

TUGAS AKHIR

**PENGARUH VARIASI ZONASI KERAWANAN GEMPA
BUMI TERHADAP PERILAKU SEISMIC STRUKTUR
BANGUNAN TAHAN GEMPA DI YOGYAKARTA
(*THE INFLUENCE OF VARIATIONS IN EARTHQUAKE
VULNERABILITY ZONING ON THE SEISMIC
BEHAVIOR OF EARTHQUAKE-RESISTANT BUILDING
STRUCTURES IN YOGYAKARTA*)**

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



**Muhamad Fajri Nurul Hakim
20511026**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

**PENGARUH VARIASI ZONASI KERAHANAN GEMPA
BUMI TERHADAP PERILAKU SEISMIC STRUKTUR
BANGUNAN TAHAN GEMPA DI YOGYAKARTA
(THE INFLUENCE OF VARIATIONS IN EARTHQUAKE
VULNERABILITY ZONING ON THE SEISMIC
BEHAVIOR OF EARTHQUAKE-RESISTANT BUILDING
STRUCTURES IN YOGYAKARTA)**

Disusun oleh

Muhamad Fajri Nurul Hakim
20511026

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 27 September 2024
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing I :

Ir. Yunalia Muntafi, ST., MT., Ph.D.(Eng).,IPM.

NIK : 095110101

Penguji I :

Elvis Saputra, S.T., M.T.

NIK : 205111302

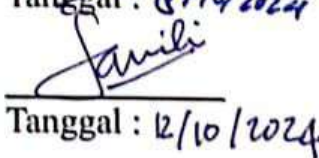
Penguji II :

Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U.

NIK : 845110101

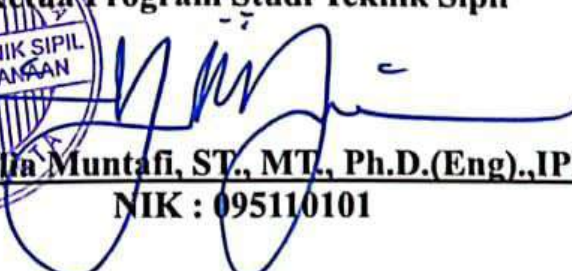

Tanggal : 8/10/2024

Tanggal : 8/10/2024


Tanggal : 12/10/2024



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Ir. Yunalia Muntafi, ST., MT., Ph.D.(Eng).,IPM.
NIK : 095110101

This research is dedicated to both of the researcher's parents and both of the researcher's siblings who have fallen up and down to help the researcher pursue an undergraduate education.



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia seluruhnya merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 27 September 2024

Yang membuat pernyataan,



Muhamad Fajri Nurul Hakim

(20511026)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahiim.

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabaraktuh.

Alhamdulillah rabbil'alam, segala puji dan syukur atas kehadiran Allah *Subhanahu wa ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Variasi Zonasi Kerawanan Gempa Bumi Terhadap Perilaku Seismik Struktur Bangunan Tahan Gempa Di Yogyakarta” dengan maksimal. Selawat serta salam selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad *Shallallahu 'alaihi Wasallam*, keluarga, sahabat dan pengikut beliau hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, bantuan, dan kemudahan informasi serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng), IPM. selaku Dosen Pembimbing sekaligus Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, terima kasih atas bimbingan, nasihat, saran, dan dorongan yang diberikan kepada saya selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Elvis Saputra S.T., M.T. selaku Penguji 1 dalam Sidang Tugas Akhir saya.
3. Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U. selaku Penguji 2 dalam Sidang Tugas Akhir saya.

4. Bapak Tejo Supono. dan Ibu Nunung Ida Mundarsih, S.Pd. selaku orang tua saya, Erlina Fajarani Aisyah dan Muhamad Fauzul Surya Yardha selaku kakak saya, yang selalu tanpa lelah memberi doa, nasihat dan dukungan material kepada saya dalam proses penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Saudara Miqdad Khosyi Akbar, S.T., M.Eng. yang telah membantu saya dalam proses olah data dan penyusunan Tugas Akhir.
6. Pengelola Fasilitas Kampus UII yang sudah menyediakan data gedung.
7. Teman-teman Decle Babayo yang selalu memberikan dukungan fasilitas dan bantuan dalam proses penyusunan Tugas Akhir.
8. Teman-teman Sekelas Nih yang telah meluangkan waktu dan memberikan motivasi kepada saya selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman seperjuangan teknik sipil UII Angkatan 2020 yang banyak memberikan masukan dan dukungan dalam proses penyusunan Tugas Akhir.
10. Saudari Azzahra Tiffany Rachmad yang selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan naskah Tugas Akhir.

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya. Namun, saya menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saya memohon maaf dan berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi saya khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 27 September 2024
Penulis,

Muhamad Fajri Nurul Hakim
(20511026)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
DEDIKASI	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xxvi
ABSTRAK	xxx
<i>ABSTRACT</i>	xxxi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	6
BAB II	9
TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Penelitian Sejenis Terdahulu	9

2.2	Perbedaan Penelitian Terdahulu	16
2.3	Keaslian Penelitian	23
BAB III		24
LANDASAN TEORI		24
3.1	Cincin Api dan Gempa Bumi	24
3.1.1	Indonesia dalam kawasan Cincin Api	24
3.1.2	Gempa Bumi	26
3.1.3	Macam Sumber Gempa Bumi Tektonik	27
3.1.4.1	Sumber gempa Subduksi	28
3.1.4.2	Sumber gempa <i>Shallow Crustal</i>	29
3.1.4.3	Sesar/Patahan (<i>Fault</i>)	30
3.1.4.4	Sesar Opak	31
3.1.4	Magnitudo	32
3.1.5	Jarak Sumber Gempa Bumi	34
3.1.6	Gempa di Yogyakarta	35
3.2	Kawasan Rawan Bencana	38
3.2.1	Kawasan Rawan Bencana (KRB)	38
3.2.2	Peta	39
3.2.3	Peta Kebencanaan	40
3.3	Struktur Bangunan Tahan Gempa	44
3.3.1	Struktur Bangunan Tahan Gempa	44
3.3.2	Sistem Pembebanan Struktur	46
3.3.3	Berat Seismik Efektif	47
3.3.4	Ketidakteraturan Struktur	48
3.4.3.1	Ketidakteraturan Horizontal	48

3.4.3.2	Ketidakteraturan Vertikal	50
3.4	Analisis Struktur	52
3.4.1	Analisis Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa	52
3.4.2	Macam Metode Analisis Struktur Gedung	55
3.4.3	Metode Analisis Dinamik Riwayat Waktu	56
3.4.4	Fungsi Bangunan	61
3.4.5	Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan	61
3.4.6	Klasifikasi Situs	63
3.4.7	Percepatan Gempa Terpetakan	65
3.4.8	Respon Spektrum	68
3.4.9	Kategori Desain Seismik	72
3.4.10	Struktur Rangka Pemikul Momen	73
3.4.11	Periode Struktur	74
3.4.12	Vs30	75
3.4.13	Rekaman Gerak Tanah	76
3.4.14	Pencocokan secara Spektral (<i>Spectral Matching</i>)	78
3.5	Perilaku Struktur	79
3.5.1	Perilaku Struktur	79
3.5.2	Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>)	80
3.5.3	Distribusi Vertikal Gaya Seismik	83
3.5.4	Simpangan (<i>Displacement</i>)	84
3.5.5	Simpangan Antar Tingkat (<i>Drift Ratio</i>)	85
BAB IV		90
METODE PENELITIAN		90
4.1	Lokasi Penelitian	90

4.2	Data Struktur	90
4.1.1	Denah, Potongan, dan Tampak Bangunan	90
4.1.2	Mutu Material	98
4.1.3	Data Gedung	98
4.1.4	Pemodelan Etabs	100
4.3	Alat Bantu Penelitian	101
4.4	Variabel Penelitian	103
4.5	Model Penelitian	103
4.6	Waktu Penelitian	103
4.7	Analisis Penelitian	103
BAB V		108
ANALISIS DAN PEMBAHASAN		108
BAB VI		255
KESIMPULAN DAN SARAN		255
DAFTAR PUSTAKA		258
LAMPIRAN		261

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Banyaknya Desa/Kelurahan di D.I.Y yang Mengalami Bencana Alam Gempa Bumi dalam Periode 2019 - 2021	1
Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan yang dilakukan	17
Tabel 2.2 Keaslian Penelitian	23
Tabel 3.1 Macam Prosedur Analisis	55
Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-Gedung untuk Beban Gempa	61
Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa	63
Tabel 3.4 Klasifikasi Situs	64
Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_a	67
Tabel 3.6 Koefisien Situs, F_v	67
Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	72
Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik	73
Tabel 3.9 Faktor R , Ω_0 , dan C_d untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	73
Tabel 3.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	74
Tabel 3.11 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang dihitung	75
Tabel 3.12 Simpangan Antar Tingkat Izin	87
Tabel 4.1 Dimensi Pelat	99
Tabel 4.2 Dimensi Balok	99
Tabel 4.3 Dimensi Kolom	100
Tabel 5.1 Data Struktur pada Masing-masing Zonasi Kerawanan Gempa Bumi	108

Tabel 5.2 Data Elevasi Struktur Gedung	109
Tabel 5.3 Dimensi Pelat Struktur	110
Tabel 5.4 Dimensi Balok Struktur	110
Tabel 5.5 Dimensi Kolom Struktur	111
Tabel 5.6 Fungsi Ruang Gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII	120
Tabel 5.7 Komponen Beban Mati Tambahan Pelat Lantai	121
Tabel 5.8 Beban Mati Tambahan Pelat Lantai, Ruang Kadaver, $Q_{SIDL\ 3}$	124
Tabel 5.9 Beban Mati Tambahan Pelat Lantai, Ruang <i>Water Tank</i> , $Q_{SIDL\ 4}$	124
Tabel 5.10 Beban Mati Tambahan Pelat Atap, $Q_{SIDL\ 5}$	124
Tabel 5.11 Beban Mati Tambahan Lift, $Q_{SIDL\ 6}$	125
Tabel 5.12 Beban Mati Tambahan Atap UPVC, $Q_{SIDL\ 7}$	125
Tabel 5.12 Beban Mati Tambahan Atap + <i>Lightning Rod</i> , $Q_{SIDL\ 8}$	125
Tabel 5.13 Beban Mati Tambahan Pelat Tangga, $Q_{SIDL\ 9}$	125
Tabel 5.14 Beban Mati Tambahan Pelat Bordes, $Q_{SIDL\ 10}$	125
Tabel 5.15 Beban Mati Tambahan Dinding Lantai 2 dan Lantai 3, $Q_{SIDL\ 11}$	126
Tabel 5.16 Beban Mati Tambahan Dinding Lantai 4, $Q_{SIDL\ 12}$	126
Tabel 5.17 Beban Mati Tambahan Dinding Ruang Lift dan Ruang <i>Water Tank</i> , $Q_{SIDL\ 13}$	126
Tabel 5.18 Beban Mati Tambahan Dinding Kubah, $Q_{SIDL\ 14}$	126
Tabel 5.19 Beban Hidup Laboratorium Fakultas Kedokteran UII	127
Tabel 5.20 Fungsi Ruang	128
Tabel 5.21 Rekapitulasi Pelat Lantai 2	131
Tabel 5.22 Rekapitulasi Pelat Lantai 3	131
Tabel 5.23 Rekapitulasi Pelat Lantai 4	132
Tabel 5.24 Rekapitulasi Pelat Atap dan Ruang Lift	132

Tabel 5.25 Rekapitulasi Balok Lantai 2 dan Lantai 3	134
Tabel 5.26 Rekapitulasi Balok lantai 4	135
Tabel 5.27 Rekapitulasi Balok Atap	135
Tabel 5.28 Rekapitulasi Balok Ruangan Lift dan Ruangan <i>Water Tank</i>	136
Tabel 5.29 Balok Bordes (BB) dan Balok Lift (BL)	136
Tabel 5.30 Rekapitulasi Kolom Lantai 1	138
Tabel 5.31 Rekapitulasi Kolom Lantai 2	138
Tabel 5.32 Rekapitulasi Kolom Lantai 3	138
Tabel 5.33 Rekapitulasi Kolom Lantai 4	138
Tabel 5.34 Rekapitulasi Kolom Atap	139
Tabel 5.35 Rekapituasi Kolom Miring	139
Tabel 5.36 Rekapitulasi Pelat Tangga dan Pelat Bordes Tangga Timur	140
Tabel 5.37 Rekapitulasi Pelat Tangga dan Pelat Bordes Tangga Tengah	140
Tabel 5.38 Rekapitulasi Beban Dinding	141
Tabel 5.39 Rekapitulasi Beban Gravitasi Lantai 2	144
Tabel 5.40 Rekapitulasi Beban Gravitasi Lantai 3	144
Tabel 5.41 Rekapitulasi Beban Gravitasi Lantai 4	144
Tabel 5.42 Perhitungan Massa Lantai 3	145
Tabel 5.43 Perhitungan Massa Lantai 4	146
Tabel 5.44 Perhitungan Massa Lantai Atap	146
Tabel 5.45 Perhitungan Massa Kubah	146
Tabel 5.46 Rekapitulasi Perhitungan Massa Bangunan	147
Tabel 5.47 Hasil Perhitungan Massa Bangunan menggunakan Software ETABS versi 20.2.0	147
Tabel 5.48 Koefisien Respons Seismik Pakai Zona 1	165

Tabel 5.49 Berat Seismik Efektif	165
Tabel 5.50 Koefisien Respons Seismik Pakai Zona 2	168
Tabel 5.51 Koefisien Respons Seismik Pakai Zona 3	171
Tabel 5.52 Tabel Distribusi Gaya Geser Statik Struktur Sumbu X Zona 1	174
Tabel 5.53 Tabel Distribusi Gaya Geser Statik Struktur Sumbu Y Zona 1	174
Tabel 5.54 Tabel Distribusi Gaya Geser Statik Struktur Sumbu X Zona 2	174
Tabel 5.55 Tabel Distribusi Gaya Geser Statik Struktur Sumbu Y Zona 2	175
Tabel 5.56 Tabel Distribusi Gaya Geser Statik Struktur Sumbu X Zona 3	175
Tabel 5.57 Tabel Distribusi Gaya Geser Statik Struktur Sumbu Y Zona 3	175
Tabel 5.58 Rekapitulasi Simpangan dan Rasio Simpangan antar Tingkat (<i>Drift Ratio</i>) akibat Beban Gempa Statik Zona 1	178
Tabel 5.59 Rekapitulasi Simpangan dan Rasio Simpangan antar Tingkat (<i>Drift Ratio</i>) akibat Beban Gempa Statik Zona 2	178
Tabel 5.60 Rekapitulasi Simpangan dan Rasio Simpangan antar Tingkat (<i>Drift Ratio</i>) akibat Beban Gempa Statik Zona 3	179
Tabel 5.61 Rekapitulasi Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya Gempa Statik Zona 1	186
Tabel 5.62 Rekapitulasi Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya Gempa Statik Zona 2	186
Tabel 5.63 Rekapitulasi Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya Gempa Statik Zona 3	187
Tabel 5.64 Rekapitulasi Ketidakberaturan Torsi Arah X dan Arah Y Zona 1	190
Tabel 5.65 Rekapitulasi Ketidakberaturan Torsi Arah X dan Arah Y Zona 2	190
Tabel 5.66 Rekapitulasi Ketidakberaturan Torsi Arah X dan Arah Y Zona 3	191
Tabel 5.67 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a dan Tipe 1b	195
Tabel 5.68 Tabel Rasio Massa Tingkat Terhadap Massa Tingkat di dekatnya	196

Tabel 5.69 Rekapitulasi Rasio Gaya Tingkat terhadap Gaya Tingkat di dekatnya pada Zona 1	198
Tabel 5.70 Rekapitulasi Rasio Gaya Tingkat terhadap Gaya Tingkat di dekatnya pada Zona 2	198
Tabel 5.71 Rekapitulasi Rasio Gaya Tingkat terhadap Gaya Tingkat di dekatnya pada Zona 3	198
Tabel 5.72 Parameter Pemilihan Gerak Tanah	199
Tabel 5.73 Rekaman Gerak Tanah dengan Spektrum Respon Desain DBE	200
Tabel 5.74 Perbandingan Percepatan Semu Rata-rata terhadap Spektrum Target Zona 1	206
Tabel 5.75 Perbandingan Percepatan Semu Rata-rata terhadap Spektrum Target Zona 2	207
Tabel 5.76 Perbandingan Percepatan Semu Rata-rata terhadap Spektrum Target Zona 3	208
Tabel 5.77 Faktor Skala Gaya Geser untuk setiap Rekaman Gerak Tanah	215
Tabel 5.78 Rekapitulasi Base Shear Analisis Riwayat Waktu	217
Tabel 5.79 Rekapitulasi Base Shear Analisis Riwayat Waktu pada Zona 2	217
Tabel 5.80 Rekapitulasi Base Shear Analisis Riwayat Waktu pada Zona 3	217
Tabel 5.81 <i>Displacement</i> dan <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Corinth 1981 Zona 1	223
Tabel 5.82 <i>Displacement</i> dan <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 1	223
Tabel 5.83 <i>Displacement</i> dan <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Iwate 2008 Zona 1	223
Tabel 5.84 <i>Displacement</i> dan <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Northridge 1994 Zona 2	224
Tabel 5.85 <i>Displacement</i> dan <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Niigata 2004 Zona 2	224
Tabel 5.86 <i>Displacement</i> dan <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 2	224
Tabel 5.87 <i>Displacement</i> dan <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Imperial Valley 1979 Zona 3	225

Tabel 5.88 <i>Displacement</i> dan <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Tottori 2000 Zona 3	225
Tabel 5.89 <i>Displacement</i> dan <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Iwate 2008 Zona 3	225
Tabel 5.90 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Corinth 1981 Zona 1	244
Tabel 5.91 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 1	244
Tabel 5.92 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Iwate 2008 Zona 1	244
Tabel 5.93 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Northridge 1994 Zona 2	245
Tabel 5.94 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Niigata 2004 Zona 2	245
Tabel 5.95 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 2	245
Tabel 5.96 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Imperial Valley 1979 Zona 3	246
Tabel 5.97 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Tottori 2000 Zona 3	246
Tabel 5.98 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Iwate 2008 Zona 3	246

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Indonesia dalam Kawasan <i>Ring of Fire</i>	25
Gambar 3.2 Lempeng Tektonik di Indonesia	25
Gambar 3.3 Pemodelan Mekanisme Sumber Gempa	27
Gambar 3.4 Sumber dan Bahaya Gempa di Pulau Jawa	28
Gambar 3.5 Pemodelan Zona Subduksi Selatan Jawa	29
Gambar 3.6 Sesar Opak di Yogyakarta	30
Gambar 3.7 Sesar Opak	32
Gambar 3.8 Jumlah Kejadian Magnitudo Gempa Bumi per Tahun (Seluruh Dunia)	33
Gambar 3.9 Ilustrasi Lokasi Gempa Bumi	34
Gambar 3.10 Yogyakarta dalam Kawasan <i>Ring of Fire</i>	35
Gambar 3.11 Gempa Bumi di Indonesia	36
Gambar 3.12 Gempa Bumi di sekitar wilayah D.I.Yogyakarta dan Jawa Tengah	36
Gambar 3.13 Persebaran Korban Jiwa Setiap Wilayah	37
Gambar 3.14 Persebaran Kerusakan Bangunan Setiap Wilayah	38
Gambar 3.15 Contoh Peta Kepadatan Penduduk	40
Gambar 3.16 Contoh Peta Mikrozonasi	41
Gambar 3.17 Peta Degregasi Jarak (R) Sumber Gempa <i>Benioff</i> pada Percepatan Puncak untuk Periode Ulang 250 Tahun	43
Gambar 3.18 Peta Degregasi Magnitudo (M) Sumber Gempa <i>Benioff</i> pada Percepatan Puncak untuk Periode Ulang 250 Tahun	44
Gambar 3.19 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur	49
Gambar 3.20 Ilustrasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 dan Tipe 2	49

Gambar 3.21 Ilustrasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3 dan Tipe 4	50
Gambar 3.22 Ilustrasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3 dan Tipe 4	50
Gambar 3.23 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur	51
Gambar 3.24 Ilustrasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1 dan Tipe 2	51
Gambar 3.25 Ilustrasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 dan Tipe 4	52
Gambar 3.26 Ilustrasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5	52
Gambar 3.27 Contoh Peta Klasifikasi Situs Daerah Istimewa Yogyakarta	65
Gambar 3.28 Parameter Gerak Tanah Ss, Gempa Maksimum yang dipertimbangkan Risiko Tetarget (MCEr) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0.2 detik (Redaman Kritis 5%)	66
Gambar 3.29 Parameter Gerak Tanah S1 Gempa Maksimum yang dipertimbangkan Risiko-Tetarget (MCEr) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0.2 detik (Redaman Kritis 5%)	66
Gambar 3.30 Spektrum Respon Desain	71
Gambar 3.31 Peta Transisi Periode Panjang TL, Wilayah Indonesia	72
Gambar 3.32 Contoh Peta Vs30 Daerah Istimewa Yogyakarta	76
Gambar 3.33 Contoh Peta Vs30 Daerah Istimewa Yogyakarta	77
Gambar 3.34 Hasil Pencocokan Secara Spektral	78
Gambar 3.35 Ilustrasi Perilaku Struktur Terhadap Beban Eksternal arah Lateral	80
Gambar 3.36 Grafik Hubungan Nilai k dengan Periode (T)	84
Gambar 3.37 Penentuan simpangan antar tingkat	85
Gambar 4.1 Citra Satelit Lokasi Penelitian	90
Gambar 4.2 Denah Lantai 1 Laboratorium FK UII	91
Gambar 4.3 Denah Lantai 2 Laboratorium FK UII	91
Gambar 4.4 Denah Lantai 3 Laboratorium FK UII	92
Gambar 4.5 Denah Lantai 4 Laboratorium FK UII	92

Gambar 4.6 Denah Lantai Atap Laboratorium FK UII	93
Gambar 4.7 Gambar Potongan A-A	93
Gambar 4.8 Gambar Potongan B-B	94
Gambar 4.9 Gambar Potongan C-C	94
Gambar 4.10 Gambar Potongan D-D	95
Gambar 4.11 Gambar Potongan E-E	95
Gambar 4.12 Gambar Tampak Utara	96
Gambar 4.13 Gambar Tampak Selatan	96
Gambar 4.14 Gambar Tampak Timur	97
Gambar 4.15 Gambar Tampak Barat	97
Gambar 4.16 Pemodelan Bangunan pada ETABS	101
Gambar 4.17 Pemodelan Pembebanan Gempa <i>Time History</i> pada ETABS	104
Gambar 4.18 Bagan Alir Penelitian	106
Gambar 4.19 Bagan Alir Analisis Metode Dinamik <i>Time History</i>	107
Gambar 5.1 Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi DIY	112
Gambar 5.2 Peta Digitasi Kawasan Rawan Bencana Gempabumi DIY	113
Gambar 5.3 Peta Vs30 Daerah Istimewa Yogyakarta	116
Gambar 5.4 Peta Klasifikasi Kelas Situs DIY berdasarkan SNI 1726:2019	117
Gambar 5.5 Peta Titik Pengambilan Nilai (KRB)	118
Gambar 5.6 Peta Titik Pengambilan Nilai (Kelas Situs)	119
Gambar 5.7 Grafik Respon Spektrum Zona 1	157
Gambar 5.8 Grafik Respon Spektrum Zona 2	157
Gambar 5.9 Grafik Respon Spektrum Zona 3	158
Gambar 5.10 Grafik <i>Displacement</i> Zona 1	180
Gambar 5.11 Grafik <i>Displacement</i> Zona 2	180

Gambar 5.12 Grafik <i>Displacement</i> Zona 3	181
Gambar 5.13 Grafik <i>Drift Ratio</i> Gaya Gempa Statik Zona 1	181
Gambar 5.14 Grafik <i>Drift Ratio</i> Gaya Gempa Statik Zona 2	182
Gambar 5.15 Grafik <i>Drift Ratio</i> Gaya Gempa Statik Zona 3	182
Gambar 5.16 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya Gempa Statik Zona 1	188
Gambar 5.17 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya Gempa Statik Zona 2	188
Gambar 5.18 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya Gempa Statik Zona 2	189
Gambar 5.19 Ilustrasi Parameter Ketidakberaturan Sudut Dalam	191
Gambar 5.20 Diskontinuitas Diafragma pada Lantai 2	192
Gambar 5.21 Rekaman Gerak Tanah Z1 Gempa Corinth 1989 E-W	200
Gambar 5.22 Rekaman Gerak Tanah Z1 Gempa Corinth 1989 N-S	200
Gambar 5.23 Rekaman Gerak Tanah Z1 Gempa Chuetsu 2007 E-W	201
Gambar 5.24 Rekaman Gerak Tanah Z1 Gempa Chuetsu 2007 N-S	201
Gambar 5.25 Rekaman Gerak Tanah Z1 Gempa Iwate 2008 E-W	201
Gambar 5.26 Rekaman Gerak Tanah Z1 Gempa Iwate 2008 N-S	202
Gambar 5.27 Rekaman Gerak Tanah Z2 Gempa Northridge 1994 E-W	202
Gambar 5.28 Rekaman Gerak Tanah Z2 Gempa Northridge 1994 N-S	202
Gambar 5.29 Rekaman Gerak Tanah Z2 Gempa Niigata 2004 E-W	203
Gambar 5.30 Rekaman Gerak Tanah Z2 Gempa Niigata 2004 N-S	203
Gambar 5.31 Rekaman Gerak Tanah Z2 Gempa Chuetsu 2007 E-W	203
Gambar 5.32 Rekaman Gerak Tanah Z2 Gempa Chuetsu 2007 N-S	204
Gambar 5.33 Rekaman Gerak Tanah Z3 Gempa Imperial Valley 1979 E-W	204
Gambar 5.34 Rekaman Gerak Tanah Z3 Gempa Imperial Valley 1979 N-S	204
Gambar 5.35 Rekaman Gerak Tanah Z3 Gempa Tottori 2000 E-W	205
Gambar 5.36 Rekaman Gerak Tanah Z3 Gempa Tottori 2000 N-S	205

Gambar 5.37 Rekaman Gerak Tanah Z3 Gempa Iwate 2008 E-W	205
Gambar 5.38 Rekaman Gerak Tanah Z3 Gempa Iwate 2008 N-S	206
Gambar 5.39 Pencocokan Spektral Spektrum Respons Desain Zona 1	209
Gambar 5.40 Pencocokan Spektral Spektrum Respons Desain Zona 2	210
Gambar 5.41 Pencocokan Spektral Spektrum Respons Desain Zona 3	210
Gambar 5.42 Definisi Faktor Skala Awal Gempa Corinth 1981 arah X	212
Gambar 5.43 Definisi Faktor Skala Awal Gempa Corinth 1981 arah Y	212
Gambar 5.44 Definisi Faktor Skala Gaya Geser Gempa Corinth 1981 arah Y	214
Gambar 5.45 Definisi Faktor Skala Gaya Geser Gempa Corinth 1981 arah Y	214
Gambar 5.46 <i>Define</i> Pergeseran Pusat Massa Arah X Positif dalam ETABS	215
Gambar 5.47 <i>Define</i> Pergeseran Pusat Massa Arah X Negatif dalam ETABS	216
Gambar 5.48 <i>Define</i> Pergeseran Pusat Massa Arah Y Positif dalam ETABS	216
Gambar 5.49 <i>Define</i> Pergeseran Pusat Massa Arah Y Negatif dalam ETABS	216
Gambar 5.50 Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>) akibat Rekaman-rekaman Gerak Tanah Zona 1	217
Gambar 5.51 Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>) akibat Rekaman-rekaman Gerak Tanah Zona 2	218
Gambar 5.52 Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>) akibat Rekaman-rekaman Gerak Tanah Zona 3	218
Gambar 5.53 Komparasi Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>) setiap Zona	219
Gambar 5.54 Hubungan Nilai <i>Base Shear</i> Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Maksimum pada setiap Zona	220
Gambar 5.55 Hubungan Nilai <i>Base Shear</i> Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Rata-rata pada setiap Zona	220
Gambar 5.56 Grafik <i>Displacement</i> akibat Gempa Corinth 1981 Zona 1	226
Gambar 5.57 Grafik <i>Displacement</i> akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 1	226

Gambar 5.58 Grafik <i>Displacement</i> akibat Gempa Iwate 2008 Zona 1	227
Gambar 5.59 Grafik <i>Displacement</i> akibat Gempa Northridge 1994 Zona 2	227
Gambar 5.60 Grafik <i>Displacement</i> akibat Gempa Niigata 2004 Zona 2	228
Gambar 5.61 Grafik <i>Displacement</i> akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 2	228
Gambar 5.62 Grafik <i>Displacement</i> akibat Gempa Imperial Valley 1979 Zona 3	229
Gambar 5.63 Grafik <i>Displacement</i> akibat Gempa Tottori 2000 Zona 3	229
Gambar 5.64 Grafik <i>Displacement</i> akibat Gempa Iwate 2008 Zona 3	230
Gambar 5.65 Grafik <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Corinth 1981 Zona 1	230
Gambar 5.66 Grafik <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 1	231
Gambar 5.67 Grafik <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Iwate 2008 Zona 1	231
Gambar 5.68 Grafik <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Northridge 1994 Zona 2	232
Gambar 5.69 Grafik <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Niigata 2004 Zona 2	232
Gambar 5.70 Grafik <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 2	233
Gambar 5.71 Grafik <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Imperial Valley 1979 Zona 3	233
Gambar 5.72 Grafik <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Tottori 2000 Zona 3	234
Gambar 5.73 Grafik <i>Drift Ratio</i> akibat Gempa Iwate 2008 Zona 3	234
Gambar 5.74 Grafik Komparasi <i>Displacement</i> Zona 1	235
Gambar 5.75 Grafik Komparasi <i>Displacement</i> Zona 2	235
Gambar 5.76 Grafik Komparasi <i>Displacement</i> Zona 3	236
Gambar 5.77 Grafik Komparasi <i>Drift Ratio</i> Zona 1	236
Gambar 5.78 Grafik Komparasi <i>Drift Ratio</i> Zona 2	237
Gambar 5.79 Grafik Komparasi <i>Drift Ratio</i> Zona 3	237
Gambar 5.80 Hubungan Nilai <i>Displacement</i> Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Maksimum pada setiap Zona	240

Gambar 5.81 Hubungan Nilai <i>Displacement</i> Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Rata-rata pada setiap Zona	240
Gambar 5.82 Hubungan Nilai <i>Drift Ratio</i> Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Maksimum pada setiap Zona	241
Gambar 5.83 Hubungan Nilai <i>Drift Ratio</i> Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Rata-rata pada setiap Zona	241
Gambar 5.84 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Corinth 1981 Zona 1	247
Gambar 5.85 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 1	247
Gambar 5.86 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Iwate 2008 Zona 1	248
Gambar 5.87 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Northridge 1994 Zona 2	248
Gambar 5.88 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Niigata 2004 Zona 2	249
Gambar 5.89 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 2	249
Gambar 5.90 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Imperial Valley 1979 Zona 3	250
Gambar 5.91 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Tottori 2000 Zona 3	250
Gambar 5.92 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Iwate 2008 Zona 3	251
Gambar 5.93 Grafik Komparasi Koefisien Stabilitas Gaya Zona 1	251
Gambar 5.94 Grafik Komparasi Koefisien Stabilitas Gaya Zona 2	252
Gambar 5.95 Grafik Komparasi Koefisien Stabilitas Gaya Zona 3	252

Gambar 5.96 Hubungan Nilai Koefisien Stabilitas Rata-rata dengan Percepatan
Gerak Tanah Maksimum pada setiap Zona 253

Gambar 5.97 Hubungan Nilai Koefisien Stabilitas Rata-rata dengan Percepatan
Gerak Tanah Rata-rata pada setiap Zona 254

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Keterangan Bebas Plagiasi	262
Lampiran 2 Gambar <i>As Built Drawing</i> Gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia	263

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

USGS	= <i>United States Geological Survey</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
V _s	= Kecepatan rambat gelombang geser di dalam tanah
V _{s30}	= Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada kedalaman 30 meter pertama dari permukaan tanah
K _g	= Indeks Kerentanan Seismik
cm	= Centimeter
mm	= Milimeter
f _o	= Frekuensi dominan
H	= Kedalaman Sedimen
Hz	= Hertz
Amp _v	= Faktor amplifikasi
A _g	= Amplifikasi tanah
MASW	= <i>Multichannel Analysis of Surface Wave</i>
m/s	= Meter per detik
km	= Kilometer
S	= Stasiun pengamatan
E	= Episentrum
F	= Hiposenter
D	= Jarak hiposentral

Δ	= Jarak episentral
h	= Kedalaman gempa
PUSGEN	= Pusat Studi Gempa Nasional
M_w	= Magnitudo momen
M	= Magnitudo
R	= Jarak sumber gempa
W	= Berat seismik efektif struktur
kN	= Kilonewton
kN/m^2	= Kilonewton per meter persegi
V_{IX}	= Gaya geser dasar elastik maksimum arah X
V_{IY}	= Gaya geser dasar elastik maksimum arah Y
V_{EX}	= Gaya geser dasar inelastik maksimum arah X
V_{EY}	= Gaya geser dasar inelastik maksimum arah Y
R_x	= Koefisien modifikasi respons arah X
R_y	= Koefisien modifikasi respons arah Y
I_e	= Faktor keutamaan gempa
η_X	= Faktor skala untuk gaya geser dasar arah X
η_Y	= Faktor skala untuk gaya geser dasar arah Y
C_d	= Faktor pembesaran simpangan lateral
C_{dx}	= Faktor pembesaran simpangan lateral pada arah X
C_{dy}	= Faktor pembesaran simpangan lateral pada arah Y
C_s	= Koefisien respons seismik

SDS	= Parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek
N	= Tahanan penetrasi standar
N _{ch}	= Tahanan penetrasi standar rata-rata tanah nonkohesif dalam lapisan 30 m paling atas
S _u	= Kuat geser niralin rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas
S _s	= Nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek
S ₁	= Nilai percepatan batuan dasar pada periode 1 detik
MCE _r	= Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tetarget
F _a	= Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek
F _v	= Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik
ξ	= Rasio redaman
T	= Periode getar
μ	= Daktilitas struktur
S	= Jenis tanah
S _a	= Respons spectra percepatan
T	= Periode fundamental bangunan
SRPMK	= Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus
SRPMM	= Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah
SRPMB	= Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa

L_x	= Panjang total bangunan arah X
L_y	= Panjang total bangunan arah Y
P_x	= Panjang sudut dalam arah X
P_y	= Panjang sudut dalam arah Y
δ	= Simpangan

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang sering mengalami gempa bumi, khususnya di wilayah seperti Yogyakarta yang terletak di atas zona subduksi dan sesar aktif. Berdasarkan kondisi ini, standar bangunan tahan gempa seperti yang tercantum dalam SNI 1726-2019 sangat penting untuk diterapkan, terutama pada bangunan bertingkat, guna mengurangi risiko kerusakan akibat gempa.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan respons struktur bangunan terhadap gempa bumi berdasarkan zonasi kerawanan gempa berdasarkan SNI 1726-2019. Pembuatan peta zonasi gempa menggunakan software QGIS yang diklasifikasikan berdasarkan nilai V_{s30} . Data struktur yang digunakan adalah bangunan gedung Laboratorium FK UII, dan pemodelan dilakukan dengan metode dinamik *time history* untuk tipe gempa *Shallow Crustal* dengan periode getar 3 detik. Analisis struktural dilakukan menggunakan software ETABS dengan parameter utama yang dianalisis meliputi *Base Shear*, *Displacement*, *Drift Ratio*, dan pengaruh P-Delta di tiga zonasi kerawanan gempa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan yang didesain tanpa memperhatikan zonasi gempa berisiko mengalami kerusakan lebih besar, terutama di wilayah dengan risiko seismik tinggi seperti Yogyakarta. Hasil pengujian respon struktur berdasarkan nilai *Base Shear* terbesar pada setiap zonasi secara berurutan yaitu Zona 3, Zona 2, dan Zona 1. Pengujian respon struktur berdasarkan nilai *Displacement* terbesar pada setiap zonasi secara berurutan yaitu Zona 3, Zona 2, dan Zona 1. Selanjutnya, pengujian respon struktur berdasarkan nilai *Drift Ratio* terbesar pada setiap zonasi secara berurutan yaitu Zona 3, Zona 1, dan Zona 2. Terakhir, pengujian respon struktur berdasarkan nilai pengaruh P-Delta terbesar pada setiap zonasi memiliki hasil yang identik dan ketiga zonasi tersebut tidak ada zona yang perlu memperhitungkan pengaruh P-Delta.

Kata kunci: Zona kerawanan gempa, Riwayat waktu, Gaya geser dasar, Simpangan, Simpangan antar tingkat, P-Delta

ABSTRACT

Indonesia is a country that frequently experiences earthquakes, particularly in regions such as Yogyakarta, which is located above a subduction zone and active faults. Given this condition, earthquake-resistant building standards, such as those outlined in SNI 1726-2019, are crucial to be implemented, especially for multi-story buildings, in order to reduce the risk of damage caused by earthquakes.

This study aims to compare the structural response of buildings to earthquakes based on seismic hazard zoning as per SNI 1726-2019. The earthquake zoning map was created using QGIS software, classified based on V_{s30} values. The structural data used in this research is the building of the UII Medical Faculty Laboratory, and modeling was conducted using the dynamic time history method for Shallow Crustal type earthquakes with a vibration period of 3 seconds. Structural analysis was performed using ETABS software, with the main parameters analyzed including Base Shear, Displacement, Drift Ratio, and P-Delta effects across three seismic hazard zones.

The results of the study show that buildings designed without considering seismic hazard zoning face a higher risk of damage, particularly in high-risk seismic areas like Yogyakarta. The structural response tests showed that the highest Base Shear values were found in Zone 3, followed by Zone 2 and Zone 1. Displacement values followed the same pattern, while the highest Drift Ratio values were observed in Zone 3, Zone 1, and Zone 2, respectively. Lastly, the P-Delta effect was identical across all zones, indicating no significant need for its consideration.

Keywords: *Earthquake vulnerability zone, Time history, Base shear, Drift ratio, P-Delta*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di daerah pertemuan antara empat lempeng tektonik dunia yaitu Lempeng Indo Australia, Lempeng Eurasia, Lempeng Filiphina, dan Lempeng Pasifik sehingga masuk ke dalam Kawasan Cincin Api atau *Ring of Fire* dunia. Kondisi ini menyebabkan Indonesia menjadi salah satu negara yang memiliki aktivitas seismik yang tinggi dibandingkan negara-negara lain. Salah satu aktivitas seismik yang sering terjadi di Indonesia adalah gempa bumi. Gempa bumi merupakan suatu peristiwa getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat adanya pelepasan energi dari dalam kerak bumi. Gempa bumi dapat terjadi karena diakibatkan oleh banyak faktor salah satunya karena terjadi gangguan pada lapisan kulit bumi karena pergeseran kulit bumi itu sendiri (Pujiyanto, 2007).

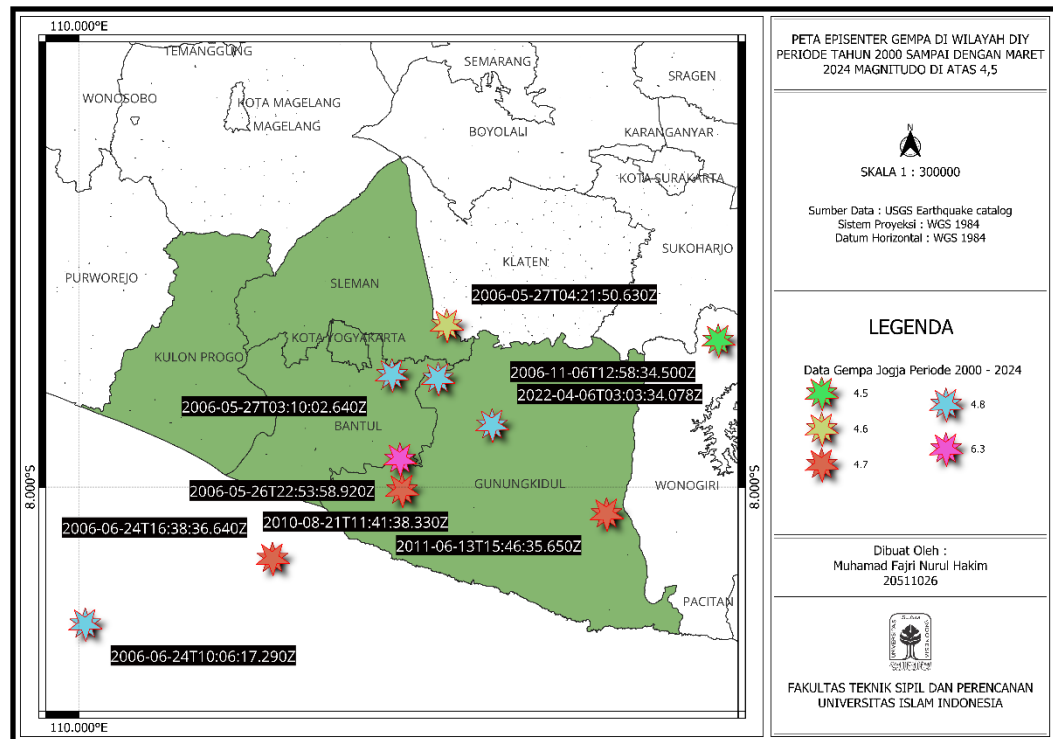
Yogyakarta adalah salah satu wilayah di Indonesia yang sering mengalami gempa bumi. Menurut data yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik Daerah Istimewa Yogyakarta, pada periode tahun 2019 sampai dengan 2021, terdapat 122 desa atau kelurahan yang mengalami peristiwa gempa bumi dari total 5 kabupaten yang ada di wilayah Yogyakarta. Berikut adalah data desa/kelurahan pada setiap kabupaten yang mengalami kejadian gempa bumi menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dapat dilihat pada Tabel 1.1

Tabel 1.1 Banyaknya Desa/Kelurahan di D.I.Y yang Mengalami Bencana Alam Gempa Bumi dalam Periode 2019 - 2021

Kabupaten/Kota	2019	2020	2021
D.I. Yogyakarta	9	6	46
Kulonprogo	3	1	3
Bantul	0	1	21
Gunungkidul	6	4	21
Sleman	0	0	0
Yogyakarta	0	0	1

(Sumber : BPS DIY, 2024)

Sedangkan menurut data yang didapat dari USGS, ada sepuluh kejadian gempa bumi dengan magnitudo di atas 4,5 yang terjadi di wilayah provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta pada periode 2000 hingga periode 2024. Letak episenter gempa yang terjadi menurut USGS dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta Episenter Gempa Magnitudo >4,5 di Wilayah DIY Periode Tahun 2000 sampai dengan Maret 2024

Yogyakarta terletak di atas zona subduksi dan dilewati sesar yang membentang dari hilir Sungai Opak hingga Candi Prambanan yaitu Zona Subduksi Selatan Jawa dan Sesar Opak. Zona subduksi tersebut terbentuk akibat kondisi dimana lempeng Indo-Australia menyusup di bawah Lempeng Eurasia. Gempa Yogyakarta yang terjadi pada tahun 2006 merupakan salah satu gempa bumi yang disebabkan oleh kondisi tersebut dimana sumber gempa berasal dari adanya aktivitas di wilayah Sesar Opak. Menurut Elnashai, dkk (2006), tektonik Pulau Jawa didominasi oleh subduksi lempeng Australia utara-timur laut di bawah lempeng Eurasia. Lempeng Australia menukik dari Pulau Jawa, mencapai

kedalaman 100-200 km di bawah Pulau Jawa hingga kedalaman 600 km utara pulau. Menurut USGS, gempa 27 Mei 2006 terjadi di kedalaman yang dangkal di lempeng Opak yang berada jauh di atas lempeng Australia yang menukik, sehingga gempa bumi yang terjadi tidak berhubungan langsung dengan adanya zona subduksi tersebut, melainkan pada sesar lokal yang tertekan karena dalam mekanisme subduksi. Kondisi tersebut yang menyebabkan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki resiko gempa bumi lebih tinggi dibandingkan wilayah sekitarnya.

Perencanaan Bangunan Gedung Tahan Gempa merupakan standar yang perlu diterapkan di Daerah Istimewa Yogyakarta akibat kondisi wilayah tersebut berdasarkan penjelasan di atas. Bangunan Gedung Tahan Gempa merupakan bangunan yang merujuk pada struktur yang dirancang dengan mempertimbangkan ketahanan bangunan terhadap getaran atau guncangan yang dihasilkan oleh gempa bumi. Kriteria standar bangunan tahan gempa telah diatur dalam SNI terbaru yaitu SNI 1726-2019 yang mengatur tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung dan juga aturan lain yang mengatur perencanaan bangunan gedung terutama gedung tingkat tinggi (*High Rise Building*) yang sangat rentan mengalami keruntuhan akibat adanya peristiwa gempa bumi. Berdasarkan hal tersebut, perencanaan bangunan gedung tahan gempa, utamanya di provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta harus dilakukan sebagai upaya mitigasi bencana karena kondisi geologi di provinsi ini yang terletak di atas Sesar Opak dan Zona Subduksi Selatan Jawa.

Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 11 Tahun 2016 tentang Penetapan Kawasan Rawan Bencana Geologi, Kawasan Rawan Bencana Geologi terbagi menjadi Kawasan Rawan Bencana Gunungapi, Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi, Kawasan Rawan Bencana Tsunami, dan Zona Kerentanan Gerakan Tanah. Menurut aturan tersebut, Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi merupakan daerah yang memiliki potensi terhadap ancaman bahaya gempa bumi. Provinsi D.I.Yogyakarta sudah memiliki Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi yang dikeluarkan oleh Departemen Energi

dan Sumberdaya Mineral, Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Berdasarkan peta tersebut, kawasan Daerah Istimewa Yogyakarta terbagi menjadi 5 kategori yaitu kategori Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Sangat Tinggi, Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Tinggi, Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Menengah, Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Rendah, dan Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Sangat Rendah. Peta tersebut dapat menjadi acuan masyarakat DIY dalam menentukan termasuk dalam kategori apa lokasi bangunan mereka.

Anggraeni, dkk (2020) telah melakukan penelitian dengan judul Analisis Struktur Tahan Gempa Hotel Santika Tasikmalaya dengan Metode Analisis Statik dan Dinamik *Time History*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respon struktur akibat beban gempa pada bangunan tahan gempa Hotel Santika terhadap gempa rencana dengan metode statik dinamik riwayat waktu (*time histroy*) yang ditinjau berdasarkan *displacement*, *drift*, dan *base shear* dan untuk mengetahui kekuatan dan keamanan struktur dengan cara menganalisis kontrol kinerja struktur berdasarkan SNI. Wibowo & Huda (2020) telah melakukan penelitian dengan judul Analisis Amplifikasi, Indeks Kerentanan Seismik, dan Klasifikasi Tanah Berdasarkan Distribusi Vs30 D.I.Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan zonasi/klasifikasi wilayah Yogyakarta berdasarkan kecepatan rata-rata gelombang geser sampai kedalaman 30 m (Vs30), faktor amplifikasi tanah, serta indeks kerentanan seismik (Kg).

Berdasarkan kedua penelitian di atas, belum ada penelitian yang menghubungkan hubungan antara zonasi Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi di Daerah Istimewa Yogyakarta terhadap pengaruhnya pada bangunan tingkat tinggi apabila diletakkan pada masing-masing zonasi menggunakan metode dinamik riwayat waktu (*time history*) berdasarkan SNI 1726-2019. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk dilakukan sebagai langkah awal penelitian mengenai kawasan rawan gempa dan hubungannya dengan perencanaan infrastruktur di kawasan Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini menggunakan data bangunan salah satu bangunan gedung bertingkat yang ada di Daerah Istimewa Yogyakarta

yaitu gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia (Laboratorium FK UII).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perbandingan respon struktur berdasarkan nilai *Base Shear* pada setiap zonasi kerawanan gempa bumi berdasarkan analisis menggunakan metode Dinamik *Time History*?
2. Bagaimana perbandingan respon struktur berdasarkan nilai *Displacement* dan *Drift Ratio* pada setiap zonasi kerawanan gempa bumi berdasarkan analisis menggunakan metode Dinamik *Time History*?
3. Bagaimana perbandingan respon struktur berdasarkan nilai pengaruh P-delta pada setiap zonasi kerawanan gempa bumi berdasarkan analisis menggunakan metode Dinamik *Time History*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui hasil perbandingan respon struktur berdasarkan nilai *Base Shear* pada setiap zonasi kerawanan gempa bumi berdasarkan analisis menggunakan metode Dinamik *Time History*.
2. Mengetahui hasil perbandingan respon struktur berdasarkan nilai *Displacement* dan *Drift Ratio* pada setiap zonasi kerawanan gempa bumi berdasarkan analisis menggunakan metode Dinamik *Time History*.
3. Mengetahui hasil perbandingan respon struktur berdasarkan nilai pengaruh P-delta pada setiap zonasi kerawanan gempa bumi berdasarkan analisis menggunakan metode Dinamik *Time History*.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Sebagai salah satu referensi dalam mendesain bangunan gedung bertingkat di Daerah Istimewa Yogyakarta berdasarkan peta kerawanan gempa Daerah Istimewa Yogyakarta agar penempatan bangunan tidak memberikan efek yang tidak diinginkan.

2. Sebagai salah satu bahan pertimbangan bagi para pembaca dalam menganalisis struktur bangunan gedung bertingkat yang berada pada wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta.
3. Memberikan referensi pemanfaatan peta kawasan rawan bencana gempa bumi dalam bidang teknik sipil terutama dalam bidang analisis struktur bangunan gedung.
4. Memberikan referensi bagi para pembaca untuk melakukan penelitian yang merelevansikan peta kebencanaan dengan analisis struktur tahan gempa.
5. Memberikan informasi kepada pembaca bagaimana respon struktur bangunan dalam setiap zonasi kerawanan gempa bumi sesuai peta kawasan rawan bencana gempa bumi Daerah Istimewa Yogyakarta.

1.5 Batasan Penelitian

Pada penelitian yang dilakukan, perlu ditentukan batasan-batasan penelitian agar memudahkan peneliti dalam menentukan parameter-parameter perhitungan dan memudahkan peneliti dalam melakukan olah data hasil penelitian. Berikut adalah batasan-batasan yang diterapkan pada penelitian ini.

1. Struktur gedung yang dimodelkan adalah bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia (Laboratorium FK UII) di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta yang diberi skenario gempa sesuai dengan parameter gempa pada masing-masing zona kerawanan gempa.
2. Penentuan zonasi kawasan rawan bencana menggunakan zonasi bencana kategori Sangat Rendah, Menengah, dan Sangat Tinggi pada Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi D.I.Yogyakarta yang diterbitkan oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral yang diterbitkan tahun 2022.
3. Pembuatan Peta Vs30 menggunakan data yang diperoleh dari website USGS sebagai acuan pembuatan peta.
4. Pembuatan Peta Klasifikasi Situs menggunakan standar yang tercantum pada SNI 1726 : 2019 yang diperoleh dari hasil penentuan nilai Vs30 yang disajikan dalam bentuk peta Vs30.

5. Peraturan yang digunakan sebagai acuan penelitian ini adalah sebagai berikut.
 - a. SNI 1726-2019 tentang Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
 - b. SNI 1727-2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
 - c. SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.
 - d. SNI 8899-2020 tentang Tata Cara Pemilihan dan Modifikasi Gerak Tanah Permukaan untuk Perencanaan Gedung Tahan Gempa.
 - e. Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa Tahun 2022.
 - f. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017.
6. Struktur dianalisis menggunakan analisis dinamik riwayat waktu (*time history*) berdasarkan skenario gempa di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta.
7. Tipe sumber gempa yang digunakan adalah sumber gempa tipe *Shallow Crustal* sesuai dengan skenario gempa Daerah Istimewa Yogyakarta.
8. Rekaman gempa yang digunakan adalah rekaman gempa yang mendekati karakteristik lokasi Daerah Istimewa Yogyakarta berdasarkan Peta Deagregasi Gempa Tahun 2022 dengan Periode Ulang yaitu 250 Tahun.
9. Spektrum respons target pencocokan spektral yang digunakan adalah spektrum respons desain (DBE).
10. Struktur dimodelkan dalam bentuk 3D dan dianalisis dengan ETABS *student version 20.2.0*.
11. Pembuatan peta dibuat menggunakan QGIS versi 3.34.1.
12. Tumpuan yang digunakan dalam analisis diasumsikan menggunakan tumpuan jepit.
13. Beban angin dan air hujan tidak diperhitungkan.
14. Bangunan pada ketiga zona terletak di atas tipe tanah yang ditentukan berdasarkan nilai Vs30 pada zona 2 yang merupakan letak eksisting

bangunan yang ditinjau, dimana nilai Vs30 ditentukan menggunakan hasil digitasi peta Vs30.

15. Ketidakberaturan struktur ditinjau dari semua tipe ketidakberaturan terhadap gempa statik.
16. Tidak meninjau aspek ekonomis dan keindahan gedung.
17. Perbandingan respon struktur yang ditinjau pada penelitian ini adalah *base shear, displacement, drift ratio* dan pengaruh P-Delta.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sejenis Terdahulu

Analisis perilaku struktur menggunakan metode dinamik *Time History Analysis* sebelumnya pernah dilakukan oleh beberapa peneliti. Akan tetapi, penelitian mengenai perilaku struktur akibat adanya variasi zonasi rawan gempa sebelumnya belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, penelitian yang dijadikan sebagai tinjauan pustaka merupakan pendekatan terhadap metode yang digunakan dan parameter yang dicari sebagai *output* penelitian. Berikut adalah penelitian yang memiliki keterkaitan dan dapat digunakan sebagai tinjauan pustaka:

1. Evaluasi Kinerja Gedung 20 Lantai dengan Variasi Dinding Geser berdasarkan Analisis *Time History* Gempa

Penelitian oleh Handoyo, dkk (2019) ini bertujuan untuk melihat perilaku struktur dalam merespon beban dinamis yang terjadi akibat gempa bumi dengan menggunakan metode dinamik *time history* dengan variasi penempatan dinding geser. Data rekaman gempa yang digunakan pada penelitian ini adalah rekaman gempa El-Centro, gempa Irpinia, gempa Kobe, dan gempa Chi-chi. Pada penelitian ini, parameter yang digunakan sebagai acuan perbandingan perilaku struktur akibat variasi penempatan dinding geser adalah nilai *story drift*, *story base shear*, dan daktilitas struktur. Gedung yang dilakukan analisis pada penelitian ini termasuk ke dalam gedung beraturan. Pada penelitian ini, alat yang digunakan sebagai sarana pendukung penelitian adalah berupa PEER *Ground Motion Database Application* dan Software STERA 3D.

Hasil evaluasi *drift* pada penelitian ini menunjukkan bahwa ketiga *case* mengalami *drift* yang masih dalam kategori aman berdasarkan SNI 1727-2013, dengan nilai *drift* yang diizinkan yaitu 7,5 cm. Nilai *drift* maksimum terbesar terjadi pada *case* 3 pada data gempa El-Centro yaitu 4,28 cm arah X. Nilai *drift* maksimum terkecil terjadi pada *case* 1 pada data gempa El-Centro yaitu 2,95 arah X. Hasil

evaluasi *base shear* menunjukkan bahwa pada ketiga *case* gedung masih aman terhadap *base shear* dari semua data gempa. Nilai yang minimum yang disyaratkan SNI 1727-2013 untuk masing-masing *case* yaitu 8138,065 kN untuk *case* 1, 7990,382 kN untuk *case* 2 dan 7953,461 kN untuk *case* 3. Hasil dari pengolahan output *base shear* pada penelitian yang nilainya terbesar terjadi pada *case* 1 pada data gempa El-Centro arah X dengan nilai 8755,20 kN. Sedangkan *story base shear* terkecil terjadi pada *case* 3 pada data gempa Chi-chi arah Y dengan nilai 8108,01 kN. Hasil evaluasi daktilitas pada penelitian ini menunjukkan bahwa pada *case* 1 gedung mengalami daktilitas paling aman dari ketiga *case* karena memiliki tingkat kerusakan sedang yang sangat sedikit. Sedangkan *case* 2 sudah mengalami tingkat kerusakan yang besar yang menyebabkan struktur runtuh di beberapa titik struktur gedung dan *case* 3 mengalami tingkat kerusakan sedang yang lebih banyak daripada *case* 1. Berdasarkan parameter-parameter yang telah didapatkan pada penelitian ini menunjukkan bahwa penempatan dinding geser pada *case* 1 lebih direkomendasikan dibandingkan *case* 2 dan *case* 3, ini dikarenakan *case* 1 mengalami nilai drift yang lebih kecil yang paling aman terhadap nilai *base shear*, *case* 1 juga mengalami tingkat kerusakan sedang sangat sedikit.

2. Analisis Struktur Tahan Gempa Hotel Santika Tasikmalaya dengan Metode Analisis Statik dan Dinamik *Time History*

Penelitian oleh Rani Anggraeni, dkk (2020) ini bertujuan untuk mengetahui respon struktur akibat beban gempa pada bangunan tahan gempa Hotel Santika terhadap gempa rencana dengan metode statik dan dinamik riwayat waktu (*time history*) yang ditinjau berdasarkan *displacement*, *drift*, dan *base shear* dan untuk mengetahui kekuatan dan keamanan struktur dengan cara menganalisis kontrol kinerja struktur berdasarkan SNI. Rekaman gempa yang digunakan pada analisis *time history* menggunakan rekaman gempa El-Centro, Gempa Loma, dan Gempa Tabas. Penelitian ini secara tidak langsung juga membandingkan perilaku struktur antara analisis menggunakan metode statik ekuivalen dan metode riwayat waktu. Selanjutnya hasil respons struktur maksimum diantara keduanya akan digunakan untuk keperluan desain. Pada penelitian ini analisis dilaksanakan dengan bantuan

ETABS dan webiste PUSKIM. Hasil analisis menunjukkan bahwa kontrol *base shear* tidak memenuhi syarat untuk analisis metode *time history* apabila dianalisis menggunakan beban gempa El-Centro. Bangunan bila dianalisis dengan rekaman gempa El-Centro, Tabas dan Loma seluruh elemen truktur berada pada kondisi tidak aman, maka apabila terjadi gempa dengan kekuatan setara El-Centro, Tabas dan Loma terdapat kemungkinan akan terjadi kerusakan pada struktur.

3. Analisis Amplifikasi, Indeks Kerentanan Seismik, dan Klasifikasi Tanah Berdasarkan Distribusi Vs30 D.I.Yogyakarta

Penelitian oleh Wibowo dan Huda (2020) ini bertujuan untuk menentukan zonasi/klasifikasi wilayah Yogyakarta berdasarkan kecepatan rata-rata gelombang geser sampai kedalaman 30 m (V_{s30}), faktor amplifikasi tanah, serta indeks kerentanan seismik (K_g). Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data V_{s30} yang diperoleh dari website USGS. Nilai V_{s30} nantinya akan diklasifikasikan berdasarkan kriteria SNI 1726 : 2019 untuk memperoleh klasifikasi jenis tanah. Nilai amplifikasi akan didapatkan melalui persamaan yang menghubungkan antara nilai V_{s30} dengan faktor amplifikasi (amp_v). Nilai frekuensi dominan didapatkan menggunakan persamaan yang menunjukkan hubungan antara nilai f_0 , V_{s30} , dan nilai H . Nilai Indeks kerentanan didapatkan dari persamaan yang menunjukkan hubungan antara amplifikasi dan frekuensi dominan.

Pada penelitian ini, pengolahan data menggunakan aplikasi Global Mapper, Surfer, dan Microsoft Excel. Hasil penelitian menunjukkan klasifikasi situs Klasifikasi Situs berdasarkan V_{s30} secara umum nilai V_{s30} di Daerah Istimewa Yogyakarta bervariasi dari 180 m/s hingga 760 m/s. Secara umum dapat dikatakan klasifikasi tanah di DIY berdasarkan nilai V_{s30} terbagi menjadi tanah sedang (SD) dan tanah keras/batuan lunak (SC). Sebagian besar daerah Kota Yogyakarta, Sleman bagian selatan, Bantul, Kulon Progo bagian selatan, dan Wonosari memiliki jenis tanah sedang (SD). Beberapa bagian yang terletak di zona perbukitan dan zona transisi dengan V_{s30} yang relatif tinggi masuk dalam kategori jenis tanah keras/batuan lunak (SC). Zona ini tersebar di wilayah Sleman bagian utara, Kulon Progo bagian barat, Imogiri, dan sebagian besar Gunung Kidul. Hasil perhitungan

nilai frekuensi dominan setelah melakukan pengolahan data kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (V_{s30}) didapatkan nilai frekuensi dominan pada daerah penelitian dengan rentang 1,4 - 6,2 Hz. Berdasarkan dasar teori, diketahui bahwa nilai f_0 sebanding dengan nilai V_s , dimana nilai V_s akan lebih besar pada lapisan yang lebih keras dan padat. Oleh karena itu nilai f_0 yang lebih besar mengindikasikan daerah yang memiliki tanah yang keras dan nilai f_0 yang kecil mengindikasikan daerah dengan tanah yang lebih lunak (sedimen). Pada daerah nilai frekuensi dominan yang tinggi berkorelasi dengan daerah yang memiliki jenis tanah keras (SC) dan demikian sebaliknya daerah dengan nilai frekuensi dominan rendah berkorelasi dengan daerah yang memiliki jenis tanah sedang (SD). Hasil pengolahan data Amplifikasi Tanah (Ag) diketahui bahwa nilai amplifikasi yang tinggi berada pada wilayah Kulon Progo bagian selatan, Bantul, dan Wonosari dengan rentang nilai sebesar 3-4. Nilai amplifikasi yang rendah terdapat di wilayah Kulon Progo bagian barat, Imogiri, Gunung Kidul bagian selatan, dan kawasan Gunung Api Purba Nglanggeran dengan rentang nilai sebesar 1-2. Sebagian besar nilai amplifikasi tinggi terdapat pada daerah litologi endapan merapi muda daerah Bantul dan endapan aluvium daerah Kulon Progo bagian selatan yang lebih lunak. Zona ini lebih berpotensi menghasilkan intensitas gempa relatif lebih besar dari wilayah yang mempunyai amplifikasi rendah. Selain itu, zona amplifikasi tinggi juga terdapat pada wilayah Cekungan Wonosari. Hasil pengolahan data Indeks Kerentanan Seismik (Kg) didapatkan nilai indeks kerentanan seismik pada daerah penelitian dengan rentang 0,2 - 11. Persebaran nilai Kg yang cukup tinggi berada pada daerah Bantul, Kulon Progo bagian selatan, dan Wonosari. Wilayah yang memiliki indeks kerentanan seismik yang tinggi disebabkan karena tingginya nilai amplifikasi dan rendahnya nilai frekuensi natural pada wilayah tersebut. Persebaran nilai indeks kerentanan seismik rendah terdapat pada wilayah Kulon Progo, Sleman, dan sebagian besar Gunung Kidul

4. Pengaruh Penggunaan *High Damper Rubber Bearing* pada Gedung Bertingkat ditinjau Terhadap Level kinerja Struktur dengan Metode Analisis *Time History* (Studi Kasus Pembangunan Gedung Hotel)

Penelitian oleh Tirtosugondo, dkk (2022) ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas *Base Isolator* pada struktur gedung dengan membandingkan perilaku struktur gedung yang sudah dipasang *Base Isolator* dengan struktur gedung *Fixed Base* dan untuk membandingkan level kinerja struktur dengan menggunakan metode Dinamik *Time History* dan level kinerja struktur berdasarkan standar ATC 40 serta FEMA 356 dan FEMA 440. Rekaman gempa yang digunakan dalam penelitian ini adalah rekaman Gempa Kobe 1995. Pada penelitian ini alat yang digunakan sebagai sarana penelitian adalah Website Strongmotion.org, software SAP2000, dan software Seismosignal. Hasil analisis struktur menunjukkan perilaku *displacement* setelah dikenakan beban gempa Kobe 1995 yang terjadi pada struktur gedung *fixed base* sebesar 31,09 cm pada arah Y dan 10,57 pada arah x dan pada struktur yang menggunakan *damper* sebesar 4,135 cm pada arah x dan 6,327 cm pada arah Y. Hasil analisis sendi plastis menunjukkan bahwa pada kondisi *fixed base* struktur menunjukkan level *Collapse Prevention* (CP) yang artinya struktur sudah tidak dapat digunakan lagi karena membahayakan, sedangkan pada kondisi menggunakan *damper*, struktur menunjukkan level *Immediate Occupancy* (IO) yang artinya struktur masih berada pada fase aman namun terdapat kerusakan minor pada elemen struktur. Hasil perbandingan level kinerja struktur berdasarkan ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440 antara struktur yang tidak menggunakan *damper* dan yang menggunakan *damper* menunjukkan hasil yang signifikan. Selain itu juga *displacement* yang terjadi cukup signifikan dengan reduksi sebesar 60,9 % pada arah Y dan 79,6% pada arah X. Hal ini memastikan bahwa penggunaan *base isolator* dianggap efektif pada gedung ini

5. *Characteristics and Spatial Distribution of Vs30 Based on Microtremor Inversion and MASW Data through Landform Unit in Yogyakarta, Indonesia.*

Penelitian oleh Wijayanto, dkk (2022) ini bertujuan untuk Menganalisis karakteristik dan distribusi spasial Vs30 untuk setiap satuan bentuk lahan di wilayah Yogyakarta menggunakan inversi MASW dan pengukuran mikrotremor. Nilai Vs30 yang diperoleh dalam penelitian ini berguna untuk program mitigasi bencana dan

sebagai landasan pembangunan daerah perencanaan berdasarkan pengurangan risiko gempa bumi. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode *Mutlichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) dan pengukuran mikrotremor. Penelitian ini dilakukan menggunakan bantuan software SeisImager, Software Geopsy, Software OpenHSVR, dan menggunakan website USGS untuk mendapatkan data morfologi digital.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Vs30 di wilayah Yogyakarta bervariasi pada kisaran 140-1092 m/s. Kelas situs untuk wilayah Yogyakarta bervariasi dari SE hingga SB. Distribusi spasial dari Vs30 menunjukkan kemiripan dengan model USGS untuk bentuk lahan vulkanik, denudasional, fluvial, laut, aeolian, dan bentuk lahan struktural. Perbedaan yang signifikan perbedaan yang signifikan terlihat pada bentang lahan karst. Situs kelas penelitian ini berada pada kisaran SC hingga SB, sedangkan model USGS berada pada kisaran SD hingga SC.

Berdasarkan analisis bentang alam, nilai rata-rata Vs30 pada setiap satuan bentuk lahan utama secara berurutan adalah karst (737 m/s), struktural (620 m/s), denudasional, vulkanik (424 m/s), fluvial (258 m/s), laut (243 m/s), dan aeolian (243 m/s). Hasil analisis dari sub satuan bentuk lahan menunjukkan bahwa nilai Vs30 memiliki kecenderungan mengikuti karakteristik morfologi, morfogenesis, dan material. Berdasarkan karakteristik morfologi, semakin tinggi elevasi dan semakin curam lerengnya, maka nilai Vs30 akan semakin besar. Daerah dengan nilai Vs30 yang tinggi terletak di daerah perbukitan dan pegunungan, sedangkan daerah dengan nilai yang rendah terletak di daerah dataran rendah dan daerah pantai. Selain itu, jenis material secara signifikan mempengaruhi nilai Vs30. Nilai Vs30 yang lebih tinggi dihasilkan dari material yang lebih keras dan terkonsolidasi yang lebih tinggi, sedangkan nilai Vs30 yang lebih rendah disebabkan oleh material yang lebih lunak dan material yang tidak terkonsolidasi.

Nilai rata-rata Vs30 menunjukkan bahwa mereka mengikuti bentuk lahan. Lebih jauh lagi, kondisi lokal secara signifikan mempengaruhi nilai Vs30. Mengukur Vs30 menggunakan metode MASW dan mikrotremor memberikan profil bawah permukaan yang dapat diandalkan, tetapi memakan waktu dan tidak

murah. Penilaian lebih lanjut untuk mengembangkan model Vs30 berdasarkan unit bentang alam diperlukan karena keterbatasan data dan distribusi yang tidak merata. Untuk perencanaan wilayah Yogyakarta di masa yang akan datang, distribusi spasial Vs30 harus dipertimbangkan dalam perencanaan infrastruktur yang tahan gempa.

