil plotting akan memberikan hubungan antara percepatan dan periode spektra yang akan menghasilkan kurva *hazard* seragam (*Uniform Hazard Spectrum/UHS*) Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Bentuk dari spektra *hazard* seragam (UHS)

(Sumber: Makrup, L., 2009)

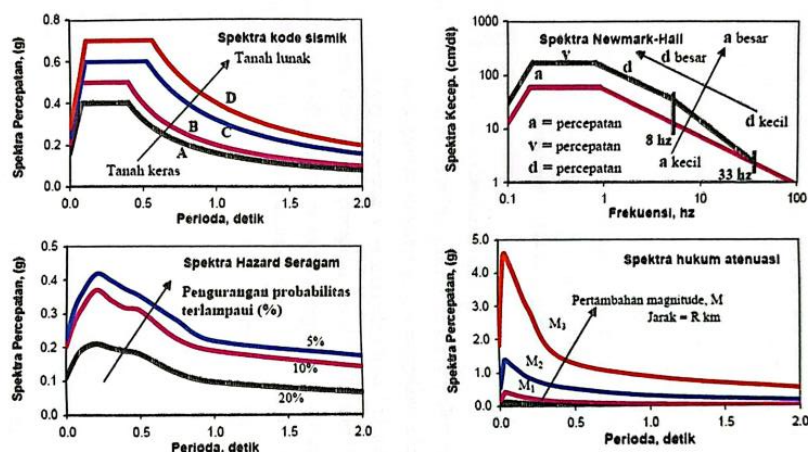
3.6 Deagregasi *Hazard* Gempa

Deagregasi gempa adalah proses yang bertujuan untuk memisahkan kontribusi dari berbagai sumber gempa dan parameter seismik terhadap tingkat

risiko seismik pada suatu lokasi tertentu. Deagregasi membantu mengidentifikasi sumber gempa, magnitudo, dan jarak yang paling berpengaruh terhadap respon seismik di lokasi penelitian. Parameter deagregasi gempa dapat dilihat pada buku peta deagregasi bahaya gempa Indonesia untuk perencanaan dan evaluasi infrastruktur tahan gempa.

3.7 Spectral Matching

Untuk merubah kuantitas atau karakteristik frekuensi dari sebuah *time history* percepatan tanah gempa dapat digunakan teori atau prosedur yang dikenal dengan sebutan *spektral matching* Niclaou (1998). *Spektral matching* dilakukan atas dasar *time history* percepatan *actual* dan respon spektra target. Yang di *match*-kan disini adalah *respon* spektra dari *time history* percepatan aktual terhadap respon spektra target. Proses ini mengakomodasi perubahan untuk respon spektra aktual akan mendekati kuantitas respon spektra target. Secara umum respon spektra yang digunakan sebagai respon spektra target berupa respon spektra yang dikembangkan secara deterministik atau probabilistik. Respon spektra yang dimaksud Nicolaou (1998) adalah respon spektra GMPE, respon spektra *hazard* seragam, respon spektra desain dan respon spektra Newmark-Hall (1987). Respon spektra Gambar 3.14 dapat diturunkan langsung seperti berikut ini.



Gambar 3.14 Alternatif pemilihan respon spektra desain

(Sumber: Makrup, L., 2009)

- a. Menggunakan sekenario magnitude-jarak deterministik, dikaitkan dengan hubungan spektra dari *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) yang sesuai dengan lokasi geografis dan kondisi tanah.
- b. Menggunakan metode PSHA untuk menentukan spektra *hazard* seragam (*uniform hazard spectrum/UHS*) yang didasarkan pada satu probabilitas terlampaui dalam waktu tertentu.
- c. Melalui desain kode spektra UBC (1997) atau NEHRP (1997) atau ASCE code 7.10 (2013), disesuaikan dengan lokasi geografis dan kondisi tanah.
- d. Menggunakan prosedur Newmark-Hall (1987), yang didasarkan pada korelasi statistik dari parameter gerakan tanah puncak (PGA, PGV dan PGD) untuk parameter spektra (SA, SV dan SD).

Prosedur analisis ini dapat dilakukan dalam dua domain matematik yaitu domain waktu dan domain frekuensi (Nicolaou, 1998).

3.7.1 Spectral *Matching* dalam Domain Waktu

Dalam domain waktu proses perhitungan *matching* memberikan hasil berupa faktor penskalaan. Hasil spectral *matching* yang sesungguhnya adalah respon spektra dan *time history* percepatan yang merupakan hasil kali antara faktor penskalaan dengan *time history* percepatan aktual hasil pengukuran yang sebelumnya dijadikan sebagai dasar spectral *matching*. Dasar yang dikembangkan dalam melakukan spectral *matching* dalam domain waktu adalah meminimumkan perbedaan antara respon spektra yang akan di-*matching* dan respon spektra target dengan dasar metoda kuadrat terkecil.

Definisi simbol yang digunakan adalah:

S_a target = respon spektra target

S_a aktual = respon spektra *time history* aktual

α = faktor penskalaan

T = perioda osilator (periode spektra)

Fungsi yang menyatakan meminimumkan perbedaan antara respon spektra yang di *matching* dan respon spektra target adalah fungsi error (kesalahan). Fungsi error

sama dengan integral dari fungsi perbedaan kuadrat seperti yang diperlihatkan dalam Persamaan 3.25.

$$|Error| = \int_{TB}^{TA} [(\alpha S_a^{actual}(T) - S_a^{target}(T))]^2 dT \quad (3.25)$$

dengan TA dan TB adalah batas bawah dan atas perioda spektra yang di-*matching*. Agar kesalahan menjadi minimum maka derivatif pertama dari fungsi kesalahan dalam kaitannya dengan faktor penskalaan α , harus menjadi nol terdapat pada Persamaan 3.26.

$$\min |Error| = |d|Error|/d\alpha = 0 \quad (3.26)$$

Persamaan 3.26 akan mengubah bentuk Persamaan 3.25 menjadi Persamaan 3.27 berikut.

$$\frac{d}{d\alpha} \int_{TA}^{TB} [(\alpha S_a^{actual}(T) - S_a^{target}(T))]^2 dT = 0 \quad (3.27)$$

$$2 \int_{TA}^{TB} (\alpha S_a^{actual}(T) - S_a^{target}(T)) S_a^{actual}(T) dT = 0 \quad (3.28)$$

Penyelesaian Persamaan 3.28 seperti Persamaan 3.29 berikut.

$$\alpha = \frac{\int_{TA}^{TB} S_a^{actual} S_a^{target} dT}{\int_{TA}^{TB} S_a^{actual}^2 dT} \quad (3.29)$$

Persamaan (3.29) dalam bentuk diskrit menjadi Persamaan 3.30 berikut.

$$\alpha = \frac{\sum_{T=TA}^{TB} S_a^{actual} S_a^{target}}{\sum_{T=TA}^{TB} S_a^{actual}^2} \quad (3.30)$$

3.7.2 Spectral *Matching* dalam Domain Frekuensi

Dalam domain frekuensi proses perhitungan *matching* langsung memberikan sebuah *time history* yang merupakan hasil spectral *matching*. Dasar pemikiran yang diterapkan berkaitan dengan spectral *matching* dalam domain frekuensi adalah bahwa gerakan tanah aktual dapat difilter dalam domain frekuensi menggunakan rasio spektra target dan spektra aktual. Analisis fourier dapat diaplikasikan dalam melakukan feltering. Teknik ini diulangi secara iterasi sampai hasil yang diperoleh sesuai dengan apa yang ingin dicapai. *Matching* dalam domain frekuensi dilakukan dalam rentang perioda getar tertentu. Urutan penyelesaian dari metode ini disarikan dalam langkah-langkah penyelesaian berikut ini.

- a) Pilih target spektra $\{S_a \text{ target}(T)\}$
- b) Pilih *time history* yang hendak di *matching* (THaktual)
- c) Hitung respon spektra S_a aktual(T) dengan redaman yang sama dengan target spektra
- d) Hitung rasio antara respon spektra *time history* aktual dan target spektra $\{SPR(T)\}$ pada Persamaan 3.31 berikut

$$SPR(T) = \frac{S_a^{target}(T)}{S_a^{actual}(T)} \quad (3.31)$$

- e) Hitung spektra fourier aktual $\{F_{aktual}(\omega)\}$ dari *time history* $\{TH_{aktual}(t)\}$ menggunakan algoritma analisis fourier diskrit (DFA)
- f) Gunakan domain frekuensi $SPR(\omega)$ dalam bentuk Persamaan 3.32 berikut.

$$FILT(\omega) = \begin{cases} 1, & \omega < \omega_{max} \\ SPR & \omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{max} \\ 1, & \omega > \omega_{max} \end{cases} \quad (3.32)$$

Untuk melakukan filtering terhadap Fourier aktual dengan hasil filtering berupa Fourier fitered $[F_{filtered}(\omega)]$ dalam bentuk Persamaan 3.33 bberikut.

$$F_{filtered}(\omega) = FILT(\omega) F_{aktual}(\omega) \quad (3.33)$$

dengan T dan ω berturut-turut adalah priode spektra (periode gelombang) dan frekuensi siklik. Sedang ω_{min} dan ω_{max} adalah minimum dan maksimum frekuensi *matching*.

- g) Hitung *time history* dengan karakteristik frekuensi pada langkah (f) menggunakan invers fourier untuk mendapatkan TH(t) dari target spektra.
- h) Hitung error rata-rata (diviasi respon spektra dari TH(t) terhadap target spektra). Jika error terhitung pada langkah ini diterima dalam batas toleransi yang ditentukan, maka perhitungan telah selesai. Jika error tidak diterima, maka langkah (b) sampai dengan (h) diulangi sampai error dapat diterima.

Dalam *matching* dengan domain frekuensi, estimasi kesalahan dapat dilakukan seperti dalam *matching* dengan domain waktu yaitu menggunakan Persamaan (3.31). Oleh karena itu bentuk Persamaan untuk menentukan kesalahan pada domain frekuensi terdapat pada Persamaan 3.34 berikut.

$$|error|_n \% = 100 \sqrt{\frac{\int_{TA}^{TB} (S_a^{actual} - S_a^{target})^2 dT}{\int_{TA}^{TB} S_a^{actual} dT}} \quad (3.34)$$

dengan S_a *scaled*(T) adalah respon spektra *time history* {THaktual(t)} yang dihasilkan oleh spectral *matching* dalam domain frekuensi dan S_a target(T) target spektra.

Dalam studi ini, untuk mengembangkan *time history artificial* akan dilakukan spectral *matching* dalam domain frekuensi. Karena prosedur spektral *matching* ini sulit dihitung secara manual maka diperlukan program komputer untuk melakukan perhitungan.

3.8 Time history Actual

Time history percepatan gerakan tanah gempa hasil pengukuran (hasil rekaman) disebut sebagai *time history actual*. *Time history* ini akan digunakan sebagai *time history* dasar untuk mengembangkan *time history* baru yang disebut sebagai *time history* percepatan gempa *artificial*. *Time history* aktual dapat diperoleh dari sumber-sumber atau instansi-instansi tertentu. Di Indonesia *time history* percepatan gempa hasil pengukuran dikoleksi oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) sebagai instansi utama yang mengoperasikan alat ukur akselerograf milik pemerintah. Data *time history* ini tidak dapat digunakan oleh pihak lain sekalipun untuk kepentingan ilmu pengetahuan karena telah ditetapkan dalam undang-undang sebagai data yang merupakan rahasia Negara. Oleh karena itu untuk mendapatkan data *time history* untuk melakukan riset di Indonesia terpaksa di ambil dari pihak lain. Yang membuka secara bebas unuk akses data *time history* adalah PEER di Universitas Bercley di Amerika Serikat dengan *website* bernama NGAWEST dan NGAEAST. Dari *website* ini dapat didownload secara mudah data *time history* yang dibutuhkan.

3.9 Respon Spektra Target

Respon spektra target merupakan kurva yang mengGambarkan hubungan antara periode getar struktur dengan percepatan spektral (S_a) yang digunakan sebagai acuan dalam analisis gempa. Penentuan respon spektra ini didasarkan pada

hasil analisis bahaya gempa secara probabilistik (PSHA) yang menghasilkan Uniform Hazard Spectrum (UHS) dengan tingkat probabilitas terlampaui tertentu, seperti 2% dalam 50 tahun. Kurva tersebut kemudian disesuaikan dengan kondisi tanah setempat menggunakan parameter V_{s30} untuk memperhitungkan efek amplifikasi tanah sesuai klasifikasi *site class* berdasarkan standar yang berlaku.

Hasil respon spektra target menunjukkan bahwa nilai percepatan spektral tertinggi terjadi pada periode pendek dan menurun seiring bertambahnya periode getar. Kurva ini digunakan sebagai dasar dalam proses *spectral matching* untuk menghasilkan input gempa berupa *time history* yang sesuai dengan kondisi lokasi studi. Dengan demikian, respon spektra target berperan penting dalam memastikan analisis dan perancangan struktur tahan gempa dapat merepresentasikan potensi bahaya gempa secara akurat.

3.10 Perambatan Gelombang

Untuk mengetahui gelombang gempa di permukaan tanah dalam bentuk *time history* gelombang gempa maka, gelombang gempa harus dirambatkan dari batuan dasar dengan menggunakan analisis respons tanah hingga ke permukaan. Analisis tersebut berkaitan dengan perambatan gelombang geser secara vertikal dari batuan dasar ke permukaan tanah dalam sistem berlapis satu dimensi. Teori tersebut digunakan oleh Bardet dan Tobita untuk mengembangkan program komputer untuk analisis respon lokasi non-non-linier pada endapan tanah berlapis. Persamaan untuk membuat perhitungan analisis terdapat pada Persamaan 3.35 berikut.

$$\rho \frac{\partial^2 d}{\partial t^2} + \eta \frac{\partial d}{\partial t} = \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (3.35)$$

dimana

- ρ = satuan massa tanah
- d = perpindahan horizontal
- z = kedalaman
- t = waktu

τ = tegangan geser

η = koefisien pembuangan proporsional massa

Namun dalam penelitian ini dimanfaatkan komputer program DEEPSOIL untuk merambat dan mencari gelombang gempa di permukaan tanah.

3.11 Program DEEPSOIL

DEEPSOIL merupakan perangkat lunak berbasis satu dimensi (1D) yang digunakan untuk melakukan analisis respons seismik lokal pada lapisan tanah akibat beban gempa. Program ini dikembangkan oleh University of Illinois at Urbana-Champaign dan banyak digunakan dalam kajian geoteknik seismik untuk memodelkan propagasi gelombang gempa dari batuan dasar menuju permukaan tanah. DEEPSOIL mampu mensimulasikan respon tanah baik dalam kondisi non-linier maupun nonnon-linier, serta memungkinkan analisis peredaman dan amplifikasi gelombang akibat kondisi stratifikasi tanah.

Input utama yang digunakan dalam DEEPSOIL meliputi:

1. Profil Tanah
 - Tebal setiap lapisan (m)
 - Berat volume (kN/m^3)
 - Modulus geser awal ($G_{\max}$)
 - Nilai VS (kecepatan gelombang geser, m/s)
 - Rasio redaman (damping ratio, %)
 - Parameter kurva regangan-geser (*strain-dependent* modulus *reduction* dan *damping curve*)
2. Data gempa *input* yaitu *time history* percepatan gempa yang telah disesuaikan (*matched*) berdasarkan respon spektra target hasil analisis PSHA.
3. Kondisi batas yang umumnya menggunakan kondisi batas *rigid bedrock* atau *elastic half-space*, tergantung dari karakteristik batuan dasar pada lokasi penelitian.

Output utama dari DEEPSOIL yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *time history* permukaan yang memberikan gambaran suatu respons percepatan tanah di permukaan terhadap *input* gempa yang dimasukkan, serta spektrum respons di permukaan yang digunakan untuk melihat besarnya percepatan maksimum pada berbagai periode getar struktur.

3.12 Program Plaxis

Program komputer yang umum digunakan untuk analisis di bidang geoteknik adalah plaxis. Plaxis adalah program elemen hingga untuk analisis di bidang geoteknik di mana aplikasi ini menggunakan model-model tanah untuk simulasi perilaku yang terjadi di tanah. Prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah sehingga memungkinkan pembuatan model elemen hingga yang rumit menjadi lebih cepat dengan fasilitas yang dapat menampilkan hasil yang lebih rinci. Model yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu model Mohr-Coulomb yang merupakan model elastis – plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu E dan μ untuk memodelkan elastisitas tanah, ϕ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah, dan ψ sebagai sudut dilatasi.

Dalam pemrograman plaxis, menurut SNI 8460:2017, metode pseudostatik digambarkan dengan pengaruh gempa berupa percepatan horizontal dan atau vertikal. Koefisien dari nilai seismik yang digunakan adalah nilai puncak di permukaan (PGA). Untuk koefisien seismik horizontal yang dimasukan ke dalam perhitungan metode pseudostatik adalah koefisien seismik horizontal yang bernilai 0,5 dari PGA.

Terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan dalam tahap pengerjaan program Plaxis seperti berikut ini.

1. *Input data*

Pada tahap pertama ini dilakukan pemodelan pada aplikasi agar sesuai dengan kondisi asli di lapangan. Beberapa data yang dimasukan seperti properties tanah di setiap lapisan, beban yang ada di tanah tersebut, dan letak kedalaman muka air

2. *Calculation*

Setelah memasukan semua data yang diperlukan untuk dianalisis oleh Plaxis, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan perhitungan dari pemodelan yang sudah ada.

3. *Output*

Setelah melakukan kalkulasi, plaxis akan menampilkan *output* hasil perhitungan. Hasil dari kalkulasi dapat berupa angka, Gambar, dan kurva

4. *Curve*

Plaxis dapat dipakai untuk mengGambarkan kurva hubungan antara dua variabel seperti hubungan beban terhadap *displacement* dan diagram tegangan-regangan.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian adalah proses yang dilakukan oleh peneliti dalam rangka mengumpulkan data serta melakukan analisis terhadap data yang telah didapatkan. Penelitian ini dilakukan pada timbunan tanah pembangunan jalan Tol Jogja – Bawen seksi 1 menggunakan metode PSHA dan menggunakan program Plaxis 2D V20 yang menghasilkan respon timbunan tanah terhadap getaran gempa.

4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di lokasi pembangunan jalan Tol Jogja – Bawen seksi 1 STA. 70+375 dengan titik koordinat -7.707891; 110.285979 yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.

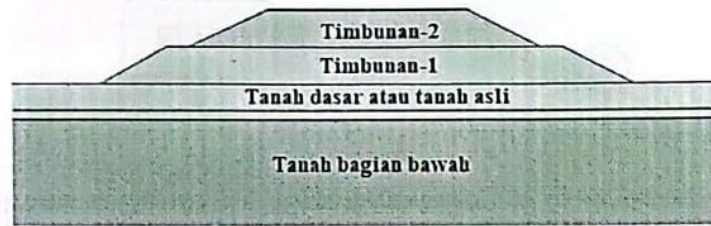


Gambar 4.1 Lokasi Penelitian

(Sumber: Google Earth, 2024)

4.3 Data Penelitian

Data yang diperlukan adalah data timbunan tanah. Berikut merupakan Gambar timbunan tanah yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Contoh timbunan tanah

Berikut merupakan data – data yang diperlukan untuk kepentingan analisis.

1. Data Primer

Data primer yang digunakan yaitu *time history* dan data sumber gempa.

2. Data Sekunder

Data yang diperlukan kondisi tanah *site* berupa data titik koordinat *site*, parameter tanah timbunan, dan dimensi timbunan.

4.4 Tahapan Penelitian

4.4.1 Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan dilakukan pencarian dan mempelajari studi literatur terkait penelitian yang akan dilakukan.

4.4.2 Tahap Pengumpulan Data

Tahapan ini dilakukan pengumpulan data primer maupun data sekunder untuk pendukung penelitian.

4.4.3 Tahap Analisis Data

Pada tahap analisis data ini dilakukan langkah langkah sebagai berikut.

1. Mengembangkan *time history* menggunakan metode PSHA.
2. Merambatkan *time history* di batuan agar menjadi *time history* dipermukaan menggunakan aplikasi DEEPSOIL.
3. Menganalisis respon timbunan tanah terhadap gelombang percepatan gempa dipermukaan menggunakan aplikasi Plaxis.

4.4.4 Tahap Pembahasan

Pada tahap pembahasan berisi hasil dari penelitian secara sistematis dan lengkap. Dari hasil pembahasan ini peneliti dapat membuat kesimpulan yang menjawab rumusan masalah dari penelitian ini.

4.5 Tahapan Pemrograman DEEPSOIL

Tahapan pengoperasian DEEPSOIL v7 sebagai berikut.

1. Membuat definisi analisis dengan memilih tipe analisis yang akan digunakan.
2. Membuat definisi setiap lapisan tanah.
3. Memasukkan pilihan gerakan tanah yang akan digunakan dalam analisis
4. Memasukkan redam (*viscous*)/regangan hanya untuk analisis domain waktu dan hal ini digunakan untuk mengatur formulasi redaman dan memilih mode/frekuensi yang optimal untuk analisis.
5. Menentukan kontrol analisis yang akan digunakan untuk langkah selanjutnya.

4.6 Tahapan Pemrograman *Plaxis 2D V20*

Pada tahapan ini dilakukan menggunakan *software* Plaxis 2D V20 dengan beberapa tahap berikut

4.6.1 *Plaxis Input*

Pada tahapan ini memasukkan data yang digunakan untuk pemodelan timbunan tanah yang akan digunakan untuk analisis menggunakan program *Plaxis 2D V20*.

1. Membuka program *Plaxis 2D V20*
2. Membuat *project properties*
3. Pemodelan geometri
4. *Input* parameter material yang digunakan
5. *Mesh generation*

4.6.2 *Plaxis Calculation*

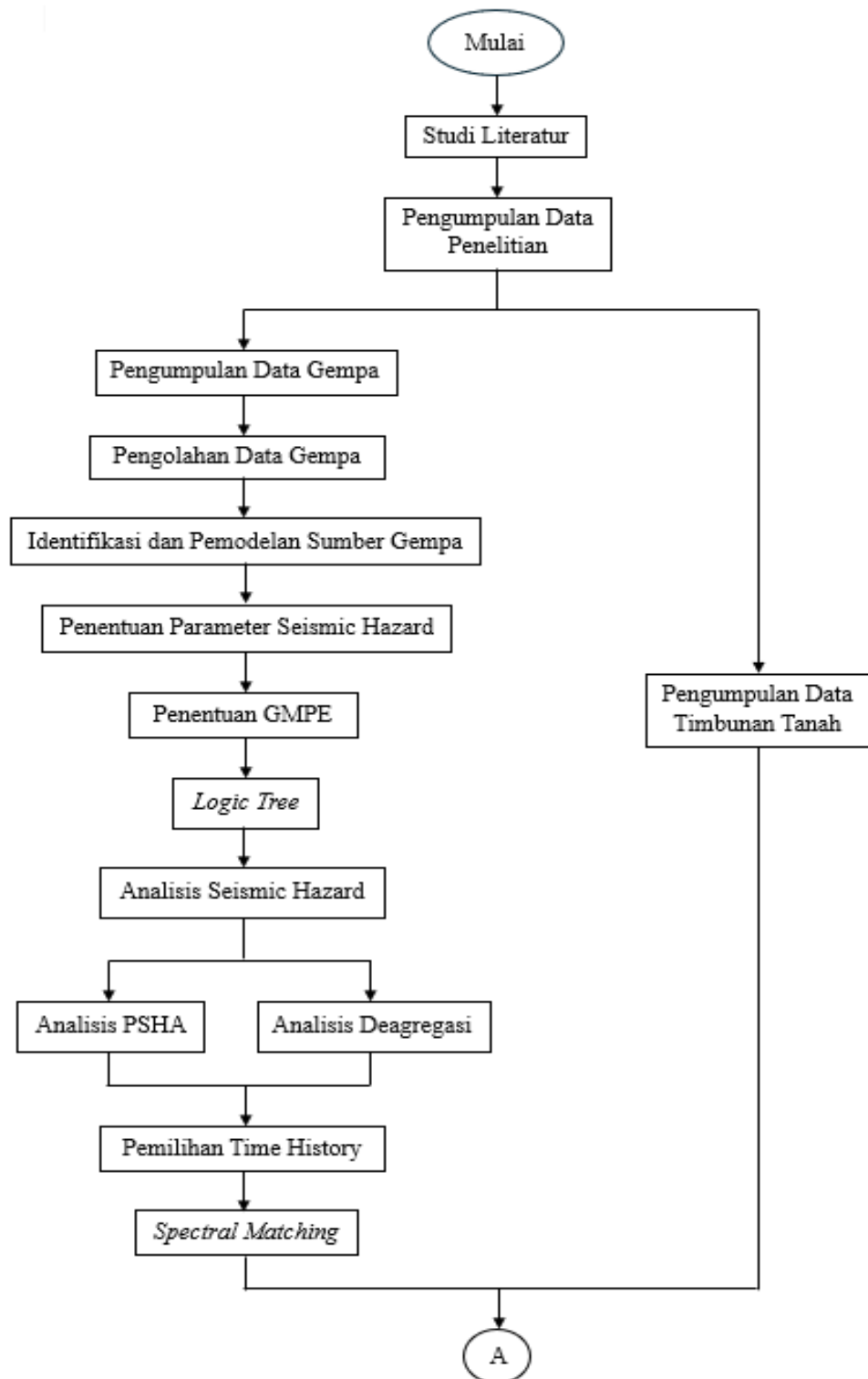
Tahap kalkulasi ini dilakukan pada opsi *staged construction* dengan membuat *phase*. *Phase* disini digunakan untuk memodelkan setiap tahapan kejadian yang terjadi di lapangan.

4.6.3 *Plaxis Output*

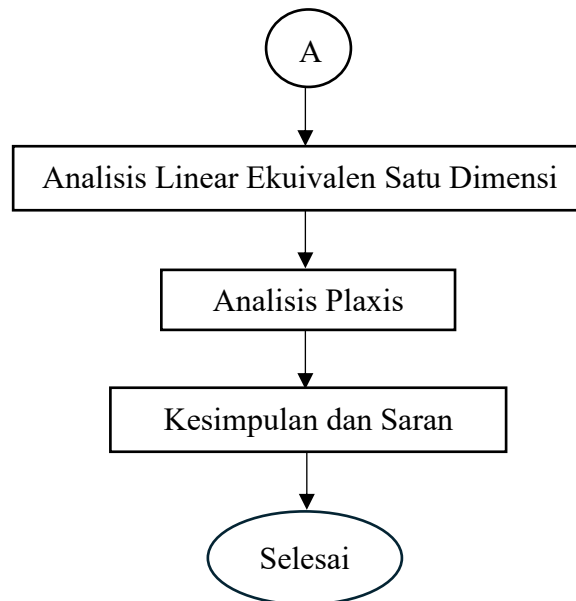
Hasil analisis kalkulasi dapat dilihat melalui program *Plaxis Output* dengan memilih fitur *view calculation results*.

4.7 Bagan Alir Penelitian

Alur penelitian dapat dilihat di dalam bagan Gambar 4.3 berikut.



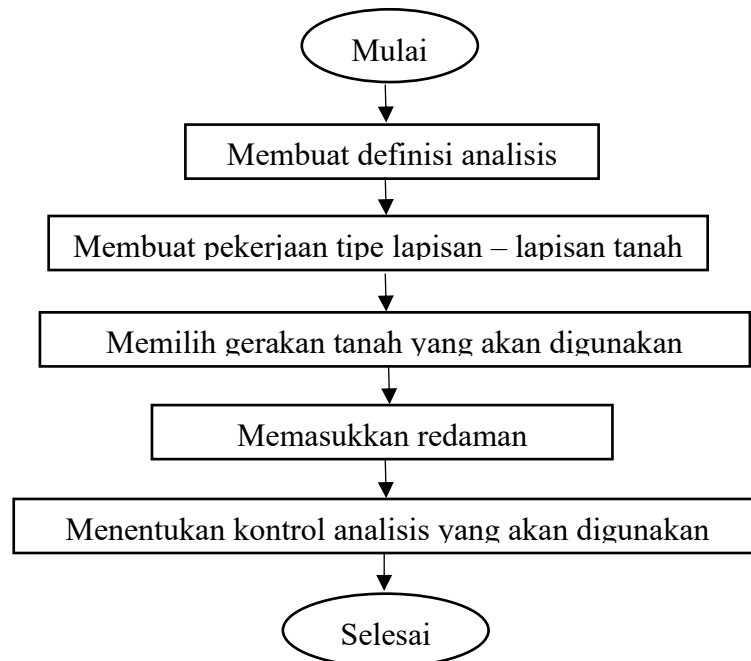
Gambar 4.3 Bagan alir penelitian



Lanjutan Gambar 4.3 Bagan alir penelitian

4.8 Bagan Alir Analisis Pemrograman DEEPSOIL

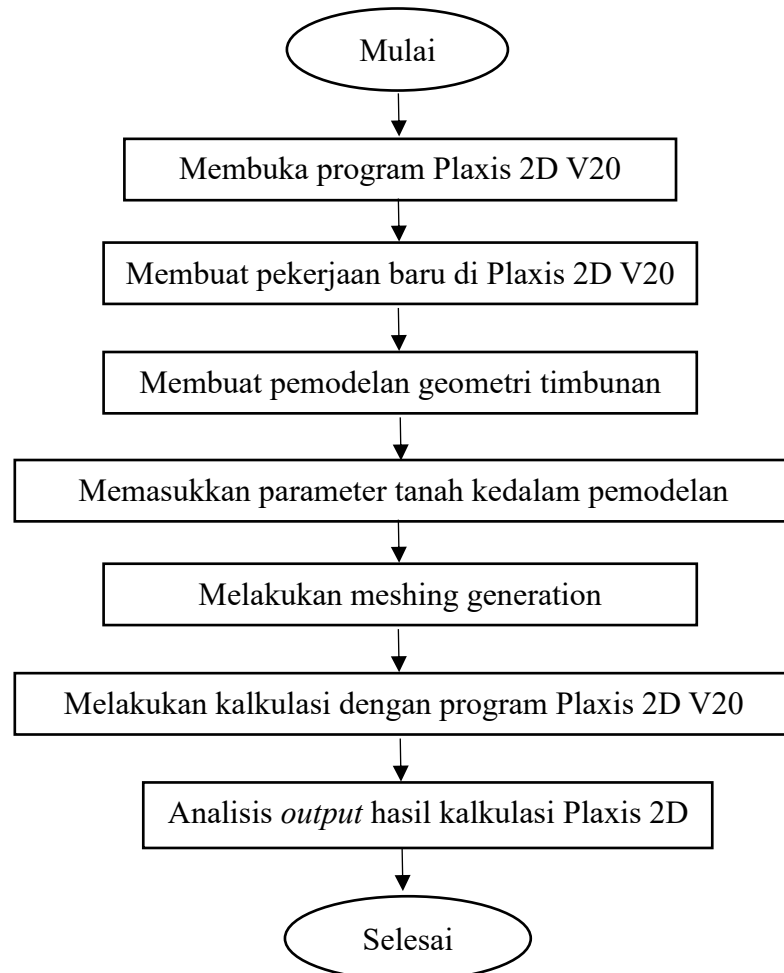
Berikut merupakan bagan alir dalam pemrograman menggunakan DEEPSOIL v7 dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Bagan alir analisis pemrograman DEEPSOIL

4.9 Bagan Alir Analisis Pemrograman Plaxis

Berikut merupakan bagan alir dalam pemrograman menggunakan *Plaxis 2D V20* dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Bagan alir analisis pemrograman Plaxis

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

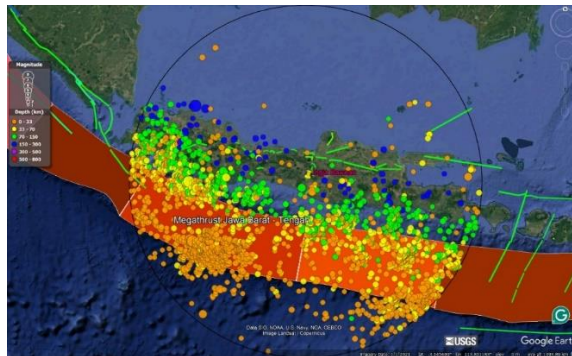
PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS

5.1 Data Gempa

Data gempa yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sumber gempa, konversi skala gempa, pemisahan gempa utama dan ikutan, serta kelengkapan data gempa.

5.1.1 Data Sumber Gempa

Sumber gempa untuk Jawa didefinisikan atas dasar kejadian episenter gempa yang tercatat dalam kawasan yang secara historik telah memunculkan kejadian gempa kecil maupun besar. Adapun beberapa ketentuan yang digunakan untuk mengambil katalog sumber gempa yang digunakan yaitu tepat pada titik koordinat $-7.707891; 110.285979$, radius sumber gempa yang digunakan 500 km dari titik penelitian, memiliki magnitude $4,5 > M > 9$, dengan kedalaman Max 300 km, dan berada pada rentang tahun 1973-2023. Hasil sebaran sumber data gempa dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Sebaran Data Gempa Radius 500 km

(Sumber: USGS dan Google Earth, 2024)

5.1.2 Konversi Skala Magnitude Gempa (M_w)

Data kejadian gempa yang diperoleh atau dikumpulkan dari USGS memiliki skala magnitude yang berbeda. Skala magnitude yang diperoleh antara lain adalah *surface wave* magnitude (M_s), *Richter local* magnitude (M_L), *body wave* magnitude (M_b), dan *moment* magnitude (M_w). Untuk menjamin konsistensi dalam analisis kegempaan, maka digunakan skala magnitude yang sama yaitu Magnitude momen (M_w), karena lebih konsisten dibandingkan dengan skala yang lain. Berikut merupakan Tabel korelasi konversi antara beberapa skala magnitude yang dapat dilihat pada Tabel 5.1.

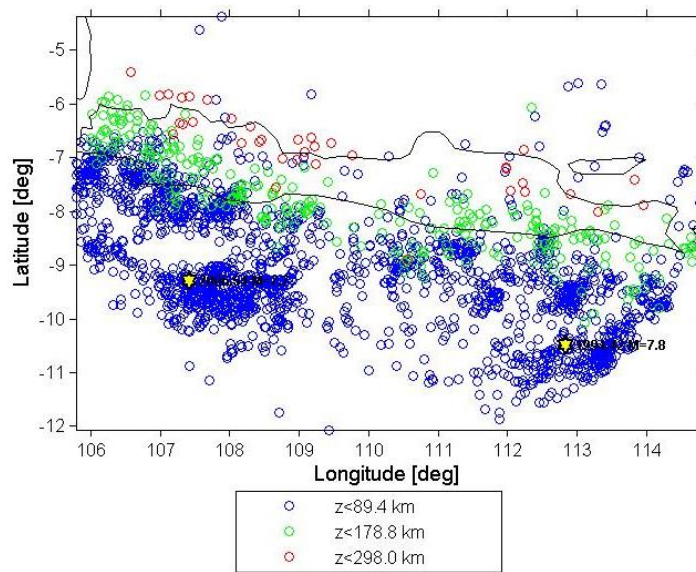
Tabel 5.1 Korelasi Konversi Antara Beberapa Skala Magnitude untuk wilayah Indonesia

Korelasi Konversi	Jumlah Data (Events)	Range Data	Kesesuaian (R^2)
$M_w = 0.6016 M_s + 2.476$	6718	$2.8 \leq M_s \leq 6.1$	80.13%
$M_w = 0.9239 M_s + 0.5671$	6718	$6.2 \leq M_s \leq 8.7$	81.83%
$M_w = 1.0107 M_b + 0.0801$	19162	$3.7 \leq M_b \leq 8.2$	69.75%
$M_w = M_L$	2282	$3.0 \leq M_w \leq 7.8$	85.05%

(Sumber: PusGen, 2022)

Dari hasil penelusuran tahun 1973 – 2023 dengan magnitude M_w 4.5 – 9.0 diperoleh sebanyak 2.236 kejadian gempa dengan berbagai skala magnitude. Selanjutnya data tersebut dikonversi menjadi skala momen magnitude yang dapat dilihat pada Lampiran 1. Selanjutnya data tersebut dikonversi menjadi skala momen magnitude menurut Pusat Studi Gempa Nasional (2022).

Data gempa yang terkumpul dari berbagai katalog dari USGS terdiri dari bermacam jenis magnitude. Selanjutnya dilakukan penyeragaman jenis magnitude, konversi magnitude bertujuan untuk menyetarakan magnitude gempa dari berbagai skala dan katalog gempa, berdasarkan teori yang tertera pada Tabel 5.1 dengan mengacu pada korelasi konversi dari Pusat Studi Gempa Nasional, 2022. Gambar 5.2 menunjukkan distribusi episenter gempabumi untuk wilayah Tol Jogja Bawen dan sekitarnya dari tahun 1973 sampai dengan akhir Desember 2023.



Gambar 5.2 Distribusi Episenter Gempa Bumi untuk Wilayah Tol Jogja Bawen dan sekitarnya dari Tahun 1973 – 2023

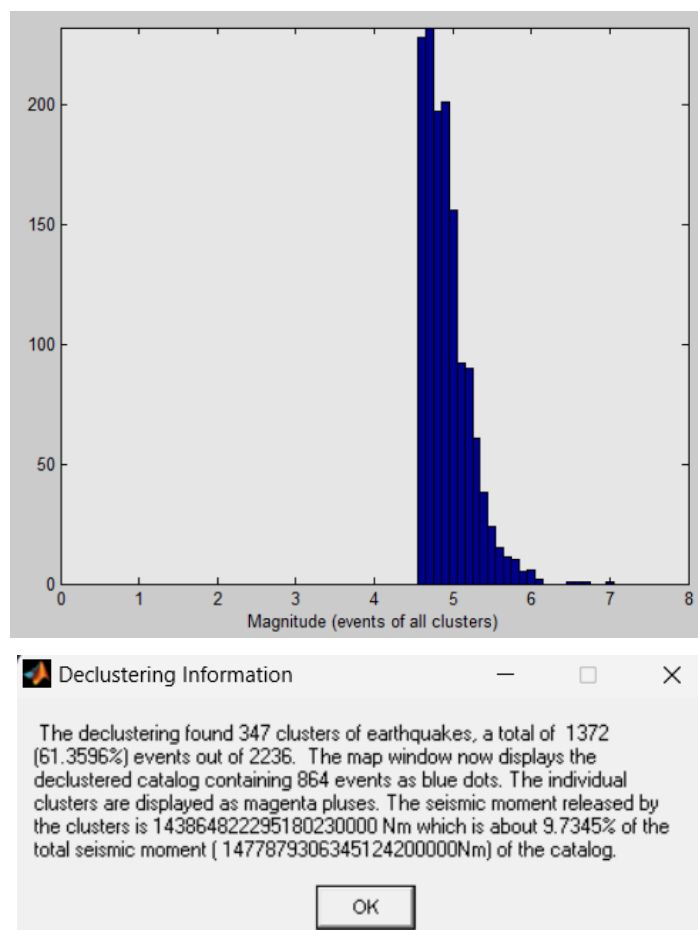
(Sumber: ZMap)

5.1.3 Pemisahan Gempa Utama dan Gempa Ikutan

Analisis dilakukan untuk memperoleh gempa utama atau gempa independen (*mainshock*). Gempa utama merupakan gempa dengan magnitude terbesar yang diikuti oleh magnitude yang lebih kecil saat sebelum dan sesudah terjadinya gempa utama. Gempa yang terjadi sebelum gempa utama dinamakan gempa rintisan atau *foreshock*, sedangkan gempa setelah gempa utama dinamakan gempa susulan atau *aftershock*. Gempa rintisan dan susulan inilah biasa disebut sebagai gempa dependen yang digunakan pula sebagai analisis resiko gempa selain gempa independen (*mainshock*). Data yang akan dipergunakan untuk analisis *hazard* hanya gempa – gempa utama (*mainshock*), sehingga proses pemisahan gempa utama dengan gempa ikutan (*foreshock* dan *aftershock*). Proses pemisahan gempa utama dari gempa ikutan (*declustering*) dilakukan dengan menggunakan kriteria rentang jarak dan waktu hingga diperoleh gempa utama didasarkan pada metode empiris Gardner dan Knopoff (1974). Proses *declustering* dilakukan dengan bantuan software ZMAP. Hasil dari proses *declustering* dapat berupa gempa – gempa utama

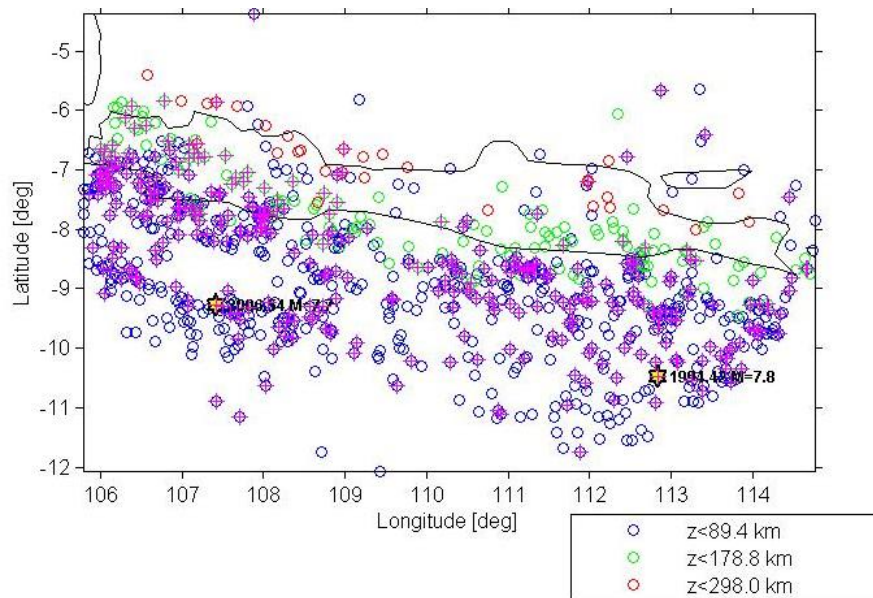
atau gempa yang *independent (mainshock)* dari hasil penyeragaman magnitude diperoleh kurang lebih 2.236 kejadian (*event*) gempa di wilayah Tol Jogja Bawen.

Data yang akan dipergunakan untuk analisis *hazard* hanya gempa-gempa utama (*mainshock*), sehingga diperlukan proses pemisahan gempa utama dengan gempa ikutan (*foreshock* dan *aftershock*). Proses pemisahan gempa utama dari gempa ikutan (*declustering*) dilakukan dengan menggunakan kriteria rentang jarak dan waktu sebagaimana diusulkan oleh Gardner dan Knopoff (1974). Hasil dari proses *declustering* berupa gempa-gempa utama atau gempa yang independen (*mainshock*) yang berjumlah 347 kejadian (*event*) gempa sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Histogram dan Hasil dari *declustering* sebaran magnitude gempa wilayah Tol Jogja Bawen semua klaster

Berdasarkan hasil *declustering* Gambar 5.3 pada gempa di wilayah Tol Jogja Bawen diperoleh 347 klaster gempa, sebanyak 1372 (61.3596%) kejadian dari 2236 kejadian gempa. Katalog gempa hasil *declustering* adalah sejumlah 864 yang disajikan dengan titik warna biru pada Gambar 5.4.

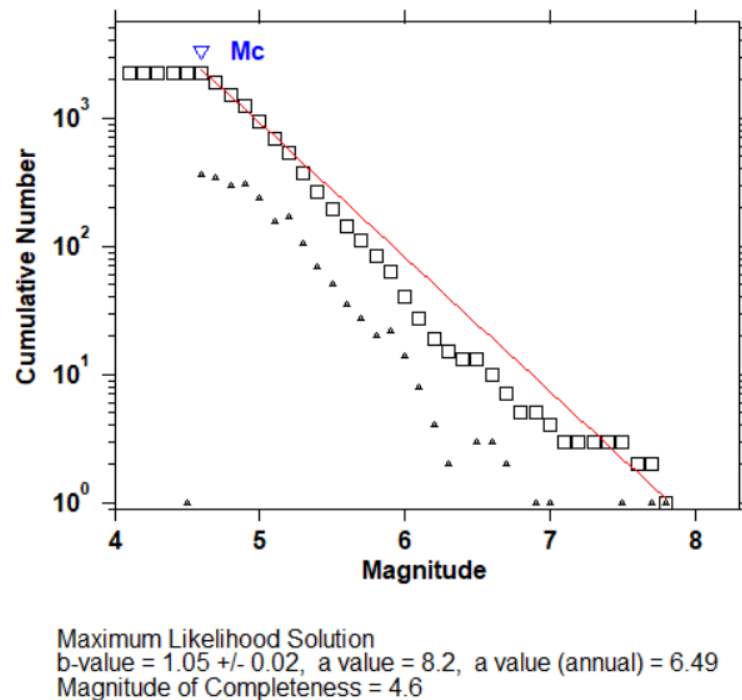


Gambar 5.4 Hasil analisis pemisahan gempa utama (*independent*) terhadap gempa *foreshock* dan *aftershock* (dependen) menggunakan metode Gardner dan Knopoff (1974)
(Sumber: ZMAP)

5.1.4 Kelengkapan Data Gempa M_c (*Magnitude Completeness*)

Mengetahui riwayat kejadian gempa serta ketidakseragaman katalog gempa yang tersedia merupakan faktor utama dalam menilai interval pengulangan kejadian gempa dan menilai bahaya seismik untuk *site* tertentu. Untuk dapat memperkirakan bahaya gempa melalui analisis bahaya gempa, diperlukan data gempa dalam satu kurun waktu tertentu dimana kejadian gempa *independent* dalam rentang magnitude tertentu dapat dikatakan lengkap dalam suatu katalog. Ketidak lengkapan data gempa akan mengakibatkan parameter risiko gempa menjadi *overestimated* dan *underestimated* (Makrup, 2013).

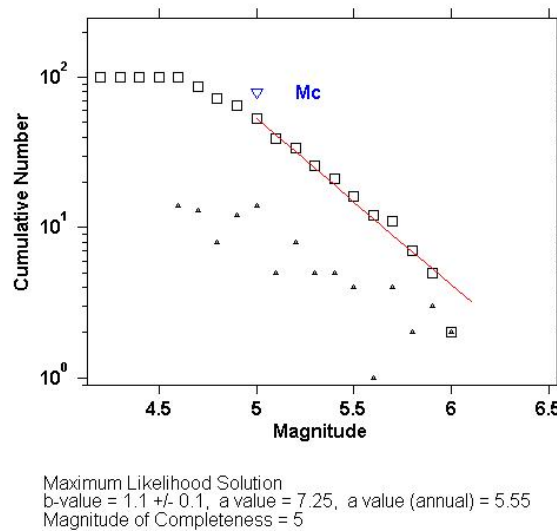
Agar dapat diketahui periode waktu yang menyatakan bahwa katalog gempa yang digunakan lengkap, maka frekuensi kejadian gempa *independent* untuk beberapa rentang magnitude diplotkan terhadap waktu. Waktu yang dimaksud, dihitung mulai waktu pengamatan terakhir kebelakang (Makrup 2013). Hasil analisis kelengkapan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Kelengkapan Data Gempa di Wilayah Tol Jogja Bawen
 (Sumber: ZMAP)

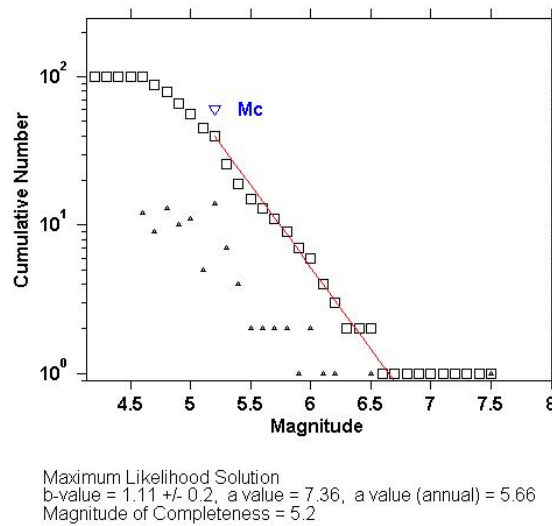
Gambar 5.5 berikut menunjukkan nilai *magnitude completeness* (M_c) data gempa disekitar wilayah Tol Jogja Bawen sekitar 4.6. Analisis kelengkapan katalog gempa bumi dilakukan untuk mengetahui kelengkapan data gempa yang diperlukan dalam proses analisis *probabilistic hazard* gempa. Ketidaklengkapan data gempa mempengaruhi parameter *hazard* gempa, yang dapat mengakibatkan hasil analisis yang *overestimated* atau *underestimated*. Data pencatatan kejadian gempa untuk kejadian-kejadian gempa besar lebih lengkap dibanding kejadian-kejadian gempa kecil. Hal ini disebabkan pada masa awal pengamatan, jumlah alat pencatat gempa tidak terlalu banyak, sehingga alat-alat tersebut hanya mencatat kejadian-kejadian gempa besar. Kelengkapan data pada suatu periode waktu tertentu dapat dilihat dari

gradien kecenderungan data yang berubah. Gambar 5.6 menunjukkan nilai kelengkapan data gempa *megathrust* Selat Sunda yaitu 5.



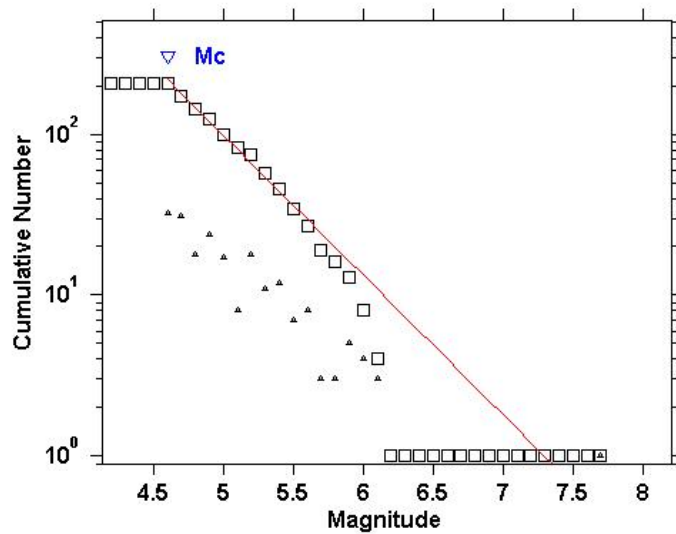
Gambar 5.6 Analisis Kelengkapan Data Gempa *Megathrust* Selat Sunda

Gambar 5.7 menunjukkan nilai kelengkapan data gempa benioff Selat Sunda yaitu 5.2.



Gambar 5.7 Analisis Kelengkapan Data Gempa Benioff Selat Sunda

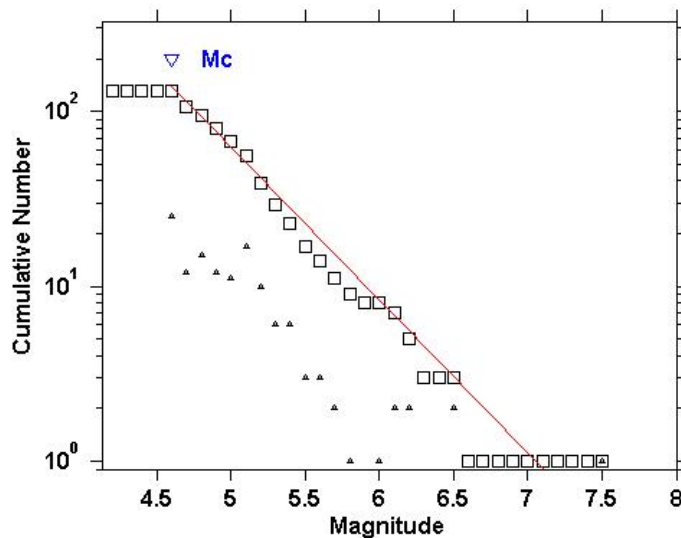
Gambar 5.8 menunjukkan nilai kelengkapan data gempa *megathrust* Jawa 1 yaitu 4.6.



Maximum Likelihood Solution
 $b\text{-value} = 0.867 \pm 0.05$, $a\text{ value} = 6.33$, $a\text{ value (annual)} = 4.63$
 Magnitude of Completeness = 4.6

Gambar 5.8 Analisis Kelengkapan Data Gempa *Megathrust* Jawa 1

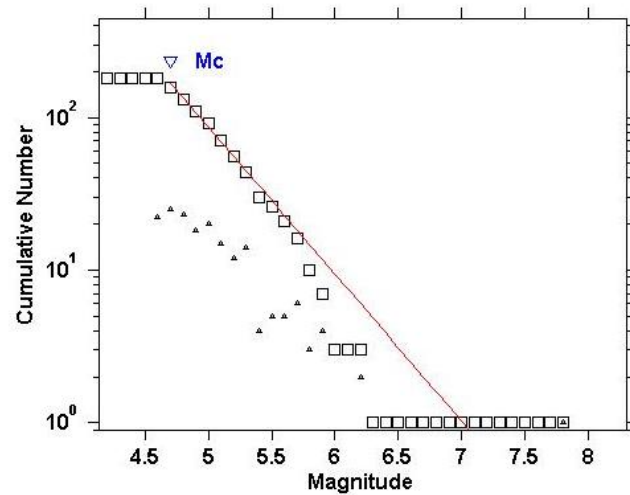
Gambar 5.9 menunjukkan nilai kelengkapan data gempa benioff Jawa 1 yaitu 4.6.



Maximum Likelihood Solution
 $b\text{-value} = 0.873 \pm 0.07$, $a\text{ value} = 6.16$, $a\text{ value (annual)} = 4.45$
 Magnitude of Completeness = 4.6

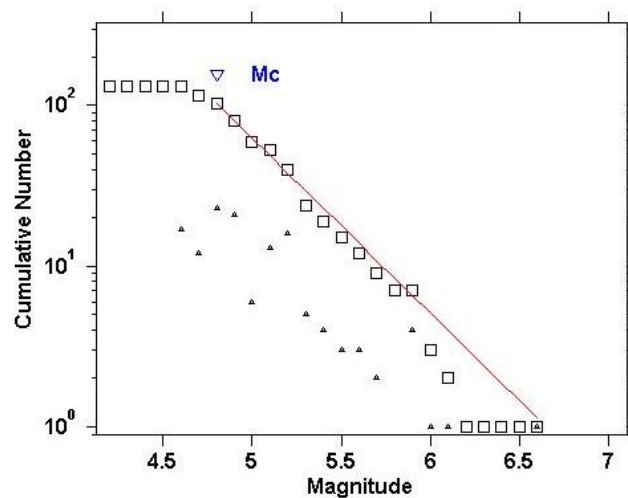
Gambar 5.9 Analisis Kelengkapan Data Gempa Benioff Jawa 1

Gambar 5.10 menunjukkan nilai kelengkapan data gempa *megathrust* Jawa 2 yaitu 4.7.



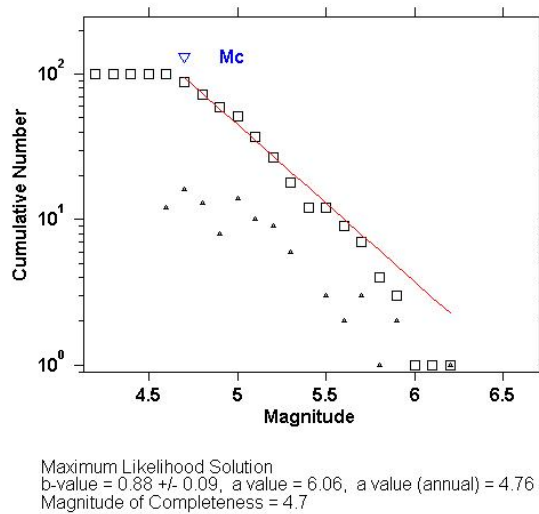
Gambar 5.10 Analisis Kelengkapan Data Gempa *Megathrust 2*

Gambar 5.11 menunjukkan nilai kelengkapan data gempa benioff Jawa 2 yaitu 4.8.



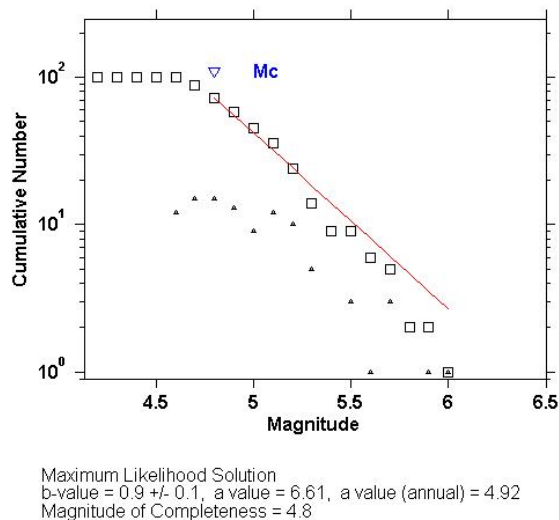
Gambar 5.11 Analisis Kelengkapan Data Gempa Benioff 2

Gambar 5.12 menunjukkan nilai kelengkapan data gempa *megathrust* Jawa 3 yaitu 4.7.



Gambar 5.12 Analisis Kelengkapan Data Gempa *Megathrust* Jawa 3

Gambar 5.13 menunjukkan nilai kelengkapan data gempa benioff Jawa 3 yaitu 4.8.



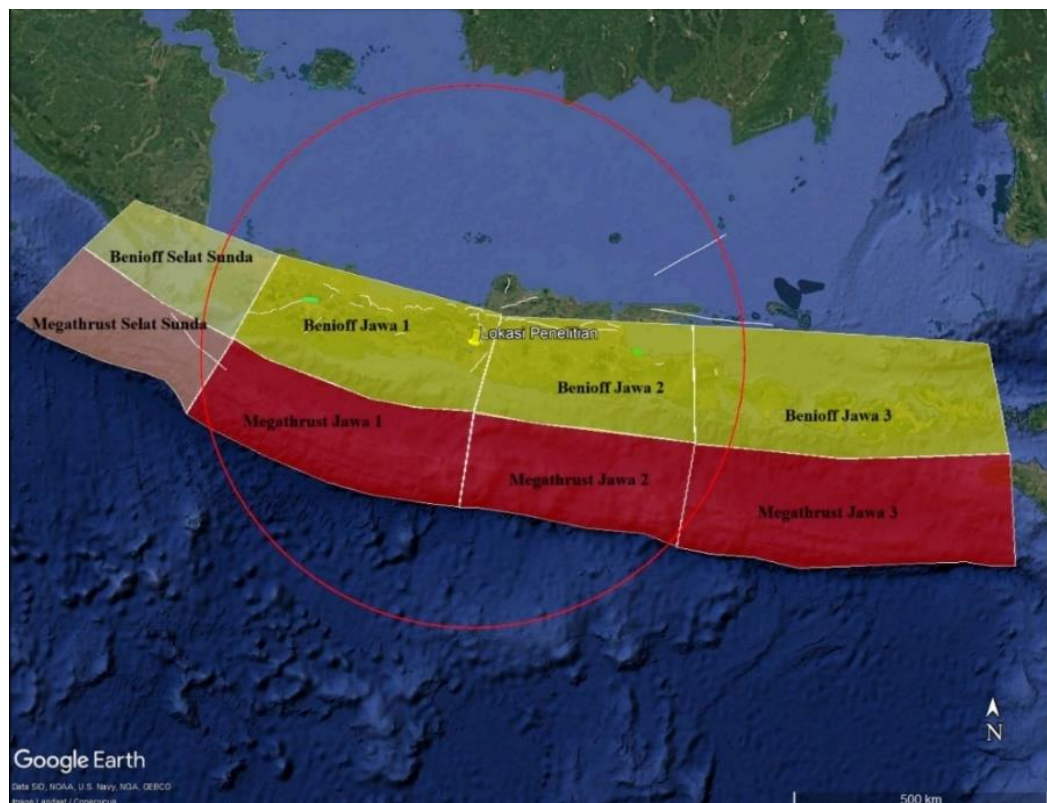
Gambar 5.13 Analisis Kelengkapan Data Gempa Benioff Jawa 3

5.2 Identifikasi dan Pemodelan Sumber Gempa

Sumber gempa pada penelitian ini terdapat dua tipe sumber gempa yaitu sumber gempa sesar/patahan dan sumber gempa subduksi. Sumber gempa subduksi merupakan model yang diperoleh berdasarkan data seismotektonik yang sudah teridentifikasi dengan baik. Parameter dari model subduksi meliputi lokasi (koordinat *longitude* dan *latitude*), kemiringan bidang subduksi (*dip*), *annual rate*,

dan b – value dari area subduksi yang didapatkan dari data gempa historis yang ada serta batas kedalaman area subduksi.

Zona subduksi yang mempengaruhi wilayah tol Jogja Bawen meliputi zona subduksi selat Sunda, Jawa 1, Jawa 2, dan Jawa 3 yang terbentuk akibat pergerakan lempeng tektonik Australia yang menunjam lempeng tektonik Eurasia. Sumber gempa subduksi terdiri dari zona *megathrust* (*interplate*) yang berada pada kedalaman kurang dari 50 km dan zona *benioff* (*intraslab*) dengan kedalaman lebih dari 50 km. Sumber gempa *Shallow crustal* terdiri dari sesar (*fault*) aktif di sekitar Pulau Jawa, Ujung Kulon B, RMKS East dan Bawean. Berikut Gambar 5.14 merupakan pemodelan sumber gempa.



Gambar 5.14 Pemodelan Sumber Gempa

(Sumber: Google Earth)

Sumber gempa *shallow crustal* terdiri dari sesar aktif di pulau Jawa, dimana pemodelan sumber gempa berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2022 diketahui sesar aktif terangkum sebanyak 31 sesar dengan mekanisme

berupa *left – lateral SS*, *reverse right – lateral SS*, *Normal*, *strike slip*, dan beberapa yang masih unknown.

Mekanisme gempa bumi pada patahan dapat dibedakan berdasarkan arah pergeseran blok batuan, yaitu *strike-slip*, normal, dan *reverse*, serta kombinasi di antaranya. Pada *strike-slip fault*, pergerakan dominan secara horizontal; jika blok di seberang patahan tampak bergeser ke kiri disebut *left-lateral*, dan jika ke kanan disebut *right-lateral*. *Reverse right-lateral strike-slip* adalah kombinasi gerakan horizontal ke kanan dan vertikal naik akibat tekanan kompresi, disebut juga sesar miring (*oblique*). Sementara itu, pada normal *fault*, blok atas (*hanging wall*) bergerak turun relatif terhadap blok bawah akibat regangan, dan pada *reverse fault*, blok atas bergerak naik akibat kompresi. Tabel 5.2 berikut menunjukkan sumber gempa subduksi.

Tabel 5.2 Zona Sumber Gempa Subduksi

Model Sumber Gempa	Zona Sumber Gempa
<i>Megathrust</i>	Selat Sunda
	Jawa 1
	Jawa 2
	Jawa 3
Benioff	Selat Sunda
	Jawa 1
	Jawa 2
	Jawa 3

(Sumber: PusGen, 2022)

Berikut merupakan Tabel 5.3 menunjukkan sumber gempa *fault*.

Tabel 5.3 Zona Sumber Gempa *Fault*

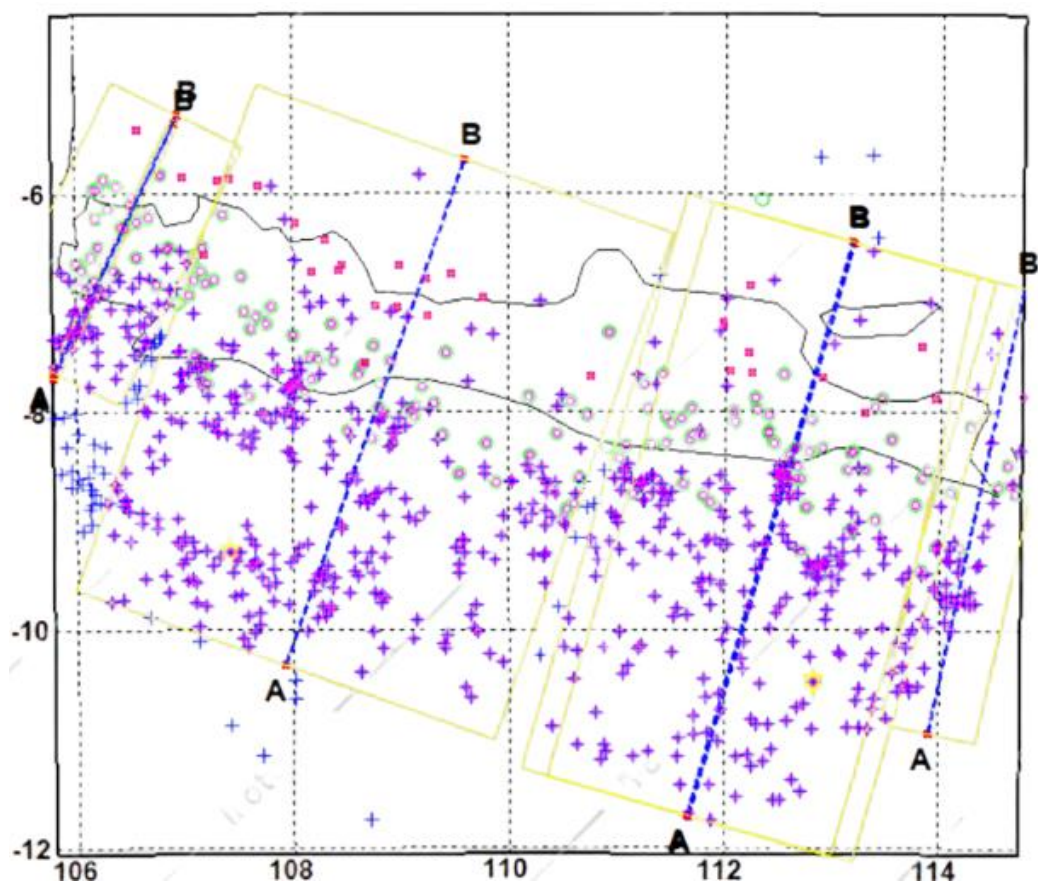
Zona Sumber Gempa	Segmen
Sumatera	Ujung Kulon B
Nusa Tenggara	Bawean
	RMKS East

Lanjutan Tabel 5.3 Zona Sumber Gempa *Fault*

Zona Sumber Gempa	Segmen
Jawa	Cimandiri
	Nyalindung-Cibeber
	Rajamandala
	Lembang
	Subang
	Ciremai
	Cirebon-1
	Cirebon-2
	Ajibarang
	Karang Malang
	Brebes
	Tegal
	Pekalongan
	Weleri
	Semarang
	Muria
	Ungaran-1
	Ungaran-2
	Rawapening
	Demak
	Purwodadi
	Pati Trust
	Opak
	Merapi Merbabu
	Cepu
	Waru
	Blumbang
	Surabaya

(Sumber: PusGen, 2022)

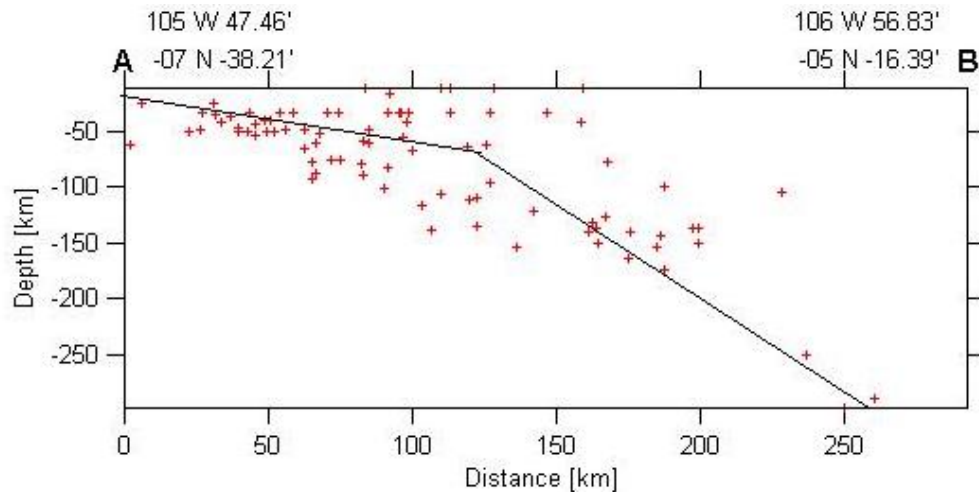
Sudut penunjaman zona subduksi Jawa dan Selat Sunda dapat diidentifikasi berdasarkan potongan melintang distribusi hiposenter di sekitar wilayah Jawa dan Selat Sunda. Gambar 5.15 menunjukkan potongan melintang distribusi hiposenter gempa untuk identifikasi sudut penunjaman (dip) zona subduksi Jawa dan Selat Sunda yang terdiri dari *megathrust* dan benioff. Berurutan dari sisi kiri hingga sisi kanan terdapat garis potongan melintang zona subduksi Selat Sunda, Zona Subduksi Jawa 1, Zona Subduksi Jawa 2, dan Zona Subduksi Jawa 3.



Gambar 5.15 Letak potongan melintang untuk menentukan sudut penunjaman zona subduksi Jawa.

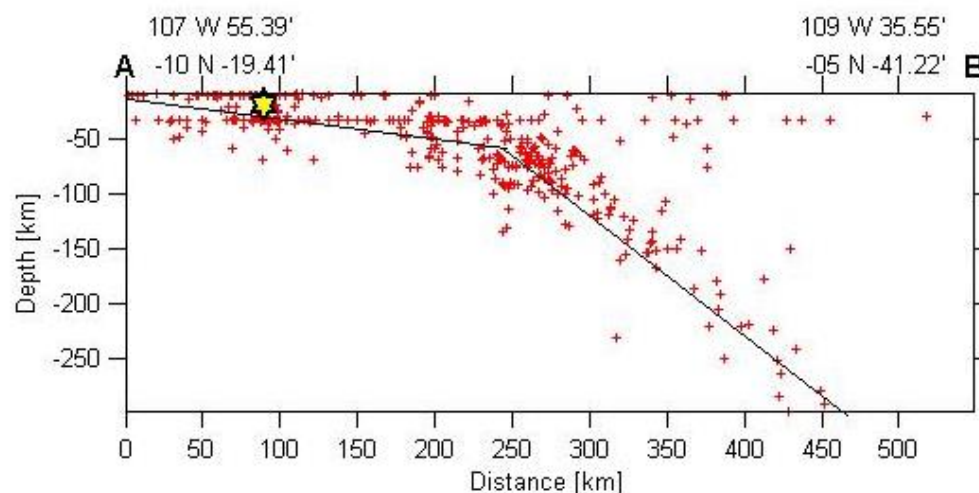
Hasil dari potongan melintang zona subduksi menunjukkan besarnya sudut penunjaman *megathrust* dan benioff. Garis penunjaman bagian atas menunjukkan besarnya sudut penunjaman benioff, dan sudut penunjaman bagian bawah menunjukkan besarnya sudut *megathrust*.

Gambar 5.16 menunjukkan sudut penunjaman untuk zona *megathrust* dan benioff di zona subduksi Selat Sunda. Hasil perhitungan menunjukkan sudut penunjaman (dip) sekitar 34° untuk zona benioff, dan 10° untuk zona *megathrust*.



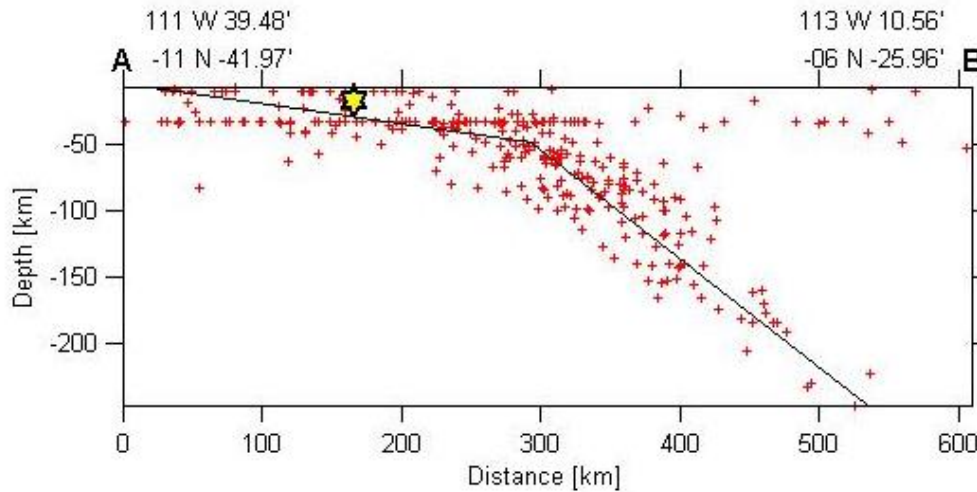
Gambar 5.16 sudut penunjaman untuk zona *megathrust* dan benioff di zona subduksi Selat Sunda.

Gambar 5.17 menunjukkan sudut penunjaman untuk zona *megathrust* dan benioff di zona subduksi Jawa 1. Hasil perhitungan menunjukkan sudut penunjaman (dip) sekitar 38° untuk zona benioff, dan 8° untuk zona *megathrust*.



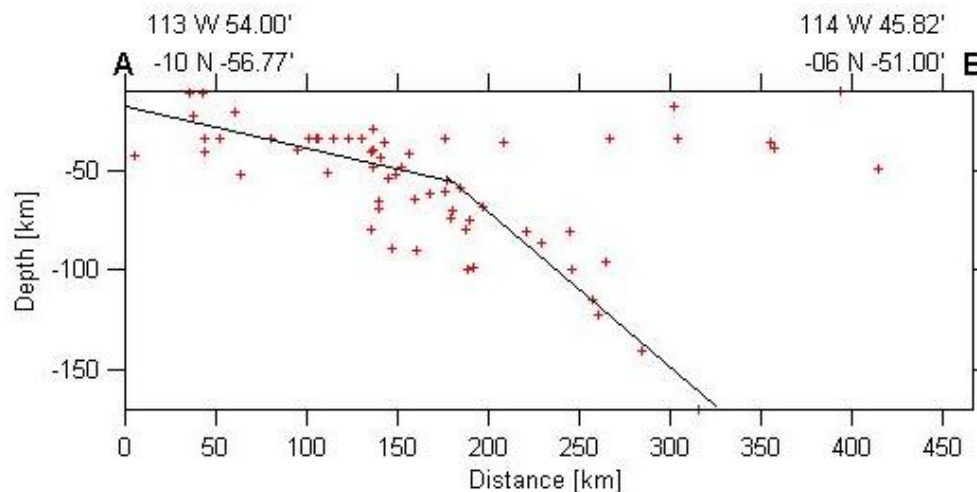
Gambar 5.17 Sudut penunjaman untuk zona *megathrust* dan benioff di zona subduksi Jawa 1.

Gambar 5.18 menunjukkan sudut penunjaman untuk zona *megathrust* dan benioff di zona subduksi Jawa 2. Hasil perhitungan menunjukkan sudut penunjaman (dip) sekitar 38° untuk zona benioff, dan 9° untuk zona *megathrust*.



Gambar 5.18 Sudut penunjaman untuk zona *megathrust* dan benioff di zona subduksi Jawa 2.

Gambar 5.19 menunjukkan sudut penunjaman untuk zona *megathrust* dan benioff di zona subduksi Jawa 3. Hasil perhitungan menunjukkan sudut penunjaman (dip) sekitar 40° untuk zona benioff, dan 12° untuk zona *megathrust*.



Gambar 5.19 Sudut penunjaman untuk zona *megathrust* dan benioff di zona subduksi Jawa 3.

Tabel 5.4 menunjukkan hasil penentuan besarnya sudut penunjaman pada potongan melintang di zona subduksi Selat Sunda dan tiga potongan melintang di zona subduksi Jawa.

Tabel 5.4 Sudut penunjaman zona subduksi Selat Sunda dan Jawa

Area	Sudut Penunjaman	
	Benioff Rata – Rata (Derajat)	<i>Megathrust</i> Rata – Rata (Derajat)
Selat Sunda	34	10
Jawa 1	38	8
Jawa 2	38	9
Jawa 3	40	12

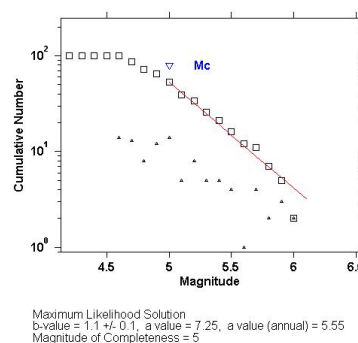
5.3 Karakteristik Sumber Gempa

Karakteristik pada masing-masing sumber gempa tercermin dalam penentuan nilai-a, nilai-b, magnitude maksimum, dan *slip-rate* (Makrup, 2013).

5.3.1 Nilai-a dan Nilai-b pada Sumber Gempa

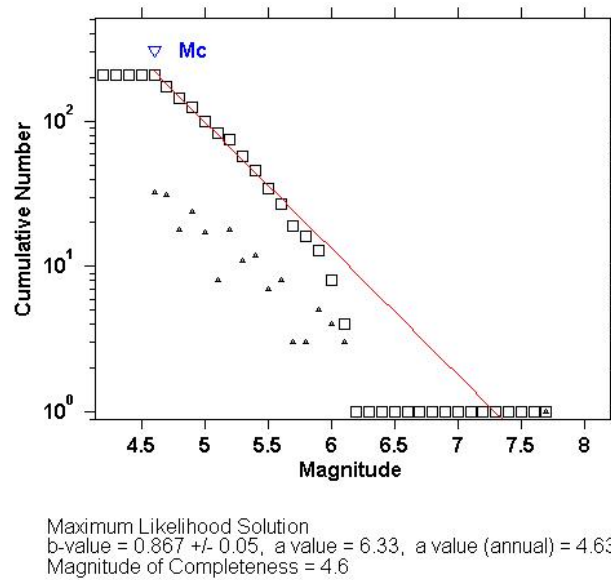
Nilai-a yang besar mengindikasikan tingginya tingkat seismisitas dan nilai-b yang besar mengindikasikan jumlah kejadian gempa dengan magnitude besar sedikit (Thant, 2008). Penentuan parameter nilai-a dan nilai-b dalam penelitian ini dianalisis menggunakan metode maximum likelihood (Aki, 1965), dengan menggunakan bantuan program ZMAP (Wiemer, 2001).

Gambar 5.20 menunjukkan nilai-a dan nilai b zona *megathrust* di zona subduksi Selat Sunda. Hasil menunjukkan nilai-a 5.36 dan nilai-b 1.05.



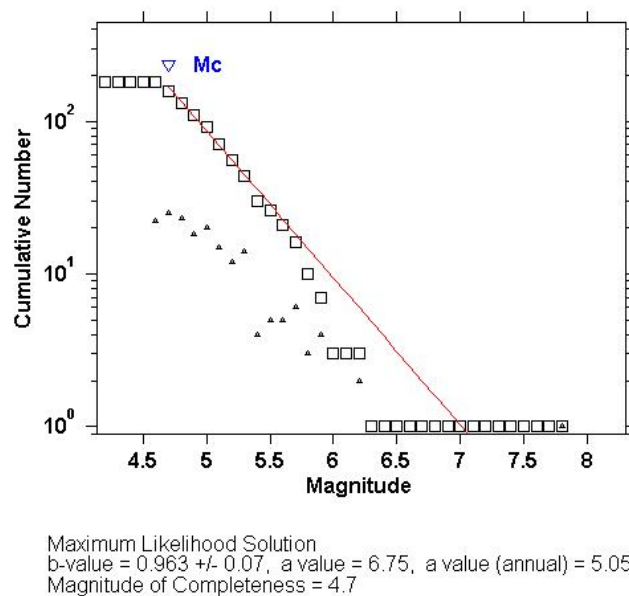
Gambar 5.20 Nilai-a dan Nilai-b *Megathrust* Selat Sunda

Gambar 5.21 menunjukkan nilai-a dan nilai b zona *megathrust* di zona subduksi Jawa 1. Hasil menunjukkan nilai-a 4.67 dan nilai-b 0.899.



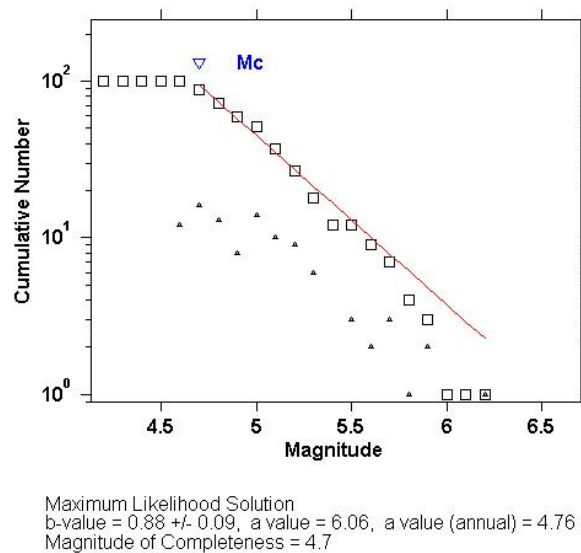
Gambar 5.21 Nilai-a dan Nilai-b *Megathrust* Jawa 1

Gambar 5.22 menunjukkan nilai-a dan nilai b zona *megathrust* di zona subduksi Jawa 2. Hasil menunjukkan nilai-a 5.5 dan nilai-b 1.06.



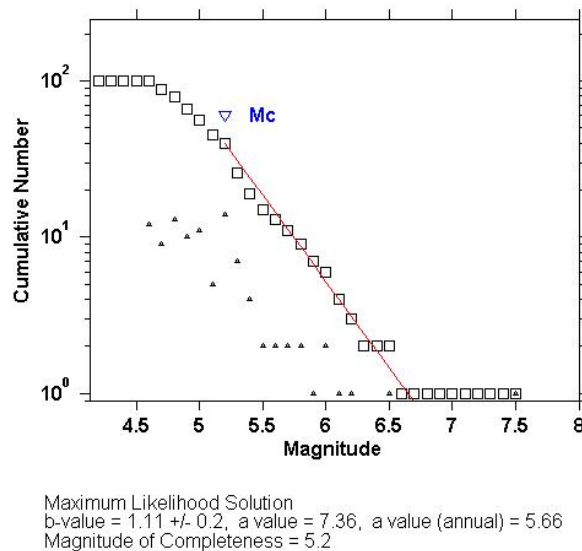
Gambar 5.22 Nilai-a dan Nilai-b *Megathrust* Jawa 2

Gambar 5.23 menunjukkan nilai-a dan nilai b zona *megathrust* di zona subduksi Jawa 3. Hasil menunjukkan nilai-a 5.94 dan nilai-b 1.14.



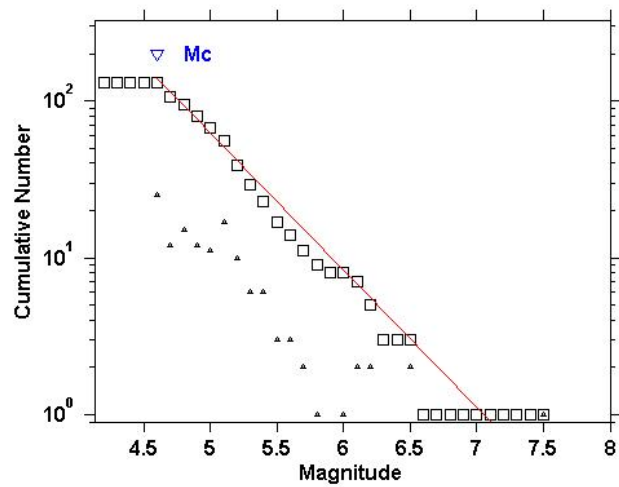
Gambar 5.23 Nilai-a dan Nilai-b *Megathrust* Jawa 3

Gambar 5.24 menunjukkan nilai-a dan nilai b zona benioff di zona subduksi Selat Sunda. Hasil menunjukkan nilai-a 6.08 dan nilai-b 1.21.



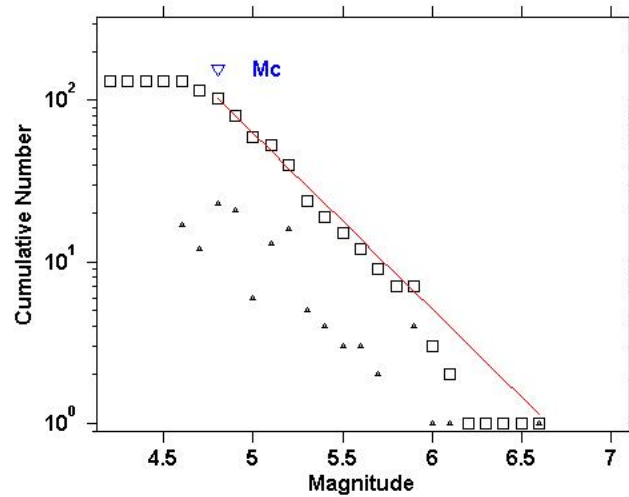
Gambar 5.24 Nilai-a dan Nilai-b Benioff Selat Sunda

Gambar 5.25 menunjukkan nilai-a dan nilai b zona benioff di zona subduksi Jawa 1. Hasil menunjukkan nilai-a 4.39 dan nilai-b 0.95.