6. Kinerja Evaluasi Perilaku Gedung Ikatan Alumni Universitas Syiah Kuala dengan *Time History Analysis*

Penelitian oleh Arisyi, dkk (2022) ini Mengetahui perilaku struktur gedung berupa *story displacement*, *story drift*, *base shear* dan daktilitas dalam merespon beban gempa berdasarkan rekaman riwayat gempa yang pernah terjadi menggunakan metode dinamik *time history*. Kajian pada penelitian ini adalah Gedung Ikatan Alumni Universitas Syiah Kuala yang terdiri atas 3 lantai yang memiliki bentuk *letter L* dan difungsikan sebagai kantor. Rekaman gempa yang digunakan pada analisis dinamik penelitian ini menggunakan rekaman gempa El-Centro dan gempa Kobe. Pada penelitian ini analisis dilaksanakan dengan bantuan Software STERA 3D versi 10.3.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Time History Analysis* pada penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan yaitu hasil *displacement* maksimum untuk beban gempa El-Centro dan beban gempa Kobe arah X masing-masing adalah 18,00 cm; 19,60 cm dan arah Y adalah 24,18 cm; 23,66 cm. Nilai *displacement* akibat kedua jenis beban gempa pada setiap elevasi gedung berada pada kategori memenuhi syarat, dimana batasan nilai *displacement* adalah 2,5% h.

Hasil *story drift* maksimum menunjukkan bahwa ketika menerima beban gempa El-Centro dan beban gempa Kobe berada dalam kategori memenuhi syarat yaitu pada elevasi gedung +5.00 arah X sebesar 1,96% h dan arah Y sebesar 3,38% h, dimana batasan nilai *story drift* pada lantai tersebut adalah 2,5% h.

Hasil evaluasi *base shear* menunjukkan bahwa ketika menerima empat jenis beban gempa termasuk dalam kategori memenuhi syarat berdasarkan nilai minimum yaitu sebesar 984,59 kN. Hasil output STERA 3D menunjukkan bahwa

base shear terbesar pada arah X yaitu sebesar 4318 kN pada beban gempa El-Centro. Sedangkan *base shear* terbesar pada arah Y yaitu sebesar 5195 kN pada beban gempa El-Centro juga.

Hasil evaluasi daktilitas menunjukkan bahwa gedung Ikatan Alumni Universitas Syiah Kuala mengalami kondisi pasca-elastik terbanyak terjadi akibat beban gempa Kobe. Sedangkan hasil uji daktilitas dengan kondisi elastik terbanyak setelah pengujian terjadi akibat beban gempa El-Centro.

2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu

Berdasarkan tinjauan pustaka dari beberapa penelitian terdahulu, adapun beberapa perbedaan dengan penelitian yang dilakukan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan yang dilakukan

Nama Peneliti, Tahun	Irlangga Nedial handoyo dkk, 2019	Rani Anggraeni dkk, 2020	Nugroho Budi Wibowo dkk, 2020	Tavio Fortino Tirtosugondo dkk, 2022	Wijayanto et al, 2022	Aldi Arisyi dkk, 2022	Penelitian yang dilakukan
Judul	Evaluasi Kinerja Gedung 20 Lantai Dengan Variasi Dinding Geser Berdasarkan Analisis Time History Gempa	Analisis Struktur Tahan Gempa Hotel Santika Tasikmalaya Dengan Metode Analisis Statik Dan Dinamik Time History	Analisis Amplifikasi, Indeks Kerentanan Seismik Dan Klasifikasi Tanah Berdasarkan Distribusi Vs30 D.I.Yogyakarta	Pengaruh Penggunaan High Damper Rubber Bearing Pada Gedung Bertingkat Ditinjau Terhadap Level Kinerja Struktur Dengan Metode Analisis Time History (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Hotel)	Characteristics and Spatial Distribution of Vs30 Based on Microtremor Inversion and MASW Data through Landform Unit in Yogyakarta, Indonesia	Evaluasi Perilaku Gedung Ikatan Alumni Universitas Syiah Kuala dengan <i>Time History Analysis</i>	Pengaruh Variasi Zonasi Kerawanan Gempa Bumi Terhadap Perilaku Seismik Struktur Bangunan Tahan Gempa di Yogyakarta
Tujuan	Melihat perilaku struktur dalam merespon beban dinamis yang terjadi akibat gempa bumi dengan menggunakan metode <i>Time History Analysis</i> dengan variasi penempatan dinding geser.	1. Mengetahui respon struktur akibat beban gempa pada bangunan tahan gempa Hotel Santika terhadap gempa rencana dengan metode statik dan dinamik riwayat waktu (<i>time histroy</i>) yang ditinjau berdasarkan <i>displacement</i> , <i>drift</i> , dan <i>base shear</i>	Penelitian ini menentukan zonasi/klasifikasi wilayah Yogyakarta berdasarkan kecepatan rata-rata gelombang geser sampai kedalaman 30m (Vs30), faktor amplifikasi tanah serta indeks kerentanan seismik (Kg).	Mengetahui efektifitas <i>Base Isolator</i> pada struktur gedung dengan membandingkan struktur gedung yang sudah dipasang <i>Base Isolator</i> dengan struktur gedung <i>Fixed Base</i> dan untuk membandingkan level kinerja struktur	Menganalisis karakteristik dan distribusi spasial Vs30 untuk setiap satuan bentuk lahan di wilayah Yogyakarta menggunakan inversi MASW dan pengukuran mikrotremor. Nilai Vs30 yang diperoleh dalam penelitian ini berguna untuk mitigasi bencana program dan sebagai landasan pembangunan daerah perencanaan berdasarkan pengurangan risiko gempa bumi.	Mengetahui perilaku struktur gedung berupa <i>story displacement</i> , <i>story drift</i> , <i>base shear</i> dan daktilitas dalam merespon beban gempa berdasarkan rekaman riwayat gempa yang pernah terjadi	1. Mengetahui hasil perbandingan respon struktur berdasarkan nilai <i>Base Shear</i> dan <i>Displacement</i> pada setiap zonasi kerawanan gempa bumi berdasarkan analisis menggunakan metode Dinamik <i>Time History</i>

		2. Mengetahui kekuatan dan keamanan struktur dengan cara menganalisis Kontrol Kinerja struktur berdasarkan SNI 03-1726-2012					2. Mengetahui hasil perbandingan respon struktur berdasarkan nilai <i>Drift Ratio</i> pada setiap zonasi kerawanan gempa bumi berdasarkan analisis menggunakan metode Dinamik <i>Time History</i> .
							3. Mengetahui Pengaruh Variasi Zonasi Kerawanan Gempa Bumi Terhadap Kinerja Struktur di Yogyakarta dengan Metode Dinamik <i>Time History</i> mengacu pada Level Kinerja Struktur masing-masing zonasi berdasarkan ATC-40.
Metode	Metode <i>Time History Analysis</i> dan Analisis Pushover	Metode Analisis Statik Ekuivalen dan Metode Dinamik <i>Time History</i>	Penelitian ini menggunakan data Vs30 yang diperoleh dari website USGS. Nilai Vs30 diklasifikasikan berdasarkan kriteria SNI 1726:2012 untuk memperoleh klasifikasi jenis tanah.	Metode Dinamik <i>Time History</i> dan Metode <i>Push Over</i>	Metode MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) dan pengukuran mikrotremor	Metode Dinamik <i>Time History</i>	Metode Dinamik <i>Time History</i>
Rekaman Gempa	Gempa El – Centro, Gempa Irpinia, Gempa Kobe, dan Gempa Chi-chi	Gempa El-Centro, Gempa Loma, dan Gempa Tabas	-	Gempa Kobe 1995	-	Gempa El-Centro dan Gempa Kobe	Menyesuaikan karakteristik masing-masing zonasi
Parameter Pemandangan	<i>Story Drift</i> , <i>Story Base Shear</i> , Daktilitas Struktur	<i>Base Shear</i> , <i>Displacement</i> , dan <i>Drift Ratio</i>	-	<i>Displacement</i> dan Level Kinerja Struktur berdasarkan sendi plastis yang terjadi	-	<i>Story displacement</i> , <i>story drift</i> , <i>base shear</i> dan daktilitas	Nilai <i>Base Shear</i> , <i>Displacement</i> dan <i>Drift Ratio</i>
Konfigurasi Struktur	Gedung Beraturan	Gedung Tidak Beraturan (<i>Irregular</i>)	-	Tidak diketahui	-	Tidak diketahui	(menyesuaikan data gedung)

Jenis Tanah	Tidak diketahui	Tanah Sedang	-	Tidak diketahui	-	Tidak diketahui	Didapatkan dari nilai Vs30 zona 2 yang merupakan lokasi eksisting gedung yang ditinjau (Tanah Keras)
Linear atau Non - Linear Analysis	Tidak diketahui	Tidak diketahui	-	Tidak diketahui	-	Linear	Linear
Alat Bantu Penelitian	PEER <i>Gorund Motion Database Aplication</i> dan Software STERA 3D	Website PUSKIM, Software ETABS	Website USGS, Software Global Mapper, Surfer, dan Microsoft Excel	Website Strongmotion, Software SAP2000, Software Seismosignal	Software SeisImager, Software Geopsy, Software OpenHSVR, Website USGS,	Software STERA 3D	Website PUSKIM, Website USGS, Website PEER <i>Ground Motion Database</i> , Software ETABS
Hasil	1. Hasil evaluasi <i>drift</i> menunjukkan bahwa ketiga <i>case</i> mengalami <i>drift</i> yang masih dalam kategori aman berdasarkan SNI 1727-2013, dengan nilai <i>drift</i> yang diizinkan yaitu 7,5 cm. Nilai <i>drift</i> maksimum terbesar terjadi pada <i>case</i> 3 pada data gempa El-Centro yaitu 4,28 cm arah X. Nilai <i>drift</i> maksimum terkecil terjadi pada <i>case</i> 1 pada data gempa El-Centro yaitu 2,95 arah X;	Hasil dari kontrol <i>Base Shear</i> didapat :	1. Klasifikasi Situs berdasarkan Vs 30 secara umum nilai Vs30 di Daerah Istimewa Yogyakarta bervariasi dari 180 m/s hingga 760 m/s. Secara umum dapat dikatakan klasifikasi tanah di DIY berdasarkan nilai Vs30 terbagi menjadi tanah sedang (SD) dan tanah keras/batuan lunak (SC). Sebagian besar daerah Kota Yogyakarta, Sleman bagian selatan, Bantul, Kulon Progo bagian selatan, dan Wonosari memiliki jenis tanah sedang (SD). Beberapa bagian yang terletak di zona perbukitan dna zona transisi dengan Vs30 yang relatif tinggi masuk dalam kategori jenis tanah keras/batuan lunak (SC). Zona ini tersebar di wilayah Sleman bagian	1. Berdasarkan analisis, hasil displacement yang terjadi pada struktur gedung <i>fixed base</i> sebesar 31,09 cm pada arah Y dan 10,57 pada arah x dan pada struktur yang menggunakan damper sebesar 4,135 cm pada arah x dan 6,327 cm pada arah Y.	1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Vs30 di wilayah Yogyakarta bervariasi pada kisaran 140-1092 m/s. Kelas situs untuk wilayah Yogyakarta bervariasi dari SE hingga SB. Distribusi spasial dari Vs30 menunjukkan kemiripan dengan model USGS untuk bentuklahan vulkanik, denudasional, fluvial, laut, aeolian, dan bentuk lahan struktural. Perbedaan yang signifikan perbedaan yang signifikan terlihat pada bentang lahan karst. Situs kelas penelitian ini berada pada kisaran SC hingga SB, sedangkan model USGS berada pada kisaran SD hingga SC.	1. Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Time History Analysis pada penelitian ini diperoleh beberapa kesimpulan yaitu hasil displacement maksimum untuk beban gempa El-Centro dan beban gempa Kobe arah X masing-masing adalah 18,00 cm; 19,60 cm dan arah Y adalah 24,18 cm; 23,66 cm. Nilai displacement akibat kedua jenis beban gempa pada setiap elevasi gedung berada pada kategori memenuhi syarat, dimana batasan nilai displacemnet adalah 2,5%h.	Hasil yang ingin didapatkan adalah berupa perbandingan parameter-parameter hasil pengenaan beban gempa sesuai dengan masing-masing zonasi kerawanan gempa

			utara, Kulon Progo bagian barat, Imogiri, dna sebagian besar Gunung Kidul.				
	2. Hasil evaluasi <i>base shear</i> menunjukkan bahwa pada ketiga <i>case</i> gedung masih aman terhadap <i>base shear</i> dari semua data gempa. Nilai yang minimum yang disyaratkan SNI 1727-2013 untuk masing-masing <i>case</i> yaitu 8138,065 kN untuk <i>case</i> 1, 7990,382 kN untuk <i>case</i> 2 dan 7953,461 kN untuk <i>case</i> 3. Hasil dari pengolahan <i>output shear</i> terbesar terjadi pada <i>case</i> 1 pada data gempa El-Centro arah X dengan nilai 8755,20 kN. Sedangkan <i>story base shear</i> terkecil terjadi pada <i>case</i> 3 pada data gempa Chi-vhi arah Y dengan nilai 8108,01 kN;	1. Bila bangunan dianalisis dengan rekaman Gempa El-Centro, tidak memenuhi syarat. Agar memenuhi syarat, nilai <i>base shear</i> yang sudah difaktorkan harus dikalikan dengan faktor skala awal $I_e/R \times 9,81 \text{ m/s}^2$, maka aman terhadap gaya geser nominal ($V \geq 0,8V_1$)	2. Frekuensi Dominan (fo) : hasil pengolahan data kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (Vs30) didapatkan nilai frekuensi dominan pada daerah penelitian dengan rentang 1,4 - 6,2 Hz. Berdasarkan dasar teori, diketahui bahwa nilai fo sebanding dengan nilai Vs, dimana nilai Vs akan lebih besar pada lapisan yang lebih keras dan padat. Oleh karena itu nilai fo yang lebih besar mengindikasikan daerah yang memiliki tanah yang keras dan nilai fo yang kecil mengindikasikan daerah dengan tanah yang lebih lunak (sedimen). Pada daerah nilai frekuensi dominan yang tinggi berkorelasi dengan daerah yang memiliki jenis tanah keras (SC) dan demikian sebaliknya daerah dengan nilai frekuensi dominan rendah berkorelasi dengan daerah yang memiliki jenis tanah sedang (SD).	2. Berdasarkan analisis sendi plastis, pada kondisi <i>fixed base</i> struktur menunjukkan level <i>Collapse Prevention</i> (CP) yang artinya struktur sudah tidak dapat digunakan lagi karena membahayakan	2. Berdasarkan analisis bentang alam, nilai rata-rata Vs30 pada setiap satuan bentuk lahan utama secara berurutan adalah karst (737 m/s), struktural (620 m/s), denudasional, vulkanik (424 m/s), fluvial (258 m/s), laut (243 m/s), dan aeolian (243 m/s). Hasil analisis dari sub satuan bentuklahan menunjukkan bahwa nilai Vs30 memiliki kecenderungan mengikuti karakteristik morfologi, morfogenesis, dan material. Berdasarkan karakteristik morfologi, semakin tinggi elevasi dan semakin curam lerengnya, maka nilai Vs30 akan semakin besar. Daerah dengan nilai Vs30 yang tinggi terletak di daerah perbukitan dan pegunungan, sedangkan daerah dengan nilai yang rendah terletak di daerah dataran rendah dan daerah pantai. Selain itu, jenis material secara signifikan mempengaruhi nilai Vs30. Nilai Vs30 yang	2. Hasil story drift maksimum menunjukkan bahwa ketika menerima beban gempa El-Centro dan beban gempa Kobe berada dalam kategori memenuhi syarat yaitu pada elevasi gedung +5.00 arah X sebesar 1,96%h dan arah Y sebesar 3,38% h, dimana batasan nilai story drift pada lantai tersebut adalah 2,5% h.	

					lebih tinggi dihasilkan dari material yang lebih keras dan terkonsolidasi yang lebih tinggi, sedangkan nilai Vs30 yang lebih rendah disebabkan oleh material yang lebih lunak dan material yang tidak terkonsolidasi.		
	3. Hasil evaluasi daktilitas menunjukkan bahwa pada <i>case</i> 1 gedung mengalami daktilitas paling aman dari ketiga <i>cases</i> karena memiliki tingkat kerusakan sedang yang sangat sedikit. Sedangkan <i>case</i> 2 sudah mengalami tingkat kerusakan yang besar yang menyebabkan struktur runtuh di beberapa titik struktur gedung dan <i>case</i> 3 mengalami tingkat kerusakan sedang yang lebih banyak daripada <i>case</i> 1;	2. Bila bangunan dianalisis menggunakan rekaman gempa tabas maka aman terhadap gaya geser nominal ($V >= 0,8V_1$) jika nilainya difaktorkan skala awal	3. Amplifikasi tanah (Ag) : Diketahui bahwa nilai amplifikasi yang tinggi berada pada wilayah Kulon Progo bagian selatan, bantul, dan Wonosari dengan rentang nilai sebesar 3-4. Nilai amplifikasi yang rendah terdapat di wilayah Kulon Progo bagian barat, Imogiri, Gunung Kidul bagian selatan, dan kawasan Gunung Api Purba Nglanggeran dengan rentang nilai sebesar 1-2. Sebagian besar nilai amplifikasi tinggi terdapat pada daerah litologi Endapan Merapi Muda daerah Bantul dan endapan Aluvium daerah Kulon Progo bagian selatan yang lebih lunak. Zona ini lebih berpotensi menghasilkan intensitas gempa relatif lebih besar dari wilayah yang mempunyai amplifikasi rendah. Selain itu, zona amplifikasi tinggi juga	3. Berdasarkan analisis sendi plastis, pada kondisi menggunakan <i>damper</i>, struktur menunjukkan level <i>Immediate Occupancy</i> (IO) yang artinya struktur masih berada pada fase aman namun terdapat kerusakan minor pada elemen struktur.	3. Nilai rata-rata Vs30 menunjukkan bahwa mereka mengikuti bentuk lahan. Lebih jauh lagi, kondisi lokal secara signifikan mempengaruhi nilai Vs30. Mengukur Vs30 menggunakan metode MASW dan mikrotremor memberikan profil bawah permukaan yang dapat diandalkan, tetapi memakan waktu dan tidak murah. Penilaian lebih lanjut untuk mengembangkan model Vs30 berdasarkan unit bentang alam diperlukan karena keterbatasan data dan distribusi yang tidak merata. Untuk perencanaan wilayah Yogyakarta di masa yang akan datang, distribusi spasial Vs30 harus dipertimbangkan dalam perencanaan infrastruktur yang tahan gempa.	3. Hasil evaluasi base shear menunjukkan bahwa ketika menerima empat jenis beban gempa termasuk dalam kategori memenuhi syarat berdasarkan nilai minimum yaitu sebesar 984,59 kN. Hasil output STERA 3D menunjukkan bahwa base shear terbesar pada arah X yaitu sebesar 4318 kN pada beban gempa El-Centro. Sedangkan base shear terbesar pada arah Y yaitu sebesar 5195 kN pada beban gempa El-Centro juga.	

			terdapat pada wilayah Cekungan Wonosari.				
	4. Penempatan dinding geser pada <i>case</i> 1 lebih direkomendasikan dibandingkan <i>case</i> 2 dan <i>case</i> 3, ini dikarenakan <i>case</i> 1 mengalami nilai <i>drift</i> yang lebih kecil yang paling aman terhadap nilai <i>base shear</i> , <i>case</i> 1 juga mengalami tingkat kerusakan sedang sangat sedikit.	3. Bila bangunan dianalisis dengan rekaman gempa Loma maka aman terhadap gaya geser nominal ($V >= 0,8V_1$), jika nilainya difaktorkan skala awal Hasil dari kontrol <i>Displacement</i> didapat : 1. Hasil analisis simpangan lantai dengan menggunakan analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik bangunan dinyatakan berada pada batas aman. Serta hasil dari analisis gaya dalam dengan menggunakan statik ekuivalen, semua elemen struktur berada pada kondisi aman. 2. Bangunan bila dianalisis dengan rekaman gempa El-Centro, Tabas, dan Loma seluruh elemen struktur berada pada kondisi tidak aman, maka apabila terjadi gempa dengan kekuatan setara El-Centro, Tabas, dan Loma terdapat kemungkinan akan terjadi kerusakan pada struktur.	4. Indeks Kerentanan Seismik (Kg) : Dari hasil pengolahan didapatkan nilai indeks kerentanan seismik pada daerah penelitian dengan rentang 0,2 - 11. Persebaran nilai Kg yang cukup tinggi berada pada daerah bantul, Kulon Progo bagian selatan, dan Wonosari. Wilayah yang memiliki indeks kerentanan seismik yang tinggi disebabkan karena tingginya nilai amplifikasi dan rendahnya nilai frekuensi natural pada wilayah tersebut. Persebaran nilai indeks kerentanan seismik rendah terdapat pada wilayah Kulon Progo, Sleman, dan Sebagian besar Gunung Kidul	4. Berdasarkan perbandingan level kinerja struktur antara struktur yang tidak menggunakan <i>damper</i> dan yang menggunakan <i>damper</i> menunjukkan hasil yang signifikan. Selain itu juga <i>displacement</i> yang terjadi cukup signifikan dengan reduksi sebesar 60,9 % pada arah Y dan 79,6% pada arah X. Hal ini memastikan bahwa penggunaan <i>base isolator</i> dianggap efektif pada gedung ini		4. Hasil evaluasi daktilitas menunjukkan bahwa gedung Ikatan Alumni Universitas Syiah Kuala mengalami kondisi pasca-elastik terbanyak terjadi akibat beban gempa Kobe. Sedangkan hasil uji daktilitas dengan kondisi elastik terbanyak setelah pengujian terjadi akibat beban gempa El-Centro.	

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan tinjauan dari beberapa penelitian yang telah diuraikan pada sub bab sebelumnya, penelitian mengenai Pengaruh Variasi Zonasi Kerawanan Gempa Bumi Terhadap Perilaku Struktur di Yogyakarta dengan Metode Dinamik *Time History* belum pernah dilakukan. Adapun perbedaan penelitian ini dibandingkan dengan penelitian-penelitian yang telah diuraikan pada sub bab sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Keaslian Penelitian

Pembanding	Keaslian
Data Struktur	Data struktur yang digunakan adalah bangunan gedung Laboratorium FK UII yang berada di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta.
Tujuan	Pada penelitian yang dilakukan, bertujuan untuk membandingkan respon seismik struktur berdasarkan karakteristik masing-masing zonasi Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Daerah Istimewa Yogyakarta
Rekaman Gempa	Rekaman yang digunakan menyesuaikan karakteristik masing-masing zonasi yang mengacu pada Peta Deagregasi Bahaya Gempa tahun 2022
Parameter Pembanding	Parameter yang dicari pada penelitian ini adalah berupa nilai <i>Base Shear</i> , <i>Displacement</i> , <i>Drift Ratio</i> , dan Pengaruh P-Delta
Penelitian Terdahulu	Belum ada penelitian yang menghubungkan hubungan antara zonasi Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi di Daerah Istimewa Yogyakarta terhadap pengaruhnya pada bangunan tingkat tinggi apabila diletakkan pada masing-masing zonasi menggunakan metode dinamik riwayat waktu (<i>time history</i>) berdasarkan SNI 1726-2019

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Cincin Api dan Gempa Bumi

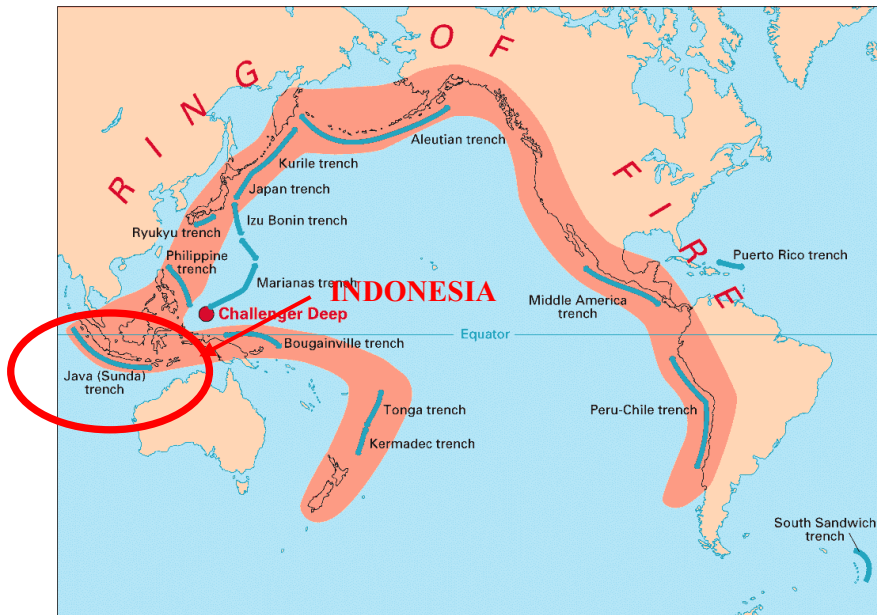
3.1.1 Indonesia dalam kawasan Cincin Api

Indonesia adalah sebuah negara kepulauan yang terletak di Garis Katulistiwa dan dikelilingi oleh Cincin Api. Cincin Api merupakan garis pertemuan Lempeng Benua Asia dengan Lempeng Samudra India, yang terletak disepanjang garis Pantai Selatan Indonesia. Juga garis pertemuan antara Lempeng Pasifik dan Lempeng Asia yang terletak disepanjang Kepulauan Maluku. Akibat situasi geologis ini, di Indonesia juga banyak terdapat sesar dan gunung berapi. Oleh karena itu di Indonesia banyak terdapat bencana alam yang terkait dengan gempa tektonik dan letusan gunung berapi (Suprayitno & Soemitro, 2019).

Kepulauan Indonesia sebagian besar tersusun oleh “cincin api” atau lebih dikenal *Ring of Fire*, garis gunung berapi yang melewati Indonesia membentang dari Sumatera melalui Jawa dan pulau Sunda Kecil menuju Filipina. Bencana vulkanik yang terkenal antara lain letusan Krakatau pada tahun 1883 dan Tambora pada tahun 1815 tidak hanya berdampak Asia Tenggara tetapi juga seluruh dunia. Letusan Tambora mengeluarkan begitu banyak abu ke udara sehingga suhu di seluruh dunia menurun, sehingga pada tahun 1816 disebut sebagai “tahun tanpa musim panas” (Boers, 1995).

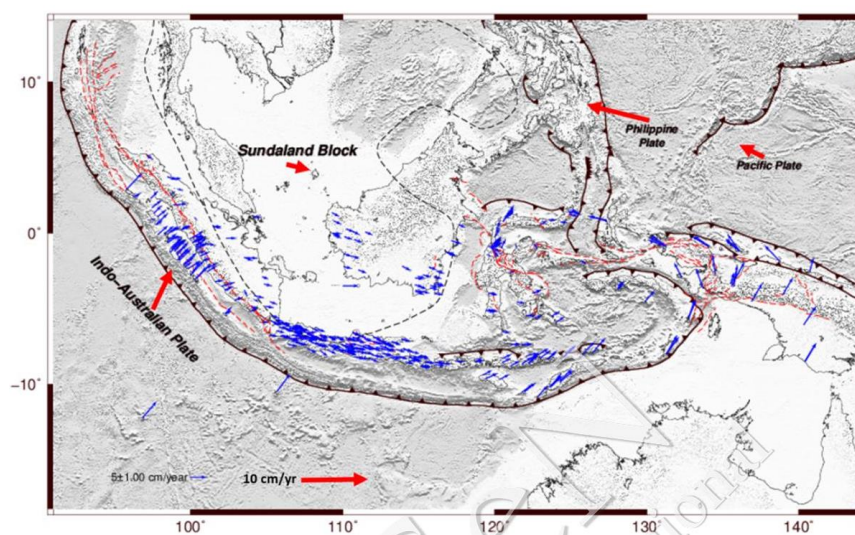
Berdasarkan pengertian di atas, dapat disimpulkan bahwa Indonesia terletak pada zona yang sangat rentan terhadap Gempa Bumi karena lokasi geografisnya yang terletak di atas pertemuan-pertemuan antar lempeng. Letak Indonesia pada kawasan “Cincin Api” atau *Ring of Fire* berada pada (USGS, 1999) sisi timur kawasan tersebut dimana terjadi pertemuan beberapa lempeng sekaligus, dari sudut pandang peneliti kondisi ini jika dibandingkan dengan lokasi lain tentunya memiliki resiko bencana gempa bumi lebih besar. Hal tersebut karena potensi terjadinya pergeseran lempeng diantara pertemuan antar lempeng akibat jumlah jumlah lokasi

penunjaman lempeng lebih banyak jika dibandingkan dengan lokasi lain. Berikut adalah gambaran letak geografis Indonesia pada kawasan *Ring of Fire* yang dikeluarkan oleh *United States Geological Survey* dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan gambaran lempeng yang mengelilingi Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Indonesia dalam Kawasan Ring of Fire

(Sumber : <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/fire.html>. Diakses 5 Januari 2024)



Gambar 3.2 Lempeng Tektonik di Indonesia

(Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017)

3.1.2 Gempa Bumi

Menurut Badan Penanggulangan Bencana Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta (BPBD DIY), gempa bumi adalah peristiwa berguncangnya bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng bumi, aktivitas sesar (patahan), aktivitas gunungapi atau runtuhannya bangunan. Sedangkan Menurut Pawirodikromo, W (2012), Gempa Bumi adalah peristiwa bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Lalu menurut *United States Geological Survey* (USGS), gempa bumi merupakan peristiwa yang terjadi ketika dua lempeng bumi tiba-tiba mengalami slip atau tergelincir satu sama lain. Permukaan tempat kedua lempeng tersebut tergelincir disebut bidang patahan atau patahan. Lokasi di bawah permukaan bumi tempat terjadinya gempa disebut hiposenter, dan lokasi yang berada tepat di atas permukaan bumi disebut episenter.

Pada prinsipnya, gempa ialah suatu peristiwa pelepasan energi pada suatu tempat di perbatasan lempeng-lempeng plat tektonik. Pada waktu terjadi gempa pertama, belum tentu semua energi yang semula terkumpul sudah habis dilepaskan semua, Jika energi yang dilepaskannya belum habis dapat menyebabkan pelepasan energi pada lokasi lain di dekatnya, hal ini berakibat terjadinya suatu rentetan gempa setelah terjadi gempa yang pertama. Pelepasan energi pada lokasi lain tersebut dinamakan "*aftershocks*". Gempa yang terjadi akibat "*aftershocks*" ini dapat lebih besar daripada gempa yang pertama dan sampai sekarang waktu terjadinya masih sulit diramalkan. Dapat hanya beberapa jam saja dari gempa pertama, akan tetapi dapat pula beberapa hari, beberapa minggu bahkan dapat beberapa bulan kemudian. Demikian pula sebaliknya, bila terjadi gempa setelah terjadi gempa sebelumnya, sampai saat ini juga belum dapat ditentukan apakah gempa yang belakangan merupakan "*aftershocks*" dari gempa yang pertama atautkah gempa lain yang baru (Tjokrodinuljo, 1993).

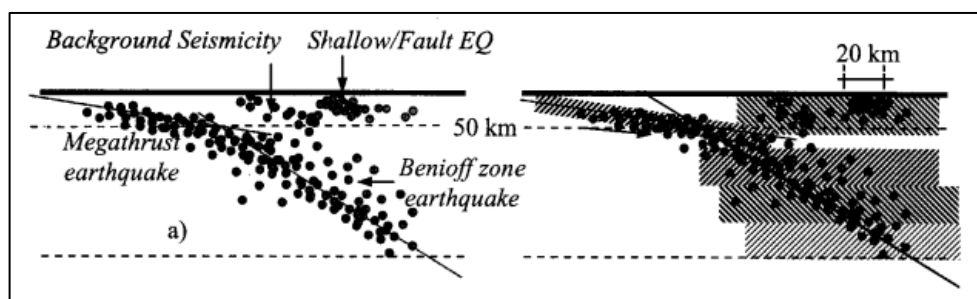
Berdasarkan pengertian-pengertian di atas, maka dapat disimpulkan bahwa gempa bumi adalah peristiwa alam berupa getaran atau guncangan yang terjadi pada

lapisan permukaan bumi yang terjadi karena adanya pelepasan energi akibat terjadinya peristiwa tergelincirnya dua buah lempeng.

3.1.3 Macam Sumber Gempa Bumi Tektonik

Gempa bumi yang paling sering terjadi adalah Gempa Bumi Tektonik atau sering disebut Gempa Tektonik. Gempa tektonik adalah gempa yang umumnya paling besar dibandingkan dengan jenis gempa-gempa yang lain. Gempa bumi jenis ini erat sekali hubungannya dengan aktivitas lempeng tektonik baik skala regional maupun global. Gerakan lempeng tektonik/massa batuan dapat saling beradu (*convergent*), saling menggeser (*shear*), saling Tarik (*tension*) dan kombinasi diantaranya. Dua lempeng tektonik yang saling beradu atau menggeser akan mengakibatkan tegangan, deformasi, dan berarti akan terjadi akumulasi energi regangan (*strain energy*). Apabila tegangan batuan yang terjadi sudah sedemikian besar dan tidak lagi dapat ditahan oleh batuan maka kerusakan batuan akan terjadi. Kerusakan lapis kerak bumi yang terjadi secara tiba-tiba menimbulkan getaran yang disebarkan ke semua arah yang selanjutnya merambat sampai ke permukaan tanah. Getaran tanah tersebut dikenal sebagai gempa bumi tektonik (Pawirodikromo, 2012).

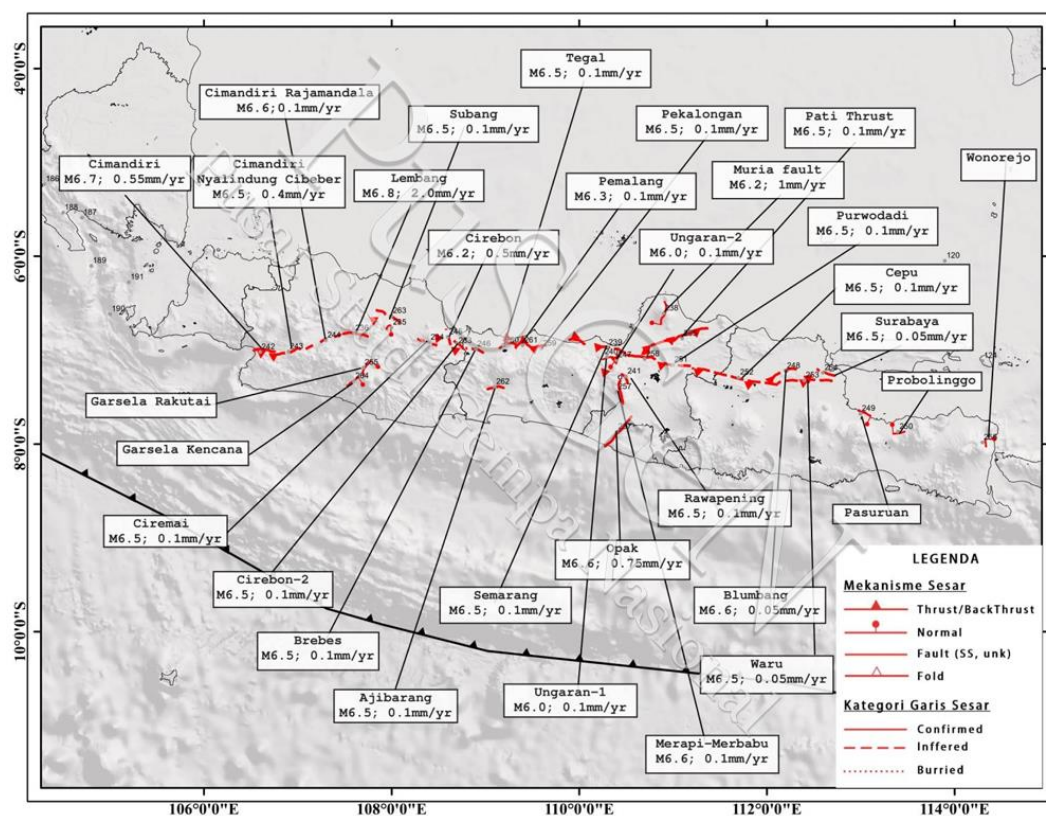
Berikut adalah pemodelan mekanisme sumber gempa oleh Pawirodikromo, W. (2012) dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pemodelan Mekanisme Sumber Gempa

(Sumber : Pawirodikromo, 2012)

Berdasarkan Gambar 3.3 di atas, sumber gempa tektonik pada zona subduksi secara umum dapat dibagi menjadi tiga berdasarkan areanya yaitu *Shallow / Fault Earthquake*, *Background Seismicity*, *Megathrust Earthquake*, dan *Benioff Zone Earthquake*. Indonesia sebagai salah satu negara yang termasuk ke dalam kawasan Cincin Api memiliki banyak sumber dan bahaya gempa yang dapat menjadi potensi sumber bencana alam gempa bumi. Berikut adalah Peta Sumber dan Bahaya Gempa Pulau Jawa yang dapat dilihat pada Gambar 3.4



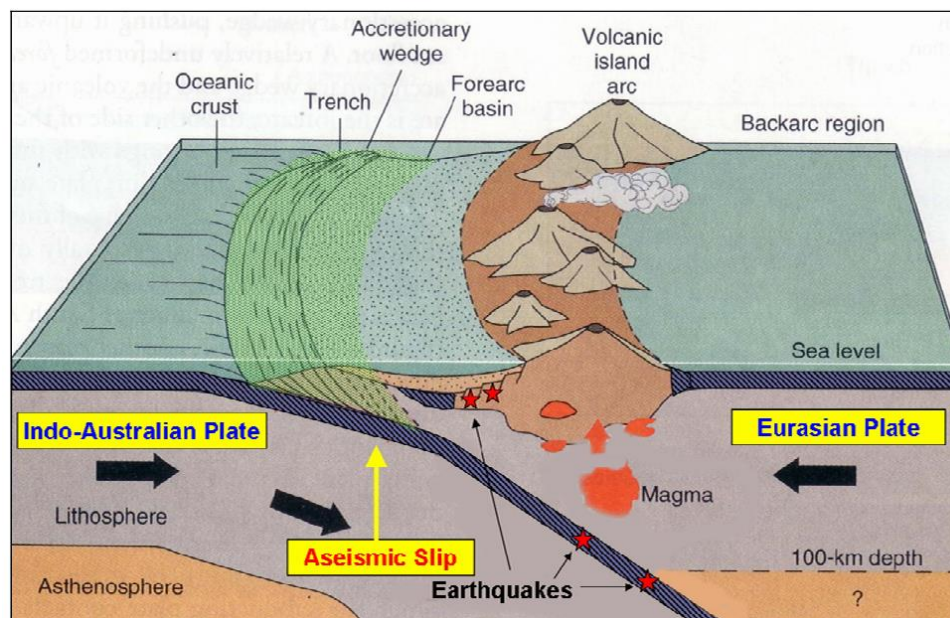
Gambar 3.4 Sumber dan Bahaya Gempa di Pulau Jawa

(Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017)

3.1.4.1 Sumber gempa Subduksi

Subduksi merupakan proses geologis di mana satu lempeng tektonik tenggelam di bawah lempeng tektonik lainnya di zona subduksi. Ini terjadi ketika lempeng samudra bertemu dengan lempeng benua atau lempeng samudra lainnya, dan lempeng yang lebih padat dan berat menyusup di bawah lempeng yang lebih

ringan. Proses ini dapat menyebabkan terbentuknya zona subduksi, di mana lempeng yang menyusup mengalami pencairan dan menimbulkan zona gempa bumi dan aktivitas vulkanik. Sebagai contoh, zona subduksi selatan Jawa merupakan salah satu zona subduksi yang ada di Indonesia. Berikut adalah ilustrasi letak zona subduksi selatan Jawa dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Pemodelan Zona Subduksi Selatan Jawa

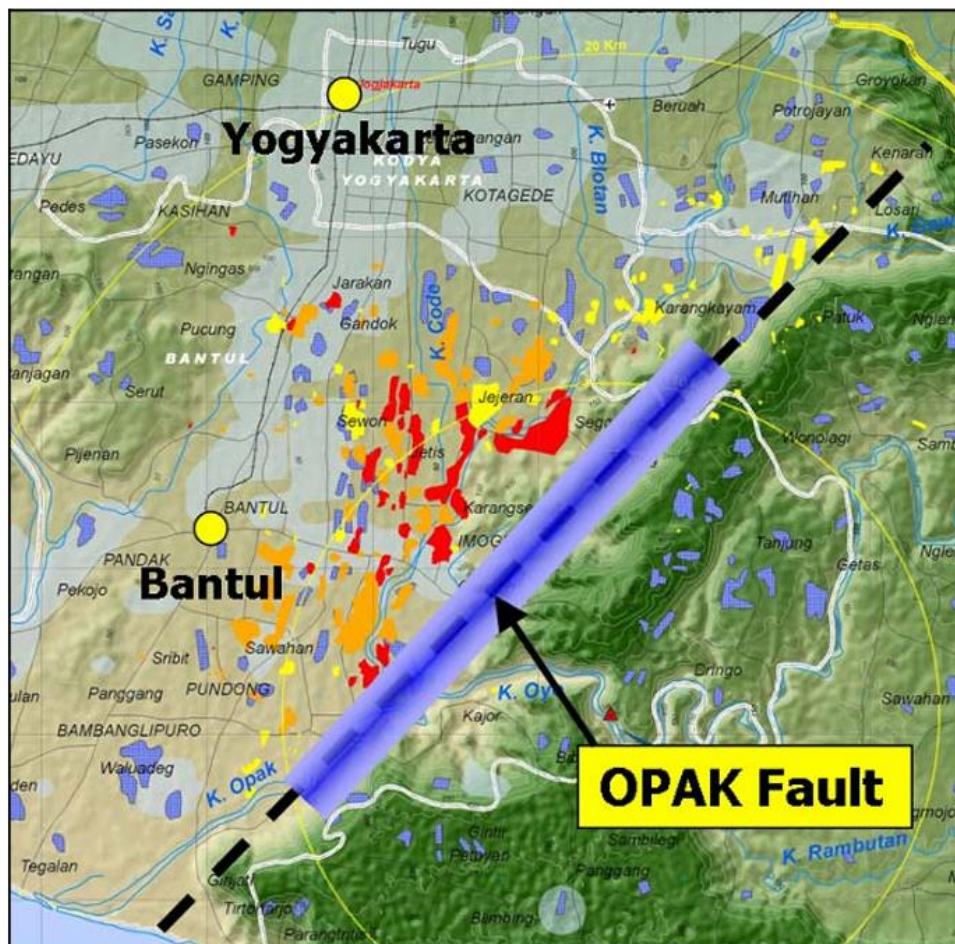
(Sumber : Elnashai dkk, 2006)

Menurut Tim Pusat Studi Gempa (2017), zona subduksi di bagian selatan Jawa hanya menghasilkan kejadian gempa dengan kelas magnitude 7 dalam kurun waktu 20 tahun terakhir.

3.1.4.2 Sumber gempa *Shallow Crustal*

Sumber gempa ini merupakan sumber gempa yang terletak di dalam kerak bumi yang dangkal. Keberadaan sumber gempa ini ini biasanya ditandai dengan kedekatannya ke permukaan bumi, biasanya terjadi pada kedalaman kurang dari 70 kilometer. Gempa *Shallow Crustal* memiliki potensi untuk menyebabkan kerusakan yang signifikan bahkan dengan magnitudo yang moderat, sehingga sangat berbahaya. Gempa ini bersumber dari patahan aktif di dalam kerak bumi. Mereka

dikenal sering terjadi di daerah dengan formasi batuan rapuh dan dapat memicu banyak gempa susulan akibat kerapuhan relatif batuan di daerah tersebut. Sebagai contoh, Sesar Opak merupakan salah satu sumber gempa kategori *Shallow Crustal* yang ada di Indonesia karena kedalamannya yang rendah. Berikut adalah Ilustrasi letak Sesar Opak dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Sesar Opak di Yogyakarta

(Sumber : Elnashai dkk, 2006)

3.1.4.3 Sesar/Patahan (*Fault*)

Pada gempa bumi besar, kadang-kadang terdapat diskontinuitas pergerakan pada kedua sisi garis batas yang berupa sabuk tanah sempit. Bidang diskontinu yang berupa pita yang terbentuk pada waktu tersebut disebut sesar. Sesar yang dihasilkan oleh dislokasi dalam arah horizontal disebut sesar horizontal, dan sesar yang

dihasilkan oleh dislokasi vertikal disebut sesar vertikal. Beberapa patahan muncul di permukaan dan dapat terlihat dengan jelas, sementara patahan lainnya berada di bawah tanah dan tidak terlihat jelas di atas permukaan tanah; keberadaan mereka hanya dapat diketahui setelah mengamati perpindahan tanah (OKAMOTO, 1973).

Ketika dua massa bumi bergerak satu sama lain, energi regangan elastis akibat proses tektonik tersimpan dan kemudian dilepaskan melalui pecahnya zona antarmuka. Blok-blok yang terdistorsi akan kembali ke arah kesetimbangan dan menghasilkan gerakan tanah gempa bumi. Proses ini disebut sebagai "pantulan elastis". Patahan yang terjadi di kerak bumi disebut sebagai "sesar". Selama patahan batuan kerak bumi yang rapuh pecah secara tiba-tiba, gelombang seismik dihasilkan. Gelombang ini menjalar menjauhi sumber gempa bumi di sepanjang lapisan luar kerak bumi. Kecepatannya tergantung pada karakteristik material yang dilaluinya (Elnashai & Sarno, 2015).

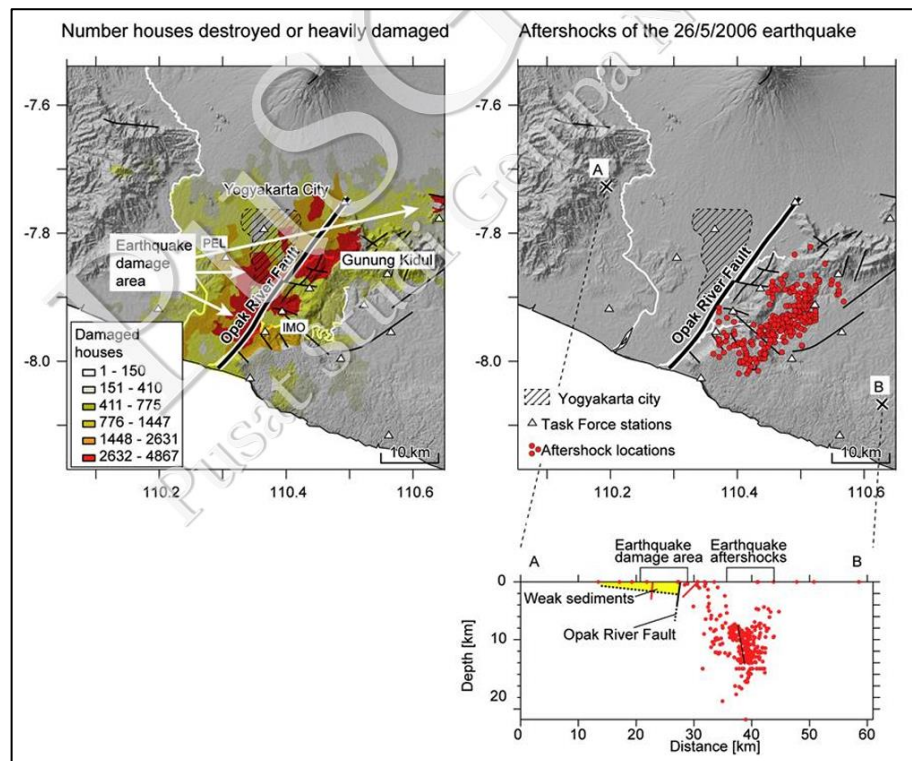
3.1.4.4 Sesar Opak

Keberadaan Sesar Opak mulai menjadi perhatian peneliti dan masyarakat setelah terjadinya gempa di Yogyakarta pada tahun 2006 silam. Gempa Yogyakarta diidentifikasi terbentuk di sepanjang sesar ini. Mekanisme pergerakan sesar yang terekam di dalam rekaman seismik yang ada menunjukkan pergerakan geser sinistral. Zona Sesar Opak sendiri membentuk gawir memanjang berarah barat daya-timur laut yang kemudian membelok ke arah timur dan bergabung dengan sistem sesar naik Batur Agung yang sudah tidak aktif lagi (PUSGEN, 2017).

Hasil penelitian lapangan yang dilakukan sekitar 3 bulan setelah gempa tahun 2006 menunjukkan keberadaan *surface ruptures* dari gempa ini di lokasi sepanjang Sesar Opak dengan dominan pergerakan geser sinistral (Natawidjaja, 2016). Namun karena data *surface ruptures* sudah banyak yang hilang atau tidak terlihat ketika dilakukan penelitian lapangan maka dokumentasi *surface ruptures* ini menjadi tidak lengkap. Ada perbedaan mencolok dari hasil penelitian geologi lapangan dengan hasil rekaman *aftershock* gempa yang dilakukan oleh (Walter, et al., 2008). Data *aftershock* mengindikasikan sumber gempa sejajar Sesar Opak berada sekitar 5 km ke arah Timur (Gambar 3.7). Natawidjaja (2016) mencoba

memberikan solusi untuk perbedaan ini dengan memberikan hipotesa bahwa kemungkinan bidang sesar mempunyai kemiringan sekitar 50 derajat ke arah timur.

Berikut adalah tampilan visual letak Sesar Opak dapat dilihat pada Gambar 3.7



Gambar 3.7 Sesar Opak

(Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia, 2017)

3.1.4 Magnitudo

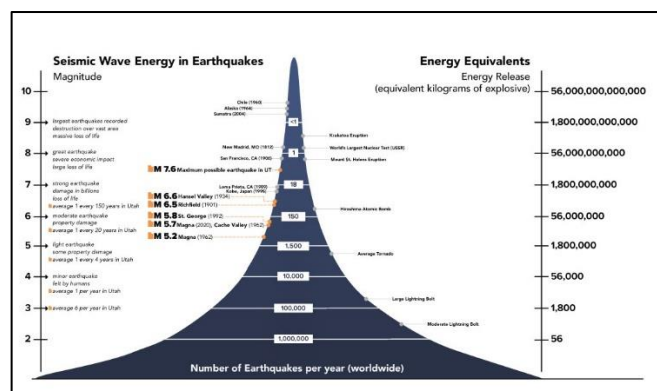
Magnitudo adalah sebuah nilai yang biasanya identik dengan besar dan kecilnya kekuatan peristiwa gempa bumi. Nilai ini menyatakan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh getaran yang dipancarkan oleh sumber gempa. Satuan kekuatan gempa bumi sebelumnya dinyatakan dalam satuan skala richter tetapi karena akurasi ketepatan yang dimiliki satuan ini lebih rendah daripada satuan Magnitudo, skala tersebut tidak lagi digunakan.

Menurut *United States Geological Survey (USGS)*, Magnitudo adalah besar kecilnya gempa. Gempa bumi mempunyai magnitudo tunggal. Guncangan yang

ditimbulkannya memiliki banyak nilai yang bervariasi dari satu tempat ke tempat lain berdasarkan jarak, jenis material permukaan, dan faktor lainnya. Upaya pertama untuk menentukan skala magnitudo dilakukan di Jepang oleh Wadati dan di California oleh Richter pada tahun 1930-an. Beberapa skala muncul, banyak dari skala ini bergantung pada frekuensi karena pada prosesnya, pengukuran amplitudo gelombang seismik dilakukan dengan parameter yang berbeda. Skala yang berhubungan langsung dengan parameter sumber juga telah diusulkan. Hal ini tidak bergantung pada gelombang tertentu dan karenanya tidak bergantung pada frekuensi (Elnashai & Sarno, 2015)

Gempa bumi berkekuatan 5,0 atau lebih besar menimbulkan gerakan tanah yang cukup parah sehingga berpotensi merusak bangunan. Untuk magnitudo yang kurang dari sekitar 5,0, pergerakan tanah tidak akan menimbulkan kerusakan karena durasinya sangat singkat dan percepatannya sedang. Penggunaan skala magnitudo merupakan cara yang mudah untuk mengklasifikasikan gempa bumi berdasarkan ukurannya. Namun, karena ketidakseragaman kerak bumi, orientasi patahan yang berbeda, dan lain-lain, magnitudo tidak dapat menunjukkan ukuran gempa yang tepat (Wiegel & Bolt, 1970).

Berikut adalah ilustrasi mengenai Magnitudo dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Jumlah Kejadian Magnitudo Gempa Bumi per Tahun (Seluruh Dunia)

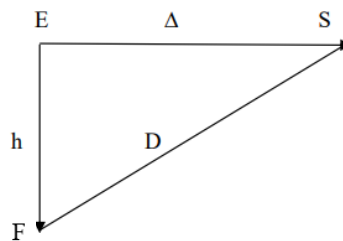
(Sumber : <https://twitter.com/utahgeological/status/1252714387812552708>, Diakses

5 Februari 2024)

3.1.5 Jarak Sumber Gempa Bumi

Dalam menentukan lokasi gempa bumi terdapat beberapa istilah yang sering digunakan diantaranya yaitu hiposenter, episenter, dan kedalaman. Hiposenter adalah tempat terjadinya gempa bumi yang berada di bawah permukaan bumi. Episenter adalah proyeksi hiposenter di permukaan bumi yang dinyatakan dalam koordinat geografis, biasanya mencakup keterangan jarak dan arah. Kedalaman gempa bumi adalah jarak tegak lurus episenter ke sumber gempa bumi, Gempa dangkal (kedalaman < 33 km), gempa menengah (33-90 km), gempa dalam (> 90 km) (Kiswiranti, 2019)

Berikut adalah proyeksi parameter-parameter di atas menurut Kiswiranti (2019) dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Ilustrasi Lokasi Gempa Bumi

(Sumber : Kiswiranti, 2019)

Keterangan :

S : stasiun pengamatan

E : episentrum

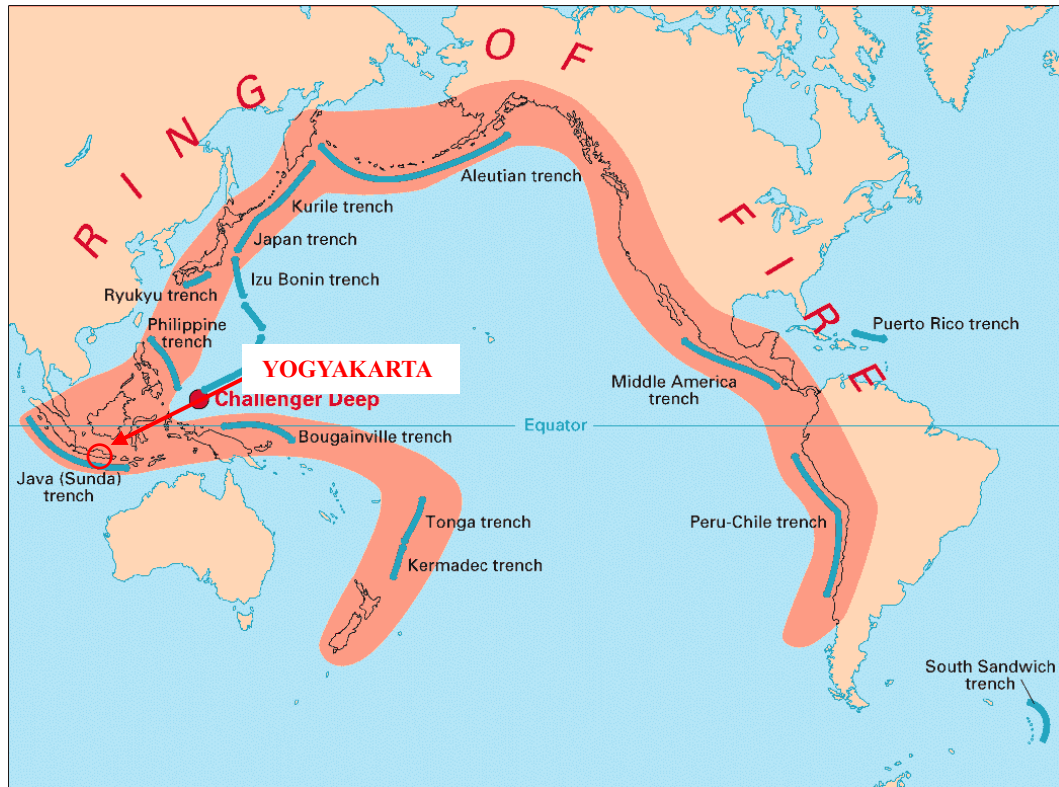
F : hiposenter

D : jarak hiposentral

Δ : jarak episentral

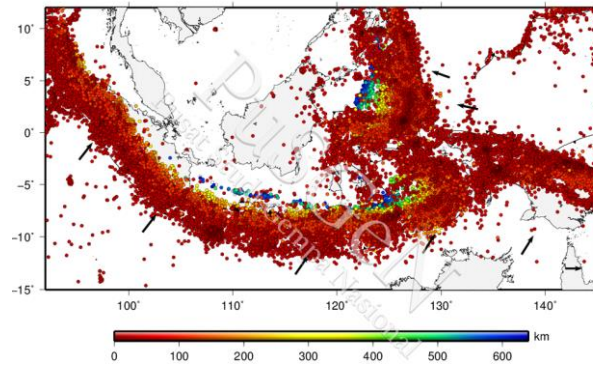
h : kedalaman gempa

3.1.6 Gempa di Yogyakarta



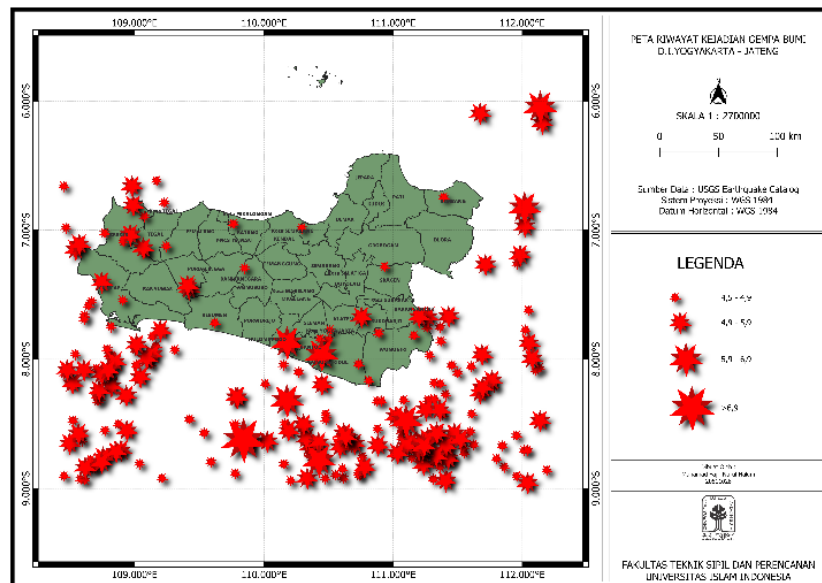
Gambar 3.10 Yogyakarta dalam Kawasan *Ring of Fire*
(Sumber : USGS, 1999)

Yogyakarta merupakan salah satu provinsi yang terletak di bagian selatan Pulau Jawa, Indonesia. Secara geografis, provinsi Yogyakarta terletak diantara $7^{\circ}33'15''$ - $8^{\circ}12'15''$ lintang selatan dan $110^{\circ}6'22''$ - $110^{\circ}49'20''$ bujur timur. Yogyakarta merupakan salah satu provinsi yang terletak di bagian selatan Pulau Jawa, Indonesia. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3. 10, Indonesia yang terletak dalam kawasan Cincin Api menyebabkan negara tersebut memiliki frekuensi kejadian gempa bumi yang cukup tinggi. Berikut dapat dilihat pada Gambar 3. 10 adalah gambar peta kejadian gempa bumi yang pernah terjadi di Indonesia menurut PUSGEN, 2017.



Gambar 3.11 Gempa Bumi di Indonesia
(Sumber : Buku Peta Sumber dan Bahaya Gempa, 2017)

Menurut sumber di atas, pada Gambar 3.11 dapat dilihat bahwa riwayat kejadian gempa bumi di Indonesia yang terekam sangatlah banyak dan berdasarkan gambar tersebut dapat diamati bahwa kebanyakan gempa yang terjadi didominasi oleh gempa dengan kedalaman 0 – 100 km. Untuk dapat melihat secara lebih jelas khususnya pada area Daerah Istimewa Yogyakarta, berikut adalah Peta Riwayat Gempa Bumi D.I.Yogyakarta dan Jateng yang dapat dilihat pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Gempa Bumi di sekitar wilayah D.I.Yogyakarta dan Jawa Tengah

Dapat dilihat pada Gambar 3.12, simbol titik pada gambar menunjukkan episenter gempa bumi dengan magnitudo $> 4,5$ yang terekam di sekitar wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta pada rentang tahun 1900 – 2024. Data ini didapatkan dari website USGS *Earthquake Catalog* yang diakses pada tahun 2024.

Salah satu kejadian gempa di Yogyakarta yang menjadi perhatian hingga ke dunia Internasional adalah kejadian Gempa Yogyakarta tahun 2006 silam. Pada tanggal 27 Mei 2006, pukul 5.54 WIB, gempa dengan magnitudo Mw 6,3 melanda provinsi Yogyakarta dan sekitarnya. Guncangan gempa berlangsung selama sekitar 60 detik menyebabkan kemarian dan kehancuran yang meluas. Daerah yang terkena dampak paling besar adalah Kabupaten Bantul di Yogyakarta dan Kabupaten Klaten di Jawa Tengah. Lebih dari 5700 orang meninggal dunia sementara daftar korban luka-luka lebih dari 37000 orang. Lebih dari 156000 rumah dan bangunan hancur total (Elnashai, et al., 2006). Berikut adalah data korban jiwa dan korban luka serta kerusakan bangunan akibat gempa Yogyakarta 2006 menurut Elnashai Dkk (2006), yang didapat dari data BAPPENAS tahun 2006 dapat dilihat pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14

Province and District	Death Toll	Number Injured
Yogyakarta	4,659	19,401
Bantul	4,121	12,026
Sleman	240	3,792
Yogyakarta City	195	318
Kulonprogo	22	2,179
Gunung Kidul	81	1,086
Central Java	1,057	18,526
Klaten	1,041	18,127
Magelang	10	24
Boyolali	4	300
Sukoharjo	1	67
Wonogiri	-	4
Purworejo	1	4
Total	5,716	37,927

Gambar 3.13 Persebaran Korban Jiwa Setiap Wilayah

(Sumber : Elnashai, et al., 2006)

	Totally destroyed	Damaged	Total
Yogyakarta Province	88,249	98,343	186,592
Bantul	46,753	33,137	79,890
Sleman	14,801	34,231	49,032
Gunung Kidul	15,071	17,967	33,038
Yogyakarta City	4,831	3,591	8,422
Kulonprogo	6,793	9,417	16,210
Central Java	68,415	103,689	172,104
Klaten	65,849	100,817	166,666
Sukoharjo	1,185	488	1,673
Magelang	499	729	1,228
Purworejo	144	760	904
Boyolali	715	825	1,540
Wonogiri	23	70	93
Total	156,664	202,032	358,696

Gambar 3.14 Persebaran Kerusakan Bangunan Setiap Wilayah

(Sumber : Elnashai, et al., 2006)

3.2 Kawasan Rawan Bencana

3.2.1 Kawasan Rawan Bencana (KRB)

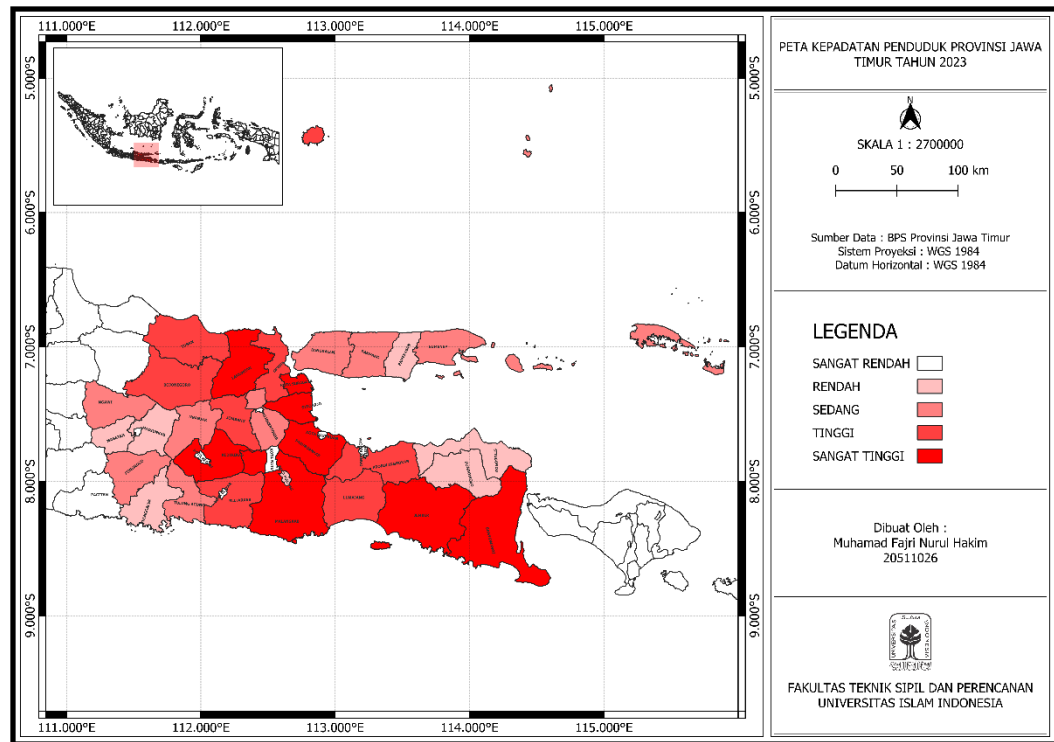
Kawasan rawan bencana dapat dideskripsikan sebagai wilayah geografis yang memiliki tingkat risiko tinggi terhadap bencana alam atau antropogenik. Dalam literatur, kawasan rawan bencana sering kali didefinisikan sebagai area yang rentan terhadap ancaman berbagai jenis bencana seperti banjir, gempa bumi, tanah longsor, atau kebakaran hutan. Sebuah studi oleh (Wisner, et al., 2003) menggambarkan bahwa kawasan rawan bencana tidak hanya ditentukan oleh aspek fisik seperti topografi atau iklim, tetapi juga dipengaruhi oleh ketidaksetaraan sosial, kelemahan infrastruktur, dan kurangnya kapasitas pengelolaan risiko di tingkat lokal. Penekanan pada dimensi sosial dan ekonomi ini mencerminkan pendekatan holistik dalam memahami kawasan rawan bencana, mengakui bahwa faktor-faktor ini dapat memperkuat atau memperlemah kerentanan suatu wilayah terhadap bencana. Sehingga, definisi kawasan rawan bencana melibatkan pertimbangan tidak hanya terhadap karakteristik fisiknya tetapi juga kondisi sosial dan ekonomi yang dapat memperbesar dampak bencana. Dalam kerangka ini, identifikasi dan pemahaman kawasan rawan bencana menjadi kunci dalam

merancang strategi mitigasi dan adaptasi untuk meningkatkan ketahanan masyarakat dan infrastruktur di kawasan tersebut.

Salah satu yang termasuk ke dalam kategori kawasan rawan bencana adalah kawasan rawan bencana gempa bumi. Kawasan rawan bencana gempa bumi merujuk pada wilayah geografis yang memiliki potensi tinggi untuk mengalami gempa bumi yang dapat menimbulkan kerusakan signifikan. Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2016, Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi adalah daerah yang memiliki potensi terhadap ancaman bahaya gempa bumi. Kawasan rawan bencana gempa bumi biasanya oleh seismisitas tinggi, yaitu tingginya aktivitas gempa di suatu daerah. Faktor-faktor seperti kedalaman lempeng bumi dan letak geografis suatu wilayah dapat memengaruhi seismisitas dan mendefinisikan kawasan sebagai zona rawan gempa.

3.2.2 Peta

Peta merupakan representasi atau gambaran dari suatu area yang didalamnya menggambarkan karakteristik geografis seperti permukaan bumi, gunung, sungai, dan unsur lainnya. Peta juga dapat mencakup informasi lain seperti batas-batas administrasi daerah, jaringan jalan, atau tempat-tempat penting lainnya. Menurut Putrawan (2019), Peta adalah gambaran konvensional permukaan bumi pada bidang datar yang diperkecil seperti kenampakannya jika dilihat dari atas dengan ditambah tulisan-tulisan sebagai tanda pengenal. Gambaran konvensional pada permukaan bumi ini dilambangkan dengan simbol-simbol tertentu. Simbol-simbol tersebut berfungsi untuk menggambarkan sebagian atau seluruh permukaan bumi beserta kenampakan-kenampakan yang ada padanya. Kenampakan kenampakan tersebut meliputi kenampakan fisik (medan asli) dan kenampakan sosial-ekonomi (medan buatan). Berikut dapat dilihat pada Gambar 3.15 adalah contoh peta yang menampilkan informasi kepadatan penduduk pada setiap kabupaten di Provinsi Jawa Timur



Gambar 3.15 Contoh Peta Kepadatan Penduduk

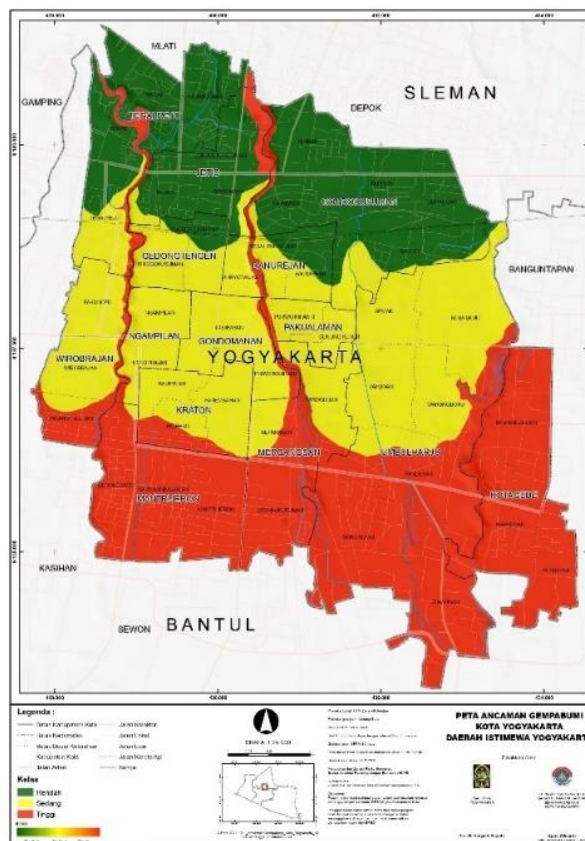
3.2.3 Peta Kebencanaan

Peta kebencanaan sesuai namanya adalah jenis peta yang menampilkan informasi tentang potensi bencana dan/atau risiko bencana pada suatu wilayah. Peta ini dapat berisi bermacam informasi terkait kebencanaan seperti lokasi rawan bencana, probabilitas bencana yang mungkin terjadi, dan tingkat kerentanan bencana. Peta kebencanaan biasa digunakan untuk membantu dalam perencanaan mitigasi bencana, penanggulangan bencana, dan pemulihan pasca bencana, serta untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang risiko bencana di sekitar mereka.

Dalam bidang teknik sipil, peta kebencanaan sering digunakan sebagai sarana dalam melakukan perencanaan infrastruktur dan struktur bangunan gedung. Berikut adalah beberapa peta kebencanaan yang digunakan dalam bidang teknik sipil.

1. Peta Mikrozonasi

Peta Mikrozonasi adalah peta yang menggambarkan informasi atau data dari parameter-parameter geoteknik di suatu daerah yang relatif memiliki ukuran kecil, biasanya dalam skala beberapa ratus meter hingga beberapa kilometer. Peta ini mencakup informasi tentang sifat-sifat geologi, topografi, dan faktor-faktor lingkungan lainnya yang dapat mempengaruhi respons tanah terhadap gempa bumi atau bencana alam lainnya. Peta mikrozonasi digunakan dalam perencanaan mitigasi bencana dan desain struktur untuk meminimalisir risiko kerusakan akibat gempa bumi dan pergerakan tanah. Berikut dapat dilihat contoh Peta Mikrozonasi pada Gambar 3.16



Gambar 3.16 Contoh Peta Mikrozonasi

(Sumber : Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Yogyakarta, 2014)

2. Peta Deagregasi (Buku Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa)

Menurut KBBI, arti kata agregasi adalah pengumpulan sejumlah benda yang terpisah-pisah menjadi satu. Oleh karena itu dapat diartikan deagregasi merupakan lawan kata dari kata agregasi, arti kata deagregasi dapat diartikan sebagai proses pemecahan suatu benda atau nilai menjadi bagian-bagian yang lebih kecil atau lebih rinci. Konsep deagregasi sering digunakan dalam analisis statistik untuk mengelola data yang sudah digabungkan atau dijumlahkan menjadi data yang lebih terperinci atau lebih spesifik.

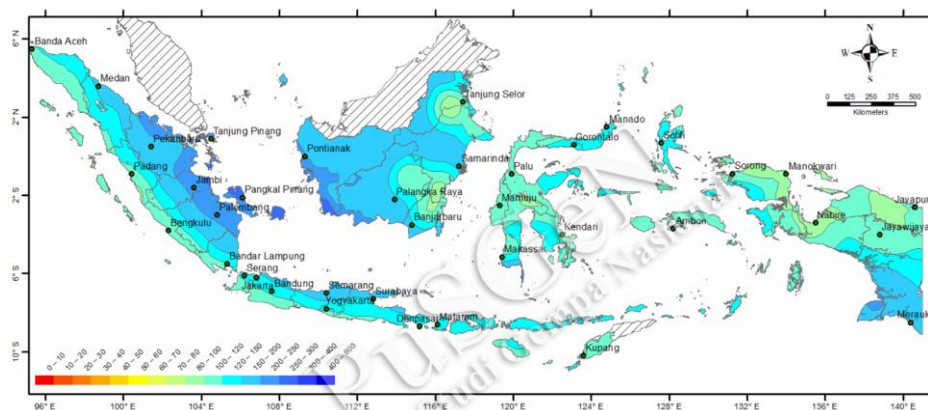
Berdasarkan pemahaman tersebut, Peta Deagregasi dapat dideskripsikan sebagai peta yang menampilkan hasil perincian suatu informasi menjadi informasi yang lebih mendetail. Peta Deagregasi ini berperan penting salah satunya dalam bidang kebencanaan. Indonesia sudah memiliki Peta Deagregasi yang digunakan dalam bidang kebencanaan yaitu Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa.

Menurut Pusat Studi Gempa Nasional (2022), perencanaan struktur bangunan tahan gempa yang memakai prosedur analisis berbasis kinerja perlu menggunakan analisis respons riwayat waktu yang didasarkan pada ekaman gerak tanah. Untuk itu, diperlukan proses deagregasi nilai rata-rata dari magnitudo (M) dan jarak (R) kejadian gempa yang mewakili salah satu sumber gempa. Nilai pasangan M dan R ini selanjutnya digunakan untuk mencari suatu pencatatan rekaman gerak tanah akibat gempa yang mempunyai kemiripan M , R , dan letak tektoniknya. Proses deagregasi diperlukan dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

- a. Analisis besaran bahaya gempa masih menggunakan konsep dasar *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) yang merupakan akumulasi kejadian gempa dan gerak tanah permukaan yang mungkin dapat terjadi di masa datang.
- b. Penerapan metode PSHA sangat bermanfaat karena berbagai informasi tentang potensi sumber gempa dan keberulangan kejadian gempa telah diintegrasikan menjadi satu dan setiap informasi memiliki kesempatan relatif untuk berpartisipasi dalam analisis.

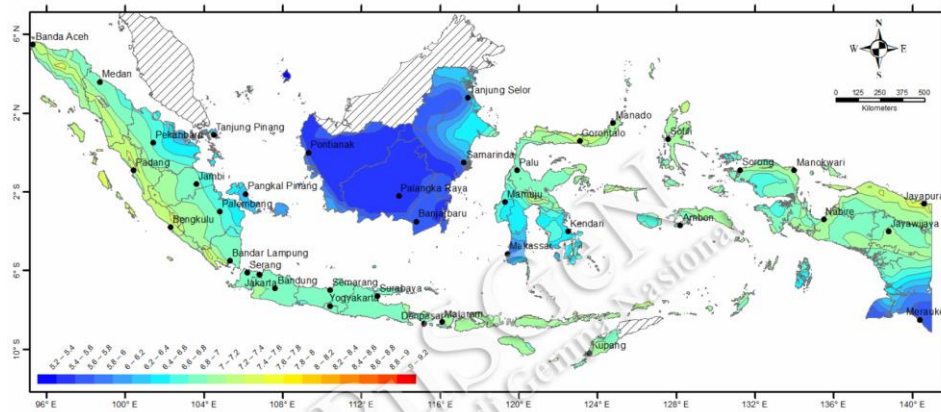
- c. PSHA tidak memberikan informasi yang lengkap bila dikaitkan dengan pasangan “nilai magnitudo (M) dan nilai jarak (R)” mana yang dominan dan tunggal dari site ke sumber gempa yang mewakilinya.
- d. Peta deagregasi dapat memberikan gambaran nilai M dan R untuk nilai target spektrum percepatan yang dihasilkan sehingga nilai M dan R yang dominan tersebut bisa digunakan sebagai acuan untuk mencari rekaman gerak tanah yang sesuai untuk kondisi tertentu.
- e. Sumber gempa dan *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) yang digunakan untuk analisis mengacu pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017
- f. Peta deagregasi ini dapat digunakan sebagai informasi untuk pemilihan data gerak tanah yang sesuai dengan periode ulang dan periode getar struktur di lokasi yang ditinjau untuk seluruh wilayah Indonesia.

Berikut adalah contoh peta deagregasi jarak sumber gempa dan peta deagregasi magnitudo sumber gempa dapat dilihat pada Gambar 3. 17 dan Gambar 3. 18



Gambar 3.17 Peta Degregasi Jarak (R) Sumber Gempa *Benioff* pada Percepatan Puncak untuk Periode Ulang 250 Tahun

(Sumber : Buku Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa, 2022)



Gambar 3.18 Peta Degregasi Magnitudo (M) Sumber Gempa *Benioff* pada Percepatan Puncak untuk Periode Ulang 250 Tahun

(Sumber : Buku Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa, 2022)

3.3 Struktur Bangunan Tahan Gempa

3.3.1 Struktur Bangunan Tahan Gempa

Pertanyaan-pertanyaan yang sering muncul saat membahas struktur bangunan tahan gempa adalah apakah suatu struktur bangunan harus didesain untuk dapat menahan gempa besar (*great*) yang periode ulangnya dapat 500 hingga 1000 tahun selama umur rencana bangunan teknis standar hanya berkisar antara 50 - 100 tahun? Jika demikian maka biaya pembangunan akan sangat mahal karena harus menahan gaya gempa yang sangat besar. Pertanyaan ke-dua adalah apakah bangunan harus sangat kuat dan tidak sama sekali boleh rusak kalau ada gempa kuat ataupun gempa besar? Atau pada kondisi ke-tiga yaitu apakah boleh bangunan sangat rentan akibat beban gempa karena kekuatannya sangat terbatas? Para ahli memerlukan waktu yang relatif lama seiring dengan diperlukannya pengalaman di dalam merancang bangunan yang relatif terjangkau dan aman terhadap beban gempa.

Apabila kembali ke pertanyaan-pertanyaan di atas, maka kondisi bangunan pada pertanyaan ke-dua adalah bangunannya sangat kuat, sangat aman tetapi pembiayaannya sangat mahal. Bangunan yang sangat kuat seperti ini dimaksudkan agar bangunan masih dalam kondisi elastik saat ada gempa sangat besar, sehingga

bangunanya akan baik-baik saja. Bangunan seperti itu dimaksudkan sebagai *earthquake proof building* yaitu bangunan yang benar-benar dapat melawan gempa. Bangunan seperti ini secara umum tidak diinginkan karena biaya pembangunan begitu mahal.

Selanjutnya kondisi bangunan pada pertanyaan ke-tiga adalah bangunan yang sangat lemah, relatif murah tetapi selalu rusak kalau terjadi gempa sehingga diperlukan berkali-kali membangun kembali yang akhirnya juga menjadi mahal. Bangunan seperti itu adalah *fragile building*, karena kekuatan bangun demikian kecil. Disamping membangun berkali kali akan menjadi mahal, maka bangunan yang rusak/runtuh juga akan sangat membahayakan penghuninya. Bangunan seperti ini juga tidak diinginkan.

Dengan ilustrasi dua kondisi ekstrim tersebut dapatlah dimengerti bahwa bangunan yang dibangun hendaknya berada diantara kedua kondisi tersebut. Para ahli kemudian memutuskan bahwa bangunan yang dibangun harus relatif kuat menahan beban gempa tetapi biaya pembangunannya tidak terlalu mahal. Prinsip ini nanti akan bermuara pada bangunan yang relatif aman tetapi ekonomis. Bangunan seperti itu kemudian populer disebut *earthquake resistant building*, yaitu bangunan yang relatif kuat terhadap bahaya gempa tetapi pembangunannya relatif tidak mahal (Pawirodikromo, 2012).

Dalam merancang struktur bangunan gedung tahan gempa, tentunya diperlukan adanya suatu standar aturan dalam desain perancangan. Peraturan-peraturan yang digunakan dalam analisis dan desain adalah peraturan paling umum dipakai dalam struktur beton di Indonesia. Berikut merupakan referensi ketentuan dalam melakukan desain perancangan struktur bangunan gedung tahan gempa.

1. SNI 2847-2019

SNI ini menjelaskan tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD)

2. SNI 1726-2019

SNI ini menjelaskan tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung

3. SNI 1727-2020

SNI ini menjelaskan tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.

4. SNI 8899-2020

SNI ini menjelaskan tentang tata cara pemilihan dan modifikasi gerak tanah permukaan untuk perencanaan gedung tahan gempa

5. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017

Buku ini berisi data-data mengenai identifikasi sumber-sumber gempa di Indonesia, Identifikasi sesar, data topografi SRTM-30, IFSAR, dan LIDAR

6. Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa

Buku ini dibuat dalam rangka mendukung dan memperlancar upaya memitigasi risiko kerusakan bangunan dan berbagai infrastruktur bangunan terhadap bahaya gempa dan melengkapi kebutuhan standar yang sudah tersedia sebelumnya seperti SNI 1726:2019, SNI 2833:2016, dan SNI 8899:2020.

7. FEMA P-1051

Merupakan referensi lain yang dapat disesuaikan jika tidak ada data yang terdapat dalam referensi aturan yang ada.

3.3.2 Sistem Pembebanan Struktur

Dalam melakukan analisa desain struktur bangunan, hal yang perlu diperhatikan yaitu membedakan/memisahkan antara beban statis dan dinamis.

1. Beban Statis

Beban Statis adalah beban yang bekerja terus-menerus pada struktur. Jenis jenis beban statis adalah sebagai

a. Beban Mati

Beban Mati adalah beban tetap yang disebabkan oleh bobot sendiri elemen struktur dan beban tetap lainnya yang tidak berubah seiring waktu. Beban ini meliputi seperti berat bangunan, dinding, lantai, dan elemen struktur lain..

b. Beban Hidup

Beban Hidup adalah variabel yang dihasilkan oleh penggunaan bangunan seperti beban orang, beban perabotan, dan beban lain yang dapat berubah seiring waktu

2. Beban Dinamik

Beban Dinamik adalah beban dengan variasi perubahan intensitas beban terhadap waktu yang cepat. Beban dinamis terdiri dari beban gempa dan angin.

a. Beban Gempa

Gempa bumi merupakan peristiwa yang terjadi karena adanya aktivitas pada kerak bumi secara tiba-tiba diikuti dengan terjadinya patahan. Langkah penentuan beban gempa adalah sebagai berikut.

- 1) Menentukan parameter percepatan gempa
- 2) Menentukan kategori resiko dan faktor keutamaan gempa
- 3) Menentukan kategori desain seismik
- 4) Menentukan metode analisis gempa
- 5) Menghitung gaya lateral yang terjadi

b. Beban Angin

Beban Angin bersifat non periodik dan non harmonik, kecepatan dan intensitas angin dapat berubah-ubah secara acak baik ke arah horizontal maupun vertikal. Pengaruh beban angin pada struktur yang rendah dan kaku umumnya kurang terasa pengaruhnya, namun akan sangat terasa pengaruhnya dan bisa membahayakan pada struktur yang memiliki ketinggian tertentu.

3.3.3 Berat Seismik Efektif

Berat seismik struktur merupakan berat total struktur yang digunakan dalam perhitungan gaya gempa pada suatu bangunan atau struktur. Menurut SNI 1726:2019, berat seismik efektif adalah besarnya berat bangunan yang berkontribusi terhadap gaya sesimik yang dihitung, yaitu jumlah berat total komponen-komponen bangunan yang diperhitungkan dalam analisis sesimik. Tujuan dari dihitungnya berat seismik efektif adalah untuk memberikan gambaran mengenai massa yang akan mengalami percepatan selama gempa terjadi.

Berdasarkan SNI 1726 tahun 2019, berat seismik efektif struktur, W , harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar di bawah ini.

1. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25 % beban hidup lantai;

PENGECUALIAN

- a. Bila beban penyimpanan tidak lebih dari 5 % terhadap berat seismik efektif pada tingkat tersebut, beban tidak perlu dimasukkan dalam berat seismik efektif.
 - b. Beban hidup lantai di tempat parkir umum dan struktur parkir terbuka tidak perlu dimasukkan.
2. Jika ketentuan desain beban lantai untuk partisi disyaratkan SNI 1727 pasal 4.3.2, sebesar beban terbesar antara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar $0,48 \text{ kN/m}^2$;
 3. Berat operasional total dari peralatan yang permanen;
 4. Berat lanskap dan beban lainnya pada taman atap dan area sejenis.

3.3.4 Ketidakberaturan Struktur

Struktur bangunan gedung dibagi menjadi dua macam yaitu beraturan dan tidak beraturan. Dalam SNI 03-1726-2012 pasal 7.3.2 klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung.

3.4.3.1 Ketidakberaturan Horizontal

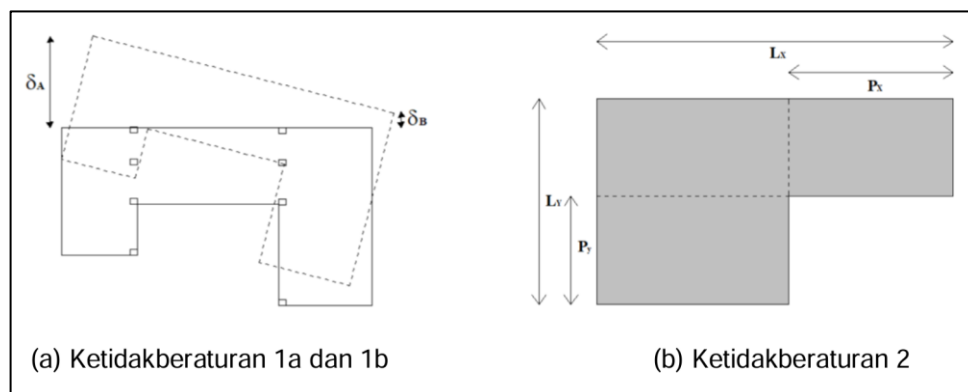
Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 13 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 13 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut. Berikut Tabel 13 pada SNI 1726:2019 dapat dilihat pada Gambar 3.19.

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 Tabel 16 0	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 0 0 Tabel 16 0	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	0 0 0 Tabel 16 0	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	0 0 Tabel 16 0	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Gambar 3.19 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

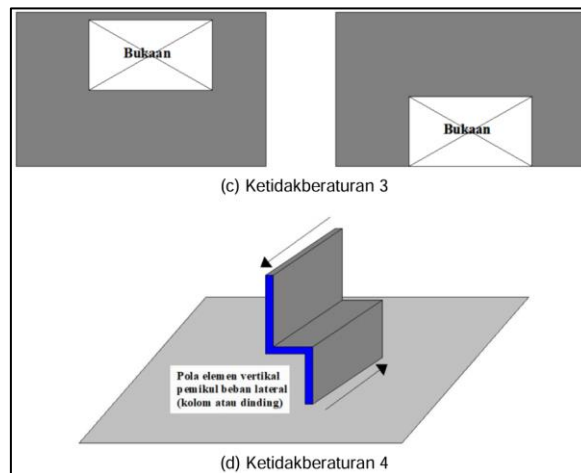
(Sumber : SNI 1726:2019 Tabel 13)

Berikut adalah ilustrasi ketidakberaturan horizontal masing-masing tipe pada Gambar 3.19 dapat dilihat pada Gambar 3.20, Gambar 3.21, dan Gambar 3.22.

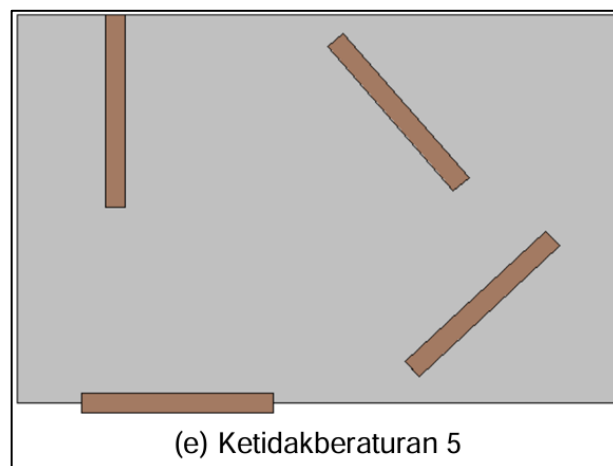


Gambar 3.20 Ilustrasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 dan Tipe 2

(Sumber : SNI 1726:2019)



Gambar 3.21 Ilustrasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3 dan Tipe 4
(Sumber : SNI 1726:2019)



Gambar 3.22 Ilustrasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3 dan Tipe 4
(Sumber : SNI 1726:2019)

3.4.3.2 Ketidakberaturan Vertikal

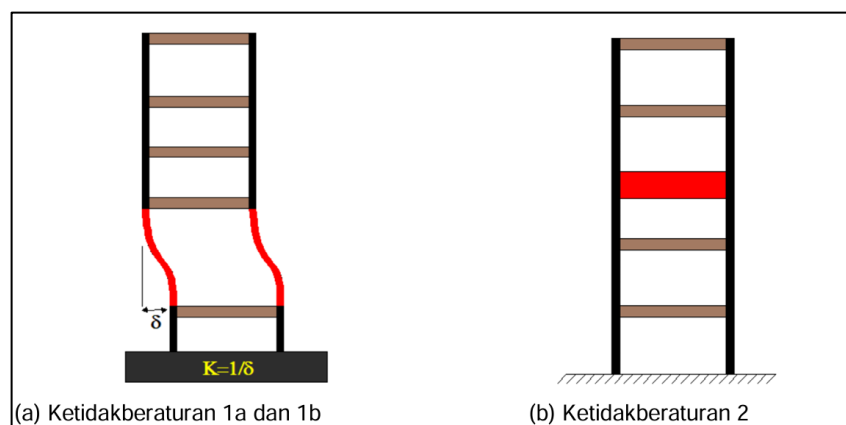
Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 14 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 14 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut. Berikut Tabel 14 pada SNI 1726:2019 dapat dilihat pada Gambar 3.23.

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat di dekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	0 0 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 0 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

Gambar 3.23 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

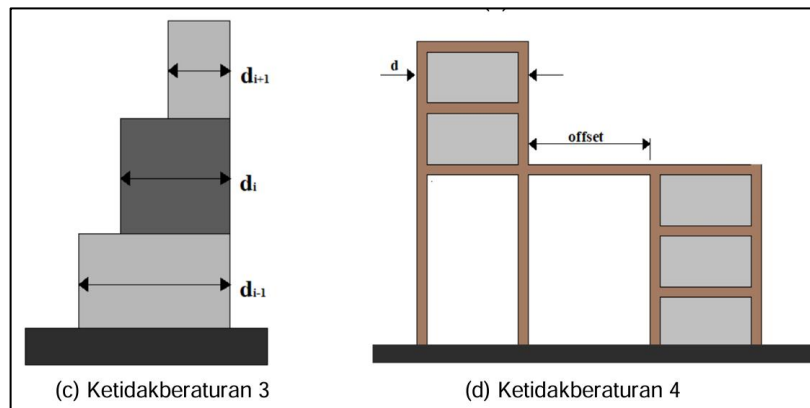
(Sumber : SNI 1726:2019 Tabel 14)

Berikut adalah ilustrasi ketidakberaturan vertikal masing-masing tipe pada Gambar 3.23 dapat dilihat pada Gambar 3.24, Gambar 3.25 , dan Gambar 3.26.

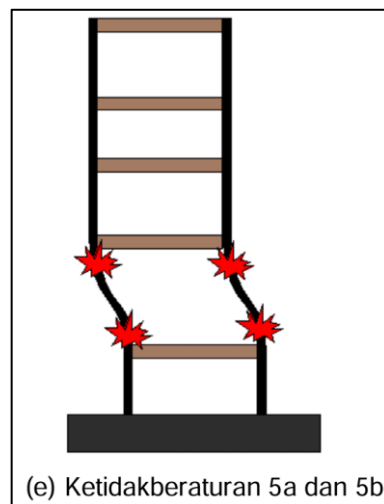


Gambar 3.24 Ilustrasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1 dan Tipe 2

(Sumber : SNI 1726:2019)



Gambar 3.25 Ilustrasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 dan Tipe 4
(Sumber : SNI 1726:2019)



Gambar 3.26 Ilustrasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5
(Sumber : SNI 1726:2019)

3.4 Analisis Struktur

3.4.1 Analisis Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa

Analisis struktur bangunan gedung merupakan proses evaluasi dan perhitungan yang dilakukan untuk memastikan bahwa suatu bangunan memiliki kekuatan, stabilitas, dan kapasitas yang sesuai dengan fungsinya. Tahapan analisis struktur biasanya menitikberatkan tentang bagaimana beban yang bekerja pada suatu bangunan akan didistribusikan dan ditahan oleh elemen struktur. Beban yang dimaksud antara lain adalah beban mati, beban hidup berdasarkan fungsinya, beban

angin, beban gempa, dan beban khusus. Menurut SNI 1727 : 2020, efek beban pada setiap komponen struktur harus ditentukan dengan metode analisis struktur yang memperhitungkan keseimbangan, stabilitas, kompatibilitas geometrik, sifat bahan jangka pendek ataupun jangka panjang. Komponen struktur yang cenderung mengalami deformasi secara kumulatif pada beban kerja yang berulang harus memperhitungkan eksentrisitas yang terjadi selama umur layan bangunan gedung.

Langkah awal dari analisis struktur bangunan gedung dapat dimulai dari menentukan elemen struktur apa saja yang akan digunakan dalam bangunan tersebut. Elemen struktur yang dimaksud adalah rangka balok, kolom, sloof, pondasi, pelat, tangga, dan elemen-elemen tambahan lain. Setelah ditentukan elemen apa saja yang akan digunakan dalam bangunan gedung yang ditinjau selanjutnya adalah melakukan perhitungan mekanika struktur untuk memastikan bahwa elemen-elemen struktural yang ada dalam bangunan tersebut mampu menahan beban dengan kekuatan dan stabilitas yang memadai.

Analisis struktur bangunan gedung juga melibatkan evaluasi pada bangunan yang ditinjau terhadap parameter-parameter seperti getaran, deformasi, dan kinerja struktur bangunan gedung secara keseluruhan untuk memastikan bahwa bangunan dapat bertahan dalam berbagai kondisi, termasuk salah satunya adalah pada keadaan darurat seperti gempa bumi. Tahap terakhir pada analisis struktur bangunan gedung adalah melakukan optimalisasi desain untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi biaya konstruksi dan kebutuhan kapasitas bangunan gedung.

Berdasarkan penjelasan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa analisis struktur bangunan gedung tahan gempa adalah analisis struktur bangunan gedung yang menekankan evaluasi kekuatan atau perilaku gedung terhadap beban gempa yang diterima. Dalam analisis ini ada beberapa macam metode, salah satunya adalah metode statik dan metode dinamis. Metode yang paling sederhana adalah metode statik, sedangkan metode yang lebih kompleks adalah metode dinamis.

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan struktur tahan gempa pada bangunan gedung. Secara garis besar, dalam SNI 1726 : 2019,

ada tiga hal penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan gedung tahan gempa antara lain :

1. Beban gempa rencana

Beban gempa rencana adalah beban gempa yang akan dimasukkan ke dalam beban eksternal dalam perencanaan suatu gedung. Besarnya beban ini ditentukan tergantung fungsi bangunan, jumlah tingkat, lokasi, dan berat total bangunan tersebut didirikan. Selain itu, kondisi tanah di lokasi bangunan rencana yang akan dibangun juga berpengaruh terhadap besaran beban gempa rencana. Hal ini berkaitan dengan karakteristik perhitungan beban gempa rencana yang akan dilakukan.

2. Konfigurasi gedung

Konfigurasi gedung mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap perilaku struktur bangunan dalam merespon beban gempa. Bagian dari konfigurasi gedung yang paling berpengaruh adalah pada sifat bangun bangunan gedung tersebut. Menurut Pawirodikromo (2012), sifat bangun bangunan diklasifikasikan menjadi Denah Bangunan Reguler dan Denah Bangunan Ireguler. Bangunan reguler adalah bangunan yang umumnya hanya mempunyai satu massa/gatra dengan denah sederhana dan simetri, baik simetri dua arah maupun satu arah. Dengan demikian dua ciri pokok bangunan reguler adalah bangunan yang mempunyai massa/gatra/blok tunggal dan terbangun simetri. Sedangkan bangunan ireguler adalah bangunan yang memiliki lebih dari satu massa/gatra/blok dengan denah tidak sederhana walaupun masih simetris, baik dua arah maupun satu arah.

3. Daktilitas struktur

Daktilitas struktur adalah kemampuan struktur untuk terus mengalami deformasi plastis saat menerima beban yang melampaui beban elastisnya. Sifat daktilitas pada struktur memungkinkan perencanaan gedung dapat lebih ekonomis dan tidak runtuh secara tiba-tiba saat terjadi gempa dengan kekuatan yang besar. Daktilitas struktur sangat bergantung kepada tipe sistem penahan gempa yang digunakan pada struktur tersebut.

3.4.2 Macam Metode Analisis Struktur Gedung

Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, metode analisis struktur bangunan gedung tahan gempa dibagi menjadi metode statis dan dinamis. Menurut SNI 1726 : 2019, berikut adalah macam analisis yang diizinkan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Macam Prosedur Analisis

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen	Analisis Spektrum Respons Ragam	Analisis Respons Riwayat Waktu Seismik
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat di atas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

CATATAN : I : Diizinkan, TI : Tidak Diizinkan

(Sumber : SNI 1726:2019)

Berdasarkan Tabel 3.1 , Metode Analisis Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa dibagi menjadi tiga yaitu metode analisis statik ekuivalen (*Equivalent Lateral Force, ELF*), metode analisis dinamik respon spektrum (*Modal Spectrum Response Analysis, MRSA*), dan metode analisis dinamik riwayat waktu (*Time History Analysis, THA*). Metode analisis statik ekuivalen merupakan metode untuk memperkirakan beban lateral yang setara dengan beban gempa dinamis yang bekerja pada suatu struktur. Metode analisis dinamik respon spektrum merupakan metode analisis yang menghitung respon struktur bangunan terhadap beban gempa

berdasarkan spektrum respon gempa yang dihasilkan dari percepatan tanah dan karakteristik struktur yang ditinjau, analisis ini lebih kompleks dibandingkan dengan metode statik ekuivalen. Metode dinamik riwayat waktu merupakan metode yang menggunakan rekaman gempa sebagai parameter masukan untuk mengevaluasi kekuatan bangunan gedung.

3.4.3 Metode Analisis Dinamik Riwayat Waktu

Seperti yang sudah dijelaskan pada sub 3.5.2, salah satu metode analisis struktur bangunan gedung tahan gempa adalah metode analisis dinamik riwayat waktu atau sering disebut dinamik *Time History*. Metode ini menggunakan data rekaman seismik gempa yang pernah terjadi sebagai beban masukan pada struktur bangunan yang ditinjau. Karena beban gempa yang digunakan adalah rekaman gempa yang pernah terjadi pada masa lalu, analisis ini dinilai merupakan analisis paling akurat terhadap kondisi gempa yang sesungguhnya dibandingkan dengan metode statik ekuivalen dan metode dinamik respon spektrum..

Menurut SNI 1726 : 2019, analisis dinamik riwayat waktu linear harus terdiri dari analisis model matematis linear dari struktur untuk menentukan responsnya melalui metode-metode integrasi numerik, terhadap rangkaian riwayat percepatan yang dicocokkan secara spektral yang kompatibel dengan respons spektra desain di tempat itu. Analisis ini harus dilakukan sesuai dengan persyaratan-persyaratan berikut.

1. Persyaratan umum pemodelan.

a. Pemodelan

Model tiga dimensi diperlukan. Pemodelan distribusi kekakuan dan massa sepanjang sistem pemikul gaya lateral struktur dan diafragma harus sesuai pasal 7.7.3

b. Efek P-delta

Model matematis harus mengikutsertakan efek P-delta. Batasan mengenai koefisien stabilitas, θ , harus dipenuhi sesuai pasal 7.8.7

c. Torsi tak terduga

Torsi tak terduga, bilamana diperlukan sebagaimana pada pasal 7.8.4.2, harus dimasukkan dengan memindahkan pusat massa (positif dan negatif) dari lokasi aktualnya sejauh 5 % dari dimensi horizontal yang diukur tegak lurus terhadap arah gaya. Pembesaran dari torsi tak terduga yang diatur pada pasal 7.8.4.3 tidak diwajibkan.

d. Pemodelan fondasi

Bila fleksibilitas fondasi dimasukkan dalam analisis, pemodelan fondasi harus sesuai pasal 7.13.3.

e. Jumlah ragam yang harus diikutsertakan dalam analisis

Bila prosedur analisis riwayat ragam *response history* dilakukan, jumlah ragam yang harus diikutsertakan dalam analisis harus sesuai dengan pasal 7.9.1.1

f. Redaman

Redaman viskos linear tidak boleh melebihi 5 % redaman kritis untuk sembarang ragam dengan periode getar yang lebih besar atau sama dengan T_{lower} .

2. Pemilihan gerak tanah dan modifikasi

Riwayat percepatan tanah yang digunakan untuk analisis terdiri tidak kurang dari tiga pasang komponen ortogonal yang telah dicocokkan secara spektral (*spectrally matched*) yang diturunkan dari rekaman gerak tanah atau gerak tanah tiruan. Spektrum respons target untuk tiap set yang sudah dicocokkan secara spektral harus dibangun berdasarkan pasal 6.4 atau pasal 6.10.3.

Setiap komponen dari gerak tanah harus dicocokkan secara spektral dalam rentang $0,8 T_{lower}$ sampai dengan $1,2 T_{upper}$. Dalam rentang periode ini dan di tiap arah, nilai rata-rata dari percepatan semu (*pseudo acceleration*) dengan redaman 5 % yang dihitung dengan rekaman yang sudah dicocokkan secara spektral tidak boleh kurang atau lebih dari 10 % spektrum target.

3. Aplikasi riwayat percepatan tanah

Dua arah yang saling tegak lurus, ditandai dengan x dan y, harus dipilih dan digunakan untuk seluruh analisis riwayat respons.

4. Modifikasi respons untuk desain

Penskalaan gaya gempa merupakan proses penyesuaian gaya-gaya gempa yang telah diperoleh dan dicocokkan secara spektral sebelumnya agar sesuai dengan gaya gempa rencana atau pada penelitian ini gaya gempa statik yang diperoleh dari analisis terhadap respons spektrum desain (DBA) wilayah tersebut. Dalam SNI 1726:2019, untuk melakukan analisis riwayat waktu makan perlu dilakukan penskalaan

a. Penentuan gaya geser dasar elastik dan inelastik

Untuk tiap gerak tanah yang dianalisis, gaya geser dasar elastik maksimum, V_{EX} dan V_{EY} untuk arah x dan arah y, harus ditentukan. Model matematis yang digunakan untuk menghitung gaya geser dasar elastik maksimum tidak boleh memperhitungkan pengaruh torsi tidak terduga. Untuk tiap gerak tanah yang dianalisis, gaya geser dasar inelastik maksimum, V_{IX} dan V_{IY} untuk arah x dan arah y, harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$V_{IX} = \frac{V_{EX} I_e}{R_x} \quad (3.1)$$

$$V_{IY} = \frac{V_{EY} I_e}{R_y} \quad (3.2)$$

Keterangan :

$V_{IX,Y}$	= gaya geser dasar elastik maksimum
$V_{EX,Y}$	= gaya geser dasar inelastik maksimum
$R_{x,y}$	= koefisien modifikasi respons
I_e	= faktor keutamaan gempa

b. Penentuan faktor skala untuk gaya geser dasar

Gaya geser dasar, V_X dan V_Y harus dihitung untuk arah x dan arah y sesuai pasal 7.8.1. Untuk tiap gerak tanah yang dianalisis, faktor skala gaya geser dasar untuk tiap arah respons harus ditentukan sebagai berikut:

$$\eta_X = \frac{V_X}{V_{IX}} \geq 1,0 \quad (3.3)$$

$$\eta_Y = \frac{V_Y}{V_{IY}} \geq 1,0 \quad (3.4)$$

c. Penentuan respons gaya yang dikombinasi

Untuk tiap arah respons dan tiap gerak tanah yang dianalisis, respons gaya yang dikombinasi harus ditentukan sebagai berikut:

- 1) Respons gaya yang dikombinasi dalam arah x harus ditentukan sebagai $I_e \eta_X / R_X$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah x yang dihitung dengan model matematis yang mempertimbangkan pengaruh torsi tidak terduga (jika diperlukan) ditambah $I_e \eta_Y / R_Y$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah y yang dihitung dengan model matematis tanpa mempertimbangkan pengaruh torsi tidak terduga.
- 2) Respons gaya yang dikombinasi dalam arah y harus ditentukan sebagai $I_e \eta_Y / R_Y$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah y yang dihitung dengan model matematis yang mempertimbangkan pengaruh torsi tidak terduga (jika diperlukan) ditambah $I_e \eta_X / R_X$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah x yang dihitung dengan model matematis tanpa mempertimbangkan pengaruh torsi tidak terduga.

d. Penentuan respons perpindahan yang dikombinasi

Faktor pembesaran defleksi, C_{dX} dan C_{dY} harus diberikan pada arah x dan arah y. Untuk tiap arah respons dan tiap gerak tanah yang dianalisis, respons defleksi yang dikombinasi harus ditentukan sebagai berikut.

- 1) Respons perpindahan yang dikombinasi dalam arah x harus ditentukan sebagai $\eta_X C_{dX} / R_X$ dikalikan dengan respons elastik dalam

arah x yang dihitung dengan model matematis yang mempertimbangkan pengaruh torsi tidak terduga (jika diperlukan) ditambah $\eta_x C_{dy}/R_y$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah y yang dihitung dengan model matematis tanpa mempertimbangkan pengaruh torsi tidak terduga.

- 2) Respons gaya yang dikombinasi dalam arah y harus ditentukan sebagai $\eta_x C_{dy}/R_y$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah y yang dihitung dengan model matematis yang mempertimbangkan pengaruh torsi tidak terduga (jika diperlukan) ditambah $\eta_x C_{dx}/R_x$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah x yang dihitung dengan model matematis tanpa mempertimbangkan pengaruh torsi tidak terduga.

Pengecualian apabila gaya geser dasar desain pada satu arah tertentu tidak ditentukan oleh persamaan berikut.

$$C_s = 0,004 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.5)$$

Keterangan :

SDS = parameter percepatan respons spectral desain dalam rentang periode pendek seperti ditentukan dalam pasal 6.3 atau pasal 6.9

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai pasal 4.12

Maka faktor η_x dan η_y diperbolehkan diambil sebesar 1.0 untuk menentukan perpindahan yang dikombinasi.

5. Penentuan selubung (*envelope*) nilai-nilai respons gaya

Nilai respons gaya desain harus diambil dari selubung nilai respons gaya yang dikombinasi yang dihitung untuk dua arah saling tegak lurus dan untuk semua gerak tanah seismik yang digunakan. Apabila efek interaksi gaya dipertimbangkan,

selubung diizinkan ditentukan dari rasio kebutuhan (*demand*) terhadap kapasitas, untuk menggantikan besaran nilai-nilai gaya individu.

6. Penentuan selubung nilai respons perpindahan

Nilai simpangan antar tingkat harus ditentukan untuk tiap gerak tanah yang dianalisis dan di tiap arah respons dengan menggunakan respons perpindahan yang dikombinasi berdasarkan pasal 7.9.2.5.4. Agar memenuhi batasan simpangan yang diberikan pada 7.12, selubung dari simpangan antar tingkat yang dihitung untuk tiap arah ortogonal dan semua gerak tanah harus digunakan.

3.4.4 Fungsi Bangunan

Dalam mengevaluasi beban gempa yang akan memengaruhi suatu bangunan gedung, penyesuaian diperlukan berdasarkan tujuan utama yang ingin dicapai dengan bangunan tersebut. Kategori risiko dari struktur tersebut akan dipengaruhi oleh fungsi bangunan tersebut karena setiap fungsi bangunan memiliki tingkat risiko yang berbeda.

3.4.5 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan

Dalam menganalisis beban gempa, perencana harus mengelompokkan kategori risiko gempa bangunan gedung maupun non gedung untuk beban gempa. Kategori risiko ini disesuaikan dengan fungsi dari bangunan yang akan didirikan. Adapun pengelompokan kategori risiko gempa sesuai dengan fungsi bangunan dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	II

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulan, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat	IV

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya. - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki/air pemadam kebakaran atau struktur rumah data atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV	

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 3)

Setelah mengetahui kategori risiko bangunan, kemudian dilakukan penetapan faktor keutamaan gempa berdasarkan kategori risiko bangunan yang sudah ditentukan. Adapun faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 4)

3.4.6 Klasifikasi Situs

Dalam perumusan kriteria desain seismik bangunan ataupun dalam penentuan parameter respon spektral percepatan gempa dibutuhkan parameter syarat yaitu kelas situs lokasi yang ditinjau. Oleh karena itu, lokasi yang akan ditinjau saat merencanakan desain seismik bangunan harus ditentukan terlebih dahulu klasifikasinya. Berdasarkan SNI 1926 : 2019, pada pasal 5.3 ditentukan tipe kelas situs berdasarkan nilai kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas, nilai tahanan penetrasi

standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas, dan nilai kuat geser niralir rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas. Berikut adalah klasifikasi situs berdasarkan nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.4

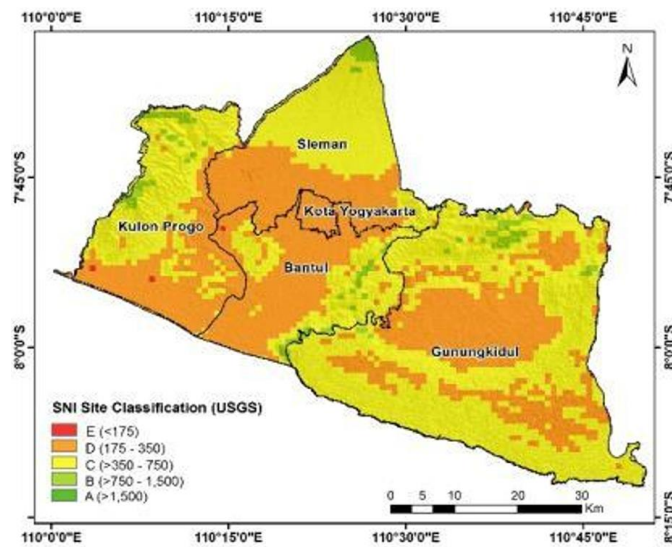
Tabel 3.4 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	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 tanah dengan karakteristik sebagai berikut :		
	1. Indeks plastisitas, $PI > 20$,		
	2. Kadar air, $w \geq 40\%$,		
	3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber : SNI 1926:2019)

Berikut adalah contoh Peta Klasifikasi Situs yang dibuat oleh Wijayanto, dkk (2022) dapat dilihat pada Gambar 3.27.



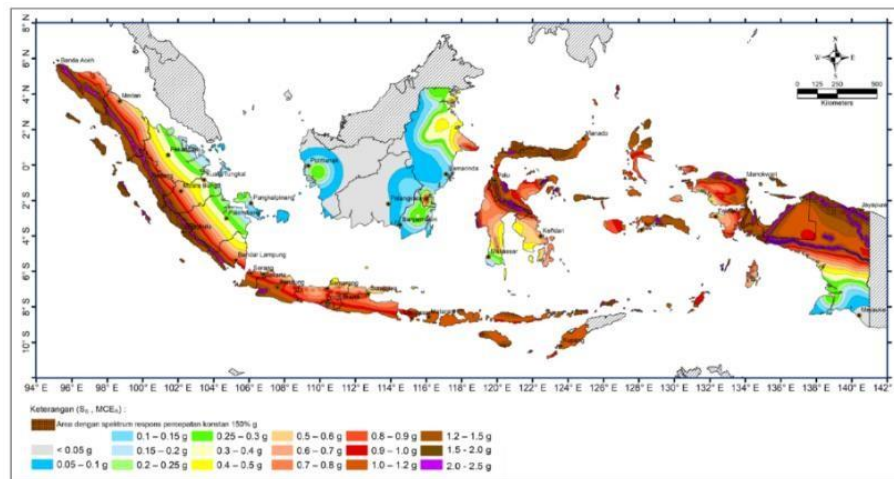
Gambar 3.27 Contoh Peta Klasifikasi Situs Daerah Istimewa Yogyakarta
(Sumber : Wijayanto, et al., 2022)

3.4.7 Percepatan Gempa Terpetakan

Setelah menentukan kelas situs, maka langkah selanjutnya adalah menentukan parameter respon spektrum. Parameter-parameter tersebut antara lain :

1. Nilai Percepatan Batuan Dasar pada Periode Pendek (S_s)

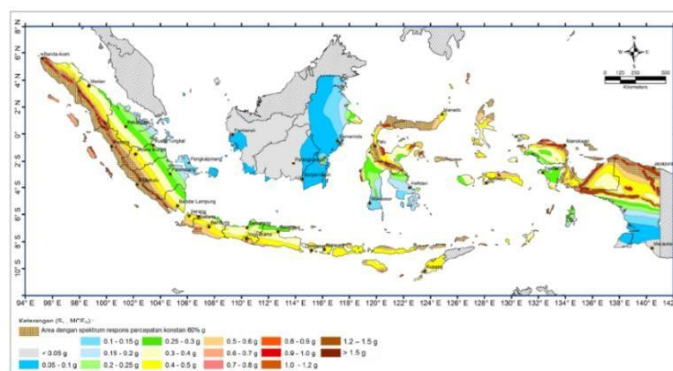
Nilai S_s merupakan parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek. Nilai S_s dapat dicari melalui dua cara, yaitu melalui website dari Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman (PUSKIM). Kemudian menggunakan peta parameter gerak tanah S_s . Adapun peta parameter gerak tanah S_s wilayah Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.28 berikut :



Gambar 3.28 Parameter Gerak Tanah S_s , Gempa Maksimum yang dipertimbangkan Risiko Tetarget (MC_{Er}) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0.2 detik (Redaman Kritis 5%)
(Sumber: SNI 1726:2019 Gambar 15)

2. Nilai Percepatan Batuan Dasar pada Periode 1 Detik (S_1)

Nilai S_1 merupakan parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik. Nilai S_1 dapat dicari melalui dua cara, yaitu melalui website dari Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman (PUSKIM). Kemudian menggunakan peta parameter gerak tanah S_1 . Adapun peta parameter gerak tanah S_1 wilayah Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.29 berikut.



Gambar 3.29 Parameter Gerak Tanah S_1 Gempa Maksimum yang dipertimbangkan Risiko-Tetarget (MC_{Er}) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0.2 detik (Redaman Kritis 5%)
(Sumber: SNI 1726:2019 Gambar 16)

3. Faktor Amplifikasi Getaran terkait Percepatan pada Getaran Periode Pendek (F_a)

Nilai F_a merupakan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek. Nilai F_a ditentukan dengan menyesuaikan nilai S_s dan kelas situs pada bangunan yang didirikan. Adapun nilai F_a dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periodependek, $T=0.2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
SC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
SE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
SF	SS(a)					

CATATAN:

SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 6)

4. Faktor Amplifikasi Getaran terkait Percepatan yang mewakili Getaran Periode 1 detik (F_v)

Nilai F_v merupakan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik. Nilai F_v ditentukan dengan menyesuaikan nilai S_1 dan kelas situs pada banguna yang akan didirikan. Adapun nilai F_v dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1detik, S_1

Lanjutan Tabel 3.6 Koefisien Situs, F_v

	$S_1 \leq 0.25$	$S_1 = 0.5$	$S_1 = 0.75$	$S_1 = 1.0$	$S_1 = 1.25$	$S_1 \geq 1.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
SD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
SE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
SF	SS(a)					

CATATAN:

SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

(Sumber : SNI 1726:2019 Tabel 7)

3.4.8 Respon Spektrum

Menurut teori dinamika struktur (*structural dynamics*) salah satu cara untuk menghitung/menentukan simpangan, gaya-gaya dinamik, dan lain-lain pada struktur derajat kebebasan banyak (*Multi Degree of Freedom*, MDOF) adalah dengan memakai metode respons spektrum. Penentuan/hitungan dengan memakai metode respons spektrum merupakan metode yang lebih sederhana dan cepat disbanding dengan analisis riwayat waktu. Walaupun memakai prinsip dinamik, tetapi metode ini tidak merupakan analisis riwayat waktu sebagaimana metode modal-analisis, tetapi hanya mencari respons maksimum. Dengan memakai respons spektrum yang telah ada pada tiap-tiap daerah gempa, maka respons-respons maksimum dapat dicari dengan waktu yang jauh relatif singkat disbanding dengan cara analisis riwayat waktu (*Time History Analysis*, *THA*). Namun demikian cara ini hanya bersifat pendekatan, karena respon struktur yang diperoleh bukan nyata oleh beban gempa tertentu, melainkan berdasar pada respons spektrum yang merupakan produk akhir dari beberapa gempa (Pawirodikromo, 2012).

Menurut Hudson (1956), respon spektrum mengungkapkan secara langsung aspek-aspek gerakan tanah gempa bumi yang menjadi perhatian utama para

insinyur struktur dan penyusunan kurva spektrum respons merupakan salah satu kegunaan utama akselerogram gempa bumi yang terekam. Karena fungsinya yang dapat menggambarkan aspek-aspek Gerakan tanah akibat gempa bumi yang terjadi, respon spektrum digunakan sebagai salah satu parameter perencanaan bangunan tahan gempa untuk menentukan beban gempa yang harus ditanggung oleh struktur di suatu wilayah. Respon spektrum dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah kondisi dari tanah di wilayah yang ditinjau.

Menurut Pawirodikromo (2012), respons spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T , lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan gempa tertentu. Respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral Displacement, SD*), kecepatan maksimum (*Spectral Velocity, SV*) atau percepatan maksimum (*Spectral Acceleration, SA*) suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*Single Degree of Freedom, SDOF*). Dengan demikian suatu spektrum maksimum suatu gempa tertentu kadang-kadang dinyatakan dalam fungsi berikut.

$$\begin{aligned} SD(\xi, T, \mu, S) \\ SV(\xi, T, \mu, S) \\ SA(\xi, T, \mu, S) \end{aligned} \tag{3.6}$$

Keterangan:

- ξ : rasio redaman
- T : periode getar
- μ : daktilitas struktur
- S : jenis tanah

Berdasarkan persamaan di atas, dapat diketahui bahwa respons spektrum suatu struktur SDOF akan bergantung pada beban gempa, rasio redaman, periode getar, daktilitas struktur, dan jenis tanah setempat. Umumnya beban gempa, rasio

redaman, daktilitas, dan jenis tanah sudah dijadikan suatu variable kontrol sehingga grafik yang ada tinggalah plot antara periode getar T lawan nilai simpangan, kecepatan atau percepatan maksimum.

Semua jenis respons spektrum tidak selalu digunakan secara bersamaan / simultan atau digunakan secara kontinu. Respons spektrum akselerasi adalah jenis spektrum yang paling sering digunakan dibanding dengan spektrum-spektrum lain. Hal ini dapat dimengerti karena sesuai dengan hukum Newton-II, suatu gaya adalah produk antara massa dan percepatan. Dalam hal ini gaya adalah suatu besaran yang sangat diperlukan pada analisis struktur, yaitu dalam rangka untuk menentukan *strength demand* (Pawirodikromo, 2012).

Apabila prosedur gerak tanah dari spesifik itu tidak digunakan, maka spektrum respon desain dikembangkan dengan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain S_a , harus diambil dari persamaan (3.7) :

$$S_a = S_{DS} \times \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.7)$$

2. Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain S_a , sama dengan S_{DS}
3. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain S_a , diambil berdasarkan persamaan (3.8)

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.8)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respon spektral percepatan desain S_a diambil berdasarkan persamaan (3.9)

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} \quad (3.9)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

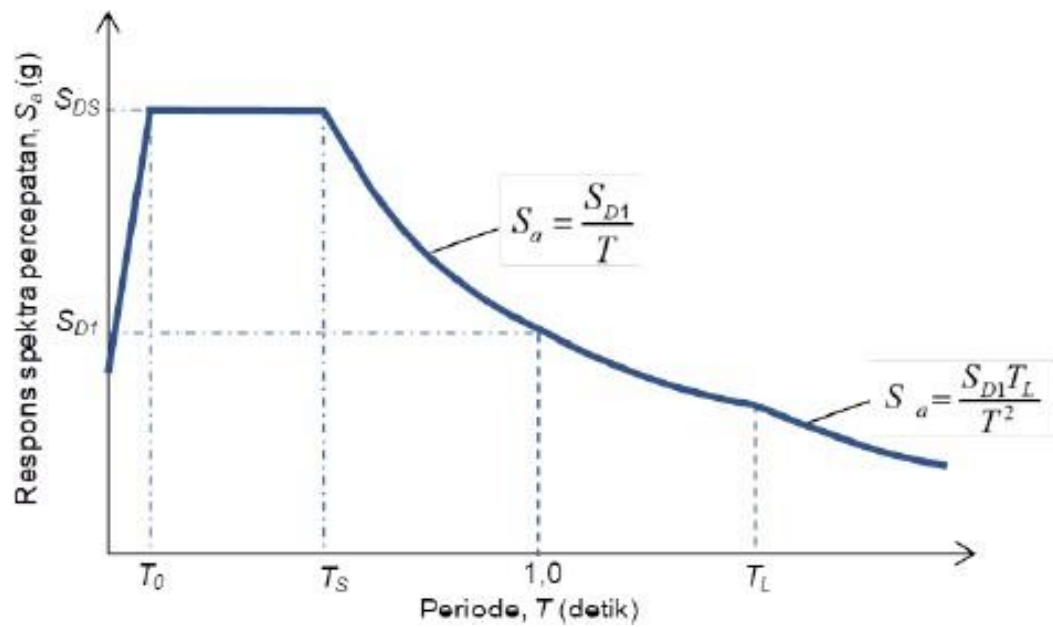
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

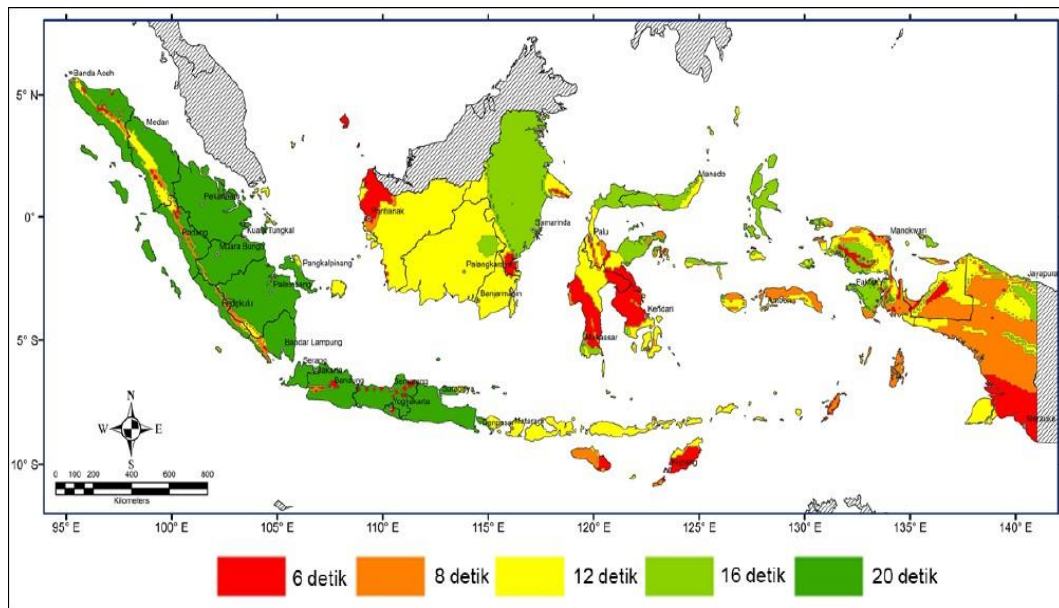
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

T_L = peta transisi periode panjang



Gambar 3.30 Spektrum Respon Desain

(Sumber: SNI 1726:2019 Gambar 3)



Gambar 3.31 Peta Transisi Periode Panjang TL, Wilayah Indonesia
(Sumber: SNI 1726:2019 Gambar 20)

3.4.9 Kategori Desain Seismik

Penentuan kategori desain seismik (KDS) pada SNI 1726:2019 ditentukan berdasarkan kategori risiko dan parameter respon spektral percepatan desain (SDS dan $SD1$). Penentuan kategori desain seismik dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan 3.8 berikut.

Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai SDS	Kategori Risiko	
	I dan II atau III	IV
$SDS < 0.167$	A	A
$0.167 \leq SDS < 0.33$	B	C
$0.33 \leq SDS < 0.50$	C	D
$0.50 \leq SDS$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 8)

Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai $SD1$	Kategori Risiko	
	I dan II atau III	IV
$SD1 < 0.067$	A	A
$0.067 \leq SD1 < 0.133$	B	C
$0.133 \leq SD1 < 0.20$	C	D
$0.20 \leq SD1$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 9)

3.4.10 Struktur Rangka Pemikul Momen

Rangka pemikul momen adalah sistem rangka ruang dimana komponen struktur dan sambungan-sambungannya menahan semua gaya yang bekerja melalui aksi lentur geser dan aksial. Sistem ini terdiri dari tiga jenis, yaitu SRPMK, SRPMM dan SRPMB.

Penguat gaya gempa lateral dan vertikal harus dipilih berdasarkan KDS serta ketinggian struktur, kemudian direncanakan dan didetailkan berdasarkan persyaratan yang berlaku setiap sistem penahan gempa yang dipilih. Koefisien modifikasi respon (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0) dan faktor pembesaran defleksi (C_d) menjadi penentu gaya geser dasar gaya elemen dan simpangan antar lantai pada desain. Penentuan sistem rangka pemikul momen dapat dilihat pada Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3.9 Faktor R , Ω_0 , dan C_d untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

No	Sistem Penahan Gaya Seismik	R	Ω_0	C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D	E	F
1.	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	$5 \frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB

Lanjutan Tabel 3.9 Faktor R, Ω_0 , dan Cd untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

2.	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
3.	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI

Keterangan:

TB = Tidak Dibatasi

TI = Tidak Diizinkan

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 12)

3.4.11 Periode Struktur

Penentuan periode fundamental struktur (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Sebagai alternatif dalam melakukan analisis dapat menggunakan periode fundamental pendekatan yang dihitung dengan persamaan (3.10) berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.10)$$

Keterangan:

h_n = ketinggian struktur dari dasar sampai tingkat tertinggi struktur

Untuk koefisien C_t dan x dapat dilihat pada tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		

Lanjutan Tabel 3.10 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Rangka baja pemikul momen	0.0724	0.8
Rangka beton pemikul momen	0.0466	0.9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0.0731	0.75
Rangka baja dengan bersing terkekang terhadap tekuk	0.0731	0.75
Semua sistem struktur lainnya	0.0488	0.75

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 18)

Periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi nilai T_{max} yang dihitung dengan persamaan (3.11) berikut:

$$T_{max} = C_u T_a \quad (3.11)$$

Untuk koefisien C_u dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3.11 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik (SD1)	C_u
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

(Sumber: SNI 1726:2019 Tabel 17)

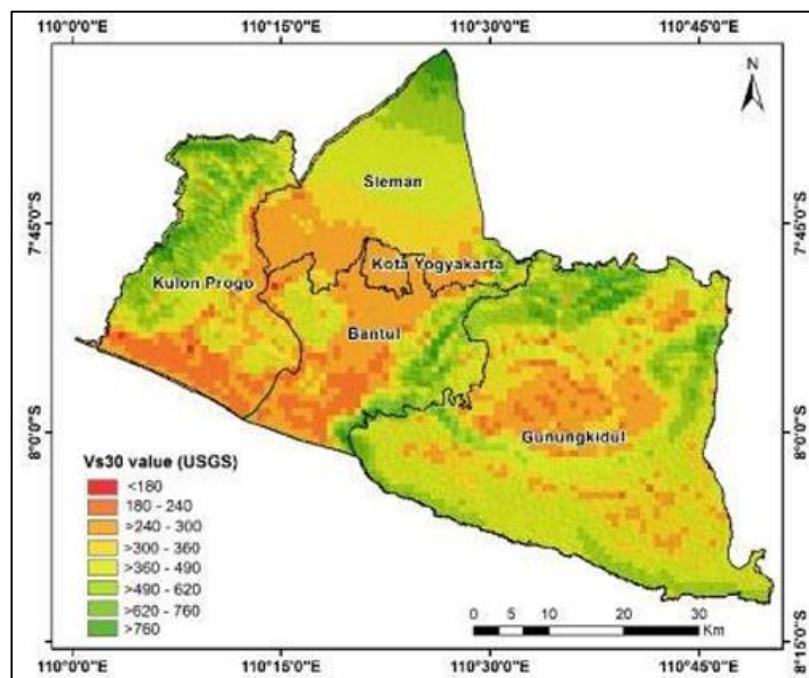
3.4.12 V_{s30}

V_{s30} sesuai namanya merupakan nilai yang merepresentasikan kecepatan gelombang geser rata-rata pada kedalaman 30 meter pertama dalam lapisan permukaan tanah. Karakterisasi suatu area atau wilayah tertentu dalam standar bahaya seismik pada umumnya didasarkan pada nilai kecepatan gelombang geser

(Vs) permukaan dangkal. Dengan kata lain nilai Vs30 dapat digunakan sebagai parameter dalam mengklasifikasikan area bahaya sesimik.

Vs30 merupakan nilai kecepatan gelombang geser (*shear wave*) hingga kedalaman 30 meter. Nilai Vs30 dapat dipergunakan untuk mendiskripsikan litologi permukaan. Data Vs30 dapat diperoleh dengan pengukuran *active seismic* seperti MSAW atau *passive seismic* dengan pengukuran mikroseismik. Data Vs30 dapat diperoleh dengan pendekatan model topografi seperti data Vs30 yang disediakan oleh USGS (Wibowo & Huda, 2020).

Data Vs30 suatu wilayah tertentu dapat divisualisasikan menjadi bentuk peta distribusi Vs30. Berikut adalah contoh peta distribusi Vs30 dapat dilihat pada gambar 3.32



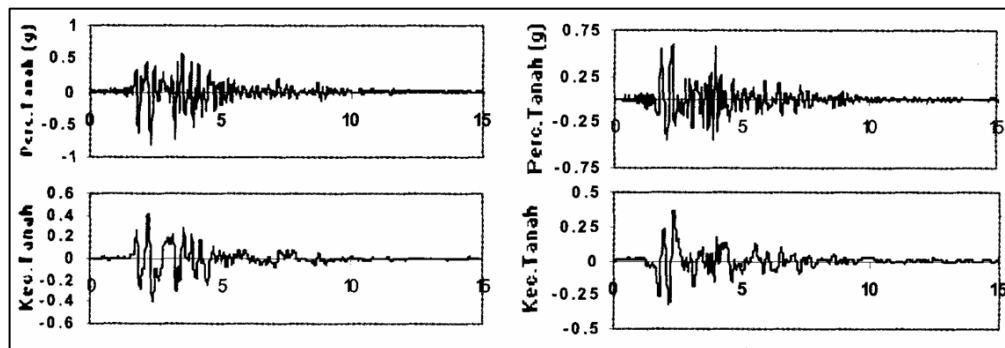
Gambar 3.32 Contoh Peta Vs30 Daerah Istimewa Yogyakarta
(Sumber : Wijayanto, et al., 2022)

3.4.13 Rekaman Gerak Tanah

Rekaman Gerak Tanah adalah data-data rekaman gelombang yang diakibatkan oleh adanya aktivitas gempa bumi. Data rekaman gempa direkam

dengan menggunakan bantuan alat salah satunya bernama Seismometer. Alat ini akan mencatat perubahan kecepatan atau percepatan getaran tanah selama aktivitas gempa terjadi.

Dalam bidang kebencanaan, data rekaman gempa berperan dalam mempelajari sifat-sifat gempa bumi seperti magnitudo, jarak pusat sumber gempa, karakteristik getaran untuk mengevaluasi potensi kerusakan yang mungkin terjadi akibat kejadian gempa bumi yang terjadi. Luaran atau bentuk data rekaman gempa pada umumnya berbentuk catatan grafis yang dihasilkan dari gelombang seismik yang biasa disebut Seismograf. Berikut adalah contoh rekaman gempa bumi yang pernah terjadi di Kobe, Jepang tahun 1995, dapat dilihat pada Gambar 3.33.



Gambar 3.33 Contoh Peta Vs30 Daerah Istimewa Yogyakarta

(Sumber : Pawirodikromo, 2012)

Ketentuan mengenai pemilihan rekaman dan modifikasi gerak tanah (*ground motion*) mengacu pada SNI 1726:2019. Menurut SNI 1726:2019, Pasal 7.9.2 terkait analisis riwayat waktu linear, riwayat percepatan tanah yang digunakan untuk analisis terdiri tidak kurang dari tiga pasang komponen ortogonal yang telah dicocokkan secara spektral (*spectrally matched*) yang diturunkan dari rekaman gerak tanah atau gerak tanah tiruan. Menurut SNI 1726:2019, Pasal 7.9.3.1, pencocokan spektral dilakukan dalam rentang $0,8 T_{lower}$ sampai dengan $1,2 T_{upper}$.

Dalam rentang periode tersebut, nilai rata-rata dari percepatan semu (*pseudo acceleration*) dengan redaman 5% yang dihitung dengan rekaman yang sudah

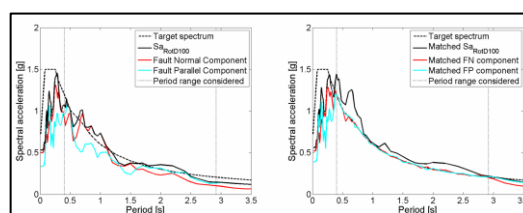
dicocokkan secara spektral tidak boleh kurang atau lebih dari 10% spektrum respons target.

3.4.14 Pencocokan secara Spektral (*Spectral Matching*)

Dalam bidang teknik sipil, pencocokan spektral merupakan proses untuk membandingkan dua atau lebih respons spektral dari kejadian gempa bumi yang dihasilkan oleh pemodelan gempa yang berbeda atau rekaman gempa asli dengan struktur bangunan atau struktur lainnya. Tujuan dari proses pencocokan secara spektral adalah untuk mengevaluasi seberapa baik suatu struktur dapat bertahan atau menerima beban gempa.

Pencocokan spektral dalam analisis struktur bangunan tahan gempa lebih sering digunakan pada analisis dengan menggunakan metode *Time History Analysis* atau Analisis Riwayat Waktu. Pada analisis ini, model struktur yang sudah dilakukan pemodelan nantinya akan dikenakan rekaman gempa yang sudah dilakukan pencocokan secara spektral dengan data respon spektrum wilayah dimana gedung tersebut berdiri. Dalam analisis ini, respons spektral struktur yang merupakan fungsi dari percepatan, kecepatan, atau deformasi struktur terhadap waktu, akan dibandingkan dengan rekaman-rekaman gempa untuk memperkirakan bagaimana struktur tersebut akan merespon gempa sebenarnya.

Menurut SNI 1726:2019, Pasal 7.9.2.3.1, dalam rentang periode pencocokan nilai rata-rata dari percepatan semu (*pseudo acceleration*) dengan redaman 5% yang dihitung dengan rekaman yang sudah dicocokkan secara spektral tidak boleh kurang atau lebih dari 10% spektrum target. Berikut adalah contoh proses pencocokan spektral dapat dilihat pada Gambar 3.34.



Gambar 3.34 Hasil Pencocokan Secara Spektral

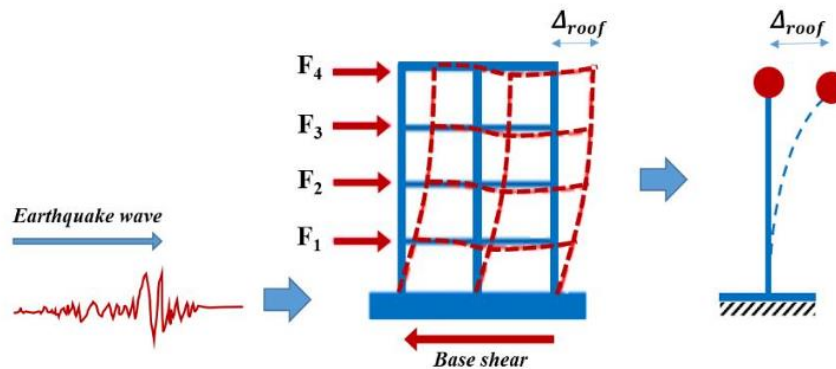
(Sumber : Baker, et al., 2015)

3.5 Perilaku Struktur

3.5.1 Perilaku Struktur

Perilaku struktur merupakan respons dan reaksi suatu konstruksi terhadap beban eksternal yang bekerja padanya. Hal ini mencakup kemampuan struktur untuk merespon gaya, momen, dan gaya geser yang mungkin dihasilkan oleh berbagai kondisi seperti gempa bumi, angin, atau beban hidup dan beban mati struktur tersebut. Analisis perilaku struktur bertujuan untuk memahami bagaimana elemen-elemen penyusun suatu struktur, seperti balok, kolom, dan dinding, akan berperilaku di bawah pengaruh beban eksternal tertentu seperti beban gempa. Faktor-faktor seperti kekakuan, kekuatan, dan deformabilitas dari komponen struktural menjadi salah satu parameter penting dalam melakukan perancangan struktur yang dapat mempertahankan kekokohannya dan melindungi penghuninya dari risiko kerusakan akibat beban eksternal yang mungkin timbul. Analisis perilaku struktur bertujuan untuk memahami bagaimana struktur akan bereaksi terhadap beban yang bekerja padanya. Misalnya, dalam bangunan bertingkat tinggi, penambahan struktur dinding geser (*shearwall*) bertujuan untuk menambah kekakuan struktur dan menyerap gaya geser yang besar seiring dengan bertambahnya ketinggian struktur.