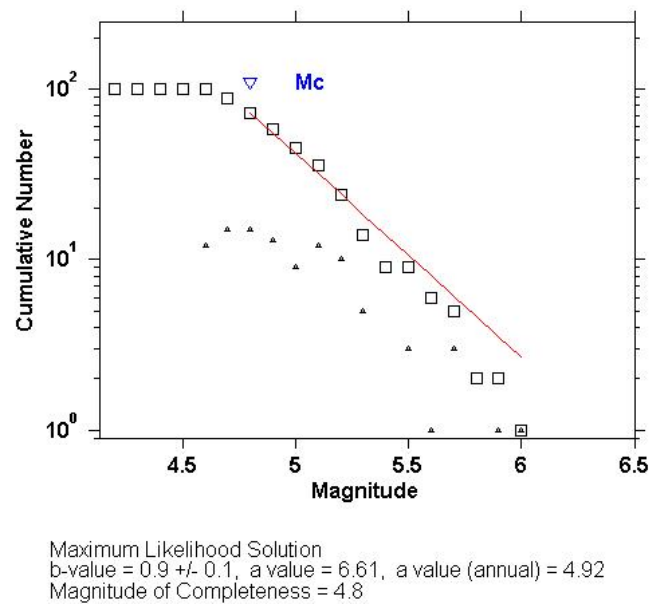
Gambar 5.25 Nilai-a dan Nilai-b Benioff Jawa 1

Gambar 5.26 menunjukkan nilai-a dan nilai b zona benioff di zona subduksi Jawa 2. Hasil menunjukkan nilai-a 3.35 dan nilai-b 0.716.



Gambar 5.26 Nilai-a dan Nilai-b Benioff Jawa 2

Gambar 5.27 menunjukkan nilai-a dan nilai b zona benioff di zona subduksi Jawa 3. Hasil menunjukkan nilai-a 4.11 dan nilai-b 0.868.



Gambar 5.27 Nilai-a dan Nilai-b Benioff Jawa 3

Tabel 5.5 menunjukkan nilai-a dan nilai-b pada di zona subduksi Selat Sunda dan di zona subduksi Jawa.

Tabel 5.5 Nilai a dan b pada Sumber Gempa Subduksi

Subduksi	Segmen	Nilai a	Nilai b
<i>Megathrust</i>	Selat Sunda	5.55	1.1
	Jawa 1	4.63	0.867
	Jawa 2	5.505	0.963
	Jawa 3	4.76	0.88
Benioff	Selat Sunda	5.66	1.11
	Jawa 1	4.45	0.873
	Jawa 2	5.53	1.09
	Jawa 3	4.92	0.9

(Sumber: ZMap)

Nilai-a dan nilai-b pada sumber gempa *fault* diperoleh dari Tim Pusat Studi Gempa Nasional (PusGen, 2022). Pada penelitian ini terdapat zona sumber gempa Sumatera, zona sumber gempa Nusa Tenggara, dan zona sumber gempa Jawa.

Zona sumber gempa Sumatera terdapat satu segmen yaitu segmen. Zona sumber gempa Nusa Tenggara terdapat dua segmen. Zona sumber gempa Jawa terdapat 28 segmen. Berikut merupakan Tabel 5.6 nilai a dan nilai b pada sumber gempa *fault* pada penelitian ini.

Tabel 5.6 Nilai a dan b pada Sumber Gempa *Fault*

Zona Sumber Gempa	Segmen	Nilai a	Nilai b
Sumatera	Ujung Kulon B	4.8280	1
Nusa Tenggara	Bawean	3.5269	1
	RMKS East	4.0401	1
Jawa	Cimandiri	3.4064	1
	Nyalindung-Cibeber	3.2321	1
	Rajamandala	2.6480	1
	Lembang	3.9850	1
	Subang	2.6300	1
	Ciremai	2.6300	1
	Cirebon-1	2.6300	1
	Cirebon-2	2.6300	1
	Ajibarang	2.6300	1
	Karang Malang	2.6300	1
	Brebes	2.6300	1
	Tegal	2.6300	1
	Pekalongan	2.6300	1
	Weleri	2.6300	1
	Semarang	2.6300	1
	Muria	2.6300	1

Lanjutan Tabel 5.6 Nilai a dan b pada Sumber Gempa *Fault*

Zona Sumber Gempa	Segmen	Nilai a	Nilai b
Jawa	Ungaran-1	2.6300	1
	Ungaran-2	2.6300	1
	Rawapening	2.6300	1
	Demak	2.6300	1
	Purwodadi	2.6300	1
	Pati Trust	2.6300	1
	Opak	3.5231	1
	Merapi Merbabu	2.6300	1
	Cepu	2.6300	1
	Waru	2.6300	1
	Blumbang	2.6480	1
	Surabaya	2.6300	1

(Sumber: PusGen, 2022)

Nilai ini bersifat umum karena minimnya katalog gempa yang dihasilkan pada zona ini, sebab itu untuk mendapatkann parameter a dan b maka nilai a dan b dapat dihitung menggunakan Persamaan Gutenberg Richter dalam bentuk eksponensial. b – value yang dihasilkan dari Persamaan di atas merupakan suatu parameter penting yang harus *diinput* sewaktu melakukan analisis seismik *hazard* pada software SRModel. Berikut perhitungan nilai α , β , dan v fault Cimandiri pada penelitian ini.

$$\begin{aligned}
 \alpha &= a \times 2.303 \\
 &= 3.4046 \times 2.303 \\
 &= 7.845 \\
 \beta &= b \times 2.303 \\
 &= 1 \times 2.303 \\
 &= 2.303
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v &= 10^{(a-bxM_{min})} \\
 &= 10^{(3.4-1 \times 4.5)} \\
 &= 0.081
 \end{aligned}$$

Adapun nilai a dan b pada *Megathrust*, Benioff dan masing – masing *fault* yang digunakan pada analisis dapat dilihat pada Tabel 5.7 *rate* (v) merupakan laju kejadian magnitude gempa pertahun.

Tabel 5.7 Perhitungan Laju Magnitude Pertahun atau Rate (v)

Sumber Gempa		a	α	b	β	Rate (v)
Zona	Segmen					
<i>Megathrust</i>	Selat Sunda	5.5	12.67	1.1	2.533	3.548
	Jawa 1	4.63	10.66	0.867	1.997	5.352
	Jawa 2	5.505	12.68	0.963	2.218	14.842
	Jawa 3	4.76	10.96	0.88	2.027	6.310
Benioff	Selat Sunda	5.66	13.03	1.11	2.556	4.624
	Jawa 1	4.45	10.25	0.873	2.011	3.323
	Jawa 2	5.53	12.74	1.09	2.510	4.217
	Jawa 3	4.92	11.33	0.9	2.073	7.413
<i>Fault</i>	Cimandiri	3.4064	7.845	1	2.303	0.081
	Nyalindung-Cibeber	3.2321	7.443	1	2.303	0.054
	Rajamandala	2.6480	6.098	1	2.303	0.014
	Lembang	3.9850	9.178	1	2.303	0.306
	Subang	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Ciremai	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Cirebon-1	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Cirebon-2	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Ajibarang	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Karang Malang	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Brebes	2.6300	6.057	1	2.303	0.013

Lanjutan Tabel 5.7 Perhitungan Laju Magnitude Tahunan atau Rate (v)

Sumber Gempa		a	α	b	β	Rate (v)
Zona	Segmen					
<i>Fault</i>	Tegal	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Pekalongan	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Weleri	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Semarang	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Muria	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Ungaran-1	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Ungaran-2	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Rawapening	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Demak	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Purwodadi	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Pati Trust	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Opak	3.5231	8.114	1	2.303	0.105
	Merapi Merbabu	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Cepu	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Waru	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Blumbang	2.6480	6.098	1	2.303	0.014
	Surabaya	2.6300	6.057	1	2.303	0.013
	Bawean	3.52697	8.122	1	2.303	0.106
	RMKS East	4.0401	9.304	1	2.303	0.347
	Ujung Kulon B	4.8280	11.119	1	2.303	2.128

5.3.2 Magnitude Maksimum dan *Slip-rate* Sumber Gempa

Penentuan magnitude maksimum pada zona subduksi dan nilai *slip-rate* untuk tiap-tiap sumber gempa shallow crustal, mengacu pada hasil penelitian dari Tim Pusat Studi Gempa Nasional (PusGen, 2022). *Slip rate* merupakan dua sisi patahan lempeng tektonik yang bergerak mengalami pergeseran setiap tahunnya. Kecepatan pergeseran lempeng bergerak sangat lambat sehingga diukur dengan

satuan milimeter pertahun (mm/tahun). Magnitude maksimum merupakan magnitude gempa terbesar yang pernah terjadi di wilayah tersebut. Berikut merupakan Tabel 5.7 data magnitude maksimum dan *slip rate* pada sumber gempa Subduksi di Wilayah Jawa.

Tabel 5.8 *Slip-Rate* dan Magnitude Maksimum pada Sumber Gempa Subduksi Jawa

Subduksi	Segmen	<i>Slip-Rate</i> (mm/th)	Magnitude <i>Maximum</i>
<i>Megathrust</i>	Selat Sunda	4.00	8.9
	Jawa 1	4.00	8.9
	Jawa 2	4.00	8.9
	Jawa 3	4.00	8.9
Benioff	Selat Sunda	4.00	8.8
	Jawa 1	4.00	8.9
	Jawa 2	4.00	8.8
	Jawa 3	4.00	8.9

(Sumber: PusGen, 2022)

Tabel 5.8 data magnitude maksimum dan *slip rate* pada sumber gempa *Fault* di Wilayah Jawa.

Tabel 5.9 *Slip-Rate* dan Magnitude Maksimum pada Sumber Gempa *Fault* Jawa

Zona Sumber Gempa	Segmen	<i>Slip-Rate</i> (mm/th)	Magnitude Maximum
Sumatera	Ujung Kulon B	10	7.6
Nusa Tenggara	Bawean	0.5	7.6
	RMKS East	1.5	7.8
Jawa	Cimandiri	0.55	6.7
	Nyalindung-Cibeber	0.4	6.5
	Rajamandala	0.1	6.6
	Lembang	2	6.8
	Subang	0.1	6.5
	Ciremai	0.1	6.5
	Cirebon-1	0.1	6.5

Lanjutan Tabel 5.9 *Slip-Rate* dan Magnitude Maksimum pada *Fault* Jawa

Zona Sumber Gempa	Segmen	<i>Slip-Rate</i> (mm/th)	Magnitude Maximum
Jawa	Cirebon-2	0.1	6.5
	Ajibarang	0.1	6.5
	Karang Malang	0.1	6.5
	Brebes	0.1	6.5
	Tegal	0.1	6.5
	Pekalongan	0.1	6.5
	Weleri	0.1	6.5
	Semarang	0.1	6.5
	Muria	0.1	6.5
	Ungaran-1	0.1	6.5
	Ungaran-2	0.1	6.5
	Rawapening	0.1	6.5
	Demak	0.1	6.5
	Purwodadi	0.1	6.5
	Pati Trust	0.1	6.5
	Opak	0.75	6.6
	Merapi Merbabu	0.1	6.5
	Cepu	0.1	6.5
	Waru	0.1	6.5
	Blumbang	0.1	6.6
	Surabaya	0.1	6.5

(Sumber: PusGen, 2022)

5.4 Mekanisme Sumber Gempa *Shallow Crustal*

Sesar diklasifikasikan menjadi 3 jenis berdasarkan arah pergerakan batuan terhadap bidang sesar dan Gaya yang menjadi penyebab sesar: *Normal Faults*, *Reverse Fault*, dan *Strike-Slip Faults*. *Normal Faults* terjadi akibat adanya gaya tekan maksimum pada arah vertikal sehingga menyebabkan salah satu bidang

batuan bergerak ke bawah mengikuti bidang sesar. Pada *Reverse Faults*, gaya maksimum yang bekerja pada batuan berarah horizontal. Batuan yang ditekan oleh gaya tersebut menyebabkan salah satu bagian batuan bergerak ke atas. *Reverse Faults* biasanya terjadi pada area dimana dua lempeng tektonik bertabrakan. Selain bergerak ke arah vertikal (atas/bawah), bidang batuan juga dapat bergerak dengan arah horizontal akibat gaya yang bekerja pada batuan tersebut (*Strike-slip Faults*). Hal tersebut terjadi akibat gaya maksimum dan gaya minimum memiliki arah horizontal. Berikut merupakan Tabel 5.10 mekanisme pada gempa *fault* pada penelitian ini.

Tabel 5.10 Source Mechanism pada Sumber Gempa Fault

Zona Sumber Gempa	Segmen	Source Mechanism
Sumatera	Ujung Kulon B	<i>Strike-slip</i>
Nusa Tenggara	Bawean	<i>Strike-slip</i>
	RMKS East	<i>Strike-slip</i>
Jawa	Cimandiri	<i>Reverse-slip</i>
	Nyalindung-Cibeber	<i>Reverse-slip</i>
	Rajamandala	<i>Strike-slip</i>
	Lembang	<i>Strike-slip</i>
	Subang	<i>Reverse-slip</i>
	Ciremai	<i>Strike-slip</i>
	Cirebon-1	<i>Reverse-slip</i>
	Cirebon-2	<i>Reverse-slip</i>
	Ajibarang	<i>Strike-slip</i>
	Karang Malang	<i>Reverse-slip</i>
	Brebes	<i>Reverse-slip</i>
	Tegal	<i>Reverse-slip</i>
	Pekalongan	<i>Reverse-slip</i>
	Weleri	<i>Reverse-slip</i>
	Semarang	<i>Reverse-slip</i>
	Muria	<i>Strike-slip</i>
	Ungaran-1	<i>Reverse-slip</i>
	Ungaran-2	<i>Reverse-slip</i>
	Rawapening	<i>Reverse-slip</i>
	Demak	<i>Reverse-slip</i>
	Purwodadi	<i>Reverse-slip</i>
	Pati Trust	<i>Reverse-slip</i>

Lanjutan Tabel 5.10 *Source Mechanism* pada Sumber Gempa *Fault*

Zona Sumber Gempa	Segmen	<i>Source Mechanism</i>
Jawa	Opak	<i>Strike-slip</i>
	Merapi Merbabu	<i>Strike-slip</i>
	Cepu	<i>Reverse-slip</i>
	Waru	<i>Reverse-slip</i>
	Blumbang	<i>Reverse-slip</i>
	Surabaya	<i>Reverse-slip</i>

(Sumber: PusGen, 2022)

5.5 Parameter Pemodelan 3D

Parameter pemodelan 3D pada sumber gempa *fault* terdiri dari panjang sumber gempa *fault*, *dip* atau besarnya sudut penunjaman, *top* atau kedalaman ujung bagian atas *fault*, dan *bottom* atau kedalaman ujung bagian bawah *fault*. Berikut merupakan Tabel 5.11 Tabel parameter pemodelan 3D pada sumber gempa *fault* yang bersumber pada PusGen 2022.

Tabel 5.11 Parameter Pemodelan 3D pada Sumber Gempa *Fault*

Zona Sumber Gempa	Segment	Panjang (L) (km)	Dip	Top	Bottom
Nusa Tenggara	Bawean	156	90	3	18
	RMKS East	230	90	3	18
Sumatera	Ujung Kulon B	150	90	3	20
Jawa	Cimandiri	23	45S	3	18
	Nyalindung-Cibeber	30	45S	3	18
	Rajamandala	45	90	3	18
	Lembang	29.5	90	3	18
	Subang	33	45S	3	18
	Ciremai	20	90	3	18
	Cirebon-1	15	45S	3	18
	Cirebon-2	18	45S	3	18
	Ajibarang	20	90	3	18
	Karang Malang	22	45S	3	18
	Brebes	22	45S	3	18
	Tegal	15	45S	3	18
	Pekalongan	16	45S	3	18

Lanjutan Tabel 5.11 Parameter Pemodelan 3D pada Sumber Gempa *Fault*

Zona Sumber Gempa	Segment	Panjang (L) (km)	Dip	Top	Bottom
Jawa	Weleri	17	45S	3	18
	Semarang	34	45S	3	18
	Muria	43	60N	3	18
	Ungaran-1	19	45S	3	18
	Ungaran-2	10	45S	3	18
	Rawapening	18	45S	3	18
	Demak	31	45S	3	18
	Purwodadi	38	45S	3	18
	Pati Trust	69	90	3	18
	Opak	45	60E	3	18
	Merapi Merbabu	28	90	3	18
	Cepu	100	45S	3	18
	Waru	64	45S	3	18
	Blumbang	31	45S	3	18
	Surabaya	25	45S	3	18

(Sumber: PusGen, 2022)

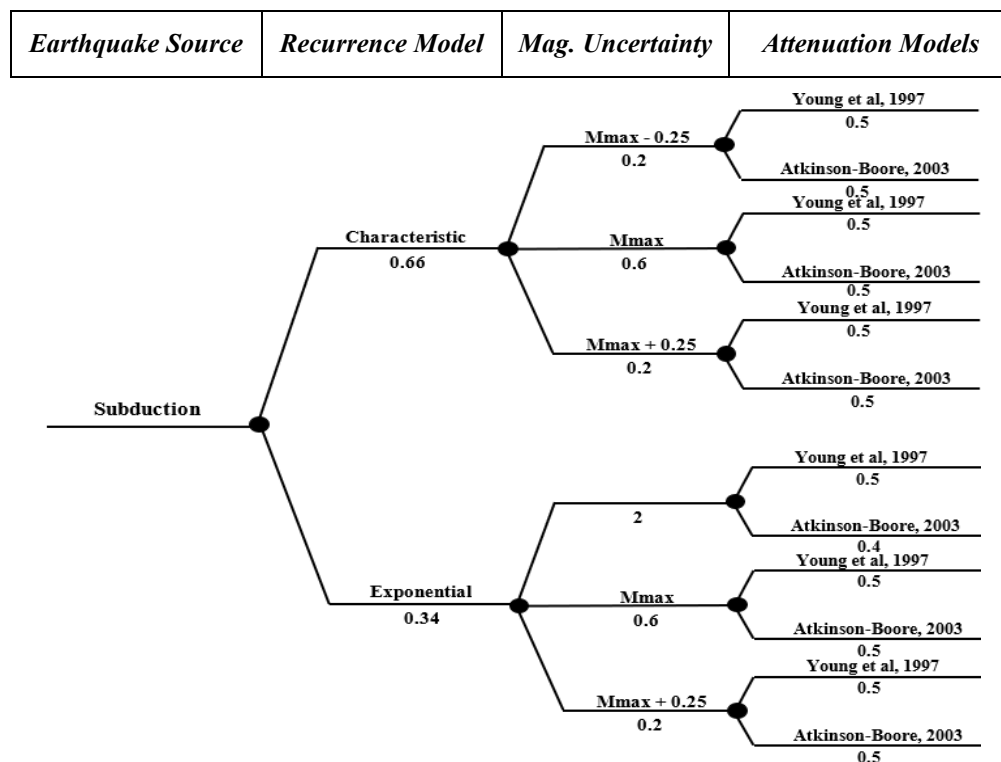
5.6 Persamaan Prediksi Gerakan Tanah

Pada penelitian ini, pemilihan Persamaan prediksi gerakan tanah (Ground Motion Prediction Equation atau GMPE) merujuk pada penelitian terdahulu serta menyesuaikan dengan ketersediaan Persamaan GMPE yang ada dalam software SR Model. Berdasarkan pertimbangan di atas Persamaan maka Persamaan GMPE yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sumber gempa subduksi, untuk model sumber gempa subduksi (*Megathrust* dan Benioff):
 - a. GMPE Youngs et al (1997)
 - b. GMPE Atkinson – Boore (2003)
2. Sumber gempa shallow crustal, untuk model sumber gempa *fault*:
 - a. GMPE Sadigh et al., (1997)
 - b. GMPE Boore-Atkinson (2006) NGA
 - c. GMPE Chiou-Young (2006) NGA

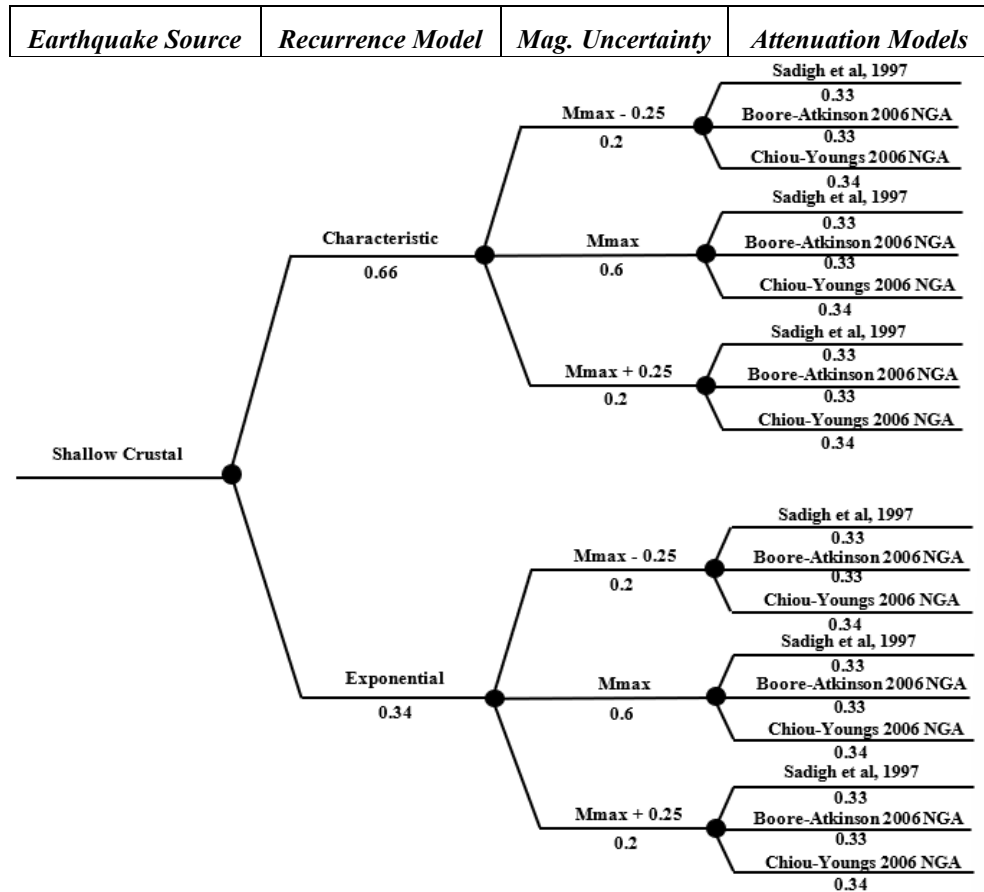
5.7 Logic tree

Logic tree merupakan sebuah solusi untuk memperhitungkan ketidakpastian dalam menentukan parameter-parameter gempa dalam analisis *seismic hazard*. Parameter gempa tersebut yaitu, magnitude maksimum, Persamaan GMPE, pemilihan model (*recurrence model*), dan recurrence rate. Dengan diberikannya faktor pembobot yang berbeda-beda pada masing-masing parameter maka *logic tree* akan mengontrol tingkat keakuratan dari penggunaan parameter yang telah dipilih. Setiap parameter yang dipilih kemudian diberikan suatu bobot, itu menggambarkan tingkat kepercayaan terhadap parameter yang digunakan. Jumlah bobot dari semua alternatif metode untuk parameter yang sama harus sama dengan 1. Penggunaan *logic tree* disesuaikan dengan zona/model sumber gempanya. Untuk masing-masing model sumber gempa mempergunakan model *logic tree* sendiri-sendiri disesuaikan dengan prediksi gerakan tanah yang dipergunakan. Berikut ini merupakan Gambar 5.28 model *logic tree* untuk sumber gempa subduksi.



**Gambar 5.28 Pemodelan *Logic tree* untuk Sumber Gempa Subduksi
(*Megathrust* dan *Benioff*)**

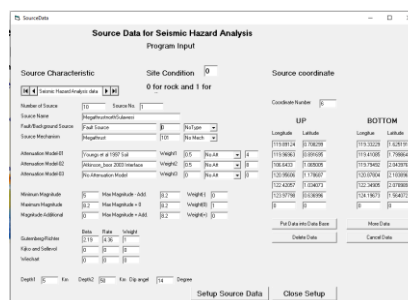
Berikut ini merupakan Gambar 5.28 model *logic tree* untuk sumber gempa *fault*.



Gambar 5.29 Model *Logic tree* untuk Sumber Gempa *Fault*

***Input* SRModel**

Setelah mendapatkan semua parameter karakteristik dari sumber gempa yang digunakan kemudian mencari koordinat dari sumber gempa tersebut. Parameter nilai tersebut kemudian di-*input* pada software SRModel dari Lalu Makruf (2017). Berikut ini tampilan *Input* SRModel yang dapat dilihat pada Gambar 5.30.



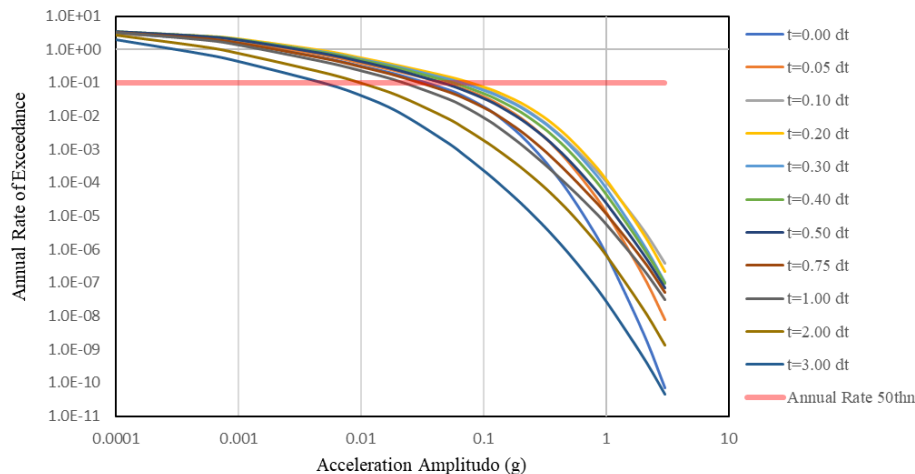
Gambar 5.30 *Input* Parameter di SRModel

5.8 Hasil *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA)

Analisis PSHA yang dilakukan pada penelitian kali ini, memverifikasi pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2022, verifikasi yang dilakukan dengan PSHA berdasarkan model dan parameter sumber gempa pada wilayah Tol Jogja Bawen. Dengan bantuan *software* SR Model yang dilakukan secara probabilistik, analisis akan dilakukan pada periode PGA, 0.2 detik dan 1.0 detik dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (periode ulang 2475 tahun).

Kurva *seismic hazard* (*seismic hazard curve*) adalah hubungan antara rata – rata kemungkina terlampaui setiap tahunnya (*annual rate of exceedance*) dan besar percepatannya (*acceleration amplitude*). Besarnya percepatan dalam satuan g (gravitasi). Kurva ini menggunakan skala logaritma dalam mengGambarkan *seismic hazard* yang terjadi. Pada penelitian ini kurva *seismic hazard* dilakukan terdapat beberapa periode spektra (*spectral period*).

Untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun $P = 1 - e^{-\lambda \cdot t}$ sehingga $0.02 = 1 - e^{-50 \cdot \lambda}$. sehingga kurva *seismic hazard* hasil perhitungan *software* SRModel dapat dilihat pada Gambar 5.31.



Gambar 5.31 Hasil SR Model

Berikut merupakan Tabel 5.12 hasil perhitungan analisis PSHA.

Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Analisis PSHA

		<i>Spectral Periode (second)</i>										
		0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1	2	3
<i>Acceleration Amplitudo (g)</i>	0.0001	3.14E+00	3.06E+00	3.10E+00	3.21E+00	3.32E+00	3.43E+00	3.40E+00	3.30E+00	3.16E+00	2.69E+00	1.94E+00
	0.0005	2.18E+00	2.27E+00	2.41E+00	2.52E+00	2.52E+00	2.52E+00	2.46E+00	2.18E+00	1.92E+00	1.23E+00	7.32E-01
	0.001	1.63E+00	1.77E+00	1.94E+00	2.06E+00	2.02E+00	1.98E+00	1.90E+00	1.60E+00	1.33E+00	7.66E-01	4.31E-01
	0.005	5.68E-01	6.75E-01	8.14E-01	9.06E-01	8.49E-01	7.96E-01	7.34E-01	5.43E-01	4.14E-01	2.00E-01	9.58E-02
	0.01	3.25E-01	3.91E-01	4.87E-01	5.55E-01	5.18E-01	4.77E-01	4.29E-01	3.04E-01	2.24E-01	9.76E-02	4.08E-02
	0.02	1.79E-01	2.22E-01	2.84E-01	3.29E-01	3.05E-01	2.72E-01	2.35E-01	1.59E-01	1.11E-01	4.13E-02	1.32E-02
	0.05	6.55E-02	9.50E-02	1.35E-01	1.56E-01	1.36E-01	1.13E-01	8.97E-02	5.56E-02	3.34E-02	8.74E-03	1.64E-03
	0.07	3.91E-02	6.37E-02	9.73E-02	1.12E-01	9.46E-02	7.63E-02	5.80E-02	3.39E-02	1.86E-02	4.27E-03	6.52E-04
	0.1	1.94E-02	3.78E-02	6.38E-02	7.46E-02	6.04E-02	4.69E-02	3.37E-02	1.81E-02	8.86E-03	1.86E-03	2.30E-04
	0.13	1.02E-02	2.36E-02	4.36E-02	5.23E-02	4.10E-02	3.08E-02	2.10E-02	1.04E-02	4.71E-03	9.58E-04	1.03E-04
	0.2	2.70E-03	8.87E-03	1.97E-02	2.52E-02	1.85E-02	1.31E-02	8.11E-03	3.54E-03	1.44E-03	2.94E-04	2.47E-05
	0.3	5.54E-04	2.67E-03	7.32E-03	1.01E-02	6.95E-03	4.63E-03	2.64E-03	1.04E-03	4.11E-04	8.37E-05	5.66E-06
	0.4	1.48E-04	9.55E-04	3.14E-03	4.45E-03	2.93E-03	1.89E-03	1.03E-03	3.90E-04	1.59E-04	3.09E-05	1.82E-06
	0.5	4.75E-05	3.86E-04	1.51E-03	2.13E-03	1.35E-03	8.54E-04	4.57E-04	1.74E-04	7.43E-05	1.34E-05	7.11E-07
	0.7	7.03E-06	8.26E-05	4.43E-04	5.93E-04	3.53E-04	2.20E-04	1.18E-04	4.82E-05	2.23E-05	3.34E-06	1.56E-07
	1	6.99E-07	1.27E-05	1.05E-04	1.23E-04	6.75E-05	4.30E-05	2.43E-05	1.13E-05	5.62E-06	6.52E-07	2.73E-08
	2	3.07E-09	1.62E-07	3.84E-06	3.00E-06	1.42E-06	1.08E-06	7.43E-07	4.52E-07	2.58E-07	1.62E-08	5.87E-10
	3	6.88E-11	7.89E-09	3.78E-07	2.22E-07	1.02E-07	9.44E-08	7.26E-08	4.99E-08	3.17E-08	1.35E-09	4.63E-11
		<i>Annual Rate of Exceedance</i>										

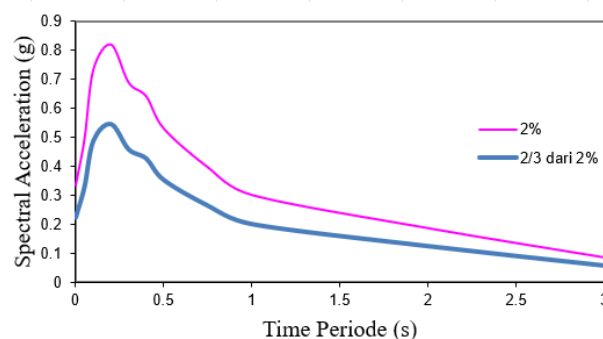
Sumber: SR Model

Analisis seismik *hazard* gempa pada penelitian ini dibatasi pada probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun. Hasil dari respon spektra *hazard* seragam (*uniform hazard spectrum*) yang dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Data Respon Spektra *Hazard* Seragam (UHS)

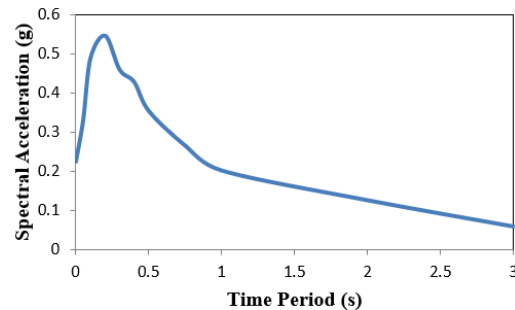
<i>Period</i> (s)	<i>Spectra Acceleration</i> 2% (g)	<i>2/3 dari 2% Spectra Acceleration</i> (g)
0	0.3369	0.2246
0,05	0.4968	0.3312
0,1	0.7343	0.4895
0,2	0,8206	0,5470
0,3	0.6897	0.4598
0,4	0.642	0.428
0,5	0.531	0.354
0,75	0.3978	0.2652
1	0.3026	0.2017
2	0.1884	0.1256
3	0.0877	0.0584

Dari Tabel 5.13 merupakan hasil analisis *seismic hazard* pada sumber gempa subduksi dan *fault* yang berupa respon spektral *hazard* seragam. Hasil analisis menunjukkan hubungan antara waktu (periode) dan *spectra acceleration* (g) pada daerah yang ditinjau. Nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) pada batuan dasar di lokasi penelitian dengan probabilitas 2 % terlampaui dalam 50 tahun diperoleh sebesar 0.8206 g, setelah dikalikan 2/3 maka nilai PGA pada batuan dasar dengan probabilitas 2 % terlampaui dalam 50 tahun diperoleh sebesar 0.5470 g. Gambar 5.32 menunjukkan grafik respon spektral *hazard* seragam pada penelitian ini.



**Gambar 5.32 Hasil Respon Spektra *Hazard* Seragam (UHS)
Probabilitas Terlampaui 2 % dan 2/3 dari 2% Dalam 50 Tahun**

Gambar 5.33 menunjukkan grafik respon spectral *hazard* seragam 2% pada penelitian ini.



**Gambar 5.33 Hasil Respon Spektra *Hazard* Seragam (UHS)
Probabilitas Terlampaui 2 % Dalam 50 Tahun**

Dari analisis *hazard* kegempaan di daerah Tol Jogja Bawen, disamping dipengaruhi oleh keberadaan zona subduksi juga dipengaruhi keberadaan zona *shallow crustal* (sesar). Nilai *hazard* gempa yang tinggi terletak pada wilayah yang dekat dengan bidang subduksi dan sesar, pada peta *hazard* gempa yang disajikan memperlihatkan pola semakin jauh jarak suatu lokasi dari sumber gempa maka nilai percepatan juga akan semakin kecil, sebaliknya apabila pada wilayah yang terdapat keberadaan sesar (*shallow crustal*) maka nilai percepatan juga akan mengalami kenaikan.

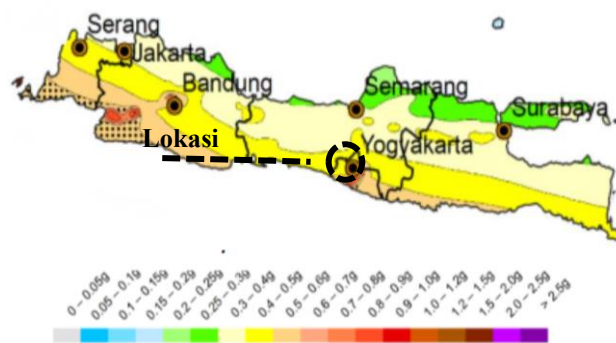
Berdasarkan data dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2022, terdapat sesar yang berdekatan dengan Tol Jogja Bawen antara lain sesar Opak, Merapi Merbabu, Rawa Pening, Ungaran 1, Ungaran 2, Semarang, Demak, dan Purwodadi.

5.9 Perbandingan dengan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2022

Menurut hasil yang diperoleh maka dilakukan perbandingan sesuai dengan sejumlah peta yang disajikan oleh peta sumber dan bahaya gempa Indonesia 2022 adalah peta percepatan gempa maksimum di batuan dasar probabilitas 2% dalam 50 tahun, peta spektrum respon 0.2 detik dan 1 detik di batuan dasar probabilitas 2 % dalam 50 tahun.

Pada tahun 2022 Kementerian Pekerjaan Umum mengeluarkan Peta Gempa Indonesia. Pada peta tersebut peta percepatan gempa di batuan dasar dengan probabilitas 2 % terlampaui dalam 50 tahun.

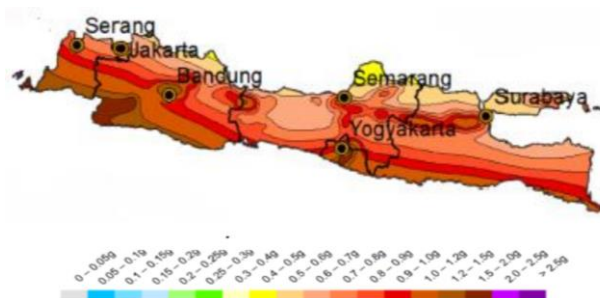
Kementrian Pekerjaan Umum pada tahun 2022 menerbitkan Peta Gempa Indonesia yangmana peta percepatan gempa di batuan dasar dengan probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun terlihat pada Gambar 5.34.



Gambar 5.34 Peta Gempa Percepatan Puncak di Batuan Dasar (S_B)

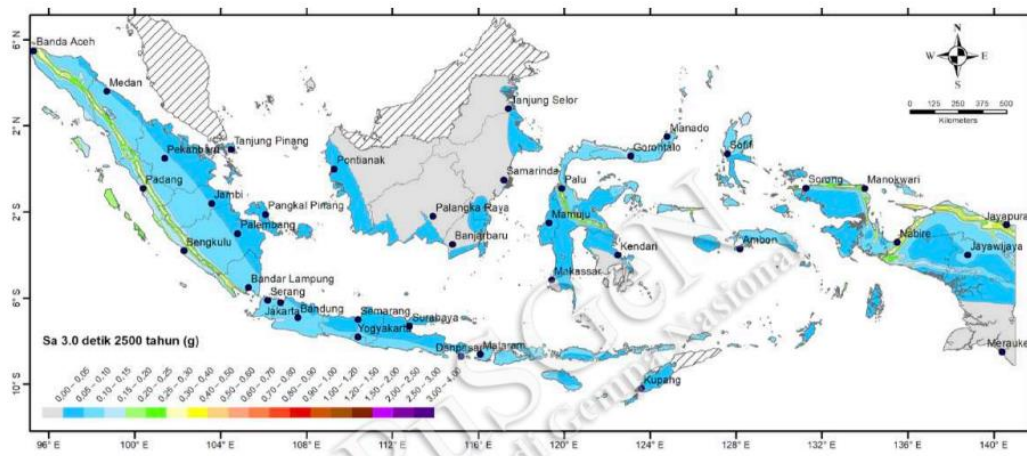
(Sumber: Pusat Studi Gempa Nasional, 2022)

Dari peta tersebut percepatan puncak (PGA) di batuan dasar pada wilayah Tol Jogja Bawen memiliki nilai 0.4 – 0.5 g. Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh nilai akselerasi percepatan puncak (PGA) pada kala ulang 2500 tahun pada batuan dasar sebesar 0.55 g yang menunjukkan nilai tersebut mendekati dengan yang diteliti oleh Tim Pusgen 2017. Menurut ASCE 7-16 bahwa kalau ingin mendekati spektral target maka data tersebut dikalikan 2/3 yaitu 0.5470 g. Berikut merupakan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia dengan peta respon spektrum 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas 2% dalam 50 tahun yang dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut ini.



Gambar 5.35 Peta Spektrum Respon Percepatan 0.2 Detik Di Batuan Dasar

Pada Gambar 5.35 menunjukkan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia dengan peta respon spektrum 0.2 detik di batuan dasar untuk probabilitas 2% dalam 50 tahun di daerah Tol Jogja Bawen mempunyai rentang nilai antara 0.7 – 0.8 g, sedangkan nilai spektrum respon 0.2 detik untuk 2% dari hasil penelitian ini yaitu 0.8206 g. Berikut merupakan Gambar 5.36 peta sumber dan bahaya gempa Indonesia dengan peta respon spektrum 0.3 detik di batuan dasar untuk probabilitas 2% dalam 50 tahun.

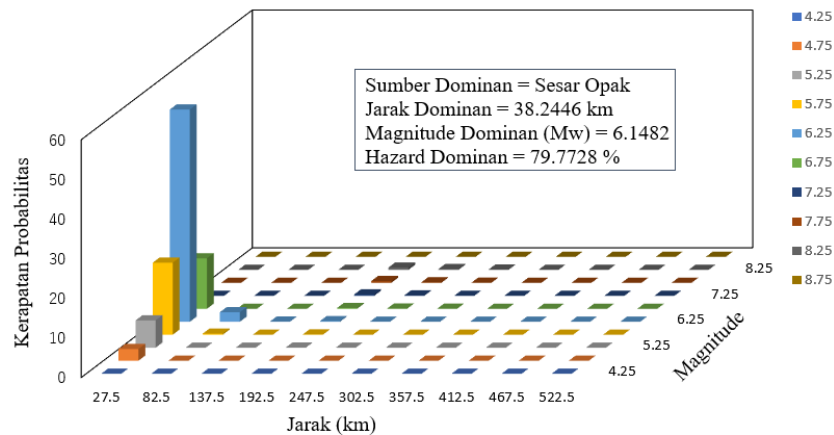


Gambar 5.36 Peta Spektrum Respon Percepatan 3 Detik Di Batuan Dasar

Pada Gambar 5.36 menunjukkan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia dengan peta respon spektrum 3 detik di batuan dasar untuk probabilitas 2% dalam 50 tahun di daerah Tol Jogja Bawen mempunyai rentang nilai antara 0.1 – 0.15 g, sedangkan nilai spektrum respon 3 detik untuk 2% dari hasil penelitian ini mendekati 0.1 yaitu sebesar 0.0877 g.

5.10 Deagregasi Hazard Gempa

Analisi deagregasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan software SR Model. Analisis deagregasi dilakukan pada periode 0 detik untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun yang diperoleh dari *Uniform Hazard Spectra* (UHS). Gambar 5.37 berikut merupakan hasil dari analisis deagregasi yang akan digunakan untuk analisis *spectral matching*.