Pada bangunan gedung bertingkat banyak, kekuatan struktur atas akan terletak pada jenis, penempatan, ukuran dan bahan dari struktur utama. Oleh karena itu struktur utama harus benar-benar diketahui sifat perilakunya. Perilaku yang harus diketahui adalah perilaku goyangan horizontal terutama oleh beban gempa (Pawirodikromo, 2012). Berikut adalah contoh ilustrasi perilaku struktur akibat adanya beban eksternal yang mengenai struktur secara horizontal akibat beban gempa, ilustrasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.35.



Gambar 3.35 Ilustrasi Perilaku Struktur Terhadap Beban Eksternal arah Lateral

(Sumber : Muntafi dkk, 2023)

3.5.2 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Dalam melakukan kontrol gaya geser seismik, dilakukan penentuan periode getar pendek yang menggunakan perhitungan periode fundamental pendekatan (T_a) dan periode fundamental batas atas (T_{maks}) dengan persamaan (3.12) dan (3.13) berikut ini:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.12)$$

$$T_{max} = C_u T_a \quad (3.13)$$

Keterangan

h_n = ketinggian struktur dari dasar sampai tingkat tertinggi

C_u = koefisien periode batas yang ditentukan dari Tabel 3.11

C_t dan x = koefisien parameter pendekatan yang ditentukan dari Tabel

3.10

Selanjutnya dalam menghitung periode getar pendek dapat juga menggunakan analisis komputer (T_{comp}). Kemudian dilakukan penentuan periode getar pendek dengan syarat:

1. Jika $T_{comp} > T_{maks}$, maka menggunakan T_{maks}
2. Jika $T_a < T_{comp} < T_{maks}$, maka menggunakan T_{comp}
3. Jika $T_{comp} < T_a$, maka menggunakan T_a

Setelah mendapatkan nilai T , kemudian melakukan penentuan koefisien respons seismik dengan menggunakan persamaan (3.14), (3.15), (3.16), dan (3.17) berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.14)$$

Persamaan untuk batasan maksimal nilai koefisien respon seismik, berdasarkan SNI 1726:2019 persamaan 32, nilai C_s yang dihitung sesuai persamaan 31 tidak perlu melebihi persamaan berikut

Untuk $T \leq T_L$

$$C_{smax} = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.15)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_{smax} = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.16)$$

Persamaan untuk batasan minimum nilai koefisien respon seismik, berdasarkan persamaan 34 nilai C_s harus tidak kurang dari persamaan 3.5. Sedangkan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g, maka C_s harus tidak kurang dari persamaan berikut

$$C_{smin2} = \frac{0.5 S_1}{\frac{R}{I_e}} \quad (3.17)$$

Keterangan:

S_1 = parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek

S_{D1} = parameter percepatan respon spektral desain dalam rentang periode 1 detik

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

T = periode fundamental struktur

Dalam penentuan koefisien geser pakai (C_s pakai) menggunakan syarat-syarat berikut:

1. Jika $C_s < C_{smin}$, ambil C_{smin}
2. Jika $C_s > C_{smax}$, ambil C_{smax}
3. Jika $C_s < C_{smin}$, namun $C_{smin} > C_{smax}$, ambil C_{smax}

Kemudian dilakukan perhitungan gaya geser seismik (V) dengan menggunakan persamaan 3.18 berikut:

$$V = C_s \times W \quad (3.18)$$

Keterangan:

C_s = koefisien geser

W = berat seismik efektif

Dalam analisis struktur dinamik riwayat waktu telah diatur dalam SNI 1726:2019, pada Pasal 7.9.2.5.3, untuk tiap arah respons dan tiap gerak tanah yang dianalisis, respons gaya yang dikombinasi harus ditentukan sebagai berikut.

1. Respons gaya yang dikombinasi dalam arah x harus ditentukan sebagai $I_e \eta_X / R_X$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah x yang dihitung dengan model matematis dengan mempertimbangkan pengaruh torsi tak terduga (jika diperlukan) ditambah $I_e \eta_Y / R_Y$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah y yang dihitung dengan model matematis tanpa mempertimbangkan pengaruh torsi tak terduga.
2. Respons gaya yang dikombinasi dalam arah y harus ditentukan sebagai $I_e \eta_Y / R_Y$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah y yang dihitung dengan model matematis dengan mempertimbangkan pengaruh torsi tak terduga

(jika diperlukan) ditambah $I_e \eta_x / R_x$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah x yang dihitung dengan model matematis tanpa mempertimbangkan pengaruh torsi tak terduga.

3.5.3 Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019 pada Pasal 7.8.3, gaya seismik lateral (F_x) di suatu tingkat harus ditentukan dari persamaan 3.19 dan 3.20 berikut.

$$F_x = C_{VX} V \quad (3.19)$$

dan

$$C_{VX} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.20)$$

Keterangan:

C_{VX} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkai i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

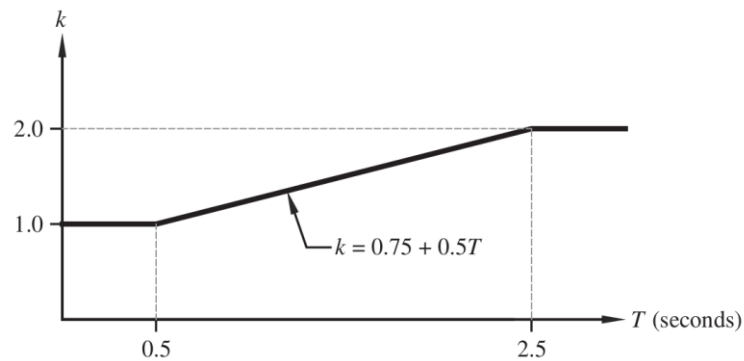
k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$

untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$

untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2

Penentuan nilai eskponen k pada ASCE/SEI 7-16 diatur pada grafik C12.8.4 yang dapat dilihat pada Gambar 3.36 berikut.



Gambar 3.36 Grafik Hubungan Nilai k dengan Periode (T)

(Sumber : ASCE/SEI 7-16, 2017)

3.5.4 Simpangan (*Displacement*)

Displacement atau simpangan merupakan perubahan posisi atau elemen-elemen struktural dari posisi awalnya. Nilai *Displacement* merupakan faktor yang penting untuk dievaluasi pada analisis struktur bangunan gedung, terutama saat bangunan gedung menerima beban-beban eksternal seperti beban gempa dan beban angin. Salah satu *displacement* atau simpangan yang dapat diamati pada suatu bangunan adalah *displacement* lateral. *Displacement* lateral dalam analisis struktur merupakan perpindahan elemen-elemen struktur dalam arah horizontal atau lateral. Simpangan tipe ini mengukur berapa besaran elemen struktur bergeser atau bergoyang secara horizontal dari posisi keseimbangan atau posisi awalnya. Beban eksternal yang sering terlibat atau menyebabkan perilaku ini salah satunya adalah beban gempa.

Dalam analisis struktur dinamik riwayat waktu penentuan respons perpindahan yang dikombinasi telah diatur dalam SNI 1726:2019, pada Pasal 7.9.2.5.4, faktor pembesaran defleksi, C_{dx} dan C_{dy} harus diberikan pada arah x dan arah y. Untuk tiap arah respons dan tiap gerak tanah yang dianalisis, respons defleksi yang dikombinasi harus ditentukan sebagai berikut.

1. Respons perpindahan yang dikombinasi dalam arah x harus ditentukan sebagai $\eta_X C_{dx} / R_X$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah x yang dihitung dengan model matematis dengan mempertimbangkan pengaruh

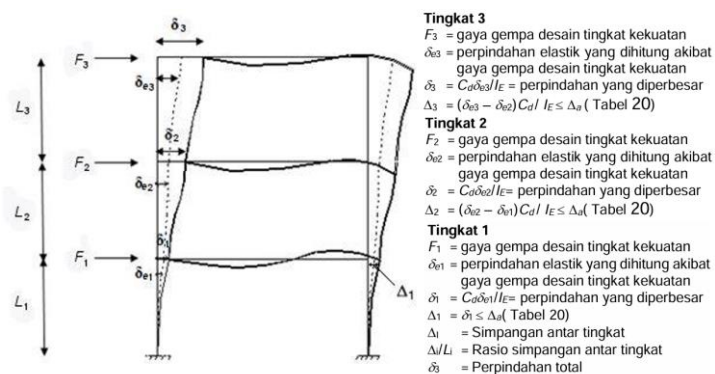
torsi tak terduga (jika diperlukan) ditambah $\eta_Y C_{dY} / R_Y$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah y yang dihitung dengan model matematis tanpa mempertimbangkan pengaruh torsi tak terduga.

2. Respons perpindahan yang dikombinasi dalam arah y harus ditentukan sebagai $\eta_Y C_{dY} / R_Y$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah y yang dihitung dengan model matematis dengan mempertimbangkan pengaruh torsi tak terduga (jika diperlukan) ditambah $\eta_X C_{dX} / R_X$ dikalikan dengan respons elastik dalam arah x yang dihitung dengan model matematis tanpa mempertimbangkan pengaruh torsi tak terduga.

Pengecualian apabila gaya geser dasar desain pada satu arah tertentu tidak ditentukan oleh persamaan 3.5.

3.5.5 Simpangan Antar Tingkat (*Drift Ratio*)

Menurut SNI 1726 : 2019, penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan dalam pasal 7.8 tanpa reduksi untuk desain tegangan izin. Berikut ilustrasi penentuan simpangan antar tingkat pada SNI 1726 : 2019 dapat dilihat pada Gambar 3.37.



Gambar 3.37 Penentuan simpangan antar tingkat

(Sumber : SNI 1726, 2019)

Bagi struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b pada Tabel 13, simpangan antar tingkat desain, Δ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau.

Simpangan pusat massa di tingkat-x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan 3.21 berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.21)$$

Keterangan :

C_d : faktor pembesaran simpangan lateral dalam Tabel 12

δ_{xe} : simpangan di tingkat-x yang disyaratkan, yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e : faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Tabel 3

Sedangkan rumus simpangan antar tingkat dapat menggunakan persamaan 3.22 berikut.

$$\Delta = \frac{(\delta_{e,i} - \delta_{e,i-1})}{I_e} C_d < \Delta_a \quad (3.22)$$

Keterangan :

Δ : simpangan antar tingkat

Δ_a : simpangan antar tingkat izin

$\delta_{e,i}$: simpangan di tingkat-x yang disyaratkan, yang ditentukan dengan analisis elastik ataupun inelastik

I_e : faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Tabel 3

C_d : faktor pembesaran simpangan lateral dalam Tabel 12

Untuk nilai simpangan antar tingkat izin (Δ_a) dapat dilihat pada Tabel 3.12 berikut.

Tabel 3.12 Simpangan Antar Tingkat Izin

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua Struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

CATATAN

^a h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat - x

^bUntuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik, D, E, dan F, simpangan antar tingkat izin harus sesuai dengan persyaratan pada pasal 7.12.1.1

^cTidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam pasal 7.12.3 tidak diabaikan

^dStruktur dimana sistem struktur terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen diantara dinding geser (kopel) dapat diabaikan

(Sumber : SNI 1726, 2019)

Dalam SNI 1726, Pasal 7.12.1.1 mengenai rangka pemikul momen pada struktur yang didesain untuk kategori desain seismik D sampai F diatur bahwa simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi $\Delta_a \rho$ untuk semua tingkat, dimana nilai ρ ditentukan berdasarkan pasal 7.3.4.

Faktor redundansi, ρ , harus diaplikasikan pada kedua arah ortogonal untuk semua sistem struktur pemikul gaya seismik sesuai ketentuan-ketentuan berikut.

1. Kondisi dimana nilai ρ adalah 1,0

Nilai ρ diizinkan sama dengan 1,0 untuk hal-hal berikut.

- a. Desain struktur untuk kategori desain seismik B atau C;
- b. Perhitungan simpangan antar tingkat dan pengaruh P-Delta;
- c. Desain komponen non struktural;

- d. Desain struktur non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung;
 - e. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungan, yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban sesmik termasuk faktor kuat lebih;
 - f. Desain elemen struktur atau sambungan yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih;
 - g. Beban diafragma yang ditentukan menggunakan persamaan 51 pada SNI 1726:2019, termasuk batasan yang disyaratkan oleh persamaan 52 dan persamaan 53 pada aturan yang sama;
 - h. Desain struktur dengan sistem peredam;
 - i. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.
2. Faktor redundansi, ρ , untuk kategori desain seismik D sampai F

Untuk struktur dengan kategori desain seismik D yang memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan sesuai Tabel 13 SNI 1726.2019, Tipe 1b, ρ harus sebesar 1,3. Kategori seismik desain E dan F tidak diizinkan memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan. Untuk struktur yang tidak memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan dengan kategori desain seismik D, E, atau F, ρ harus sebesar 1,3, kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, dimana ρ diizinkan diambil sebesar 1,0.

- a. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan Tabel 3.12 di bawah
- b. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem pemikul gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter pemikul gaya seismik yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali

panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat h_{sx} , untuk konstruksi rangka ringan.

Berikut adalah persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar dapat dilihat pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Persyaratan Untuk Masing-masing Tingkat yang Menahan Lebih dari 35% Gaya Geser Dasar

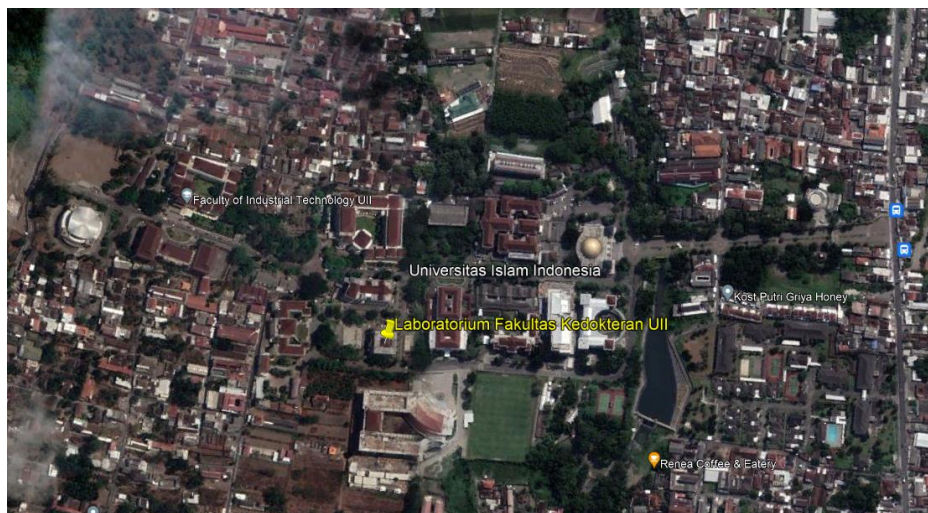
Elemen pemikul gaya lateral	Persyaratan
Rangka dengan bresing	Penghilangan suatu bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).
Rangka pemikul momen	Kehilangan tahanan momen di sambungan balok-kolom di kedua ujung suatu balok tunggal tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33% dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b)
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0	Penghilangan suatu dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0 di sebarang tingkat, atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33% dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan horizontal Tipe 1b)
Kolom kantilever	Kehilangan tahanan momen di sambungan dasar pada sebarang kolom kantilever tunggal tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33% dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).
Lainnya	Tidak ada persyaratan

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia (Laboratorium FK UII) yang dianalisis pada tugas akhir ini terletak di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km. 14,5, Krawitan, Umbulmartani, Kecamatan Ngemplak, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi bangunan gedung dapat dilihat melalui citra satelit pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



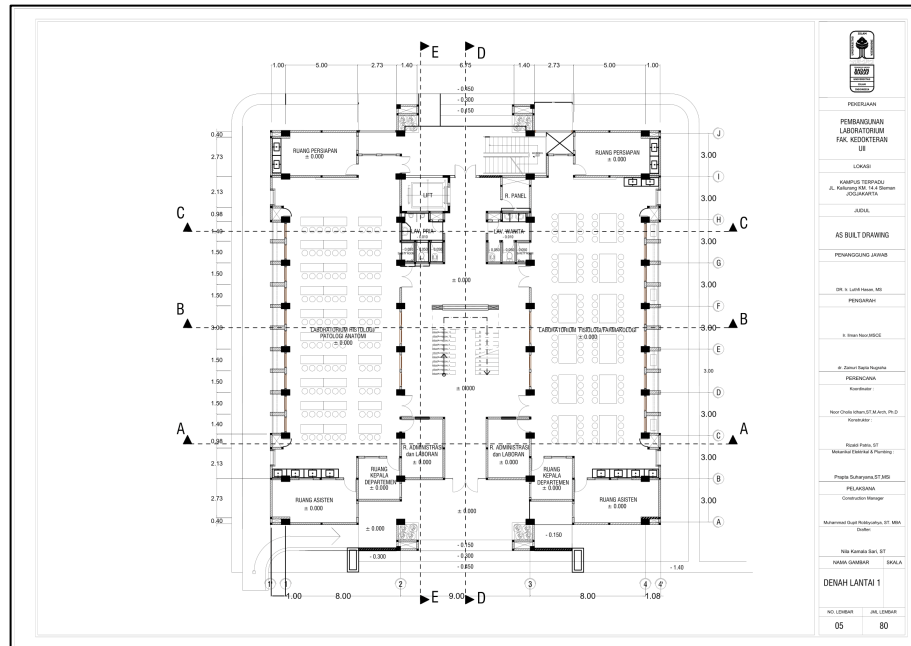
Gambar 4.1 Citra Satelit Lokasi Penelitian

(Sumber : Google Earth Pro, 2024)

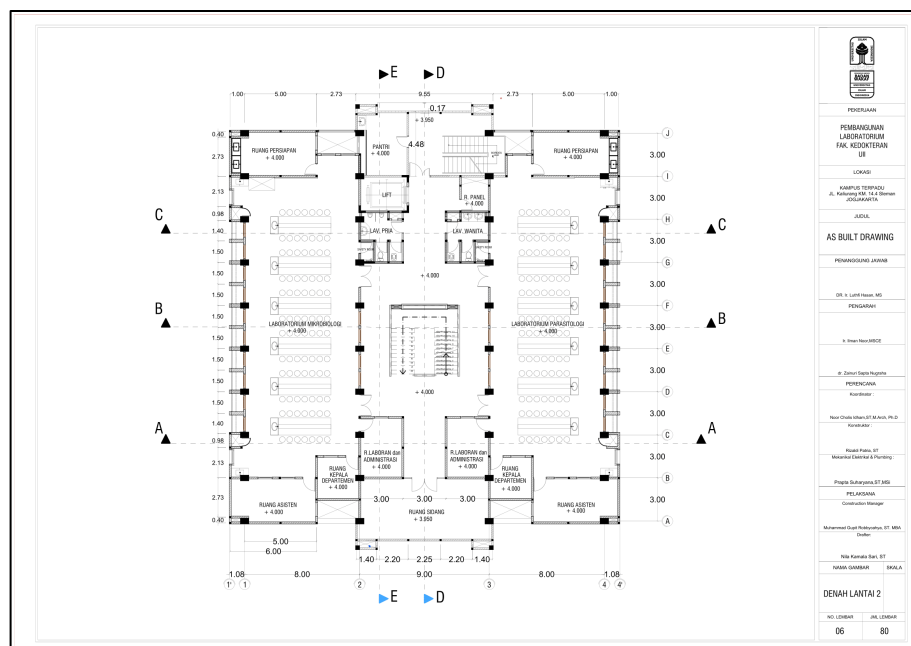
4.2 Data Struktur

4.1.1 Denah, Potongan, dan Tampak Bangunan

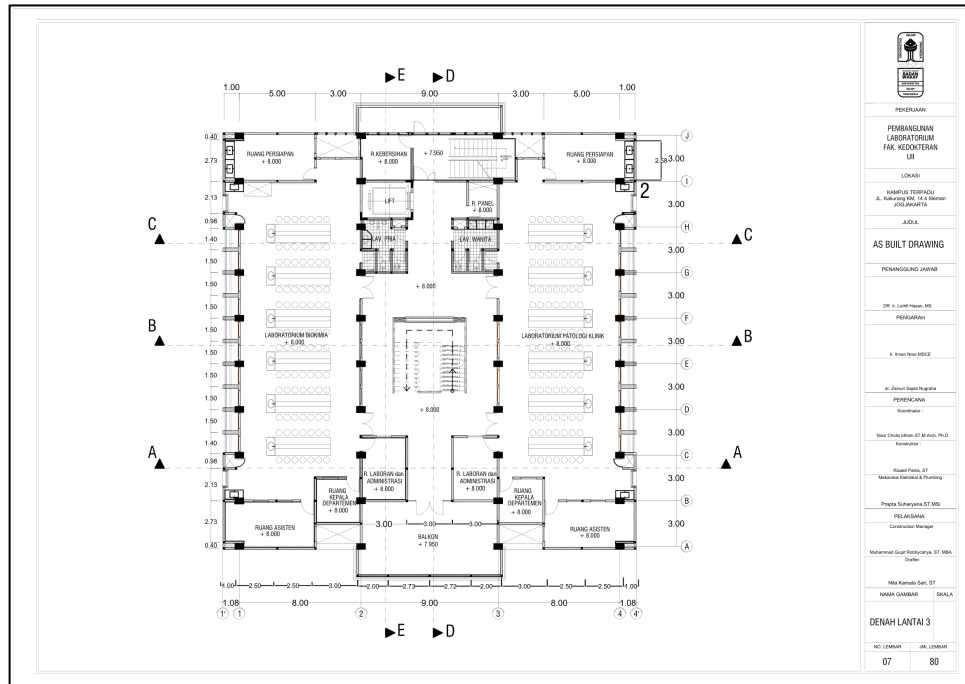
Dalam penelitian yang dilakukan, gedung yang digunakan adalah gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII (Laboratorium FK UII) yang memiliki luas bangunan seluas 716 m², tinggi 29,6 m (pada ujung *Lightning Rod*), dan tinggi 22,05 m (pada elemen struktur bagian teratas). Denah bangunan gedung dapat dilihat pada Gambar 4.2 hingga Gambar 4.6 sebagai berikut.



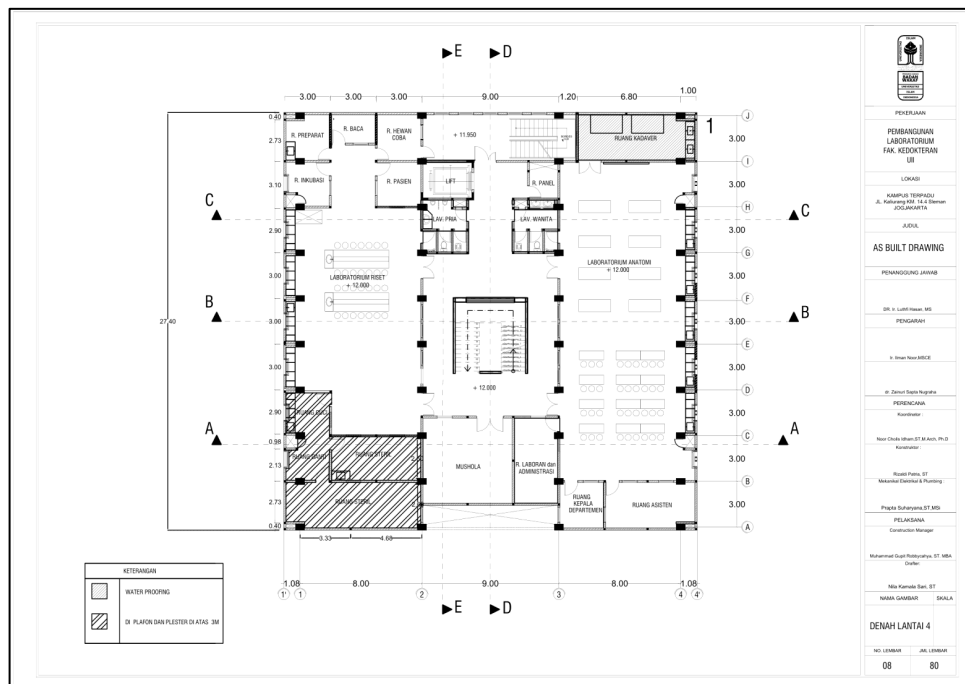
Gambar 4.2 Denah Lantai 1 Laboratorium FK UII
(Sumber : Pengelola Fasilitas Kampus UII., 2022)



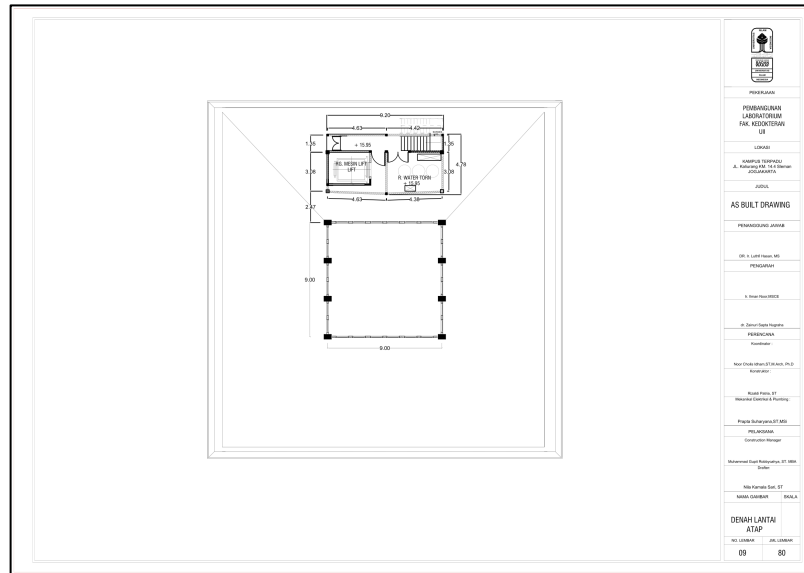
Gambar 4.3 Denah Lantai 2 Laboratorium FK UII
(Sumber : Pengelola Fasilitas Kampus UII., 2022)



Gambar 4.4 Denah Lantai 3 Laboratorium FK UII
(Sumber : Pengelola Fasilitas Kampus UII., 2022)

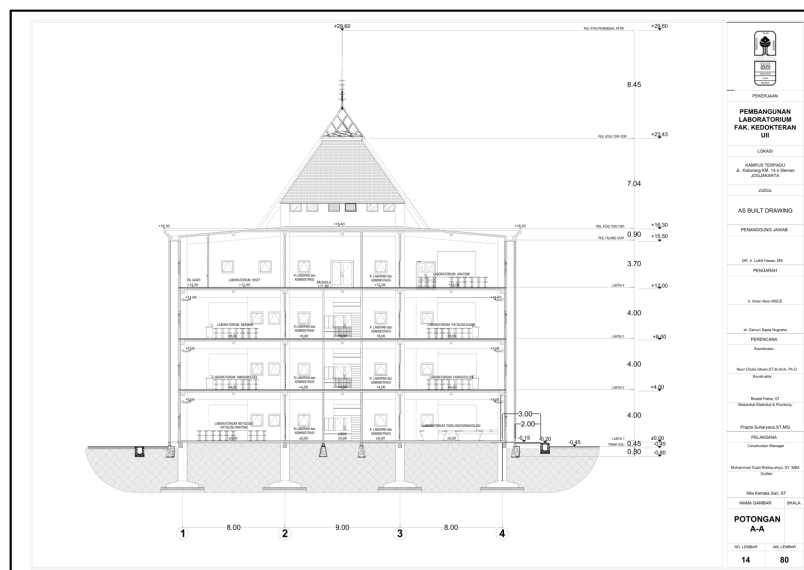


Gambar 4.5 Denah Lantai 4 Laboratorium FK UII
(Sumber : Pengelola Fasilitas Kampus UII., 2022)



Gambar 4.6 Denah Lantai Atap Laboratorium FK UII
(Sumber : Pengelola Fasilitas Kampus UII, 2022)

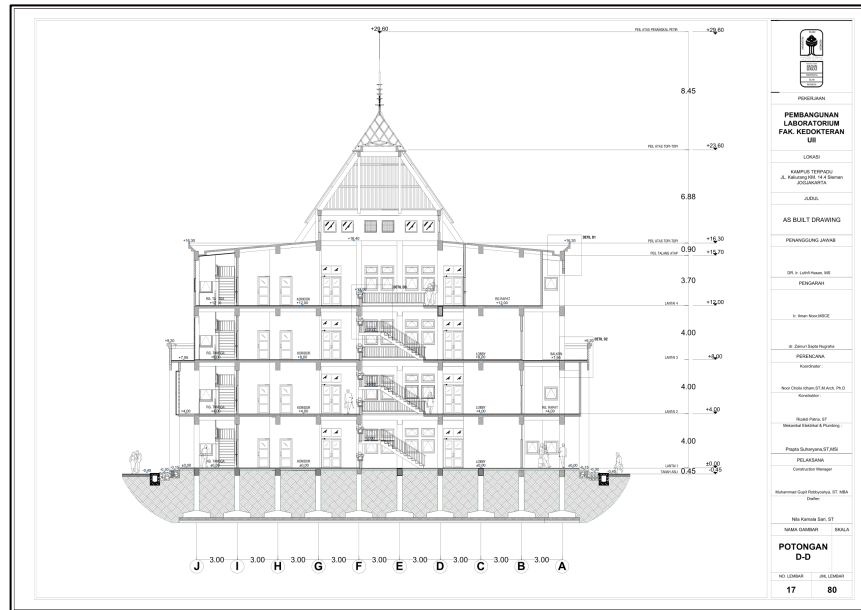
Gambar potongan A-A, Gambar Potongan B-B, Gambar Potongan C-C, Gambar Potongan D-D, dan Gambar Potongan E-E dapat dilihat pada Gambar 4.7 hingga Gambar 4.11 berikut.



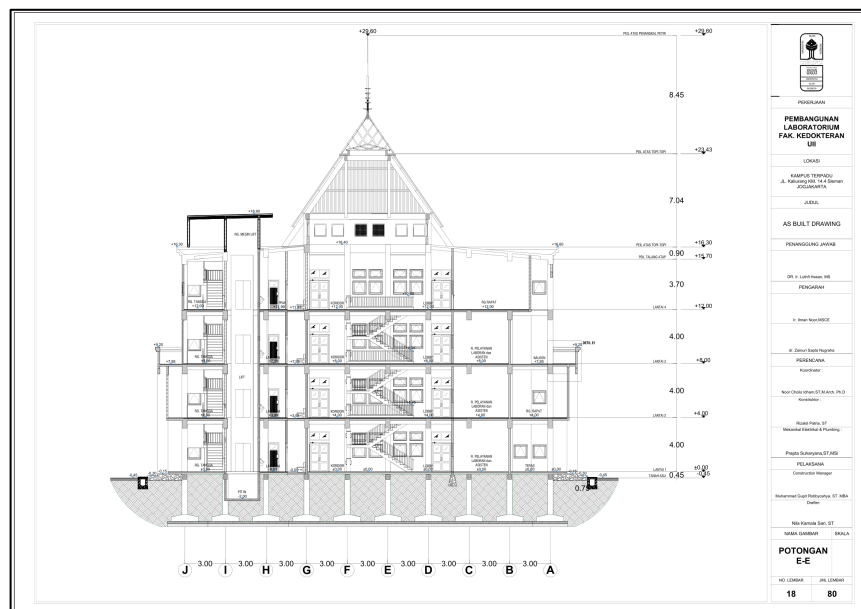
Gambar 4.7 Gambar Potongan A-A
(Sumber : Pengelola Fasilitas Kampus UII, 2022)

[illegible]

Gambar 4.9 Gambar Potongan C-C
(Sumber : Pengelola Fasilitas Kampus UII, 2022)

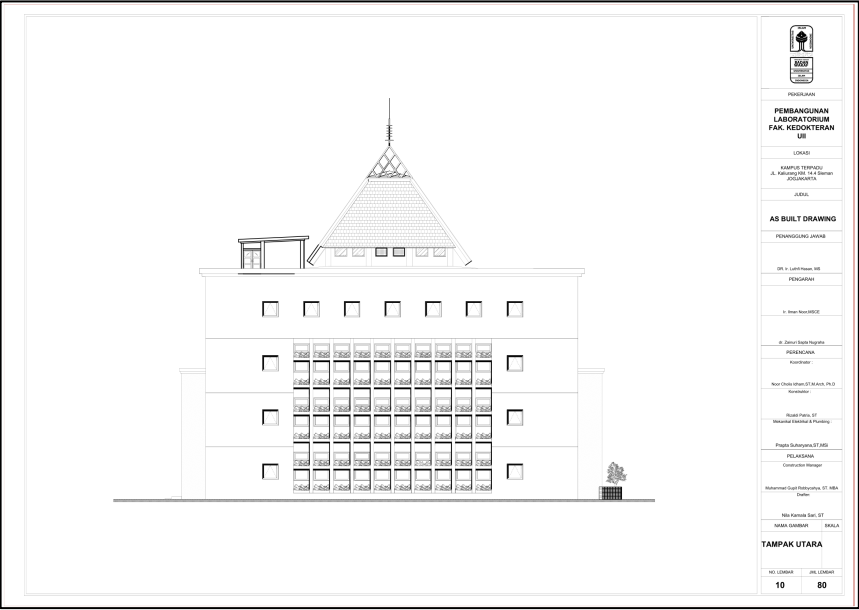


Gambar 4.10 Gambar Potongan D-D
(Sumber : Pengelola Fasilitas Kampus UII., 2022)

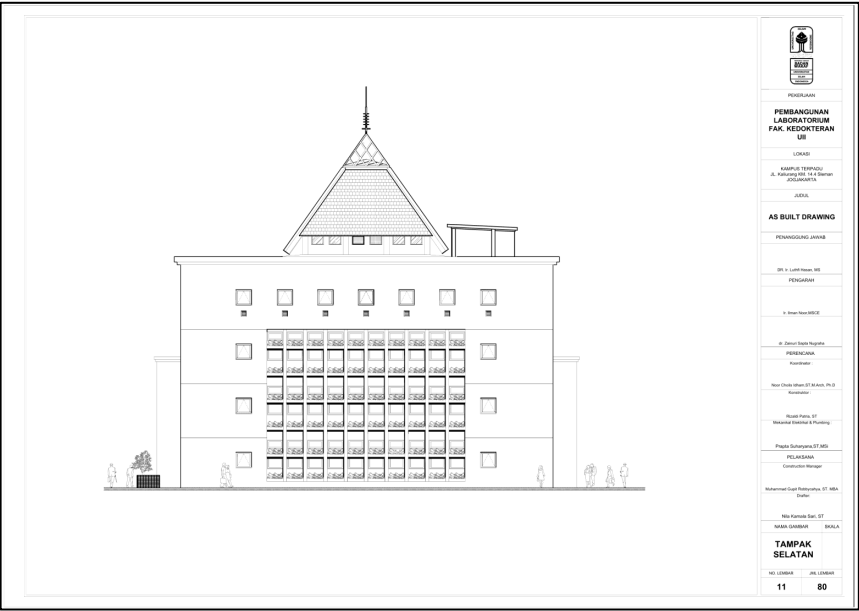


Gambar 4.11 Gambar Potongan E-E
(Sumber : Pengelola Fasilitas Kampus UII., 2022)

Gambar Tampak Utara, Gambar Tampak Selatan, Gambar Tampak Timur, Gambar Tampak Barat dapat dilihat pada Gambar 4.12 hingga Gambar 4.15 berikut.



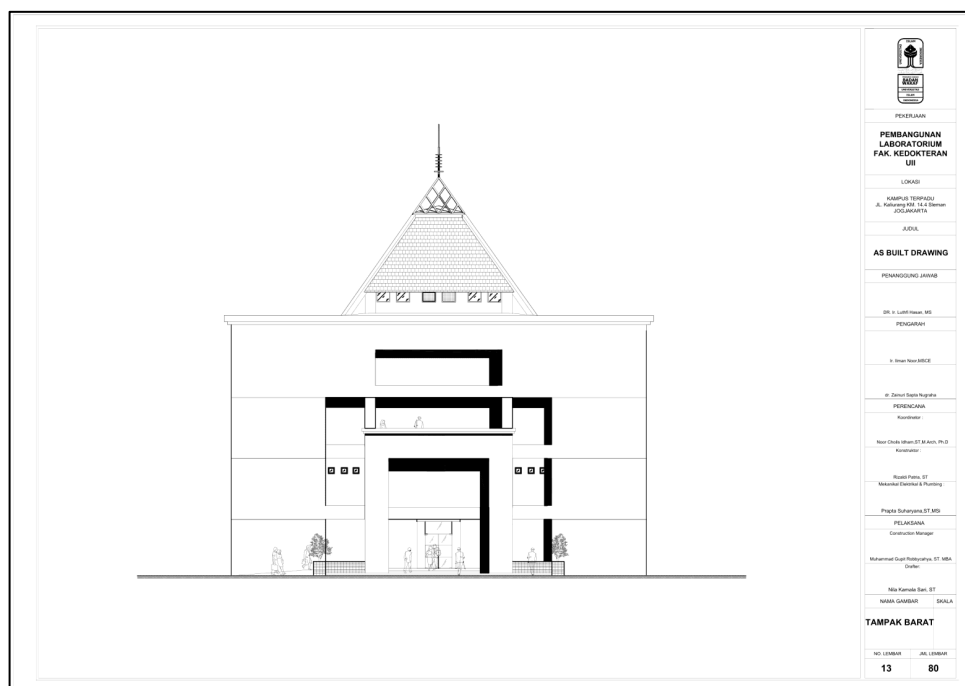
Gambar 4.12 Gambar Tampak Utara
(Sumber : Pengelola Fasilitas Kampus UII., 2022)



Gambar 4.13 Gambar Tampak Selatan
(Sumber : Pengelola Fasilitas Kampus UII., 2022)



Gambar 4.14 Gambar Tampak Timur
 (Sumber : Pengelola Fasilitas Kampus UII., 2022)



Gambar 4.15 Gambar Tampak Barat
 (Sumber : Pengelola Fasilitas Kampus UII., 2022)

4.1.2 Mutu Material

Mutu beton yang digunakan pada bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII adalah mutu beton $f'c$ 20 MPa. Sedangkan untuk baja tulangan yang digunakan terdiri dari baja tulangan ulir (*deform*) dan baja tulangan polos. Mutu baja tulangan ulir yang digunakan adalah $f_y = 400$ MPa dan untuk mutu baja tulangan polo $f_y = 200$ MPa. Nilai modulus elastisitas baja yang digunakan diasumsikan sebesar $E_s = 200.000$ MPa

4.1.3 Data Gedung

Data bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII adalah sebagai berikut.

1. Fungsi Gedung

Laboratorium Fakultas Kedokteran UII merupakan bangunan yang difungsikan menjadi pusat kegiatan praktikum dan penelitian mahasiswa/i dan civitas akademika UII. Laboratorium ini berlokasi di kampus terpadu UII. Gedung ini juga menjadi tempat bagi peneliti yang ingin memanfaatkan alat yang disediakan di laboratorium. Laboratorium Fakultas Kedokteran UII memiliki beberapa fasilitas yang dapat digunakan oleh mahasiswa maupun peneliti meliputi bidang anatomi, histologi, mikrobiologi, dan bidang kedokteran lainnya. Oleh karena itu, gedung ini dikategorikan sebagai Gedung Universitas menurut kegunaan dan lokasinya yang berada dalam lingkup kampus terpadu Universitas Islam Indonesia.

2. Sistem Struktur

Sistem struktur yang diterapkan pada bangunan ini diasumsikan sebagai sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

3. Kondisi Tanah

Kondisi tanah pada bangunan gedung ditetapkan sebagai tanah dengan kelas situs SC (Tanah Keras) pada setiap zonasi, menyesuaikan jenis tanah pada wilayah bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedoktean UII.

4. Dimensi Struktur

a. Dimensi Pelat

Berikut adalah dimensi pelat yang digunakan pada bangunan ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Dimensi Pelat

Kode Pelat	Tebal (mm)
P1	120
P2	120
P3	120
P4	120
P5	120
P6	100
P7	100

b. Dimensi Balok

Berikut adalah dimensi balok yang digunakan pada bangunan ini dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Dimensi Balok

Kode Balok	H (mm)	B (mm)
B1	350	700
B2	250	350
B3	150	200
B4	150	450
B5	150	450
B2A	150	250
B2B	250	700
B2C	250	350
B2-2	250	350
BL	150	350
BB	200	350
BM1	350	700
BM2	250	350
BM3	350	700

Lanjutan Tabel 4.2 Dimensi Balok

BM4	350	700
BM5	150	700
B6 - 1	150	250
B6 - 2	150	250
BS	350	700

c. Dimensi Kolom

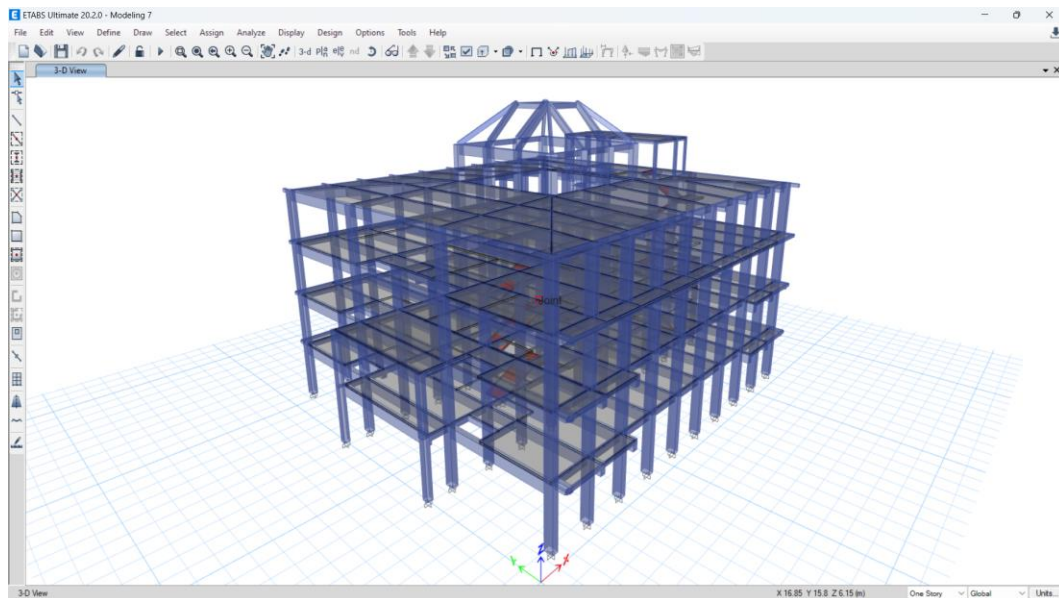
Berikut adalah dimensi kolom yang digunakan pada bangunan ini dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Dimensi Kolom

Kode Kolom	B (mm)	H (mm)
K1	400	600
K2	400	600
K3	400	400
K4	400	200
K5	400	400
K6	200	200
KL	500	150
KT	375	400
K1-U	400	600
KM	200	350
KP	150	150

4.1.4 Pemodelan Etabs

Data bangunan gedung yang telah didapatkan seperti yang sudah dijabarkan di atas selanjutnya dimodelkan ke dalam software ETABS *student version* 20.2.0. Hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.16 berikut



Gambar 4.16 Pemodelan Bangunan pada ETABS

4.3 Alat Bantu Penelitian

Alat bantu penelitian yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Microsoft Excel

Microsoft Excel merupakan perangkat lunak yang sering digunakan akademisi maupun praktisi untuk mengelola, menganalisis, dan menyajikan data dalam bentuk tabel, grafik, dan dalam format lain.

2. Perangkat Lunak ETABS *student version 20.2.0*

Program ETABS merupakan program untuk menganalisis struktur bangunan. Banyak program yang bisa digunakan untuk menganalisis struktur bangunan, ETABS merupakan program yang sangat cocok untuk menganalisis struktur, terutama untuk bangunan-bangunan tinggi (*High Rise Building*), mengingat saat ini kepadatan penduduk perkotaan semakin tinggi sehingga mau tidak mau harus memaksa tata kota harus membuat bangunan-bangunan tinggi untuk kebutuhan tempat tinggal maupun fungsi-fungsi lainnya seperti perkantoran, rumah sakit, dan lain-lain (Andrianto, 2007).

3. Perangkat Lunak QGIS versi 3.34.1

QGIS atau *Quantum Geographic Information System* merupakan salah satu perangkat lunak yang merealisasikan sistem GIS tersebut secara gratis yang mendukung Windows, macOS, dan Linux. QGIS memungkinkan penggunaanya untuk menganalisis dan mengedit informasi spasial, serta membuat dan mengeksport peta grafis. QGIS mendukung lapisan raster, vektor, dan mesh, serta berbagai format data seperti shapefiles, personal geodatabases, dxf, MapInfo, PostGIS, dan format standar industri lainnya. QGIS juga mendukung layanan web seperti *Web Map Service* dan *Web Feature Service*. QGIS memiliki kemampuan untuk memvisualisasikan data menggunakan peta, grafik, dan diagram, serta memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan presentasi dengan berbagai pilihan simbologi

4. Website PEER Ground Motion Database

Website PEER *Ground Motion Database* adalah suatu platform online yang menyediakan akses ke kumpulan data pergerakan tanah gempa bumi (*ground motion*) yang dikumpulkan oleh *Pacific Earthquake Engineering Research Center* (PEER). PEER adalah organisasi penelitian yang fokus pada rekayasa gempa bumi, dan database ini merupakan inisiatif mereka untuk menyimpan, memelihara, dan menyediakan data pergerakan tanah yang diperoleh dari berbagai sumber, termasuk pengukuran langsung dan simulasi komputer.

5. Website USGS

Website USGS (*United States Geological Survey*) yang merupakan portal online resmi yang dikelola oleh Badan Survei Geologi Amerika Serikat. USGS merupakan sebuah lembaga pemerintah federal yang bertanggung jawab untuk menyediakan informasi ilmiah tentang sumber daya alam, geologi, topografi, dan potensi risiko bencana geologi di Amerika Serikat. Melalui website ini, pengguna dapat mengakses berbagai data dan informasi geosains, termasuk peta topografi, data gempa bumi, peta geologi, informasi hidrologi, serta data lingkungan.

4.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah nilai *base shear*, nilai simpangan (*displacement*), *drift ratio* dan pengaruh P-Delta pada bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia (Laboratorium FK UII) yang ada di Daerah Istimewa Yogyakarta akibat beban gempa yang diberikan berdasarkan karakteristik masing-masing zonasi. Variabel tidak bebas meliputi metode analisis dinamik *time history*.

4.5 Model Penelitian

Model penelitian yang akan dibuat ini memiliki atau termasuk ke dalam model penelitian jenis kuantitatif. Penelitian kuantitatif adalah penelitian ilmiah yang sistematis terhadap bagian-bagian dan fenomena serta hubungan-hubungannya. Sehingga dalam penelitian ini, penulis menganalisis pengaruh gaya gempa dengan menggunakan metode dinamik *time history*.

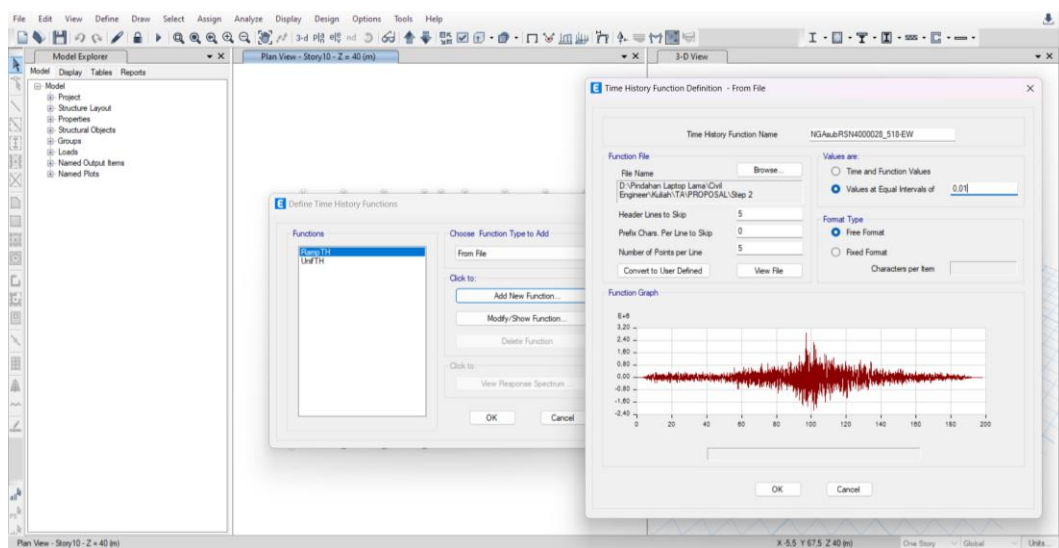
4.6 Waktu Penelitian

Waktu penelitian akan dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2023/2024 dimulai pada bulan Maret 2024, *time schedule* dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.7 Analisis Penelitian

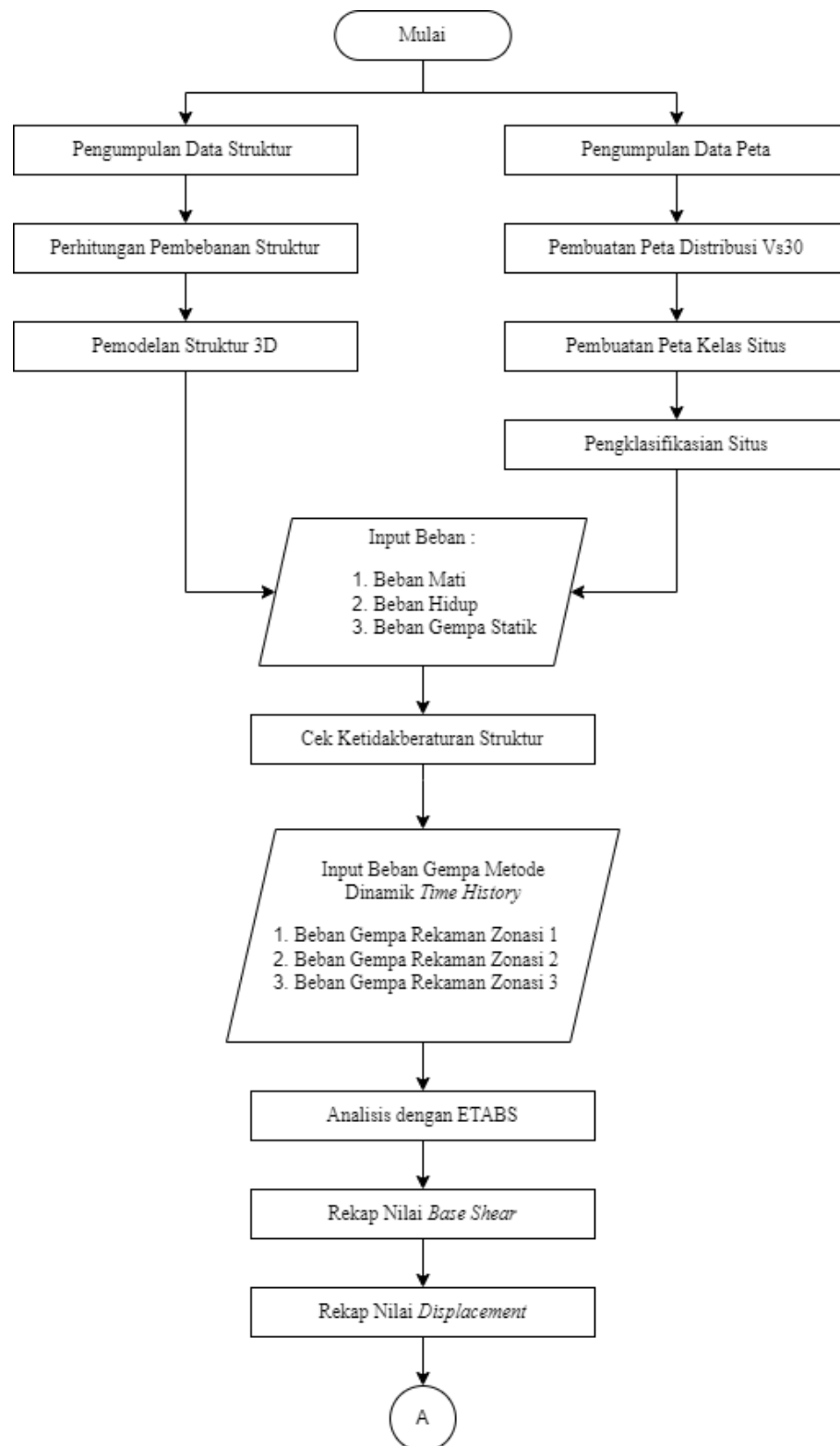
Pembuatan layer untuk peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi dan Pembuatan Peta distribusi Vs30 dilakukan menggunakan bantuan program QGIS 3.34.1 yang akan diklasifikasikan berdasarkan Tabel 5 Klasifikasi Situs pada SNI 1726 : 2019 yang mengatur tentang klasifikasi kelas situs berdasarkan nilai Vs30. Peta distribusi Vs30 yang dibuat selanjutnya akan digunakan untuk membuat Peta Kelas Situs. Peta Kelas Situs yang telah dibuat selanjutnya akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan kelas situs tiga macam zonasi berdasarkan Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi Daerah Istimewa Yogyakarta yang dijadikan lokasi penempatan bangunan gedung yang ditinjau.

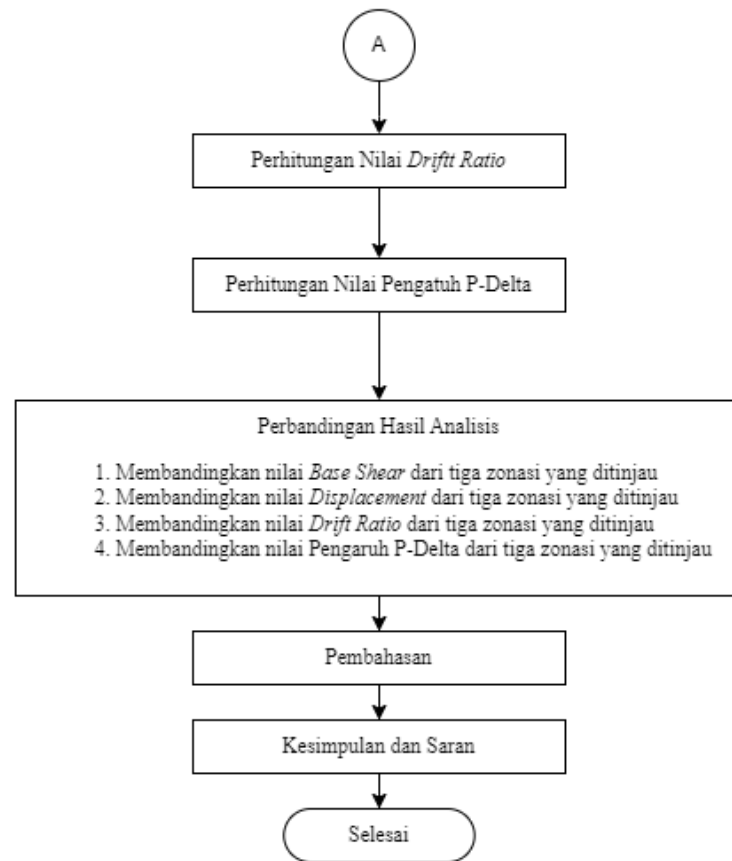
Metode analisis beban gempa yang digunakan dalam menganalisis struktur gedung ini adalah metode dinamik *time history* sesuai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung SNI 1726 : 2019. Untuk mempermudah perhitungan, analisis struktur dilakukan dengan menggunakan program ETABS versi 20.2.0 yang kemudian akan dilakukan perbandingan nilai *base shear*, nilai simpangan (*displacement*), *drift ratio* dan nilai pengaruh P-Delta yang akan dilakukan pada tiga macam zonasi kerawanan gempa. Pemodelan pembebanan gempa *time history* pada ETABS disajikan pada Gambar 4.1.



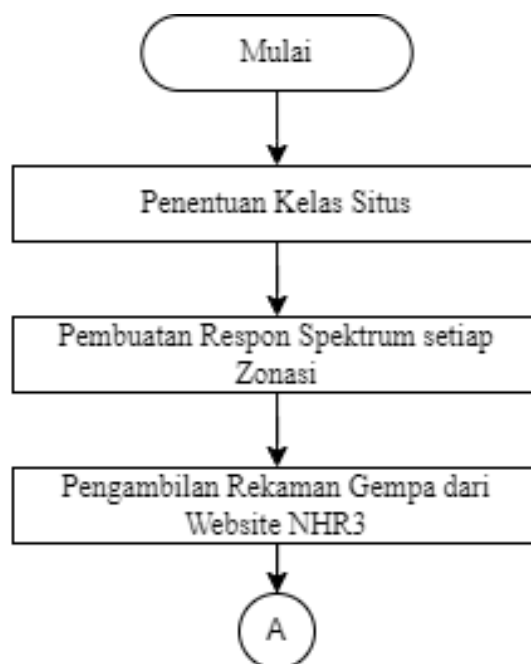
Gambar 4.17 Pemodelan Pembebanan Gempa *Time History* pada ETABS
(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024)

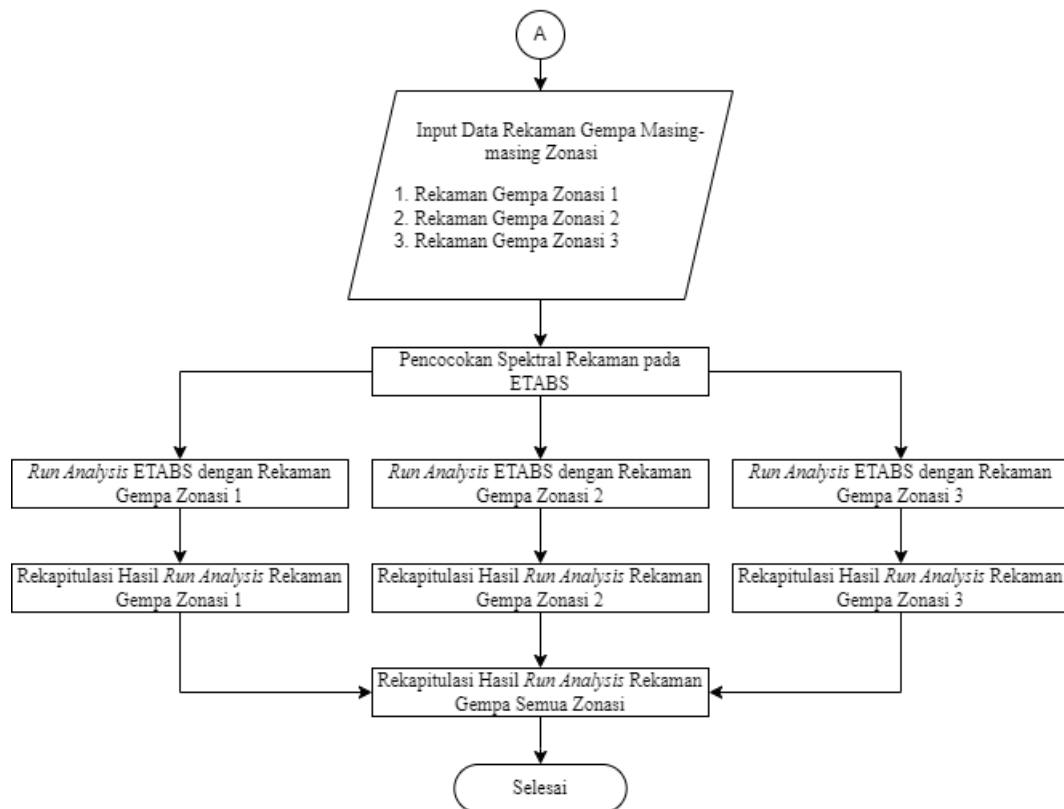
Bagan alir (*flow chart*) tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.18, sedangkan bagan alir (*flow chart*) tahapan analisis metode Dinamik *Time History* dapat dilihat pada Gambar 4.19 berikut.





Gambar 4.18 Bagan Alir Penelitian





Gambar 4.19 Bagan Alir Analisis Metode Dinamik *Time History*

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Struktur

Gedung yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII. Gedung ini merupakan gedung yang difungsikan sebagai pusat kegiatan mahasiswa dan civitas akademika Fakultas Kedokteran UII. Gedung ini dijadikan fasilitas penunjang mahasiswa dan civitas akademika Fakultas Kedokteran UII dalam menempuh studi dan melakukan penelitian akademik. Oleh karena itu, gedung ini dapat dikategorikan sebagai gedung dengan fungsi bangunan gedung universitas berdasarkan kegunaan dan lokasinya yang berada dalam lingkup kampus terpadu UII.

5.1.1 Data Zonasi

Pada penelitian ini, gedung yang ditinjau akan dikenakan beban gempa pada masing-masing zonasi kerawanan gempa yang memiliki karakteristik tanah yang berbeda-beda sehingga data struktur gedung dibagi menjadi tiga macam sesuai jumlah zonasi. Berikut adalah data struktur gedung pada masing zonasi dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Data Struktur pada Masing-masing Zonasi Kerawanan Gempa Bumi

Zonasi	Sangat Rendah	Menengah	Sangat Tinggi
Lokasi	Pandowoharjo, Sleman, Sleman	Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman	Donotirto, Kretek, Bantul
Jenis Tanah	SC	SC	SC
Fungsi Bangunan	Universitas	Universitas	Universitas
Mutu Beton	20	20	20
Mutu Baja Tulangan			
D ≤ 12 mm BJTD	240	240	240
D > 12 mm BJTS	400	400	400
Jumlah Tingkat	4	4	4
Tinggi Tingkat	Variasi	Variasi	Variasi
Koordinat Lintang	-7.711289808	-7.688323918	-7.981351752
Koordinat Bujur	110.3585837	110.4127949	110.3211411
Vs30	368	414	485

5.1.2 Konfigurasi Gedung

Konfigurasi bangunan gedung yang digunakan pada penelitian ini merupakan bangunan reguler dengan bukaan tangga di bagian tengah gedung. Tampak atas bangunan ini berbentuk persegi panjang dengan panjang 30.7 m dan lebar 27 m. Tinggi bangunan ini adalah 29,6 m apabila dihitung hingga ujung penangkal petir, tetapi jika dihitung hanya sampai elemen struktur paling atas, tinggi bangunan adalah setinggi 22,05 m. Berikut merupakan detail elevasi struktur gedung yang dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Data Elevasi Struktur Gedung

Tingkat	Lantai	Elevasi Tiap Lantai (m)	Tinggi Tingkat (m)
5	Kubah	19,15	3,1
4	Lantai Atap	16,05	3,9
3	Lantai 4	12,15	4
2	Lantai 3	8,15	4
1	Lantai 2	4,15	4,15
0	Base / Dasar	0	0

5.1.3 Mutu Beton dan Baja

Mutu beton yang digunakan pada bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII adalah mutu beton f'_c 20 MPa. Sedangkan untuk baja tulangan yang digunakan terdiri dari baja tulangan ulir (*deform*) dan baja tulangan polos. Mutu baja tulangan ulir yang digunakan adalah $f_y = 400$ MPa dan untuk mutu baja tulangan polo $f_y = 200$ MPa. Nilai modulus elastisitas baja yang digunakan diasumsikan sebesar $E_s = 200.000$ MPa

5.1.4 Data Elemen Struktur

1. Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan lantai tingkat yang membatasi antara suatu tingkat dengan tingkat di atas atau di bawahnya. Pelat lantai dan pelat atap yang digunakan pada bangunan gedung ini memiliki dua macam ketebalan yaitu ketebalan 120 mm dan ketebalan 100 mm sesuai kode pelat masing-masing. Sedangkan untuk pelat

tangga dan bordes diasumsikan memiliki ketebalan 150 mm. Berikut adalah tabel tebal pelat lantai dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Dimensi Pelat Struktur

Kode Pelat	Tebal (mm)
P1	120
P2	120
P3	120
P4	120
P5	120
P6	100
P7	100

2. Balok

Salah satu elemen struktur bangunan gedung adalah balok yang berfungsi sebagai elemen yang meneruskan beban dari pelat lantai dan/atau dinding untuk diteruskan ke kolom. Balok yang digunakan pada bangunan gedung ini mempunyai beberapa macam tipe balok sesuai kodefikasinya. Detail dimensi balok sesuai kodefikasinya dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Dimensi Balok Struktur

Kode Balok	H (mm)	B (mm)
B1	350	700
B2	250	350
B3	150	200
B4	150	450
B5	150	450
B2A	150	250
B2B	250	700
B2C	250	350
B2-2	250	350
BL	150	350
BB	200	350
BM1	350	700

Lanjutan Tabel 5.4 Dimensi Balok Struktur

BM2	250	350
BM3	350	700
BM4	350	700
BM5	150	700
B6 - 1	150	250
B6 - 2	150	250
BS	350	700

3. Kolom

Bangunan gedung harus memiliki elemen struktur kolom yang berfungsi untuk meneruskan beban dari balok hingga ke tanah melalui elemen pondasi. Detail tipe kolom pada gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Dimensi Kolom Struktur

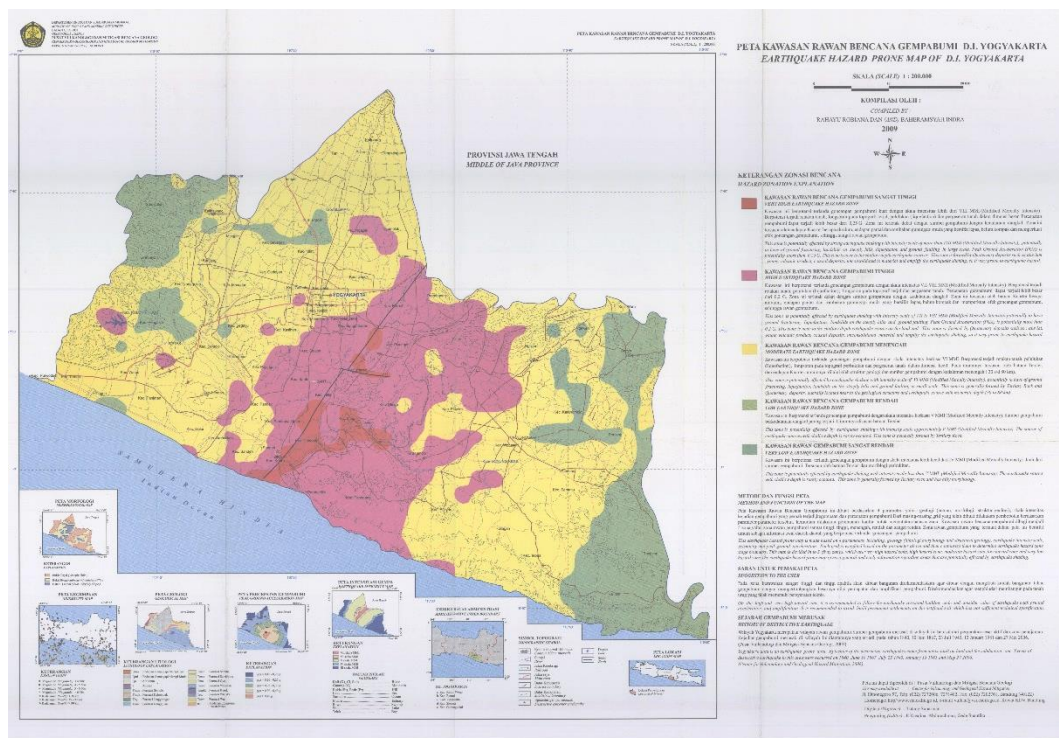
Kode Kolom	B (mm)	H (mm)
K1	400	600
K2	400	600
K3	400	400
K4	400	200
K5	400	400
K6	200	200
KL	500	150
KT	375	400
K1-U	400	600
KM	200	350
KP	150	150

5.2 Peta Mikrozonasi

5.2.1 Peta Kawasan Rawan Gempa Bumi

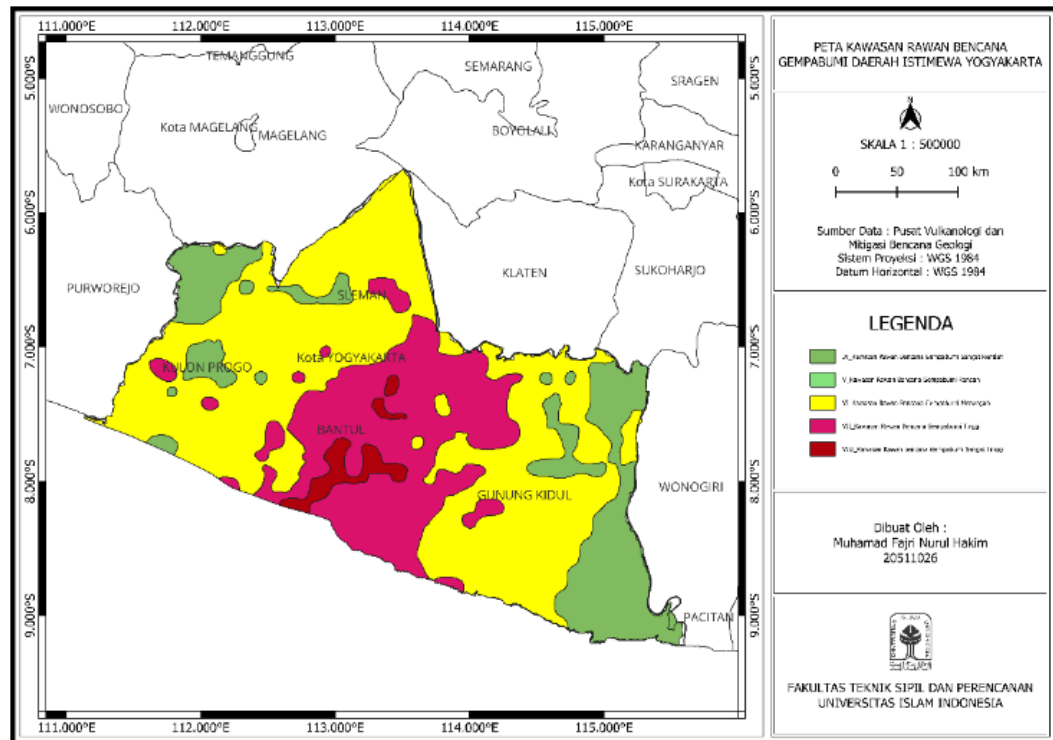
Peta kawasan rawan gempa bumi merupakan representasi visual yang menunjukkan wilayah-wilayah yang memiliki potensi terjadi gempa bumi berdasarkan tingkat kerawannya. Dalam penelitian ini, peta kawasan rawan

gempa bumi yang digunakan adalah peta kawasan rawan gempa bumi Daerah Istimewa Yogyakarta yang merupakan wilayah penelitian yang dilakukan. Berikut adalah data peta kawasan rawan gempa bumi Daerah Istimewa Yogyakarta yang diperoleh dari Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral, Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Berikut adalah peta kawasan rawan gempa bumi Daerah Istimewa Yogyakarta dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi DIY
(Sumber : Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral, Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2024)

Setelah didapatkan data peta tersebut, langkah selanjutnya adalah melakukan digitasi peta menggunakan bantuan software QGIS versi 3.34.1. Berikut adalah hasil digitasi peta yang telah dilakukan oleh peneliti dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Peta Digitasi Kawasan Rawan Bencana Gempabumi DIY

Berdasarkan hasil digitasi Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi DIY didapatkan bahwa kawasan dibagi menjadi lima kategori yaitu Kawasan Rawan Bencana Gempabumi Sangat Rendah, Kawasan Rawan Bencana Gempabumi Rendah, Kawasan Rawan Bencana Gempabumi Menengah, Kawasan Rawan Bencana Gempabumi Tinggi, dan Kawasan Rawan Gempabumi Sangat Tinggi. Masing-masing dari kawasan tersebut memiliki karakteristik sendiri, berikut adalah penjelasan dari masing-masing kawasan:

1. Kawasan Rawan Gempabumi Sangat Rendah (IV)

Kawasan ini berpotensi terlanda goncangan gempabumi dengan skala intensitas lebih kecil dari IV MMI (*Modified Mercally Intensity*). Jauh dari sumber gempabumi, Tersusun oleh batuan tersier dan morfologi perbukitan.