Gambar 5.37 Deagregasi *Hazard* Gempa

Hasil deagregasi *hazard* gempa menunjukkan bahwa sumber gempa dominan pada titik penelitian ini adalah sumber gempa pada *fault* sesar opak. Pada deagregasi *hazard* gempa menunjukkan jarak dominan sebesar 38.2446 km dengan magnitude dominan (M_w) 6.1482 dan *hazard* dominan 79.7728%.

Hasil analisis menunjukkan nilai *mean magnitude* (M) dan *mean distance* (R) di lokasi penelitian secara umum dipengaruhi oleh kontribusi terbesar dari masing-masing sumber gempa. Nilai *mean magnitude* (M) dan *mean distance* (R) merupakan titik berat dari setiap kontribusi masing-masing sumber gempa pada suatu daerah. Secara umum, daerah yang jauh dari sumber gempa *shallow crustal*, akan dominan dipengaruhi oleh gempa-gempa dari sumber gempa subduksi, sedangkan daerah yang dekat dengan sumber gempa *shallow crustal*, akan dominan dipengaruhi oleh gempa-gempa yang bersumber dari *shallow crustal* tersebut.

5.11 Respon Spektra Target Hasil Analisis

Proses deagregasi *hazard* telah dilakukan maka proses pada parameter yang didapat adalah jarak dominan (R) dan magnitude dominan (M_w) yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan *ground motion* tanah yang sesuai. Rekaman *Ground Motion* dapat diperoleh dari *Peer Ground Motion Database* yang bisa diunduh atau di *download* melalui situs <https://ngawest2.berkeley.edu/spectras/830463/searches/new>. Parameter yang dapat dilakukan dengan menggunakan *ground motion* sesuai yang dihasilkan.

Ground motion dapat diambil dengan kedekatan magnitude (M_w) dan jarak (R) dari hasil *deagregasi hazard*. Data ground motion percepatan tanah sangat sulit didapatkan di Indonesia dikarenakan keterbatasan jumlah alat perekaman gempa yang dipasang di beberapa tempat di Indonesia belum memadai. Gambar 5.38 merupakan tampilan situs *Peer Ground Motion Database* dari <https://ngawest2.berkeley.edu/spectras/830463/searches/new>.

Gambar 5.38 Tampilan dari Peer Ground Motion Database

5.12 Analisis Spektral *Matching*

Pada *Peer Ground Motion Database* dapat digunakan *time history* percepatan yang sesuai dengan karakteristik dan sumber gempa dari lokasi. Maka dari itu *time history* dapat digunakan dalam proses *spectral matching* dari ground motion yang paling mendekati M dan R sesuai dengan Gambar 5.39 serta dipilih satu ground motion yang paling dekat dengan M dan R sesuai dengan *deagregasi hazard* percepatan.

Setelah mendapatkan data sebuah *Ground Motion* dalam *time history* pada situs *Peer Ground Motion Database* yang sesuai dengan karakteristik dan sumber gempa di lokasi yang ditinjau, maka *time history* tersebut dapat digunakan dalam proses *spectral matching*. Proses analisis *spectral matching* pada penelitian kali ini menggunakan bantuan *software* SeismoMatch dan cara kerja *software* tersebut

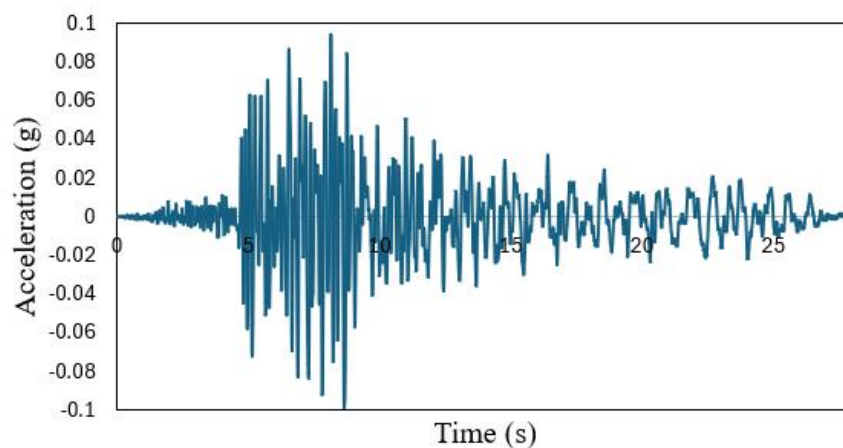
adalah menyamakan *time history* dengan respon spektra target yang digunakan. Data yang dimasukkan adalah data *time history* yang akan dilakukan proses *matching* agar sesuai dengan target dan respon spektra target lalu melakukan proses *matching* yang dapat dilihat dalam Gambar 5.40. Dan setelah terjadinya *Matching* sebuah Ground Motion lalu melakukan pencarian terhadap gempa yang mendekati M dan R dari Tol Jogja Bawen. Data dari *time history* yang diperoleh dari situs *Peer Ground Motion Database* tersaji pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Data *Time history*

Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun	M (Mw)	R (Km)	Sense Mechanism	Vs 30
Morgan Hill, USA	1984	Capitola	6.19	39.08	<i>Strike Slip</i>	288.62

(Sumber : <https://ngawest2.berkeley.edu/spectras/891463/searches/819014/edit>)

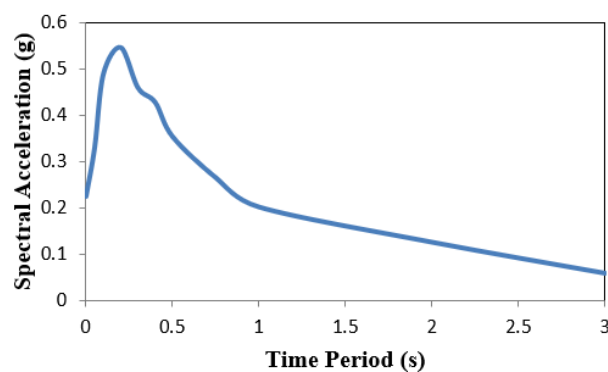
Pada Tabel 5.14 menunjukkan data *time history* gempa yang digunakan untuk melakukan proses *matching*. Data ini merupakan data gempa Morgan Hill, USA pada tahun 1984 yang terekam pada stasiun Capitola. Gempa ini memiliki magnitude dominant 6.19 dengan jarak dominan 39.08 km. Gambar 5.39 menunjukkan data rekaman *time history* gempa.



Gambar 5.39 Rekaman Gempa Morgan Hill, USA (1984)

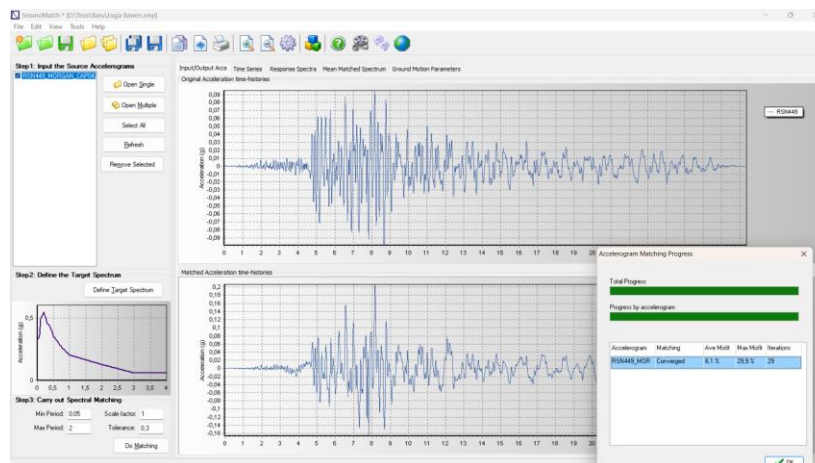
Berdasar pada R dan M tersebut maka diperoleh rekaman gempa yang paling mendekati yaitu *time history* pada Gambar 5.39 diadopsi berdasarkan rekaman gempa yang terjadi di daerah lain sehingga perlu dilakukan proses *matching* agar

sesuai dengan kondisi lokasi penelitian. Pada time history Gempa Morgan Hill, USA (1984) didapatkan a_{max} sebesar 0.47 g. *Time history* dapat diskalakan terhadap respon spektra target di lokasi penelitian. Pada penelitian ini target spektra yang digunakan merupakan respon spektra di batuan dasar pada probabilitas terlampaui 2/3 dari 2% dalam 50 tahun. Target respon spektra ini akan digunakan sebagai acuan dalam analisis *spectral matching* untuk *time history* dalam penelitian ini, Gambar 5.40.



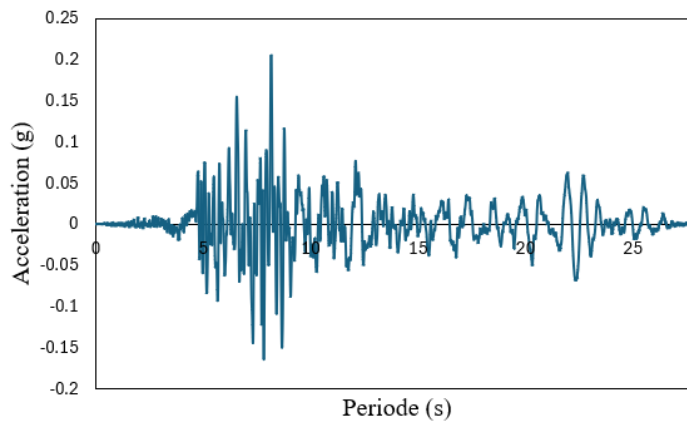
Gambar 5.40 Respon Spektra Target Titik Penelitian

Hasil *matching* dapat dilihat pada Gambar 5.41 berikut.



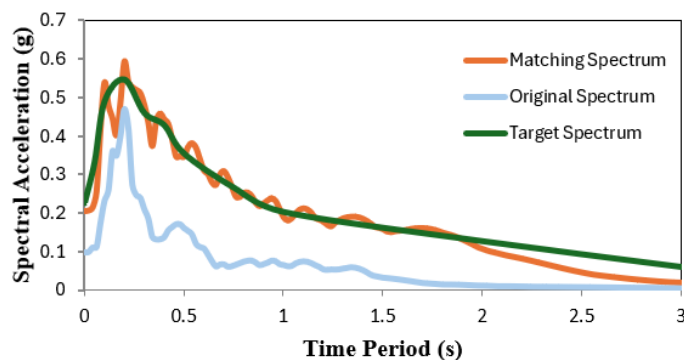
Gambar 5.41 Matching sebuah Ground Motion yang mendekati M dan R

Pada Gambar 5.42 dibawah menunjukkan *time history* hasil *matching* yang diperoleh pada analisis menggunakan Software SeismoMatch yang menunjukkan hasil a_{max} sebesar 0.3152 g.



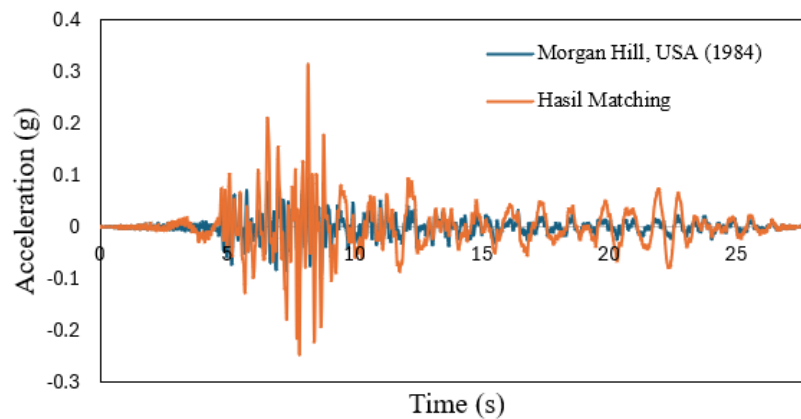
Gambar 5.42 *Time history* Hasil *Matching* Software SeismoMatch

Pada Gambar 5.43 dibawah ini memperlihatkan grafik respon spektra original yang dimatchingkan terhadap respon pada wilayah yang ditinjau Sehingga diperoleh respon spektra target.



Gambar 5.43 Grafik Respon Spektra Hasil *Matching*, Respon Spektra Original, dan Respon Spektra Target

Gambar 5.43 merupakan respon spektra salah satu hasil *output* dari SeismoMatch. Hasil output SeismoMatch dapat dilihat pada Lampiran 2. Respon spektra original merupakan respon spektra percepatan asli dari Gempa Morgan Hill, USA (1984). Respon spektra target merupakan respon spektra percepatan yang didapatkan dari proses analisis *seismic hazard* pada lokasi penelitian. Respon spektra ini merupakan respon spektra dari *time history* batuan dasar (*artificial time history*) pada penelitian. Berikut merupakan Gambar 5.44 grafik *time history* gempa Morgan Hill, USA, USA (1984) dengan *time history* hasil *matching*.



Gambar 5.44 Time History Morgan Hill, USA, USA (1984) dan Hasil *Matching*

Gambar menunjukkan perbandingan time history percepatan gempa antara data gempa asli Morgan Hill, USA, USA (1984) dan hasil spectral matching. Terlihat bahwa hasil matching (garis oranye) mampu mengikuti pola umum dari data gempa asli (garis biru), terutama pada durasi dan frekuensi dominan. Amplitudo percepatan pada hasil matching sedikit lebih tinggi pada puncak-puncak tertentu.

BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN TIMBUNAN TANAH

6.1 Data Tanah Timbunan

Data tanah timbunan pada penelitian ini di butuhkan data titik koordinat, dimensi timbunan, dan data parameter tanah.

6.1.1 Titik Koordinat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di lokasi pembangunan jalan Tol Jogja – Bawen seksi 1 STA. 70+375 dengan titik koordinat -7.707891; 110.285979 yang dapat dilihat pada Gambar 6.1 berikut.

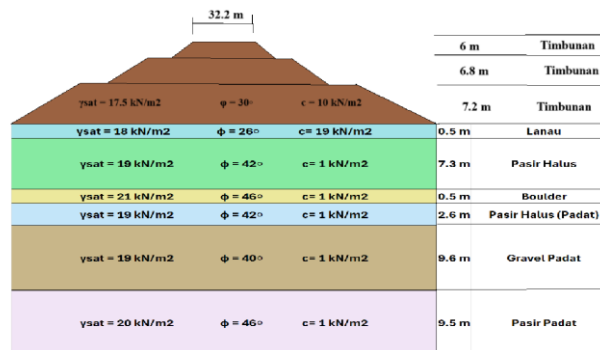


Gambar 6.1 Lokasi Penelitian

(Sumber: Google Earth, 2024)

6.1.2 Dimensi Timbunan

Pada titik penelitian didapat Gambar potongan melintang badan jalan dapat dilihat pada Gambar 6.2 yang direpresentasikan dari gambar pada Lampiran 3.



Gambar 6.2 Potongan Melintang Timbunan Tanah Badan Jalan dan Parameter Tanah

6.1.3 Data Parameter Tanah

Data lapisan tanah untuk menentukan klasifikasi tanah site dapat diperoleh dengan melakukan borlog tanah sampai minimal 30 m. Data yang dibutuhkan dari hasil bor ini adalah data Normal-Penetration Test (N-SPT). Dengan mengetahui nilai N-SPT rata-rata dari total lapisan tanah. Dengan memplot nilai N-SPT rata-rata ke Tabel 6.1 maka dapat diketahui klasifikasi tanah site. Bila data N-SPT tidak ada maka klasifikasi tanah site dapat juga ditentukan dari hasil bor yang lain di sekitar site yang menjadi tempat studi. Berikut merupakan Tabel 6.1 klasifikasi tanah site.

Tabel 6.1 Klasifikasi Situs

Klasifikasi Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}_{SPT}$ atau $\bar{N}_{SPT_{ch}}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1.500	N/A	N/A
SB (batuan dasar)	750 sampai 1.500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks Plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $(w) \geq 40\%$, dan 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan penyelidikan geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah teresementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan, $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas tinggi (ketebalan, $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas, $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Keterangan: N/A = tidak dapat dipakai

Keterangan:

$\bar{N}_{SPT}$ = nilai rata rata tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata;

$\bar{N}_{SPT_{ch}}$ = nilai rata rata tahanan penetrasi standar untuk lapisan tanah non kohesif;

$\bar{v}_s$ = nilai rata rata kecepatan gelombang geser (m/detik);

$\bar{s}_u$ = nilai rata rata kuat geser niralir lapisan (kPa).

(umber : AASHTO,2012)

Tabel 6.2 Korelasi empiris antara vs dengan nilai N-SPT

Referensi	Korelasi Gmax (kPa)	Korelasi Vs (m/s)	Koefisien Korelasi
Ohsaki & Iwasaki (1973)	$G_{max} = 11500 \cdot N^{0.8}$		0,888
Ohta & Goto (1978)		$V_s = 85,3 \cdot N^{0,341}$	0,72
Imai & Tonouchi (1982)	$G_{max} = 14070 \cdot N^{0.68}$	$V_s = 96,9 \cdot N^{0,314}$	0,867 0,868

(Sumber : Ohta & Goto, 1978 dan Imai & Tonouchi, 1982)

Penentuan kelas situs dilakukan dengan cara rata rata kecepatan gelombang geser (v_s). Nilai v_s didapatkan dari korelasi berdasarkan N-SPT dengan menggunakan Persamaan yang ditunjukkan pada Tabel 6.2. Berikut merupakan contoh perhitungan korelasi empiris menggunakan data bor log pada penelitian ini.

Persamaan korelasi menggunakan Ohta & Goto (1987)

$$\begin{aligned}
 V_{s1} &= 85.3 \times N^{0.341} \\
 &= 85.3 \times 38^{0.341} \\
 &= 294.887
 \end{aligned}$$

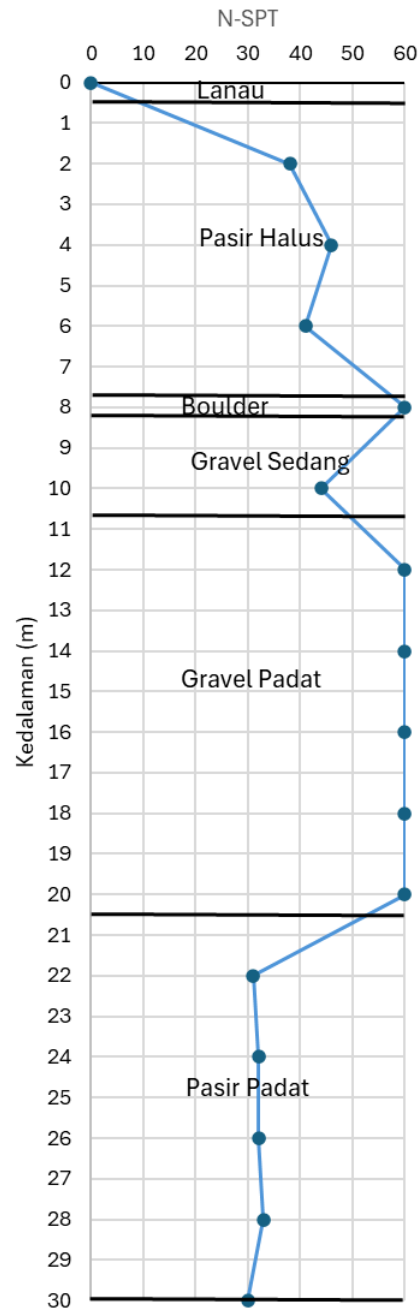
Persamaan korelasi menggunakan Imai & Tonouchi (1982)

$$\begin{aligned}
 V_{s2} &= 96.9 \times N^{0.314} \\
 &= 96.9 \times 38^{0.314} \\
 &= 334.989
 \end{aligned}$$

V_s pakai yaitu menggunakan V_s rata-rata dari korelasi Ohta & Goto (1987) dan Imai & Tonouchi (1982)

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ pakai} &= (V_{s1} + V_{s2})/2 \\
 &= (294.887 + 334.989)/2 \\
 &= 314.938
 \end{aligned}$$

Berdasarkan penelitian ini didapatkan hasil pengujian Bor-Log pada STA 70+375 pada Gambar 6.4 berikut.



Gambar 6.4 Hasil Pengujian Bor-Log SPT

(Sumber : Data Proyek Tol Jogja - Bawen)

Berdasarkan data N-SPT pada Gambar 6.4 diatas, dihitung nilai N-SPT rata – rata pada Tabel 6.3 berikut menggunakan korelasi empiris antara vs dengan nilai N-SPT. Berikut contoh perhitungan dari korelasi empiris.

Tabel 6.3 Perhitungan Korelasi Empiris antara vs dengan nilai N-SPT

Kedalaman (m)	Di	N-SPT	Ohta Gotto (m/s)	Imai Tonouchi (m/s)	Vs Pakai (m/s)	Di/Vs
2	2	38	294.887	334.989	314.938	0.00635
4	2	46	314.738	357.54	336.139	0.00595
6	2	41	302.627	343.782	323.205	0.00619
8	2	60	344.587	391.447	368.017	0.00543
10	2	44	310.003	352.161	331.082	0.00604
12	2	60	344.587	391.447	368.017	0.00543
14	2	60	344.587	391.447	368.017	0.00543
16	2	60	344.587	391.447	368.017	0.00543
18	2	60	344.587	391.447	368.017	0.00543
20	2	60	344.587	391.447	368.017	0.00543
22	2	31	275.108	312.52	293.814	0.00681
24	2	32	278.103	315.922	297.012	0.00673
26	2	32	278.103	315.922	297.012	0.00673
28	2	33	281.036	319.255	300.145	0.00666
30	2	30	272.049	309.045	290.547	0.00688
Total	30					0.09096
Total Di/ Total Vs						329.823

Dari hasil perhitungan Tabel 6.3 diperoleh nilai Vs sebesar 329.823. Maka site STA 70+375 memiliki klasifikasi site adalah Kelas SD (sedang) dengan N-SPT antara 15 s/d 50 atau setara dengan kecepatan gelombang geser tanah (Vs) dari 175 m/s 350 m/s.

Pada data timbunan tanah memiliki parameter yang sama pada setiap lapisan tanah timbunan. Timbunan tanah menggunakan tanah timbunan pilihan dengan $\gamma_{\text{sat}} = 17.5 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 30^\circ$, dan $c = 10 \text{ kN/m}^2$. Berikut merupakan Gambar 6.5 parameter tanah pada titik penelitian ini.

$\gamma_{sat} = 18 \text{ kN/m}^3$	$\phi = 26^\circ$	$c = 19 \text{ kN/m}^2$	0.5 m	Lanau
$\gamma_{sat} = 19 \text{ kN/m}^3$	$\phi = 42^\circ$	$c = 1 \text{ kN/m}^2$	7.3 m	Pasir Halus
$\gamma_{sat} = 21 \text{ kN/m}^3$	$\phi = 46^\circ$	$c = 1 \text{ kN/m}^2$	0.5 m	Boulder
$\gamma_{sat} = 19 \text{ kN/m}^3$	$\phi = 42^\circ$	$c = 1 \text{ kN/m}^2$	2.6 m	Pasir Halus (Padat)
$\gamma_{sat} = 19 \text{ kN/m}^3$	$\phi = 40^\circ$	$c = 1 \text{ kN/m}^2$	9.6 m	Gravel Padat
$\gamma_{sat} = 20 \text{ kN/m}^3$	$\phi = 46^\circ$	$c = 1 \text{ kN/m}^2$	9.5 m	Pasir Padat

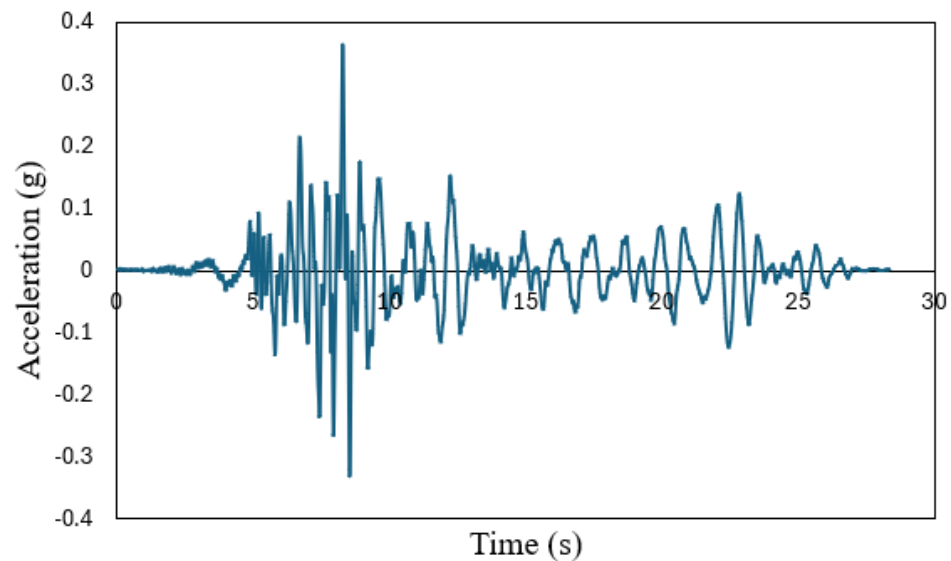
Gambar 6.5 Parameter Tanah

Gambar 6.5 tersebut menunjukkan lapisan tanah pada titik penelitian. Lapisan paling atas yaitu tanah lanau memiliki berat satuan jenuh (γ_{sat}) sebesar 18 kN/m^3 , sudut geser dalam (ϕ) sebesar 26° , dan kohesi (c) sebesar 19 kN/m^2 . Di bawahnya terdapat lapisan kedua yaitu pasir halus dengan γ_{sat} 19 kN/m^3 , ϕ 42° , dan c 1 kN/m^2 . Lapisan ketiga merupakan boulder memiliki γ_{sat} sebesar 21 kN/m^3 , ϕ 46° , dan c 1 kN/m^2 . Selanjutnya, lapisan keempat yaitu pasir halus padat memiliki nilai γ_{sat} 19 kN/m^3 , ϕ 42° , dan c 1 kN/m^2 , diikuti oleh lapisan kelima menunjukkan gravel padat dengan γ_{sat} 19 kN/m^3 , ϕ 40° , dan c 1 kN/m^2 . Lapisan paling bawah, yaitu lapisan keenam pasir padat, memiliki berat satuan jenuh sebesar 20 kN/m^3 , sudut geser dalam 46° , dan kohesi 1 kN/m^2 .

6.2 Analisis Non-linier Ekuivalen Satu Dimensi

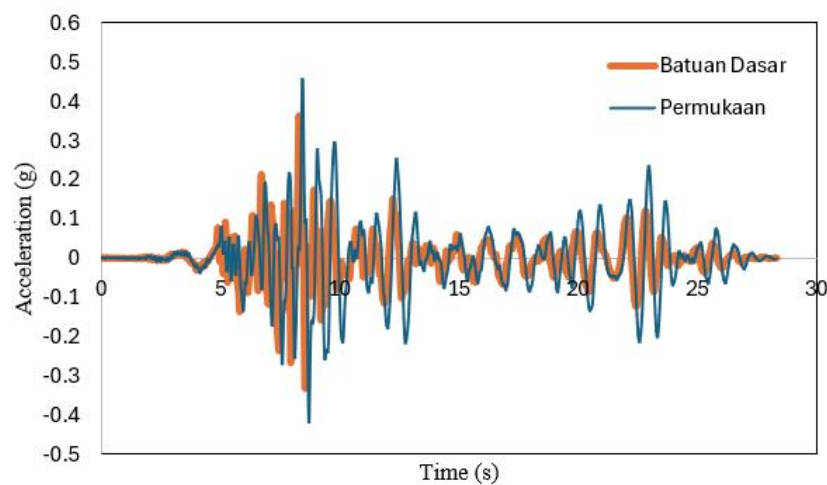
Analisis non-linier ekuivalen satu dimensi menggunakan program *deep soil* yang berguna untuk merambatkan getaran gempa yang terjadi pada batuan dasar hingga permukaan tanah. Perambatan getaran gempa dipengaruhi oleh lapisan – lapisan tanah pada titik penelitian. Beberapa parameter yang digunakan untuk analisis non-linier ekuivalen satu dimensi yaitu respon spektra hasil *matching*,

kedalaman lapisan tanah, dan karakteristik lapisan tanah. Analisis non-linier ekuivalen satu dimensi pada penelitian ini menggunakan beberapa data input dan parameter untuk analisis, yaitu *time history* aktual hasil *matching*, profil tanah dan metode analisis. Berikut *time history* aktual hasil *matching* yang merupakan *time history* di batuan dasar dapat dilihat pada Gambar 6.6 berikut.



Gambar 6.6 Time History Batuan Dasar

Setelah dilakukan analisis menggunakan metode non-linier ekuivalen diperoleh hasil dalam bentuk *time history* pada permukaan dan batuan dasar yang dapat dilihat pada Gambar 6.7 berikut.



Gambar 6.7 Perbandingan *Time History* Hasil *Matching* pada Batuan Dasar dengan *Time History* Permukaan

Dari hasil respon spektra perambatan pada lapisan tanah atas menunjukkan bahwa nilai maksimum terjadi pada periode 0.643 detik, dengan percepatan spektral sekitar 1.806 g. Berikut merupakan Gambar 6.7 hasil respon spektra permukaan.

6.3 Analisis Plaxis

Program komputer yang digunakan dalam melakukan perhitungan untuk melihat respon tanah timbunan jalan adalah program Plaxis. Respon tanah yang akan ditinjau dalam penelitian ini adalah total dari timbunan yang berupa *displacement horizontal* dan *displacement vertical*.

Syarat *displacement* (δ) total timbunan, baik *displacement* horizontal maupun vertical menurut SNI pada Persamaan 6.1 berikut.

$$\delta = 15 + \frac{B}{600} \quad (6.1)$$

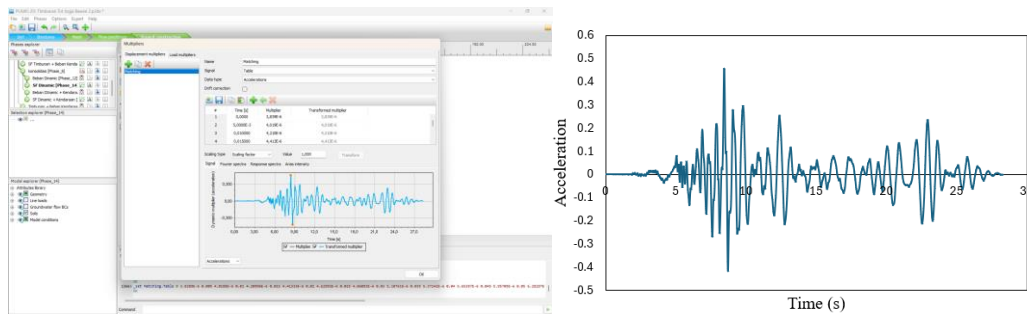
dengan:

δ = *displacement* (cm)

B = lebar puncak timbunan (cm)

Dari Gambar 6.2 diperoleh lebar puncak dari timbunan adalah B = 32.2 meter atau B = 3220 cm. Berdasarkan nilai B ini maka diperoleh hasil perhitungan δ = 20.367 cm. Nilai δ = 20.3 cm adalah persyaratan maksimum *displacement* yang boleh terjadi pada timbunan Gambar 6.2. Berikut merupakan input parameter tanah yang dapat dilihat pada Gambar 6.8 berikut.

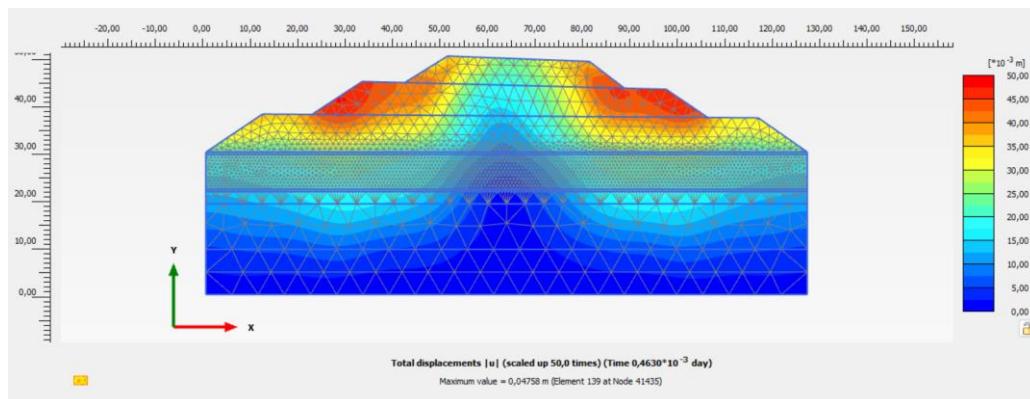
Hasil *input* data dan hasil perhitungan dengan program Plaxis akan ditampilkan dalam bentuk hasil *capture interface* pada waktu *running* program Plaxis. Gambar 6.9 adalah hasil *input time history* ke dalam program Plaxis.



Gambar 6.9 Input Time history

6.3.1 Analisis Penurunan Tanah Asli Akibat Timbunan

Pemodelan pertama dilakukan dengan memodelkan timbunan setinggi 20 meter. Pemodelan ini dilakukan untuk mengetahui besaran *displacement* pada tanah asli ketika memiliki timbunan setinggi 20 meter di atasnya. Berikut merupakan Gambar 6.10 hasil perhitungan penurunan tanah asli akibat timbunan tanah.

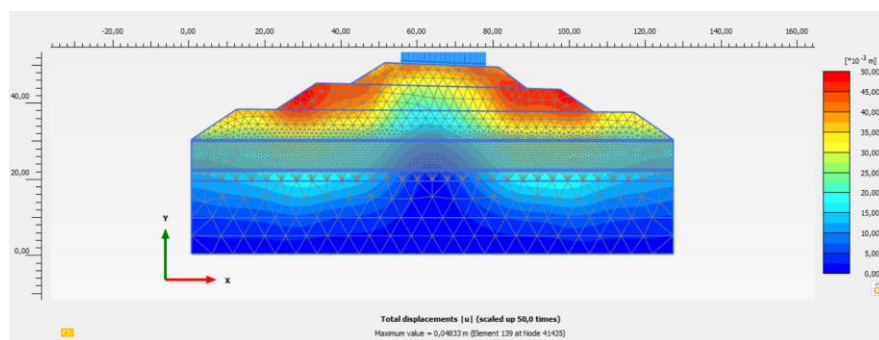


Gambar 6.10 Hasil Perhitungan *Displacement* Tanah Asli akibat Timbunan

Pada Gambar 6.10 menunjukkan bahwa hasil perhitungan total *displacement* pada tanah asli akibat beban timbunan tanah 20 meter sebesar 0.04758 m atau sama dengan 4.758 cm pada bagian kanan dan kiri timbunan. Hal ini berarti nilai *displacement* masih berada pada batas aman dari keruntuhan karena *displacement* maksimal yaitu 20,367 cm. Faktor keamanan pada perhitungan ini sebesar 1.655.

6.3.2 Analisis Penurunan Timbunan Tanah Akibat Beban Kendaraan

Pemodelan pada analisis ini dilakukan dengan memodelkan timbunan setinggi 20 meter diberi beban kendaraan sebesar 15 kN/m. Pemodelan ini dilakukan untuk mengetahui besaran *displacement* pada timbunan tanah ketika timbunan tanah setinggi 20 meter diberi beban sebesar 15 kN/m di atasnya. Berikut Gambar 6.11 hasil perhitungan *displacement* timbunan tanah akibat beban kendaraan.



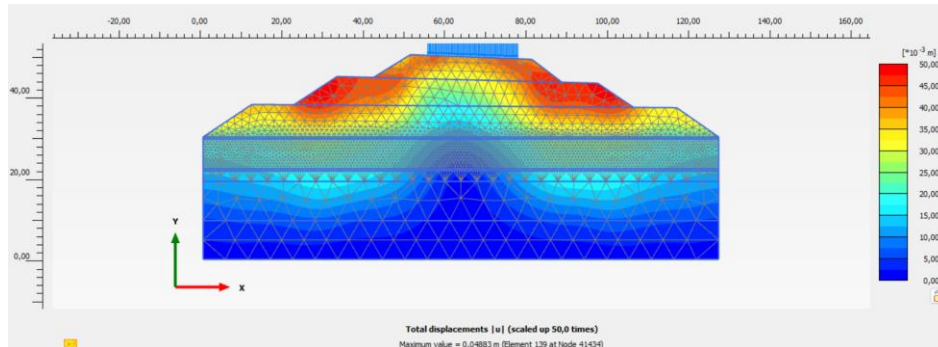
Gambar 6.11 Hasil Perhitungan *Displacement* Timbunan Tanah Akibat Beban Kendaraan

Gambar 6.11 memperlihatkan bahwa hasil perhitungan total *displacement* pada timbunan tanah yang diberi beban kendaraan memiliki *displacement* sebesar 0.04833 m atau sama dengan 4.833 cm pada bagian tengah timbunan. Hal ini berarti nilai *displacement* masih berada pada batas aman dari keruntuhan karena *displacement* maksimal yaitu 20,367 cm. Faktor keamanan pada perhitungan ini sebesar 1.654.

6.3.3 Analisis Penurunan Timbunan Tanah Akibat Beban Dinamik dan Beban Kendaraan

Pemodelan pada analisis ini dilakukan dengan memodelkan timbunan setinggi 20 meter diberi beban dinamik dan beban kendaraan. Pemodelan ini dilakukan untuk mengetahui besaran *displacement* pada timbunan tanah ketika timbunan tanah setinggi 20 meter diberi beban dinamik dan beban

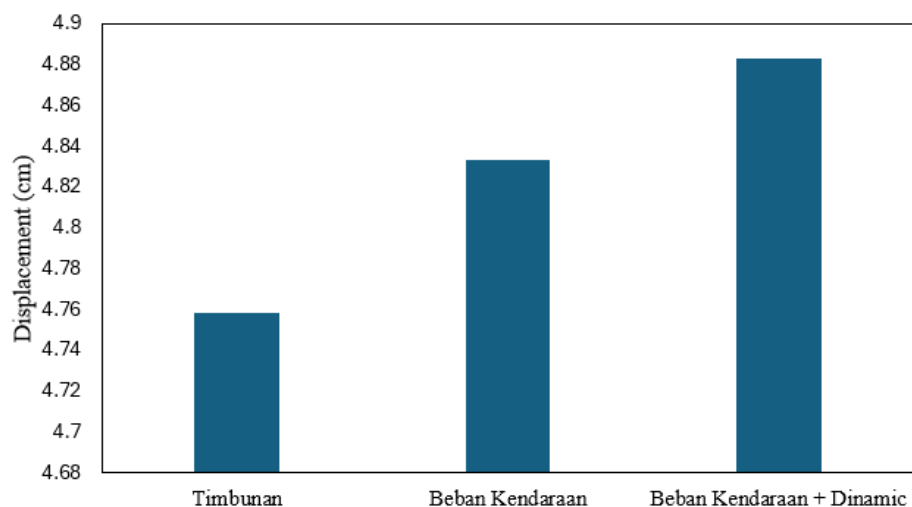
kendaraan sebesar 15 kN/m. Berikut Gambar 6.12 hasil perhitungan *displacement* timbunan tanah akibat beban dinamik dan beban kendaraan.



Gambar 6.12 Hasil Perhitungan *Displacement* Timbunan Tanah Akibat Beban Dinamik dan Beban Kendaraan

Pada Gambar 6.12 menunjukkan bahwa hasil perhitungan total *displacement* pada timbunan tanah yang diberi beban dinamik dan beban kendaraan memiliki *displacement* sebesar 0.04883 m atau sama dengan 4.883 cm pada bagian tengah timbunan. Hal ini berarti nilai *displacement* masih berada pada batas aman dari keruntuhan karena *displacement* maksimal yaitu 20,367 cm. Sedangkan faktor keamanan pada perhitungan ini yaitu 1.725.

Berikut merupakan rekap hasil *displacement* timbunan hasil analisis Plaxis yang dapat dilihat pada Gambar 6.13 berikut.



Gambar 6.13 Hasil Perhitungan *Displacement* Timbunan Tanah

Berdasarkan hasil analisis dengan program Plaxis, *displacement* total pada timbunan akibat berbagai kondisi pembebanan, baik timbunan tanah asli, beban kendaraan, maupun kombinasi beban dinamik dan kendaraan, berkisar antara 4.758 cm – 4.883 cm, jauh di bawah nilai batas izin *displacement* sebesar 20.367 cm. Berikut merupakan rekap hasil *safety factor* timbunan hasil analisis Plaxis yang dapat dilihat pada Gambar 6.14 berikut.



Gambar 6.14 Hasil Perhitungan *Safety Factor* Timbunan Tanah

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa faktor keamanan (*safety factor*) pada tiap skenario analisis yaitu baik timbunan tanah asli, beban kendaraan, maupun kombinasi beban dinamik dan kendaraan tetap berada di atas angka 1,6 dengan nilai tertinggi mencapai 1.725.

6.4 Pembahasan

Dari analisis pada bab sebelumnya diperoleh beberapa fokus pembahasan, yaitu sebagai berikut.

1. Dari titik penelitian Jalan TOL Jogja – Bawen dengan radius 500 km dan kedalaman maksimal 300 km pada rentang tahun 1973-2023 didapatkan sebaran gempa sebanyak 2236 kejadian gempa. Kemudian sebaran gempa tersebut dikonversi pada skala moment magnitude dengan acuan PusGen

2022. Setelah melalui proses konversi dan declustering Zmap didapatkan 1372 kejadian gempa dari 2236 kejadian gempa.
2. Berdasarkan hasil analisis *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA), diperoleh respon spektra *hazard* seragam atau *Uniform Hazard Spectrum* (UHS) pada kondisi batuan dasar. Dari hasil analisis, nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) pada batuan dasar untuk probabilitas terlampaui sebesar 2% dalam periode 50 tahun adalah 0,8206 g.
 3. *Time history* hasil *spectral matching* dilakukan dengan menggunakan respon spektra target yang didasarkan pada probabilitas terlampaui sebesar 2/3 dari 2% dalam periode 50 tahun. Proses *matching* ini disesuaikan dengan data gempa Morgan Hill, USA (1984) sebagai referensi. Hasil dari proses *spectral matching (artificial)* tersebut menghasilkan nilai percepatan maksimum ($a_{\max}$) sebesar 0,5949 g. Proses ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Makrup dan Jamal (2016) yang juga menggunakan metode serupa untuk menghasilkan *ground motion artificial* sesuai karakteristik lokal.
 4. Perambatan gelombang gempa dengan analisis non-linier ekuivalen satu dimensi menggunakan program DEEPSOIL, diperoleh respon spektra permukaan dengan percepatan maksimum 1.806 g pada periode 0.643 detik, yang mengindikasikan amplifikasi di lapisan tanah lunak permukaan. Nilai percepatan pada lapisan atas lebih tinggi daripada di batuan dasar.
 5. Analisis lanjutan dilakukan menggunakan Plaxis 2D untuk mengevaluasi respon timbunan tanah akibat beban dinamik berupa *displacement* dan *safety factor*. Tiga skenario pemodelan dilakukan, yaitu beban dari timbunan itu sendiri, beban dinamik dari gempa, dan kombinasi beban gempa serta kendaraan. Hasilnya menunjukkan bahwa *displacement* total pada timbunan akibat berbagai kondisi pembebanan, baik timbunan tanah asli, beban kendaraan, maupun kombinasi beban dinamik dan kendaraan, masih berada dalam batas aman sesuai ketentuan SNI. Nilai *displacement* maksimum yang terjadi hanya berkisar antara 4.758 cm – 4.883 cm, jauh di bawah nilai batas izin *displacement* sebesar 20.367 cm. Selain itu, hasil

perhitungan menunjukkan bahwa faktor keamanan (safety factor) pada tiap skenario analisis tetap berada di atas angka 1.6 dengan nilai tertinggi mencapai 1.725, sehingga kondisi timbunan dapat dikategorikan stabil terhadap potensi keruntuhan.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Dari bahasan yang sudah disampaikan pada bab sebelumnya, maka dapat disusun kesimpulan seperti di bawah ini.

1. Gelombang percepatan tanah di batuan dasar akibat gempa dominan di wilayah Jawa berhasil diperoleh melalui Analisis *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Hasil PSHA menunjukkan pada probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun, dengan gempa dominan pada *fault* sesar opak. Pada deagregasi *hazard* gempa menunjukkan jarak dominan sebesar 38.2446 km dengan magnitude dominan (M_w) 6.1482 dan *hazard* dominan 79.7728%. Respon spektra target kemudian didekati dengan metode *spectral matching* dari *time history* original untuk menghasilkan *time history* yang sesuai dengan karakteristik seismik lokal wilayah studi. Diperoleh *time history* dengan percepatan maksimal di batuan dasar sebesar 0.5949 g.
2. Perambatan gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan tanah dilakukan secara satu dimensi menggunakan metode non-linier ekuivalen melalui perangkat lunak DEEPSOIL. Hasilnya menunjukkan adanya amplifikasi getaran gempa pada lapisan tanah atas dengan percepatan maksimum sebesar 1.806 g yang terlihat meningkat dibandingkan pada percepatan maksimal di batuan dasar sebesar 0.5949 g.
3. Respon timbunan tanah badan jalan terhadap gelombang percepatan gempa dianalisis dengan Plaxis berupa *displacement* dan *safety factor*, menunjukkan bahwa struktur timbunan masih dalam kondisi aman. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa kombinasi beban dinamis (*time history*) dan beban kendaraan menghasilkan penurunan vertikal maksimum sebesar

4.883 cm dari batas maksimum 20.367 cm. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa faktor keamanan (*safety factor*) pada tiap skenario analisis tetap berada di atas angka 1.6 dengan nilai tertinggi mencapai 1.725, sehingga kondisi timbunan dapat dikategorikan stabil terhadap potensi keruntuhan.

7.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan sebagai berikut

1. Dapat dilakukan penelitian serupa untuk menentukan *time history* dengan metode spectral *matching* untuk kasus tempat yang berbeda.
2. Dapat dilakukan pengembangan *time history* tidak hanya dengan metode probabilistik, tetapi dengan menggunakan metode deterministik ataupun metode yang lain.
3. Dapat menganalisis respon timbunan tanah menggunakan perkuatan tambahan atau geotekstile menggunakan software Plaxis.
4. Dapat menganalisis respon timbunan tanah menggunakan software Plaxis 3D agar untuk memperoleh hasil simulasi yang lebih akurat, terutama dalam menangkap efek deformasi lateral dan interaksi tiga dimensi.
5. Mempertimbangkan kemungkinan perkuatan tambahan seperti penggunaan geotekstil atau sistem penahan lateral, terutama untuk timbunan tinggi di atas 15 meter.

DAFTAR PUSTAKA

Abrahamson, N. A., Silva W. J., (1997). *Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquake*. Seismological Research Letters. Volume 68 Januari/Pebruari 1997, Seismological Society of America.

Amalina, F. & Makrup, L. (2024). *Respon Timbunan Tanah Badan Jalan Terhadap Gerakan Tanah Akibat Gempa yang Diturunkan Secara Deterministik*. Tesis. Program Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

Artati, H.K., Makrup, L., Widodo, A. & Paulus. (2023). *Deterministic Seismic Hazard Analysis to Determine Liquefaction Potential Due to Earthquake*. Journal of Civil Engineering Research.

ASCE (2013). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Published by the American Society of Civil Engineers 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia 20191-4400. (This second edition incorporates the corrections as shown in the errata found on www.seinstitute.org, Revision of ASCE 7-98).

Asrurrifak, M. (2010). *Peta Respon Spektra Indonesia untuk Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa dengan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi dalam Analisis Probabilistik*. Dissertation. Institut of Technology Bandung, Indonesia.

Atkinson, G.M. and Boore, D.M. (2006). *Ground motion prediction equations for earthquakes in eastern North America*. Bulletin of the Seismological Society of America, v. 96, p. 21812205.

Atkinson, G.M. dan D.M. Boore, (1997). Some Comparisons Between Recent Ground-Motion Relations, *Seismological Research Letters*, Volume 68 Januari/Pebruary 1997, Seismological Society of America.

Atkinson, G.M. dan D.M. Boore, (2003). *Empirical Ground Motion Relations for Subduction-Zone Earthquakes and Their Application to Cascadia and Other Region*, *Bulletin of the Seimological Society of America*, Vol. 93, No. 4, pp. 1703-1729.

Bardet, J.P. & Tobita, T. (2001). *NERA: A Computer Program for Nonlinear Earthquake Site Response Analysis of Layered Soil Deposits*. Department of Civil Engineering, University of Southern California, Los Angeles.

Bayati Z, Soltani M (2016). *Ground motion selection and scaling for seismic design of RC frames against collapse*. *Earthquakes and Structures*, Volume 11, Issue 3, 2016, pp.445-459.

Bin Xu B., Zhou Y., Zhou C., Kong X., and ZouD. (2018). *Dynamic responses of concrete-faced rockfill dam due to different seismic motion input methods*. *International Journal of Distributed Sensor Networks* 2018, Vol. 14(10). The Author(s) 2018 DOI: 10.1177/155014771880468.

BMKG. (2023). *Katalog Data Gempa Bumi Indonesia..* Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.

Boore, D. M., Joiner, dan Fumal., (1997), *Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work*, *Seismological Research Letters*, Volume 68 Januari/Pebruary 1997, Seismological Society of America

Campbell, K.W. & Bozorgnia, Y. (2008). *NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD, and 5% Damped*

Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s. Earthquake Spectra, 24(1), 139–171.

Carlson C. Pp., Zekkos D., McCormick J. P. (2014) *Impact of time and frequency domain ground motion modification on the response of a SDOF system.* Earthquakes and Structures, Volume 7, Issue 6, 2014, pp.1283-1301.

Cornell, C.A. (1968), *Engineering Seismic Risk Analysis*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.58, pp. 1583-1606

Crouse, C.B. (1991). *Ground-Motion Attenuation Equations for Earthquakes on the Cascadia Subduction Zone*, Earthquake Spectra, Vol. 2, No.2. May, 1991, p. 201-236.

Erlangga, W., Makrup, L., Musthofa, M., & Suharyatmo. (2022). *Evaluasi Struktur Gedung Fakultas Hukum Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Berdasarkan Percepatan Gempa Yang Dihitung Secara Probabilistik.* Teknisia, 27(1), 34–45.
<https://doi.org/10.20885/teknisia.vol27.iss1.art4>.

Ergun M. and Ates S. (2013) *Selecting and scaling ground motion time histories according to Eurocode 8 and ASCE 7-05*, Earthquakes and Structures, Volume 5, Issue 2, 2013, pp.129-142.

Fauzi, F. (2011). *Metodologi Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

Finn W. D. L. (1993). *Practical Studies of the Seismic Response of a Rockfill Dam and a Tailings Impoundment*. Proceedings: Third International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, St. Louis, Missouri. ~ June 1-4, 1993, SOA 6.

Gardner, J.K. & 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

Gregor, N.J., W.J. Silva, I.G. Wong, R.R. Youngs, 2002. *Ground Motion Attenuation Relationships for Cascadia Subduction Zone*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 92, No. 5, pp. 1923-1932.

Gutenberg, B. dan Richter, C. F. (1944), *Frequency of Earthquake in California*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.34, No. 4, pp. 1985-1988.

Idriss, I.M. (2007). *Empirical Model for Estimating the Horizontal Response Spectra from Shallow Crustal Earthquakes*. PEER Report 2007/01, Pacific Earthquake Engineering Research Center.

Irsyam M., Hendriyawan, Dangkoa, A.D (2003) *Seismic Hazard Assessment LNG Storage Tank Terminal Teluk Banten, Report of Seismic Hazard Study*, Bandung.

Kertapati, E. (2006). *Pemodelan Sumber Gempa di Indonesia untuk Keperluan Mitigasi Gempa*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil.

Kramer S.L. (1996), *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall: New Jersey.

Makrup L.L. (2009), *Pengembangan Peta Deagregasi Hazard untuk Indonesia Melalui Pembuatan Software dengan Pemodelan Sumber Gempa Tiga Dimensi*, Dissertation, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.

Makrup, L. (2017) *Generating Design Ground Motion by Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Code*, EJGE (Electronic Journal of Geotechnical Engineering), Vol. 22, [2017] Bund. 5.

Makrup, L. (2017). *Change the Frequency Characteristic of the Earthquake Acceleration Wave by Fourier Analysis.*, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), Volume 8, Issue 12, December 2017, pp. 1045–1055.

Makrup, L. and Jamal A. U., (2016). *The Earthquake Ground Motion and Response Spectra Design for Sleman, Yogyakarta, Indonesia with Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Spectral Matching in Time Domain*, American Journal of Civil Engineering, 4(6): 298-305

Makrup, L., (2011), *Change the Frequency Characteristics of the Earthquake Acceleration Wave by Fourier Analysis*, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) Volume 8, Issue 12, December 2017, pp. 1045-1055.

Makrup, L., and Muntafi, Y. (2016) *Artificial Ground Motion for the Cities of Semarang and Solo Indonesia Generated Based on Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Spectral Matching*, EJGE (Electronic Journal of Geotechnical Engineering), Vol. 21, [2016] Bund. 21.

McGuire R. K. (2005), EZ Frisk Versions 7 manual, Risk Engineering Inc.

Merz, H.A. and Cornell, C.A. (1973): *Seismic Risk Analysis Based on a Quadratic Magnitude-Frequency Law*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 63, No.6, pp. 1999-2006

NEHRP (1997), *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures*, Part 1 and Part 2, FEMA-302 and 303. Prepared by the Building Seismic Safety Council for FEMA, Washington D.C. 20474.

Newmark, N.M. & Hall, W.J. (1987). *Engineering Monograph on Earthquake Criteria, Structural Design, and Strong Motion Records*. Earthquake Spectra and Design, Earthquake Engineering Research Institute, Vol. 3

Nicolaou.A.S. (1998), A GIS Platform for Earthquake Risk Analysis. A dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of State University of New York at Buffalo USA in partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy, August.

Pavel F., Vacareanu R. (2016) *Scaling of ground motions from Vrancea (Romania) earthquakes*. Earthquakes and Structures, Volume 11, Issue 3, 2016, pp.505-516.

PEER. (2023). *PEER Ground Motion Database*. University of California, Berkeley. Tersedia di: <https://ngawest2.berkeley.edu/>

Petersen, M.D., Dewey, J., Hartzell S., Mueller C., Harmsen S., Frankel A. D., dan Rukstales K., (2004), *Probabilistic seismic hazard analysis for Sumatra, Indonesia and across the Southern Malaysian Peninsula*. Elsevier.

Pratiwi D.A.W.W, Makrup L, Setiawan I, (2022). The Structural Dynamic Evaluation of Wadaslintang Dam to the Earthquake Acceleration Based on Indonesian *Seismic* Code 2019. American Journal of Civil Engineering; Vol. 10, No. 3, 2022, pp. 125-134. doi: 10.11648/j.ajce.20221003.15. subjected to earthquake ground motions. Soils and Foundations, Volume 62, Issue 2, April 2022, 101106.

PusGen. (2022). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2022*. Pusat Studi Gempa Nasional, Kementerian PUPR, Jakarta.

Sadigh K., Chang C.Y., Egan J.A., Makdisi F., dan Young R.R., (1997), *Attenuation Relationships for shallow Crustal Earthquake Based on California Strong Motion Data*, Seismological Research Letters, Volume 68 Januari/Pebruary 1997, Seismological Society of America.

SNI 1726. (2022). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

SNI 8460. (2017). *Tata Cara Perhitungan Stabilitas Lereng dengan Metode Batas Keseimbangan*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Stein, S. dan Wysession, M., (2003), An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure, Geological Magazine; November 2003; v. 140; no. 6; p. 733-734; DOI: 10.1017/S0016756803318837. Youngs, R. R. dan 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, Vol. 75, No. 4, pp. 939- 964

Sunardi, B., (2013) Peta Deagregasi *Hazard* gempa wilayah Jawa dan Rekomendasi Ground Motion di Empat Daerah, Tesis, Magister Teknik Sipil UII

UBC (1997), Uniform Building Code™, Volume 2, Structural Engineering Design Provisions, International Conference of Building Officials, 5360 Workman Mill Road, Whittier, California 90601-2298, Printed In USA

Wood, R.L., Hutchinson, T.C. (2012) Effects of ground motion scaling on nonlinear higher mode building response, Earthquakes and Structures, Volume 3, Issue 6, 2012, pp.869-887

Youngs, R. R. dan 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, Vol. 75, No. 4, pp. 939-964

Youngs, R.R., Chiou, S. J, dan Silva W.J., (1997), Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes, Seismological Research Letters, Volume 68 Januari/Pebruari 1997, Seismological Society of America. Atkinson, G.M. dan D.M. Boore, (1997). Some Comparisons Between Recent Ground-Motion Relations, Seismological Research Letters, Volume 68 Januari/Pebruari 1997, Seismological Society of America

Yu L., Kong X. and B. X (2012). *Seismic Response Characteristics of Earth and Rockfill Dams*. State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, China. 15 WCEE LISBOA 2012.

Zhao, J., Zhang. J., Asano, A., Onho, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., Ogaa, H., Irikura, K., Thio, H.K, Somerville, P.G. et al. (1997). "Attenuation relations of strong motion in Japan using the classification based on predominant period", *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 96, p. 898.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
107.262	-7.575	1973	1	22	5.03	88	3	17
106.965	-6.528	1973	2	1	4.63	77	11	39
111.142	-9.408	1973	3	12	5.72	38	5	57
111.098	-9.165	1973	3	24	5.03	33	12	51
112.590	-8.706	1973	3	30	4.83	97	19	3
106.932	-8.974	1973	7	27	5.64	61	16	48
110.728	-8.886	1973	10	14	5.03	70	14	2
106.587	-6.761	1973	11	26	5.03	62	8	51
107.029	-9.918	1974	3	15	5.23	67	6	37
108.935	-8.280	1974	3	25	5.34	92	16	31
108.021	-6.605	1974	4	21	4.83	33	20	24
106.126	-8.896	1974	4	23	5.03	33	5	58
113.803	-10.518	1974	5	9	5.13	33	5	53
106.837	-6.513	1974	5	17	6.14	131	20	55
111.267	-8.612	1974	5	21	5.44	88	7	57
106.868	-7.325	1974	6	1	4.73	89	12	39
106.866	-7.915	1974	6	14	5.23	83	12	37
108.304	-8.524	1974	8	27	4.73	33	22	2
107.570	-9.034	1974	9	4	5.54	69	6	4
108.155	-7.521	1974	9	7	5.34	106	18	55
108.356	-9.815	1974	9	7	6.57	33	20	43
108.540	-9.820	1974	9	12	4.83	33	4	42
107.234	-7.579	1974	9	18	5.64	93	18	27
106.822	-7.354	1974	9	20	4.63	104	17	55
108.182	-9.764	1974	9	21	4.63	49	6	36
106.884	-6.679	1974	9	24	4.73	60	3	13
106.849	-6.885	1974	10	6	4.83	124	22	59
111.842	-10.939	1974	10	21	4.83	33	19	27
112.637	-10.103	1974	11	2	5.54	39	21	43
110.448	-8.194	1974	11	8	5.13	106	2	26
107.230	-8.315	1974	11	28	4.93	38	17	41
112.298	-7.983	1975	1	15	5.94	141	20	29
113.948	-9.604	1975	1	20	5.54	89	13	39
106.677	-6.686	1975	2	9	5.84	27	4	45
108.215	-9.971	1975	4	4	5.13	33	13	36
107.497	-7.396	1975	5	14	5.34	106	10	0

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
107.927	-7.808	1975	6	16	5.13	88	4	14
112.635	-10.600	1975	8	10	5.23	43	15	57
110.827	-9.357	1975	10	27	5.84	70	9	31
114.284	-8.130	1975	11	6	5.23	170	1	34
106.293	-8.824	1975	12	6	4.73	33	3	39
106.075	-7.120	1975	12	18	5.74	77	8	33
110.554	-8.894	1975	12	27	4.63	231	3	28
109.114	-10.080	1976	1	4	5.64	59	3	56
108.197	-7.819	1976	1	9	5.94	101	21	32
105.963	-7.288	1976	1	10	4.73	75	23	23
109.046	-9.633	1976	1	11	4.73	63	12	18
109.942	-10.302	1976	1	18	5.23	33	1	36
108.607	-8.082	1976	2	14	6.04	53	20	31
106.953	-6.995	1976	2	21	5.23	111	17	44
106.320	-6.841	1976	3	1	5.34	103	3	36
106.302	-6.798	1976	3	7	5.13	99	12	9
107.943	-7.897	1976	3	25	5.03	108	16	28
110.763	-8.755	1976	4	6	5.03	123	19	4
112.594	-8.394	1976	5	8	4.93	91	5	31
106.507	-6.104	1976	7	2	5.23	100	4	4
106.715	-7.120	1976	7	30	4.83	91	3	53
107.866	-7.833	1977	1	1	4.83	90	2	18
109.014	-7.885	1977	1	1	5.84	113	17	35
111.243	-9.207	1977	1	29	5.23	33	13	40
112.381	-10.960	1977	2	7	5.03	55	19	16
111.687	-9.362	1977	4	5	5.13	61	11	23
111.683	-9.228	1977	4	9	5.23	67	21	20
107.213	-7.916	1977	4	24	5.03	91	22	18
112.190	-10.116	1977	5	1	4.83	51	1	5
112.152	-10.265	1977	5	3	5.13	45	13	22
111.997	-10.083	1977	6	10	4.93	52	8	24
109.138	-9.006	1977	6	28	4.63	33	23	47
110.328	-8.614	1977	7	18	5.44	74	18	11
107.169	-7.318	1977	8	3	5.13	99	19	54
109.198	-7.775	1977	8	8	5.34	113	1	42
107.644	-8.172	1977	8	10	5.84	52	7	7
113.824	-7.400	1977	8	14	4.83	246	9	54

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
107.567	-7.763	1977	8	14	5.91	33	21	38
112.236	-6.847	1977	8	28	5.23	222	7	40
111.363	-7.751	1977	9	1	4.93	68	0	18
107.088	-6.572	1977	9	10	6.04	105	13	39
112.310	-9.143	1977	9	11	5.13	49	14	16
112.472	-8.872	1977	9	11	4.83	33	22	55
112.282	-9.233	1977	9	13	5.34	40	3	1
111.369	-7.859	1977	9	26	4.73	158	18	40
113.397	-7.962	1977	11	9	5.13	162	5	25
110.407	-8.963	1977	11	23	5.34	82	16	11
108.642	-7.584	1977	11	28	4.83	114	10	35
112.640	-8.351	1977	12	5	4.73	119	6	24
108.069	-7.547	1978	1	5	4.83	70	5	2
113.509	-10.814	1978	1	14	5.54	42	14	55
114.530	-8.684	1978	2	3	5.23	123	11	3
107.050	-7.714	1978	2	14	5.54	85	0	3
106.162	-8.290	1978	5	30	5.23	33	11	27
107.006	-7.786	1978	7	9	5.03	65	18	59
111.823	-9.186	1978	7	30	5.03	67	17	20
107.433	-7.370	1978	8	8	5.23	100	8	24
106.803	-7.766	1978	9	12	5.34	33	18	17
112.216	-7.464	1978	10	14	5.74	184	18	41
106.443	-7.963	1978	11	11	5.03	33	4	49
106.656	-7.337	1978	11	24	5.34	76	5	38
108.025	-7.737	1978	12	13	5.13	89	8	59
113.893	-9.973	1978	12	16	4.63	33	10	45
111.608	-8.422	1978	12	21	5.03	88	11	4
109.762	-9.289	1979	1	14	4.73	33	22	47
106.211	-6.477	1979	3	2	4.83	153	18	34
107.608	-8.333	1979	3	19	5.23	65	7	21
107.151	-7.718	1979	5	4	5.23	91	14	32
108.517	-8.184	1979	5	11	5.13	131	12	51
111.199	-7.668	1979	5	14	5.23	37	9	14
111.765	-8.163	1979	5	15	5.13	81	1	6
111.143	-8.762	1979	7	18	4.63	99	15	33
107.709	-11.149	1979	7	24	6.94	31	19	31
109.783	-8.291	1979	7	29	5.13	94	22	34

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
108.965	-7.035	1979	8	8	5.23	206	8	42
109.081	-7.172	1979	8	15	4.93	152	18	6
106.754	-6.831	1979	9	6	5.34	95	16	1
112.607	-8.624	1979	9	9	4.83	80	13	58
108.045	-7.728	1979	9	22	4.83	92	17	50
114.002	-8.864	1979	9	24	5.23	86	0	25
110.755	-7.672	1979	10	7	5.34	180	19	27
113.887	-9.046	1979	10	8	4.93	96	18	3
106.035	-7.213	1979	10	10	6.04	33	13	39
108.252	-7.656	1979	11	2	6.25	62	15	53
106.169	-7.039	1980	3	20	5.44	33	19	50
107.165	-7.756	1980	3	24	5.03	72	13	39
112.977	-8.890	1980	3	31	5.34	49	13	14
108.793	-8.082	1980	4	16	5.94	84	12	18
108.744	-8.113	1980	4	16	5.84	80	12	23
108.714	-8.323	1980	4	17	5.03	83	19	21
111.798	-9.647	1980	4	23	4.93	33	23	54
106.088	-7.146	1980	5	25	5.13	74	12	7
107.094	-7.220	1980	6	30	5.03	86	18	58
111.983	-7.192	1980	7	3	5.13	232	0	6
111.500	-8.106	1980	7	17	5.03	142	19	24
106.386	-7.566	1980	7	23	5.44	33	13	32
112.051	-7.874	1980	8	13	5.13	33	0	17
106.113	-8.838	1980	8	17	4.73	33	0	31
107.655	-7.126	1980	9	22	5.54	141	18	17
107.700	-7.641	1980	10	7	4.73	108	0	8
112.306	-8.836	1980	10	21	5.03	86	22	31
112.766	-9.637	1980	10	31	4.83	33	13	56
108.701	-8.286	1980	11	3	5.03	33	11	21
112.041	-8.955	1980	12	24	5.74	63	23	55
106.198	-8.729	1981	1	28	5.03	33	8	48
107.965	-10.681	1981	2	5	5.84	33	21	38
107.746	-9.456	1981	3	1	5.54	33	23	58
110.428	-8.759	1981	3	13	5.74	51	23	22
112.482	-9.848	1981	5	21	4.73	34.3	2	32
112.024	-9.164	1981	5	31	4.93	84.2	1	35
112.795	-8.077	1981	7	6	5.13	121.4	0	0

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
106.448	-8.780	1981	10	23	5.78	33	13	5
106.456	-8.812	1981	10	23	5.91	33	13	26
113.544	-8.248	1981	11	3	4.93	107.5	4	7
108.660	-8.776	1981	11	25	4.63	76.6	14	8
111.761	-9.348	1981	12	13	5.84	82.6	20	35
111.621	-9.436	1981	12	14	4.93	68.3	5	44
106.936	-6.863	1982	2	10	5.64	39.8	16	17
106.726	-7.265	1982	2	10	4.73	33	19	19
111.814	-9.759	1982	2	24	5.03	80.4	20	23
110.152	-8.043	1982	2	28	4.93	147.1	5	25
111.344	-9.645	1982	3	15	4.93	33	17	16
105.953	-8.538	1982	3	22	4.93	33	17	8
106.006	-8.630	1982	3	22	5.23	34	17	15
110.314	-9.327	1982	3	31	5.03	39.6	13	28
110.519	-9.127	1982	4	4	4.83	93.9	4	27
107.969	-8.123	1982	4	8	5.03	79.5	13	48
113.434	-9.167	1982	4	10	4.83	33	21	51
107.918	-8.046	1982	5	3	5.44	78.2	16	22
106.862	-6.942	1982	5	23	5.13	57.9	10	53
112.287	-7.879	1982	6	20	4.73	173.9	19	32
108.032	-7.763	1982	7	23	4.83	90.4	0	56
111.715	-10.796	1982	7	23	5.34	34	13	51
107.966	-7.925	1982	8	4	5.13	78.4	8	49
106.535	-7.387	1982	8	10	4.93	78.7	17	51
112.672	-8.747	1982	9	12	4.63	85.4	10	27
107.241	-8.130	1982	9	13	5.23	60	1	26
108.744	-7.403	1982	10	26	5.74	153	12	44
109.093	-7.993	1982	10	28	5.34	96.3	15	30
107.185	-8.091	1982	10	29	5.34	33	8	13
106.950	-7.891	1982	11	27	4.73	33	18	19
112.594	-8.752	1983	1	9	4.63	88.9	8	8
114.287	-9.778	1983	1	16	5.03	79.6	2	56
108.248	-9.500	1983	2	20	5.13	33	4	49
107.173	-7.287	1983	2	25	5.23	68.9	16	33
107.761	-7.193	1983	3	9	5.44	121	0	5
107.102	-7.693	1983	3	24	4.83	33.6	7	24
106.354	-8.737	1983	4	1	4.73	33	0	21

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
107.034	-7.437	1983	4	10	5.13	86.6	0	44
110.890	-10.161	1983	4	16	5.70	57.1	12	57
106.357	-8.665	1983	5	2	5.66	33	6	59
111.419	-8.903	1983	6	4	4.63	70.2	12	57
106.022	-7.244	1983	6	25	5.03	64.5	23	14
106.348	-6.709	1983	7	13	5.13	111.2	15	7
108.237	-7.523	1983	7	16	4.83	122.1	23	28
111.406	-8.939	1983	8	12	5.23	89.7	11	50
109.869	-9.358	1983	8	12	4.93	33	23	55
111.240	-8.667	1983	8	13	5.90	81.2	22	28
111.224	-8.721	1983	8	17	5.54	71.7	9	29
106.418	-7.378	1983	9	1	4.73	67.9	2	4
108.611	-7.688	1983	9	10	4.73	126.5	2	47
108.017	-8.085	1983	9	24	4.73	79.3	9	27
111.425	-8.765	1983	11	1	5.23	77.8	7	28
109.075	-6.895	1983	11	10	5.03	218.7	11	32
112.933	-9.414	1984	1	26	5.60	33	18	55
112.722	-9.662	1984	1	27	5.03	33	8	40
108.979	-6.658	1984	1	30	5.13	263.8	17	34
111.578	-9.360	1984	1	31	4.93	85.4	16	53
112.777	-9.814	1984	2	8	5.34	50.6	0	20
106.957	-7.641	1984	3	10	6.00	52.1	9	2
110.597	-10.461	1984	4	6	5.23	33	23	50
110.425	-8.727	1984	4	10	4.63	97	9	54
106.138	-7.016	1984	4	18	5.13	49.6	22	22
106.173	-7.054	1984	4	26	5.44	77.8	10	38
111.338	-8.569	1984	5	3	5.50	85.6	12	28
106.649	-7.464	1984	5	13	4.93	33	3	58
114.215	-9.787	1984	6	8	5.13	33	14	48
114.085	-9.262	1984	6	11	5.34	79.2	14	14
112.540	-8.603	1984	6	14	4.93	95.2	22	57
111.474	-8.572	1984	7	16	5.13	105.4	3	27
106.167	-8.435	1984	7	20	4.93	33	18	55
106.225	-8.211	1984	7	21	5.34	33	2	18
111.960	-7.260	1984	7	27	4.83	33	0	11
114.759	-7.850	1984	8	3	5.23	38.4	22	41
106.147	-8.516	1984	8	19	5.23	33	0	6

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
106.155	-8.494	1984	8	19	5.60	33	11	31
112.165	-10.850	1984	8	24	4.63	33	5	49
112.332	-10.500	1984	8	25	4.73	33	18	36
113.865	-10.350	1984	9	18	5.23	51.7	20	24
113.770	-10.114	1984	9	22	5.23	71.3	23	39
113.028	-9.909	1984	9	28	4.83	55.7	18	43
113.395	-10.622	1984	10	6	5.03	33	8	25
107.673	-9.394	1984	10	9	5.03	69.9	5	19
114.183	-9.808	1984	10	15	4.93	92.5	5	27
108.050	-8.877	1984	11	8	4.93	45.7	23	3
107.802	-9.022	1984	11	9	4.93	33	17	46
107.930	-6.241	1984	11	11	4.83	33	5	22
106.521	-7.554	1984	11	20	5.34	33	8	37
107.153	-7.612	1984	12	10	4.93	75.8	13	27
108.018	-7.879	1984	12	12	5.60	76.7	23	6
113.514	-10.463	1985	1	30	4.73	33	17	5
111.988	-10.092	1985	3	15	5.13	33	3	47
110.468	-9.791	1985	3	17	4.73	33	12	52
110.564	-8.956	1985	3	22	4.73	82.8	10	15
106.181	-6.500	1985	3	22	4.93	114.5	12	38
107.973	-7.765	1985	4	2	5.34	33	15	33
107.013	-8.159	1985	4	12	4.73	33	0	32
114.185	-9.245	1985	4	13	5.90	98.9	1	6
113.977	-9.426	1985	4	14	4.63	120.5	0	24
113.735	-9.632	1985	4	15	4.73	119.6	13	14
111.333	-8.746	1985	4	23	5.54	33	22	10
108.036	-7.717	1985	4	25	5.20	82	14	14
112.013	-9.100	1985	4	28	5.13	33	18	19
113.744	-9.987	1985	5	12	4.83	33	4	29
107.464	-7.383	1985	6	8	5.23	61	23	34
113.742	-9.478	1985	6	13	5.23	98.2	20	54
110.455	-9.270	1985	6	28	4.93	33	21	46
106.322	-7.060	1985	7	4	5.03	88.4	14	55
110.306	-8.503	1985	7	9	5.70	58.9	13	26
112.922	-9.382	1985	7	12	5.13	81.3	22	50
110.618	-8.573	1985	7	23	5.20	87.7	3	23
107.475	-7.038	1985	8	2	5.03	146.1	12	42

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
107.905	-8.008	1985	8	29	4.83	33	2	28
111.089	-9.590	1985	9	6	5.54	79.2	9	38
114.102	-9.783	1985	9	9	5.34	33	18	53
106.868	-7.187	1985	9	11	4.93	53.8	0	47
112.218	-11.141	1985	9	11	5.23	33	8	37
108.848	-8.018	1985	9	11	5.23	96.2	8	57
107.648	-10.024	1985	9	29	4.73	33	12	33
107.082	-6.791	1985	10	9	6.50	153.8	1	15
111.817	-10.449	1985	11	20	5.23	33	2	49
108.495	-8.649	1985	11	25	5.23	67.7	16	26
111.524	-10.997	1985	12	8	5.03	33	19	30
108.175	-6.722	1985	12	12	5.13	251.1	12	38
108.521	-8.473	1986	2	12	4.73	57.7	1	16
112.041	-8.704	1986	3	7	4.83	33	19	44
111.693	-8.217	1986	3	9	5.30	117	8	41
112.256	-10.824	1986	3	30	4.63	33	13	36
110.925	-9.186	1986	4	27	4.73	33	22	46
112.019	-6.969	1986	5	12	5.23	33	10	35
106.794	-7.921	1986	5	19	4.83	33	20	3
106.492	-7.305	1986	5	20	5.50	60.9	21	57
107.653	-9.373	1986	6	17	4.73	33	20	13
105.988	-8.002	1986	7	16	4.73	33	2	19
106.053	-6.695	1986	8	14	5.03	137.7	5	58
113.002	-9.504	1986	8	30	5.34	60.1	18	45
112.190	-9.640	1986	9	7	4.73	80.8	23	57
108.300	-6.425	1986	9	8	4.73	285.3	11	51
110.293	-6.984	1986	9	12	4.93	33	21	54
107.233	-7.498	1986	10	10	5.74	81.7	17	48
106.191	-6.972	1986	11	24	4.73	86.2	16	53
107.857	-9.617	1986	11	27	4.83	33	0	24
106.337	-6.852	1986	12	5	5.13	78.1	2	33
107.716	-9.522	1986	12	10	5.23	40.1	7	33
107.392	-7.115	1986	12	12	5.30	89.4	15	55
105.960	-7.269	1987	1	8	5.03	33	1	18
106.670	-7.268	1987	1	27	4.73	33	21	25
112.649	-9.772	1987	2	6	4.73	33	1	56
111.063	-8.610	1987	4	8	4.93	64.1	19	58

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
107.730	-8.029	1987	5	5	4.83	33	23	19
112.351	-9.110	1987	5	7	4.73	33	13	12
112.706	-9.276	1987	6	1	4.63	92.4	20	10
111.164	-9.490	1987	6	4	4.83	33	16	45
112.535	-9.118	1987	6	17	4.93	33	17	47
113.603	-10.116	1987	6	18	5.34	59.9	11	44
107.066	-9.194	1987	7	1	5.23	30.3	8	53
107.818	-9.442	1987	7	3	4.73	33	16	51
108.004	-7.789	1987	7	14	4.83	80.6	2	46
113.393	-8.990	1987	7	27	4.73	89.6	20	32
108.677	-8.847	1987	8	6	4.83	33	19	28
107.322	-8.324	1987	8	14	4.63	33	21	23
109.539	-8.570	1987	9	5	4.63	134.4	19	9
107.138	-9.501	1987	10	1	5.03	33	7	54
112.231	-9.042	1987	10	28	4.93	33	17	56
113.354	-5.642	1987	11	10	5.23	34.3	20	17
111.621	-8.660	1987	11	17	4.93	105.5	9	32
108.793	-8.094	1987	11	18	5.50	65.5	1	34
108.229	-9.498	1987	12	14	5.54	33	8	28
112.669	-8.498	1988	1	15	4.63	104.8	7	39
114.187	-9.351	1988	2	27	5.23	70.1	10	14
113.145	-9.385	1988	3	3	5.03	78.9	10	17
111.082	-8.315	1988	3	13	4.83	127.6	6	18
107.450	-9.687	1988	3	26	4.83	33	21	25
112.874	-9.364	1988	4	4	5.90	60.9	16	12
112.737	-9.563	1988	4	13	5.34	61.4	19	10
109.014	-8.045	1988	4	20	4.73	99.1	21	43
113.929	-9.634	1988	6	18	4.73	33	1	28
106.257	-8.846	1988	6	25	5.13	32.1	15	56
106.348	-8.717	1988	6	25	5.13	33	17	2
106.466	-8.561	1988	6	26	4.73	33	18	31
112.596	-8.487	1988	7	14	5.44	33	23	18
107.150	-7.698	1988	8	17	6.00	27.1	1	59
109.418	-7.455	1988	9	25	5.44	150.6	7	1
108.594	-8.629	1988	10	5	4.83	69.4	4	4
107.358	-6.180	1988	10	7	4.73	177.5	9	16
108.753	-9.671	1988	10	9	5.60	25.6	22	41

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
107.278	-6.346	1988	11	8	5.03	215.7	16	13
112.639	-9.776	1988	11	10	5.03	33	14	0
111.581	-10.990	1988	11	12	4.93	33	0	6
107.160	-7.206	1988	12	2	5.13	79.1	15	10
106.671	-8.348	1988	12	12	5.03	33	1	16
106.719	-8.396	1988	12	12	4.73	33	1	20
107.838	-8.100	1988	12	19	4.83	77.5	3	33
106.003	-8.702	1988	12	19	4.93	36.5	18	59
108.046	-9.321	1988	12	22	4.93	37.3	7	34
107.334	-8.987	1988	12	26	4.73	55.2	20	19
106.126	-8.712	1988	12	30	5.13	28.8	16	38
111.012	-9.019	1989	1	2	4.83	33	10	16
106.177	-6.991	1989	1	2	5.03	84.6	14	26
112.948	-8.523	1989	1	12	4.93	147.8	5	23
105.940	-7.020	1989	1	31	4.93	53.2	21	38
113.218	-9.627	1989	2	10	4.93	33	15	49
106.075	-8.766	1989	2	13	4.93	33	4	9
106.460	-7.365	1989	2	17	4.83	33	17	42
105.959	-8.850	1989	2	19	5.03	33	17	48
108.006	-7.302	1989	2	26	5.03	160.6	1	50
112.553	-9.799	1989	3	1	4.73	49.7	1	41
112.718	-11.481	1989	3	5	4.93	33	17	57
107.716	-8.098	1989	4	2	4.73	33	5	28
107.806	-5.930	1989	4	16	4.93	33	13	13
112.924	-8.179	1989	4	17	5.23	112.8	14	20
107.922	-7.775	1989	4	20	4.83	33	7	54
114.634	-8.489	1989	5	19	5.03	141.1	19	37
106.549	-8.956	1989	6	7	5.13	33	9	58
108.877	-9.646	1989	6	17	5.13	28	8	31
111.563	-11.159	1989	7	22	4.83	83.6	22	29
107.081	-7.322	1989	7	30	5.03	33	10	55
106.128	-6.839	1989	8	4	5.60	33	5	38
108.426	-6.699	1989	9	1	5.40	221.9	11	57
110.546	-9.029	1989	9	12	4.93	33	8	54
110.503	-9.017	1989	9	12	5.60	33	8	55
110.443	-9.031	1989	9	12	4.83	33	9	5
110.521	-9.011	1989	9	12	5.50	48.3	15	29

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
111.319	-8.307	1989	9	17	4.83	136.1	4	5
113.201	-9.112	1989	10	10	5.30	49.4	6	45
113.247	-7.151	1989	10	25	5.13	41.4	6	46
111.995	-9.230	1989	10	31	4.93	33	17	16
111.962	-9.219	1989	10	31	5.60	33	18	44
111.880	-9.516	1989	10	31	4.83	33	19	13
112.050	-9.306	1989	10	31	5.60	33	19	35
111.674	-9.717	1989	11	7	4.63	10	12	4
108.020	-6.265	1989	11	8	5.03	298	15	20
106.356	-8.703	1989	11	17	5.23	23.8	19	12
113.418	-8.828	1989	12	3	5.30	95	11	11
113.212	-8.952	1989	12	15	4.83	33	10	7
112.887	-9.370	1989	12	28	4.93	33	13	14
112.454	-6.786	1989	12	28	5.03	33	17	12
107.260	-9.412	1990	1	1	4.83	31.9	14	10
106.442	-8.800	1990	1	5	5.80	29	10	10
108.818	-8.208	1990	1	14	5.13	88.8	7	8
110.365	-9.602	1990	1	15	4.73	33	4	56
105.911	-6.649	1990	1	20	5.40	64.1	9	13
110.290	-10.233	1990	2	4	5.80	45.8	7	58
110.178	-10.489	1990	2	6	4.73	33	22	43
112.873	-5.667	1990	3	26	5.48	33	11	23
112.399	-6.231	1990	3	26	4.73	33	20	31
113.010	-5.614	1990	4	3	4.73	36.1	16	49
109.950	-8.963	1990	4	6	4.93	33	22	31
109.592	-10.524	1990	4	10	5.44	39.9	22	44
106.695	-7.120	1990	4	13	5.13	33	14	17
107.634	-9.411	1990	4	25	4.93	31	18	30
109.914	-9.570	1990	5	1	4.73	33	9	48
110.295	-10.457	1990	5	2	4.63	33	3	28
109.043	-8.137	1990	5	21	5.60	27.5	13	24
108.128	-10.021	1990	6	1	5.03	33	23	26
108.182	-10.057	1990	6	2	4.93	33	5	40
106.688	-7.424	1990	6	3	4.83	33	3	50
106.420	-6.777	1990	6	11	4.93	106	17	49
111.235	-8.813	1990	6	18	5.13	33	16	52
110.577	-10.238	1990	6	19	4.83	33	8	45

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
108.120	-6.904	1990	7	6	5.50	13.5	0	16
108.345	-8.273	1990	8	23	4.63	69	12	12
110.765	-9.152	1990	8	26	5.50	33	5	16
110.764	-9.196	1990	8	26	5.44	33	23	13
106.370	-6.984	1990	8	31	5.03	33	3	24
106.178	-6.788	1990	9	8	5.23	115.6	12	11
106.494	-7.072	1990	10	1	4.83	53.5	11	50
110.783	-9.231	1990	10	8	5.13	92	17	0
108.926	-9.090	1990	10	29	5.03	33	23	29
112.814	-10.912	1990	11	8	4.93	63.5	0	38
108.939	-8.549	1990	11	8	5.30	73.6	14	10
113.813	-9.455	1990	11	12	4.63	89.6	0	51
112.894	-10.545	1990	11	26	4.73	33	19	34
108.502	-8.171	1990	12	2	4.83	102.4	7	8
108.768	-7.022	1990	12	7	5.03	220.7	12	17
110.587	-8.676	1990	12	9	5.13	33	5	26
110.811	-8.165	1990	12	9	4.93	33	7	33
108.787	-7.921	1990	12	24	5.03	45.5	4	55
107.188	-9.778	1990	12	26	4.93	33	15	37
106.729	-7.317	1991	1	30	5.13	33	11	17
110.382	-9.021	1991	2	15	4.83	33	13	40
108.565	-8.575	1991	2	20	5.23	33	5	49
113.683	-10.165	1991	2	22	5.34	33	1	10
107.450	-7.440	1991	4	4	5.03	77.9	17	56
108.077	-7.618	1991	4	13	5.13	60.6	23	20
114.467	-8.271	1991	4	24	4.83	33	18	31
112.339	-6.060	1991	5	19	4.73	140.1	15	31
107.522	-7.946	1991	5	22	4.63	33	17	22
111.409	-8.670	1991	6	2	5.23	88.4	16	50
113.955	-9.227	1991	6	7	5.03	99.2	17	12
111.021	-8.439	1991	7	4	5.44	114.2	6	54
113.468	-10.144	1991	8	7	5.13	33	23	0
106.694	-8.515	1991	9	21	5.23	33	16	13
108.833	-10.170	1991	11	21	4.63	33	23	59
113.771	-8.851	1991	11	26	5.23	106.5	13	47
106.544	-7.799	1991	12	19	4.93	53.2	16	21
109.067	-7.138	1992	2	4	5.10	58.3	1	58