2. Kawasan Rawan Gempabumi Rendah (V)

Kawasan ini berpotensi terlanda goncangan gempabumi dengan skala intensitas berkisar V MMI (*Modified Mercally Intensity*). Sumber gempabumi berkedalaman dangkal jarang terjadi. Umumnya disusun batuan tersier

3. Kawasan Rawan Gempabumi Rendah (VI)

Kawasan ini berpotensi terlanda goncangan gempabumi dengan skala intensitas berkisar VI MMI. Berpotensi terjadi retakan tanah, pelulukan (*liquefaction*), longsor pada topografi perbukitan dan pergeseran tanah dalam dimensi kecil. Pada umumnya tersusun oleh batuan Tersier, dan endapan Kuarter, umumnya dilalui oleh struktur geologi dan sumber gempabumi dengan kedalaman menengah (30 s/d 80 km)

4. Kawasan Rawan Gempabumi Rendah (VII)

Kawasan ini berpotensi terlanda goncangan gempabumi dengan skala intensitas VII – VIII MMI (*Modified Mercally Intensity*). Berpotensi terjadi retakan tanah, pelulukan (*liquefaction*), longsor pada topografi terjal dan pergeseran tanah. Percepatan gempabumi dapat terjadi lebih besar dari 0,2 G. Zona ini terletak dekat dengan sumber gempabumi dengan kedalaman dangkal. Zona ini tersusun oleh batuan kuarter berupa alluvium, endapan pantai dan rombakan gunungapi muda yang bersifat lepas, belum kompak dan memperkuat efek goncangan gempabumi, sehingga rawan gempabumi.

5. Kawasan Rawan Gempabumi Rendah (VIII)

Kawasan ini berpotensi terlanda goncangan gempabumi kuat dengan skala intensitas lebih dari VIII MMI (*Modified Mercally Intensity*). Berpotensi terjadi retakan tanah, longsor pada topografi terjal, pelulukan (*liquefaction*) dan pergeseran tanah dalam dimensi besar. Percepatan gempa bumi dapat terjadi lebih besar dari 0,25 G. Zona ini terletak dekat dengan sumber gempabumi dengan kedalaman dangkal. Zona ini tersusun oleh endapan Kuarter berupa alluvium, endapan pantai dan rombakan gunungapi muda yang bersifat lepas, belum kompak dan memperkuat efek goncangan gempabumi, sehingga sangat rawan gempabumi.

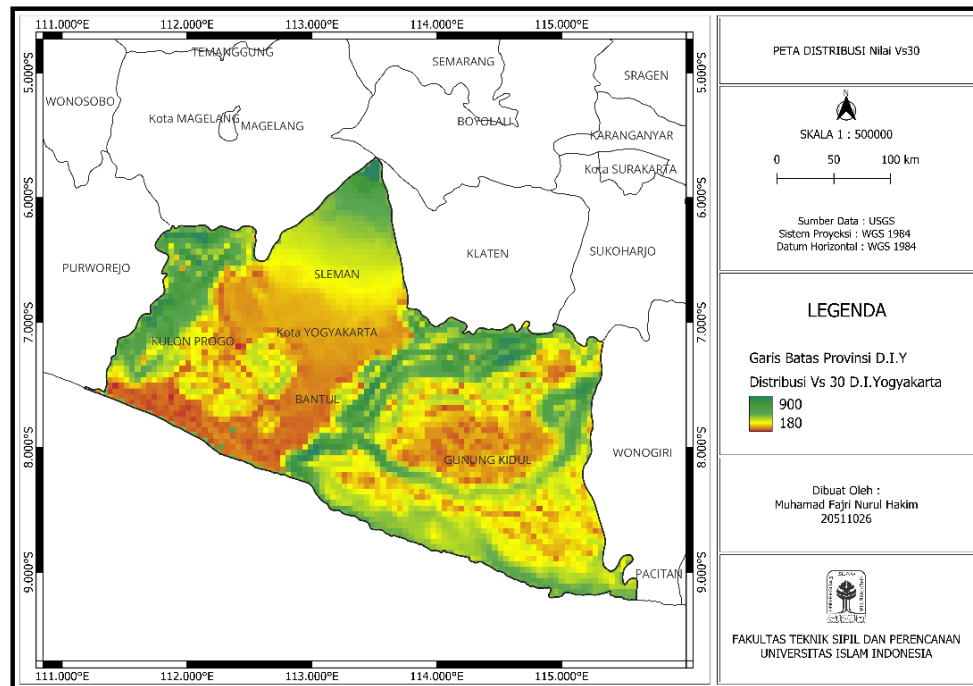
5.2.2 Peta Distribusi Vs30

Vs30 merupakan parameter dalam analisis kegempaan yang digunakan untuk menggambarkan karakteristik kekerasan tanah di suatu wilayah. Vs30 merupakan kecepatan gelombang geser rata-rata pada lapisan tanah atau batuan hingga kedalaman 30 meter dari permukaan. Nilai ini dinyatakan dalam satuan meter per detik (m/s). Berdasarkan Tabel 3.4 pada bab landasan teori, kelas situs dapat ditentukan berdasarkan nilai Vs30 yaitu sebagai berikut.

1. Kelas Tanah SA (Batuan Keras), Nilai Vs30 >1500 m/s
2. Kelas Tanah SB (Batuan), Nilai Vs30 750 m/s sampai 1500 m/s
3. Kelas Tanah SC (Tanah Keras), Nilai Vs30 350 ms/s sampai 750 m/s
4. Kelas Tanah SD (Tanah Sedang), Nilai Vs30 175 ms/s sampai 350 m/s
5. Kelas Tanah SE (Tanah Lunak), Nilai Vs30 <175 m/s

Pada penelitian ini peneliti menggunakan nilai Vs30 sebagai parameter pendukung untuk menentukan klasifikasi situs wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta berdasarkan nilai Vs30. Langkah yang harus dilakukan adalah mengumpulkan data dalam format shapefile atau geotix yang didapatkan dari website USGS. Selanjutnya data yang telah didapatkan diolah menggunakan bantuan software QGIS versi 3.34.1. untuk melakukan digitasi terhadap data Vs30 yang telah didapatkan. Berikut adalah hasil digitasi Peta Vs30 yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5.3.

Dalam Gambar 5.3 di bawah, dapat dilihat hasil digitasi Peta Vs30 yang dibuat berdasarkan data Vs30 yang didapatkan dari website USGS. Data yang diperoleh adalah data yang berupa data dalam format geotif yang kemudian perlu dilakukan pengolahan terhadap data tersebut sehingga data tersebut dapat digunakan sebagai data visual 2D dalam QGIS. Dalam pembuatannya, data-data lain seperti layer batas-batas wilayah di Indonesia terutama provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta harus disertakan agar memudahkan pembaca untuk mengidentifikasi lokasi di provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta berdasarkan tampilan visual data Vs30 yang sudah diolah sebelumnya.



Gambar 5.3 Peta Vs30 Daerah Istimewa Yogyakarta

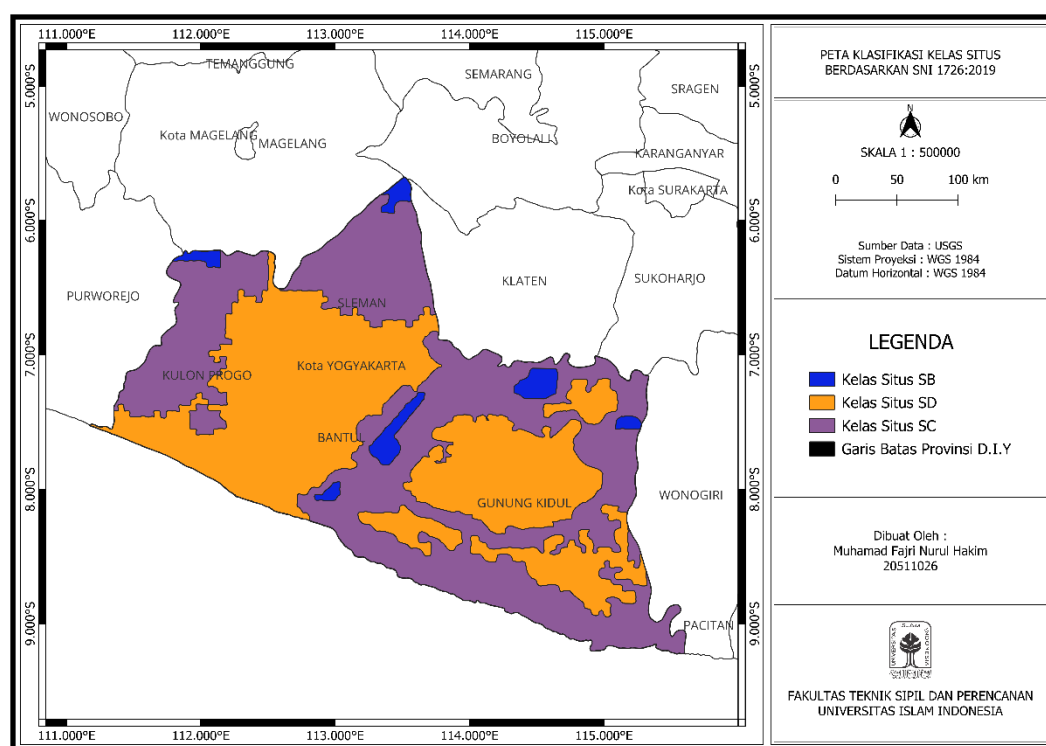
Berdasarkan hasil digitasi peta yang telah dilakukan, wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki nilai Vs30 dengan rentang antara 180 m/s hingga 900 m/s.

5.2.3 Peta Klasifikasi Kelas Situs

Menurut SNI 1726 Tahun 2019, kelas situs merupakan klasifikasi situs yang dilakukan berdasarkan kondisi tanah di lapangan. Menurut Tabel 3.4 pada bab landasan teori, klasifikasi situs dapat diklasifikasikan berdasarkan parameter nilai Vs30. Rentang nilai Vs adalah <175 m/s (SE atau tanah lunak), 175 m/s – 350 m/s (SD atau tanah sedang), 350 m/s – 750 m/s (SC atau tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), 750 m/s – 1500 m/s (SB atau batuan), dan >1500 m/s (SA atau batuan keras).

Berdasarkan parameter-parameter di atas, peta Vs30 yang telah didigitasikan sebelumnya diolah kembali untuk mengelompokkan area sesuai ketentuan klasifikasi kelas situs berdasarkan besaran nilai Vs30 pada masing-masing wilayah. Setelah dikelompokkan maka langkah selanjutnya adalah

melakukan digitasi Peta Klasifikasi Kelas Situs. Berikut adalah hasil digitasi Peta Klasifikasi Kelas Situs DIY berdasarkan Peta Vs30 DIY yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.4.



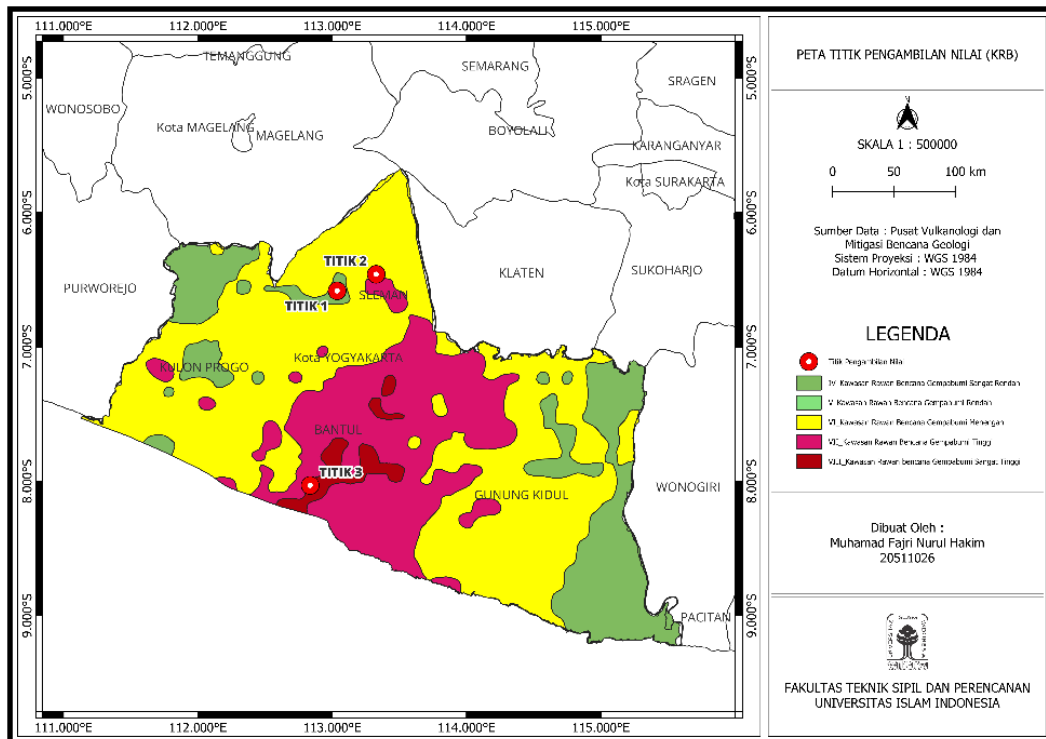
Gambar 5.4 Peta Klasifikasi Kelas Situs DIY berdasarkan SNI 1726:2019

Berdasarkan hasil digitasi peta klasifikasi kelas situs DIY yang telah dilakukan didapatkan bahwa wilayah DIY meliputi kelas situs SD (Tanah Sedang), SC (Tanah Keras), dan SB (Batuan). Wilayah Sleman didominasi oleh kelas situs SC. Wilayah yang didominasi oleh kelas situs SD adalah kota Yogyakarta, kabupaten Bantul, dan kabupaten Gunung Kidul. Sedangkan untuk kelas situs SB berdasarkan hasil digitasi berada pada garis lurus sungai Opak yang bermuara di kabupaten Bantul.

5.2.4 Peta Pengambilan Nilai

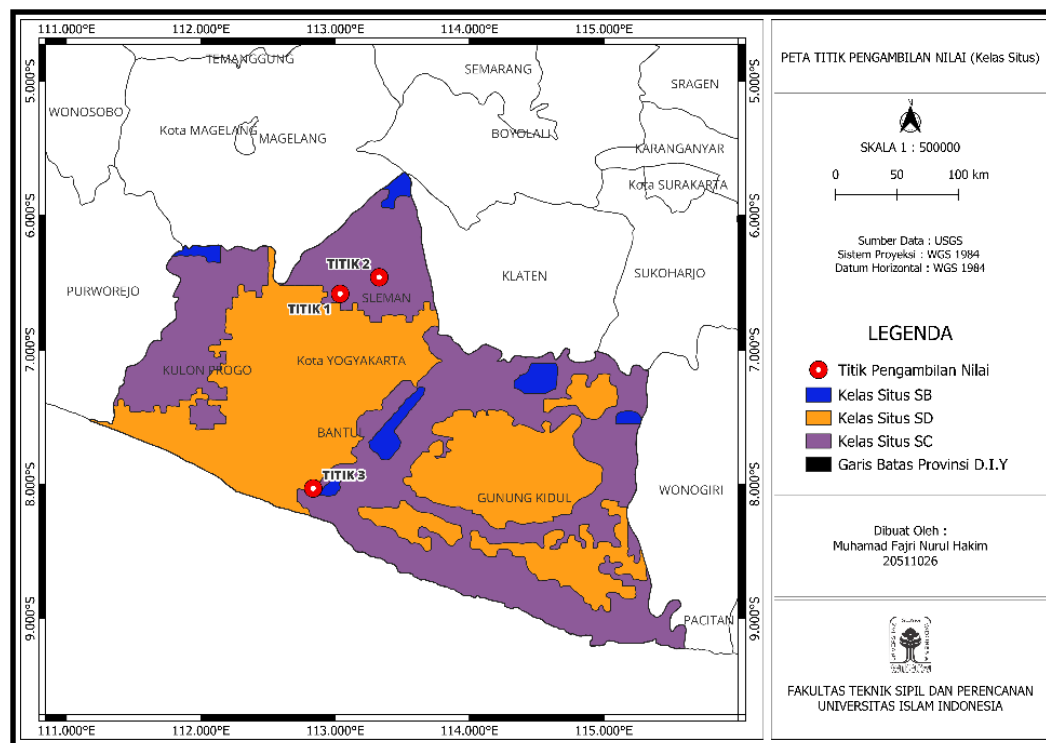
Dalam penelitian ini, setelah melakukan digitasi terhadap peta-peta yang dibutuhkan sebagai penentuan parameter-parameter perhitungan langkah selanjutnya adalah menentukan titik pengambilan nilai-nilai parameter. Berikut

adalah peta lokasi titik pengambilan nilai pada Peta Digitasi Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi DIY dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Peta Titik Pengambilan Nilai (KRB)

Berdasarkan Peta Titik Pengambilan Nilai yang telah dibuat, titik 1 merupakan titik yang diletakkan dalam kawasan rawan bencana gempabumi sangat rendah, titik 2 merupakan titik yang diletakkan dalam kawasan rawan bencana gempabumi menengah yang merupakan titik lokasi bangunan gedung yang ditinjau, dan titik 3 merupakan titik yang diletakkan dalam kawasan rawan bencana gempabumi sangat tinggi. Titik 1 berlokasi di desa Pandowoharjo, kecamatan Sleman, kabupaten Sleman. Titik 2 berlokasi di desa Sardonoharjo, kecamatan Ngaglik, kabupaten Sleman. Titik 3 berlokasi di desa Donotirto, kecamatan Kretek, kabupaten Bantul. Ketiga titik tersebut merupakan titik yang diambil berdasarkan lokasi yang memiliki jenis tanah yang sama yaitu tanah keras (SC). Selanjutnya dari pengambilan titik tersebut didapatkan juga titik pengambilan nilai Peta Klasifikasi Kelas Situs DIY dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Peta Titik Pengambilan Nilai (Kelas Situs)

Berdasarkan hasil pengambilan nilai didapatkan parameter berupa nilai V_{s30} dan koordinat dari masing-masing titik yang akan digunakan sebagai parameter perhitungan analisis struktur. Nilai V_{s30} akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan rentang rekaman gempa sedangkan koordinat masing-masing titik akan digunakan sebagai acuan penentuan nilai Spektral Percepatan Periode Pendek (S_s) dan Spektral Percepatan Periode 1 Detik (S_1).

5.3 Perhitungan Massa Bangunan

5.3.1 Klasifikasi Ruang

Dalam setiap bangunan gedung pasti memiliki ruangan-ruangan yang memiliki fungsi pemakaian ruangan yang berbeda-beda baik dalam satu lantai yang sama maupun di lantai yang berbeda. Adanya keberagaman tipe ruang ini dalam analisis struktur suatu bangunan akan menyebabkan adanya perbedaan beban di setiap ruangan tergantung fungsi ruangan tersebut. Ketentuan terkait pembebanan ruang berdasarkan fungsinya di Indonesia telah diatur dalam SNI 1727:2020

tentang beban desain minimum dan kriteria untuk bangunan gedung dan struktur lain. Gedung Fakultas Laboratorium Fakultas Kedokteran UII memiliki bermacam tipe ruangan berdasarkan fungsinya. Berikut adalah hasil klasifikasi ruang Gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII yang ditentukan berdasarkan data *As Built Drawing* yang ada dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Fungsi Ruang Gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII

No	Fungsi ruang	No	Fungsi ruang
1	Koridor Lantai Pertama	14	Ruang Baca
2	Koridor diatas Lantai Pertama	15	Ruang Hewan Coba
3	Laboratorium	16	Ruang Pasien
4	Ruang Persiapan	17	Ruang Cuci
5	Ruang Asisten	18	Ruang Ganti
6	Ruang Kepala Departemen	19	Ruang Steril
7	Ruang Laboran dan Administrasi	20	Ruang Kadaver
8	Ruang Panel	21	Ruang <i>Water Tank</i>
9	Toilet / LAV	22	Balkon
10	Pantri	23	Musholla / Ruang Sidang
11	Ruang Kebersihan	24	Atap
12	Ruang Inkubasi	25	Pelat Bordes
13	Ruang Preparat	26	Pelat Tangga

5.3.2 Beban Mati Tambahan (Q_{SIDL})

Beban mati tambahan adalah beban yang berasal dari semua elemen bangunan, baik elemen struktur, arsitektur, dan elemen lainnya yang bersifat permanen termasuk peralatan-peralatan tambahan yang merupakan bagian tak terpisahkan dari bangunan gedung. Berikut adalah contoh perhitungan beban mati pada pelat lantai gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII.

1. Komponen-komponen beban

Komponen beban perlu diklasifikasikan terlebih dahulu untuk mengetahui beban apa saja yang perlu dihitung. Pada pelat lantai gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII diasumsikan memiliki komponen-komponen yang dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Komponen Beban Mati Tambahan Pelat Lantai

No.	Komponen
1	Partisi
2	Keramik
3	Spesi tebal 3 cm
4	Pasir tebal 5 cm
5	Kelengkapan MEP
6	Plafon
7	Rangka Plafon

2. Penentuan dan/atau perhitungan masing-masing beban

a. Beban Partisi

Dalam SNI 1727:2020, beban partisi pada bangunan gedung ditentukan tidak boleh kurang dari 15 psf atau $0,72 \text{ kN/m}^2$. Terdapat pengecualian apabila beban hidup minimum pada ruangan yang sama adalah sebesar $3,83 \text{ kN/m}^2$ atau lebih besar maka beban hidup partisi tidak diperlukan.

b. Beban Keramik

Dalam SNI 1727:2020, berdasarkan Tabel C3.1-1 beban keramik ditentukan sebesar $1,1 \text{ kN/m}^2$.

c. Beban Spesi tebal 3 cm

Spesi yang digunakan dalam perhitungan diasumsikan sebagai mortar sehingga beban yang didapatkan dari Tabel C3.1-2 memiliki satuan kN/m^3 . Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan konversi ke dalam satuan kN/m^2 dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Beban Mortar} = 20,4 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Ketebalan Spesi} = 3 \text{ cm atau } 0,03 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Spesi} &= \text{Beban Mortar} \times \text{Ketebalan Spesi} \\ &= 20,4 \times 0,03 \\ &= 0,612 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

d. Beban Pasir tebal 5 cm

Beban pasir yang digunakan dalam perhitungan didapatkan dari Tabel C3.1-1 memiliki satuan kN/m^2 . Akan tetapi beban yang diperoleh adalah beban untuk setiap ketebalan dalam satuan mm. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan sesuai ketebalan pasir dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Beban Pasir} = 0.015 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Ketebalan Spesi} = 5 \text{ cm atau } 0,05 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Pasir} &= \text{Beban Pasir} \times \text{Ketebalan Pasir} \times 1000 \\ &= 0.015 \times 0,05 \times 1000 \\ &= 0,750 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

e. Beban Kelengkapan MEP

Beban kelengkapan MEP yang digunakan diasumsikan oleh peneliti sebesar $0,3 \text{ kN/m}^2$.

f. Beban Plafon

Beban plafon yang digunakan dalam perhitungan didapatkan dari Tabel C3.1-1 memiliki satuan kN/m^2 . Akan tetapi beban yang diperoleh adalah beban untuk setiap ketebalan dalam satuan mm. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan sesuai ketebalan plafon dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Beban Pasir} = 0.008 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Ketebalan Spesi} = 13 \text{ mm atau } 0,013 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Pasir} &= \text{Beban Pasir} \times \text{Ketebalan Plafon} \times 1000 \\ &= 0.008 \times 0,013 \times 1000 \\ &= 0,104 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

g. Beban Rangka Plafon

Rangka plafon pada Gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII diasumsikan menggunakan material rangka metal (*steel stud*) sehingga

beban yang digunakan dalam perhitungan didapatkan dari Tabel C3.1-1 sebesar $0,38 \text{ kN/m}^2$.

3. Total Beban Mati Tambahan Pelat Lantai ($Q_{\text{SIDL 1}}$)

Setelah dilakukan perhitungan pada masing-masing komponen, langkah terakhir adalah penjumlahan total beban komponen tersebut. Berikut adalah perhitungannya.

$$\begin{aligned} (Q_{\text{SIDL 1}}) &= \text{Beban Partisi} + \text{Beban Keramik} + \text{Beban Spesi tebal 3 cm} \\ &\quad + \text{Beban Pasir tebal 5 cm} + \text{Beban Kelengkapan MEP} + \\ &\quad \text{Beban Plafon} + \text{Beban Rangka Plafon} \\ (Q_{\text{SIDL 1}}) &= 0,72 + 1,1 + 0,612 + 0,750 + 0,3 + 0,104 + 0,380 \\ &= 3,966 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan di atas merupakan total beban mati tambahan untuk pelat lantai yang memiliki beban hidup kurang dari $3,83 \text{ kN/m}^2$. Sedangkan untuk beban mati tambahan pelat lantai yang memiliki beban hidup lebih dari sama dengan $3,83 \text{ kN/m}^2$ dapat dihitung dengan menghilangkan beban partisi dalam perhitungannya. Berikut adalah perhitungannya.

$$\begin{aligned} (Q_{\text{SIDL 2}}) &= \text{Beban Keramik} + \text{Beban Spesi tebal 3 cm} + \text{Beban Pasir} \\ &\quad \text{tebal 5 cm} + \text{Beban Kelengkapan MEP} + \text{Beban Plafon} + \\ &\quad \text{Beban Rangka Plafon} \\ (Q_{\text{SIDL 2}}) &= 1,1 + 0,612 + 0,750 + 0,3 + 0,104 + 0,380 \\ &= 3,246 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Kedua hasil perhitungan di atas digunakan sesuai dengan fungsi ruangnya masing-masing. Apabila beban hidup pada ruangan tersebut tidak lebih dari $3,83 \text{ kN/m}^2$, maka beban yang digunakan adalah $Q_{\text{SIDL 1}}$. Sedangkan jika beban hidup pada ruangan tersebut lebih dari sama dengan $3,83 \text{ kN/m}^2$, maka beban yang digunakan adalah $Q_{\text{SIDL 2}}$.

4. Rekapitulasi Perhitungan Beban Mati Tambahan

Berikut adalah rekapitulasi perhitungan beban mati tambahan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII yang dapat dilihat pada Tabel 5.8 hingga Tabel 5.18.

Tabel 5.8 Beban Mati Tambahan Pelat Lantai, Ruang Kadaver, $Q_{SIDL\ 3}$

No,	Komponen	Berat		Tebal (m)	Q (kN/m ²)
		Nilai	Satuan		
1	Partisi				0,72
2	Spesi 3 cm	20,4	kN/m ³	0,03	0,612
3	Waterproof 2 cm	0,05	kN/m ²		0,050
4	MEP				0,300
5	Plafon	0,008	kN/m ²	0,013	0,104
6	Rangka Plafon	0,38	kN/m ²		0,380
Jumlah beban mati tambahan pada ruang kadaver, $Q_{SIDL\ 3}$					2,166

Tabel 5.9 Beban Mati Tambahan Pelat Lantai, Ruang *Water Tank*, $Q_{SIDL\ 4}$

No,	Komponen	Berat		Tebal (m)	Q (kN/m ²)
		Nilai	Satuan		
1	Spesi 3 cm	20,4	kN/m ³	0,03	0,612
2	Waterproofing 2 cm	0,05	kN/m ²		0,050
3	MEP				0,300
4	Plafon	0,008	kN/m ²	0,013	0,104
5	Rangka Plafon	0,38	kN/m ²		0,380
6	3 <i>Water Tank</i>	0,0931632	kN/m ²		0,093
Jumlah beban mati tambahan ruang <i>water tank</i> , $Q_{SIDL\ 4}$					1,539

Tabel 5.10 Beban Mati Tambahan Pelat Atap, $Q_{SIDL\ 5}$

No,	Komponen	Berat		Tebal (m)	Q (kN/m ²)
		Nilai	Satuan		
1	Spesi 3 cm	20,4	kN/m ³	0,03	0,612
2	Waterproof 2 cm	0,05	kN/m ²		0,050
3	MEP				0,300
4	Plafon	0,008	kN/m ²	0,013	0,104
5	Rangka Plafon	0,38	kN/m ²		0,380
Jumlah beban mati tambahan pada pelat atap, $Q_{SIDL\ 5}$					1,446

Tabel 5.11 Beban Mati Tambahan Lift, $Q_{SIDL\ 6}$

No.	Komponen	Berat		Tebal (m)	Q (kN/m)
		Nilai	Satuan		
1		19.6133	kN	4.10502741	2.389
Jumlah beban mati tambahan lift, $Q_{SIDL\ 6}$					2.389

Tabel 5.12 Beban Mati Tambahan Atap UPVC, $Q_{SIDL\ 7}$

No,	Komponen	Berat		Panjang (m)	Q (kN/m)
		Nilai	Satuan		
1		0,96	kN	4,175	0,115
Jumlah beban mati tambahan atap UPVC, $Q_{SIDL\ 7}$					0,115

Tabel 5.12 Beban Mati Tambahan Atap + *Lightning Rod*, $Q_{SIDL\ 8}$

No,	Komponen	Berat		Panjang (m)	Q (kN/m)
		Nilai	Satuan		
1		0,96	kN	3	0,080
Jumlah beban mati tambahan Atap + <i>Lightning Rod</i> , $Q_{SIDL\ 8}$					0,080

Tabel 5.13 Beban Mati Tambahan Pelat Tangga, $Q_{SIDL\ 9}$

No,	Komponen	Berat		Tebal (m)	Q (kN/m ²)
		Nilai	Satuan		
1	Anak tangga	2400	kg/m ³	0,08	1,884
2	Keramik	1,1	kN/m ²		1,100
3	Spesi 3 cm	20,4	kN/m ³	0,03	0,612
4	Pasir 5 cm	0,015	kN/m ²	0,05	0,750
5	Pegangan Tangga	0,73	kN/m	0,5	0,004
Jumlah beban mati tambahan pada pelat tangga, $Q_{SIDL\ 9}$					4,346

Tabel 5.14 Beban Mati Tambahan Pelat Bordes, $Q_{SIDL\ 10}$

No,	Komponen	Berat		Tebal (m)	Q (kN/m ²)
		Nilai	Satuan		
1	Keramik	1,1	kN/m ²		1,100
2	Spesi 3 cm	20,4	kN/m ³	0,03	0,612
3	Pasir 5 cm	0,015	kN/m ²	0,05	0,750
4	Pegangan Tangga	0,73	kN/m	0,5	0,004
Jumlah beban mati tambahan pada pelat tangga, $Q_{SIDL\ 10}$					2,462

Tabel 5.15 Beban Mati Tambahan Dinding Lantai 2 dan Lantai 3, $Q_{SIDL\ 11}$

No,	Komponen	Berat	
		Nilai	Satuan
1	Hebel	0,935	kg/m ²
2	Plesteran	0,24	kg/m ²
3	Berat dinding	1,415	kg/m ²
4	Berat dinding (kN/m) $Q_{SIDL\ 11}$	4,67	kg/m

Tabel 5.16 Beban Mati Tambahan Dinding Lantai 4, $Q_{SIDL\ 12}$

No,	Komponen	Berat	
		Nilai	Satuan
1	Hebel	0,935	kg/m ²
2	Plesteran	0,24	kg/m ²
3	Berat dinding	1,415	kg/m ²
4	Berat dinding (kN/m) $Q_{SIDL\ 12}$	4,53	kg/m

Tabel 5.17 Beban Mati Tambahan Dinding Ruang Lift dan Ruang *Water Tank*, $Q_{SIDL\ 13}$

No,	Komponen	Berat	
		Nilai	Satuan
1	Hebel	0,935	kg/m ²
2	Plesteran	0,24	kg/m ²
3	Berat dinding	1,415	kg/m ²
4	Berat dinding (kN/m) $Q_{SIDL\ 13}$	3,28	kg/m

Tabel 5.18 Beban Mati Tambahan Dinding Kubah, $Q_{SIDL\ 14}$

No,	Komponen	Berat	
		Nilai	Satuan
1	Hebel	0,935	kg/m ²
2	Plesteran	0,24	kg/m ²
3	Berat dinding	1,415	kg/m ²
4	Berat dinding (kN/m) $Q_{SIDL\ 14}$	4,03	kg/m

5.3.3 Beban Hidup

Beban Hidup adalah beban yang bersifat sementara atau tidak permanen yang dibagi sesuai dengan fungsi lantai yang digunakan di atas pelat yang dikenakan beban hidup tersebut. Beban hidup yang digunakan pada penelitian ini diambil berdasarkan pada peraturan SNI 1727 tahun 2020. Berdasarkan peraturan

tersebut, maka beban hidup yang terdapat pada bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Beban Hidup Laboratorium Fakultas Kedokteran UII

No.	Penggunaan	Q (kN/m ²)
1	Lobi dan koridor lantai pertama	4.79
2	Koridor diatas lantai pertama	3.83
3	Laboratorium	4.79
4	Ruang Persiapan	1.92
5	Ruang Asisten	2.4
6	Ruang Kepala Departemen	2.4
7	Ruang Laboran dan Administrasi	2.4
8	Ruang Panel	1.92
9	Toilet / LAV	1,92
10	Pantri	4,79
11	Ruang Kebersihan	0.96
12	Ruang Inkubasi	2.87
13	Ruang Preparat	2.87
14	Ruang Baca	2.87
15	Ruang Hewan Coba	2.87
16	Ruang Pasien	1.92
17	Ruang Cuci	2.87
18	Ruang Ganti	2.87
19	Ruang Steril	2.87
20	Ruang Kadaver	2.87
21	Ruang <i>Water Tank</i>	7.18
22	Balkon	4.79
23	Musholla / Ruang Sidang	4.79
24	Atap	0.96
25	Tangga	4.79

5.3.4 Fungsi Ruang

Dalam ETABS versi 20.2.0 terdapat fitur *Uniform Shell Load Set* yang berfungsi untuk memberikan beban kepada *Shell* atau pelat sesuai dengan fungsi ruang yang di atasnya yang dapat diisi dengan beban mati tambahan (SIDL) dan beban hidup (*Live*) secara bersamaan menjadi satu kesatuan beban. Untuk

memudahkan proses penginputan tersebut maka ruangan bangunan yang ditinjau dikelompokkan sesuai denah ruangan eksisting. Berikut adalah hasil pengelompokan beban mati tambahan (SIDL) dan beban hidup (*Live*) sesuai dengan fungsi ruangnya masing-masing dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Fungsi Ruang

No	Fungsi ruang	Tipe beban	Q (kN/m ²)
1	Koridor Lantai Pertama	SIDL	3,246
		Live	4,79
2	Koridor diatas Lantai Pertama	SIDL	3,246
		Live	3,83
3	Laboratorium	SIDL	3,246
		Live	4,79
4	Ruang Persiapan	SIDL	3,966
		Live	1,92
5	Ruang Asisten	SIDL	3,966
		Live	2,4
6	Ruang Kepala Departemen	SIDL	3,966
		Live	2,4
7	Ruang Laboran dan Administrasi	SIDL	3,966
		Live	2,4
8	Ruang Panel	SIDL	3,966
		Live	1,92
9	Toilet / LAV	SIDL	3,966
		Live	1,92
10	Pantry	SIDL	3,246
		Live	4,79
11	Ruang Kebersihan	SIDL	3,966
		Live	0,96
12	Ruang Inkubasi	SIDL	3,966
		Live	2,87
13	Ruang Preparat	SIDL	3,966
		Live	2,87
14	Ruang Baca	SIDL	3,966
		Live	2,87
15	Ruang Hewan Coba	SIDL	3,966
		Live	2,87
16	Ruang Pasien	SIDL	3,966
		Live	1,92
17	Ruang Cuci	SIDL	3,966
		Live	2,87
18	Ruang Ganti	SIDL	3,966
		Live	2,87
19	Ruang Steril	SIDL	3,966
		Live	2,87
20	Ruang Kadaver	SIDL	2,166
		Live	2,87
21	Ruang <i>Water Tank</i>	SIDL	1,539
		Live	7,18

Lanjutan Tabel 5.20 Fungsi Ruang

22	Balkon	SIDL	3,246
		Live	4,79
23	Musholla / Ruang Sidang	SIDL	3,246
		Live	4,79
24	Atap	SIDL	1,446
		Live	0,96
25	Pelat Bordes	SIDL	2,462
		Live	4,79
26	Pelat Tangga	SIDL	4,346
		Live	4,79

Setelah didapatkan hasil pengelompokan beban mati tambahan (SIDL) dan beban hidup (*Live*) di atas, hasil tersebut dimasukkan menjadi satu kesatuan beban pada software ETABS versi 20.2.0 pada opsi *Shell Uniform Load Set*. Berdasarkan hasil klasifikasi ruang di atas juga dapat diketahui bahwa ruangan yang berfungsi sebagai ruang penyimpanan hanya ruang kadaver dan ruang *water tank*.

5.3.5 Komponen Massa

Perhitungan komponen massa bangunan dilakukan dengan menghitung beban mati elemen-elemen struktur dan beban mati tambahan yang sebelumnya telah dihitung sebagai beban untuk mengetahui berapa total massa bangunan termasuk elemen arsitektur dan beban tambahan lainnya.

5.3.5.1 Beban Pelat Lantai dan Atap

Perhitungan Pelat Lantai dan Atap dilakukan dengan menghitung elemen-elemen yang mempengaruhi pada Pelat Lantai dan Atap yang ditinjau. Contoh perhitungan tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pelat Lantai P1

Untuk perhitungan Pelat Lantai P1 dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$L_y = 9 \text{ m}$$

$$L_x = 3 \text{ m}$$

$$h = 0,12 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 4$$

$$\begin{aligned}\text{Berat total} &= L_y \times L_x \times h \times \text{Berat volume} \times n \\ &= 9 \times 3 \times 0,12 \times 2400 \times 4 \\ &= 31104 \text{ kg}\end{aligned}$$

2. Pelat Lantai P2

Untuk perhitungan Pelat Lantai P2 dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$L_y = 2,65 \text{ m}$$

$$L_x = 3 \text{ m}$$

$$h = 0,12 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 1$$

$$\begin{aligned}\text{Berat total} &= L_y \times L_x \times h \times \text{Berat volume} \times n \\ &= 2,65 \times 3 \times 0,12 \times 2400 \times 1 \\ &= 2289,6 \text{ kg}\end{aligned}$$

3. Pelat Lantai P6

Untuk perhitungan Pelat Lantai P6 dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$L_y = 8,025 \text{ m}$$

$$L_x = 3 \text{ m}$$

$$h = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 17$$

$$\begin{aligned}\text{Berat total} &= L_y \times L_x \times h \times \text{Berat volume} \times n \\ &= 8,0248 \times 3 \times 0,1 \times 2400 \times 17 \\ &= 98223,159 \text{ kg}\end{aligned}$$

4. Pelat Lantai P7

Untuk perhitungan Pelat Lantai P7 dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$Ly = 9 \text{ m}$$

$$Lx = 4,35 \text{ m}$$

$$h = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 1$$

$$\text{Berat total} = Ly \times Lx \times h \times \text{Berat volume} \times n$$

$$= 9 \times 4,35 \times 0,1 \times 2400 \times 1$$

$$= 9396 \text{ kg}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan pelat lantai pada masing-masing lantai dapat dilihat pada Tabel 5.21 hingga Tabel 5.24.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Pelat Lantai 2

Kode Pelat	Ly (mm)	Lx (mm)	h (mm)	V (m ³)	BV (kg/m ³)	n (unit)	M (kg)
P1	9000	3000	120	3,240	2400	4	31104,000
P1	8000	3000	120	2,880	2400	14	96768,000
P1	5925	3000	120	2,133	2400	1	5119,200
P1	5350	3000	120	1,926	2400	3	13867,200
P1	9000	1500	120	1,620	2400	2	7776,000
P1	6800	3000	120	2,448	2400	1	5875,200
(-) P1	2800	1625	120	-0,546	2400	1	-1310,400
P2	9000	3000	120	3,240	2400	1	7776,000
(-) P2	3275	2475	120	-0,973	2400	1	-2334,420
(-) P2	2000	525	120	-0,126	2400	1	-302,400
(-) P2	1075	525	120	-0,068	2400	1	-162,540
P2	3275	3000	120	1,179	2400	1	2829,600
P2	2650	3000	120	0,954	2400	1	2289,600
P2	3075	3000	120	1,107	2400	1	2656,800
P3	2650	1375	120	0,437	2400	3	3148,200
P3	2200	3000	120	0,792	2400	4	7603,200
P3	1000	3000	120	0,360	2400	8	6912,000
(-) P3	1000	1000	120	-0,120	2400	4	-1152,000
(-) P4	400	1000	120	-0,048	2400	4	-460,800
Total							188002.440

Tabel 5.22 Rekapitulasi Pelat Lantai 3

Kode Pelat	Ly (mm)	Lx (mm)	h (mm)	V (m ³)	BV (kg/m ³)	n (unit)	M (kg)
P1	9000	3000	120	3,240	2400	4	31104,000
P1	8000	3000	120	2,880	2400	14	96768,000
P1	5925	3000	120	2,133	2400	1	5119,200
P1	5350	3000	120	1,926	2400	3	13867,200

Lanjutan Tabel 5.22 Rekapitulasi Pelat Lantai 3

[illegible]

Tabel 5.23 Rekapitulasi Pelat Lantai 4

[illegible]

Tabel 5.24 Rekapitulasi Pelat Atap dan Ruang Lift

[illegible]

5.3.5.2 Beban Balok

Perhitungan balok dilakukan dengan cara melakukan perhitungan terhadap elemen-elemen yang mempengaruhi pada balok yang ditinjau. Contoh perhitungan dapat dilihat sebagai berikut

1. Balok B1

Untuk perhitungan Balok B1 dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$L = 8 \text{ m}$$

$$H = 0,35 \text{ m}$$

$$B = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 20$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total} &= L \times H \times B \times \text{Berat volume} \times n \\ &= 8 \times 0,35 \times 0,7 \times 2400 \times 20 \\ &= 94080 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Balok B2

Untuk perhitungan Balok B2 dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$L = 3 \text{ m}$$

$$H = 0,25 \text{ m}$$

$$B = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 38$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total} &= L \times H \times B \times \text{Berat volume} \times n \\ &= 3 \times 0,25 \times 0,35 \times 2400 \times 38 \\ &= 23940 \text{ kg} \end{aligned}$$

3. Balok BL

Untuk perhitungan Balok BL dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$L = 2,475 \text{ m}$$

$$H = 0,15 \text{ m}$$

$$B = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 1$$

$$\text{Berat total} = L \times H \times B \times \text{Berat volume} \times n$$

$$= 3 \times 0,15 \times 0,35 \times 2400 \times 1$$

$$= 311,85 \text{ kg}$$

4. Balok BB

Untuk perhitungan Balok BB dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$L = 4,6 \text{ m}$$

$$H = 0,2 \text{ m}$$

$$B = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 3$$

$$\text{Berat total} = L \times H \times B \times \text{Berat volume} \times n$$

$$= 4,6 \times 0,2 \times 0,35 \times 2400 \times 3$$

$$= 2318,4 \text{ kg}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan balok pada masing-masing lantai dapat dilihat pada Tabel 5.25 hingga Tabel 5.29.

Tabel 5.25 Rekapitulasi Balok Lantai 2 dan Lantai 3

Kode Balok	H (mm)	B (mm)	L (mm)	V (m ³)	BV (kg/m ³)	n (unit)	M (kg)
B1	350	700	8000	1,960	2400	20	94080,000
B1	350	700	9000	2,205	2400	9	47628,000
B1	350	700	1000	0,245	2400	8	4704,000

B1	350	700	2200	0,539	2400	2	2587,200
B2	250	350	3000	0,263	2400	46	28980,000
B2	250	350	2650	0,232	2400	3	1669,500
B2	250	350	1000	0,088	2400	4	840,000
B2	250	350	1850	0,162	2400	4	1554,000
B3	150	200	3000	0,090	2400	8	1728,000
B3	150	200	1000	0,030	2400	4	288,000
B3	150	200	1625	0,049	2400	1	117,000
B3	150	200	2800	0,084	2400	1	201,600
B3	150	200	1075	0,032	2400	1	77,400
B3	150	200	525	0,016	2400	1	37,800
BS	350	700	9000	2,205	2400	2	10584,000
BL	150	350	2475	0,130	2400	1	311,850
BL	150	350	3275	0,172	2400	1	412,650
Total							195801,000

Tabel 5.28 Rekapitulasi Balok Ruangan Lift dan Ruangan *Water Tank*

Kode Balok	H (mm)	B (mm)	L (mm)	V (m ³)	BV (kg/m ³)	n (unit)	M (kg)
B1	350	700	9000	2,205	2400	2	10584,000
B2	350	700	3000	0,735	2400	10	17640,000
B3	150	200	4105,03	0,123	2400	1	295,562
B6 1	150	250	3000	0,113	2400	2	540,000
B6 1	150	250	1350	0,051	2400	2	243,000
B6 1	150	250	4630	0,174	2400	1	416,700
B6 1	150	250	4420	0,166	2400	1	397,800
B6 2	150	250	4630	0,174	2400	2	833,400
B6 2	150	250	4420	0,166	2400	2	795,600
B6 2	150	250	3000	0,113	2400	1	270,000
B6 2	150	250	1350	0,051	2400	1	121,500
Total							32137,562

Tabel 5.29 Balok Bordes (BB) dan Balok Lift (BL)

Kode Balok	H (mm)	B (mm)	L (mm)	V (m ³)	BV (kg/m ³)	n (unit)	M (kg)
BB	200	350	4600	0,322	2400	3	2318,400
B2	350	700	3000	0,735	2400	3	5292,000
BL	150	350	2475,00	0,130	2400	8	2494,800
BL	150	350	3475	0,182	2400	8	3502,800
Total							13608.000

5.3.5.3 Beban Kolom

Perhitungan kolom dilakukan dengan cara melakukan perhitungan terhadap elemen-elemen yang mempengaruhi pada kolom yang ditinjau. Contoh perhitungan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Kolom K1

Untuk perhitungan Kolom K1 dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$L = 4,15 \text{ m}$$

$$H = 0,4 \text{ m}$$

$$B = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 18$$

$$\text{Berat total} = L \times H \times B \times \text{Berat volume} \times n$$

$$= 4,15 \times 0,4 \times 0,6 \times 2400 \times 18$$

$$= 43027,2 \text{ kg}$$

2. Kolom K3

Untuk perhitungan Kolom K3 dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$L = 4,15 \text{ m}$$

$$H = 0,4 \text{ m}$$

$$B = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 4$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total} &= L \times H \times B \times \text{Berat volume} \times n \\ &= 4,15 \times 0,4 \times 0,4 \times 2400 \times 4 \\ &= 6374,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

3. Kolom Lift (KL)

Untuk perhitungan Kolom K1 dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$L = 4,15 \text{ m}$$

$$H = 0,15 \text{ m}$$

$$B = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total} &= L \times H \times B \times \text{Berat volume} \times n \\ &= 4,15 \times 0,15 \times 0,5 \times 2400 \times 3 \\ &= 3809,7 \text{ kg} \end{aligned}$$

4. Kolom Miring (KM)

Untuk perhitungan Kolom K1 dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$L = 7,707 \text{ m}$$

$$H = 0,25 \text{ m}$$

$$B = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 4$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total} &= L \times H \times B \times \text{Berat volume} \times n \\ &= 7,707 \times 0,25 \times 0,35 \times 2400 \times 4 \\ &= 2451,06 \text{ kg} \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan kolom pada masing-masing lantai dapat dilihat pada Tabel 5.30 hingga Tabel 5.35.

Tabel 5.30 Rekapitulasi Kolom Lantai 1

Kode Kolom	B (mm)	H (mm)	L (mm)	V (m³)	BV (kg/m³)	n (unit)	M (kg)
K1	400	600	4150	0,996	2400	18	43027,200
K2	400	600	4150	0,996	2400	20	47808,000
K3	400	400	4150	0,664	2400	4	6374,400
K4	400	200	4150	0,332	2400	2	1593,600
K1U	400	200	4150	0,332	2400	2	1593,600
KL	127500		4150	0,529	2400	3	3809,700
Total							104206,500

Tabel 5.31 Rekapitulasi Kolom Lantai 2

Kode Kolom	B (mm)	H (mm)	L (mm)	V (m³)	BV (kg/m³)	n (unit)	M (kg)
K1	400	600	4000	0,960	2400	18	41472,000
K2	400	600	4000	0,960	2400	20	46080,000
K3	400	400	4000	0,640	2400	4	6144,000
K4	400	200	4000	0,320	2400	2	1536,000
K1U	400	200	4000	0,320	2400	2	1536,000
KL	127500		4000	0,510	2400	3	3672,000
Total							100440,000

Tabel 5.32 Rekapitulasi Kolom Lantai 3

Kode Kolom	B (mm)	H (mm)	L (mm)	V (m³)	BV (kg/m³)	n (unit)	M (kg)
K1	400	600	4000	0,96	2400	18	41472,000
K2	400	600	4000	0,96	2400	20	46080,000
K4	400	200	4000	0,32	2400	2	1536,000
K1U	400	200	4000	0,32	2400	2	1536,000
KL	127500		4000	0,510	2400	3	3672,000
Total							94296,000

Tabel 5.33 Rekapitulasi Kolom Lantai 4

Kode Kolom	B (mm)	H (mm)	L (mm)	V (m ³)	BV (kg/m ³)	n (unit)	M (kg)
K1 (15,9)	400	600	3900	0,936	2400	10	22464,000
K1 (16,33)	400	600	8230	1,975	2400	8	37923,840
K2	400	600	3900	0,936	2400	20	44928,000

Lanjutan Tabel 5.33 Rekapitulasi Kolom Lantai 4

K1U	400	200	3900	0,312	2400	2	1497,600
KL	127500		3900	0,497	2400	3	3580,200
Total							110393,640

Tabel 5.34 Rekapitulasi Kolom Atap

Code Kolom	B (mm)	H (mm)	L (mm)	V (m³)	BV (kg/m³)	n (unit)	M (kg)
K1	400	600	2670	0,64	2400	8	12303,360
K5	400	400	3100	0,50	2400	1	1190,400
K6	200	200	3100	0,12	2400	3	892,800
KT	375	400	2670	0,40	2400	4	3844,800
KP	150	150	2670	0,06	2400	5	720,900
KL	127500		2670	0,34	2400	3	2451,060
Total							21403,320

Tabel 5.35 Rekapituasi Kolom Miring

Kode Kolom	B (mm)	H (mm)	L (mm)	V (m ³)	BV (kg/m ³)	n (unit)	M (kg)
KM1	200	350	5933,314	0,42	2400	8	7974,374
KM2	200	350	7706,521	0,54	2400	4	5178,782
Total							13153,156

5.3.5.4 Beban Pelat Tangga dan Bordes

Perhitungan balok dilakukan dengan cara melakukan perhitungan terhadap elemen-elemen yang mempengaruhi pada balok yang ditinjau. Contoh perhitungan dapat dilihat sebagai berikut

1. Pelat Tangga

Untuk perhitungan pelat tangga dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$L = 3,668 \text{ m}$$

$$H = 0,15 \text{ m}$$

$$B = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 8$$

$$\text{Berat total} = L \times H \times B \times \text{Berat volume} \times n$$

$$= 3,668 \times 0,15 \times 1,5 \times 2400 \times 8$$

$$= 15846,585 \text{ kg}$$

2. Pelat Bordes

Untuk perhitungan pelat bordes dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$L = 1,2 \text{ m}$$

$$H = 0,15 \text{ m}$$

$$B = 3 \text{ m}$$

$$\text{Berat volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$n = 4$$

$$\text{Berat total} = L \times H \times B \times \text{Berat volume} \times n$$

$$= 1,2 \times 0,15 \times 3 \times 2400 \times 4$$

$$= 5184 \text{ kg}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan pelat tangga dan pelat bordes pada masing-masing lantai dapat dilihat pada Tabel 5.36 dan Tabel 5.37.

Tabel 5.36 Rekapitulasi Pelat Tangga dan Pelat Bordes Tangga Timur

Elemen	L (mm)	B (mm)	H (mm)	V (m ³)	BV (kg/m ³)	n (unit)	M (kg)
Pelat tangga	3668,19	1500	150	0,825	2400	8	15846,585
Pelat bordes	1200	3000	150	0,540	2400	4	5184,000
Total							21030,585

Tabel 5.37 Rekapitulasi Pelat Tangga dan Pelat Bordes Tangga Tengah

Elemen	L (mm)	B (mm)	H (mm)	V (m ³)	BV (kg/m ³)	n (unit)	M (kg)
Pelat tangga	4924,43	1800	150	1,330	2400	6	19146,180
Pelat bordes	4600	1500	150	1,035	2400	3	7452,000
Total							26598,180

5.3.5.5 Beban Dinding

Perhitungan balok dilakukan dengan cara melakukan perhitungan terhadap elemen-elemen yang mempengaruhi pada balok yang ditinjau. Contoh perhitungan dapat dilihat sebagai berikut

1. Beban Dinding Lantai 2

Untuk perhitungan beban dinding lantai 2 dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 289,325 \text{ m} \\
 Q &= 4,67 \text{ kN/m} \\
 \text{Berat total} &= \text{Panjang} \times Q \times (1000/9,81) \\
 &= 289,325 \times 4,67 \times (1000/9,81) \\
 &= 137716,930 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

2. Beban Dinding Lantai 4

Untuk perhitungan beban dinding lantai 4 dapat dilihat pada hitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 304,5 \text{ m} \\
 Q &= 4,528 \text{ kN/m} \\
 \text{Berat total} &= \text{Panjang} \times Q \times (1000/9,81) \\
 &= 304,5 \times 4,528 \times (1000/9,81) \\
 &= 140548,012 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan beban dinding dapat dilihat pada Tabel 5.38 berikut.

Tabel 5.38 Rekapitulasi Beban Dinding

No	Keterangan	Panjang (m)	Q (kN/m)	M (kg)
1	Beban dinding lantai 2	289,325	4,670	137716,930
2	Beban dinding lantai 3	298,225	4,670	141953,276
3	Beban dinding lantai 4	304,500	4,528	140548,012
4	Beban dinding kubah	36,000	3,283	12046,972
5	Beban dinding ruang lift dan water tank	39,000	4,033	16032,339

5.3.5.6 Beban Lift

Perhitungan beban lift dilakukan dengan cara melakukan perhitungan terhadap elemen-elemen yang mempengaruhi pada beban lift yang ditinjau. Perhitungan dapat dilihat sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Balok Penumpu} &= 4,105 \text{ m} \\
 Q &= 2,389 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat total} &= \text{Panjang Balok Penumpu} \times Q \times (1000/9,81) \\
 &= 4,105 \times 4,389 \times (1000/9,81) \\
 &= 999,659 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

5.3.5.7 Beban Ruang *Water Tank*

Perhitungan balok dilakukan dengan cara melakukan perhitungan terhadap elemen-elemen yang mempengaruhi pada beban ruang *water tank* yang ditinjau. Contoh perhitungan dapat dilihat sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{Luas ruangan} &= 12 \text{ m}^2 \\
 Q_{\text{SIDL}} &= 2,389 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{\text{LL}} &= 7,180 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{\text{TOTAL}} &= Q_{\text{SIDL}} + Q_{\text{LL}} \\
 &= 2,389 + 0 \text{ (Tidak dimasukkan)} \\
 &= 8,719 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Berat total} &= \text{Luas ruangan} \times Q_{\text{TOTAL}} \times (1000/9,81) \\
 &= 12 \times 8,179 \times (1000/9,81) \\
 &= 10665,643 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

5.3.6 Beban Gravitasi

Beban gravitasi dihitung dengan cara menghitung elemen-elemen yang mempengaruhi beban gravitasi yaitu beban mati tambahan (SIDL) dan beban hidup (*Live*) secara bersamaan menjadi satu kesatuan beban. Pada gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII, beban hidup (*Live*) tidak dimasukkan ke dalam perhitungan karena sesuai SNI 1729:2019, apabila beban penyimpanan tidak lebih dari 5% terhadap berat seismik efektif pada tingkat tersebut, beban tidak perlu dimasukkan dalam berat seismik efektif. Beban penyimpanan yang dimaksud pada gedung ini adalah beban ruang kadaver dan beban ruang *water tank* yang berfungsi sebagai ruang penyimpanan. Contoh perhitungan tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

1. Lobi dan koridor lantai pertama

Untuk perhitungan beban gravitasi pada lobi dan koridor lantai pertama dapat dilihat sebagai berikut.

$$\text{Luas ruangan} = 154,368 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{SIDL}} = 3,246 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{\text{LL}} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_{\text{SIDL}} + Q_{\text{LL}}$$

$$= 3,246 + 0 \text{ (Tidak dimasukkan)}$$

$$= 3,246 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat total} = \text{Luas ruangan} \times Q_{\text{TOTAL}} \times (1000/9,81)$$

$$= 154,368 \times 3,246 \times (1000/9,81)$$

$$= 51078,383 \text{ kg}$$

2. Laboratorium

$$\text{Luas ruangan} = 343,118$$

$$Q_{\text{SIDL}} = 3,246 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{\text{LL}} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_{\text{SIDL}} + Q_{\text{LL}}$$

$$= 3,246 + 0 \text{ (Tidak dimasukkan)}$$

$$= 3,246 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat total} = \text{Luas ruangan} \times Q_{\text{TOTAL}} \times (1000/9,81)$$

$$= 343,118 \times 3,246 \times (1000/9,81)$$

$$= 113533,069 \text{ kg}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan beban gravitasi dapat dilihat pada Tabel 5.39 hingga Tabel 5.41

5.3.7 Massa Bangunan

Perhitungan massa bangunan pada setiap tingkat dilakukan dengan melakukan perhitungan terhadap elemen-elemen yang mempengaruhi pada total massa bangunan setiap tingkat baik elemen struktur maupun beban-beban tambahannya. Contoh perhitungan tersebut dapat dilihat pada perhitungan massa tingkat 1 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Kolom} &= 104206,5 \text{ kg} \\
 \text{Berat Balok} &= 195801 \text{ kg} \\
 \text{Berat BB dan BL} &= 8034,39 \text{ kg} \\
 \text{Berat Pelat} &= 188002,44 \text{ kg} \\
 \text{Berat Tangga Timur} &= 5257,646 \text{ kg} \\
 \text{Berat Tangga Tengah} &= 8866,06 \text{ kg} \\
 \text{Berat Beban Gravitasi} &= 238483,546 \text{ kg} \\
 \text{Berat Beban Dinding} &= 137716,93 \text{ kg} \\
 \text{Total Massa} &= \text{Berat Kolom} + \text{Berat balok} + \text{Berat BB dan BL} + \\
 &\quad \text{Berat Pelat} + \text{Berat Tangga Timur} + \text{Berat Tangga} \\
 &\quad \text{Tengah} + \text{Berat Beban Gravitasi} + \text{Berat Beban} \\
 &\quad \text{Dinding} \\
 &= 104206,5 + 195801 + 8034,39 + 188002,44 + \\
 &\quad 5257,646 + 8866,06 + 238483,546 + 137716,93 \\
 &= 886368,513 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan pada tingkat-tingkat lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.42 hingga tabel 5.45.

Tabel 5.42 Perhitungan Massa Lantai 3

No	Elemen	Berat (kg)
1	Kolom	100440

Lanjutan Tabel 5.42 Perhitungan Massa Lantai 3

2	Balok	195801
3	Balok Bordes dan Lift	8034,390
4	Pelat	187311,240
5	Tangga Timur	5257,646
6	Tangga Tengah	8866,060
7	Beban Gravitasi	240023,592
8	Beban Dinding	141953,276
TOTAL		887687,205

Tabel 5.43 Perhitungan Massa Lantai 4

No	Elemen	Berat (kg)
1	Kolom	94296
2	Balok	185411,400
3	Balok Bordes dan Lift	8034,390
4	Pelat	211258,440
5	Tangga Timur	5257,646
6	Tangga Tengah	8866,060
7	Beban Gravitasi	239141,997
8	Beban Dinding	140548,012
TOTAL		892813,946

Tabel 5.44 Perhitungan Massa Lantai Atap

No	Elemen	Berat (kg)
1	Kolom	110393,640
2	Balok	175705,344
3	Balok Bordes dan Lift	8034,390
4	Pelat	152987,492
5	Tangga Timur	5257,646
8	Beban Dinding	16032,339
TOTAL		468410,852

Tabel 5.45 Perhitungan Massa Kubah

No	Elemen	Berat (kg)
1	Kolom	34556,476
2	Balok	32137,562
3	Beban Dinding	12046,972
TOTAL		78741,010

Setelah dihitung massa masing-masing tingkat, berikut adalah rekapitulasi total massa pada bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII dapat dilihat pada Tabel 5.46 berikut.

Tabel 5.46 Rekapitulasi Perhitungan Massa Bangunan

No	Massa	Berat (kg)
1	Lantai 2	886368,513
2	Lantai 3	887687,205
3	Lantai 4	892813,946
4	Lantai Atap	468410,852
5	Lantai Kubah	78741,010
6	Beban Terbagi Merata Tambahan	1488,955
7	Beban <i>Water Tank</i>	1882,8
TOTAL		3217393,250

5.3.8 Kontrol Massa Bangunan

1. Perbandingan Perhitungan Massa

Bangunan gedung yang telah dihitung massanya selanjutnya dimodelkan dalam software ETABS versi 20.2.0 dan dimasukkan beban-beban yang sebelumnya telah dihitung. Setelah program dijalankan, didapatkan massa bangunan yang diperoleh dari hasil pemodelan ETABS yang dapat dilihat pada Tabel 5.47 berikut.

Tabel 5.47 Hasil Perhitungan Massa Bangunan menggunakan Software ETABS versi 20.2.0

Tingkat dalam ETABS	Massa ETABS
Kubah +19,15	79111,64
Lantai Atap	463043,87
Lantai 4	836822,56
Lantai 3	874046,21
Lantai 2	876058,44
Base / Dasar	69168,97
Total Massa Etabs	3198251,69

Dari hasil perhitungan massa bangunan menggunakan software ETABS di atas didapatkan total massa bangunan adalah sebesar 319821,69 kg. Hasil ini selanjutnya dibandingkan dengan hasil perhitungan manual yang sudah dilakukan, perhitungan perbandingan massa bangunan menggunakan metode manual dan menggunakan bantuan software ETABS dapat dilihat pada perhitungan berikut.

$$\text{Massa manual} = 3217393,250 \text{ kg}$$

$$\text{Massa ETABS} = 3198251,69 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan massa} &= (\text{Massa manual} - \text{Massa ETABS}) / \text{Massa Manual} \\ &= (3217393,250 - 3198251,69) / 3217393,250 \\ &= 0,0059 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dalam persen} &= 0,0059 \times 100 \\ &= 0,59 \% \end{aligned}$$

Hasil perbandingan hasil perhitungan massa manual dengan hasil perhitungan massa menggunakan bantuan ETABS didapatkan hanya memiliki selisih sebesar 0,59 %. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa pemodelan yang dilakukan sudah sesuai dengan desain yang ada.

2. Perbandingan Beban Penyimpanan

Untuk menentukan beban hidup dilibatkan dalam perhitungan massa atau tidak, pada pasal 3.3.3 pada bab landasan teori telah dijelaskan diatur jika beban penyimpanan tidak lebih dari 5 % terhadap berat seismik efektif pada tingkat tersebut, beban tidak perlu dimasukkan dalam berat seismik efektif. Berikut adalah perhitungan perbandingan antara beban penyimpanan ruang kadaver dengan beban seismik efektif pada tingkat tersebut.

$$\text{Beban ruang kadaver} = 5100,367 \text{ kg}$$

$$\text{Beban tingkat} = 892813,946 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan beban} &= (\text{Beban ruang kadaver} / \text{Beban tingkat}) \times 100 \\ &= (5100,367 / 892813,946) \times 100 \end{aligned}$$

$$= 0,573 \%$$

Hasil perbandingan beban tersebut menunjukkan bahwa beban penyimpanan kurang dari 5% terhadap berat seismik efektif pada tingkat yang sama. Oleh karena itu, pada penelitian ini beban hidup (*Live*) sebesar 25% tidak diperhitungkan.

5.4 Perhitungan Beban Gempa Lateral (*Equivalent Lateral Force*)

5.4.1 Parameter Gempa

Parameter gempa perlu ditentukan berdasarkan karakteristik untuk dapat melakukan perhitungan selanjutnya. Parameter gempa bangunan gedung Laboratorium FK UII untuk setiap zona memiliki parameter yang sama. Berikut adalah penentuan parameter gempa untuk bangunan gedung tersebut.

1. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko untuk gedung yang termasuk ke dalam kategori gedung universitas adalah Kategori Risiko IV menurut 3.2 pada bab landasan teori. Oleh karena itu, faktor keutamaan gempa yang digunakan adalah sebesar 1,5 menurut Tabel 3.3 pada bab landasan teori.