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
106.159	-5.955	1992	3	3	5.30	144	8	29
114.734	-8.345	1992	3	30	5.34	17.2	13	42
112.418	-9.992	1992	4	14	5.23	33	4	52
113.016	-7.376	1992	5	14	4.83	33	18	19
111.100	-8.474	1992	6	9	6.10	63.9	0	31
112.593	-8.790	1992	6	26	5.20	63.9	2	36
111.268	-7.671	1992	7	5	5.23	33	6	0
106.656	-7.350	1992	7	11	5.03	33	2	25
112.973	-9.244	1992	7	18	4.83	60.5	2	8
112.378	-8.790	1992	9	4	5.03	33	0	56
112.507	-8.522	1992	9	4	5.03	33	22	48
107.838	-7.966	1992	9	13	4.93	33	8	19
112.460	-11.554	1992	9	25	4.73	33	10	14
106.313	-7.656	1992	9	26	4.93	33	17	59
112.640	-9.370	1992	9	26	4.73	33	17	59
109.515	-9.250	1992	10	12	4.83	33	23	21
106.780	-5.830	1992	10	25	5.44	104.1	14	37
107.050	-7.878	1992	10	30	5.20	64.6	16	53
106.193	-7.268	1992	11	18	5.44	48.2	21	26
110.423	-8.643	1992	11	21	5.50	47.9	3	4
107.169	-8.205	1992	12	14	5.13	33	19	57
113.718	-10.035	1992	12	21	5.23	39	3	21
107.707	-8.023	1993	1	8	5.03	33	3	3
106.655	-6.455	1993	3	2	4.63	123.6	10	22
106.796	-7.292	1993	3	15	5.23	73.5	4	15
108.042	-7.769	1993	3	17	5.03	96.2	17	50
111.674	-11.682	1993	3	21	5.13	33	3	48
110.882	-8.664	1993	3	22	5.23	52.4	5	24
113.763	-9.975	1993	3	30	4.93	33	12	28
107.322	-9.329	1993	4	4	4.93	33	22	58
111.254	-8.387	1993	4	10	5.13	88.2	17	58
107.235	-7.594	1993	4	17	4.73	108	15	48
107.265	-8.186	1993	4	26	4.93	33	14	12
113.246	-9.276	1993	4	30	5.13	42.6	1	51
112.116	-11.527	1993	5	2	4.93	33	4	6
106.431	-9.732	1993	5	8	4.73	33	15	34
112.450	-8.288	1993	5	25	5.03	93	0	42

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
113.954	-7.882	1993	6	18	4.63	191.1	1	21
111.406	-8.272	1993	7	12	4.93	158.1	16	37
106.233	-6.518	1993	7	17	5.03	120.8	0	11
110.358	-8.672	1993	8	26	5.44	66.4	1	43
106.210	-8.823	1993	9	11	5.13	33	2	2
106.817	-8.438	1993	10	13	5.23	33	7	8
106.101	-7.033	1993	11	5	5.20	74.8	7	2
110.804	-10.761	1993	11	15	4.73	33	12	34
111.439	-8.679	1993	11	16	5.36	33	11	59
110.373	-8.792	1993	12	8	4.93	96.9	20	52
114.699	-8.746	1994	1	16	5.13	115.2	19	12
113.187	-8.364	1994	1	18	5.34	140.7	6	46
106.575	-5.410	1994	2	17	4.83	288.6	2	54
112.804	-9.750	1994	2	18	5.13	53.3	19	11
108.052	-9.238	1994	2	28	5.24	33	22	55
111.429	-7.666	1994	3	13	5.13	97.2	10	50
108.542	-7.149	1994	3	16	5.13	33	0	2
111.799	-8.769	1994	3	25	4.93	97.1	12	51
106.163	-7.289	1994	3	28	4.83	77.1	17	31
112.294	-9.445	1994	4	25	4.63	33	11	9
113.058	-9.343	1994	4	25	5.80	67.7	22	21
113.055	-9.493	1994	4	25	5.23	92.6	22	43
112.867	-9.493	1994	4	25	4.83	47.5	23	23
112.647	-9.845	1994	4	25	4.83	33	23	27
112.609	-9.511	1994	4	26	4.73	33	2	20
112.940	-9.448	1994	4	26	4.93	33	3	31
113.007	-9.445	1994	4	26	4.93	33	3	46
112.883	-9.500	1994	4	26	5.34	33	4	29
112.773	-9.577	1994	4	26	4.83	33	6	57
113.010	-9.444	1994	4	26	5.13	33	8	37
112.949	-9.427	1994	4	26	5.34	33	9	16
112.807	-9.599	1994	4	26	4.73	33	17	23
112.849	-9.514	1994	4	27	5.34	67	8	22
113.101	-9.329	1994	4	30	5.13	86.6	3	41
113.234	-9.900	1994	5	1	4.93	108.1	17	29
107.104	-7.482	1994	5	9	4.93	98.6	21	12
113.085	-10.335	1994	5	28	4.63	33	6	44

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
112.835	-10.477	1994	6	2	7.80	18.4	18	17
113.470	-10.095	1994	6	2	4.83	33	18	44
107.885	-4.362	1994	6	2	5.34	33	19	45
111.884	-11.860	1994	6	2	4.93	33	21	2
113.499	-10.214	1994	6	2	5.03	24	21	4
112.607	-11.426	1994	6	2	4.93	33	21	18
112.326	-11.220	1994	6	2	4.63	33	21	40
112.012	-11.065	1994	6	2	4.93	33	21	47
113.044	-10.388	1994	6	2	5.03	33	23	18
112.741	-11.084	1994	6	2	4.73	33	23	24
112.621	-10.720	1994	6	2	4.73	33	23	32
112.182	-11.417	1994	6	3	4.93	33	1	32
112.766	-10.351	1994	6	3	5.23	23.2	2	55
112.900	-11.042	1994	6	3	4.93	33	4	24
112.998	-10.391	1994	6	3	5.60	42.7	4	54
113.508	-10.219	1994	6	3	5.48	33	5	10
112.857	-11.011	1994	6	3	4.93	33	6	24
112.548	-11.099	1994	6	3	5.03	33	9	24
112.739	-10.981	1994	6	3	5.23	33	10	14
113.076	-10.489	1994	6	3	5.54	33	12	33
114.333	-9.421	1994	6	3	5.54	33	13	39
111.884	-11.744	1994	6	3	5.23	33	15	18
113.045	-9.440	1994	6	3	5.44	28.3	16	33
112.962	-10.468	1994	6	3	5.60	40.3	18	16
113.017	-10.656	1994	6	3	5.23	33	18	54
112.892	-10.362	1994	6	3	6.60	25.9	21	6
112.873	-10.548	1994	6	3	5.44	33	21	19
112.897	-10.416	1994	6	3	6.04	43.5	21	21
112.802	-10.559	1994	6	3	5.34	33	21	57
113.013	-10.543	1994	6	3	5.44	33	21	59
112.569	-10.981	1994	6	3	4.83	33	22	11
113.588	-10.395	1994	6	3	5.74	23.9	23	2
112.810	-10.473	1994	6	3	5.64	32.3	23	42
113.366	-10.777	1994	6	4	6.50	11.2	0	57
113.715	-9.464	1994	6	4	4.73	33	5	1
112.845	-11.378	1994	6	4	5.44	40	5	17
113.186	-10.567	1994	6	4	5.54	32.5	5	54

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute
113.225	-10.831	1994	6	4	5.60	34.1	11	36
113.555	-10.696	1994	6	4	5.20	28.5	12	4
112.889	-10.559	1994	6	4	5.40	33.4	14	57
113.199	-10.826	1994	6	4	5.50	30.3	20	9
113.398	-10.349	1994	6	5	6.10	25.9	1	45
113.322	-10.613	1994	6	5	5.36	27.5	4	13
113.450	-10.827	1994	6	5	5.34	39.9	5	32
113.492	-10.717	1994	6	5	5.74	33	5	56
112.878	-10.015	1994	6	5	5.54	32.3	6	20
112.724	-10.779	1994	6	5	4.93	43.9	15	2
113.088	-11.155	1994	6	5	4.73	23	15	14
112.654	-10.645	1994	6	5	5.50	39.8	17	51
112.417	-10.683	1994	6	5	5.34	35.8	18	30
112.360	-11.151	1994	6	5	5.13	41.4	19	35
113.324	-10.812	1994	6	6	5.30	34.3	1	8
113.411	-10.515	1994	6	6	5.23	21.9	2	18
112.491	-10.932	1994	6	6	5.13	33	2	23
112.535	-10.639	1994	6	6	5.44	43.9	4	55
112.618	-10.587	1994	6	6	5.10	20.5	5	32
112.511	-10.811	1994	6	6	4.93	34.6	5	44
113.084	-11.081	1994	6	6	5.34	33	6	20
113.198	-11.003	1994	6	6	5.44	38.1	7	40
113.148	-10.832	1994	6	6	5.23	41.6	8	18
112.561	-10.663	1994	6	6	5.44	35.1	10	14
112.605	-11.026	1994	6	6	5.13	33	12	14
113.289	-10.775	1994	6	6	4.93	33	15	33
112.628	-10.968	1994	6	6	4.93	33	22	10
113.072	-9.656	1994	6	7	5.34	33	4	42
112.842	-10.772	1994	6	7	5.03	33	4	47
113.122	-11.069	1994	6	7	5.54	33	22	0
112.808	-10.583	1994	6	7	4.93	38.4	23	7
113.463	-10.612	1994	6	8	5.03	33	6	3
112.672	-10.637	1994	6	8	5.23	37.7	19	19
113.378	-10.659	1994	6	8	4.73	33	19	41
112.485	-11.104	1994	6	9	4.63	33	12	52
113.623	-10.143	1994	6	9	5.94	33	16	37
113.240	-11.074	1994	6	9	5.03	68.4	17	48

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

113.298	-10.687	1994	6	9	4.93	33	23	9
113.146	-11.094	1994	6	10	5.13	33	1	16
112.221	-11.199	1994	6	10	5.13	42.7	1	40
112.726	-10.391	1994	6	10	5.44	28.6	19	11
113.502	-10.291	1994	6	10	5.54	33	19	17
112.568	-10.760	1994	6	11	5.03	31	20	19
112.677	-10.624	1994	6	11	5.23	33	21	59
112.826	-10.458	1994	6	12	5.10	33	1	35
112.783	-10.575	1994	6	12	5.44	33	1	47
112.990	-10.837	1994	6	12	5.23	33	2	14
112.217	-10.726	1994	6	12	5.03	24.6	7	57
112.056	-10.827	1994	6	12	5.13	33	8	3
113.239	-10.981	1994	6	12	4.63	33	8	27
112.155	-11.162	1994	6	12	4.93	33	9	19
112.600	-10.615	1994	6	12	5.44	34.2	13	53
112.291	-10.967	1994	6	12	5.03	33	14	0
113.422	-10.553	1994	6	13	5.03	33	2	6
113.491	-10.285	1994	6	13	5.60	23.5	21	4
113.569	-10.233	1994	6	13	5.97	33	21	10
112.894	-10.802	1994	6	13	5.23	33	21	50
113.621	-10.328	1994	6	13	5.74	25.5	22	48
113.065	-10.758	1994	6	14	4.83	10	1	26
113.389	-10.547	1994	6	14	5.23	30.5	1	48
113.305	-10.676	1994	6	14	5.23	32.2	2	35
113.412	-10.632	1994	6	14	4.83	33	3	28
113.495	-10.862	1994	6	14	4.83	33	6	22
113.275	-10.660	1994	6	14	5.03	24.7	8	17
113.443	-10.526	1994	6	14	5.23	25.3	14	54
113.476	-10.507	1994	6	14	5.20	27.4	15	20
113.512	-10.487	1994	6	14	5.23	33	16	0
112.991	-10.822	1994	6	14	4.93	33	16	25
113.274	-10.860	1994	6	14	4.83	33	19	40
113.164	-10.655	1994	6	14	4.63	10	22	38
113.066	-9.438	1994	6	15	5.23	28.6	6	18
113.660	-10.335	1994	6	15	6.20	19.9	9	22
113.727	-10.518	1994	6	15	4.93	33	9	36
113.686	-10.149	1994	6	15	5.64	28.8	9	50
113.749	-10.168	1994	6	15	6.10	28.8	10	28

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

113.441	-10.498	1994	6	15	5.34	24.7	12	10
113.453	-10.462	1994	6	15	4.93	25.5	12	19
112.440	-10.384	1994	6	15	5.13	31.2	13	53
113.249	-10.819	1994	6	15	4.83	33	17	40
113.117	-10.747	1994	6	15	4.73	33	20	6
112.425	-10.644	1994	6	16	4.73	26.4	0	13
113.294	-10.598	1994	6	16	4.93	33	0	36
112.318	-10.719	1994	6	16	4.73	33	2	2
113.475	-10.650	1994	6	16	5.13	33	12	48
107.704	-9.418	1994	6	16	4.83	33	17	40
113.632	-10.150	1994	6	18	5.50	46	22	38
112.757	-9.472	1994	6	19	5.44	33	3	20
113.479	-10.346	1994	6	19	5.44	33	12	57
113.483	-10.596	1994	6	19	5.23	19.8	13	50
112.508	-11.013	1994	6	19	5.03	33	15	31
112.577	-9.476	1994	6	21	4.83	33	1	7
113.051	-10.829	1994	6	22	4.73	40.1	13	58
112.571	-10.630	1994	6	22	4.83	33	18	45
112.644	-10.565	1994	6	22	5.23	33	19	11
112.600	-10.728	1994	6	23	4.63	33	13	46
112.537	-10.892	1994	6	23	4.73	54.4	13	58
113.646	-9.202	1994	6	24	5.03	33	3	7
113.311	-10.770	1994	6	26	5.13	33	6	14
112.636	-10.850	1994	6	28	5.23	33	14	45
109.137	-7.960	1994	7	1	5.10	101.4	1	57
113.770	-10.310	1994	7	8	5.03	40.4	8	43
113.138	-10.773	1994	7	8	4.73	33	21	53
112.497	-11.080	1994	7	9	5.23	33	4	48
112.947	-10.931	1994	7	11	4.93	33	9	38
112.493	-9.740	1994	7	18	5.54	33	5	24
112.939	-9.591	1994	7	18	5.50	33	16	33
112.244	-9.922	1994	7	20	4.63	33	16	50
112.836	-9.664	1994	7	21	5.44	23.3	15	52
113.269	-10.654	1994	7	24	5.40	34.3	21	57
107.558	-4.616	1994	7	24	5.13	33	22	11
113.048	-11.063	1994	7	25	5.13	10	0	45
113.021	-10.939	1994	7	25	5.03	33	17	26
113.590	-10.263	1994	7	26	5.84	33	1	46

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

112.953	-11.290	1994	7	28	4.63	33	21	33
113.270	-10.639	1994	7	29	5.30	33	13	13
113.117	-10.076	1994	8	1	4.83	110.5	9	24
113.221	-11.147	1994	8	2	5.03	33	23	48
112.711	-9.857	1994	8	4	5.23	23.2	1	9
107.960	-7.970	1994	8	18	4.93	35.7	4	13
111.849	-9.168	1994	8	21	5.34	57.8	21	57
112.886	-10.939	1994	8	24	5.34	33	8	53
105.952	-8.685	1994	9	3	4.93	33	13	28
113.435	-10.696	1994	9	7	4.63	33	18	21
113.444	-10.699	1994	9	7	5.13	33	18	48
107.649	-8.108	1994	9	11	4.83	33	4	24
106.476	-8.910	1994	9	12	5.70	33	11	30
112.916	-9.461	1994	9	23	5.03	71.9	11	8
107.145	-7.492	1994	10	5	4.93	33	17	24
113.172	-9.466	1994	11	9	4.93	33	21	49
113.692	-9.873	1994	11	20	5.03	33	16	12
114.204	-8.891	1994	11	21	5.03	33	1	59
106.785	-9.220	1994	11	23	5.54	33	20	42
113.011	-10.927	1995	1	1	4.63	18.9	2	2
110.755	-9.025	1995	1	7	4.83	114.8	15	2
106.587	-7.199	1995	1	12	5.20	78.2	14	37
110.778	-8.834	1995	2	24	5.13	93.9	16	44
106.650	-7.457	1995	3	4	4.83	50	6	12
106.442	-9.628	1995	4	12	5.03	33	10	14
110.335	-8.919	1995	5	5	5.40	67.1	10	9
111.034	-8.725	1995	5	5	5.90	76.5	17	19
111.104	-8.644	1995	5	9	4.63	76.4	6	43
112.913	-8.327	1995	5	10	5.13	142.6	19	1
106.013	-8.614	1995	5	16	5.34	31	8	40
107.277	-6.783	1995	5	28	5.23	115.8	2	42
112.844	-9.474	1995	6	8	4.63	58.7	17	16
108.152	-7.793	1995	6	10	4.83	87.1	6	21
109.124	-8.039	1995	6	16	4.93	127.8	9	35
107.077	-7.620	1995	6	18	4.73	88.5	13	8
108.035	-7.751	1995	6	27	4.93	81	5	16
111.206	-8.683	1995	7	27	5.40	71.5	12	21
108.611	-7.660	1995	8	18	4.63	117	0	5

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

107.122	-5.815	1995	8	31	4.93	270.7	15	49
106.768	-7.330	1995	9	5	4.83	33	2	32
111.086	-9.106	1995	9	24	4.83	21.5	1	14
107.823	-7.019	1995	10	4	4.63	170.4	12	1
106.318	-6.890	1995	10	8	5.20	67.5	5	15
106.322	-6.901	1995	10	8	4.73	69.6	20	22
112.256	-11.377	1995	11	6	4.83	33	8	3
113.925	-9.663	1995	12	6	4.73	33	1	58
112.544	-7.655	1996	1	9	4.63	160.5	15	31
113.827	-9.529	1996	1	12	4.73	100	9	20
113.071	-9.393	1996	3	23	5.20	81.1	7	32
114.105	-9.702	1996	3	28	4.83	64.8	14	13
110.353	-8.737	1996	4	19	4.63	58.6	23	57
114.085	-9.321	1996	4	26	4.63	33	12	55
106.595	-7.035	1996	5	7	4.63	33	9	23
113.479	-9.247	1996	5	23	4.83	33	20	22
114.666	-8.264	1996	6	19	4.73	33	12	7
111.272	-8.312	1996	6	19	4.63	100	23	44
108.133	-9.221	1996	6	23	4.63	33	13	2
113.405	-10.953	1996	6	27	4.63	33	6	37
114.650	-8.934	1996	7	5	4.93	100	12	0
114.675	-8.655	1996	7	20	5.23	33	23	44
107.075	-7.292	1996	8	27	4.93	33	1	41
111.393	-6.746	1996	9	12	4.63	33	21	18
113.487	-9.341	1996	9	24	4.73	33	11	52
108.725	-9.295	1996	9	25	5.60	33	21	16
113.713	-9.779	1996	10	2	4.73	33	19	47
108.617	-9.664	1996	10	18	4.73	33	1	3
106.981	-7.761	1996	11	6	5.40	33	17	4
109.079	-7.997	1996	11	11	4.63	130	16	47
108.172	-9.614	1996	11	17	4.83	33	9	9
112.180	-10.712	1996	12	2	4.63	33	13	27
112.140	-10.662	1996	12	3	4.63	33	4	46
112.158	-10.666	1996	12	3	5.36	33	14	29
108.268	-9.789	1996	12	3	5.23	33	21	22
107.489	-7.936	1996	12	9	6.10	50.9	3	54
112.568	-8.508	1996	12	17	4.93	71.5	21	59
113.526	-10.541	1996	12	21	4.63	33	5	14

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

110.933	-7.283	1997	1	26	4.83	150	8	57
106.542	-7.480	1997	1	26	4.63	50	18	36
108.146	-7.856	1997	2	8	4.63	33	5	19
106.790	-7.178	1997	2	10	4.73	33	5	0
112.429	-8.605	1997	2	26	4.63	95.9	5	56
107.286	-8.022	1997	3	5	4.93	33	0	18
112.734	-10.685	1997	3	19	4.83	33	13	20
108.036	-7.725	1997	3	25	4.83	75.6	5	55
108.170	-7.702	1997	3	26	4.93	100	0	32
107.841	-9.570	1997	4	23	4.63	33	1	38
105.942	-6.796	1997	5	10	5.03	33	17	43
110.527	-9.045	1997	7	12	5.30	33	22	49
110.610	-8.967	1997	7	13	4.73	33	1	7
110.652	-9.017	1997	7	13	4.73	33	14	34
108.058	-7.738	1997	7	17	4.73	90.3	8	45
107.242	-7.837	1997	8	5	4.73	103.4	23	27
107.737	-7.901	1997	8	17	4.93	108.3	8	5
106.702	-7.403	1997	8	30	4.73	33	4	15
112.871	-9.439	1997	10	12	4.73	60.1	23	27
107.023	-6.636	1997	10	15	4.83	10	6	3
106.802	-7.382	1997	11	13	4.63	80.2	2	55
106.877	-7.271	1997	11	14	4.73	74.4	23	29
109.780	-8.505	1997	12	13	4.73	70.1	7	52
107.769	-7.880	1997	12	15	4.83	33	7	18
106.604	-7.529	1997	12	25	5.03	50	22	30
106.546	-7.076	1997	12	27	4.63	108.9	4	51
106.647	-7.291	1998	1	7	5.03	68.6	21	50
107.358	-7.930	1998	2	19	4.63	52.1	21	11
106.871	-8.004	1998	2	20	4.63	42.8	11	45
111.151	-11.165	1998	3	16	4.50	33	0	36
106.923	-7.002	1998	3	22	5.03	100	3	12
111.455	-8.046	1998	3	22	4.63	165.6	5	17
108.010	-8.452	1998	5	6	4.63	33	23	17
114.093	-8.734	1998	5	10	4.73	100	1	26
112.664	-8.615	1998	5	13	4.73	97.7	7	0
113.102	-9.294	1998	5	18	5.03	82.7	19	24
108.907	-7.543	1998	6	23	4.73	123.7	7	44
108.823	-7.972	1998	6	28	4.73	100	20	18

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

111.860	-8.834	1998	7	3	4.93	100	6	32
106.843	-7.000	1998	7	22	4.93	92.8	11	1
114.117	-10.009	1998	7	27	4.63	33	18	59
107.199	-7.580	1998	8	17	5.40	76.6	12	43
113.975	-9.223	1998	9	4	4.93	74.2	1	17
106.951	-7.770	1998	9	20	5.50	67.4	21	21
106.427	-8.858	1998	9	26	4.73	33	5	13
112.413	-8.194	1998	9	28	6.60	151.6	13	34
107.983	-8.051	1998	9	30	4.63	76.7	21	32
106.872	-6.382	1998	10	17	5.20	147.9	11	4
111.468	-9.118	1998	10	25	4.83	68.2	4	24
109.708	-10.066	1998	12	8	4.63	33	10	59
107.863	-7.609	1998	12	12	5.00	85.7	9	50
107.126	-7.535	1998	12	25	5.30	58.5	18	15
109.818	-10.216	1998	12	27	4.93	33	6	42
108.724	-8.239	1999	1	26	5.30	96	15	53
110.507	-8.965	1999	2	4	5.30	100.5	12	34
111.426	-8.806	1999	2	13	4.93	77.7	18	52
111.315	-8.590	1999	2	19	5.03	89	18	16
112.665	-8.972	1999	2	23	5.13	33	5	46
107.053	-7.335	1999	3	19	4.73	68.1	18	48
106.255	-8.559	1999	3	24	4.73	33	16	53
112.790	-9.682	1999	3	27	5.60	33	8	3
107.991	-7.796	1999	5	5	4.93	33	22	58
108.173	-8.879	1999	5	7	4.63	33	13	39
106.106	-7.112	1999	5	7	4.83	33	14	28
108.705	-8.070	1999	5	11	4.83	33	5	8
106.637	-9.534	1999	5	16	4.73	33	22	10
106.072	-7.290	1999	5	20	5.03	49.6	12	29
109.149	-9.915	1999	5	24	5.00	33	5	2
109.050	-9.877	1999	5	24	4.63	33	18	23
106.461	-6.319	1999	5	26	5.20	135.7	0	37
112.229	-9.781	1999	5	27	4.63	33	6	8
106.143	-6.582	1999	6	10	5.20	109.3	1	6
111.544	-8.678	1999	6	10	4.90	76.6	16	58
114.046	-9.925	1999	6	13	4.63	33	22	16
106.674	-8.512	1999	6	15	4.63	33	7	11
107.083	-7.284	1999	6	19	4.73	33	0	56

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

113.253	-10.536	1999	6	24	4.83	33	13	27
107.088	-7.094	1999	7	13	5.20	33	15	52
106.926	-6.982	1999	7	22	4.93	33	17	25
109.310	-7.927	1999	7	27	4.63	118.9	19	17
107.132	-6.904	1999	8	9	4.73	135	0	50
112.514	-8.310	1999	8	18	4.93	33	19	36
113.360	-10.757	1999	8	18	4.83	33	21	15
106.608	-8.952	1999	9	5	5.30	33	20	57
112.445	-11.100	1999	10	11	5.03	33	2	15
111.162	-7.815	1999	10	20	4.93	157.3	2	43
111.438	-9.620	1999	10	20	4.73	33	10	47
111.507	-9.874	1999	10	20	4.83	33	11	7
111.526	-9.581	1999	10	20	5.03	33	11	22
106.104	-8.593	1999	10	25	4.93	33	13	58
114.031	-9.909	1999	11	1	4.63	33	1	32
108.043	-7.709	1999	11	12	5.13	80.4	12	48
110.337	-9.304	1999	12	5	4.73	43.4	9	8
107.426	-7.853	1999	12	8	4.73	33	11	14
107.198	-6.843	1999	12	20	4.73	114.7	10	10
109.644	-9.179	2000	1	5	4.83	55.1	14	10
109.592	-9.195	2000	1	5	5.80	33	18	26
111.820	-10.621	2000	1	9	4.73	33	3	1
111.760	-9.578	2000	1	15	5.13	34.5	2	11
113.965	-9.270	2000	1	16	5.10	58.5	9	9
111.137	-8.633	2000	1	29	5.40	60.7	8	13
112.900	-9.589	2000	2	8	4.63	55.7	17	30
112.445	-8.701	2000	2	12	5.30	107.9	3	11
112.491	-8.719	2000	2	12	4.73	86.4	8	52
107.764	-9.591	2000	2	16	4.63	33	18	53
106.254	-5.866	2000	2	21	4.93	136.3	2	57
106.379	-8.701	2000	3	10	5.50	33	16	22
112.786	-9.418	2000	3	15	5.03	47.4	15	51
112.900	-9.465	2000	3	26	4.63	33	10	15
111.366	-8.189	2000	3	31	5.03	94.6	17	58
110.701	-8.652	2000	4	3	5.13	82.8	11	13
112.806	-7.985	2000	5	7	5.03	48.6	19	21
110.402	-9.128	2000	5	14	4.83	57.7	12	58
108.692	-8.839	2000	5	19	4.63	75.4	21	43

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

114.123	-9.349	2000	5	24	4.83	77.8	12	3
108.666	-7.554	2000	5	30	4.63	231.1	18	24
106.664	-7.359	2000	6	5	5.10	33	17	43
108.163	-7.909	2000	6	10	4.63	33	4	13
107.450	-9.475	2000	6	13	4.73	33	7	6
107.590	-7.846	2000	6	28	4.83	113.3	15	6
106.845	-6.675	2000	7	12	5.40	33	1	10
111.316	-8.182	2000	7	23	4.93	131.3	1	53
111.895	-9.084	2000	7	29	4.73	84	2	38
111.792	-9.518	2000	8	24	4.93	51.2	11	28
112.137	-8.474	2000	9	5	5.10	136.9	2	58
112.630	-11.379	2000	9	13	4.63	33	14	40
107.881	-6.647	2000	9	24	4.90	33	0	55
113.162	-9.066	2000	9	27	4.93	33	13	58
113.446	-7.883	2000	9	29	4.63	177.5	17	11
106.963	-6.736	2000	10	10	4.63	33	1	59
106.623	-7.449	2000	10	18	4.63	33	18	0
108.584	-9.773	2000	10	20	5.03	33	10	54
107.823	-7.464	2000	10	25	5.44	33	17	42
107.701	-7.140	2000	11	7	4.93	33	14	53
106.859	-7.956	2000	11	17	4.73	33	15	6
113.076	-10.226	2000	11	30	5.03	33	7	56
110.909	-8.323	2000	12	14	4.93	103.5	17	1
108.374	-8.403	2001	1	4	5.44	33	3	50
108.893	-8.703	2001	1	7	5.40	33	12	55
112.635	-8.469	2001	1	14	5.34	74.1	19	51
112.584	-8.776	2001	1	19	5.34	112.3	20	26
107.643	-9.221	2001	2	6	5.03	33	7	15
112.931	-9.485	2001	2	13	4.73	33	12	25
107.182	-7.180	2001	2	27	4.73	75.4	20	43
111.438	-8.749	2001	2	28	4.83	33	15	41
106.341	-6.783	2001	3	3	5.13	50.8	6	8
108.822	-9.760	2001	3	5	5.54	33	21	24
106.116	-7.206	2001	3	12	5.80	33	23	35
106.840	-7.008	2001	3	16	4.73	33	15	59
107.178	-7.534	2001	3	18	4.63	33	13	40
113.257	-8.716	2001	3	19	4.83	33	11	46
111.616	-9.337	2001	3	29	4.73	33	18	2

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

108.009	-7.732	2001	4	10	4.83	33	15	17
112.014	-8.705	2001	4	20	4.83	33	13	41
106.487	-9.183	2001	4	25	5.50	33	21	2
112.499	-8.487	2001	5	2	4.93	78	15	11
109.140	-7.823	2001	5	6	4.83	100	14	21
112.761	-9.481	2001	5	13	4.93	33	4	6
110.179	-7.869	2001	5	25	6.30	143.1	5	6
108.145	-9.022	2001	5	29	4.73	33	17	59
107.213	-7.742	2001	6	1	5.30	90.3	23	9
111.867	-9.542	2001	6	19	4.63	33	23	40
108.275	-6.990	2001	6	28	5.13	36.9	3	46
114.320	-9.752	2001	7	12	4.73	69	21	23
114.242	-9.726	2001	7	16	4.73	64.8	5	48
114.049	-9.957	2001	7	16	4.63	33	6	23
113.832	-8.610	2001	8	7	5.60	90.5	3	22
111.069	-8.520	2001	8	19	4.93	33	15	43
106.979	-7.656	2001	9	3	5.03	33	14	6
113.228	-10.644	2001	9	6	4.83	33	10	55
110.633	-8.598	2001	10	14	5.80	67.2	1	10
108.717	-11.745	2001	10	17	4.83	33	15	29
109.425	-8.464	2001	11	17	4.83	75.2	20	49
107.075	-7.471	2001	11	20	4.93	33	20	53
111.516	-10.199	2001	12	6	4.73	33	12	59
106.479	-7.137	2001	12	6	4.63	33	22	59
106.869	-6.883	2002	1	26	4.63	33	7	3
108.518	-9.660	2002	2	21	4.83	33	15	51
113.294	-8.003	2002	3	5	4.63	181.8	11	33
112.364	-9.205	2002	3	6	5.20	33	2	11
113.380	-10.212	2002	4	3	5.03	33	3	9
107.868	-7.642	2002	4	7	5.20	43.9	23	36
108.162	-7.508	2002	5	27	4.93	33	18	31
108.684	-8.829	2002	6	19	4.83	61.8	21	34
113.404	-6.416	2002	6	21	5.10	42.2	5	7
106.043	-7.197	2002	7	2	4.63	33	1	3
106.331	-6.850	2002	7	8	4.93	88.2	15	5
105.803	-8.050	2002	7	9	4.93	33	20	32
113.175	-9.078	2002	7	12	4.73	98.3	12	28
106.002	-6.641	2002	8	6	5.03	106.5	7	29

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

113.438	-10.322	2002	8	18	5.03	33	10	53
113.341	-9.656	2002	8	19	4.73	33	2	37
113.406	-6.398	2002	8	26	5.60	33	17	36
106.743	-8.971	2002	9	14	4.63	33	2	52
112.047	-7.620	2002	10	5	4.63	204.8	7	31
107.356	-7.374	2002	10	21	5.10	65.5	12	15
107.186	-8.096	2002	11	1	4.63	33	4	30
106.985	-5.847	2002	12	1	4.63	250	17	38
107.201	-9.277	2002	12	17	4.93	33	10	43
113.068	-10.197	2002	12	26	5.03	33	11	25
110.645	-8.609	2003	1	6	5.23	116.4	21	16
107.481	-7.843	2003	1	12	4.63	33	19	48
106.466	-7.216	2003	1	20	4.83	33	20	19
106.774	-6.835	2003	1	23	4.63	33	7	21
105.942	-7.276	2003	1	30	4.93	33	0	23
114.032	-9.322	2003	2	8	4.70	58.2	13	45
114.064	-9.782	2003	2	18	4.73	33	20	21
112.802	-9.707	2003	2	19	4.83	67.8	19	59
114.521	-7.270	2003	2	24	5.20	48.4	10	39
108.816	-7.747	2003	2	25	4.73	92.5	7	57
110.207	-8.939	2003	3	12	4.63	33	13	50
108.468	-6.983	2003	3	21	4.73	33	11	38
107.799	-7.042	2003	4	6	4.83	145.6	1	52
109.536	-9.409	2003	4	11	4.63	45	9	0
107.557	-6.657	2003	4	13	4.83	166.9	1	1
108.646	-9.257	2003	4	26	4.63	38.4	20	36
106.149	-7.472	2003	5	1	4.73	33	5	22
111.355	-9.691	2003	5	8	5.03	33	4	36
107.315	-8.060	2003	5	14	6.00	79.1	7	40
112.023	-7.772	2003	5	23	4.63	33	9	48
107.687	-8.033	2003	5	27	4.83	33	0	27
112.499	-8.577	2003	5	28	5.20	65.3	1	34
108.380	-9.547	2003	5	31	5.03	33	11	27
108.791	-8.734	2003	6	1	4.63	83.6	3	25
108.374	-9.527	2003	6	1	5.40	33	4	39
108.480	-9.537	2003	6	2	4.73	33	6	49
113.565	-10.398	2003	7	7	4.73	33	16	46
107.964	-6.669	2003	7	11	4.83	33	0	19

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

111.227	-8.682	2003	7	19	5.90	56.2	21	20
106.400	-6.795	2003	7	27	4.73	33	12	8
105.902	-8.321	2003	8	11	4.63	33	11	50
106.089	-7.722	2003	8	11	4.63	33	20	58
111.223	-8.609	2003	8	23	4.73	33	8	4
113.183	-8.911	2003	8	25	5.20	67.8	22	17
110.189	-8.550	2003	9	8	5.90	50.6	6	26
106.443	-6.168	2003	9	10	4.63	163.2	7	21
111.687	-7.962	2003	9	16	5.13	91.3	16	41
107.715	-8.129	2003	9	18	4.93	33	17	27
114.165	-9.465	2003	10	11	4.63	61.4	14	29
111.211	-8.657	2003	11	8	4.63	33	8	37
111.028	-10.024	2003	11	20	5.90	10	12	24
111.227	-9.984	2003	11	21	4.83	10	13	17
106.203	-7.560	2003	11	24	5.40	33	23	53
106.406	-6.709	2003	11	26	4.73	33	20	34
109.620	-7.717	2003	11	28	4.83	33	12	45
106.274	-6.959	2003	12	3	5.40	33	12	4
112.753	-8.877	2003	12	20	4.83	100.7	11	4
105.866	-8.571	2004	1	13	4.90	25.9	20	4
109.710	-10.026	2004	1	16	4.93	50	1	17
112.077	-7.994	2004	1	25	5.20	115.5	9	45
106.430	-7.646	2004	2	4	4.73	50	2	2
106.136	-7.045	2004	3	4	4.73	83.8	14	21
114.283	-9.635	2004	3	5	4.80	47.8	6	32
114.252	-9.751	2004	3	10	4.63	48.8	14	25
110.558	-9.897	2004	4	1	4.73	25	0	10
113.701	-10.499	2004	4	5	4.83	40	22	41
114.650	-8.669	2004	4	16	5.50	95.5	18	32
111.361	-8.829	2004	4	23	4.83	67	10	35
114.633	-8.663	2004	4	26	4.90	107.4	16	5
114.700	-8.598	2004	4	26	4.83	106.7	16	13
114.448	-9.033	2004	5	5	5.13	80.8	2	20
106.178	-6.944	2004	5	9	5.20	78.3	22	25
113.329	-10.904	2004	5	11	4.63	10	13	50
111.442	-8.639	2004	5	13	4.93	65.1	1	38
108.801	-7.964	2004	5	16	4.63	100	6	9
107.532	-9.393	2004	5	22	4.83	30.8	0	9

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

107.093	-7.779	2004	5	28	4.83	76.1	22	23
107.689	-7.967	2004	5	31	4.63	55.6	4	20
108.451	-6.660	2004	5	31	4.63	219.7	20	55
111.308	-8.799	2004	5	31	4.63	65	23	9
113.264	-10.027	2004	6	17	4.73	40	2	9
111.018	-9.129	2004	7	1	4.63	25	13	53
108.189	-9.556	2004	7	12	4.73	23.2	10	10
113.367	-6.519	2004	7	17	5.23	53.8	1	20
109.794	-8.291	2004	8	19	5.20	79.9	6	33
107.963	-7.753	2004	9	25	5.10	86.6	16	4
106.202	-7.438	2004	10	5	4.90	50.5	21	14
114.300	-9.501	2004	10	14	5.10	61.9	4	9
112.574	-8.589	2004	10	30	4.90	81.4	9	55
112.677	-10.712	2004	11	3	4.90	11.1	3	7
108.911	-7.089	2004	11	10	4.83	76.2	22	35
108.177	-7.743	2004	12	8	4.73	104.6	18	14
108.616	-8.837	2004	12	12	5.00	48.5	15	5
111.844	-8.669	2004	12	14	4.93	75.8	8	33
109.169	-6.618	2004	12	24	4.73	248.6	23	54
112.898	-7.680	2005	1	20	4.83	184.8	16	9
112.505	-8.602	2005	1	31	4.73	83	20	21
107.819	-7.037	2005	2	2	4.93	15	5	55
113.297	-8.524	2005	3	7	5.23	116.8	13	51
112.716	-8.618	2005	3	14	5.00	120.7	15	37
107.553	-6.991	2005	4	2	4.73	96.6	16	34
106.965	-7.427	2005	4	15	4.83	66.6	3	46
111.965	-9.580	2005	4	24	4.73	20	8	42
111.887	-9.575	2005	4	24	4.80	39	9	32
111.861	-9.593	2005	4	24	4.80	40.9	10	6
111.604	-8.056	2005	5	12	4.63	100	13	58
111.940	-11.019	2005	5	13	4.63	7.1	0	24
112.196	-8.923	2005	6	11	5.40	60	13	18
107.611	-7.661	2005	6	12	4.73	98.6	15	31
107.463	-7.847	2005	6	22	5.30	38.3	20	8
106.236	-6.868	2005	6	24	4.90	41.3	12	35
113.391	-8.502	2005	7	6	5.03	142.9	7	19
112.133	-8.067	2005	7	14	4.63	54.7	5	50
105.867	-6.705	2005	7	16	4.80	55.7	15	48

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

111.068	-8.559	2005	7	19	4.93	46	12	21
113.286	-9.089	2005	8	6	4.93	25	22	58
106.965	-8.092	2005	8	15	4.93	30	7	35
106.026	-8.201	2005	8	29	4.63	30	9	49
111.403	-8.785	2005	9	15	4.80	79.2	23	33
111.945	-10.585	2005	9	27	4.93	10	11	16
111.872	-10.520	2005	9	27	4.83	35.1	18	21
111.979	-10.433	2005	9	28	4.73	40	0	43
111.852	-10.507	2005	9	30	4.83	34.3	14	37
107.028	-7.887	2005	10	3	4.90	35	23	30
106.946	-7.974	2005	10	4	4.73	90.9	0	10
107.600	-9.419	2005	10	21	4.93	35	8	14
107.602	-9.357	2005	10	23	4.93	30	6	15
112.109	-9.263	2005	11	1	4.83	35	14	35
106.985	-7.375	2005	11	9	4.93	108.9	0	8
113.231	-8.510	2005	11	18	4.80	64.4	16	45
111.781	-8.210	2005	11	20	4.73	153.3	15	31
111.420	-8.745	2005	11	22	4.73	30	1	58
108.842	-8.044	2005	11	30	4.73	10	13	42
113.279	-8.544	2005	12	16	4.63	114	12	30
114.063	-9.580	2005	12	22	4.73	47.7	7	14
108.365	-9.610	2005	12	28	4.83	10	4	17
112.006	-10.430	2005	12	29	4.73	82.1	14	56
110.162	-8.497	2006	1	4	4.63	56.1	20	25
112.568	-9.703	2006	1	7	4.83	27.4	19	20
110.516	-10.156	2006	1	24	4.83	41.9	4	47
107.096	-9.753	2006	2	20	4.80	35	17	54
105.983	-8.672	2006	2	26	4.90	34.4	13	39
106.040	-8.660	2006	2	26	5.40	3.6	14	42
106.670	-9.887	2006	3	4	4.73	10	23	30
107.762	-7.762	2006	3	10	4.90	69	9	26
106.720	-7.366	2006	3	16	5.00	20.3	5	43
110.879	-8.538	2006	4	6	4.73	35	7	36
106.065	-7.438	2006	4	9	4.63	29.9	22	50
113.111	-9.392	2006	4	24	4.90	37.4	20	5
106.086	-7.470	2006	5	18	4.93	49.7	8	33
105.977	-8.687	2006	5	19	5.13	28.5	22	19
112.029	-9.988	2006	5	20	5.13	39.7	6	15

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

110.446	-7.961	2006	5	26	6.30	12.5	22	53
110.435	-7.844	2006	5	27	4.93	10	3	10
110.511	-7.775	2006	5	27	4.73	10	4	21
110.478	-8.424	2006	6	8	4.63	10	4	44
110.480	-8.463	2006	6	21	4.93	10	7	10
110.009	-8.190	2006	6	24	4.93	35	10	6
110.269	-8.099	2006	6	24	4.83	10	16	38
106.134	-7.512	2006	7	1	4.63	10	13	16
107.419	-9.284	2006	7	17	7.70	20	8	19
107.347	-9.281	2006	7	17	5.74	17.5	8	32
107.764	-9.500	2006	7	17	5.44	34.1	8	38
107.706	-9.460	2006	7	17	5.34	10	8	40
107.736	-9.456	2006	7	17	5.54	12.5	8	41
107.516	-9.680	2006	7	17	5.64	24.9	9	0
107.886	-9.875	2006	7	17	5.84	10	9	5
107.760	-9.087	2006	7	17	6.00	10	9	13
107.903	-9.533	2006	7	17	5.13	19.4	9	44
108.002	-9.175	2006	7	17	4.63	10	9	51
107.074	-9.293	2006	7	17	4.63	10	9	53
107.938	-9.400	2006	7	17	5.23	10	9	55
107.758	-9.455	2006	7	17	5.23	10	9	55
107.733	-9.606	2006	7	17	5.34	10	10	0
108.305	-8.574	2006	7	17	4.63	10	10	7
107.733	-9.032	2006	7	17	6.04	10	10	9
108.235	-9.748	2006	7	17	5.34	35	10	26
107.834	-9.300	2006	7	17	5.23	27.4	10	34
107.709	-9.103	2006	7	17	4.83	10	10	43
107.680	-9.094	2006	7	17	5.64	10	10	44
107.386	-9.345	2006	7	17	5.34	10	11	3
107.649	-9.506	2006	7	17	5.90	35.2	11	7
108.529	-9.247	2006	7	17	5.34	35	11	15
108.737	-10.588	2006	7	17	4.73	10	11	18
107.937	-9.783	2006	7	17	4.93	10	11	20
107.888	-9.138	2006	7	17	5.23	10	11	24
108.573	-9.293	2006	7	17	5.44	33.8	11	28
108.660	-9.506	2006	7	17	5.13	33.2	11	40
107.783	-9.885	2006	7	17	4.73	10	11	40
108.160	-9.694	2006	7	17	4.73	10	11	46

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

107.718	-9.116	2006	7	17	4.73	10	12	44
107.862	-9.952	2006	7	17	5.03	10	12	50
107.833	-9.009	2006	7	17	5.70	23.7	12	52
108.665	-9.396	2006	7	17	4.93	10	13	1
107.891	-9.036	2006	7	17	5.34	10	13	2
108.074	-9.530	2006	7	17	5.23	6.1	13	4
107.865	-9.612	2006	7	17	4.93	34.5	13	25
107.937	-9.995	2006	7	17	5.13	13.3	13	39
108.725	-9.796	2006	7	17	4.73	10	13	53
108.014	-9.567	2006	7	17	5.44	10	13	53
107.797	-9.106	2006	7	17	5.23	25.7	13	55
108.019	-9.531	2006	7	17	5.13	22.3	13	56
108.263	-9.317	2006	7	17	4.93	10	14	10
108.384	-8.764	2006	7	17	5.03	10	14	21
107.584	-9.561	2006	7	17	4.73	10	14	43
107.139	-9.241	2006	7	17	5.23	10	14	50
105.998	-7.649	2006	7	17	4.73	10	15	7
108.602	-9.302	2006	7	17	5.23	10	15	9
107.985	-9.516	2006	7	17	5.03	10	15	15
108.675	-9.383	2006	7	17	5.54	12.2	15	20
108.713	-9.286	2006	7	17	5.34	10	15	21
107.928	-9.057	2006	7	17	5.44	32.4	15	26
107.322	-9.192	2006	7	17	5.34	10	15	28
107.306	-9.220	2006	7	17	5.44	0.8	15	29
108.539	-9.274	2006	7	17	5.34	10	15	30
107.946	-9.134	2006	7	17	5.03	10	15	32
108.397	-9.309	2006	7	17	4.73	10	15	40
107.710	-9.529	2006	7	17	5.64	12.7	15	42
108.319	-9.420	2006	7	17	6.10	21	15	45
108.707	-9.697	2006	7	17	4.83	10	15	54
107.016	-9.247	2006	7	17	4.83	10	16	7
108.774	-9.369	2006	7	17	5.90	26.9	16	9
108.611	-9.306	2006	7	17	5.03	10	16	19
107.352	-9.262	2006	7	17	4.83	10	16	22
107.917	-9.582	2006	7	17	4.93	10	16	27
108.318	-9.500	2006	7	17	5.44	15.6	16	27
108.711	-9.592	2006	7	17	4.93	10	16	31
107.663	-9.569	2006	7	17	5.20	13.3	16	38

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

107.412	-9.780	2006	7	17	4.83	10	16	46
107.791	-9.741	2006	7	17	5.03	10	16	53
107.807	-9.191	2006	7	17	4.73	10	16	55
108.230	-9.195	2006	7	17	4.73	10	16	57
107.357	-9.172	2006	7	17	4.93	10	17	36
108.329	-9.785	2006	7	17	5.23	10	17	40
108.219	-9.911	2006	7	17	5.03	10	17	58
108.023	-10.082	2006	7	17	4.63	10	18	23
108.231	-9.414	2006	7	17	5.13	10	19	0
107.840	-9.091	2006	7	17	5.34	21.9	19	9
107.325	-9.367	2006	7	17	4.93	10	19	14
108.642	-9.453	2006	7	17	5.23	10	19	44
107.860	-9.056	2006	7	17	5.30	11.7	19	49
107.805	-9.163	2006	7	17	4.63	10	20	6
108.547	-9.326	2006	7	17	5.23	26.7	20	13
107.809	-9.263	2006	7	17	4.63	10	21	1
107.903	-9.094	2006	7	17	5.03	10	21	3
107.667	-9.635	2006	7	17	4.63	10	21	24
108.204	-9.243	2006	7	17	4.93	10	21	37
107.820	-9.635	2006	7	17	5.13	10	21	49
106.454	-8.548	2006	7	17	4.63	10	23	1
108.696	-9.342	2006	7	17	5.13	10	23	24
107.809	-9.107	2006	7	17	5.34	10	23	36
108.433	-9.314	2006	7	17	4.63	33.5	23	38
108.753	-9.301	2006	7	18	5.70	20	0	15
108.169	-9.464	2006	7	18	4.73	20.8	0	27
108.383	-8.974	2006	7	18	4.83	24.6	0	44
108.291	-9.713	2006	7	18	4.93	10	1	8
108.262	-9.183	2006	7	18	5.13	34.9	1	32
107.619	-9.561	2006	7	18	5.00	31.3	1	38
107.939	-9.714	2006	7	18	4.63	10	2	0
107.794	-9.703	2006	7	18	5.13	10	2	4
107.867	-9.025	2006	7	18	5.13	10	2	11
108.740	-9.330	2006	7	18	5.13	10	2	59
108.893	-9.258	2006	7	18	4.90	32.7	3	1
107.915	-9.679	2006	7	18	4.63	10	3	15
108.530	-9.293	2006	7	18	5.44	10	3	34
108.075	-9.198	2006	7	18	5.54	10	4	5

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

108.779	-9.355	2006	7	18	5.60	13.5	4	18
107.739	-9.634	2006	7	18	4.63	10	4	33
108.083	-9.931	2006	7	18	4.83	10	4	44
108.677	-9.449	2006	7	18	4.83	10	4	53
108.538	-9.821	2006	7	18	5.23	10	5	6
107.617	-10.099	2006	7	18	4.73	10	5	46
107.252	-10.126	2006	7	18	4.83	10	5	53
108.643	-9.741	2006	7	18	4.63	10	5	57
108.897	-9.292	2006	7	18	4.73	10	5	59
108.308	-9.498	2006	7	18	4.93	10	6	10
107.726	-9.096	2006	7	18	5.03	28.2	6	50
107.965	-9.694	2006	7	18	4.90	33.4	6	51
107.367	-9.431	2006	7	18	4.73	10	8	56
107.682	-9.713	2006	7	18	5.03	26.3	10	33
108.089	-9.441	2006	7	18	5.13	35	11	54
108.316	-9.273	2006	7	18	4.93	10	12	52
108.025	-8.949	2006	7	18	4.93	32.9	13	30
107.743	-9.010	2006	7	18	5.00	11.9	14	54
107.143	-9.292	2006	7	18	5.13	10	15	48
108.148	-9.783	2006	7	18	4.83	10	15	59
107.735	-9.275	2006	7	18	5.34	30.3	17	27
107.767	-9.831	2006	7	18	5.03	10	18	38
107.910	-9.825	2006	7	18	4.83	10	18	40
108.622	-9.473	2006	7	18	5.00	34.9	19	11
108.693	-9.523	2006	7	18	5.13	7.8	19	13
108.176	-9.779	2006	7	18	4.63	10	22	18
108.342	-9.784	2006	7	18	4.83	10	23	12
108.373	-9.216	2006	7	19	5.64	10	1	58
107.931	-9.657	2006	7	19	5.03	22.3	2	35
108.306	-9.342	2006	7	19	4.63	10	2	45
107.204	-9.324	2006	7	19	5.03	10	3	53
108.832	-9.378	2006	7	19	4.93	32.5	4	19
107.366	-9.216	2006	7	19	4.93	23.1	5	31
107.389	-9.802	2006	7	19	5.03	34.3	7	16
107.241	-9.543	2006	7	19	5.70	10	7	25
108.874	-8.501	2006	7	19	4.63	10	8	18
108.244	-8.821	2006	7	19	4.73	18.8	10	4
112.099	-10.835	2006	7	19	4.93	21.8	10	9

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

108.283	-9.677	2006	7	19	4.83	26.5	10	43
107.329	-9.618	2006	7	19	5.03	33.9	10	51
108.972	-9.694	2006	7	19	4.83	10	11	49
108.331	-9.836	2006	7	19	5.13	10	12	1
108.281	-9.463	2006	7	19	5.03	16.7	16	25
107.829	-9.850	2006	7	19	4.63	10	17	55
108.059	-9.485	2006	7	19	5.34	10	19	3
107.692	-9.755	2006	7	19	4.93	10	19	6
108.381	-9.792	2006	7	19	4.83	10	19	45
108.688	-10.026	2006	7	19	4.93	27.9	21	1
108.537	-9.332	2006	7	19	5.00	8.4	22	9
108.314	-9.409	2006	7	19	4.83	32.3	22	31
107.550	-9.300	2006	7	19	5.13	15.6	22	47
108.273	-9.368	2006	7	20	4.83	33.9	0	17
108.034	-9.110	2006	7	20	5.23	10	1	17
107.525	-9.735	2006	7	20	4.90	10	4	34
108.514	-9.355	2006	7	20	4.93	11	5	14
108.018	-9.877	2006	7	20	4.73	10	5	23
107.858	-9.928	2006	7	20	4.83	34.1	11	1
108.229	-9.660	2006	7	20	5.03	31.5	13	12
108.614	-9.513	2006	7	20	4.80	26.3	14	36
109.038	-8.808	2006	7	20	5.03	10	14	52
108.705	-10.059	2006	7	20	5.03	10	15	15
108.735	-10.008	2006	7	20	4.80	10	15	38
108.044	-9.540	2006	7	20	4.63	10	17	26
107.760	-9.267	2006	7	20	4.63	10	20	37
108.676	-10.184	2006	7	20	4.83	9.5	20	41
107.996	-9.184	2006	7	21	5.13	10	10	11
108.291	-9.760	2006	7	21	4.93	8.7	12	9
108.706	-9.978	2006	7	21	4.83	25.8	14	8
108.446	-9.351	2006	7	21	4.73	10	15	29
108.976	-9.579	2006	7	21	4.63	10	20	20
107.604	-9.739	2006	7	21	4.83	10	22	50
108.643	-9.960	2006	7	21	4.63	10	22	54
108.821	-9.687	2006	7	22	5.34	10	3	5
108.551	-9.331	2006	7	22	4.90	5.9	3	21
108.943	-9.578	2006	7	22	4.73	10	4	12
107.085	-9.494	2006	7	22	4.93	10	5	4

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

107.922	-9.437	2006	7	22	4.63	10	18	2
107.491	-9.634	2006	7	22	4.93	28.7	22	5
107.964	-8.962	2006	7	23	4.93	26	0	56
107.326	-9.296	2006	7	23	4.83	10	3	11
108.676	-10.008	2006	7	23	5.13	18.3	6	53
107.279	-9.312	2006	7	23	4.93	10	10	31
107.435	-9.584	2006	7	23	5.23	19.2	17	23
107.809	-9.084	2006	7	23	4.93	11.4	19	9
108.216	-9.317	2006	7	23	4.63	10	19	14
107.638	-9.661	2006	7	23	4.70	20.6	19	39
107.441	-9.585	2006	7	23	5.13	15.1	19	43
107.397	-9.594	2006	7	23	5.03	10	20	40
107.355	-9.533	2006	7	23	4.73	10	21	48
107.593	-9.697	2006	7	23	4.93	10	21	56
107.733	-9.333	2006	7	23	4.63	4.7	22	32
107.467	-9.535	2006	7	24	5.23	25.4	0	58
107.461	-9.532	2006	7	24	4.93	14.9	1	3
108.101	-9.713	2006	7	24	5.23	10	1	23
108.726	-9.265	2006	7	24	4.73	12.7	1	38
107.174	-9.733	2006	7	24	4.63	10	7	17
107.458	-9.406	2006	7	24	4.83	10	8	7
107.607	-9.642	2006	7	24	5.34	10	11	41
107.763	-9.553	2006	7	24	5.03	34.7	14	36
108.296	-9.192	2006	7	24	4.73	10	14	44
107.674	-9.553	2006	7	24	5.23	10	16	33
107.694	-9.590	2006	7	24	5.13	10	16	50
107.735	-9.517	2006	7	24	4.93	10	17	16
107.585	-9.493	2006	7	24	4.80	13.3	21	3
107.321	-9.354	2006	7	24	4.83	11.2	22	36
107.870	-9.634	2006	7	24	4.93	10	23	27
108.473	-9.278	2006	7	25	4.83	26.1	1	43
108.017	-9.652	2006	7	25	4.93	10	2	38
107.651	-9.548	2006	7	25	4.83	26.9	9	58
108.503	-9.257	2006	7	25	5.23	10	12	34
108.401	-9.305	2006	7	25	5.34	10	12	35
108.408	-9.260	2006	7	25	5.30	10	12	39
108.464	-9.348	2006	7	25	5.23	21.5	14	1
107.419	-9.689	2006	7	25	4.73	10	14	9

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

108.521	-9.312	2006	7	25	5.34	10	14	48
108.454	-9.333	2006	7	25	4.63	10	15	0
107.681	-9.544	2006	7	25	4.73	10	23	15
107.772	-9.201	2006	7	26	4.93	32.7	1	56
108.281	-9.458	2006	7	26	5.03	10	2	44
108.463	-9.313	2006	7	26	5.03	10	3	43
107.151	-9.550	2006	7	26	4.63	10	18	6
107.750	-9.778	2006	7	27	5.03	10	3	48
108.456	-10.034	2006	7	27	4.83	10	16	47
108.080	-9.875	2006	7	27	4.83	10	21	41
107.315	-9.707	2006	7	27	4.90	8.9	22	55
107.356	-9.595	2006	7	27	5.00	11.2	23	19
107.886	-9.929	2006	7	28	4.93	10	5	35
107.359	-9.639	2006	7	28	4.73	33	10	27
108.755	-9.389	2006	7	28	5.03	10	11	35
108.091	-9.810	2006	7	28	4.90	10	13	1
108.691	-10.110	2006	7	29	5.23	34.7	9	16
107.496	-9.600	2006	7	30	4.93	10	3	39
107.418	-9.714	2006	7	30	4.93	10	15	18
107.636	-9.647	2006	7	31	4.83	10	13	19
108.816	-9.579	2006	8	1	4.73	10	8	12
108.770	-8.550	2006	8	2	4.93	10	8	21
108.821	-10.116	2006	8	2	4.63	10	8	54
108.840	-10.104	2006	8	3	4.83	10	1	50
108.745	-9.306	2006	8	3	5.03	10	10	23
107.679	-9.465	2006	8	3	4.83	10	17	42
107.953	-9.042	2006	8	4	4.73	10	23	43
107.384	-9.505	2006	8	5	4.93	10	19	44
108.215	-9.852	2006	8	6	4.63	10	18	57
108.052	-9.070	2006	8	7	5.23	10	5	2
108.058	-9.838	2006	8	7	5.03	10	20	7
108.734	-9.350	2006	8	7	4.93	10	21	5
108.033	-9.929	2006	8	8	4.93	27.8	7	46
107.481	-9.231	2006	8	9	4.93	10	19	51
108.064	-9.529	2006	8	10	4.93	10	19	54
107.190	-9.191	2006	8	10	4.93	10	23	56
108.434	-9.407	2006	8	11	4.83	10	16	49
107.588	-9.691	2006	8	12	5.00	10	6	55

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

107.534	-9.793	2006	8	12	4.70	10	19	42
107.607	-9.120	2006	8	12	5.03	10	21	29
108.023	-7.701	2006	8	13	4.93	10	14	14
108.020	-10.107	2006	8	16	4.73	10	7	19
106.819	-7.853	2006	8	16	4.73	10	9	15
108.529	-10.163	2006	8	16	4.63	10	23	23
107.125	-9.695	2006	8	20	4.93	10	14	27
107.903	-9.287	2006	8	23	4.73	10	13	36
106.137	-6.888	2006	8	23	4.63	111.9	17	35
107.234	-9.622	2006	8	24	4.63	10	15	36
108.446	-8.972	2006	8	24	5.03	10	22	37
108.144	-9.909	2006	8	26	4.83	10	8	20
108.650	-10.165	2006	8	26	4.73	10	22	12
108.300	-9.456	2006	8	27	4.93	10	14	48
107.200	-9.672	2006	8	27	4.63	10	20	47
107.944	-9.165	2006	8	28	4.90	10	5	22
107.308	-9.668	2006	8	28	4.73	10	12	10
108.282	-9.456	2006	8	29	5.13	10	20	59
107.768	-9.483	2006	8	30	5.13	10	17	39
107.731	-9.549	2006	8	30	5.13	10	17	43
107.587	-9.320	2006	8	31	4.83	10	17	26
107.401	-9.813	2006	8	31	4.83	10	19	8
107.544	-9.264	2006	9	4	5.23	10	1	3
107.957	-9.827	2006	9	8	4.63	33.5	12	59
109.765	-6.950	2006	9	9	4.73	252	17	48
107.081	-8.104	2006	9	16	4.83	10	10	31
108.762	-10.042	2006	9	17	4.73	10	5	40
107.449	-9.389	2006	9	18	4.93	30.3	12	1
107.346	-9.902	2006	9	19	5.90	12	13	58
110.365	-9.050	2006	9	21	6.00	25	18	54
110.535	-9.047	2006	9	21	4.73	10	19	31
110.529	-9.044	2006	9	21	4.73	10	19	46
107.506	-9.571	2006	10	6	5.03	10	10	46
106.104	-6.953	2006	10	8	4.73	10	7	41
108.632	-9.559	2006	10	12	4.63	10	7	41
109.167	-7.896	2006	10	13	4.73	118.5	17	31
113.174	-8.376	2006	10	20	4.63	141.5	16	22
107.497	-9.399	2006	10	26	4.73	10	10	0

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

106.754	-7.001	2006	10	30	4.83	10	1	0
111.461	-8.769	2006	11	5	4.63	62.1	5	24
107.453	-8.063	2006	11	5	4.63	23.3	21	16
110.888	-7.796	2006	11	6	4.63	10	12	58
108.087	-9.490	2006	11	16	4.73	10	9	28
108.905	-9.778	2006	11	17	5.13	10	0	57
107.798	-7.735	2006	11	28	5.23	38.4	13	54
108.332	-10.312	2006	12	5	4.63	29.9	11	59
110.613	-8.918	2006	12	21	4.63	35	8	22
110.743	-8.902	2006	12	21	4.63	37.5	17	20
112.630	-8.452	2006	12	23	4.83	22.9	2	4
107.405	-9.052	2006	12	27	4.73	10	0	34
107.412	-9.718	2006	12	27	5.03	10	6	6
111.672	-8.257	2006	12	31	5.13	139.9	13	12
108.511	-10.144	2006	12	31	4.63	10	22	36
107.012	-7.892	2007	1	1	4.73	48.5	11	14
109.070	-9.005	2007	1	3	4.63	10	13	53
109.212	-8.920	2007	1	5	4.73	35	2	56
108.158	-7.041	2007	1	6	4.63	10	10	24
109.672	-9.993	2007	1	19	5.80	25	2	44
107.193	-7.817	2007	1	31	5.50	51.7	20	31
107.907	-7.720	2007	2	3	4.83	10	5	25
106.048	-9.087	2007	3	1	5.03	10	21	41
107.463	-9.434	2007	3	4	4.63	10	11	1
107.775	-9.262	2007	3	4	4.73	10	22	55
107.810	-9.310	2007	3	5	4.93	10	8	58
106.659	-7.993	2007	3	6	4.73	10	12	41
108.613	-9.454	2007	3	18	4.73	10	8	45
106.527	-6.018	2007	4	10	4.93	136.7	16	15
108.255	-9.495	2007	4	12	4.73	33.9	2	42
112.404	-8.178	2007	5	10	4.83	125.9	9	44
109.229	-6.788	2007	5	15	4.63	224.5	0	39
106.382	-8.639	2007	5	29	4.83	30	4	21
112.030	-9.215	2007	6	11	5.03	10	20	37
107.616	-9.692	2007	6	16	5.03	10	22	4
107.690	-9.701	2007	6	17	4.93	10	12	24
107.534	-9.776	2007	6	21	4.63	27.4	13	54
110.694	-9.006	2007	6	23	5.03	10	7	47

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

108.149	-10.492	2007	6	26	6.00	10	22	23
108.035	-10.567	2007	6	26	5.03	10	22	49
108.038	-10.628	2007	6	30	4.83	10	9	31
108.177	-10.532	2007	7	9	4.83	10	14	35
107.963	-10.722	2007	7	9	4.83	10	14	46
111.699	-9.439	2007	7	9	5.03	10	15	29
108.260	-10.498	2007	7	13	4.83	30.7	16	7
106.240	-6.946	2007	7	25	4.93	54	18	25
107.947	-9.581	2007	7	27	4.63	30.4	22	14
110.806	-9.505	2007	7	30	4.83	11.9	3	43
107.330	-6.372	2007	8	4	4.93	201.7	7	17
107.681	-5.926	2007	8	8	6.25	291.2	17	4
107.419	-5.859	2007	8	8	7.50	280	17	5
109.005	-7.928	2007	8	9	4.63	21.9	15	2
106.007	-7.340	2007	8	13	4.93	21.5	18	45
108.615	-8.933	2007	8	18	4.73	30	10	57
107.076	-9.485	2007	8	21	5.03	3.6	12	36
107.097	-8.102	2007	8	24	5.03	8.2	4	14
108.360	-7.425	2007	8	28	4.63	52.2	17	20
114.338	-7.783	2007	9	9	4.90	35	18	36
107.817	-7.849	2007	9	17	4.73	40.6	22	37
111.262	-7.752	2007	9	23	4.93	155.2	15	29
107.601	-7.948	2007	9	29	5.03	14.3	0	17
107.728	-9.658	2007	10	7	4.83	5.9	11	49
111.550	-8.724	2007	10	10	4.73	47.7	22	54
111.484	-8.606	2007	10	20	4.93	43.4	23	40
106.596	-9.021	2007	10	24	5.03	33.9	4	31
107.961	-7.846	2007	11	6	4.73	10	20	33
106.756	-9.279	2007	11	9	4.83	10	8	35
107.854	-8.565	2007	11	10	5.44	34.2	2	43
113.464	-9.241	2007	11	13	4.83	35	5	31
107.192	-6.691	2007	11	13	4.93	74	14	38
106.954	-7.633	2007	11	14	4.83	35	22	31
108.843	-9.712	2007	11	16	5.03	35	15	0
105.993	-7.068	2007	12	1	5.00	87.7	23	1
113.472	-9.979	2007	12	7	5.30	10	10	45
112.358	-8.254	2007	12	14	4.73	97	20	47
112.385	-9.215	2007	12	17	5.00	48	0	9

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

113.355	-10.755	2007	12	17	5.30	10	12	46
114.399	-9.138	2007	12	31	5.03	35.6	9	36
107.487	-9.291	2008	1	6	5.23	29.8	8	54
113.291	-10.651	2008	1	10	4.90	32.6	19	45
113.344	-10.612	2008	1	11	4.80	15	4	43
110.985	-8.978	2008	1	25	4.73	35	13	1
110.677	-8.677	2008	1	27	4.73	35	12	48
108.198	-9.633	2008	1	30	4.83	10	11	3
108.215	-9.654	2008	1	30	5.03	10	11	5
113.872	-9.474	2008	1	30	4.73	64	22	7
111.521	-8.617	2008	2	3	5.23	35	10	55
107.401	-9.459	2008	2	4	5.03	35	8	26
107.372	-9.529	2008	2	4	4.73	35	8	39
106.995	-7.656	2008	2	8	4.63	35	3	42
112.865	-9.411	2008	2	14	4.63	10	6	26
106.711	-9.193	2008	2	20	4.83	35	23	40
106.842	-7.081	2008	3	3	4.73	46	23	34
112.675	-8.319	2008	3	9	4.93	139.5	7	44
108.104	-7.804	2008	3	27	4.63	103.7	14	22
106.986	-9.416	2008	3	29	4.83	13.8	18	11
111.910	-9.163	2008	3	31	5.23	27.9	13	51
107.747	-9.246	2008	4	10	4.93	10	6	17
108.010	-9.157	2008	4	11	4.73	58.5	2	1
107.876	-7.782	2008	4	27	5.00	40.7	5	2
105.991	-7.240	2008	4	29	4.83	49.5	8	31
106.953	-7.980	2008	5	23	5.03	35	3	35
114.155	-9.747	2008	6	5	4.83	28.2	15	31
112.769	-9.379	2008	6	12	5.34	51.9	5	19
113.204	-9.910	2008	6	12	4.73	10	17	31
107.745	-9.553	2008	6	15	5.23	11.6	15	9
111.970	-10.724	2008	6	19	4.93	35	10	48
106.036	-6.853	2008	7	3	4.93	100.2	16	28
107.805	-7.984	2008	7	7	4.73	35	6	34
109.071	-8.964	2008	7	7	4.73	25	19	45
106.750	-7.851	2008	7	9	4.63	67.2	4	50
112.189	-8.858	2008	7	9	4.73	35	11	32
107.619	-9.517	2008	7	11	5.30	15.6	6	51
111.225	-8.636	2008	7	20	5.30	77.8	6	11

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

107.647	-8.104	2008	8	8	4.93	77.1	4	45
110.876	-8.324	2008	8	20	4.73	66.8	16	19
108.022	-7.632	2008	10	4	4.63	10	15	54
108.293	-9.499	2008	10	9	4.93	42.2	19	14
107.230	-7.539	2008	10	26	5.03	38.4	21	12
107.076	-8.356	2008	11	7	4.63	27.3	18	19
106.641	-7.193	2008	11	15	4.63	59.9	13	0
112.751	-9.617	2008	11	22	4.63	35	16	53
107.627	-8.387	2008	12	1	4.63	35	14	20
108.223	-7.894	2008	12	10	4.63	47.5	2	46
113.831	-9.492	2008	12	11	4.93	41.4	13	57
109.244	-7.124	2009	1	16	4.63	191.9	5	4
106.086	-7.849	2009	1	20	4.63	35	2	24
112.103	-8.084	2009	1	20	4.63	117.9	17	34
112.957	-9.818	2009	3	9	5.03	35	12	53
108.793	-8.740	2009	3	11	4.83	35	19	12
106.154	-6.963	2009	3	27	5.00	47.4	20	53
106.134	-8.705	2009	5	4	4.73	35	3	40
107.997	-8.154	2009	5	15	4.93	35	0	23
112.616	-8.581	2009	6	9	4.63	108	15	42
107.471	-7.745	2009	6	14	4.73	18.1	1	31
108.540	-7.961	2009	6	17	4.73	76.3	19	42
111.955	-8.589	2009	6	29	4.63	35	23	54
112.512	-8.675	2009	7	28	4.90	79.9	12	50
106.021	-6.696	2009	7	30	4.73	71.8	17	10
108.744	-8.795	2009	7	31	5.40	17.5	14	56
112.448	-8.308	2009	8	14	4.63	131.6	13	21
107.297	-7.782	2009	9	2	7.00	46	7	55
107.393	-7.817	2009	9	2	5.64	51.8	8	2
107.449	-7.765	2009	9	2	5.44	54	8	7
107.285	-7.863	2009	9	2	4.93	35	8	15
107.275	-7.961	2009	9	2	5.03	59	9	28
107.273	-7.890	2009	9	2	4.63	35	20	48
110.628	-10.198	2009	9	7	6.20	23	16	12
107.221	-7.883	2009	9	28	5.03	55.6	0	26
107.296	-7.821	2009	10	8	4.83	35	18	56
107.301	-8.065	2009	10	12	4.83	35	15	1
106.498	-7.055	2009	10	24	4.83	15.4	3	9

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

106.924	-9.187	2009	10	27	4.83	10	19	49
107.666	-9.235	2009	11	14	4.93	33.6	20	1
107.506	-9.290	2009	11	18	5.20	40.9	2	17
110.473	-8.922	2009	11	19	4.83	66.1	8	35
106.243	-6.879	2009	12	24	4.73	10	12	20
107.879	-7.907	2010	1	10	5.23	65.2	0	25
111.010	-8.735	2010	1	27	4.93	69.8	20	39
108.788	-9.832	2010	1	28	5.13	16.1	4	1
107.390	-8.108	2010	1	29	4.83	89	3	15
111.025	-9.260	2010	2	10	5.13	35	6	33
108.456	-9.030	2010	2	11	4.83	35.2	8	1
113.845	-9.905	2010	2	11	5.80	51	18	43
112.569	-8.973	2010	2	14	5.03	106.3	13	41
105.934	-7.278	2010	2	20	4.90	50.4	4	57
111.383	-8.429	2010	3	28	4.63	103	8	35
107.787	-7.872	2010	4	27	4.63	61.3	19	13
113.100	-9.163	2010	5	7	4.83	59.9	4	33
107.783	-8.041	2010	5	17	4.63	71.8	22	58
107.220	-7.845	2010	5	18	5.30	34.2	11	59
112.844	-9.463	2010	5	21	4.73	51.3	19	56
113.588	-9.262	2010	5	26	4.93	66.1	15	55
108.279	-9.555	2010	6	4	5.10	35	15	12
108.366	-9.457	2010	6	4	5.03	35	15	32
112.427	-9.001	2010	6	4	4.93	34.1	16	47
112.451	-8.572	2010	6	6	5.23	87.6	16	57
113.554	-9.286	2010	6	15	4.83	66.3	21	51
111.340	-8.580	2010	6	18	5.13	73.9	14	42
108.089	-8.070	2010	6	26	5.90	68	9	50
112.172	-10.356	2010	7	26	4.93	17.2	4	54
107.058	-7.495	2010	8	11	5.30	37.4	19	10
105.860	-7.404	2010	8	14	5.03	48.8	1	32
112.530	-8.546	2010	8	16	5.13	73.6	22	19
107.072	-9.529	2010	8	19	5.03	35	3	31
105.880	-8.345	2010	8	20	5.03	35	14	12
110.449	-8.004	2010	8	21	4.83	22.3	11	41
110.499	-7.849	2010	9	12	4.93	48.4	16	38
106.146	-6.582	2010	9	25	4.83	134.2	6	23
106.408	-7.564	2010	10	14	5.03	36.5	19	48

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

105.831	-7.526	2010	10	15	4.73	41.7	2	52
110.026	-8.634	2010	11	9	5.40	63	7	3
107.206	-7.865	2010	11	9	5.10	56.8	12	38
106.160	-6.988	2010	11	20	4.93	44.4	18	42
106.928	-8.016	2010	11	29	4.90	58.4	10	27
107.415	-10.882	2010	12	6	4.93	10	18	53
109.655	-9.861	2010	12	11	4.83	13.7	12	42
106.322	-9.734	2010	12	18	4.93	10	12	27
111.197	-8.700	2010	12	21	5.60	54.6	3	59
107.698	-9.945	2010	12	22	4.63	49.7	14	12
113.313	-10.318	2011	1	3	4.63	25.6	21	24
107.752	-7.985	2011	1	24	4.83	69.3	21	0
113.880	-9.996	2011	2	8	5.20	50.3	15	27
112.780	-8.358	2011	2	10	4.73	153.2	23	19
113.795	-10.060	2011	2	14	5.03	48	11	43
107.187	-6.556	2011	2	26	5.13	187.4	6	29
111.311	-8.927	2011	3	19	4.73	71.8	1	16
106.970	-7.470	2011	3	20	4.93	69.6	1	20
105.789	-7.737	2011	3	22	4.73	29.6	0	37
114.019	-9.390	2011	3	23	4.80	52.6	0	7
107.693	-9.848	2011	4	3	6.70	14	20	6
107.552	-10.035	2011	4	4	4.83	10	7	41
114.008	-9.251	2011	4	4	4.73	61.1	23	11
106.220	-6.930	2011	4	5	5.20	82.7	4	34
107.768	-10.185	2011	4	6	4.83	10	22	26
108.298	-9.886	2011	4	10	4.63	12	4	14
114.011	-9.714	2011	4	15	4.93	39.3	11	59
107.448	-9.764	2011	4	16	4.63	16.2	7	4
107.582	-10.135	2011	4	25	4.73	42.3	10	18
108.477	-8.081	2011	4	26	5.60	95.4	6	39
108.454	-8.114	2011	4	26	4.93	90.4	7	24
109.777	-8.883	2011	4	28	5.03	24.4	17	41
111.982	-7.176	2011	5	8	4.63	229	8	5
107.647	-9.977	2011	5	13	5.20	10	21	43
112.585	-9.203	2011	5	17	5.70	28	0	14
112.561	-9.292	2011	5	18	5.23	35	5	1
109.590	-8.793	2011	5	27	4.93	35	12	47
108.754	-8.756	2011	5	28	5.23	45.3	20	28

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

108.903	-9.136	2011	5	31	4.83	43.4	7	59
108.582	-8.927	2011	5	31	4.63	31.4	11	12
106.336	-6.623	2011	6	11	4.83	13.9	20	23
110.733	-8.037	2011	6	13	4.83	152.5	15	46
106.970	-7.651	2011	6	15	4.93	37.2	2	34
107.468	-6.341	2011	6	21	4.63	185.1	22	43
108.733	-8.308	2011	7	1	4.73	92.9	14	33
106.845	-6.790	2011	7	3	4.63	118.8	9	1
108.454	-8.902	2011	7	9	4.93	35.2	13	26
107.149	-7.672	2011	7	14	4.63	28.2	1	4
106.489	-6.640	2011	7	17	5.13	94.8	10	59
106.458	-7.197	2011	7	24	5.00	59.1	8	23
108.345	-9.785	2011	7	30	4.73	21	23	27
107.000	-8.246	2011	8	3	4.73	35	5	4
108.152	-9.681	2011	8	11	4.83	35	16	11
108.263	-9.637	2011	8	11	4.93	26.2	16	24
108.191	-9.736	2011	8	11	4.73	35	16	39
106.640	-7.590	2011	8	18	4.63	10	21	42
109.425	-10.045	2011	8	20	4.73	10	20	24
106.906	-7.130	2011	8	21	4.93	78.9	16	54
107.158	-7.987	2011	8	29	4.63	49.9	8	56
112.406	-8.027	2011	10	5	4.83	165.1	18	26
105.801	-7.577	2011	10	18	4.73	25	20	7
107.775	-7.874	2011	10	23	4.73	66.2	17	45
106.872	-8.069	2011	10	31	4.93	48.5	4	48
106.301	-6.132	2011	11	6	5.34	163.8	4	41
109.888	-8.644	2011	11	24	5.23	90	3	55
110.925	-11.136	2011	12	2	4.83	10	6	9
107.770	-9.106	2011	12	22	5.23	40.7	12	11
110.909	-11.116	2011	12	29	5.03	35	20	6
107.410	-9.359	2012	1	14	4.73	19.1	11	55
113.351	-9.461	2012	1	23	4.73	56.8	4	16
107.740	-8.226	2012	1	31	4.83	59.5	4	18
111.597	-8.561	2012	2	3	4.63	75.6	4	1
107.592	-7.566	2012	2	15	4.63	86.2	20	38
106.120	-7.770	2012	2	15	4.73	61.8	21	59
106.564	-7.285	2012	2	29	4.93	45.4	13	28
106.565	-7.083	2012	3	7	4.73	66.7	15	33

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

113.426	-10.777	2012	3	10	4.63	31.1	19	19
107.834	-9.314	2012	3	26	4.63	15.4	11	21
113.501	-9.268	2012	3	28	4.93	55.2	23	9
107.562	-9.979	2012	4	9	4.63	10	18	18
107.850	-8.274	2012	4	10	4.93	38.4	9	18
113.731	-10.559	2012	4	11	5.03	22.1	16	21
107.114	-7.598	2012	4	12	5.03	57.6	15	1
112.580	-10.837	2012	4	14	4.63	35	17	11
106.010	-8.745	2012	4	23	4.73	10	19	57
106.479	-7.697	2012	5	1	4.93	35	4	59
108.031	-8.059	2012	5	20	4.93	65.9	12	37
110.156	-8.810	2012	5	22	4.83	63.6	11	24
106.371	-7.692	2012	6	4	5.90	50	11	18
106.082	-7.107	2012	6	24	5.03	70.5	15	40
112.544	-8.583	2012	6	26	4.73	75.9	5	5
107.270	-7.350	2012	6	27	4.73	86.6	4	55
113.057	-9.542	2012	6	28	4.93	40.3	11	37
113.070	-9.573	2012	6	28	4.73	43.7	12	10
109.099	-7.977	2012	7	13	5.03	74.3	17	57
108.112	-7.664	2012	8	3	4.63	92.2	23	34
112.437	-9.284	2012	8	7	4.63	50.6	14	32
111.063	-10.410	2012	8	12	4.83	41.5	13	18
109.427	-12.063	2012	8	22	4.73	10	10	59
106.271	-7.425	2012	9	3	4.73	85.2	22	27
106.751	-6.514	2012	9	8	4.93	40.6	18	27
105.847	-7.327	2012	9	18	4.83	42.2	16	35
106.205	-5.958	2012	10	1	4.63	174.6	17	54
107.529	-6.762	2012	11	1	5.70	142.1	14	12
106.666	-7.373	2012	11	10	5.23	49.5	6	5
108.263	-9.666	2012	11	19	5.03	10	10	9
105.928	-7.644	2012	12	14	4.83	35	16	16
111.442	-8.986	2012	12	18	4.63	27.7	10	49
110.232	-9.318	2012	12	24	5.03	15.5	4	38
107.436	-7.887	2012	12	26	4.73	47.6	16	12
107.252	-9.541	2013	1	11	4.63	35	19	52
112.838	-9.658	2013	1	14	4.73	46.5	7	36
112.520	-11.555	2013	1	16	4.63	10	22	41
112.965	-9.675	2013	2	2	4.63	35	11	54

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

107.294	-6.998	2013	2	26	5.03	146.2	14	6
106.321	-6.266	2013	3	6	4.63	139.4	21	2
106.751	-8.078	2013	3	14	4.83	16.9	9	48
108.735	-9.477	2013	4	5	4.93	35	13	48
106.072	-7.091	2013	4	8	5.30	56.4	18	53
109.850	-7.295	2013	4	19	4.93	9.9	12	0
107.914	-9.159	2013	5	6	5.23	23.5	19	50
111.282	-7.970	2013	5	7	4.73	154.1	9	48
110.633	-11.060	2013	5	25	4.83	9.7	17	5
107.439	-9.331	2013	5	27	5.03	9.1	0	6
106.139	-8.845	2013	6	11	4.73	6.3	20	13
107.236	-10.004	2013	6	13	6.70	9	16	47
107.198	-10.070	2013	6	13	4.73	10	17	5
107.204	-10.026	2013	6	13	4.83	9	17	6
107.299	-9.997	2013	6	13	5.54	6.3	17	23
107.315	-10.194	2013	6	13	4.73	10	20	50
107.408	-10.218	2013	6	28	4.63	7.1	18	45
108.037	-7.682	2013	7	5	4.93	72.6	9	40
113.002	-8.803	2013	7	8	5.70	60	2	13
111.956	-8.905	2013	7	15	4.73	62.1	15	0
107.845	-8.098	2013	7	20	4.63	62.2	11	7
107.424	-10.234	2013	7	27	4.63	10	1	1
110.979	-8.624	2013	8	8	5.44	9.45	10	45
112.411	-10.867	2013	9	1	4.73	21.67	20	31
109.938	-9.148	2013	9	3	4.63	59	17	6
112.527	-8.683	2013	10	5	4.83	77.73	11	10
107.800	-8.108	2013	10	30	5.03	58.32	21	45
107.975	-7.861	2013	11	3	4.83	75.68	2	35
106.566	-6.252	2013	11	13	4.63	140.76	7	25
108.850	-9.343	2013	11	14	4.73	29.96	20	46
108.356	-7.198	2013	11	24	4.93	167.89	19	58
107.929	-7.871	2013	11	25	4.93	71.3	0	40
109.406	-10.180	2013	12	8	4.93	9.95	19	55
107.123	-10.101	2013	12	11	5.03	37.2	18	23
106.432	-6.370	2013	12	12	4.63	173.95	19	28
108.558	-7.268	2013	12	13	4.63	136.13	1	16
107.196	-6.812	2013	12	19	4.73	135.35	16	41
108.269	-8.121	2013	12	23	4.63	86.83	7	58