2. Kategori Desain Seismik, KDS

Kategori Desain Seismik (KDS) untuk lokasi gedung yang direncanakan berdasarkan nilai SDS ataupun SD1 yang sudah didapatkan, berdasarkan Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 pada bab landasan teori. Nilai KDS lokasi gedung yang direncanakan termasuk ke dalam kategori D.

3. Koefisien Modifikasi Respons (R), Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0), dan Faktor Pembesaran Defleksi (C_d)

Nilai R , Ω_0 , dan C_d didapatkan dari Tabel 3.9 pada bab landasan teori pada baris sistem rangka pemikul momen poin C nomor 5. Berdasarkan tabel tersebut maka didapatkan nilai R adalah 8, nilai Ω_0 adalah 3, dan nilai C_d adalah 5,5.

5.4.2 Parameter Respon Spektrum

Berdasarkan data gedung yang diperoleh, didapatkan parameter beban gempa statik yang dapat digunakan dalam pembuatan grafik respon spektrum. Data yang dimaksud adalah data klasifikasi kelas situs dan koordinat dari setiap titik pengambilan nilai. Berikut adalah penentuan parameter-parameter pembuatan grafik respon spektrum.

5.4.2.1 Parameter Respon Spektrum Zona 1

1. Kelas Situs

Kelas situs bangunan gedung menurut Gambar 5.6 termasuk ke dalam kelas situs SC.

2. Koordinat

Koordinat Lintang Zona 1 adalah -7.71128980756507 . Sedangkan Koordinat Bujur Zona 1 adalah 110.358583692221 . Koordinat ini didapatkan dari hasil digitasi peta yang telah dilakukan.

3. Spektral Percepatan Periode Pendek, S_s

Berdasarkan Gambar 3.28, diambil nilai parameter gerak tanah spektral percepatan periode pendek (S_s) didapatkan secara visual nilai S_s untuk Titik 1 dan Titik 2 sesuai Gambar 5.5 adalah sebesar $1 - 1,2$ g, sedangkan untuk Titik 3 adalah sebesar $2 - 2,5$ g. Selanjutnya, berdasarkan koordinat dan kelas situs yang telah didapatkan diinput pada website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/> untuk mendapatkan nilai S_s . Didapatkan dari hasil input data koordinat dan kelas situs, S_s Zona 1 adalah $0,9736$ g. Pada penelitian ini penulis mengambil nilai yang didapat dari hasil input koordinat dan kelas situs yang didapatkan dari website dengan pertimbangan ketepatan titik pengambilan nilai untuk Zona 1 yaitu $0,9736$ g.

4. Spektral Percepatan Periode 1 Detik, S_1

Berdasarkan Gambar 3.29, diambil nilai parameter gerak tanah spektral percepatan periode 1 detik (S_1) didapatkan secara visual nilai S_s untuk Titik 1 dan Titik 2 sesuai Gambar 5.5 adalah sebesar $0,4 - 0,5$ g, sedangkan untuk Titik 3 adalah sebesar $1 - 1,2$ g. Selanjutnya berdasarkan koordinat dan kelas situs yang telah didapatkan diinput pada website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/> untuk mendapatkan

nilai S_s . Didapatkan dari hasil input data koordinat dan kelas situs, S1 Zona 1 adalah 0,4567 g. Pada penelitian ini penulis mengambil nilai yang didapat dari hasil input koordinat dan kelas situs yang didapatkan dari website dengan pertimbangan ketepatan titik pengambilan nilai untuk Zona 1 yaitu 0,4567 g.

5. Koefisien Situs, F_a

Berdasarkan Tabel 3.5 pada bab landasan teori, dilakukan interpolasi nilai dan didapatkan nilai F_a sesuai kelas situsnya adalah 1,2.

6. Koefisien Situs, F_v

Berdasarkan Tabel 3.6 pada bab landasan teori, dilakukan interpolasi nilai dan didapatkan nilai F_v sesuai kelas situsnya adalah 1,5.

7. Desain Periode Pendek, SDS

$$\begin{aligned} SDS &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times F_a \times S_s \\ &= \frac{2}{3} \times 1,2 \times 0,9736 \\ &= 0,7789 \text{ g} \end{aligned}$$

8. Desain Periode 1 Detik, SD1

$$\begin{aligned} SD1 &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} \times F_v \times S1 \\ &= \frac{2}{3} \times 1,5 \times 0,4567 \\ &= 0,5864 \text{ g} \end{aligned}$$

9. Nilai T_0

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= 0,2 \times \frac{0,4567}{0,7789} \\ &= 0,1173 \text{ detik} \end{aligned}$$

10. Nilai T_s

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= \frac{0,4567}{0,7789} \\
 &= 0,5864 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

11. Nilai T_L

Berdasarkan hasil input koordinat dan kelas situs pada website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/>. Didapatkan dari hasil input data koordinat dan kelas situs, T_L Zona 1 adalah 20 detik.

5.4.2.2 Parameter Respon Spektrum Zona 2

1. Kelas Situs

Kelas situs bangunan gedung menurut Gambar 5.6 termasuk ke dalam kelas situs SC.

2. Koordinat

Koordinat Lintang Zona 2 adalah -7.68832391799854. Sedangkan Koordinat Bujur Zona 2 adalah 110.412794924376. Koordinat ini didapatkan dari hasil digitasi peta yang telah dilakukan.

3. Spektral Percepatan Periode Pendek, S_s

Berdasarkan Gambar 3.28, diambil nilai parameter gerak tanah spektral percepatan periode pendek (S_s) didapatkan secara visual nilai S_s untuk Titik 1 dan Titik 2 sesuai Gambar 5.5 adalah sebesar 1 – 1,2 g, sedangkan untuk Titik 3 adalah sebesar 2 – 2,5 g. Selanjutnya, berdasarkan koordinat dan kelas situs yang telah didapatkan diinput pada website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/> untuk mendapatkan nilai S_s . Didapatkan dari hasil input data koordinat dan kelas situs, S_s Zona 2 adalah 1,0088 g. Pada penelitian ini penulis mengambil nilai yang didapat dari hasil input koordinat dan kelas situs yang didapatkan dari website dengan pertimbangan ketepatan titik pengambilan nilai untuk Zona 2 yaitu 1,0088 g.

4. Spektral Percepatan Periode 1 Detik, S_1

Berdasarkan Gambar 3.29, diambil nilai parameter gerak tanah spektral percepatan periode 1 detik (S1) didapatkan secara visual nilai Ss untuk Titik 1 dan Titik 2 sesuai Gambar 5.5 adalah sebesar 0,4 – 0,5 g, sedangkan untuk Titik 3 adalah sebesar 1 – 1,2 g. Selanjutnya berdasarkan koordinat dan kelas situs yang telah didapatkan diinput pada website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/> untuk mendapatkan nilai Ss. Didapatkan dari hasil input data koordinat dan kelas situs, S1 Zona 2 adalah 0,465 g. Pada penelitian ini penulis mengambil nilai yang didapat dari hasil input koordinat dan kelas situs yang didapatkan dari website dengan pertimbangan ketepatan titik pengambilan nilai untuk Zona 2 yaitu 0,465 g.

5. Koefisien Situs, Fa

Berdasarkan Tabel 3.5 pada bab landasan teori, dilakukan interpolasi nilai dan didapatkan nilai Fa sesuai kelas situsnya adalah 1,2.

6. Koefisien Situs, Fv

Berdasarkan Tabel 3.6 pada bab landasan teori, dilakukan interpolasi nilai dan didapatkan nilai Fa sesuai kelas situsnya adalah 1,5.

7. Desain Periode Pendek, SDS

$$\begin{aligned} SDS &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times Fa \times Ss \\ &= \frac{2}{3} \times 1,2 \times 1,0088 \\ &= 0,807 \text{ g} \end{aligned}$$

8. Desain Periode 1 Detik, SD1

$$\begin{aligned} SD1 &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} \times Fv \times S1 \\ &= \frac{2}{3} \times 1,5 \times 0,465 \\ &= 0,465 \text{ g} \end{aligned}$$

9. Nilai T₀

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= 0,2 \times \frac{0,465}{0,8070} \\
 &= 0,1152 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

10. Nilai T_s

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= \frac{0,465}{0,8070} \\
 &= 0,5762 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

11. Nilai T_L

Berdasarkan hasil input koordinat dan kelas situs pada website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/>. Didapatkan dari hasil input data koordinat dan kelas situs, TL Zona 2 adalah 20 detik.

5.4.2.3 Parameter Respon Spekturm Zona 3

1. Kelas Situs

Kelas situs bangunan gedung menurut Gambar 5.6 termasuk ke dalam kelas situs SC.

2. Koordinat

Koordinat Lintang Zona 3 adalah -7.9813517518388. Sedangkan Koordinat Bujur Zona 3 adalah 110.321141123622. Koordinat ini didapatkan dari hasil digitasi peta yang telah dilakukan.

3. Spektral Percepatan Periode Pendek, S_s

Berdasarkan Gambar 3.28, diambil nilai parameter gerak tanah spektral percepatan periode pendek (S_s) didapatkan secara visual nilai S_s untuk Titik 1 dan Titik 2 sesuai Gambar 5.5 adalah sebesar 1 – 1,2 g, sedangkan untuk Titik 3 adalah sebesar 2 – 2,5 g. Selanjutnya, berdasarkan koordinat dan kelas situs yang telah didapatkan diinput pada website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/> untuk mendapatkan nilai S_s . Didapatkan dari hasil input data koordinat dan kelas situs, S_s Zona 3 adalah 1,4487 g. Pada penelitian ini penulis mengambil nilai yang didapat dari hasil input

koordinat dan kelas situs yang didapatkan dari website dengan pertimbangan ketepatan titik pengambilan nilai untuk Zona 3 yaitu 1,4487 g.

4. Spektral Percepatan Periode 1 Detik, S1

Berdasarkan Gambar 3.29, diambil nilai parameter gerak tanah spektral percepatan periode 1 detik (S1) didapatkan secara visual nilai Ss untuk Titik 1 dan Titik 2 sesuai Gambar 5.5 adalah sebesar 0,4 – 0,5 g, sedangkan untuk Titik 3 adalah sebesar 1 – 1,2 g. Selanjutnya, koordinat dan kelas situs yang telah didapatkan diinput pada website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/> untuk mendapatkan nilai Ss. Didapatkan dari hasil input data koordinat dan kelas situs, S1 Zona 3 adalah 0,6035 g. Pada penelitian ini penulis mengambil nilai yang didapat dari hasil input koordinat dan kelas situs yang didapatkan dari website dengan pertimbangan ketepatan titik pengambilan nilai untuk Zona 3 yaitu 0,6035 g.

5. Koefisien Situs, Fa

Berdasarkan Tabel 3.5 pada bab landasan teori, dilakukan interpolasi nilai dan didapatkan nilai Fa sesuai kelas situsnya adalah 1,2.

6. Koefisien Situs, Fv

Berdasarkan Tabel 3.6 pada bab landasan teori, dilakukan interpolasi nilai dan didapatkan nilai Fa sesuai kelas situsnya adalah 1,4.

7. Desain Periode Pendek, SDS

$$\begin{aligned} \text{SDS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times Fa \times Ss \\ &= \frac{2}{3} \times 1,2 \times 1,4487 \\ &= 0,7789 \text{ g} \end{aligned}$$

8. Desain Periode 1 Detik, SD1

$$\begin{aligned} \text{SD1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} \times Fv \times S1 \end{aligned}$$

$$= \frac{2}{3} \times 1,4 \times 0,6035$$

$$= 0,5633 \text{ g}$$

9. Nilai T_0

$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$= 0,2 \times \frac{0,5633}{0,7789}$$

$$= 0,0972 \text{ detik}$$

10. Nilai T_s

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$= \frac{0,5633}{0,7789}$$

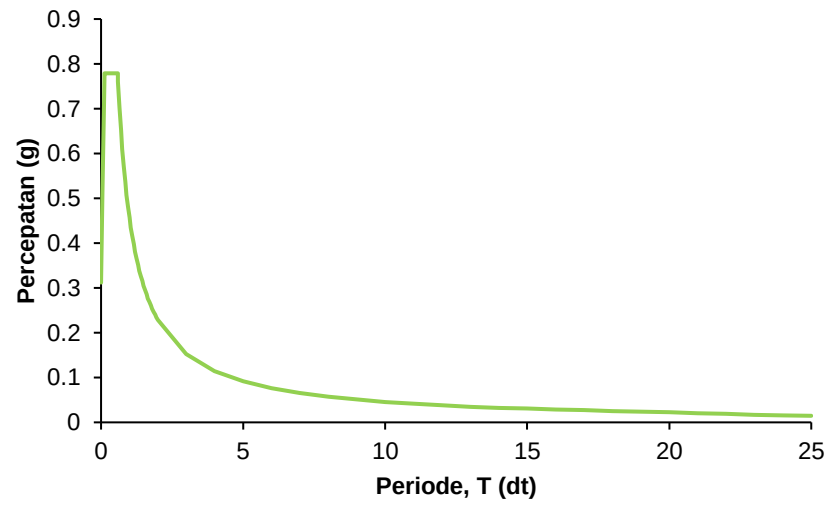
$$= 0,486 \text{ detik}$$

11. Nilai T_L

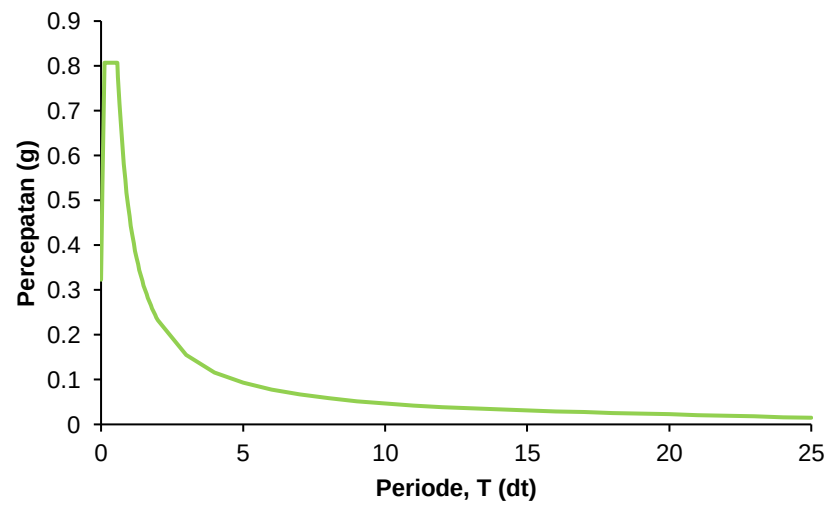
Berdasarkan hasil input koordinat dan kelas situs pada website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/>. Didapatkan dari hasil input data koordinat dan kelas situs, TL Zona 3 adalah 20 detik.

5.4.3 Grafik Respon Spektrum

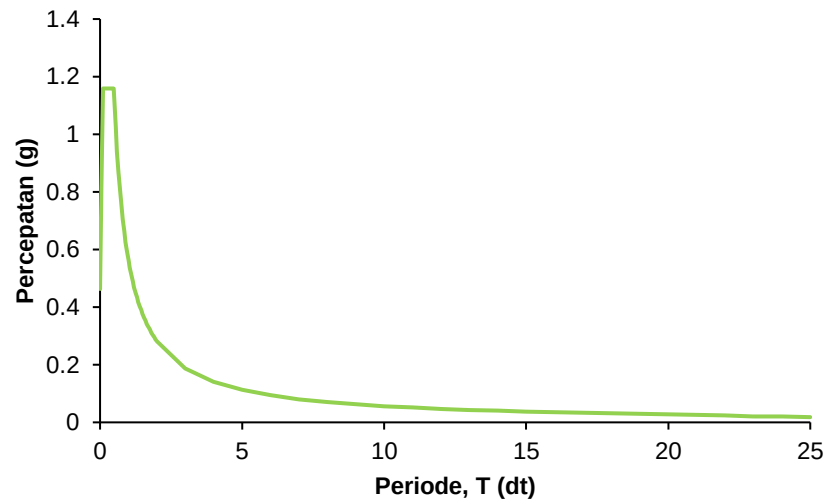
Dari hasil perhitungan beban gempa, maka didapatkan grafik respon spektrum pada masing-masing zona yang dapat dilihat pada Gambar 5.7, Gambar 5.8, dan Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.7 Grafik Respon Spektrum Zona 1



Gambar 5.8 Grafik Respon Spektrum Zona 2



Gambar 5.9 Grafik Respon Spektrum Zona 3

Berdasarkan hasil penentuan resposns spektrum desain pada ketiga zonasi diperoleh bahwa nilai percepatan yang paling besar terdapat pada Zona 3 yaitu 1.15896 g. Sedangkan Zona 2 dan Zona 1 memiliki nilai percepatan dibawah Zona 3 yaitu sebesar 0.80704 g dan 0.77888 g.

5.4.4 Periode Struktur

5.4.4.1 Periode Struktur Zona 1

Setelah didapatkan parameter gempa di atas, selanjutnya adalah menghitung Periode Struktur. Perhitungan Periode Stuktur untuk Zona 1 adalah sebagai berikut.

1. Menentukan Koefisien untuk Batas Periode, C_u

Berdasarkan Tabel 3.11 pada bab landasan teori, karena nilai $SD1$ adalah 0,4567 yaitu > 4 , maka nilai C_u adalah 1,4.

2. Menentukan Parameter Periode Pendekatan, C_t

Berdasarkan Tabel 3.10 pada bab landasan teori, karena tipe struktur termasuk ke dalam sistem rangka pemikul momen khusus pada tabel tersebut maka nilai C_t adalah 0,0466.

3. Menentukan Parameter Periode Pendekatan, x

Berdasarkan Tabel 3.10 pada bab landasan teori, karena tipe struktur termasuk ke dalam sistem rangka pemikul momen khusus pada tabel tersebut maka nilai x adalah 0,9.

4. Menentukan Tinggi Bangunan, h

Tinggi bangunan sesuai data struktur adalah sebesar 22,05 m.

5. Menghitung Periode Fundamental Pendekatan, T_a

Berdasarkan persamaan 3.12 pada bab landasan teori maka akan didapatkan nilai T_a . Perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_a &= C_t x h^x \\ &= 0,0466 x 22,05^x \\ &= 0,754 \text{ detik} \end{aligned}$$

6. Menghitung Periode Maksimum, T_{max}

Berdasarkan persamaan 3.13 pada bab landasan teori untuk T tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung, maka akan didapatkan nilai T_{max} . Perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_{max} &= C_u x T_a \\ &= 1,4 x 0,754 \\ &= 1,056 \text{ detik} \end{aligned}$$

7. Memasukkan Periode Hasil Analisis ETABS Arah X, $T_{comp,x}$

Periode hasil analisis ETABS Arah X pada Zona 1 adalah sebesar 1,289.

8. Memasukkan Periode Hasil Analisis ETABS Arah Y, $T_{comp,y}$

Periode hasil analisis ETABS Arah Y pada Zona 1 adalah sebesar 0,964.

9. Menentukan Periode Pakai Arah X, T_X

Karena nilai Periode Hasil Analisis ETABS Arah X atau $T_{comp,x}$ Zona 1 berada lebih dari T_{max} , maka digunakan Periode Hasil Analisis menggunakan T_{max} .

10. Menentukan Periode Pakai Arah Y, T_Y

Karena nilai Periode Hasil Analisis ETABS Arah Y atau T_{comp} y Zona 1 berada antara T_{max} dan T_a , maka digunakan Periode Hasil Analisis menggunakan ETABS.

5.4.4.2 Periode Struktur Zona 2

Setelah didapatkan parameter gempa di atas, selanjutnya adalah menghitung Periode Struktur. Perhitungan Periode Struktur untuk Zona 2 adalah sebagai berikut.

1. Menentukan Koefisien untuk Batas Periode, C_u

Berdasarkan Tabel 3.11 pada bab landasan teori, karena nilai $SD1$ adalah 0,465 yaitu > 4 , maka nilai C_u adalah 1,4.

2. Menentukan Parameter Periode Pendekatan, C_t

Berdasarkan Tabel 3.10 pada bab landasan teori, karena tipe struktur termasuk ke dalam sistem rangka pemikul momen khusus pada tabel tersebut maka nilai C_t adalah 0,0466.

3. Menentukan Parameter Periode Pendekatan, x

Berdasarkan Tabel 3.10 pada bab landasan teori, karena tipe struktur termasuk ke dalam sistem rangka pemikul momen khusus pada tabel tersebut maka nilai x adalah 0,9.

4. Menentukan Tinggi Bangunan, h

Tinggi bangunan sesuai data struktur adalah sebesar 22,05 m.

5. Menghitung Periode Fundamental Pendekatan, T_a

Berdasarkan persamaan 3.12 pada bab landasan teori maka akan didapatkan nilai T_a . Perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_a &= C_t x h^x \\ &= 0,0466 x 22,05^x \\ &= 0,754 \text{ detik} \end{aligned}$$

6. Menghitung Periode Maksimum, T_{max}

Berdasarkan persamaan 3.13 pada bab landasan teori untuk T tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung, maka akan didapatkan nilai Tmax. Perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_{\max} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,754 \\ &= 1,056 \text{ detik} \end{aligned}$$

7. Memasukkan Periode Hasil Analisis ETABS Arah X, Tcomp,x
Periode hasil analisis ETABS Arah X pada Zona 2 adalah sebesar 1,289.
8. Memasukkan Periode Hasil Analisis ETABS Arah Y, Tcomp,y
Periode hasil analisis ETABS Arah Y pada Zona 2 adalah sebesar 0,964.
9. Menentukan Periode Pakai Arah X, TX
Karena nilai Periode Hasil Analisis ETABS Arah X atau Tcomp x Zona 2 berada berada lebih dari Tmax, maka digunakan Periode Hasil Analisis menggunakan Tmax.
10. Menentukan Periode Pakai Arah Y, TY
Karena nilai Periode Hasil Analisis ETABS Arah Y atau Tcomp y Zona 2 berada antara Tmax dan Ta, maka digunakan Periode Hasil Analisis menggunakan ETABS.

5.4.4.3 Periode Struktur Zona 3

Setelah didapatkan parameter gempa di atas, selanjutnya adalah menghitung Periode Struktur. Perhitungan Periode Stuktur untuk Zona 3 adalah sebagai berikut.

1. Menentukan Koefisien untuk Batas Periode, Cu
Berdasarkan Tabel 3.11 pada bab landasan teori, karena nilai SD1 adalah 0,5633 yaitu > 4 , maka nilai Cu adalah 1,4.
2. Menentukan Parameter Periode Pendekatan, Ct
Berdasarkan Tabel 3.10 pada bab landasan teori, karena tipe struktur termasuk ke dalam sistem rangka pemikul momen khusus pada tabel tersebut maka nilai Ct adalah 0,0466.

3. Menentukan Parameter Periode Pendekatan, x

Berdasarkan Tabel 3.10 pada bab landasan teori, karena tipe struktur termasuk ke dalam sistem rangka pemikul momen khusus pada tabel tersebut maka nilai x adalah 0,9.

4. Menentukan Tinggi Bangunan, h

Tinggi bangunan sesuai data struktur adalah sebesar 22,05 m.

5. Menghitung Periode Fundamental Pendekatan, T_a

Berdasarkan persamaan 3.12 pada bab landasan teori maka akan didapatkan nilai T_a . Perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_a &= C_t x h^x \\ &= 0,0466 x 22,05^x \\ &= 0,754 \text{ detik} \end{aligned}$$

6. Menghitung Periode Maksimum, T_{max}

Berdasarkan persamaan 3.13 pada bab landasan teori untuk T tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung, maka akan didapatkan nilai T_{max} . Perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_{max} &= C_u x T_a \\ &= 1,4 x 0,754 \\ &= 1,056 \text{ detik} \end{aligned}$$

7. Memasukkan Periode Hasil Analisis ETABS Arah X, $T_{comp,x}$

Periode hasil analisis ETABS Arah X pada Zona 3 adalah sebesar 1,289.

8. Memasukkan Periode Hasil Analisis ETABS Arah Y, $T_{comp,y}$

Periode hasil analisis ETABS Arah Y pada Zona adalah sebesar 0,964.

9. Menentukan Periode Pakai Arah X, T_X

Karena nilai Periode Hasil Analisis ETABS Arah X atau $T_{comp,x}$ Zona 1 berada berada lebih dari T_{max} , maka digunakan Periode Hasil Analisis menggunakan T_{max} .

10. Menentukan Periode Pakai Arah Y, T_Y

Karena nilai Periode Hasil Analisis ETABS Arah Y atau T_{comp} y Zona 1 berada antara T_{max} dan T_a , maka digunakan Periode Hasil Analisis menggunakan ETABS.

5.4.5 Gaya Geser Dasar Statik

Setelah didapatkan parameter nilai Periode Struktur di atas, selanjutnya dilakukan perhitungan Gaya Geser Dasar Statik pada setiap zonasi, berikut adalah perhitungannya.

5.4.5.1 Gaya Geser Dasar Zona 1

1. Menentukan Koefisien Respon Seismik, C_s

Berdasarkan persamaan 3.14 pada bab landasan teori, perhitungan nilai C_s adalah sebagai berikut.

$$S_{DS} = 0,7789 \text{ g}$$

$$R = 8$$

$$I_e = 1,5$$

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \\ &= \frac{0,7789}{\frac{8}{1,5}} \\ &= 0,146 \end{aligned}$$

2. Menentukan Batas Atas Koefisien Respon Seismik

Karena didapatkan nilai $T < T_L$, maka berdasarkan persamaan 3.15 pada bab landasan teori, perhitungan nilai C_s max adalah sebagai berikut.

$$S_{D1} = 0,4567 \text{ g}$$

$$T_X = 1,056$$

$$T_Y = 0,964$$

$$C_{s \text{ max}, X} = \frac{S_{D1}}{T_X \frac{R}{I_e}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,4567}{1,056 \times \frac{8}{1,5}} \\
&= 0,0811 \\
C_{s \max, Y} &= \frac{S_{D1}}{T \times \frac{R}{I_e}} \\
&= \frac{0,4567}{0,964 \times \frac{8}{1,5}} \\
&= 0,0888
\end{aligned}$$

3. Menentukan Batas Bawah Koefisien Respon Seismik

Berdasarkan persamaan 3.16 dan persamaan 3.17 pada bab landasan teori, perhitungan nilai $C_{s \min 1}$ dan $C_{s \min 2}$ adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
C_{s \min 1} &= 0,044 S_{DS} I_e \\
&= 0,044 \times 0,7789 \times 1,5 \\
&= 0,0514 \\
S_1 &= 0,4567 \text{ g} \\
C_{s \min 2} &= \frac{0,5 S_1}{\frac{R}{I_e}} \\
&= \frac{0,5 \times 0,4567}{\frac{8}{1,5}} \\
&= 0,0428
\end{aligned}$$

4. Menentukan Koefisien Respon Pakai

Persamaan-persamaan yang digunakan pada penentuan koefisien respon seismik pakai diambil dari SNI 1726:2019 yang sudah dijelaskan pada pasal 3.5.2 pada bab landasan teori. Berdasarkan deskripsi pada peraturan tersebut, $C_{s \max}$ boleh diabaikan karena pada SNI tertulis bahwa C_s Tidak Perlu melebihi $C_{s \max}$. Sedangkan $C_{s \min}$ tidak boleh diabaikan karena tertulis di SNI bahwa C_s Tidak Boleh kurang dari $C_{s \min}$.

Dari hasil perhitungan menggunakan perhitungan di atas didapatkan rekapitulasi koefisien respon seismik Zona 1 yang dapat dilihat pada Tabel 5.48 berikut.

Tabel 5.48 Koefisien Respons Seismik Pakai Zona 1

Koefisien		Nilai
Cs		0,146
Cs maks	Cs maks X	0,0811
	Cs maks Y	0,0888
Cs min	Cs min 1	0,0514
	Cs min 2	0,0428
Cspakai X		0,0811
Cspakai Y		0,0888

5. Menentukan Berat Seismik Efektif, W

Berat seismik efektif didapatkan dari hasil analisis berat seismik menggunakan bantuan program ETABS. Berat seismik efektif merupakan penjumlahan dari berat seismik masing-masing lantai dikalikan dengan koefisien berat seismik yaitu 9,80665 lalu dibagi dengan angka 1000 untuk merubahnya menjadi satuan kN. Berat seismik masing-masing lantai dan berat seismik efektif yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 5.49 berikut.

Tabel 5.49 Berat Seismik Efektif

Lantai	Massa
	(kg)
Kubah +19,15	79111,64
Lantai Atap	463043,87
Lantai 4	836822,56
Lantai 3	874046,21
Lantai 2	876058,44
Base / Dasar	69168,97
W	3198251,69

6. Menentukan Gaya Geser Dasar Statik, V

Dalam menentukan besar Gaya Geser Statik (V) menggunakan persamaan 3.19 pada bab landasan teori dan menggunakan Gaya Geser Statik yang didapatkan dari software ETABS sebagai pembanding. Berikut adalah perhitungan Gaya Geser Statik menurut persamaan 3.19 pada bab landasan teori.

$$C_{sx} = 0,0811$$

$$C_{sy} = 0,0888$$

$$\begin{aligned} W &= 3198251,69 \times 9,80665 / 1000 \\ &= 31364,135 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V = C_s \times W$$

$$\begin{aligned} V_x &= 0,0811 \times 31364,135 \\ &= 2543,806 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_y &= 0,0888 \times 31364,135 \\ &= 2786,048 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya Geser Statik yang didapatkan dari software ETABS adalah sebesar 2494,494 untuk V_x dan 2734,398 untuk V_y . Maka dapat diketahui bahwa perhitungan tidak mengalami kesalahan dalam proses perhitungannya karena perbedaan Gaya Geser hanya memiliki selisih yang kurang dari 2%.

5.4.5.2 Gaya Geser Dasar Zona 2

1. Menentukan Koefisien Respon Seismik, C_s

Berdasarkan persamaan 3.14 pada bab landasan teori, perhitungan nilai C_s adalah sebagai berikut.

$$S_{DS} = 0,8070 \text{ g}$$

$$R = 8$$

$$I_e = 1,5$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}}$$

$$= \frac{0,8070}{\frac{8}{1,5}}$$

$$= 0,1513$$

2. Menentukan Batas Atas Koefisien Respon Seismik

Karena didapatkan nilai $T < T_L$, maka berdasarkan persamaan 3.15 pada bab landasan teori, perhitungan nilai $C_s \max$ adalah sebagai berikut.

$$S_{D1} = 0,465 \text{ g}$$

$$T_X = 1,056$$

$$T_Y = 0,964$$

$$C_{s \max, X} = \frac{S_{D1}}{T \times \frac{R}{I_e}}$$

$$= \frac{0,465}{1,056 \times \frac{8}{1,5}}$$

$$= 0,0826$$

$$C_{s \max, Y} = \frac{S_{D1}}{T \times \frac{R}{I_e}}$$

$$= \frac{0,465}{0,964 \times \frac{8}{1,5}}$$

$$= 0,0904$$

3. Menentukan Batas Bawah Koefisien Respon Seismik

Berdasarkan persamaan 3.16 dan persamaan 3.17 pada bab landasan teori, perhitungan nilai $C_s \min 1$ dan $C_s \min 2$ adalah sebagai berikut.

$$C_{s \min 1} = 0,044 S_{DS} I_e$$

$$= 0,044 \times 0,8070 \times 1,5$$

$$= 0,0533$$

$$S_1 = 0,465 \text{ g}$$

$$C_{s \min 2} = \frac{0,5 S_1}{\frac{R}{I_e}}$$

$$= \frac{0,5 \times 0,465}{\frac{8}{1,5}}$$

$$= 0,0436$$

4. Menentukan Koefisien Respon Pakai

Persamaan-persamaan yang digunakan pada penentuan koefisien respon seismik pakai diambil dari SNI 1726:2019 yang sudah dijelaskan pada pasal 3.5.2 pada bab landasan teori. Berdasarkan deskripsi pada peraturan tersebut, C_s max boleh diabaikan karena pada SNI tertulis bahwa C_s Tidak Perlu melebihi C_s max. Sedangkan C_s min tidak boleh diabaikan karena tertulis di SNI bahwa C_s Tidak Boleh kurang dari C_s min.

Dari hasil perhitungan menggunakan perhitungan di atas didapatkan rekapitulasi koefisien respon seismik Zona 1 yang dapat dilihat pada Tabel 5.50 berikut.

Tabel 5.50 Koefisien Respons Seismik Pakai Zona 2

Koefisien		Nilai
Cs		0,1513
Cs maks	Cs maks X	0,0826
	Cs maks Y	0,0904
Cs min	Cs min 1	0,0533
	Cs min 2	0,0436
Cspakai X		0,0826
Cspakai Y		0,0904

5. Menentukan Berat Seismik Efektif, W

Berat seismik efektif didapatkan dari hasil analisis berat seismik menggunakan bantuan program ETABS. Hasil Berat Seismik Efektif pada Zona 2 memiliki hasil yang sama dengan Zona 1 dikarenakan gedung yang digunakan merupakan gedung yang sama. Total berat seismik efektif yang didapatkan yaitu 3198251,69 kg.

6. Menentukan Gaya Geser Dasar Statik, V

Dalam menentukan besar Gaya Geser Statik (V) menggunakan persamaan 3.19 pada bab landasan teori dan menggunakan Gaya Geser Statik yang didapatkan dari software ETABS sebagai pembanding. Berikut adalah perhitungan Gaya Geser Statik menurut persamaan 3.19 pada bab landasan teori.

$$C_{sx} = 0,0826$$

$$C_{sy} = 0,0904$$

$$\begin{aligned} W &= 3198251,69 \times 9,80665 / 1000 \\ &= 31364,135 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V = C_s \times W$$

$$\begin{aligned} V_x &= 0,0826 \times 31364,135 \\ &= 2590,036 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_y &= 0,0904 \times 31364,135 \\ &= 2836,681 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya Geser Statik yang didapatkan dari software ETABS adalah sebesar 2539,829 untuk V_x dan 2784,093 untuk V_y . Maka dapat diketahui bahwa perhitungan tidak mengalami kesalahan dalam proses perhitungannya karena perbedaan gaya geser hanya memiliki selisih yang kurang dari 2%.

5.4.5.3 Gaya Geser Dasar Zona 3

1. Menentukan Koefisien Respon Seismik, C_s

Berdasarkan persamaan 3.14 pada bab landasan teori, perhitungan nilai C_s adalah sebagai berikut.

$$S_{DS} = 1,159 \text{ g}$$

$$R = 8$$

$$I_e = 1,5$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}}$$

$$= \frac{1,159}{\frac{8}{1,5}}$$

$$= 0,2173$$

2. Menentukan Batas Atas Koefisien Respon Seismik

Karena didapatkan nilai $T < T_L$, maka berdasarkan persamaan 3.15 pada bab landasan teori, perhitungan nilai $C_s \max$ adalah sebagai berikut.

$$S_{D1} = 0,5633 \text{ g}$$

$$T_X = 1,056$$

$$T_Y = 0,964$$

$$C_{s \max, X} = \frac{S_{D1}}{T \times \frac{R}{I_e}}$$

$$= \frac{0,5633}{1,056 \times \frac{8}{1,5}}$$

$$= 0,100031$$

$$C_{s \max, Y} = \frac{S_{D1}}{T \times \frac{R}{I_e}}$$

$$= \frac{0,4567}{0,964 \times \frac{8}{1,5}}$$

$$= 0,1096$$

3. Menentukan Batas Bawah Koefisien Respon Seismik

Berdasarkan persamaan 3.16 dan persamaan 3.17 pada bab landasan teori, perhitungan nilai $C_s \min 1$ dan $C_s \min 2$ adalah sebagai berikut.

$$C_{s \min 1} = 0,044 S_{DS} I_e$$

$$= 0,044 \times 1,159 \times 1,5$$

$$= 0,0765$$

$$S_1 = 0,6035 \text{ g}$$

$$C_{s \min 2} = \frac{0,5 S_1}{\frac{R}{I_e}}$$

$$= \frac{0,5 \times 0,6035}{\frac{8}{1,5}}$$

$$= 0,0566$$

4. Menentukan Koefisien Respon Pakai

Persamaan-persamaan yang digunakan pada penentuan koefisien respon seismik pakai diambil dari SNI 1726:2019 yang sudah dijelaskan pada pasal 3.5.2 pada bab landasan teori. Berdasarkan deskripsi pada peraturan tersebut, Cs max boleh diabaikan karena pada SNI tertulis baha Cs Tidak Perlu melebihi Cs max. Sedangkan Cs min tidak boleh diabaikan karena tertulis di SNI bahwa Cs Tidak Boleh kurang dari Cs min.

Dari hasil perhitungan menggunakan perhitungan di atas didapatkan rekapitulasi koefisien respon seismik Zona 3 yang dapat dilihat pada Tabel 5.51 berikut.

Tabel 5.51 Koefisien Respons Seismik Pakai Zona 3

Koefisien		Nilai
Cs		0,2173
Cs maks	Cs maks X	0,100031
	Cs maks Y	0,1096
Cs min	Cs min 1	0,0765
	Cs min 2	0,0566
Cspakai X		0,100031
Cspakai Y		0,1096

5. Menentukan Berat Seismik Efektif, W

Berat seismik efektif didapatkan dari hasil analisis berat seismik menggunakan bantuan program ETABS. Hasil Berat Seismik Efektif pada Zona 3 memiliki hasil yang sama dengan Zona 1 dikarenakan gedung yang digunakan merupakan gedung yang sama. Total berat seismik efektif yang didapatkan yaitu 3198251,69 kg.

6. Menentukan Gaya Geser Dasar Statik, V

Dalam menentukan besar Gaya Geser Statik (V) menggunakan persamaan 3.19 pada bab landasan teori dan menggunakan Gaya Geser Statik yang didapatkan dari software ETABS sebagai pembanding. Berikut adalah perhitungan Gaya Geser Statik menurut persamaan 3.19 pada bab landasan teori.

$$C_{sx} = 0,100031$$

$$C_{sy} = 0,1096$$

$$\begin{aligned} W &= 3198251,69 \times 9,80665 / 1000 \\ &= 31364,135 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V = C_s x W$$

$$\begin{aligned} V_x &= 0,100031 \times 31364,135 \\ &= 3137,379 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_y &= 0,1096 \times 31364,135 \\ &= 3436,146 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya Geser Statik yang didapatkan dari software ETABS adalah sebesar 3076,561 untuk V_x dan 3372,444 untuk V_y . Maka dapat diketahui bahwa perhitungan tidak mengalami kesalahan dalam proses perhitungannya karena perbedaan gaya geser hanya memiliki selisih yang kurang dari 2%.

5.4.6 Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Perhitungan distribusi vertikal gaya seismik dilakukan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut.

$$F = C_{vx} \cdot V$$

$$C_{vx} V = \frac{w_x h_x^k}{\sum w_i h_i^k}$$

Berdasarkan nilai T pakai dengan syarat-syarat pada persamaan 3.20 dan persamaan 3.21 pada bab landasan teori, dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai k antara angka 1 dan 2. Dasar interpolasi digunakan acuan grafik pada Gambar 3.35. Berikut adalah perhitungannya.

$$T_X = 1,056$$

$$T_Y = 0,964$$

$$k = 0,75 + 0,5T$$

$$\begin{aligned} k_X &= 0,75 + 0,5 \times 1,056 \\ &= 1,278 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_Y &= 0,75 + 0,5 \times 1,056 \\ &= 1,232 \end{aligned}$$

Sehingga dapat dilakukan perhitungan distribusi vertikal gaya gempa pada sumbu x dengan contoh perhitungan pada lantai kubah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W &= 79111,64 \text{ kg} \\ &= 775,82 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$h_i = 19,15 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} h_i^k &= h_i^{kx} \\ &= 19,15^{1,278} \\ &= 43,499 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_i h_i^k &= 775,82 \times 43,499 \\ &= 3441310,938 \end{aligned}$$

$$\Sigma W_i h_i^k = 58027495,644$$

$$\begin{aligned} C_{vi} &= \frac{W_i h_i^k}{\Sigma W_i h_i^k} \\ &= \frac{3441310,938}{58027495,644} \\ &= 0,059 \end{aligned}$$

$$V_X = 2543,806 \text{ kN}$$

$$F_i = C_{vi} \times V_X$$

$$= 0,059 \times 2543,806$$

$$= 150,86 \text{ kN}$$

$$V_i = F_i$$

$$= 150,86 \text{ kN}$$

Perhitungan lantai 1 – lantai atap serta sumbu y dilakukan menggunakan Langkah yang sama seperti contoh perhitungan, begitupun perhitungan untuk zona 1 dan zona 2. Rekapitulasi distribusi vertikal gaya seismik untuk sumbu x dan sumbu y pada masing-masing zona dapat dilihat pada Tabel 5.52 sampai Tabel 5.57.

Tabel 5.52 Tabel Distribusi Gaya Geser Statik Struktur Sumbu X Zona 1

Tingkat	W _i (kg)	W _i (kN)	h _i (m)	h _i ^k	W _i h _i ^k	C _{vi}	F _i (kN)	V _i (kN)
Kubah +19,15	79111,640	775,820	19,150	43,499	3441310,938	0,059	150,860	150,860
Lantai Atap	463043,870	4540,909	16,050	34,712	16073066,121	0,277	704,610	855,470
Lantai 4	836822,560	8206,426	12,150	24,321	20352297,572	0,351	892,203	1747,673
Lantai 3	874046,210	8571,465	8,150	14,601	12761529,668	0,220	559,439	2307,112
Lantai 2	876058,440	8591,199	4,150	6,163	5399291,346	0,093	236,694	2543,806
Base / Dasar	69168,970	678,316	0	0	0	0	0	2543,806
Σ	3198251,690	31364,135			58027495,644		2543,806	

Tabel 5.53 Tabel Distribusi Gaya Geser Statik Struktur Sumbu Y Zona 1

Tingkat	W _i (kg)	W _i (kN)	h _i (m)	h _i ^k	W _i h _i ^k	C _{vi}	F _i (kN)	V _i (kN)
Kubah +19,15	79111,640	775,820	19,150	37,987	3005192,681	0,058	161,162	161,162
Lantai Atap	463043,870	4540,909	16,050	30,559	14150356,596	0,272	758,854	920,016
Lantai 4	836822,560	8206,426	12,150	21,687	18148107,966	0,349	973,245	1893,261
Lantai 3	874046,210	8571,465	8,150	13,260	11589923,462	0,223	621,543	2514,804
Lantai 2	876058,440	8591,199	4,150	5,773	5057877,808	0,097	271,243	2786,048
Base / Dasar	69168,970	678,316	0	0	0	0	0	2786,048
Σ	3198251,690	31364,135			51951458,513		2786,048	

Tabel 5.54 Tabel Distribusi Gaya Geser Statik Struktur Sumbu X Zona 2

Tingkat	W _i (kg)	W _i (kN)	h _i (m)	h _i ^k	W _i h _i ^k	C _{vi}	F _i (kN)	V _i (kN)
Kubah +19,15	79111,640	775,820	19,150	43,499	3441310,938	0,059	153,602	153,602
Lantai Atap	463043,870	4540,909	16,050	34,712	16073066,121	0,277	717,415	871,017
Lantai 4	836822,560	8206,426	12,150	24,321	20352297,572	0,351	908,417	1779,435
Lantai 3	874046,210	8571,465	8,150	14,601	12761529,668	0,220	569,606	2349,041
Lantai 2	876058,440	8591,199	4,150	6,163	5399291,346	0,093	240,995	2590,036
Base / Dasar	69168,970	678,316	0	0	0	0	0	2590,036
Σ	3198251,690	31364,135			58027495,644		2590,036	

Tabel 5.55 Tabel Distribusi Gaya Geser Statik Struktur Sumbu Y Zona 2

Tingkat	W_i (kg)	W_i (kN)	h_i (m)	h_i^k	$W_i h_i^k$	C_{vi}	F_i (kN)	V_i (kN)
Kubah +19,15	79111,640	775,820	19,150	37,987	3005192,681	0,058	164,091	164,091
Lantai Atap	463043,870	4540,909	16,050	30,559	14150356,596	0,272	772,645	936,736
Lantai 4	836822,560	8206,426	12,150	21,687	18148107,966	0,349	990,933	1927,669
Lantai 3	874046,210	8571,465	8,150	13,260	11589923,462	0,223	632,839	2560,508
Lantai 2	876058,440	8591,199	4,150	5,773	5057877,808	0,097	276,173	2836,681
Base / Dasar	69168,970	678,316	0	0	0	0	0	2836,681
Σ	3198251,690	31364,135			51951458,513		2836,681	

Tabel 5.56 Tabel Distribusi Gaya Geser Statik Struktur Sumbu X Zona 3

Tingkat	W_i (kg)	W_i (kN)	h_i (m)	h_i^k	$W_i h_i^k$	C_{vi}	F_i (kN)	V_i (kN)
Kubah +19,15	79111,640	775,820	19,150	43,499	3441310,938	0,059	186,062	186,062
Lantai Atap	463043,870	4540,909	16,050	34,712	16073066,121	0,277	869,024	1055,086
Lantai 4	836822,560	8206,426	12,150	24,321	20352297,572	0,351	1100,390	2155,476
Lantai 3	874046,210	8571,465	8,150	14,601	12761529,668	0,220	689,979	2845,455
Lantai 2	876058,440	8591,199	4,150	6,163	5399291,346	0,093	291,924	3137,379
Base / Dasar	69168,970	678,316	0	0	0	0	0	3137,379
Σ	3198251,690	31364,135			58027495,644		3137,379	

Tabel 5.57 Tabel Distribusi Gaya Geser Statik Struktur Sumbu Y Zona 3

Tingkat	W_i (kg)	W_i (kN)	h_i (m)	h_i^k	$W_i h_i^k$	C_{vi}	F_i (kN)	V_i (kN)
Kubah +19,15	79111,640	775,820	19,150	37,987	3005192,681	0,058	198,768	198,768
Lantai Atap	463043,870	4540,909	16,050	30,559	14150356,596	0,272	935,925	1134,693
Lantai 4	836822,560	8206,426	12,150	21,687	18148107,966	0,349	1200,343	2335,036
Lantai 3	874046,210	8571,465	8,150	13,260	11589923,462	0,223	766,575	3101,610
Lantai 2	876058,440	8591,199	4,150	5,773	5057877,808	0,097	334,535	3436,146
Base / Dasar	69168,970	678,316	0	0	0	0	0	3436,146
Σ	3198251,690	31364,135			51951458,513		3436,146	

Berdasarkan hasil perhitungan distribusi gaya geser statik yang telah dilakukan, diperoleh nilai gaya geser seismik pada elevasi kubah dan atap terpaut jauh dibandingkan nilai gaya geser seismik pada elevasi dibawahnya dikarenakan denah pada tingkat tersebut sangat berbeda dibandingkan tingkat-tingkat di bawahnya. Hal tersebut yang menyebabkan terdapat perbedaan jauh dalam gaya geser yang diterima pada kedua lantai tersebut.

5.4.7 Simpangan (*Displacement*) dan Rasio Simpangan Antar Tingkat (*Drift Ratio*)

Berdasarkan syarat-syarat kategori risiko struktur IV pada Tabel 3.12 dengan kategori bangunan gedung termasuk semua struktur lainnya, menurut tabel tersebut didapatkan ketentuan sebagai berikut.

$$\Delta = 0,01 h$$

$$\rho = 1,3$$

$$\begin{aligned}\Delta_{\max} &= \Delta / \rho \\ &= 0,01 h / 1,3 \\ &= 0,00769 h\end{aligned}$$

$$C_d = 5,5$$

$$I_e = 1,5$$

Sehingga dapat dilakukan perhitungan rasio simpangan antar tingkat (*story drift*) pada sumbu x sebagai berikut.

Nilai *displacement* didapat dari hasil analisis program ETABS

$$\delta e_x \text{ Lkubah} = 67,021 \text{ mm}$$

$$\delta e_x \text{ Latap} = 55,632 \text{ mm}$$

Perhitungan elastik drift

$$h = 3100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\delta e_x \text{ Lkubah} &= \delta e_x \text{ Lkubah} - \delta e_x \text{ Latap} \\ &= 67,021 \text{ mm} - 55,632 \text{ mm} \\ &= 11,389 \text{ mm}\end{aligned}$$

Perhitungan inelastik drift

$$\begin{aligned}\Delta_x &= \frac{\delta e_x \text{ Lkubah} \times C_d}{I_e} \\ &= \frac{11,389 \times 5,5}{1,5} \\ &= 41,76 \text{ mm}\end{aligned}$$

Perhitungan nilai *Drift Ratio*

$$DR_{x\text{Lkubah}} = \frac{\Delta_x \text{ Lkubah}}{h} \times 100$$

$$= \frac{41,76}{3100} \times 100$$

$$= 1,347 \%$$

Perhitungan nilai Simpangan Inelastik Izin

$$\Delta_a = 0,01 h$$

$$\text{Simpangan Inelastik Izin} = \frac{\Delta_a}{\rho}$$

$$= \frac{0,01h}{1,3}$$

$$= 0,00769h$$

Perhitungan *Drift Ratio Limit*

$$\text{Drift Ratio Limit} = \frac{0,00769h}{h} \times 100$$

$$= 0,00769 \times 100$$

$$= 0,769 \%$$

$$\text{Cek} = 1,347 \% > 0,769 \%$$

$$= \text{Drift Ratio} > \text{Drift Ratio Limit (Tidak Ok)}$$

Rekapitulasi perhitungan simpangan simpangan dan *drift ratio* yang didapat dari beban gempa statik pada sumbu x dan sumbu y setiap lantai dari masing-masing zona dapat dilihat pada Tabel 5.58 hingga Tabel 5.60. Sedangkan untuk grafik simpangan maksimum dan *drift ratio* dapat dilihat pada Gambar 5.10 hingga Gambar 5.15.

Tabel 5.58 Rekapitulasi Simpangan dan Rasio Simpangan antar Tingkat (*Drift Ratio*) akibat Beban Gempa Statik Zona 1

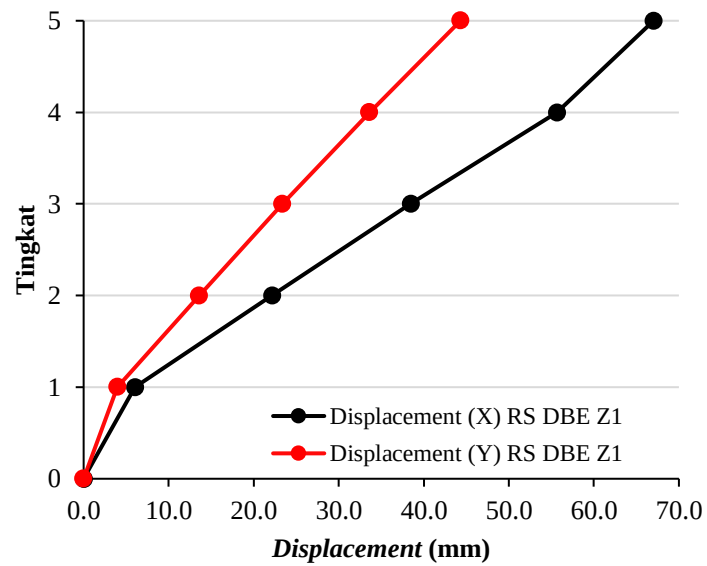
Tingkat	Displacement		h	Elastic Drift		Inelastic Drift		Drift Ratio		Drift Ratio Limit	Cek Drift Ratio Limit
	δ_{ex}	δ_{ey}		δ_{ex}	δ_{ey}	Δ_x	Δ_y	DR X	DR Y		
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%		
5	67,021	44,313	3100	11,389	10,717	41,760	39,296	1,347	1,268	0,769	NOT OK
4	55,632	33,596	3900	17,167	10,224	62,946	37,488	1,614	0,961	0,769	NOT OK
3	38,465	23,372	4000	16,339	9,772	59,910	35,831	1,498	0,896	0,769	NOT OK
2	22,126	13,6	4000	16,086	9,626	58,982	35,295	1,475	0,882	0,769	NOT OK
1	6,04	3,974	4150	6,040	3,974	22,147	14,571	0,534	0,351	0,769	OK
0	0	0	0	0	0	0	0,000	0	0	0,769	

Tabel 5.59 Rekapitulasi Simpangan dan Rasio Simpangan antar Tingkat (*Drift Ratio*) akibat Beban Gempa Statik Zona 2

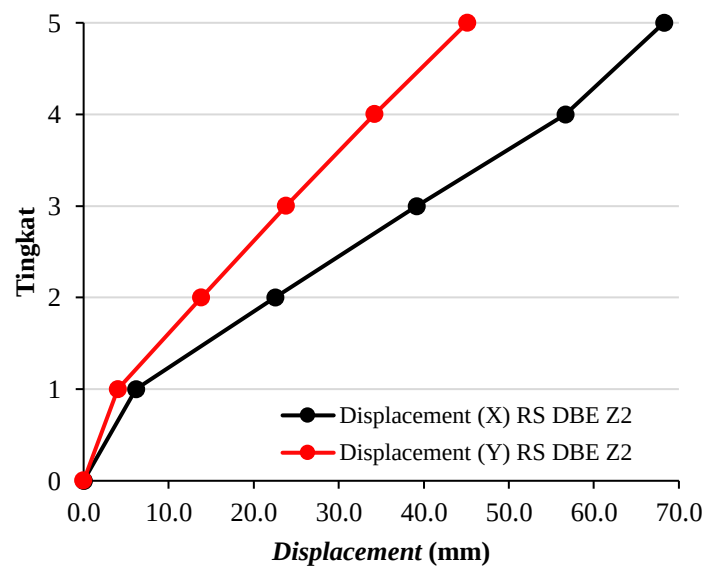
Tingkat	Displacement		h	Elastic Drift		Inelastic Drift		Drift Ratio		Drift Ratio Limit	Cek Drift Ratio Limit
	δ_{ex}	δ_{ey}		δ_{ex}	δ_{ey}	Δ_x	Δ_y	DR X	DR Y		
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%		
5	68,239	45,118	3100	11,596	10,912	42,519	40,011	1,372	1,291	0,769	NOT OK
4	56,643	34,206	3900	17,479	10,409	64,090	38,166	1,643	0,979	0,769	NOT OK
3	39,164	23,797	4000	16,636	9,950	60,999	36,483	1,525	0,912	0,769	NOT OK
2	22,528	13,847	4000	16,379	9,801	60,056	35,937	1,501	0,898	0,769	NOT OK
1	6,149	4,046	4150	6,149	4,046	22,546	14,835	0,543	0,357	0,769	OK
0	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000	0	0,769	

Tabel 5.60 Rekapitulasi Simpangan dan Rasio Simpangan antar Tingkat (*Drift Ratio*) akibat Beban Gempa Statik Zona 3

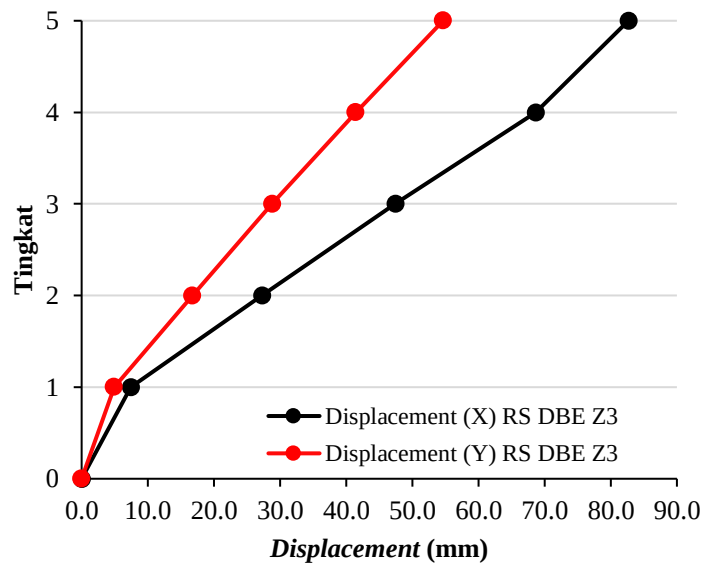
Tingkat	<i>Displacement</i>		h	<i>Elastic Drift</i>		<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift Ratio</i>		<i>Drift Ratio Limit</i>	Cek <i>Drift Ratio Limit</i>
	δe_x	δe_y		δe_x	δe_y	Δ_x	Δ_y	DR X	DR Y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%	%	
5	82,659	54,653	3100	14,046	13,218	51,502	48,466	1,661	1,563	0,769	NOT OK
4	68,613	41,435	3900	21,173	12,609	77,634	46,233	1,991	1,185	0,769	NOT OK
3	47,44	28,826	4000	20,151	12,053	73,887	44,194	1,847	1,105	0,769	NOT OK
2	27,289	16,773	4000	19,840	11,871	72,747	43,527	1,819	1,088	0,769	NOT OK
1	7,449	4,902	4150	7,449	4,902	27,313	17,974	0,658	0,433	0,769	OK
0	0	0	0	0	0	0	0,000	0	0	0,769	



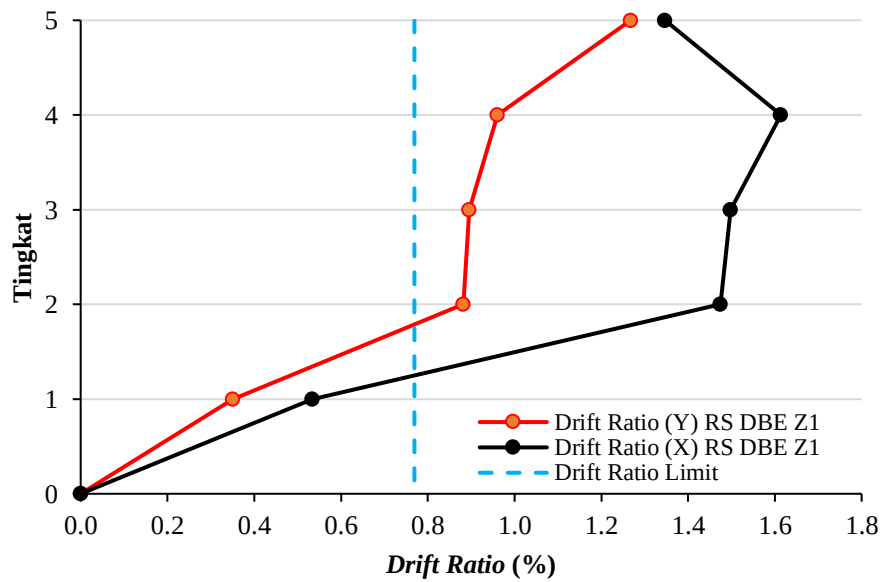
Gambar 5.10 Grafik *Displacement* Zona 1



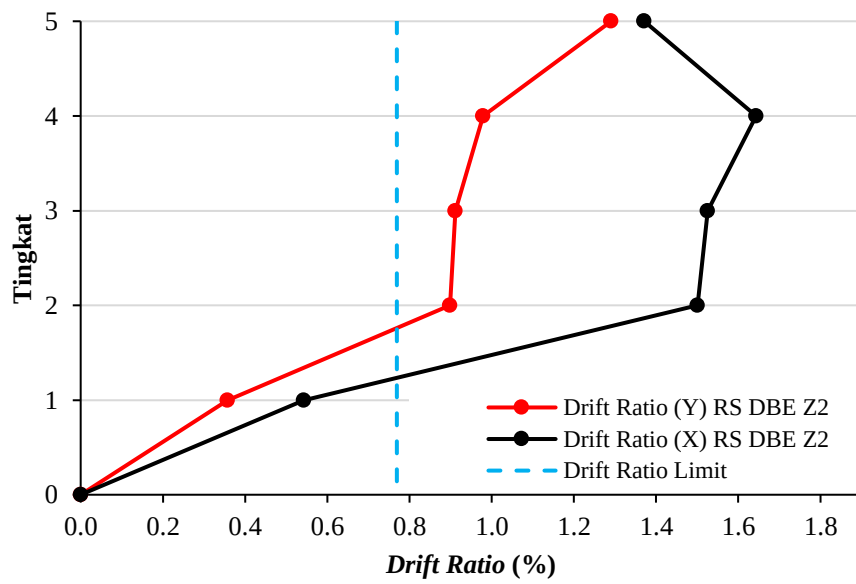
Gambar 5.11 Grafik *Displacement* Zona 2



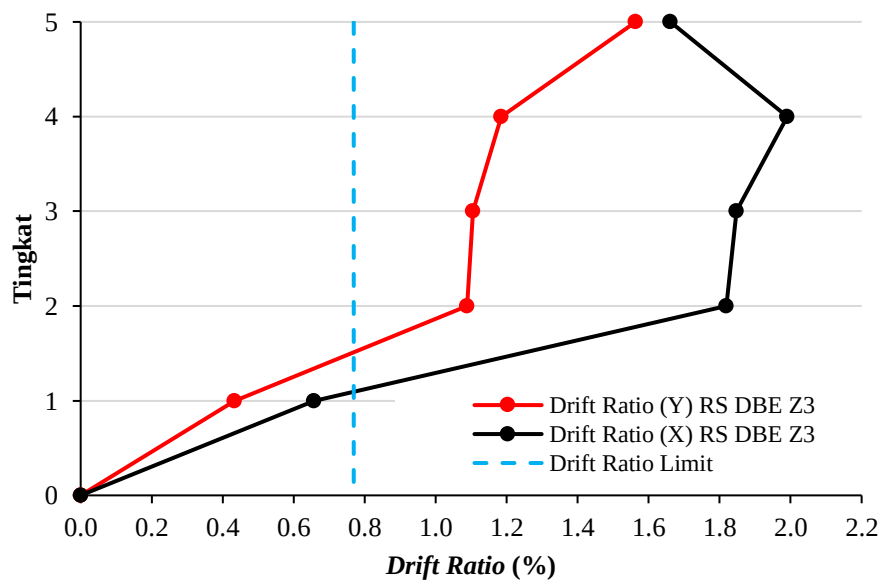
Gambar 5.12 Grafik *Displacement* Zona 3



Gambar 5.13 Grafik *Drift Ratio* Gaya Gempa Statik Zona 1



Gambar 5.14 Grafik *Drift Ratio* Gaya Gempa Statik Zona 2



Gambar 5.15 Grafik *Drift Ratio* Gaya Gempa Statik Zona 3

Berdasarkan tabel dan gambar hasil analisis nilai *Displacement* dan nilai *Drift Ratio* akibat gempa statik di atas, diperoleh bahwa *Displacement* maksimum terbesar terjadi pada Zona 3 yaitu sebesar 82,659 mm pada arah x dan *Displacement* maksimum terkecil terjadi pada Zona 1 yaitu sebesar 67,021 mm pada arah x. Sedangkan untuk nilai *Drift Ratio* maksimum terbesar terjadi pada Zona 3 yaitu sebesar 1,991 % pada arah x akibat dan *Drift Ratio* maksimum terkecil terjadi pada Zona 2 yaitu sebesar 1,614 % pada arah y. Berdasarkan hasil analisis di atas juga diperoleh bahwa pada setiap zona nilai *Drift Ratio* melebihi nilai *Drift Ratio Limit* yang ditentukan. Nilai *Drift Ratio* yang melebihi nilai *Drift Ratio Limit* rata-rata terjadi pada tingkat kedua pada masing-masing zona kecuali zona 3 yang sudah terdapat nilai yang melebihi batas mulai dari tingkat pertama.

Berdasarkan analisis yang dilakukan oleh peneliti, hasil ini didapatkan karena disebabkan faktor peraturan yang mengatur batasan-batasan perencanaan bangunan struktur tahan gempa. Bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII selesai dibangun dan disahkan pada tahun 2012. Dari informasi tersebut dapat diketahui bahwa perencanaan bangunan struktur tentunya menggunakan peraturan lama sebelum masa pelaksanaan proyek yaitu sebelum tahun 2012. SNI 1726:2019 merupakan aturan yang mengatur batasan-batasan dalam perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung, sedangkan peraturan lama yang mengatur tentang batasan-batasan tersebut sebelum tahun 2012 adalah SNI 1726:2002.

Diketahui sebelumnya bahwa dalam perhitungan nilai *Drift Ratio Limit* melibatkan nilai simpangan antar tingkat izin dan nilai faktor redundansi yang pada aturan terbaru yaitu SNI 1726:2019 diatur berdasarkan kategori desains seismiknya. Sedangkan pada SNI 1726:2002, pada Pasal 8.2.2 hanya diatur tentang simpangan antar tingkat tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan tanpa dikategorikan berdasarkan kategori desain seismiknya. Sedangkan untuk nilai redundansi pada aturan ini belum diatur ketentuan penggunaannya dalam perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung.

Jika kedua nilai tersebut disesuaikan oleh peneliti sesuai dengan ketentuan yang diatur pada SNI 1726:2002, maka nilai *Drift Ratio* akibat beban gempa statik pada Zona 2 yang merupakan lokasi eksisting bangunan gedung yang ditinjau, didapatkan bahwa nilai *Drift Ratio* tidak melebihi nilai *Drift Ratio Limit*.

5.4.8 Pengaruh P-Delta

Perhitungan pengaruh P-Delta pada setiap lantainya sebenarnya tidak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) yang didapatkan sama dengan atau kurang dari nilai 0,1. Berikut adalah contoh perhitungan pada lantai kubah untuk sumbu x.

$$\beta = 1$$

$$C_d = 5,5$$

$$I_e = 1,5$$

$$h = 3100 \text{ mm}$$

$$\Delta_x = 41,76 \text{ mm}$$

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$$

$$= \frac{0,5}{1 \times 5,5} \leq 0,25$$

$$= 0,0909$$

$$P = 480,183 \text{ kN}$$

$$V_x = 150,345 \text{ kN}$$

$$\theta_x = \frac{P \times \Delta \times I_e}{V_x \times h \times C_d}$$

$$= \frac{480,183 \times 42,489 \times 1,5}{150,345 \times 3100 \times 5,5}$$

$$= 0,012$$

Kemudian dilakukan kontrol terhadap koefisien stabilitas struktur

$$\theta_x < \theta_{\max}$$

$$0,012 < 0,0909 \text{ (Aman)}$$

Rekapitulasi perhitungan P-delta pada sumbu x dan sumbu y pada setiap lantai di masing-masing zona dapat dilihat pada Tabel 5.61 hingga Tabel 5.63, sedangkan grafik koefisien stabilitas pada setiap tingkat di masing-masing zona dapat dilihat pada Gambar 5.16 hingga Gambar 5.18.

Tabel 5.61 Rekapitulasi Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya Gempa Statik Zona 1

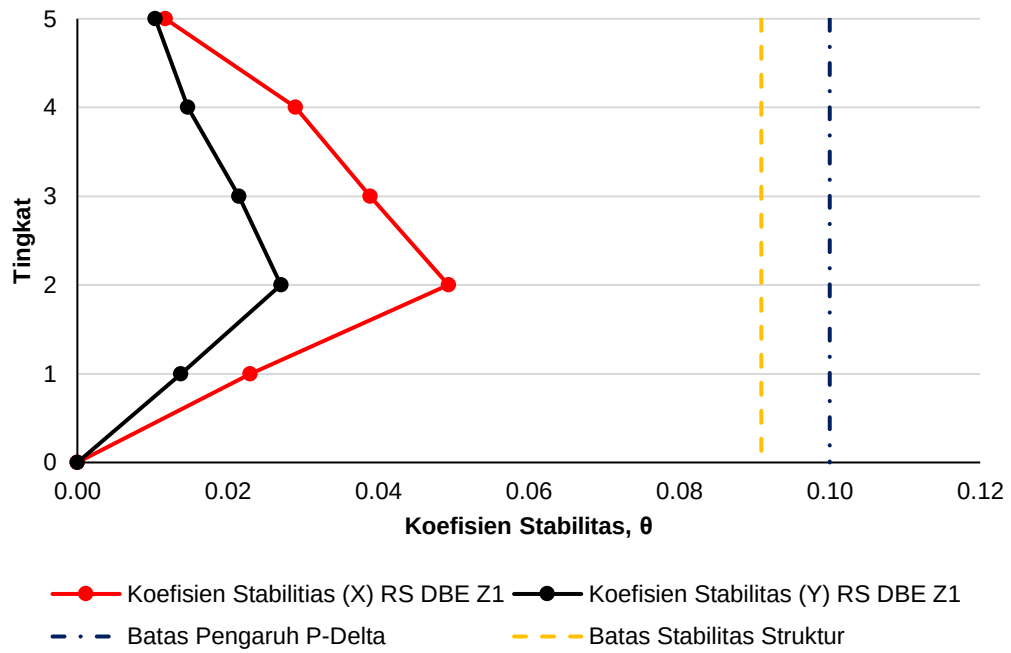
Tingkat	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, $\theta_{\max}$	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y						
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)	(mm)	θ_X	θ_Y			
5	42,489	39,450	480,183	150,171	160,411	3100,000	0,012	0,010	0,1	0,0909	OK
4	65,501	38,104	3859,163	661,731	751,196	3900,000	0,027	0,014	0,1	0,0909	OK
3	59,811	35,952	16356,919	1707,655	1851,109	4000,000	0,039	0,022	0,1	0,0909	OK
2	58,802	35,079	27759,833	2255,961	2460,860	4000,000	0,049	0,027	0,1	0,0909	OK
1	22,073	14,546	39327,681	2486,903	2725,831	4150,000	0,023	0,014	0,1	0,0909	OK
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,0909	

Tabel 5.62 Rekapitulasi Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya Gempa Statik Zona 2

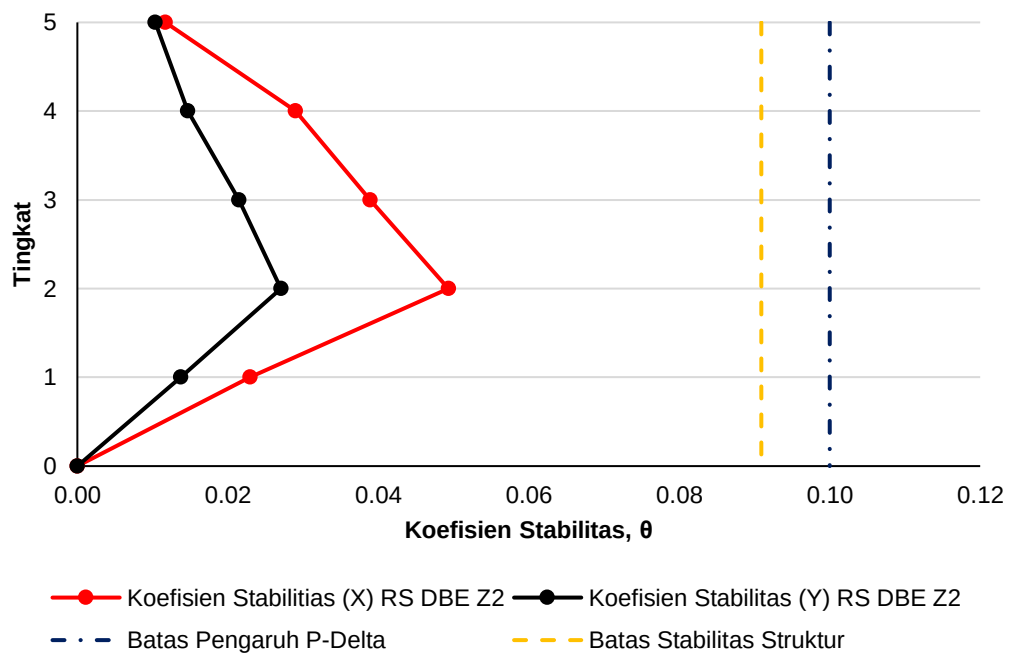
Tingkat	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, $\theta_{\max}$	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)	(mm)					
5	43,259	43,714	480,18	152,90	177,75	3100	0,0120	0,0104	0,1	0,0909	OK
4	66,689	42,222	3859,16	673,76	832,41	3900	0,0267	0,0137	0,1	0,0909	OK
3	60,903	39,838	16356,92	1738,69	2051,24	4000	0,0391	0,0217	0,1	0,0909	OK
2	59,869	38,874	27759,83	2296,96	2726,92	4000	0,0493	0,0270	0,1	0,0909	OK
1	22,473	16,119	39327,68	2532,10	3020,54	4150	0,0229	0,0138	0,1	0,0909	OK
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,0909	

Tabel 5.63 Rekapitulasi Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya Gempa Statik Zona 3

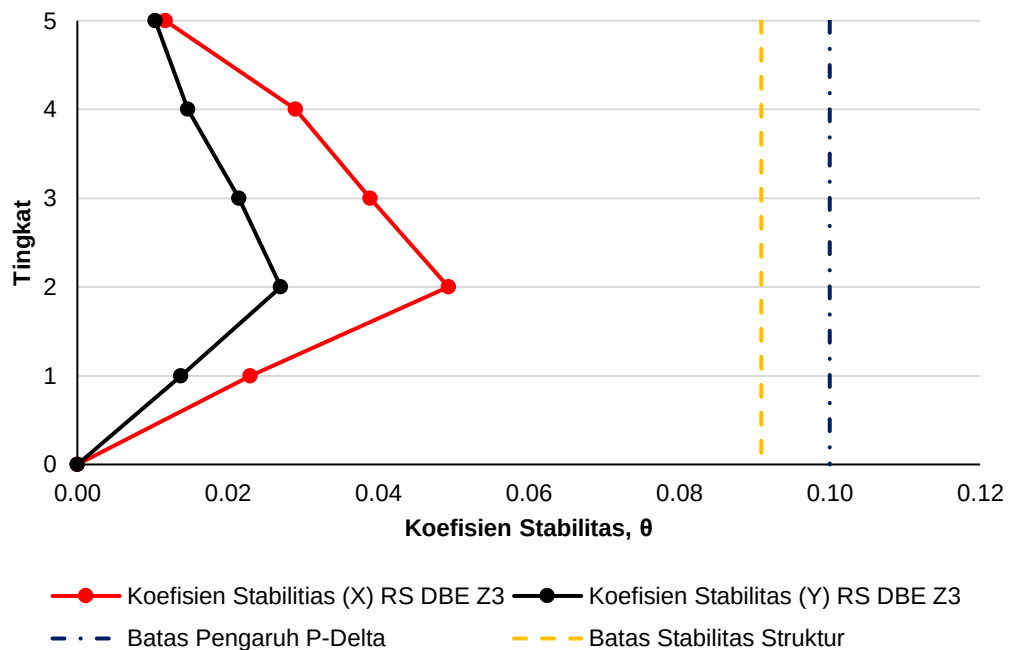
Tingkat	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, $\theta_{\max}$	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y						
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)	(mm)	θ_X	θ_Y			
5	52,400	28,307	480,18	185,21	115,09	3100	0,0120	0,0104	0,1	0,0909	OK
4	80,784	27,339	3859,16	816,14	538,98	3900	0,0267	0,0137	0,1	0,0909	OK
3	73,773	25,795	16356,92	2106,12	1328,16	4000	0,0391	0,0217	0,1	0,0909	OK
2	72,519	25,168	27759,83	2782,37	1765,65	4000	0,0493	0,0270	0,1	0,0909	OK
1	27,225	10,439	39327,68	3067,20	1955,77	4150	0,0229	0,0138	0,1	0,0909	OK
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,0909	



Gambar 5.16 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya Gempa Statik Zona 1



Gambar 5.17 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya Gempa Statik Zona 2



Gambar 5.18 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya Gempa Statik Zona 2

Berdasarkan tabel dan gambar analisis pengaruh P-Delta yang telah dilakukan di atas menggunakan beban gempa statik atau sering disebut *Equivalent Lateral Force* (ELF) diperoleh pengaruh P-Delta pada ketiga zonasi tidak perlu diperhitungkan karena semua hasil perhitungan dari masing-masing rekaman gempa yang dibebankan kepada gedung tidak menyebabkan koefisien stabilitas struktur melebihi nilai 0,1. Hasil analisis pada ketiga zona menunjukkan perhitungan pengaruh P-Delta pada masing-masing zonasi memiliki hasil yang identik sama.

5.5 Ketidakberaturan Struktur

5.5.1 Ketidakberaturan Horizontal

5.5.1.1 Ketidakberaturan Torsi (Tipe 1a) dan Ketidakberaturan Torsi Berlebihan (Tipe 1b)

Berdasarkan analisis ETABS, didapatkan hasil $\Delta_{\max}$ yang diambil dari nilai simpangan maksimum dari 2 titik ujung pengambilan nilai simpangan dan Δ_{avg} yang didapat dari rata-rata nilai dari 2 titik ujung pengambilan nilai simpangan.

Kemudian dilakukan pengecekan ketidakberaturan di setiap lantainya dengan contoh perhitungan pada lantai atap arah x pada zona 1 berikut.

$$\Delta_{\max} = 57,106 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\text{avg}} = 55,648 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta_{\max}}{\Delta_{\text{avg}}} = \frac{57,106}{55,648}$$

$$= 1,03 < 1,2 \text{ (Reguler)} < 1,4 \text{ (Reguler)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada lantai atap, didapatkan hasil pengecekan yaitu $1,02 < 1,2 < 1,4$. Maka pada lantai atap tidak terjadi ketidakberaturan torsi dan ketidakberaturan torsi berlebihan. Rekapitulasi perhitungan ketidakberaturan torsi pada arah x dan arah y pada setiap lantai masing-masing zona dapat dilihat pada Tabel 5.64 hingga Tabel 5.66 berikut.

Tabel 5.64 Rekapitulasi Ketidakberaturan Torsi Arah X dan Arah Y Zona 1

Lantai	Arah X				Arah Y			
	$\Delta_{\max}$	Δ_{avg}	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek	$\Delta_{\max}$	Δ_{avg}	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
Kubah	60,031	59,481	1,01	<i>Regular</i>	36,057	35,571	1,01	<i>Regular</i>
Atap	57,106	55,648	1,03	<i>Regular</i>	35,715	34,44	1,04	<i>Regular</i>
4	47,63	46,2435	1,03	<i>Regular</i>	29,309	28,318	1,03	<i>Regular</i>
3	32,007	30,965	1,03	<i>Regular</i>	19,643	18,919	1,04	<i>Regular</i>
2	13,48	12,969	1,04	<i>Regular</i>	8,169	7,8	1,05	<i>Regular</i>

Tabel 5.65 Rekapitulasi Ketidakberaturan Torsi Arah X dan Arah Y Zona 2

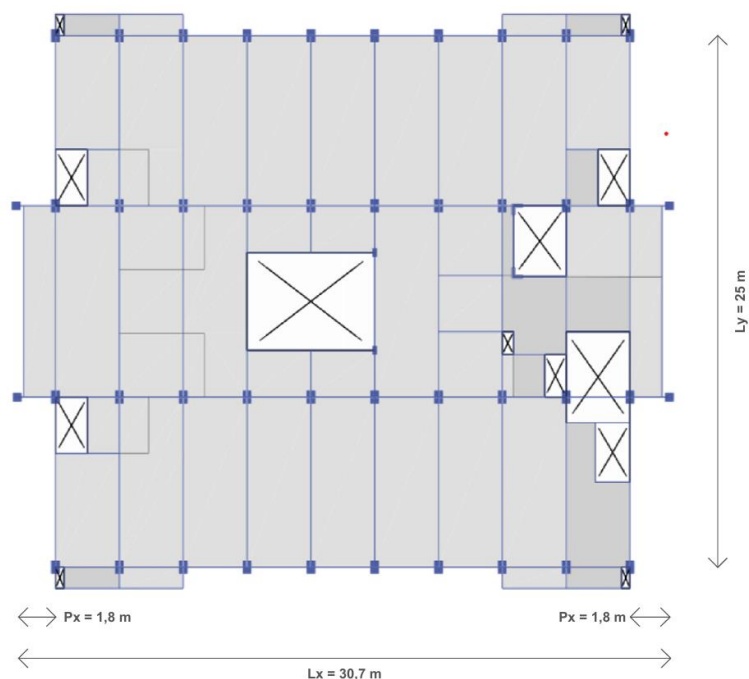
Lantai	Arah X				Arah Y			
	$\Delta_{\max}$	Δ_{avg}	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek	$\Delta_{\max}$	Δ_{avg}	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
Kubah	61,122	60,562	1,01	<i>Regular</i>	36,712	36,2175	1,01	<i>Regular</i>
Atap	58,144	56,6595	1,03	<i>Regular</i>	36,364	35,066	1,04	<i>Regular</i>
4	48,495	47,084	1,03	<i>Regular</i>	29,842	28,833	1,03	<i>Regular</i>
3	32,589	31,528	1,03	<i>Regular</i>	20	19,263	1,04	<i>Regular</i>
2	13,725	13,205	1,04	<i>Regular</i>	8,317	7,942	1,05	<i>Regular</i>

Tabel 5.66 Rekapitulasi Ketidakberaturan Torsi Arah X dan Arah Y Zona 3

Lantai	Arah X				Arah Y			
	$\Delta_{\max}$	Δ_{avg}	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek	$\Delta_{\max}$	Δ_{avg}	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek
Kubah	74,039	74,039	1,00	<i>Regular</i>	44,471	43,8715	1,01	<i>Regular</i>
Atap	70,431	70,431	1,00	<i>Regular</i>	44,049	42,4765	1,04	<i>Regular</i>
4	58,743	58,743	1,00	<i>Regular</i>	36,149	34,9265	1,04	<i>Regular</i>
3	39,476	39,476	1,00	<i>Regular</i>	24,227	23,334	1,04	<i>Regular</i>
2	16,625	16,625	1,00	<i>Regular</i>	10,075	9,6205	1,05	<i>Regular</i>

5.5.1.2 Ketidakberaturan Sudut Dalam (Tipe 2)

Ketidakberaturan sudut dalam merupakan kondisi dimana bangunan memiliki denah struktur dimana kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% atau 1,5 dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau. Berdasarkan gambar *As Built Drawing* Laboratorium Fakultas Kedokteran, didapatkan hasil pengukuran secara manual yang kemudian dilakukan pengecekan ketidakberaturan sudut dalam pada Gambar 5.19 sebagai berikut.

**Gambar 5.19 Ilustrasi Parameter Ketidakberaturan Sudut Dalam**

Berdasarkan gambar di atas, didapatkan perbandingan sebagai berikut

$$L_x = 30,7$$

$$P_x = 3,7$$

$$L_y = 27$$

$$P_y = 0$$

$$\frac{P_x}{L_x} = \frac{3,7}{30,7}$$

$$= 0,12 < 0,15 \text{ (Reguler)}$$

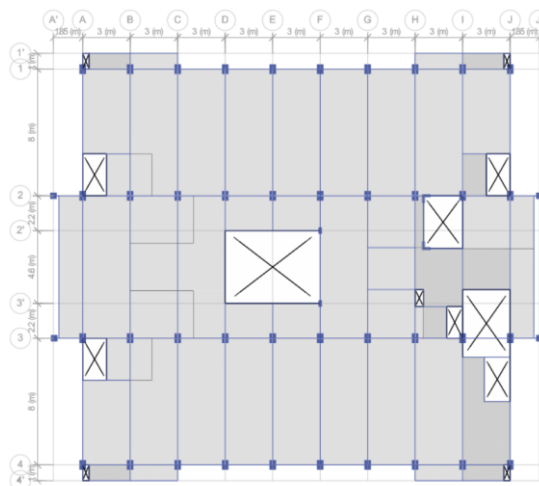
$$\frac{P_x}{L_x} = \frac{0}{27}$$

$$= 0 < 0,15 \text{ (Reguler)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan manual gambar *As Built Drawing* bangunan didapatkan bahwa bangunan tidak memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 2.

5.5.1.3 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma (Tipe 3)

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma merupakan ketidakberaturan yang terdapat pada suatu gedung jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.20 Diskontinuitas Diafragma pada Lantai 2

Berdasarkan hasil perhitungan manual, didapatkan hasil pengukuran luas total bangunan dan luas total bukaan yang kemudian dilakukan pengecekan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 A_{total} &= 716 \text{ m}^2 \\
 A_{bukaan} &= 69,33 \text{ m}^2 \\
 \text{Cek} &= A_{bukaan} < \frac{A_{total}}{2} \\
 &= 69,33 < \frac{716}{2} \\
 &= 69,33 < 358 \text{ (Reguler)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka didapatkan bahwa bangunan tidak mengalami ketidakberaturan horizontal Tipe 3

5.5.1.4 Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang (Tipe 4)

Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang merupakan kondisi dimana ketidakberaturan terjadi jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral. Dalam denah struktur bangunan Laboratorium Fakultas Kedokteran UII elemen-elemen vertikal pemikul gaya seismik seluruhnya menerus dari tingkat paling bawah sampai tingkat paling atas tanpa adanya pergeseran, maka dapat diketahui bahwa struktur tidak memiliki ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang (Tipe 4).

5.5.1.5 Ketidakberaturan sistem nonparalel (Tipe 5)

Ketidakberaturan sistem non paralel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik. Dalam denah struktur bangunan Laboratorium Fakultas Kedokteran UII, seluruh elemen vertikal pemikul gaya seismik memiliki orientasi yang paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal, yaitu sumbu x dan sumbu y, sehingga dapat diketahui bahwa struktur gedung ini tidak memiliki ketidakberaturan sistem non paralel (Tipe 5).

5.5.2 Ketidakberaturan Vertikal

5.5.2.1 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Tipe 1a) dan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan (Tipe 1b)

Ketidakberaturan tingkat lunak terjadi apabila suatu tingkat memiliki kekakuan lateral kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Sedangkan ketidakberaturan tingkat lunak berlebihan terjadi apabila kekakuan lateral suatu tingkat kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

Berdasarkan analisis ETABS, didapatkan nilai kekakuan yang kemudian dilakukan pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak di setiap lantai pada masing-masing zona. Bangunan gedung yang dimodelkan pada masing-masing zonasi memiliki konfigurasi yang sama sehingga kekakuan bangunan pada setiap zona memiliki hasil yang sama. Berikut adalah contoh perhitungan pada lantai atap dan lantai 4 arah x.

Kekakuan lateral tingkat di atasnya

$$\text{Kekakuan lantai atap} = 45696,331 \text{ kN/m}$$

$$\text{Kekakuan lantai 4} = 105372,918 \text{ kN /m}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \frac{\text{Kekakuan lantai 4}}{\text{Kekakuan lantai atap}} \times 100 \geq 70\% \geq 60\% \\ &= \frac{45696,331}{105372,918} \times 100 \geq 70\% \geq 60\% \\ &= 230,594 \% \geq 70\% \geq 60\% \text{ (Reguler)} \end{aligned}$$

Kekakuan lateral rerata tiga tingkat di atasnya

$$\text{Kekakuan lantai kubah} = 9288,739 \text{ kN/m}$$

$$\text{Kekakuan lantai atap} = 45696,331 \text{ kN /m}$$

$$\text{Kekakuan lantai 4} = 105372,92 \text{ kN/m}$$

$$\text{Kekakuan lantai 3} = 135775,445 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rata-rata 3 tingkat} &= \frac{K.\text{lantai kubah} + K.\text{lantai atap} + K.\text{lantai 4}}{3} \\
 &= \frac{9288,739 + 45696,331 + 105372,92}{3} \\
 &= 53452,663 \text{ kN/m} \\
 \text{Cek Rasio} &= \frac{\text{Kekakuan lantai 3}}{\text{Rata-rata 3 Tingkat}} \times 100 \geq 80\% \geq 70\% \\
 &= \frac{135775,445}{53452,663} \times 100 \geq 80\% \geq 70\% \\
 &= 254,011 \% \geq 80\% \geq 70\% \text{ (Reguler)}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan hasil pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan tipe 1b tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.67 berikut.

Tabel 5.67 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a dan Tipe 1b

Tingkat	Kekakuan		Rasio terhadap kekakuan tingkat di atasnya		Rasio terhadap kekakuan rerata tiga tingkat di atasnya	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Kubah	9288,739	6682,718	-	-	-	-
Atap	45696,331	85160,739	491,954%	1274,343%	491,954%	1274,343%
4	105372,92	172475,52	230,594%	202,529%	383,278%	375,586%
3	135775,445	224529,571	128,852%	130,181%	254,011%	254,839%
2	248494,159	415703,634	183,018%	185,144%	259,891%	258,648%

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, didapatkan bahwa bangunan Laboratorium FK UII tidak mengalami ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b.

5.5.2.2 Ketidakberaturan Berat (Massa) (Tipe 2)

Ketidakberaturan berat (massa) didefinisikan ada jika massa efektif di suatu tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Pengcualian diberlakukan terhadap atap yang memiliki massa yang lebih ringan dari lantai di bawahnya, sehingga atap tidak diikutsertakan dalam perhitungan. Berdasarkan hasil analisis menggunakan ETABS, didapatkan nilai massa bangunan yang kemudian dilakukan pengecekan terhadap ketidakberaturan vertikal Tipe 2 atau ketidakberaturan berat (massa). Bangunan gedung yang dimodelkan pada masing-

masing zonasi memiliki konfigurasi yang sama sehingga massa bangunan pada setiap zona memiliki hasil yang sama. Berikut adalah contoh perhitungan pada lantai atap.

$$\text{Massa lantai 4} = 836822,56 \text{ kg}$$

$$\text{Massa lantai 3} = 874045,21 \text{ kg}$$

$$\text{Cek Rasio} = \frac{\text{Massa lantai 3}}{\text{Massa lantai 4}} \times 100 \leq 150\%$$

$$= \frac{874045,21}{836822,56} \times 100 \leq 150\%$$

$$= 95,751\% \leq 150\% \text{ (Reguler)}$$

Rekapitulasi perhitungan hasil pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 2 tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.68 berikut.

Tabel 5.68 Tabel Rasio Massa Tingkat Terhadap Massa Tingkat di dekatnya

Tingkat	Massa (kg)	Rasio terhadap massa tingkat di dekatnya
Kubah	79111,640	-
Atap	463043,870	-
4	836822,560	95,741%
3	874046,210	104,448%
2	876058,440	100,230%

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, didapatkan bahwa bangunan Laboratorium FK UII tidak mengalami ketidakberaturan vertikal tipe 2.

5.5.2.3 Ketidakberaturan Geometri Vertikal (Tipe 3)

Ketidakberaturan geometri vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di suatu tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat di dekatnya. Dalam denah Laboratorium Fakultas Kedokteran UII tidak terdapat sistem pemikul gaya seismik

horizontal sehingga ketidakberaturan vertikal tipe 3 ini tidak dialami oleh bangunan.

5.5.2.4 Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada elemen Vertikal Pemikul gaya Lateral (Tipe 4)

Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya. Dalam denah gedung Laboratorium FK UII sama sekali tidak memiliki elemen pemikul gaya lateral, maka struktur tidak memiliki ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral (tipe 4).

5.5.2.5 Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat (Tipe 5a) dan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat (Tipe 5b)

Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% kekuatan lateral tingkat di atasnya. Sedangkan ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65% kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan ETABS yang diambil dari tabel *story forces*, didapatkan nilai kekuatan dari masing-masing lantai yang kemudian dilakukan pengecekan diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat di setiap lantai. Berikut adalah contoh perhitungan pada lantai atap arah x.

$$\text{Kekuatan lantai atap} = 585,62 \text{ kN}$$

$$\text{Kekuatan lantai 4} = 1719,124 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek Rasio} &= \frac{\text{Kekuatan lantai 4}}{\text{Kekuatan lantai atap}} \times 100 \geq 80\% \geq 65\% \\ &= \frac{1719,124}{585,62} \times 100 \geq 80\% \geq 65\% \end{aligned}$$

$$= 293,556 \% \geq 80\% \geq 70\% \text{ (Reguler)}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan pengecekan ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat (Tipe 5a) dan ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat (Tipe 5b) dapat dilihat pada Tabel 5.69 hingga Tabel 5.71 berikut.

Tabel 5.69 Rekapitulasi Rasio Gaya Tingkat terhadap Gaya Tingkat di dekatnya pada Zona 1

Tingkat	Kekuatan Gaya Lateral (kN)		Rasio terhadap massa tingkat di dekatnya	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Kubah	150,322	160,557	-	-
Atap	585,620	689,960	389,576%	429,729%
4	1719,124	1863,321	293,556%	270,062%
3	2264,834	2470,072	131,743%	132,563%
2	2495,696	2734,885	110,193%	110,721%

Tabel 5.70 Rekapitulasi Rasio Gaya Tingkat terhadap Gaya Tingkat di dekatnya pada Zona 2

Tingkat	Kekuatan Gaya Lateral (kN)		Rasio terhadap massa tingkat di dekatnya	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Kubah	153,054	163,475	-	-
Atap	596,263	702,499	389,576%	429,729%
4	1750,368	1897,185	293,556%	270,062%
3	2305,995	2514,963	131,743%	132,563%
2	2541,053	2784,588	110,193%	110,721%

Tabel 5.71 Rekapitulasi Rasio Gaya Tingkat terhadap Gaya Tingkat di dekatnya pada Zona 3

Tingkat	Kekuatan Gaya Lateral (kN)		Rasio terhadap massa tingkat di dekatnya	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Kubah	185,399	198,022	-	-
Atap	722,269	850,956	389,576%	429,729%
4	2120,266	2298,110	293,556%	270,062%
3	2793,312	3046,441	131,743%	132,563%
2	3078,044	3373,044	110,193%	110,721%

Berdasarkan tabel-tabel rekapitulasi di atas, dapat diketahui bahwa struktur tidak memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan ketidakberaturan tipe 5b pada ketiga zona.

5.6 Rekaman Gerak Tanah

Pada penelitian ini, spektrum respons target untuk tiap set yang digunakan adalah spektrum respons desain (DBE) yang telah didapatkan dari hasil pengklasifikasian respon spektrum berdasarkan masing-masing zonasi kerawanan gempa. Pengambilan rekaman gerak tanah diambil dari Website PEER *Ground Motion Database*. Parameter untuk pengambilan rekaman gerak tanah mengacu pada ketentuan yang terdapat pada Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa Tahun 2022 yang disusun oleh Tim Pusat Studi Gempa Nasional. Parameter yang diambil dari peta tersebut adalah nilai Magnitudo (M), Jarak (R). Untuk mendapatkan nilai-nilai tersebut, pada penelitian ini sumber gempa yang digunakan adalah tipe *Shallow Crustal*. Periode Ulang dan Periode Getar yang digunakan adalah Periode Ulang 250 Tahun dan Periode Getar 3 detik. Pengambilan rekaman gerak tanah dilakukan pada masing-masing karakteristik zona sehingga didapatkan total 9 rekaman gempa berdasarkan parameternya masing-masing. Berikut adalah parameter pemilihan gerak tanah pada masing-masing zonasi dapat dilihat pada Tabel 5.72.

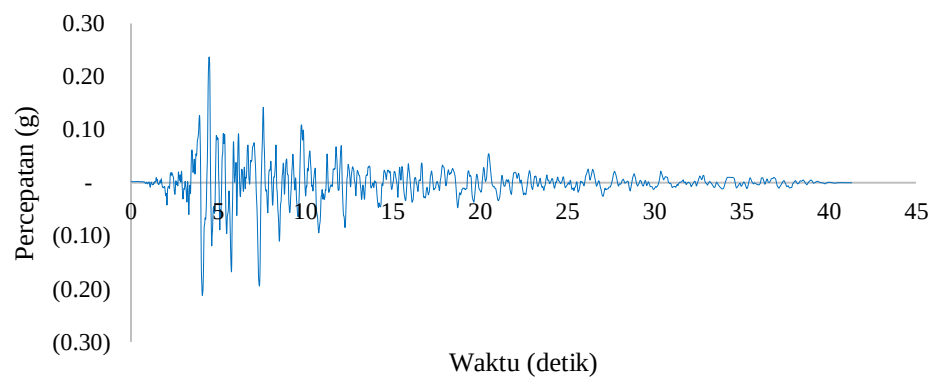
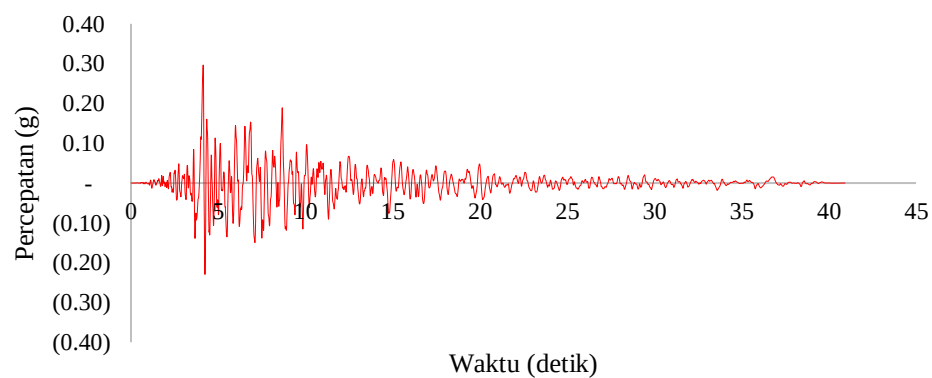
Tabel 5.72 Parameter Pemilihan Gerak Tanah

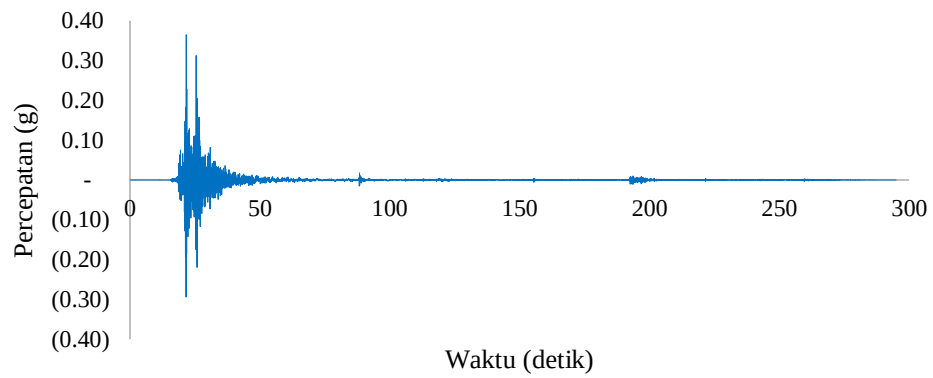
Zona	M	Rrup (km)	Vs Zona (m/s)	Vs Pakai (m/s)
1	6,4 - 6,6	10 - 20	368	350 - 400
2	6,4 - 6,6	10 - 20	414	400 - 450
3	6,4 - 6,6	10 - 20	485	450 - 500

Dari hasil pemilihan gerak tanah, maka diperoleh dan dipilih tiga rekaman gerak tanah pada masing-masing zona. Rekaman gerak tanah yang dipilih pada masing-masing zona dapat dilihat pada Tabel 5.73. Rekaman-rekaman yang telah dipilih dapat dilihat pada Gambar 5.21 hingga Gambar 5.38.

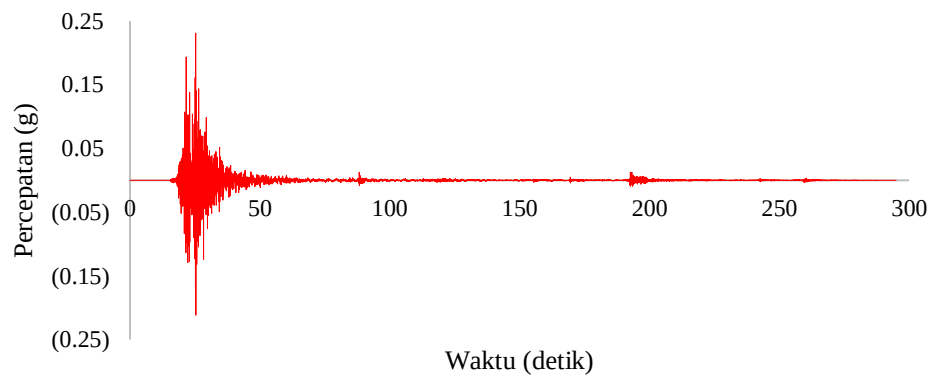
Tabel 5.73 Rekaman Gerak Tanah dengan Spektrum Respon Desain DBE

Zona	No	Nama Gempa	Tahun	Magnitudo (M_w)	Vs30
1	1	Corinth	1981	6,6	361,4
	2	Chuetsu	2007	6,8	370,03
	3	Iwate	2008	6,9	361,24
2	1	Northridge	1994	6,69	411,55
	2	Niigata	2004	6,63	418,5
	3	Chuetsu	2007	6,8	414,23
3	1	Imperial Valley	1979	6,53	471,53
	2	Tottori	2000	6,61	475,8
	3	Iwate	2008	6,9	458,73

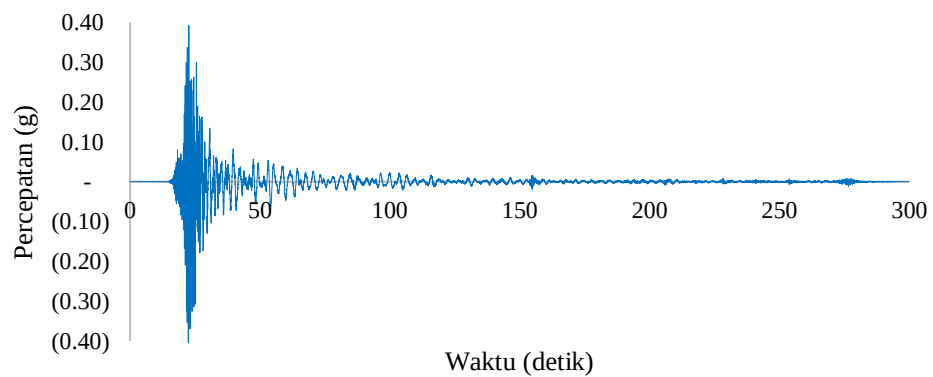
**Gambar 5.21 Rekaman Gerak Tanah Z1 Gempa Corinth 1989 E-W****Gambar 5.22 Rekaman Gerak Tanah Z1 Gempa Corinth 1989 N-S**



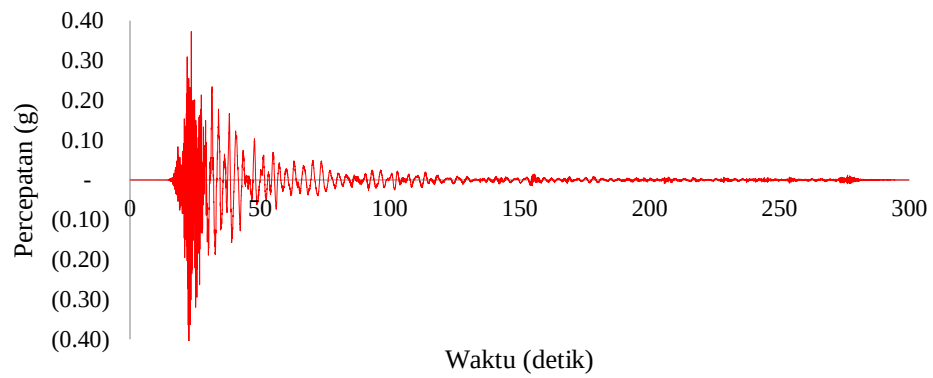
Gambar 5.23 Rekaman Gerak Tanah Z1 Gempa Chuetsu 2007 E-W



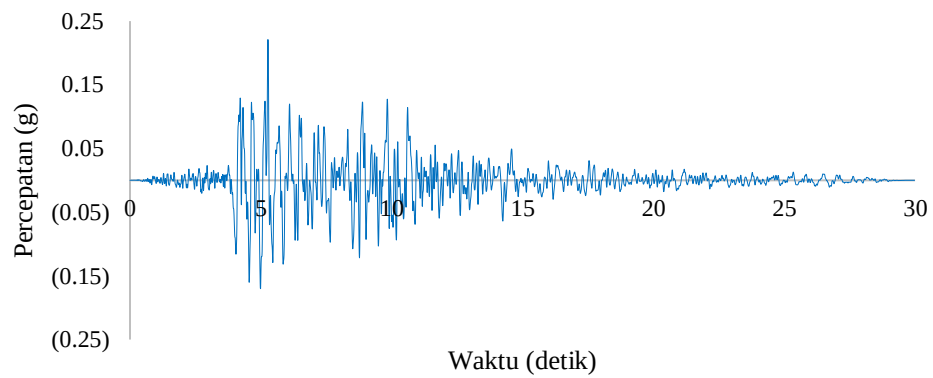
Gambar 5.24 Rekaman Gerak Tanah Z1 Gempa Chuetsu 2007 N-S



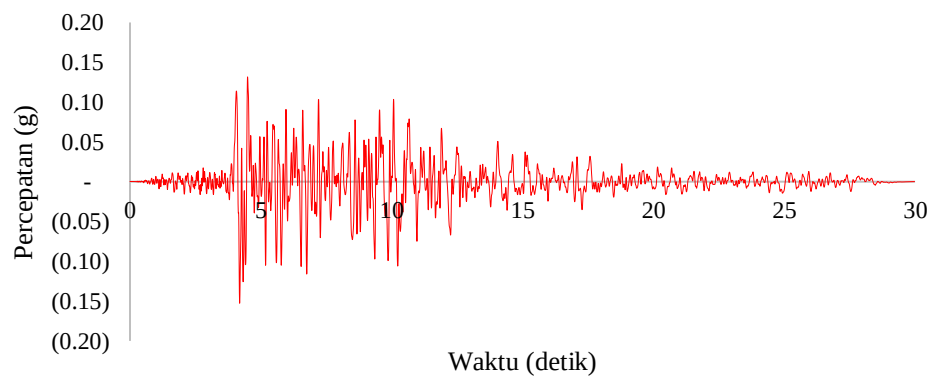
Gambar 5.25 Rekaman Gerak Tanah Z1 Gempa Iwate 2008 E-W



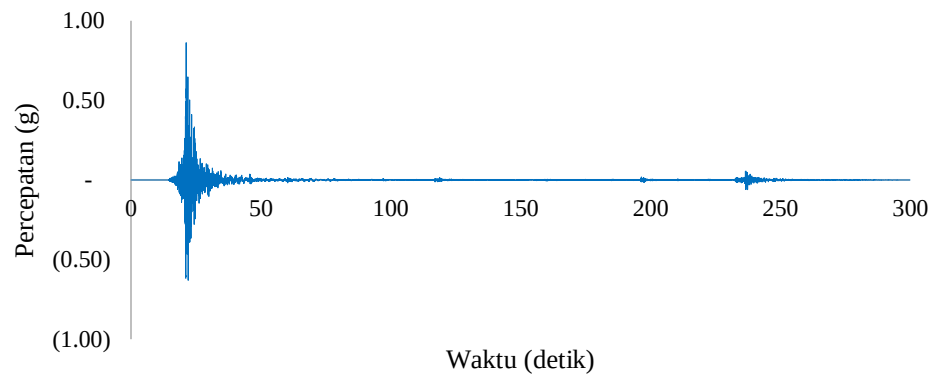
Gambar 5.26 Rekaman Gerak Tanah Z1 Gempa Iwate 2008 N-S



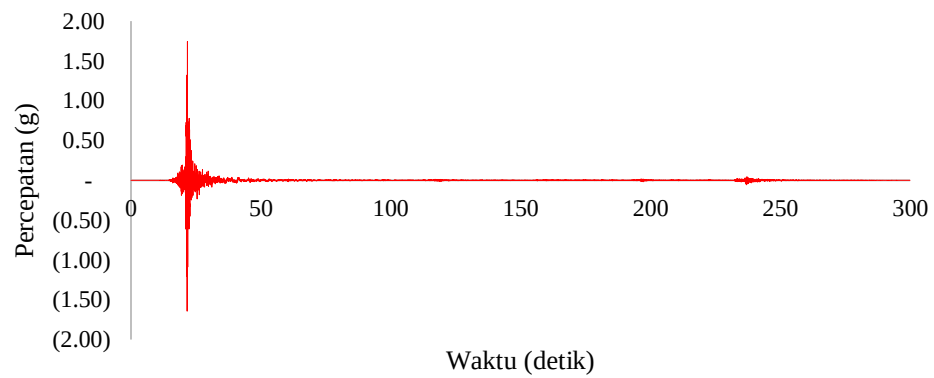
Gambar 5.27 Rekaman Gerak Tanah Z2 Gempa Northridge 1994 E-W



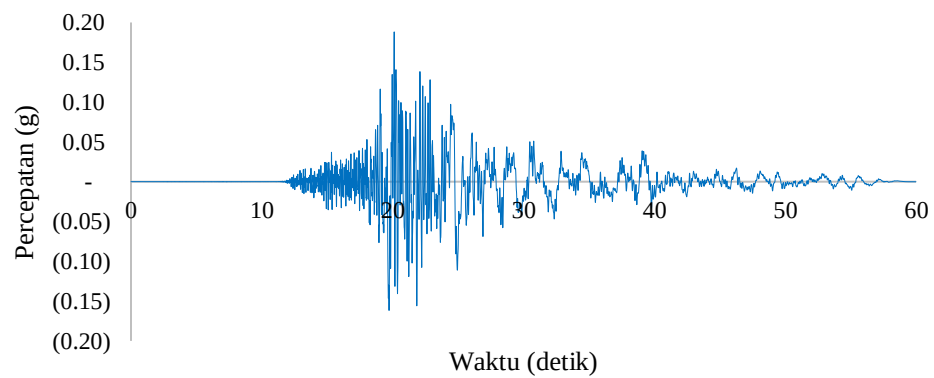
Gambar 5.28 Rekaman Gerak Tanah Z2 Gempa Northridge 1994 N-S



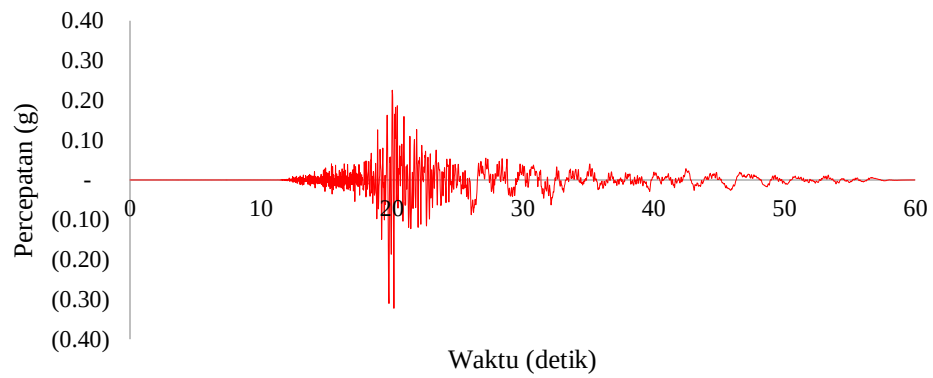
Gambar 5.29 Rekaman Gerak Tanah Z2 Gempa Niigata 2004 E-W



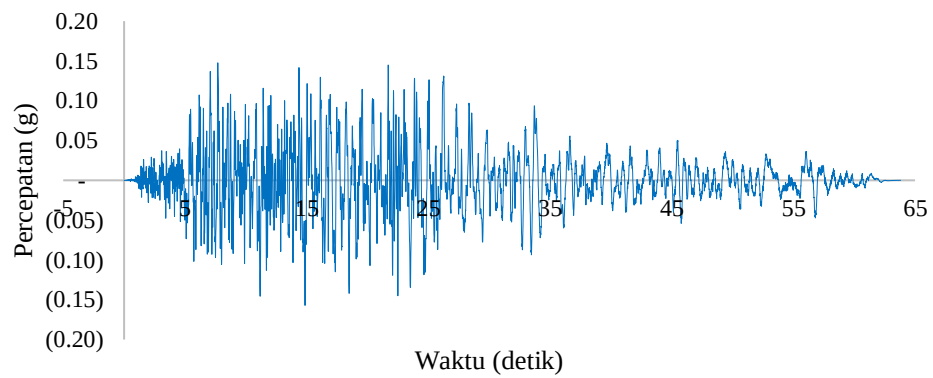
Gambar 5.30 Rekaman Gerak Tanah Z2 Gempa Niigata 2004 N-S



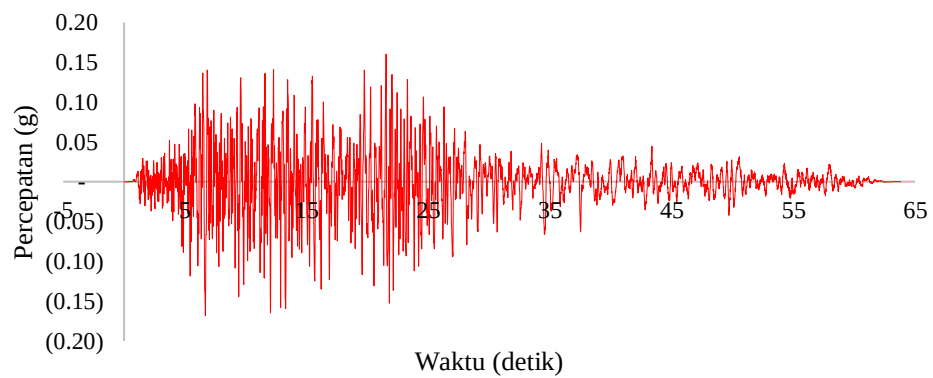
Gambar 5.31 Rekaman Gerak Tanah Z2 Gempa Chuetsu 2007 E-W



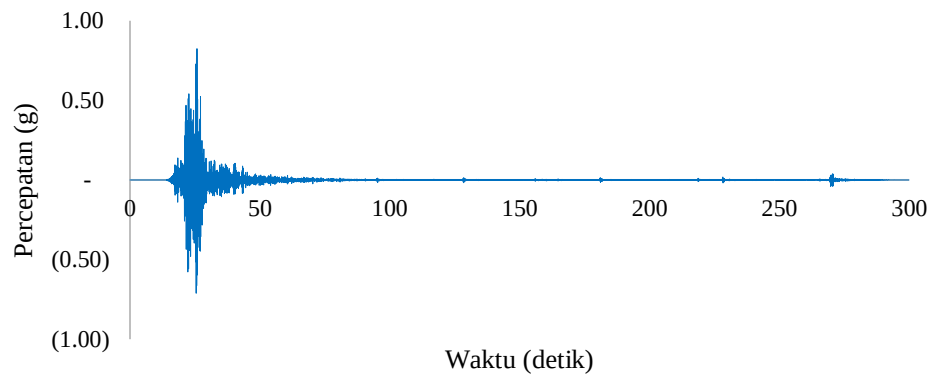
Gambar 5.32 Rekaman Gerak Tanah Z2 Gempa Chuetsu 2007 N-S



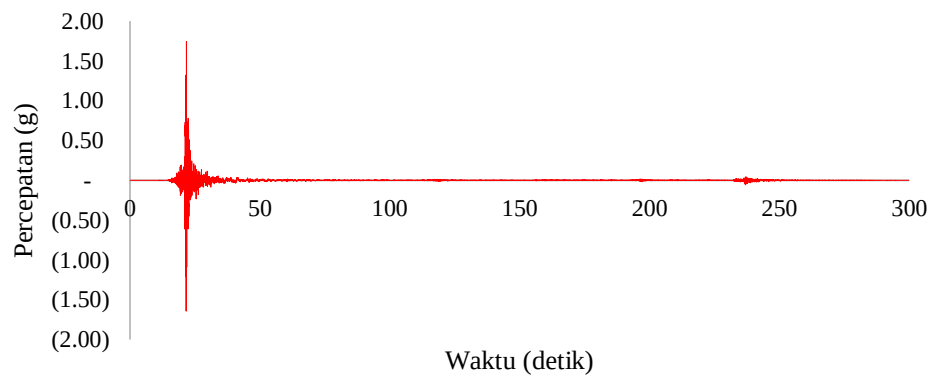
Gambar 5.33 Rekaman Gerak Tanah Z3 Gempa Imperial Valley 1979 E-W



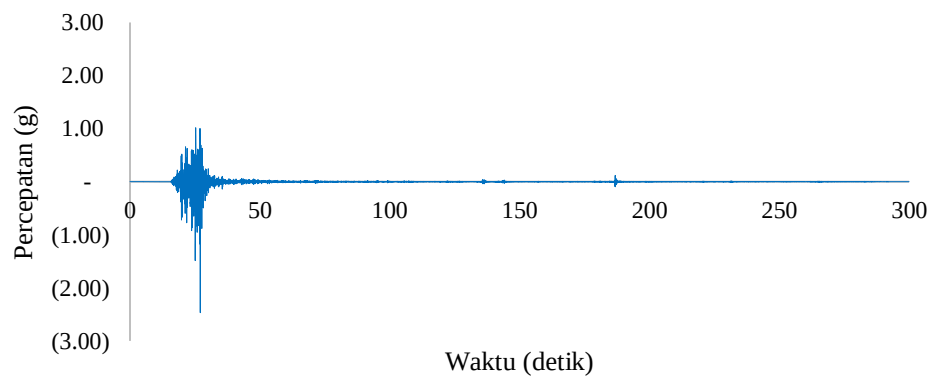
Gambar 5.34 Rekaman Gerak Tanah Z3 Gempa Imperial Valley 1979 N-S



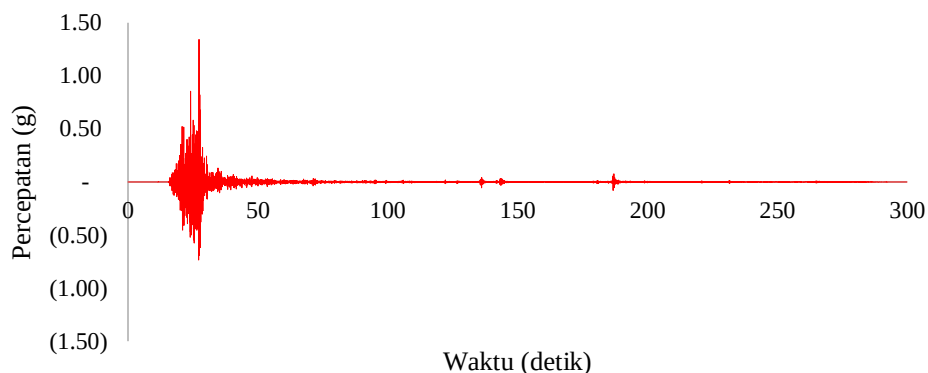
Gambar 5.35 Rekaman Gerak Tanah Z3 Gempa Tottori 2000 E-W



Gambar 5.36 Rekaman Gerak Tanah Z3 Gempa Tottori 2000 N-S



Gambar 5.37 Rekaman Gerak Tanah Z3 Gempa Iwate 2008 E-W



Gambar 5.38 Rekaman Gerak Tanah Z3 Gempa Iwate 2008 N-S

Spektrum respon dari rekaman gerak tanah yang telah dilakukan pencocokan spektral kemudian dibandingkan dengan spektrum target, yaitu spektrum respons DBE. Adapun perbandingan percepatan semu rata-rata ketiga rekaman gempa yang dipilih pada masing-masing zona terhadap spektrum target masing-masing zona tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.74 hingga Tabel 5.76 dan Gambar 5.39 hingga Gambar 5.41 berikut.

Tabel 5.74 Perbandingan Percepatan Semu Rata-rata terhadap Spektrum Target Zona 1

Periode (detik)	Sa Spektrum Target (g)	Sa Spektrum Rata-rata (g)	Perbandingan (%)
0,240	0,779	0,785	100,722
0,251	0,779	0,780	100,081
0,263	0,779	0,778	99,840
0,275	0,779	0,773	99,288
0,288	0,779	0,761	97,682
0,302	0,779	0,756	97,022
0,316	0,779	0,772	99,134
0,331	0,779	0,749	96,190
0,347	0,779	0,780	100,176
0,363	0,779	0,772	99,091
0,380	0,779	0,771	99,028
0,398	0,779	0,760	97,618
0,417	0,779	0,783	100,558
0,437	0,779	0,772	99,178
0,457	0,779	0,786	100,868
0,479	0,779	0,787	101,096
0,501	0,779	0,772	99,122
0,525	0,779	0,765	98,250
0,550	0,779	0,774	99,424

Lanjutan Tabel 5.74 Perbandingan Percepatan Semu Rata-rata terhadap Spektrum Target Zona 1

0,575	0,779	0,783	100,582
0,586	0,779	0,772	99,117
0,603	0,758	0,756	99,778
0,631	0,724	0,733	101,269
0,661	0,691	0,699	101,138
0,692	0,660	0,671	101,707
0,724	0,630	0,647	102,666
0,759	0,602	0,622	103,244
0,794	0,575	0,591	102,847
0,832	0,549	0,554	100,988
0,871	0,524	0,524	99,977
0,912	0,501	0,507	101,328
0,955	0,478	0,485	101,467
1,000	0,457	0,459	100,611
1,047	0,436	0,436	99,997
1,097	0,417	0,416	99,861
1,148	0,398	0,402	100,956
1,202	0,380	0,379	99,752
1,259	0,363	0,358	98,670
1,318	0,346	0,341	98,371
1,380	0,331	0,327	98,894
1,445	0,316	0,316	99,967
1,5136	0,302	0,303	100,273
1,5849	0,288	0,283	98,309

Tabel 5.75 Perbandingan Percepatan Semu Rata-rata terhadap Spektrum Target Zona 2

Periode (detik)	Sa Spektrum Target (g)	Sa Spektrum Rata-rata (g)	Perbandingan (%)
0,240	0,807	0,821	101,775
0,251	0,807	0,817	101,271
0,263	0,807	0,800	99,181
0,275	0,807	0,810	100,315
0,288	0,807	0,814	100,906
0,302	0,807	0,817	101,225
0,316	0,807	0,812	100,608
0,331	0,807	0,807	100,035
0,347	0,807	0,807	100,014
0,363	0,807	0,815	100,951
0,380	0,807	0,819	101,517
0,398	0,807	0,821	101,759
0,417	0,807	0,810	100,365
0,437	0,807	0,806	99,815
0,457	0,807	0,806	99,828
0,479	0,807	0,800	99,096
0,501	0,807	0,812	100,657
0,525	0,807	0,819	101,450
0,550	0,807	0,811	100,456
0,575	0,807	0,800	99,137

Lanjutan Tabel 5.75 Perbandingan Percepatan Semu Rata-rata terhadap Spektrum Target Zona 2

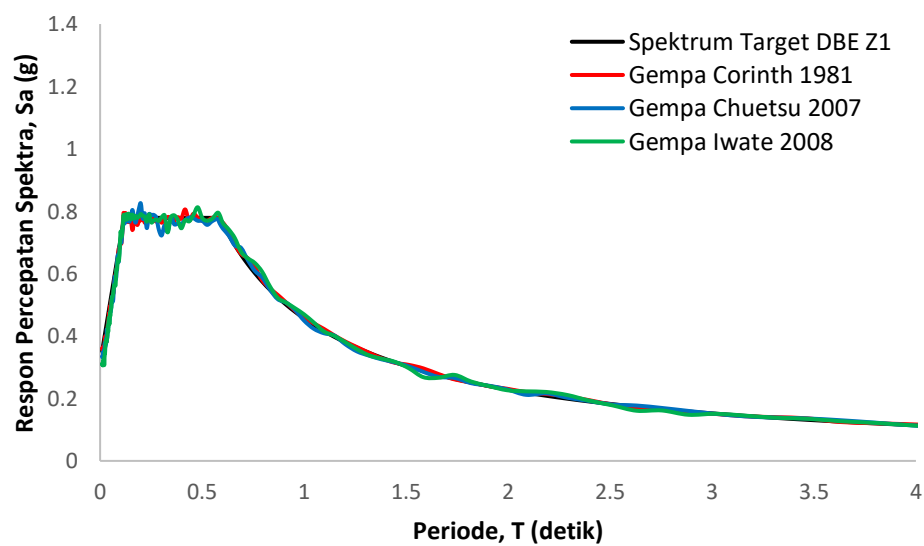
0,576	0,807	0,793	98,302
0,603	0,772	0,776	100,623
0,631	0,737	0,758	102,839
0,661	0,704	0,729	103,539
0,692	0,672	0,694	103,240
0,724	0,642	0,657	102,423
0,759	0,613	0,624	101,811
0,794	0,585	0,599	102,298
0,832	0,559	0,571	102,170
0,871	0,534	0,546	102,285
0,912	0,510	0,520	101,893
0,955	0,487	0,488	100,285
1,000	0,465	0,468	100,606
1,047	0,444	0,444	100,046
1,097	0,424	0,423	99,673
1,148	0,405	0,408	100,713
1,202	0,387	0,385	99,643
1,259	0,369	0,376	101,878
1,318	0,353	0,354	100,274
1,380	0,337	0,343	101,777
1,445	0,322	0,328	101,926
1,514	0,307	0,306	99,742
1,585	0,293	0,297	101,176

Tabel 5.76 Perbandingan Percepatan Semu Rata-rata terhadap Spektrum Target Zona 3

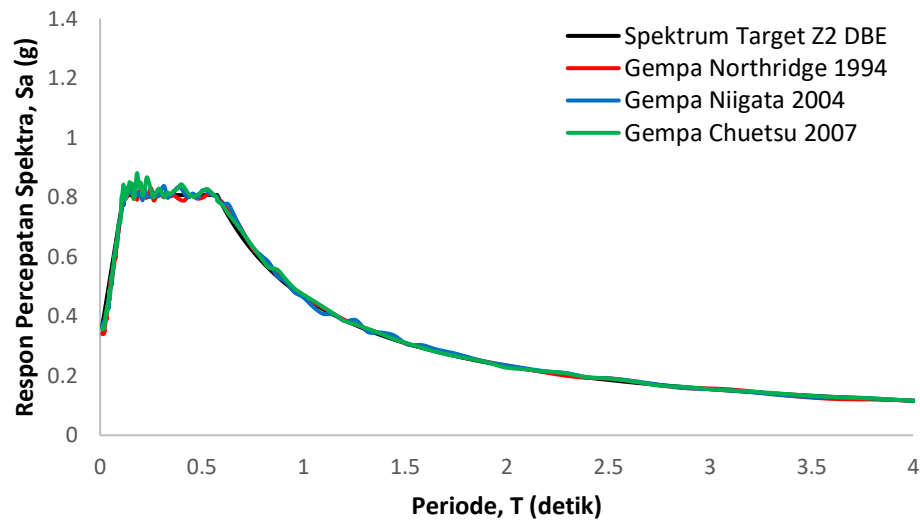
Periode (detik)	Sa Spektrum Target (g)	Sa Spektrum Rata-rata (g)	Perbandingan (%)
0,240	1,159	1,153	99,468
0,251	1,159	1,181	101,879
0,263	1,159	1,193	102,914
0,275	1,159	1,161	100,142
0,288	1,159	1,140	98,393
0,302	1,159	1,139	98,269
0,316	1,159	1,145	98,770
0,331	1,159	1,168	100,817
0,347	1,159	1,155	99,627
0,363	1,159	1,133	97,774
0,380	1,159	1,152	99,356
0,398	1,159	1,167	100,708
0,417	1,159	1,169	100,901
0,437	1,159	1,159	99,986
0,457	1,159	1,161	100,185
0,479	1,159	1,136	98,013
0,486	1,159	1,141	98,422
0,501	1,124	1,105	98,300
0,525	1,073	1,059	98,631
0,550	1,025	1,036	101,026
0,575	0,979	0,983	100,380

Lanjutan Tabel 5.76 Perbandingan Percepatan Semu Rata-rata terhadap Spektrum Target Zona 3

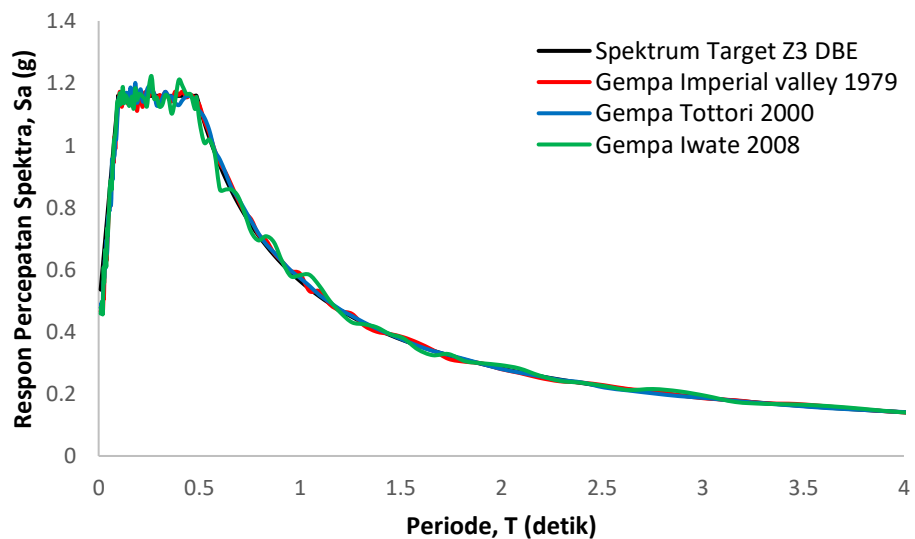
0,603	0,935	0,918	98,159
0,631	0,893	0,893	100,062
0,661	0,853	0,863	101,233
0,692	0,814	0,831	102,051
0,724	0,778	0,787	101,240
0,759	0,743	0,745	100,386
0,794	0,709	0,707	99,746
0,832	0,677	0,694	102,537
0,871	0,647	0,665	102,873
0,912	0,618	0,625	101,269
0,955	0,590	0,590	100,042
1,000	0,563	0,581	103,078
1,047	0,538	0,554	102,948
1,097	0,514	0,532	103,531
1,148	0,491	0,494	100,718
1,202	0,468	0,466	99,411
1,259	0,447	0,446	99,647
1,318	0,427	0,425	99,353
1,380	0,408	0,408	100,062
1,445	0,390	0,392	100,698
1,514	0,372	0,378	101,598
1,585	0,355	0,354	99,652



Gambar 5.39 Pencocokan Spektral Spektrum Respons Desain Zona 1



Gambar 5.40 Pencocokan Spektral Spektrum Respons Desain Zona 2



Gambar 5.41 Pencocokan Spektral Spektrum Respons Desain Zona 3

Dari perbandingan-perbandingan pada masing-masing zona tersebut, terlihat perbandingan percepatan spektrum rata-rata terhadap spektrum respon target sudah memenuhi kriteria sesuai yang dijelaskan pada pasal 3.4.14 pada bab landasan teori, yaitu selisih tidak boleh kurang atau lebih dari 10% dari spektrum respon target.

5.7 Hasil Analisis Struktur

Analisis yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode dinamik riwayat waktu. Rekaman gempa yang digunakan pada penelitian ini merupakan rekaman gerak tanah yang telah dipilih pada sub bab sebelumnya dan sudah dilakukan pencocokan spektral menggunakan bantuan software ETABS yang ditargetkan pada respon spektrum desain (DBE) masing-masing zona. Rekaman gerak tanah yang sudah dicocokkan secara spektral selanjutnya dijadikan beban dinamis struktur.

5.7.1 Penskalaan Gaya Gempa Riwayat Waktu Linear

Tiga pasang rekaman gerak tanah (*ground motion*) yang telah dipilih pada masing-masing zona dan sudah dilakukan pencocokan spektral seperti pada sub bab rekaman gerak tanah digunakan untuk analisis riwayat waktu linear. Menurut pasal 3.4.3 pada bab landasan teori, untuk tiap gerak tanah yang dianalisis, gaya geser dasar elastik maksimum, V_{EX} dan V_{EY} untuk arah x dan arah y, harus ditentukan. Berikut adalah contoh perhitungan faktor skala gaya geser dasar pada Zona 1 akibat gempa Corinth 1981.

1. Gaya Geser Statik dan Gaya Geser akibat Gempa Corinth 1981

$$\text{Gaya Geser Statik (Vx)} = 2494,494 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya Geser Statik (Vy)} = 2734,398 \text{ kN}$$

2. Faktor Skala Awal

$$g = 9.80665$$

$$I_e = 1,5$$

$$R_{x,y} = 8$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Skala Awal} &= \frac{g \times I_e}{R_{x,y}} \\ &= \frac{9.80665 \times 1,5}{8} \\ &= 1,839 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$= 1838,747 \text{ mm/s}^2$$

Nilai faktor skala awal yang telah didapatkan selanjutnya dimasukkan ke dalam software ETABS sebagai *load case* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.42 dan Gambar 5.43 berikut untuk mendapatkan nilai gaya geser inelastik maksimum.

The screenshot shows the 'Load Case Data' dialog box with the following settings:

- General:**
 - Load Case Name: 00_UN_Z1_CORINTH_Ex
 - Load Case Type/Subtype: Time History (Linear Modal)
 - Mass Source: Previous (Mass Source)
 - Analysis Model: Default
- Loads Applied:**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	01_MA_Z1_CORIN...	1838.75
- Other Parameters:**
 - Modal Load Case: Modal
 - Time History Motion Type: Transient
 - Number of Output Time Steps: 4132
 - Output Time Step Size: 0.01 sec
 - Modal Damping: Constant at 0.05

Gambar 5.42 Definisi Faktor Skala Awal Gempa Corinth 1981 arah X

The screenshot shows the 'Load Case Data' dialog box with the following settings:

- General:**
 - Load Case Name: 00_UN_Z1_CORINTH_Ey
 - Load Case Type/Subtype: Time History (Linear Modal)
 - Mass Source: Previous (Mass Source)
 - Analysis Model: Default
- Loads Applied:**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	01_MA_Z1_CORIN...	1838.75
- Other Parameters:**
 - Modal Load Case: Modal
 - Time History Motion Type: Transient
 - Number of Output Time Steps: 4132
 - Output Time Step Size: 0.01 sec
 - Modal Damping: Constant at 0.05

Gambar 5.43 Definisi Faktor Skala Awal Gempa Corinth 1981 arah Y

3. Faktor Gaya untuk Gaya Geser Dasar

Setelah didapatkan nilai VIX dan VIY pada Langkah kedua, selanjutnya adalah menentukan faktor skala gaya geser dasar untuk tiap arah. Perhitungannya dapat dilihat pada contoh berikut.

$$V_{IX} = 2079,172 \text{ kN}$$

$$V_{IY} = 2481,306 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\eta_X &= \frac{V_X}{V_{IX}} \geq 1.0 \\ &= \frac{2494,494}{2079,172} \geq 1.0 \\ &= 1,2 \geq 1.0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta_Y &= \frac{V_Y}{V_{IY}} \geq 1.0 \\ &= \frac{2734,398}{2481,306} \geq 1.0 \\ &= 1,102 \geq 1.0\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan faktor skala di atas, dapat diketahui nilai faktor skala sudah lebih dari sama dengan 1, sehingga nilai yang digunakan adalah nilai hasil perbandingan antara gaya geser statik (Elastik) dengan gaya geser akibat gempa Corinth 1981 (Inelastik). Selanjutnya, faktor skala gaya geser dasar yang telah didapatkan dikalikan dengan nilai faktor skala awal. Dari hasil perkalian didapatkan nilai skala untuk arah x adalah sebesar 2206,044 mm/s² dan 2026,298 mm/s² untuk arah y. Nilai faktor skala untuk gaya yang telah didapatkan selanjutnya dimasukkan ke dalam software ETABS sebagai *load case* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.44 dan Gambar 5.45 berikut.

Load Case Data

General

Load Case Name: 01_SC_Z1_CORINTH_Ex [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History [v] Linear Modal [v] [Notes...]

Mass Source: Previous (Mass Source)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration [v]	U1	01_MA_Z1_CORIN...	2226.95

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal [v]

Time History Motion Type: Transient [v]

Number of Output Time Steps: 4132

Output Time Step Size: 0.01 sec

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Gambar 5.44 Definisi Faktor Skala Gaya Geser Gempa Corinth 1981 arah Y

Load Case Data

General

Load Case Name: 01_SC_Z1_CORINTH_Ey [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History [v] Linear Modal [v] [Notes...]