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

107.902	-7.943	2013	12	24	4.83	71.11	16	15
113.151	-10.886	2014	1	2	4.73	39.99	18	47
108.410	-7.515	2014	1	3	4.63	110.38	19	22
106.896	-6.393	2014	1	15	4.63	125.44	9	26
108.603	-7.935	2014	1	15	4.83	108.94	14	5
109.265	-7.986	2014	1	25	6.10	66	5	14
109.300	-8.001	2014	1	25	5.34	84.51	5	25
109.264	-8.234	2014	1	25	4.83	85.78	16	58
109.293	-8.045	2014	1	27	5.13	87.85	16	14
109.271	-8.073	2014	2	2	4.63	87.2	11	12
109.177	-8.507	2014	2	12	4.73	72.05	13	10
106.536	-7.790	2014	2	16	4.73	67.47	10	50
106.131	-8.845	2014	2	21	4.63	32.08	7	41
106.081	-7.553	2014	2	26	4.63	52.83	19	41
108.634	-10.387	2014	2	27	4.63	8.23	0	36
113.077	-8.894	2014	3	9	5.44	78.97	13	42
109.198	-8.296	2014	3	10	4.83	88.65	13	15
112.254	-7.642	2014	3	13	4.63	184.19	19	17
111.083	-8.614	2014	3	16	5.03	75.49	14	53
110.554	-8.910	2014	3	19	4.63	93.16	16	34
108.316	-8.483	2014	3	19	5.03	87.06	20	51
114.278	-9.653	2014	3	20	5.13	51.41	21	33
110.344	-9.056	2014	4	18	5.44	15.37	13	33
110.420	-9.101	2014	4	18	5.13	36.93	15	7
110.275	-9.258	2014	4	28	4.63	18.14	5	20
109.135	-8.422	2014	4	29	4.73	46.78	13	4
105.825	-7.255	2014	5	14	4.83	54.72	16	52
106.541	-8.016	2014	5	25	4.73	39.79	2	42
106.009	-7.288	2014	5	30	5.03	53.65	17	53
109.308	-8.610	2014	6	4	5.03	35	10	59
113.042	-8.475	2014	6	15	4.63	135.09	4	46
108.054	-7.762	2014	6	22	5.23	72.02	6	38
107.161	-7.584	2014	7	8	4.63	63.24	14	22
111.623	-9.603	2014	7	9	4.83	38.5	6	3
111.253	-8.819	2014	7	14	5.50	52.51	5	5
113.040	-9.315	2014	7	24	4.63	35	8	16
111.575	-9.127	2014	7	24	5.13	35	8	41
106.975	-9.395	2014	9	1	5.23	24.08	18	58

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

111.224	-10.146	2014	9	2	4.63	35.57	18	39
106.133	-9.030	2014	9	22	4.63	10	22	17
111.152	-8.791	2014	9	25	5.03	90.93	9	6
110.330	-9.426	2014	10	3	4.63	60.7	5	26
107.173	-6.496	2014	10	17	5.34	151.61	9	26
112.800	-10.240	2014	10	26	5.13	36.09	8	56
112.786	-10.318	2014	10	26	5.03	29.91	9	7
112.812	-10.275	2014	10	26	4.63	47.26	23	24
105.967	-7.409	2014	11	3	5.13	25.05	8	56
108.153	-8.394	2014	11	6	4.73	57.74	2	12
105.987	-7.184	2014	11	8	4.73	64.79	14	56
107.312	-8.193	2014	11	10	4.73	58.49	4	59
105.818	-7.563	2014	12	3	4.93	10	8	25
106.699	-7.515	2015	1	9	4.83	49.87	19	1
108.451	-9.075	2015	2	1	4.63	33.49	23	19
106.770	-8.185	2015	2	21	4.83	36.67	10	37
112.885	-9.688	2015	3	15	5.13	49.71	21	19
114.239	-9.685	2015	3	22	4.63	53.65	0	19
109.056	-6.986	2015	3	22	4.83	10	18	5
110.320	-9.306	2015	4	5	4.83	40.25	13	0
110.510	-9.754	2015	4	5	4.63	32.57	18	20
106.849	-9.648	2015	4	18	4.63	10	6	40
112.911	-9.440	2015	5	1	5.13	61.38	2	46
108.732	-10.022	2015	5	12	5.23	10	6	27
110.229	-8.849	2015	5	30	5.03	86.58	20	51
111.502	-9.316	2015	6	5	5.03	56.12	16	38
105.875	-8.040	2015	7	9	4.63	27.55	19	41
111.301	-11.114	2015	7	14	4.93	26.82	13	20
108.916	-8.248	2015	7	24	5.50	48	21	44
112.670	-9.259	2015	7	26	5.90	52	7	5
107.081	-8.044	2015	8	5	4.63	51.86	3	55
107.203	-8.137	2015	8	23	4.63	41.24	18	40
106.329	-9.116	2015	8	27	5.03	20.35	16	19
106.244	-7.629	2015	9	2	4.93	25.33	9	56
107.225	-8.043	2015	9	4	5.40	37	20	8
107.266	-8.083	2015	9	9	4.63	40.52	4	22
112.487	-8.623	2015	9	10	4.93	66.21	16	19
107.957	-9.771	2015	9	27	4.63	10	7	4

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

110.362	-9.199	2015	10	4	4.83	41.64	16	40
107.401	-8.049	2015	10	10	5.34	35	9	4
109.776	-8.564	2015	10	29	4.83	74.91	10	20
107.421	-8.438	2015	10	30	4.73	16.44	10	12
106.841	-7.447	2015	10	31	4.63	46.5	18	46
107.084	-7.952	2015	11	3	4.83	53.17	21	43
111.199	-10.175	2015	11	7	5.00	10	20	57
110.219	-8.942	2015	11	11	5.50	83.02	11	45
106.863	-6.483	2015	11	12	4.83	126.02	12	7
109.168	-5.827	2015	11	12	4.63	29.75	14	1
111.446	-8.754	2015	11	20	4.83	73.58	6	4
106.000	-7.055	2015	11	28	5.40	51.34	14	47
112.860	-9.636	2015	12	15	4.73	43.35	7	38
106.970	-8.103	2015	12	16	4.73	34.95	10	23
110.428	-9.123	2015	12	16	4.63	51.32	18	54
107.023	-8.368	2015	12	19	5.70	27	15	3
109.863	-9.129	2015	12	19	4.73	50.39	17	5
108.863	-9.232	2015	12	29	4.73	35.22	12	19
108.843	-9.239	2015	12	29	4.83	35.65	15	20
106.475	-7.279	2016	1	6	4.63	85.72	13	9
107.949	-8.371	2016	1	20	4.73	35	17	25
108.571	-9.465	2016	2	13	5.23	8.14	20	45
106.957	-7.318	2016	2	16	4.93	128.01	15	5
111.351	-10.468	2016	2	16	4.73	10	21	29
111.509	-8.746	2016	2	25	5.23	57.44	23	35
112.536	-8.619	2016	3	2	5.23	78.32	6	9
107.386	-8.204	2016	4	6	6.10	29	14	45
107.340	-8.112	2016	4	6	4.73	42.08	15	14
105.826	-7.288	2016	4	29	4.83	37.1	17	35
107.539	-10.071	2016	5	17	5.34	10	21	8
113.107	-9.174	2016	6	1	4.83	57.65	19	50
107.555	-8.074	2016	6	11	4.93	26.75	17	16
107.189	-9.050	2016	7	11	4.63	10	14	30
108.933	-8.157	2016	7	11	4.63	71.99	14	52
108.012	-10.469	2016	7	14	5.54	10	18	28
107.018	-9.553	2016	7	29	5.13	10	9	7
109.342	-8.257	2016	8	16	4.83	82.63	16	21
111.655	-9.865	2016	9	10	5.34	10	2	49

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

111.772	-9.744	2016	9	10	4.83	10	11	21
111.685	-9.804	2016	9	10	4.93	10	13	22
111.805	-9.505	2016	9	18	4.73	45.78	21	50
111.636	-9.880	2016	9	19	4.63	10	0	2
111.421	-8.997	2016	9	21	4.73	53.36	18	7
111.809	-9.495	2016	9	30	4.83	35	20	56
111.692	-9.765	2016	9	30	4.83	29.95	21	0
111.721	-9.513	2016	10	3	4.73	35	2	54
111.639	-9.902	2016	10	8	4.73	36.83	9	10
107.608	-7.879	2016	10	22	4.73	68.15	22	44
107.009	-7.517	2016	10	23	4.63	37.84	5	45
111.349	-7.369	2016	11	4	4.83	17.87	5	8
106.391	-6.734	2016	11	9	4.63	63.98	4	5
111.416	-8.904	2016	11	10	4.93	68.75	8	15
111.482	-8.824	2016	11	11	5.13	61.73	0	26
113.245	-9.003	2016	11	16	5.70	85	15	10
110.617	-8.756	2016	11	18	4.73	58.16	2	19
106.829	-6.852	2016	12	13	4.63	123.64	11	28
108.797	-8.746	2017	1	2	5.34	38.14	21	2
106.765	-8.213	2017	1	3	4.83	47.66	3	19
106.810	-8.109	2017	1	3	4.83	35	14	4
106.932	-7.413	2017	1	12	4.63	93.58	19	45
107.060	-7.636	2017	1	26	4.63	88.74	17	50
112.965	-9.764	2017	1	28	4.83	37.62	9	28
112.910	-9.427	2017	1	29	4.93	62.99	11	57
107.199	-9.709	2017	2	7	4.73	40.53	8	47
113.131	-8.429	2017	2	7	5.34	140.72	17	21
106.950	-7.556	2017	2	8	5.13	74.88	8	34
112.150	-9.299	2017	2	12	5.03	35	6	42
108.383	-7.529	2017	2	13	4.93	101.06	8	12
107.388	-7.516	2017	2	15	5.13	77.33	18	53
107.943	-7.841	2017	2	19	4.83	67.97	15	39
106.585	-7.756	2017	3	14	5.03	51.37	2	51
108.000	-7.807	2017	3	15	4.73	78.6	2	26
107.955	-7.948	2017	3	18	4.93	77.93	16	56
108.013	-7.957	2017	3	23	4.83	73.62	14	35
107.781	-7.906	2017	3	26	4.63	25.87	2	0
111.782	-9.574	2017	4	9	5.03	40.91	23	22

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

108.019	-7.740	2017	4	23	5.34	72.22	18	1
112.470	-8.812	2017	4	27	4.73	75.48	7	3
111.850	-9.669	2017	4	29	5.50	10	10	2
111.785	-9.653	2017	4	29	5.03	14.29	14	30
111.773	-9.602	2017	4	29	5.03	10	15	45
111.836	-9.539	2017	5	1	4.93	40.31	10	43
111.851	-9.505	2017	5	2	4.73	40.43	20	2
107.582	-9.872	2017	5	4	4.83	49.18	22	13
106.559	-6.587	2017	5	10	4.73	121.11	17	46
107.083	-7.672	2017	5	11	4.63	86.27	8	51
111.985	-8.969	2017	5	24	5.54	58.3	16	44
107.100	-9.562	2017	5	30	4.63	43.82	3	47
106.259	-8.321	2017	6	11	5.70	7	23	15
105.982	-7.409	2017	7	8	5.34	8.54	22	48
107.062	-8.031	2017	7	13	4.73	58.52	9	30
111.870	-9.790	2017	7	17	4.83	40.39	9	5
110.399	-8.977	2017	7	20	4.83	57.92	4	12
108.988	-8.161	2017	8	3	5.00	63.18	16	14
113.427	-9.323	2017	8	21	4.73	52.87	22	53
105.798	-7.324	2017	8	25	4.63	35	22	11
111.104	-10.326	2017	8	27	5.20	10	0	2
107.774	-7.781	2017	9	24	4.73	5.92	22	5
107.008	-8.422	2017	9	25	4.83	33.74	7	16
106.388	-5.930	2017	9	25	5.23	150.05	18	10
114.234	-9.757	2017	10	12	4.73	48.1	16	56
112.299	-10.864	2017	10	14	4.83	10	5	35
112.314	-10.796	2017	10	14	4.73	10	14	3
112.362	-10.855	2017	10	14	4.63	10	14	9
112.934	-9.640	2017	10	25	5.13	35	16	35
113.008	-9.483	2017	10	25	5.03	54.13	17	19
106.746	-9.065	2017	10	25	4.63	10	17	51
107.293	-8.182	2017	11	1	4.73	55.08	5	39
112.938	-9.903	2017	11	21	4.83	35	17	40
112.980	-9.415	2017	11	30	4.63	59.76	18	43
107.092	-7.127	2017	12	12	5.13	100.75	2	23
108.174	-7.492	2017	12	15	6.50	90	16	47
106.820	-7.884	2017	12	16	5.20	44	0	22
106.393	-7.772	2017	12	24	4.63	35	15	42

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

112.911	-9.750	2017	12	28	4.73	47.54	13	8
107.521	-9.675	2018	1	15	4.73	10	14	14
105.963	-7.092	2018	1	23	5.90	48.19	6	34
105.813	-7.122	2018	1	24	4.63	35.03	6	32
105.801	-7.090	2018	1	26	4.83	41.3	10	12
105.889	-7.626	2018	2	16	4.93	34.07	5	13
106.428	-7.757	2018	2	16	4.83	35	13	28
110.991	-8.950	2018	2	17	5.03	62.62	18	56
105.940	-7.410	2018	3	19	5.00	48.55	11	36
106.669	-6.312	2018	3	27	4.63	139.15	20	57
109.654	-7.248	2018	4	18	4.63	10	6	28
110.404	-10.879	2018	5	16	4.83	10	15	30
110.612	-9.161	2018	5	22	4.63	43.89	19	38
110.541	-9.432	2018	5	22	4.63	57.01	20	12
108.043	-8.409	2018	5	28	4.63	50.08	6	3
105.965	-7.303	2018	6	8	4.93	44.6	0	27
113.888	-7.001	2018	6	13	4.73	10	13	6
109.835	-8.807	2018	6	17	4.63	50.25	14	52
107.132	-9.971	2018	7	3	4.63	10	7	14
106.251	-7.054	2018	7	7	4.63	10	3	56
107.636	-8.236	2018	7	16	4.63	35	13	39
112.823	-9.561	2018	7	19	5.40	31.53	12	23
112.923	-9.782	2018	7	19	4.93	35	12	49
112.801	-9.495	2018	7	19	4.73	39.89	17	43
112.909	-9.839	2018	7	19	4.73	35	19	49
112.889	-9.610	2018	7	23	4.93	35	13	57
112.850	-9.571	2018	7	28	5.03	50.16	0	12
112.867	-9.103	2018	7	28	4.93	56.64	0	14
112.881	-9.823	2018	7	28	4.63	35	0	15
106.598	-8.925	2018	8	7	4.63	19.71	19	13
112.473	-8.769	2018	8	8	5.03	78.83	6	9
108.879	-8.319	2018	8	13	4.63	71.12	10	37
106.616	-7.409	2018	8	17	4.63	64.76	17	22
105.897	-7.669	2018	8	21	4.63	47.57	2	54
110.145	-9.022	2018	8	28	5.20	40	18	36
106.844	-7.931	2018	10	7	4.63	38.26	19	17
114.455	-7.453	2018	10	10	6.00	9	18	44
106.027	-6.181	2018	10	25	4.93	173.66	5	48

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

110.862	-11.186	2018	10	28	4.83	10	18	37
109.392	-10.134	2018	11	3	4.63	10	13	24
109.793	-8.703	2018	11	29	5.13	89.24	20	42
111.864	-9.771	2018	12	3	4.83	10	19	18
106.078	-6.717	2018	12	6	4.73	85.35	23	43
108.446	-9.051	2018	12	9	4.93	10	2	50
112.888	-9.649	2018	12	9	4.73	35	10	33
108.453	-8.981	2018	12	9	4.63	42.15	12	23
108.518	-10.509	2019	1	1	5.03	10	12	25
109.585	-9.299	2019	1	3	4.63	10	7	42
108.503	-10.599	2019	1	3	4.73	6.77	16	42
107.759	-7.955	2019	1	7	4.83	66.25	15	4
108.925	-8.203	2019	1	7	4.63	71.48	16	58
106.566	-7.878	2019	1	8	5.34	35	9	54
108.477	-10.531	2019	1	8	4.83	10	11	5
106.814	-9.497	2019	2	5	4.73	10	19	28
112.591	-8.989	2019	2	13	4.83	76.09	19	58
112.861	-9.509	2019	2	18	5.70	23	19	30
108.523	-8.132	2019	3	7	4.73	103.52	8	43
112.666	-9.294	2019	3	10	5.23	65.17	9	21
107.039	-6.921	2019	3	19	4.63	155.05	5	4
108.089	-7.602	2019	3	21	4.93	107.7	15	3
114.537	-7.212	2019	4	1	4.73	21.3	23	5
114.593	-7.272	2019	4	2	4.90	35	1	22
114.522	-7.282	2019	4	2	4.63	24.05	13	9
107.263	-8.136	2019	4	10	4.83	62.52	17	37
109.538	-9.486	2019	4	21	4.93	10	4	12
107.671	-7.939	2019	5	12	4.63	47.15	22	45
112.521	-8.857	2019	5	16	4.83	86.74	14	39
108.597	-9.508	2019	5	18	5.60	8	1	51
108.628	-9.422	2019	5	20	4.63	10	8	24
108.597	-10.238	2019	5	22	4.83	10	11	50
112.252	-11.255	2019	5	24	4.63	10	21	52
108.686	-8.670	2019	5	28	4.83	95.34	15	0
107.599	-9.168	2019	6	1	4.73	10	4	13
108.947	-8.198	2019	6	9	5.40	70.44	9	32
108.838	-8.159	2019	6	21	4.73	94	10	27
113.655	-10.500	2019	6	23	4.73	10	22	26

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

108.963	-8.193	2019	6	29	5.23	78.89	6	47
113.996	-9.418	2019	7	6	4.73	51.83	5	30
114.487	-8.821	2019	7	16	5.70	80	0	18
114.313	-8.595	2019	7	24	5.13	102.51	1	29
108.469	-8.244	2019	7	27	4.73	68.45	3	44
106.142	-6.978	2019	7	28	5.23	58.47	14	25
110.198	-8.402	2019	8	10	4.63	95.38	13	26
114.554	-8.763	2019	8	11	4.83	90.24	22	8
113.947	-9.642	2019	8	11	5.13	35	22	51
113.900	-9.625	2019	8	12	5.03	35	8	31
113.954	-9.624	2019	8	13	5.03	49.18	10	21
114.032	-9.740	2019	8	13	5.03	43.64	13	40
108.974	-7.908	2019	8	25	4.63	103.77	12	48
107.979	-9.388	2019	9	4	4.73	10	18	6
113.446	-9.145	2019	9	10	4.83	71.59	17	12
106.170	-7.010	2019	9	20	4.63	72.17	13	15
105.853	-7.343	2019	9	27	4.63	57.52	18	4
109.392	-8.215	2019	10	14	4.63	89.44	11	34
112.784	-9.735	2019	10	20	4.63	35	6	57
111.404	-9.065	2019	10	27	4.63	67.64	7	42
106.988	-9.143	2019	11	1	4.73	10	5	8
108.062	-7.763	2019	11	1	4.93	91.71	8	38
108.164	-7.634	2019	11	9	4.63	93.5	1	19
113.780	-10.244	2019	11	26	4.73	10	17	24
110.098	-8.899	2019	12	9	5.03	35	3	47
106.002	-7.163	2019	12	16	4.93	60.53	12	52
106.858	-7.754	2019	12	26	4.83	61.54	7	22
112.581	-8.597	2020	1	4	4.83	84.15	22	55
107.455	-8.005	2020	1	5	4.90	38.11	23	12
107.930	-7.762	2020	1	8	4.73	69.72	22	5
107.682	-7.086	2020	1	19	4.63	133.84	13	31
114.084	-9.368	2020	2	3	4.73	60.72	21	16
105.930	-7.306	2020	2	17	4.83	47.04	12	11
107.653	-7.471	2020	2	21	4.73	67.11	0	57
106.681	-6.785	2020	3	10	5.13	10	10	18
110.541	-8.903	2020	3	12	5.34	94.26	8	3
108.914	-8.314	2020	3	14	4.63	76.53	2	17
106.773	-7.477	2020	3	16	4.63	72.78	3	56

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

109.469	-6.729	2020	3	18	4.73	241.95	23	54
113.595	-9.265	2020	3	26	4.63	58.27	20	34
112.998	-9.648	2020	3	30	4.63	49.18	14	48
113.148	-8.536	2020	4	5	4.90	127.08	0	15
112.352	-9.357	2020	4	7	5.03	52.07	8	3
106.903	-7.092	2020	4	30	4.93	59.57	8	21
114.563	-8.684	2020	5	8	4.63	95.26	10	32
107.964	-7.831	2020	5	19	5.03	61.62	10	0
107.978	-7.840	2020	5	24	4.93	64.88	7	11
110.950	-8.921	2020	6	21	5.20	86.6	19	33
112.376	-8.934	2020	7	4	4.80	94.19	19	9
106.342	-6.315	2020	7	7	5.10	96.85	4	44
107.475	-9.369	2020	7	7	4.93	10	5	17
106.362	-6.555	2020	7	14	4.73	106.19	0	4
107.070	-7.543	2020	7	28	4.73	50.22	2	0
108.022	-10.636	2020	7	28	4.73	10	20	42
110.246	-9.325	2020	8	9	4.73	10	22	12
107.903	-10.058	2020	8	12	4.73	10	2	44
114.064	-9.355	2020	8	15	5.00	54.48	7	12
108.188	-9.651	2020	8	23	5.20	10	17	38
108.222	-9.763	2020	8	23	4.93	10	17	54
108.880	-9.155	2020	9	4	4.93	34.83	6	7
106.965	-9.221	2020	9	7	4.83	10	17	49
106.626	-7.498	2020	9	8	4.63	53.14	2	6
110.796	-8.757	2020	9	10	5.03	101.25	8	26
112.867	-9.543	2020	10	6	4.80	35	13	52
108.725	-9.868	2020	10	19	4.93	10	16	9
108.195	-8.074	2020	10	19	4.63	60.09	19	57
106.332	-6.744	2020	10	21	4.63	10	23	50
107.982	-7.993	2020	10	25	5.40	43	0	56
108.976	-9.187	2020	10	31	4.63	37.09	21	38
106.157	-7.306	2020	11	4	5.34	39.99	22	21
112.112	-11.155	2020	11	18	4.63	10	0	28
106.605	-7.371	2020	11	28	4.63	57.56	21	7
109.688	-9.777	2020	12	13	4.70	10	8	39
113.263	-10.891	2020	12	14	4.63	10	15	39
106.176	-8.747	2020	12	17	4.83	10	1	45
110.607	-8.848	2021	1	19	4.93	92.06	20	10

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

107.079	-9.289	2021	1	31	4.73	10	16	42
111.358	-9.286	2021	2	8	4.93	41.73	1	12
111.198	-9.259	2021	2	12	4.63	59.75	5	5
106.692	-7.372	2021	2	21	4.63	60.46	14	56
107.118	-9.254	2021	3	14	4.63	10	13	17
112.505	-8.571	2021	4	10	6.00	67	7	0
112.469	-8.361	2021	4	10	5.23	113.16	23	54
106.027	-7.076	2021	4	14	5.13	45.72	6	28
106.943	-7.452	2021	4	27	5.13	56.93	9	23
114.127	-9.186	2021	4	29	4.73	67.55	22	20
106.721	-6.992	2021	5	4	4.63	72.19	14	3
112.332	-8.421	2021	5	21	5.80	106	12	9
107.201	-7.555	2021	6	5	4.73	65.51	18	18
107.824	-9.734	2021	6	15	4.63	10	14	1
108.529	-8.235	2021	6	21	4.73	69.79	1	1
107.983	-8.387	2021	6	21	4.73	75.42	1	56
110.658	-8.345	2021	6	27	5.23	85.47	22	15
106.186	-6.218	2021	7	12	4.83	140.52	6	30
111.405	-8.859	2021	7	27	5.03	49.62	16	21
108.984	-8.063	2021	8	9	4.93	68.19	14	36
107.549	-8.212	2021	8	17	4.73	35	4	49
107.546	-8.208	2021	8	22	4.73	35	21	13
113.616	-10.559	2021	8	25	4.83	10	4	29
113.067	-9.411	2021	9	4	5.03	50.95	7	29
112.369	-11.203	2021	9	12	4.63	10	23	32
106.638	-7.398	2021	9	18	4.73	68.84	23	38
110.969	-8.938	2021	10	13	4.93	47.25	5	0
106.455	-7.901	2021	10	20	4.63	35	18	53
112.551	-8.652	2021	10	22	4.90	72.87	2	21
110.427	-9.064	2021	10	22	4.63	30.42	2	39
107.823	-9.307	2021	10	25	5.23	10	6	52
105.826	-7.592	2021	11	10	5.23	21.04	2	50
108.224	-9.887	2021	12	2	4.73	10	22	16
113.653	-9.536	2021	12	13	5.13	54.94	5	46
114.172	-9.753	2021	12	14	4.93	40.42	21	29
113.551	-8.491	2021	12	15	4.93	29.41	23	1
111.858	-11.422	2021	12	22	4.63	10	12	4
113.242	-9.227	2022	1	6	4.63	54.12	21	59

Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

112.800	-9.117	2022	1	10	4.63	33.85	10	28
105.858	-7.513	2022	1	17	5.00	35	0	25
106.081	-6.909	2022	1	17	4.63	32.54	0	35
108.085	-8.728	2022	1	27	5.13	21.15	16	3
105.967	-7.262	2022	2	4	5.20	44.85	10	10
107.010	-9.348	2022	2	17	5.10	10	19	50
105.948	-7.424	2022	2	28	4.73	53	15	38
107.641	-8.393	2022	3	1	5.03	65.6	15	12
106.070	-7.317	2022	3	12	5.30	42.31	5	31
107.032	-7.634	2022	3	16	5.30	50.19	3	0
106.866	-7.822	2022	3	16	4.63	35	4	6
106.426	-6.299	2022	3	17	4.73	149.6	20	53
106.788	-8.165	2022	3	18	4.93	25.19	15	4
105.895	-7.331	2022	4	1	4.80	10	4	54
106.068	-7.252	2022	4	1	5.30	18.52	7	14
105.935	-7.001	2022	4	1	4.73	17.26	7	20
110.574	-7.914	2022	4	6	4.93	149.95	3	3
111.588	-9.672	2022	4	7	4.73	10	0	3
111.551	-9.798	2022	4	11	4.83	10	12	29
111.578	-9.645	2022	4	13	4.73	10	21	51
113.021	-9.766	2022	4	23	4.73	35.58	5	54
106.570	-7.327	2022	4	25	4.63	59.24	17	1
111.459	-8.291	2022	6	11	5.13	108.58	23	55
112.957	-9.423	2022	7	8	4.93	56.626	19	28
112.920	-9.465	2022	7	8	5.20	41.048	20	27
113.094	-9.944	2022	7	8	4.63	27.627	20	38
112.962	-9.446	2022	7	8	5.03	51.27	22	50
112.940	-9.364	2022	7	9	5.23	56.35	2	53
112.835	-9.490	2022	7	9	4.83	47.788	14	7
112.911	-9.523	2022	7	9	4.73	60.493	14	35
112.952	-9.731	2022	7	9	5.03	41.888	15	44
112.928	-9.479	2022	7	9	4.63	60.075	20	40
112.882	-9.531	2022	7	11	4.63	41.411	3	5
112.983	-9.410	2022	7	11	4.73	58.95	3	46
112.978	-9.441	2022	7	11	4.73	56.13	4	43
107.843	-8.005	2022	7	16	4.63	64.42	15	5
110.810	-9.254	2022	7	17	5.23	37.06	9	13
107.554	-7.078	2022	8	2	4.63	133.358	13	14

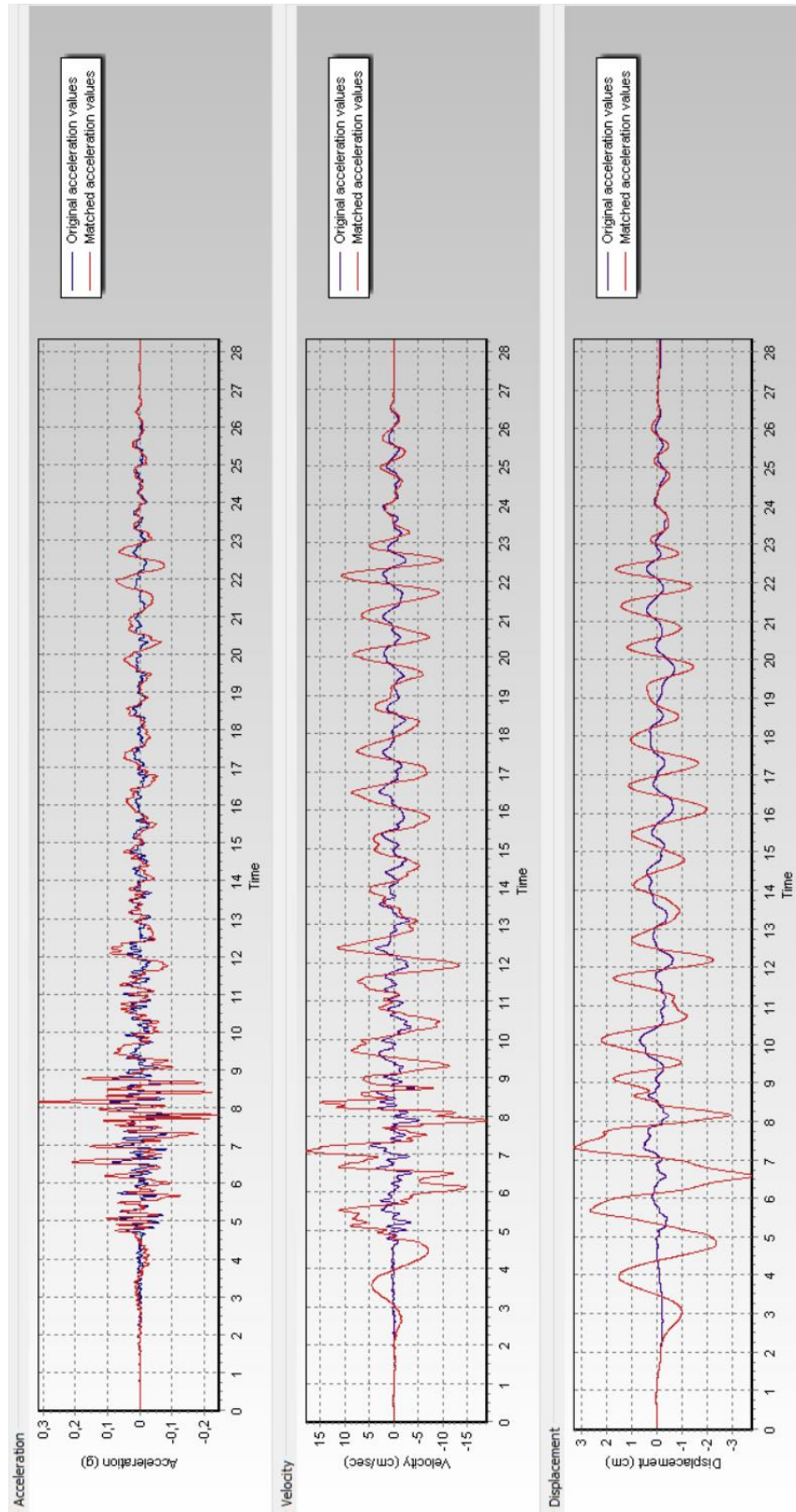
Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

109.503	-10.448	2022	8	27	4.73	10	20	49
112.871	-9.532	2022	8	28	4.63	35	7	32
109.643	-10.624	2022	9	8	5.03	10	7	1
110.880	-11.048	2022	9	11	5.54	18.548	4	16
114.363	-9.395	2022	9	24	5.03	74.072	20	32
113.343	-10.999	2022	9	26	4.73	10	23	17
106.169	-6.869	2022	10	9	5.03	62.714	10	2
107.082	-7.396	2022	10	31	5.03	69.253	3	5
113.385	-10.954	2022	11	9	4.93	10	17	41
107.290	-8.094	2022	11	12	4.83	52.975	12	29
107.418	-8.050	2022	11	12	5.20	55.403	13	18
108.834	-8.950	2022	11	13	5.20	39.775	15	10
107.989	-7.770	2022	11	19	5.00	69.988	18	28
106.997	-6.836	2022	11	21	5.60	10	6	21
106.630	-7.992	2022	11	22	4.73	30.421	14	53
109.835	-9.062	2022	11	23	4.83	31.975	13	27
108.249	-7.970	2022	11	27	4.63	76.311	2	10
107.614	-7.233	2022	12	3	5.60	120	9	49
113.386	-10.723	2022	12	6	5.90	17	6	7
113.448	-10.536	2022	12	6	5.30	10	10	22
107.146	-6.711	2022	12	8	5.80	107	0	50
110.750	-8.913	2022	12	8	4.63	86.832	2	49
113.406	-10.730	2022	12	10	4.93	10	11	53
107.572	-10.155	2022	12	10	4.63	10	18	37
110.333	-9.572	2022	12	16	4.63	10	11	19
112.543	-8.559	2022	12	20	4.63	84.758	18	5
109.529	-9.228	2022	12	24	4.83	27.214	20	57
109.572	-9.168	2022	12	24	5.13	46.858	20	57
113.377	-10.767	2022	12	28	4.63	10	1	10
107.955	-8.241	2023	1	2	4.63	82.842	23	55
113.407	-10.730	2023	1	4	4.73	25.287	4	21
111.176	-8.830	2023	1	9	5.30	67.859	12	26
106.681	-6.217	2023	1	14	4.93	154.129	20	32
112.538	-9.048	2023	1	17	5.13	66.345	4	36
111.773	-11.043	2023	1	18	5.03	10	16	10
111.724	-10.959	2023	1	18	5.10	10	16	27
106.977	-6.843	2023	1	23	4.63	10.84	19	45
107.633	-7.293	2023	2	1	4.63	10	15	57

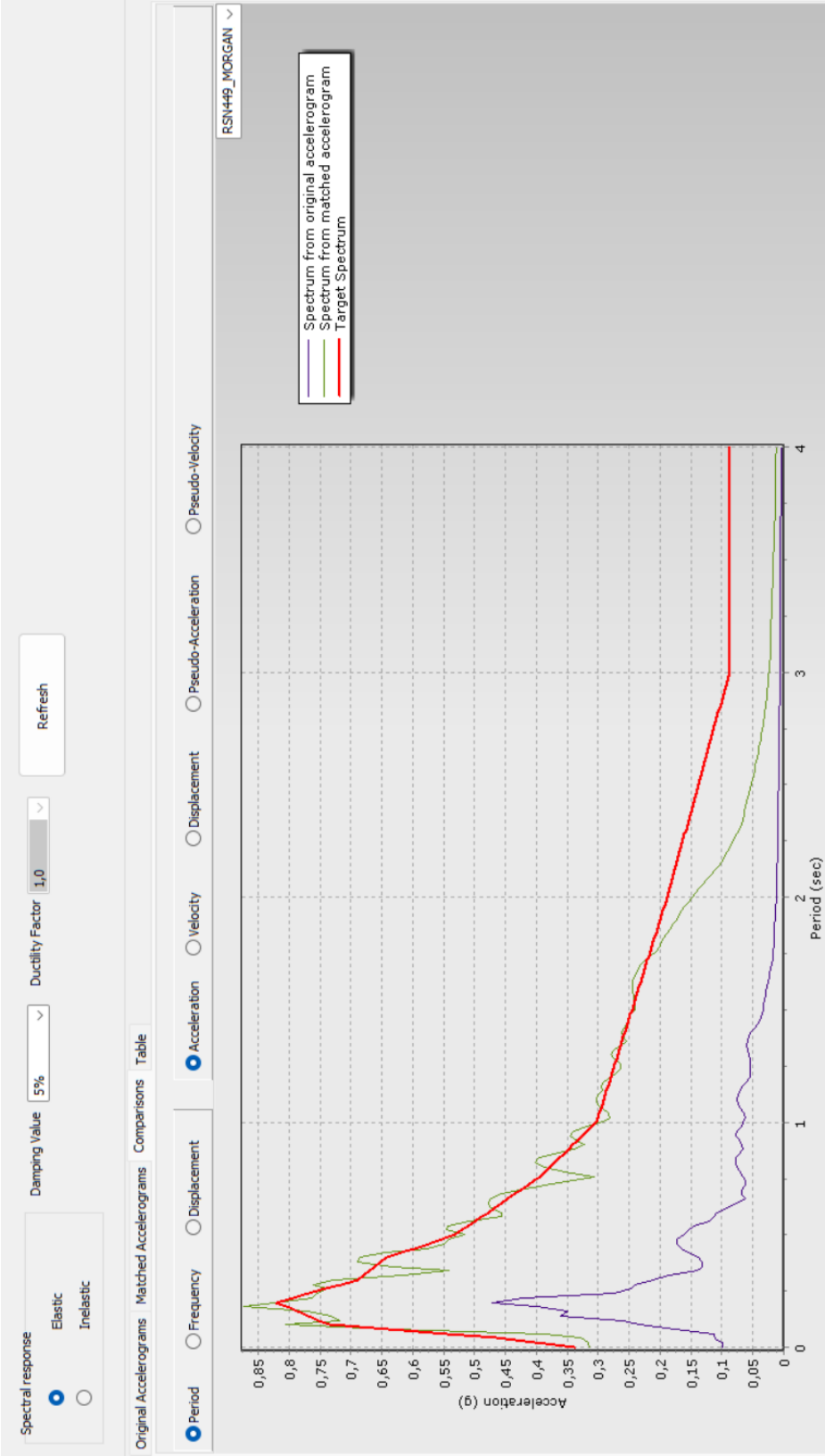
Lanjutan Lampiran 1 Konversi Magnitude Sebaran Gempa

106.018	-7.201	2023	2	2	4.63	57.032	12	45
106.007	-7.244	2023	2	7	5.54	50.524	0	35
112.438	-9.371	2023	3	6	4.93	45.416	1	50
113.313	-10.541	2023	3	16	5.20	10	5	22
109.751	-9.021	2023	3	17	5.00	49.69	12	5
113.315	-10.831	2023	3	24	4.73	10	12	16
113.304	-10.737	2023	4	6	4.83	10	6	43
113.396	-10.676	2023	4	12	4.63	19.551	8	32
107.866	-8.207	2023	4	17	4.83	54.354	4	38
113.429	-10.791	2023	4	30	4.63	10	4	7
111.059	-10.115	2023	5	23	4.63	10	11	53
107.086	-7.651	2023	6	6	4.93	55.528	7	23
110.792	-8.852	2023	6	7	5.60	18	17	4
112.649	-9.068	2023	6	23	4.73	120.514	11	30
110.023	-8.648	2023	6	30	5.90	76.421	12	57
105.894	-7.872	2023	7	5	4.63	23.495	13	33
111.119	-8.627	2023	7	23	5.23	96.623	12	33
107.271	-7.928	2023	8	5	4.63	54.615	4	15
114.064	-9.686	2023	8	6	5.03	42.764	19	40
114.217	-9.687	2023	8	6	4.63	43.84	19	46
112.860	-9.686	2023	8	8	5.03	35	1	22
113.373	-10.987	2023	9	14	4.73	10	6	19
113.107	-10.621	2023	10	1	4.83	10	0	18
106.779	-6.933	2023	10	1	5.44	113.044	4	0
112.551	-8.546	2023	10	10	4.83	85.237	16	42
113.342	-9.484	2023	10	19	4.63	36.136	9	4
107.258	-7.872	2023	10	19	5.10	58.526	14	8
113.883	-8.546	2023	10	30	4.63	104.007	21	44
107.305	-7.553	2023	11	17	5.03	66.025	23	34
112.863	-9.564	2023	11	19	4.63	43.435	17	30
112.511	-9.788	2023	12	2	5.34	43.519	5	37
106.525	-6.860	2023	12	13	4.63	10.4	23	35
105.955	-7.224	2023	12	14	4.93	40.422	7	27
107.953	-7.777	2023	12	27	5.10	72.197	22	43
107.895	-7.971	2023	12	31	4.73	64.467	4	52
107.830	-6.759	2023	12	31	4.93	12.158	13	34

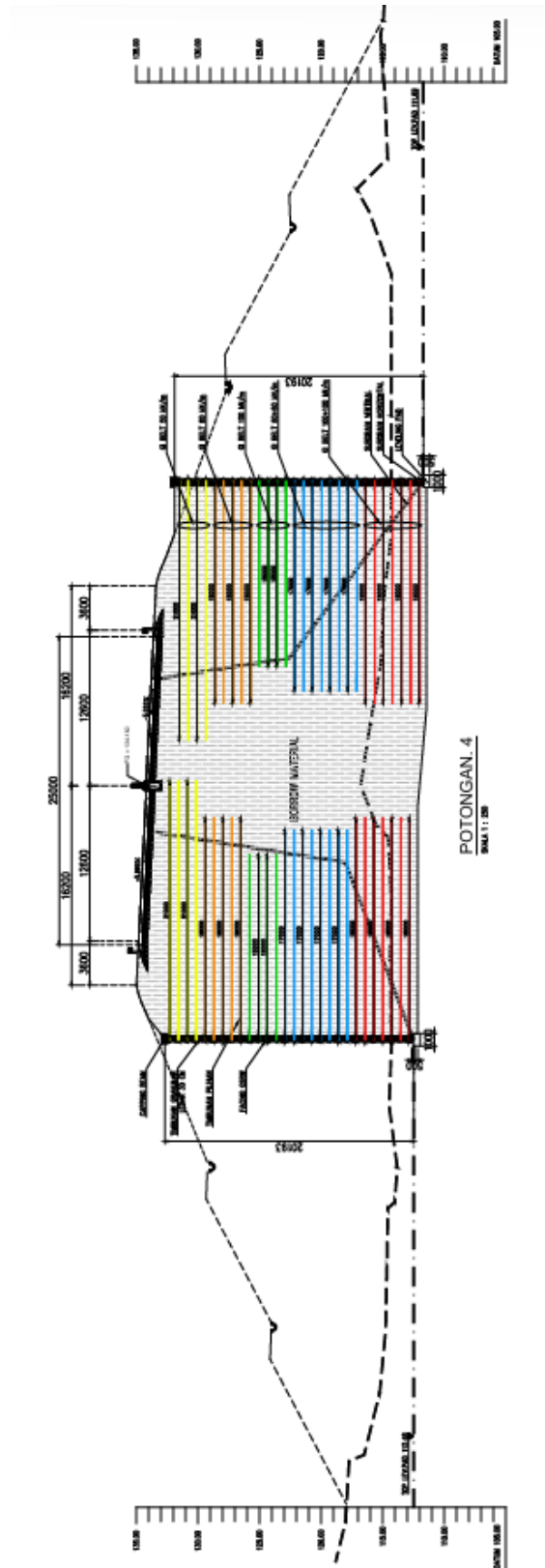
Lampiran 2 Hasil Aplikasi SeismoMatch



Lanjutan Lampiran 2 Hasil Aplikasi SeismoMatch



Lampiran 3 Gambar Potongan Jalan STA 30+750



Lampiran 4 Hasil DeepSoil