Mass Source: Previous (Mass Source)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration [v]	U2	01_MA_Z1_CORIN...	2044.25

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal [v]

Time History Motion Type: Transient [v]

Number of Output Time Steps: 4132

Output Time Step Size: 0.01 sec

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Gambar 5.45 Definisi Faktor Skala Gaya Geser Gempa Corinth 1981 arah Y

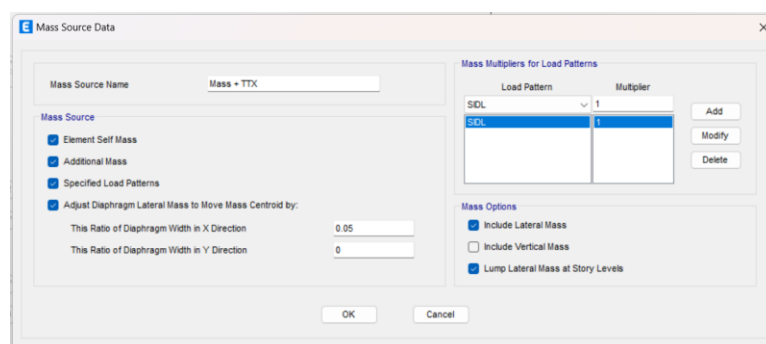
Rekapitulasi perhitungan skala gaya geser gempa pada setiap rekaman gerak tanah pada masing-masing zonasi dapat dilihat pada Tabel 5.77 berikut

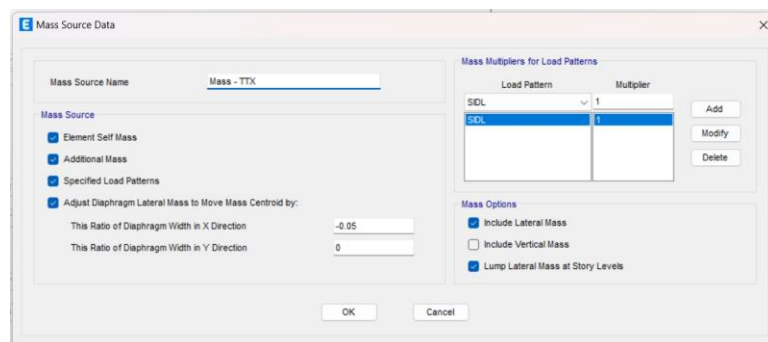
Tabel 5.77 Faktor Skala Gaya Geser untuk setiap Rekaman Gerak Tanah

Zona	Rekaman Gerak Tanah	V _x	V _y	V _{ix}	V _{iy}	η_x	η_y
		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)		
Zona 1	Corinth 1981	2494,494	2734,398	2079,172	2481,306	1,200	1,102
	Chuetsu 2007	2494,494	2734,398	1869,613	2192,851	1,334	1,247
	Iwate 2008	2494,494	2734,398	1871,015	2313,056	1,333	1,182
Zona 2	Northridge 1994	2539,829	2784,093	1996,284	2541,864	1,272	1,095
	Niigata 2004	2539,829	2784,093	1796,269	2222,203	1,414	1,253
	Chuetsu 2007	2539,829	2784,093	1871,958	2601,647	1,357	1,070
Zona 3	Imperial Valley 1979	3076,561	3372,444	2071,255	2970,466	1,485	1,135
	Tottori 2000	3076,561	3372,444	2103,673	2441,177	1,462	1,381
	Iwate 2008	3076,561	3372,444	1808,627	2677,058	1,701	1,260

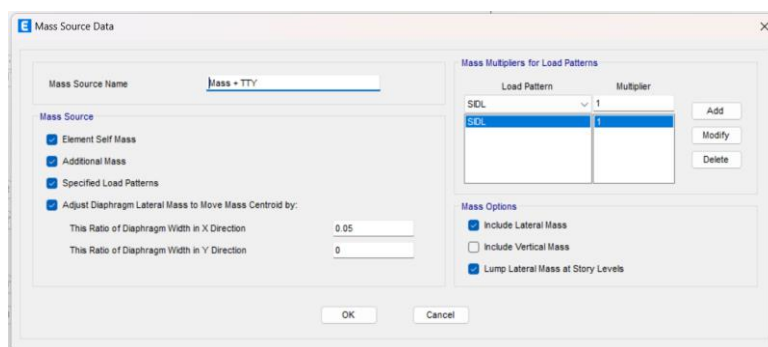
5.7.2 Gaya Geser Seismik (*Base Shear*)

Setelah dilakukan penskalaan terhadap gaya geser dasar pada setiap rekaman gempa pada masing-masing zona dan didapatkan nilai faktor skala gaya geser, selanjutnya dilakukan perhitungan Gaya Geser Dasar pada setiap zona. Berdasarkan ketentuan pada pasal 3.5.2 pada bab landasan teori, maka perlu dibuat berbagai *load case linear time history* tanpa mempertimbangkan pengaruh torsi tak terduga dan yang mempertimbangkan pengaruh torsi tak terduga untuk masing-masing arah x dan arah y. Pergeseran pusat massa akibat pengaruh torsi tak terduga didefinisikan (*define*) dalam *mass source* untuk masing-masing seperti pada contoh yang dapat dilihat pada Gambar 5.46 hingga Gambar 5.49 berikut

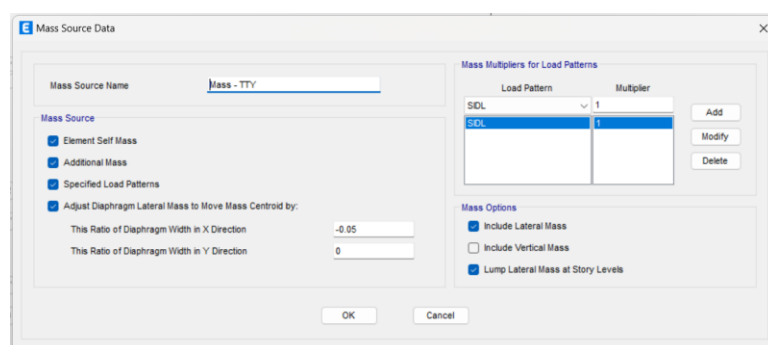
**Gambar 5.46 Define Pergeseran Pusat Massa Arah X Positif dalam ETABS**



Gambar 5.47 Define Pergeseran Pusat Massa Arah X Negatif dalam ETABS



Gambar 5.48 Define Pergeseran Pusat Massa Arah Y Positif dalam ETABS



Gambar 5.49 Define Pergeseran Pusat Massa Arah Y Negatif dalam ETABS

Berikut adalah hasil analisis gaya geser dasar seismik akibat rekaman gerak tanah pada masing-masing zona yang dapat dilihat pada Tabel 5.78 hingga Tabel 5.80 dan Gambar 5.50 hingga Gambar 5.53.

Tabel 5.78 Rekapitulasi Base Shear Analisis Riwayat Waktu

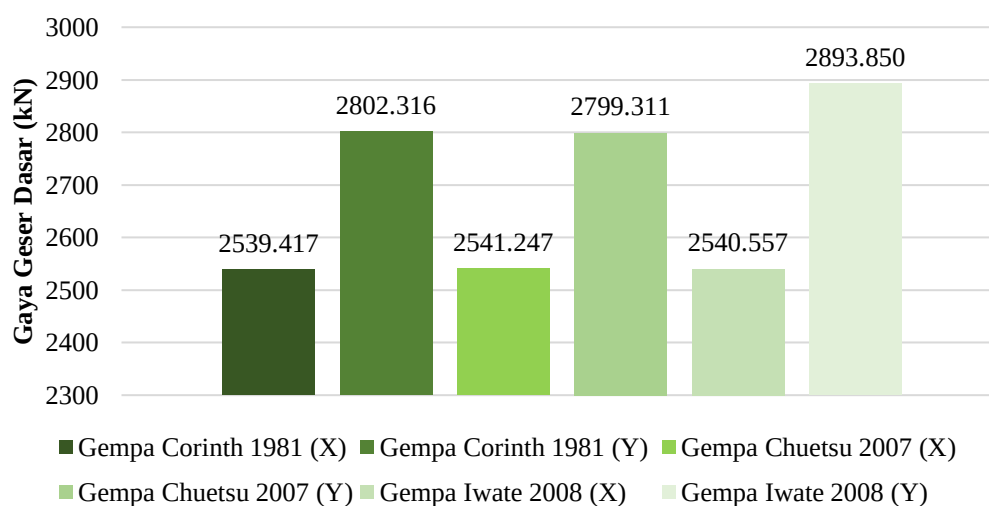
Nilai	Gempa			Satuan
	Corinth 1981	Chuetsu 2007	Iwate 2008	
$V_{E,X}$	2539,417	2541,247	2540,557	kN
$V_{E,Y}$	2802,316	2799,311	2893,850	kN

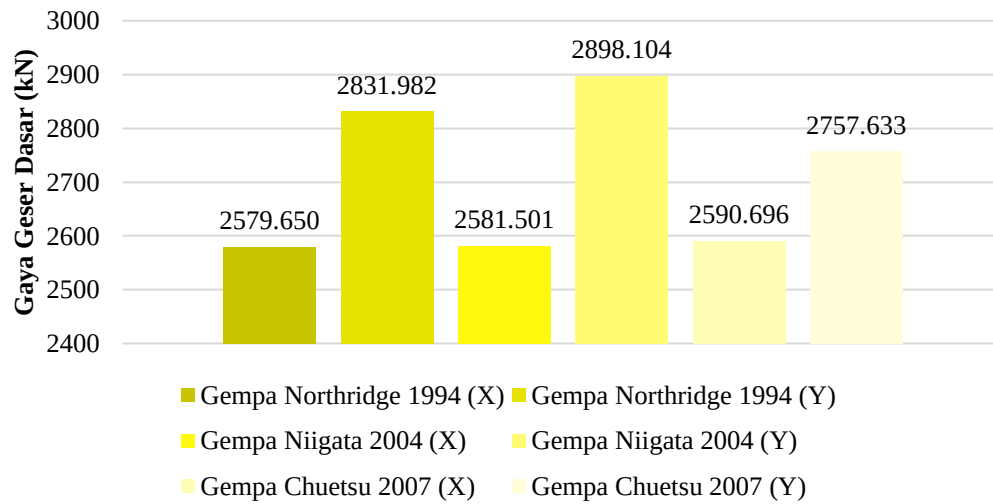
Tabel 5.79 Rekapitulasi Base Shear Analisis Riwayat Waktu pada Zona 2

Nilai	Gempa			Satuan
	Northridge 1994	Niigata 2004	Chuetsu 2007	
$V_{E,X}$	2579,650	2581,501	2590,696	kN
$V_{E,Y}$	2831,982	2898,104	2757,633	kN

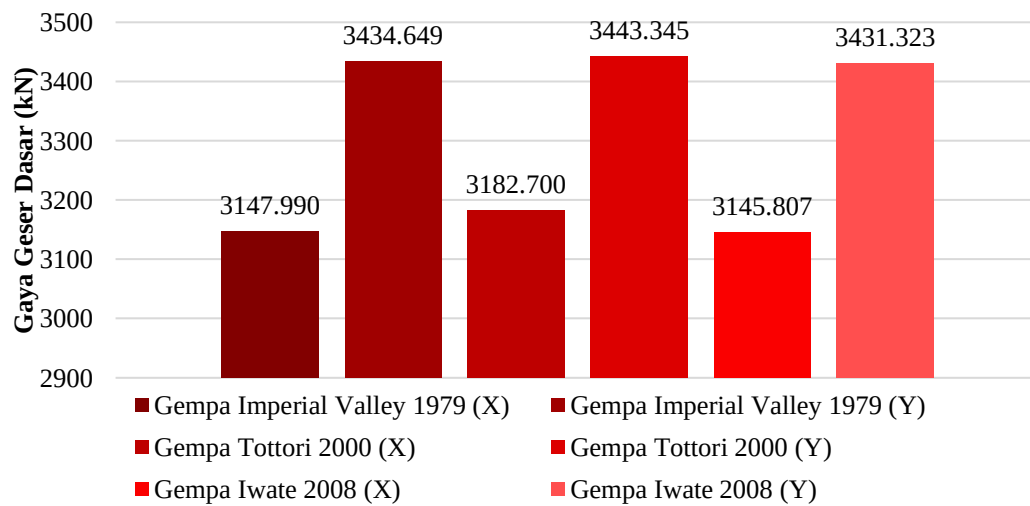
Tabel 5.80 Rekapitulasi Base Shear Analisis Riwayat Waktu pada Zona 3

Nilai	Gempa			Satuan
	Imperial Valley 1979	Tottori 2000	Iwate 2008	
$V_{E,X}$	3147,990	3182,700	3145,807	kN
$V_{E,Y}$	3434,649	3443,345	3431,323	kN

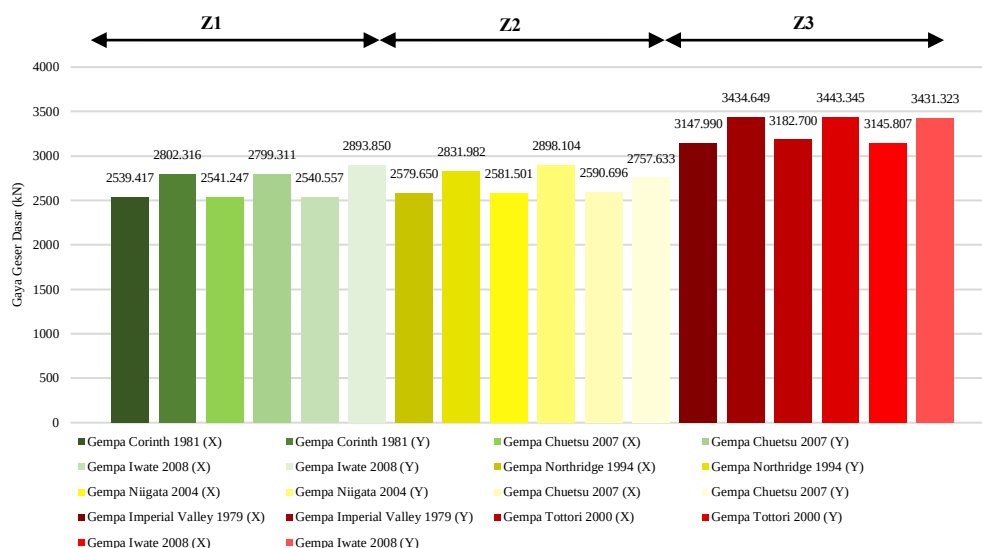
**Gambar 5.50 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*) akibat Rekaman-rekaman Gerak Tanah Zona 1**



Gambar 5.51 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*) akibat Rekaman-rekaman Gerak Tanah Zona 2



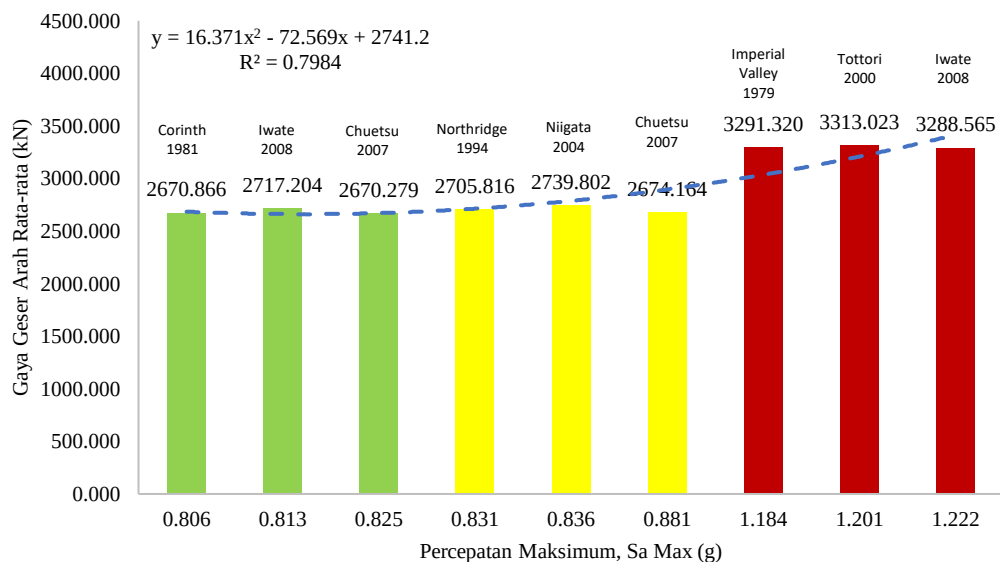
Gambar 5.52 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*) akibat Rekaman-rekaman Gerak Tanah Zona 3



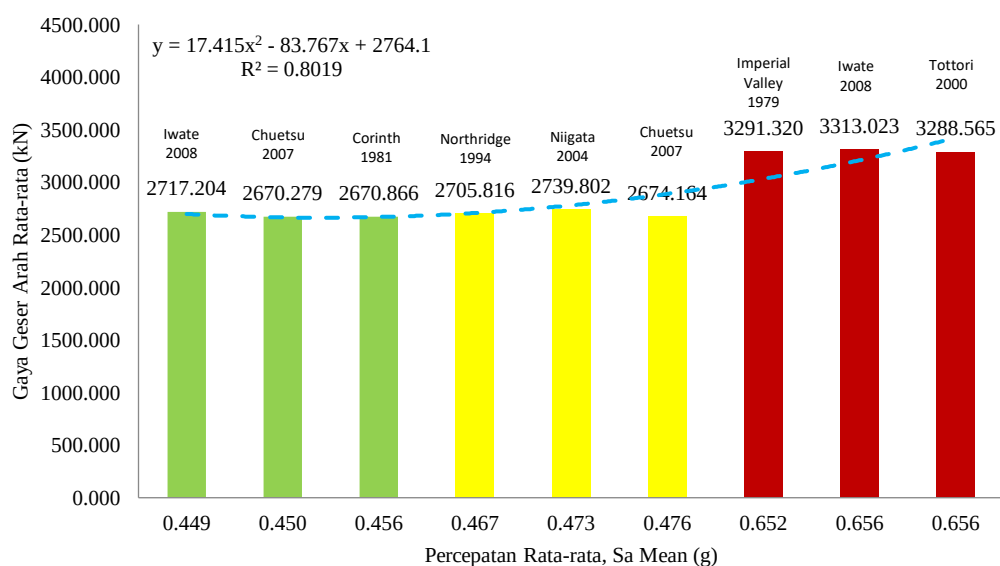
Gambar 5.53 Komparasi Gaya Geser Dasar (*Base Shear*) setiap Zona

Berdasarkan hasil analisis riwayat waktu yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa nilai *base shear* Maksimum terbesar adalah akibat beban gempa yang terdapat pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) yaitu akibat gempa Imperial Valley 1979 (Y) sebesar 3147,99 kN, kemudian beban gempa yang terdapat pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu akibat gempa Niigata 2004 (Y) sebesar 2898,104 kN, dan *base shear* maksimum yang terkecil adalah beban gempa yang terdapat pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu akibat gempa Iwate 2008 (Y) sebesar 2893,85 kN. Sedangkan nilai *base shear* Rata-rata terbesar adalah akibat beban gempa yang terdapat pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) sebesar 3297,636 kN, kemudian beban gempa yang terdapat pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu sebesar 2706,594 kN, dan yang terkecil adalah beban gempa yang terdapat pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu sebesar 2686,116 kN.

Selanjutnya hasil antara nilai *base shear* hasil analisis dengan nilai percepatan gerak tanah maksimum dan percepatan gerak tanah rata-rata pada masing-masing zona dapat dilihat pada Gambar 5.54 dan Gambar 5.55 berikut.



Gambar 5.54 Hubungan Nilai *Base Shear* Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Maksimum pada setiap Zona



Gambar 5.55 Hubungan Nilai *Base Shear* Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Rata-rata pada setiap Zona

Berdasarkan Gambar 5.54 dan Gambar 5.55, dapat diketahui bahwa terdapat hubungan antara nilai *base shear* dengan nilai percepatan gerak tanah, baik

percepatan gerak tanah maksimum dan percepatan gerak tanah rata-rata. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa semakin besar nilai percepatan gerak tanah pada zona yang ditinjau maka nilai *base shear* akibat beban gempa pada zona tersebut cenderung akan mengalami kenaikan.

5.7.3 Simpangan (*Displacement*) dan Rasio Simpangan Antar Tingkat (*Drift Ratio*)

Nilai Simpangan (*displacement*) dan Rasio Simpangan Antar Tingkat (*drift ratio*) yang didapatkan dari analisis menggunakan metode riwayat waktu diambil berdasarkan simpangan yang terjadi di pusat massa. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan menggunakan bantuan software ETABS, didapatkan nilai Simpangan (*displacement*) yang kemudian digunakan sekaligus sebagai parameter perhitungan rasio simpangan antar tingkat (*drift ratio*). Berikut adalah perhitungan rasio simpangan antar tingkat pada sumbu x akibat beban rekaman gempa Corinth 1981.

Nilai displacement didapat dari hasil analisis program ETABS

$$\delta e_x \text{ Lkubah} = 62.239 \text{ mm}$$

$$\delta e_x \text{ Latap} = 43,029 \text{ mm}$$

Perhitungan *elastic drift*

$$h = 3100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \delta e_x \text{ Lkubah} &= \delta e_x \text{ Lkubah} - \delta e_x \text{ Latap} \\ &= 62,239 \text{ mm} - 43,029 \text{ mm} \\ &= 19,21 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan *inelastic drift*

$$\begin{aligned} \Delta_X &= \frac{\delta e_x \text{ Lkubah} \times Cd}{I_e} \\ &= \frac{19,21 \times 5,5}{1,5} \\ &= 70,437 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai *Drift Ratio*

$$\begin{aligned}
 DR_{xLkubah} &= \frac{\Delta_{xLkubah}}{h} \times 100 \\
 &= \frac{70,437}{3100} \times 100 \\
 &= 2,272 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai Simpangan Inelastik Izin

$$\Delta_a = 0,01 h$$

$$\begin{aligned}
 \text{Simpangan Inelastik Izin} &= \frac{\Delta_a}{\rho} \\
 &= \frac{0,01h}{1,3} \\
 &= 0,00769 h
 \end{aligned}$$

Perhitungan *Drift Ratio Limit*

$$\begin{aligned}
 \text{Drift Ratio Limit} &= \frac{0,00769h}{h} \times 100 \\
 &= 0,00769 \times 100 \\
 &= 0,769 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= 2,272 \% > 0,769 \% \\
 &= \text{Drift Ratio} > \text{Drift Ratio Limit (Tidak Ok)}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah rekapitulasi hasil analisis nilai Simpangan (*Displacement*) dan Rasio Simpangan Antar Tingkat (*Drift Ratio*) yang terjadi pada struktur akibat rekaman gerak tanah pada masing-masing zona yang dapat dilihat pada Tabel 5.81 hingga Tabel 5.89 dan Gambar 5.56 hingga Gambar 5.79.

Tabel 5.81 *Displacement* dan *Drift Ratio* akibat Gempa Corinth 1981 Zona 1

Tingkat	<i>Displacement</i>		h	<i>Elastic Drift</i>		<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift Ratio</i>		<i>Drift Ratio Limit</i>	Cek Drift Ratio Limit
	δ_{ex}	δ_{ey}		δ_{ex}	δ_{ey}	Δ_x	Δ_y	DR X	DR Y		
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%		
5	62,239	49,948	3100	19,210	18,277	70,437	67,016	2,272	2,162	0,769	NOT OK
4	43,029	31,671	3900	10,499	9,863	38,496	36,164	0,987	0,927	0,769	NOT OK
3	32,53	21,808	4000	10,859	8,257	39,816	30,276	0,995	0,757	0,769	NOT OK
2	21,671	13,551	4000	14,433	8,940	52,921	32,780	1,323	0,820	0,769	NOT OK
1	7,238	4,611	4150	7,238	4,611	26,539	16,907	0,640	0,407	0,769	OK

Tabel 5.82 *Displacement* dan *Drift Ratio* akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 1

Tingkat	<i>Displacement</i>		h	<i>Elastic Drift</i>		<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift Ratio</i>		<i>Drift Ratio Limit</i>	Cek Drift Ratio Limit
	δ_{ex}	δ_{ey}		δ_{ex}	δ_{ey}	Δ_x	Δ_y	DR X	DR Y		
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%		
5	68,134	52,369	3100	21,040	15,172	77,147	55,631	2,489	1,795	0,769	NOT OK
4	47,094	37,197	3900	12,356	13,101	45,305	48,037	1,162	1,232	0,769	NOT OK
3	34,738	24,096	4000	12,968	9,601	47,549	35,204	1,189	0,880	0,769	NOT OK
2	21,77	14,495	4000	14,664	9,687	53,768	35,519	1,344	0,888	0,769	NOT OK
1	7,106	4,808	4150	7,106	4,808	26,055	17,629	0,628	0,425	0,769	OK

Tabel 5.83 *Displacement* dan *Drift Ratio* akibat Gempa Iwate 2008 Zona 1

Tingkat	<i>Displacement</i>		h	<i>Elastic Drift</i>		<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift Ratio</i>		<i>Drift Ratio Limit</i>	Cek Drift Ratio Limit
	δ_{ex}	δ_{ey}		δ_{ex}	δ_{ey}	Δ_x	Δ_y	DR X	DR Y		
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%		
5	67,161	52,958	3100	19,707	16,912	72,259	62,011	2,331	2,000	0,769	NOT OK
4	47,454	36,046	3900	11,427	13,391	41,899	49,100	1,074	1,259	0,769	NOT OK
3	36,027	22,655	4000	13,060	9,028	47,887	33,103	1,197	0,828	0,769	NOT OK
2	22,967	13,627	4000	15,550	8,979	57,017	32,923	1,425	0,823	0,769	NOT OK
1	7,417	4,648	4150	7,417	4,648	27,196	17,043	0,655	0,411	0,769	OK

Tabel 5.84 *Displacement dan Drift Ratio* akibat Gempa Northridge 1994 Zona 2

Tingkat	Displacement		h	Elastic Drift		Inelastic Drift		Drift Ratio		Drift Ratio Limit	Cek Drift Ratio Limit
	δ_{ex}	δ_{ey}		δ_{ex}	δ_{ey}	Δ_x	Δ_y	DR X	DR Y		
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%		
5	69,949	47,449	3100	20,263	12,646	74,298	46,369	2,397	1,496	0,769	NOT OK
4	49,686	34,803	3900	14,197	12,701	52,056	46,570	1,335	1,194	0,769	NOT OK
3	35,489	22,102	4000	12,627	8,328	46,299	30,536	1,157	0,763	0,769	NOT OK
2	22,862	13,774	4000	15,312	9,084	56,144	33,308	1,404	0,833	0,769	NOT OK
1	7,55	4,69	4150	7,550	4,690	27,683	17,197	0,667	0,414	0,769	OK

Tabel 5.85 *Displacement dan Drift Ratio* akibat Gempa Niigata 2004 Zona 2

Tingkat	Displacement		h	Elastic Drift		Inelastic Drift		Drift Ratio		Drift Ratio Limit	Cek Drift Ratio Limit
	δ_{ex}	δ_{ey}		δ_{ex}	δ_{ey}	Δ_x	Δ_y	DR X	DR Y		
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%		
5	64,693	53,053	3100	11,155	14,233	40,902	52,188	1,319	1,683	0,769	NOT OK
4	53,538	38,82	3900	13,964	14,213	51,201	52,114	1,313	1,336	0,769	NOT OK
3	39,574	24,607	4000	15,039	9,718	55,143	35,633	1,379	0,891	0,769	NOT OK
2	24,535	14,889	4000	16,758	9,980	61,446	36,593	1,536	0,915	0,769	NOT OK
1	7,777	4,909	4150	7,777	4,909	28,516	18,000	0,687	0,434	0,769	OK

Tabel 5.86 *Displacement dan Drift Ratio* akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 2

Tingkat	Displacement		h	Elastic Drift		Inelastic Drift		Drift Ratio		Drift Ratio Limit	Cek Drift Ratio Limit
	δ_{ex}	δ_{ey}		δ_{ex}	δ_{ey}	Δ_x	Δ_y	DR X	DR Y		
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%		
5	68,894	53,735	3100	18,229	19,521	66,840	71,577	2,156	2,309	0,769	NOT OK
4	50,665	34,214	3900	12,903	12,887	47,311	47,252	1,213	1,212	0,769	NOT OK
3	37,762	21,327	4000	14,149	7,772	51,880	28,497	1,297	0,712	0,769	NOT OK
2	23,613	13,555	4000	15,990	8,888	58,630	32,589	1,466	0,815	0,769	NOT OK
1	7,623	4,667	4150	7,623	4,667	27,951	17,112	0,674	0,412	0,769	OK

Tabel 5.87 *Displacement* dan *Drift Ratio* akibat Gempa Imperial Valley 1979 Zona 3

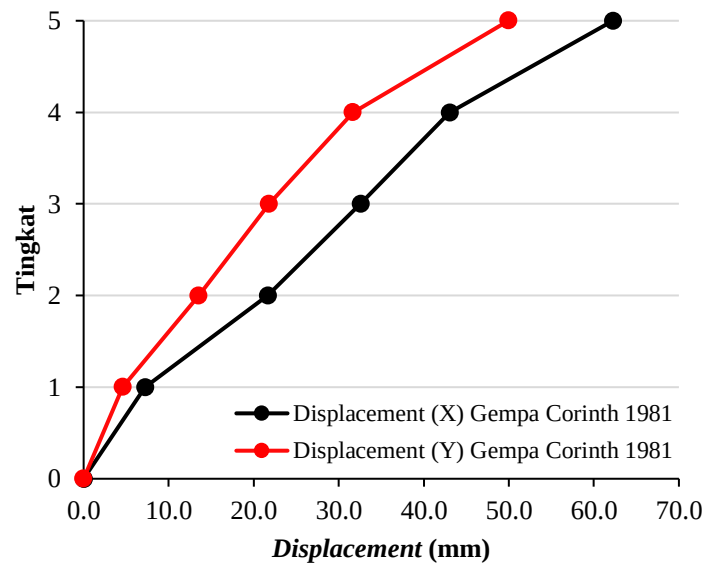
Tingkat	<i>Displacement</i>		h	<i>Elastic Drift</i>		<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift Ratio</i>		<i>Drift Ratio Limit</i>	Cek Drift Ratio Limit
	δ_{ex}	δ_{ey}		δ_{ex}	δ_{ey}	Δ_x	Δ_y	DR X	DR Y		
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%		
5	87,372	65,749	3100	19,612	20,521	71,911	75,244	2,320	2,427	0,769	NOT OK
4	67,76	45,228	3900	18,585	17,230	68,145	63,177	1,747	1,620	0,769	NOT OK
3	49,175	27,998	4000	18,957	10,864	69,509	39,835	1,738	0,996	0,769	NOT OK
2	30,218	17,134	4000	20,713	11,387	75,948	41,752	1,899	1,044	0,769	NOT OK
1	9,505	5,747	4150	9,505	5,747	34,852	21,072	0,840	0,508	0,769	NOT OK

Tabel 5.88 *Displacement* dan *Drift Ratio* akibat Gempa Tottori 2000 Zona 3

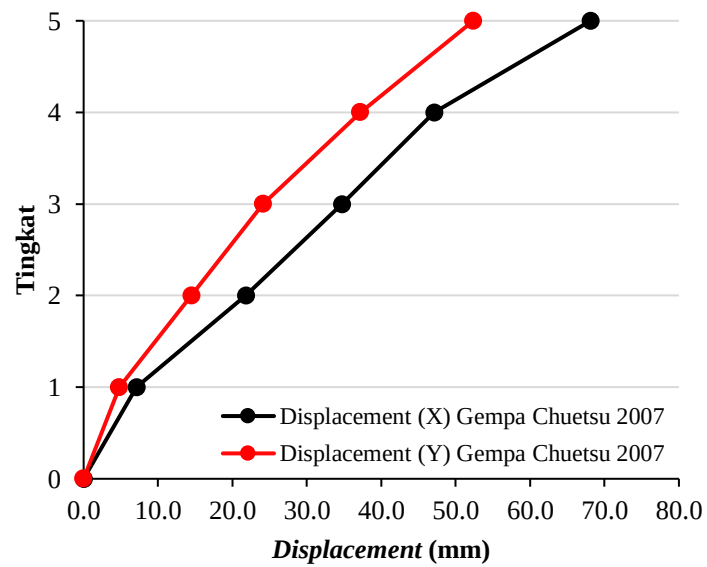
Tingkat	<i>Displacement</i>		h	<i>Elastic Drift</i>		<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift Ratio</i>		<i>Drift Ratio Limit</i>	Cek Drift Ratio Limit
	δ_{ex}	δ_{ey}		δ_{ex}	δ_{ey}	Δ_x	Δ_y	DR X	DR Y		
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%		
5	89,158	78,666	3100	23,452	24,974	85,991	91,571	2,774	2,954	0,769	NOT OK
4	65,706	53,692	3900	17,051	21,510	62,520	78,870	1,603	2,022	0,769	NOT OK
3	48,655	32,182	4000	18,808	13,695	68,963	50,215	1,724	1,255	0,769	NOT OK
2	29,847	18,487	4000	20,465	12,524	75,038	45,921	1,876	1,148	0,769	NOT OK
1	9,382	5,963	4150	9,382	5,963	34,401	21,864	0,829	0,527	0,769	NOT OK

Tabel 5.89 *Displacement* dan *Drift Ratio* akibat Gempa Iwate 2008 Zona 3

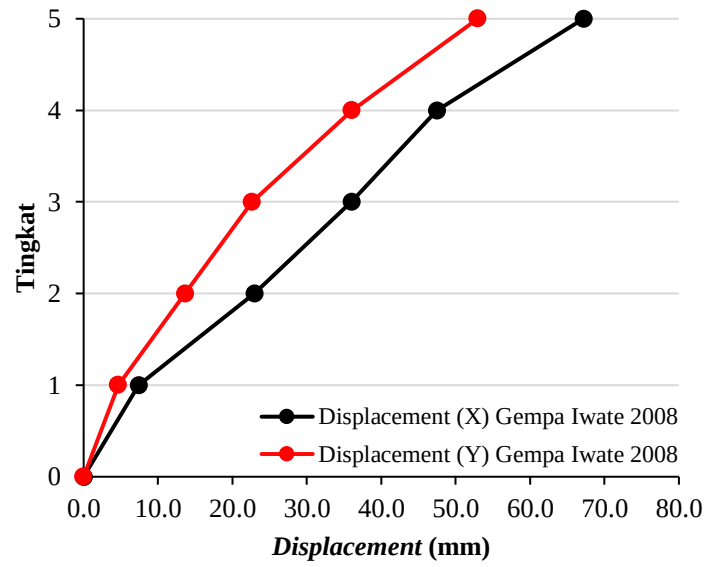
Tingkat	<i>Displacement</i>		h	<i>Elastic Drift</i>		<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift Ratio</i>		<i>Drift Ratio Limit</i>	Cek Drift Ratio Limit
	δ_{ex}	δ_{ey}		δ_{ex}	δ_{ey}	Δ_x	Δ_y	DR X	DR Y		
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	%	%		
5	98,43	63,759	3100	22,814	17,700	83,651	64,900	2,698	2,094	0,769	NOT OK
4	75,616	46,059	3900	23,830	16,854	87,377	61,798	2,240	1,585	0,769	NOT OK
3	51,786	29,205	4000	20,975	11,348	76,908	41,609	1,923	1,040	0,769	NOT OK
2	30,811	17,857	4000	21,283	11,971	78,038	43,894	1,951	1,097	0,769	NOT OK
1	9,528	5,886	4150	9,528	5,886	34,936	21,582	0,842	0,520	0,769	NOT OK



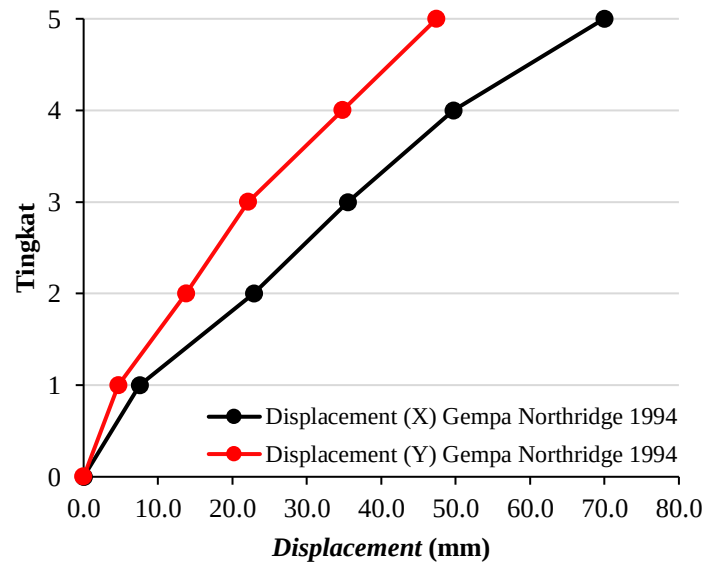
Gambar 5.56 Grafik *Displacement* akibat Gempa Corinth 1981 Zona 1



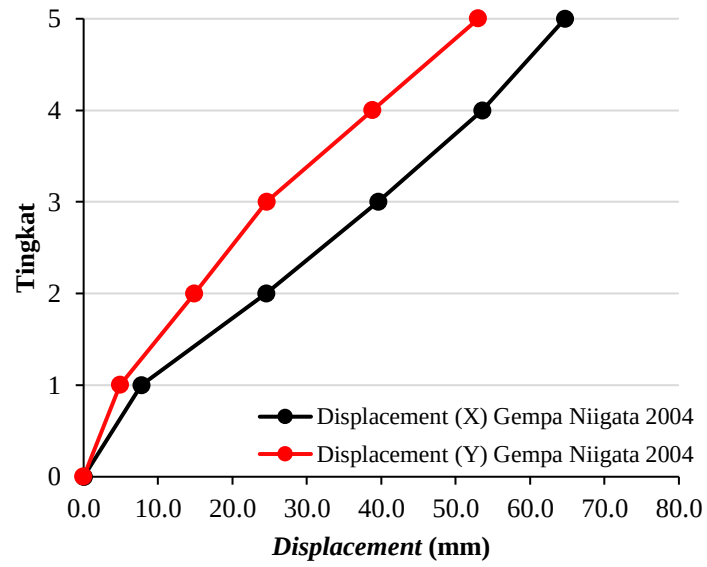
Gambar 5.57 Grafik *Displacement* akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 1



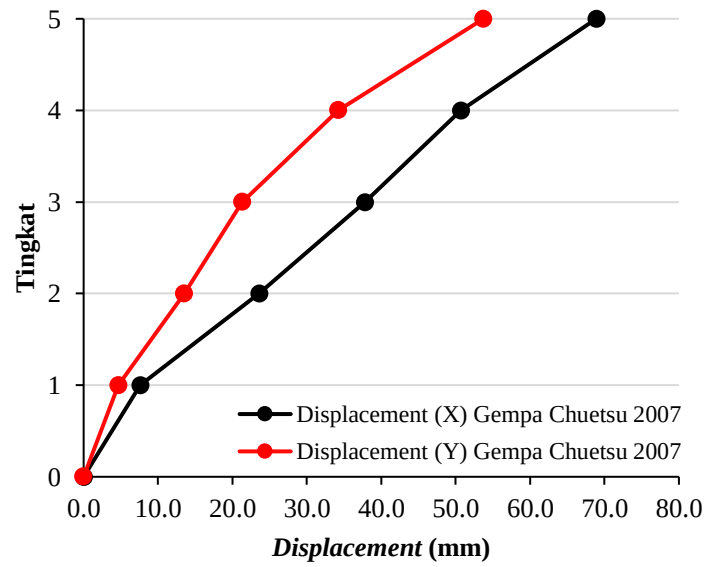
Gambar 5.58 Grafik *Displacement* akibat Gempa Iwate 2008 Zona 1



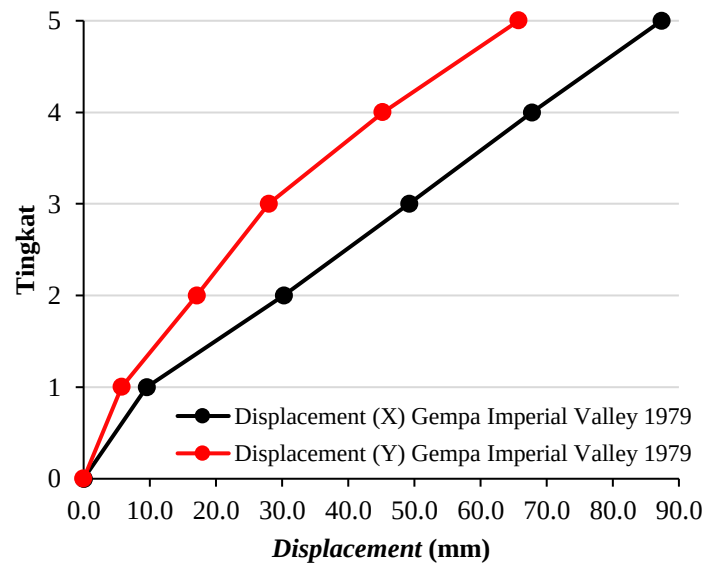
Gambar 5.59 Grafik *Displacement* akibat Gempa Northridge 1994 Zona 2



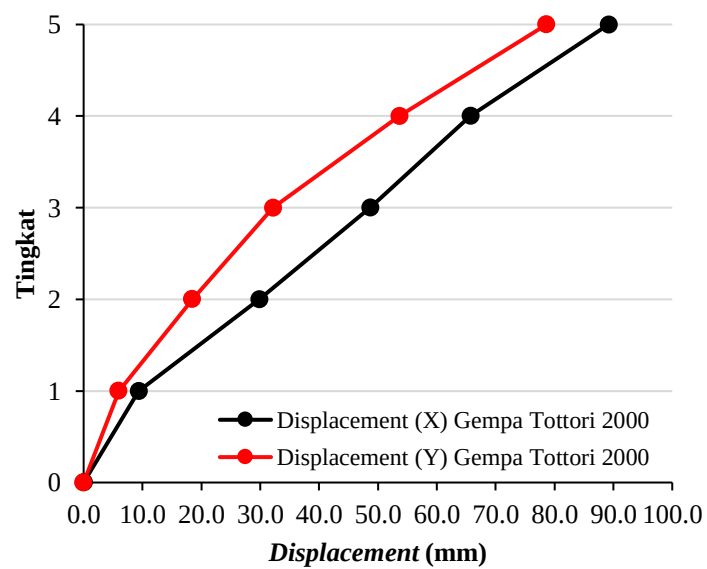
Gambar 5.60 Grafik *Displacement* akibat Gempa Niigata 2004 Zona 2



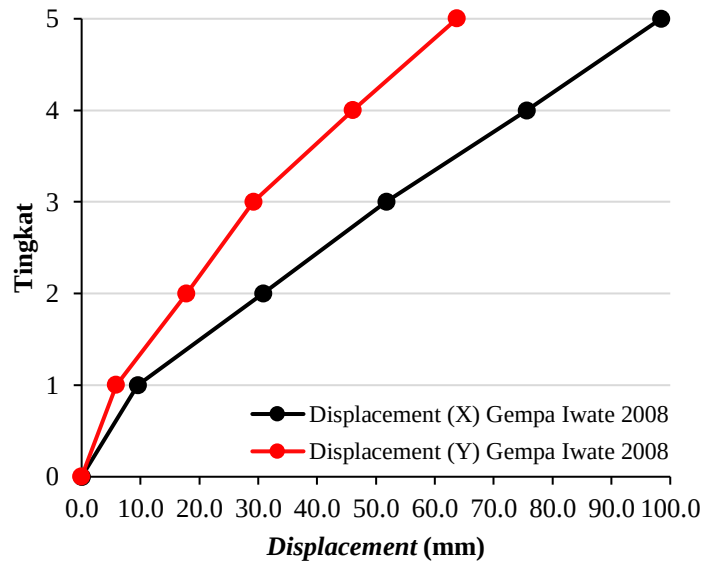
Gambar 5.61 Grafik *Displacement* akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 2



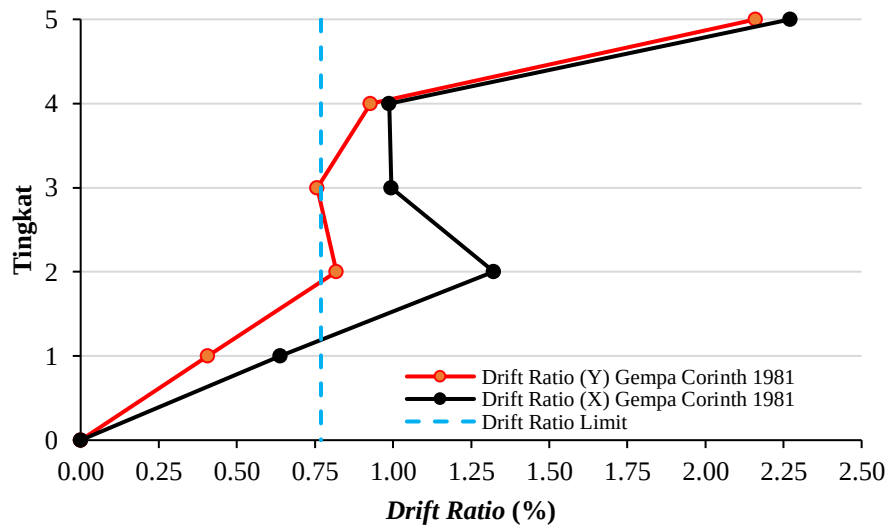
Gambar 5.62 Grafik *Displacement* akibat Gempa Imperial Valley 1979 Zona 3



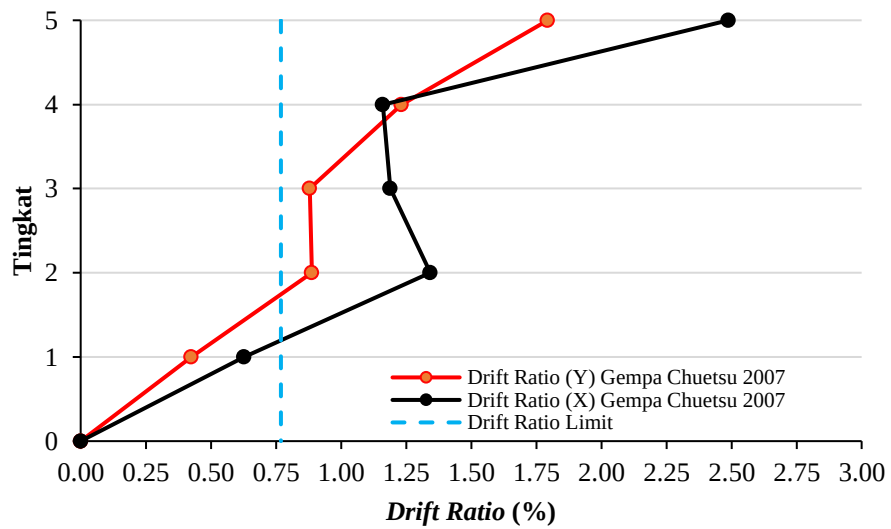
Gambar 5.63 Grafik *Displacement* akibat Gempa Tottori 2000 Zona 3



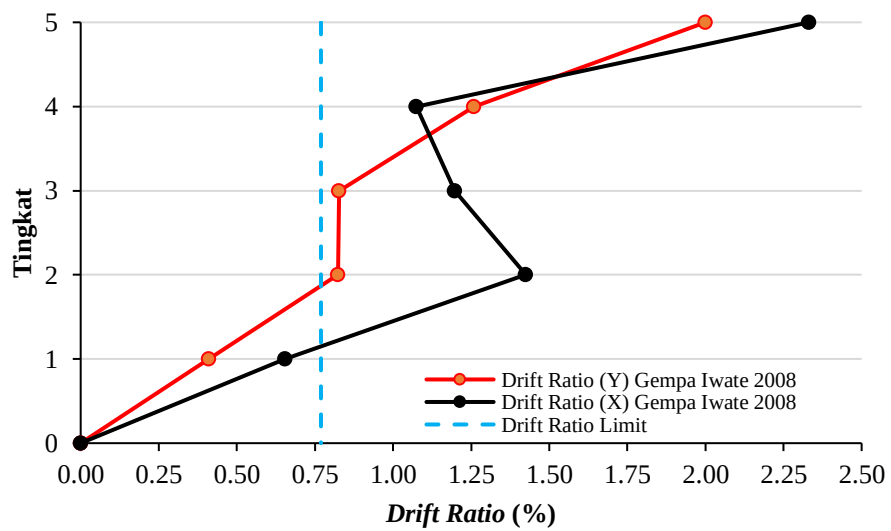
Gambar 5.64 Grafik *Displacement* akibat Gempa Iwate 2008 Zona 3



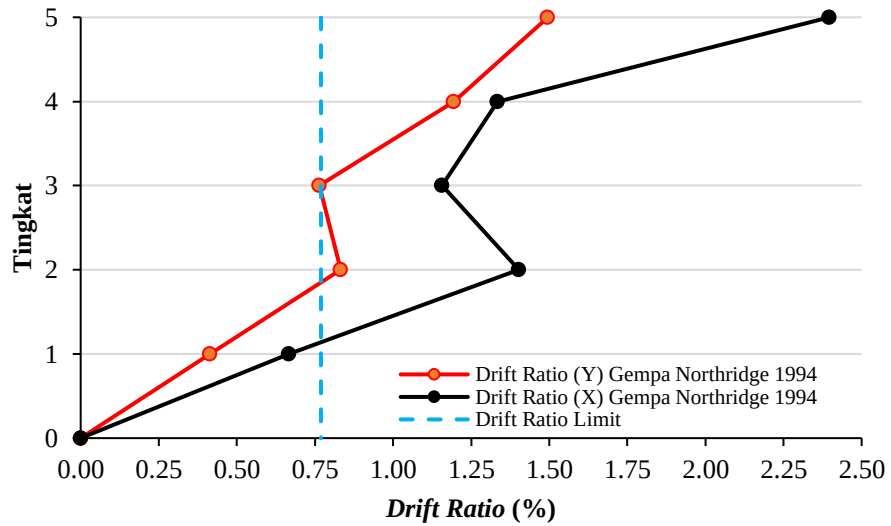
Gambar 5.65 Grafik *Drift Ratio* akibat Gempa Corinth 1981 Zona 1



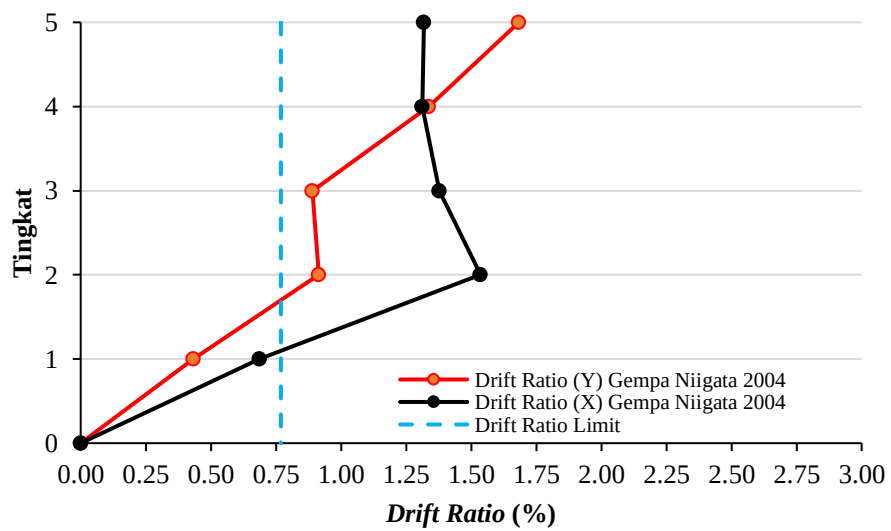
Gambar 5.66 Grafik *Drift Ratio* akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 1



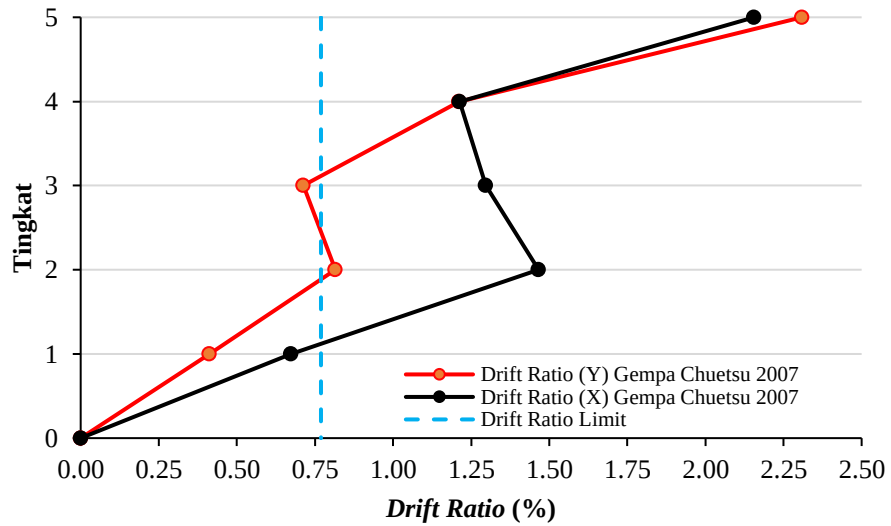
Gambar 5.67 Grafik *Drift Ratio* akibat Gempa Iwate 2008 Zona 1



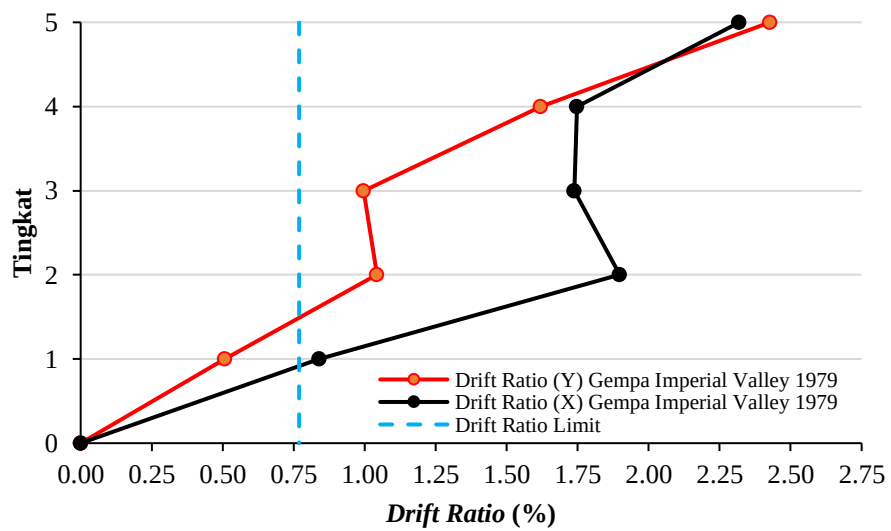
Gambar 5.68 Grafik *Drift Ratio* akibat Gempa Northridge 1994 Zona 2



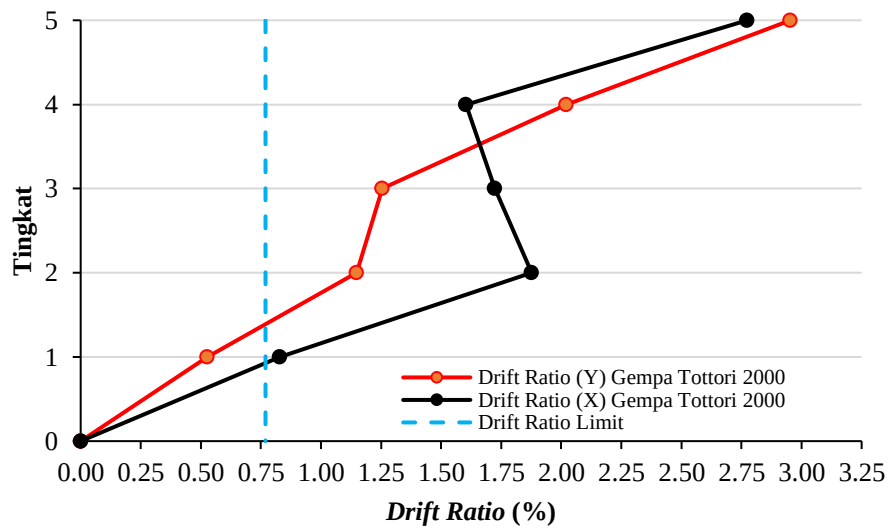
Gambar 5.69 Grafik *Drift Ratio* akibat Gempa Niigata 2004 Zona 2



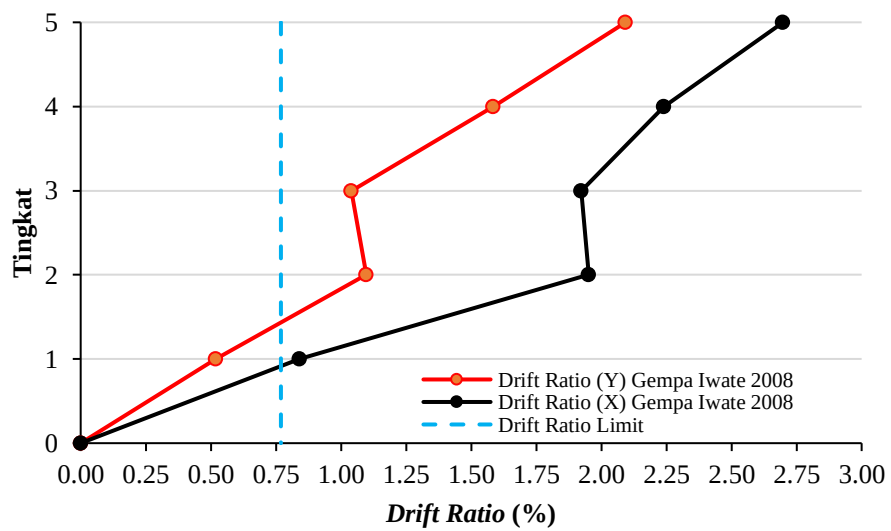
Gambar 5.70 Grafik *Drift Ratio* akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 2



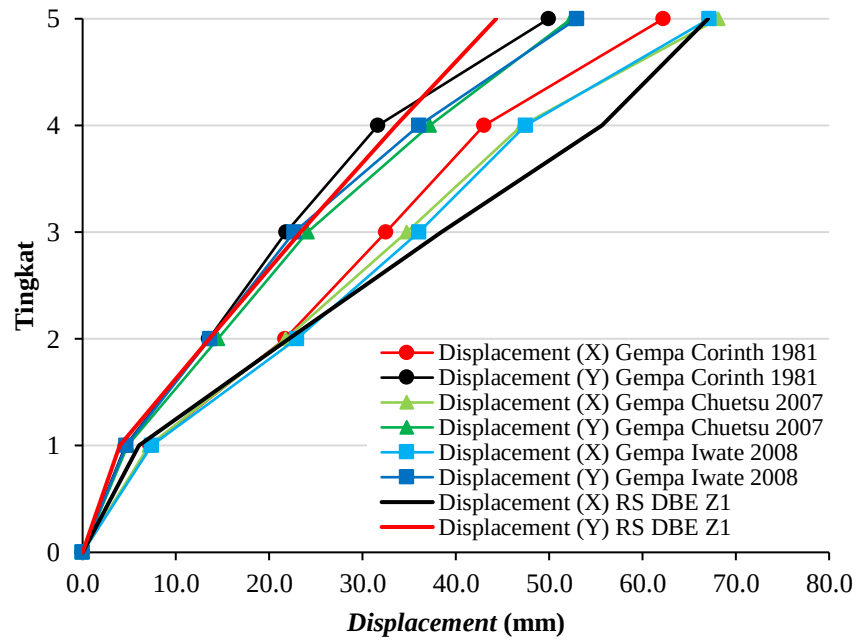
Gambar 5.71 Grafik *Drift Ratio* akibat Gempa Imperial Valley 1979 Zona 3



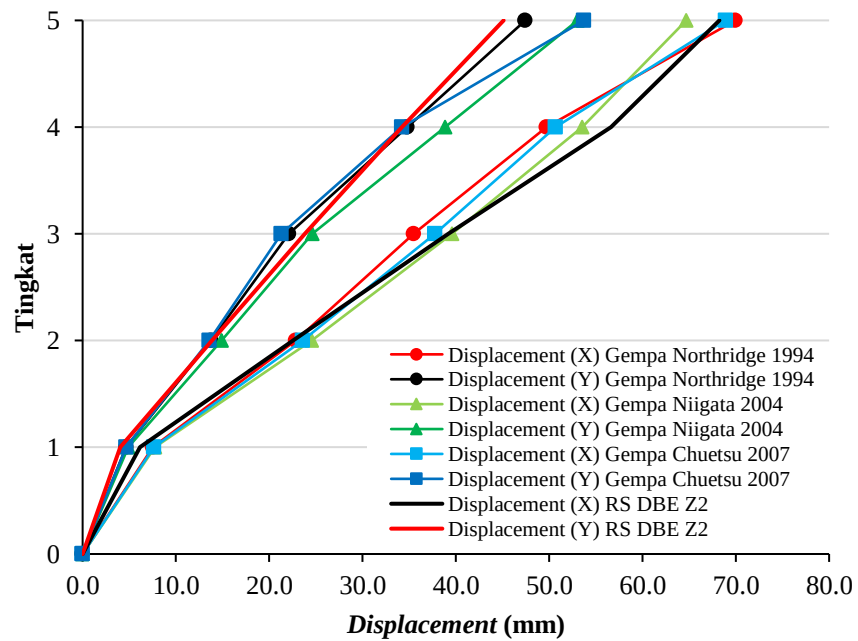
Gambar 5.72 Grafik *Drift Ratio* akibat Gempa Tottori 2000 Zona 3



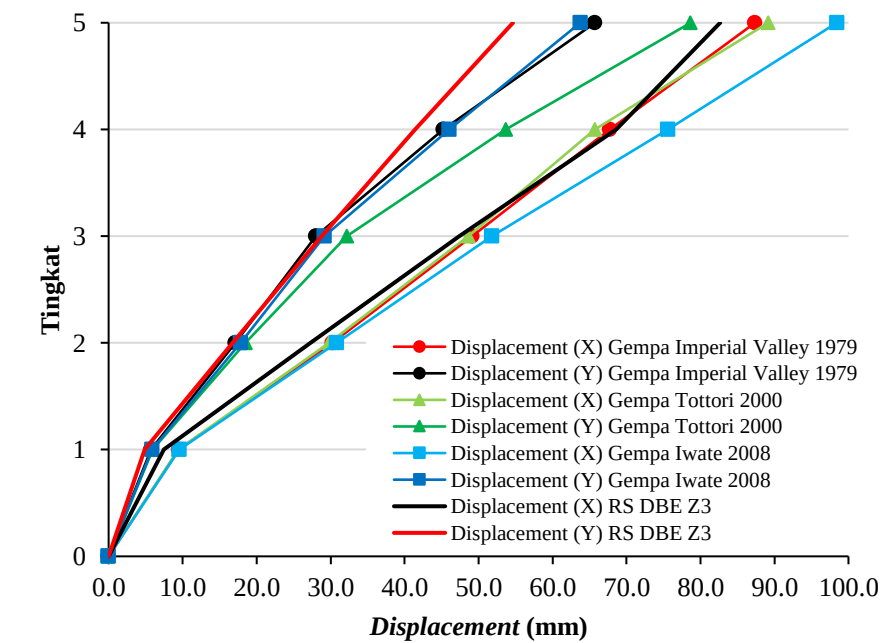
Gambar 5.73 Grafik *Drift Ratio* akibat Gempa Iwate 2008 Zona 3



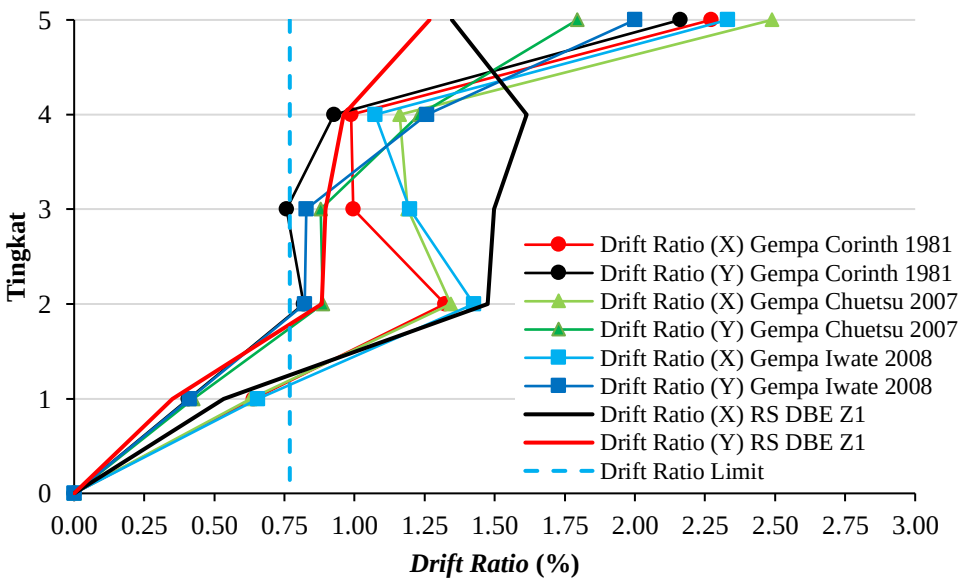
Gambar 5.74 Grafik Komparasi *Displacement* Zona 1



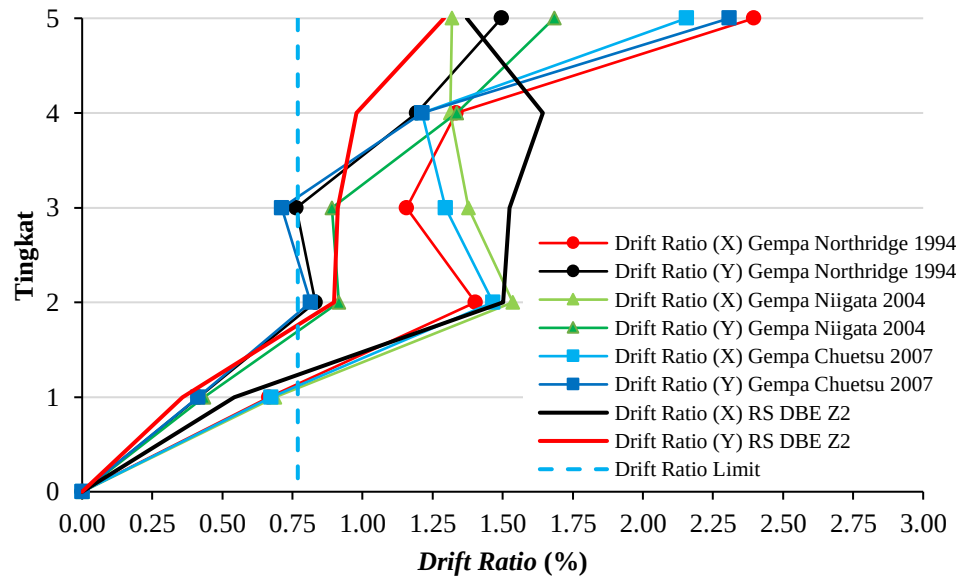
Gambar 5.75 Grafik Komparasi *Displacement* Zona 2



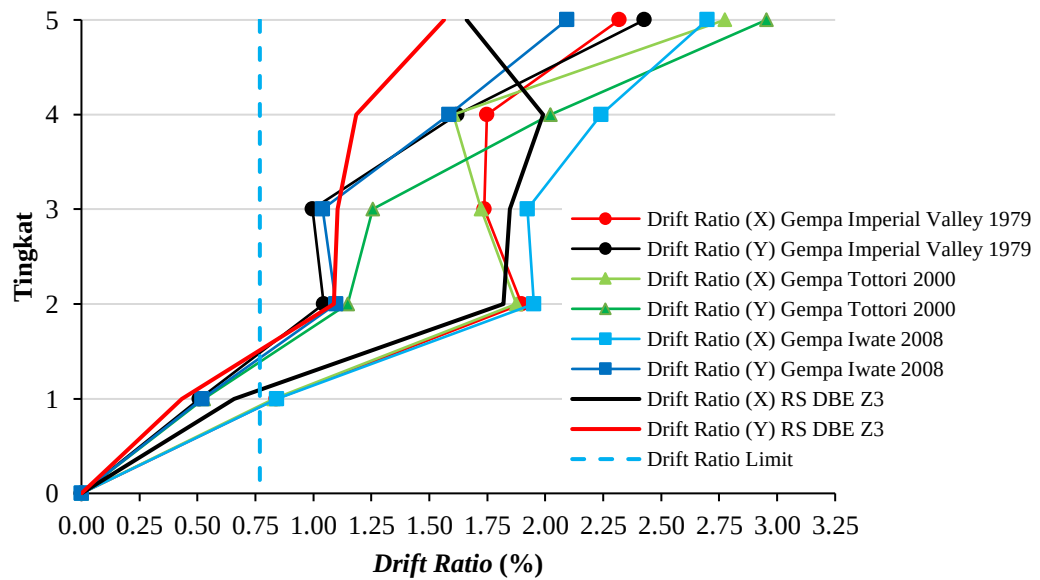
Gambar 5.76 Grafik Komparasi *Displacement* Zona 3



Gambar 5.77 Grafik Komparasi *Drift Ratio* Zona 1



Gambar 5.78 Grafik Komparasi *Drift Ratio* Zona 2



Gambar 5.79 Grafik Komparasi *Drift Ratio* Zona 3

Berdasarkan tabel dan gambar hasil analisis nilai *displacement* dan nilai *drift ratio* di atas, diperoleh bahwa nilai *displacement* maksimum terbesar terjadi pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) yaitu sebesar 98,430 mm pada arah x akibat gempa Iwate 2008, kemudian pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu sebesar 69,949 mm pada arah x akibat gempa Northridge 1994 dan *displacement* maksimum terkecil terjadi pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu sebesar 68,134 mm pada arah x akibat gempa Chuetsu 2007. Sedangkan untuk nilai *drift ratio* maksimum terbesar terjadi pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) yaitu sebesar 2,954 % pada arah y akibat gempa Tottori 2000, kemudian pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu sebesar 2,489 % pada arah x akibat gempa Chuetsu 2007 dan *drift ratio* maksimum terkecil terjadi pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu sebesar 2,397 % pada arah x akibat gempa Northridge 1994. Selanjutnya nilai *displacement* rata-rata terbesar terjadi pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) yaitu sebesar 42,219 mm, kemudian pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu sebesar 31,693 mm dan *displacement* rata-rata terkecil terjadi pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu sebesar 30,369 mm. Sedangkan nilai *drift ratio* terbesar terjadi pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) yaitu sebesar 1,595 %, kemudian pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu sebesar 1,181 % mm dan *drift ratio* rata-rata terkecil terjadi pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu sebesar 1,177 %. Berdasarkan hasil analisis di atas juga diperoleh bahwa pada setiap zona nilai *drift ratio* melebihi nilai *drift ratio limit* yang ditentukan yaitu sebesar 0,769 %. Nilai *drift ratio* yang melebihi nilai *drift ratio limit* rata-rata terjadi pada tingkat kedua pada masing-masing zona kecuali zona 3 yang sudah terdapat nilai yang melebihi batas mulai dari tingkat pertama.

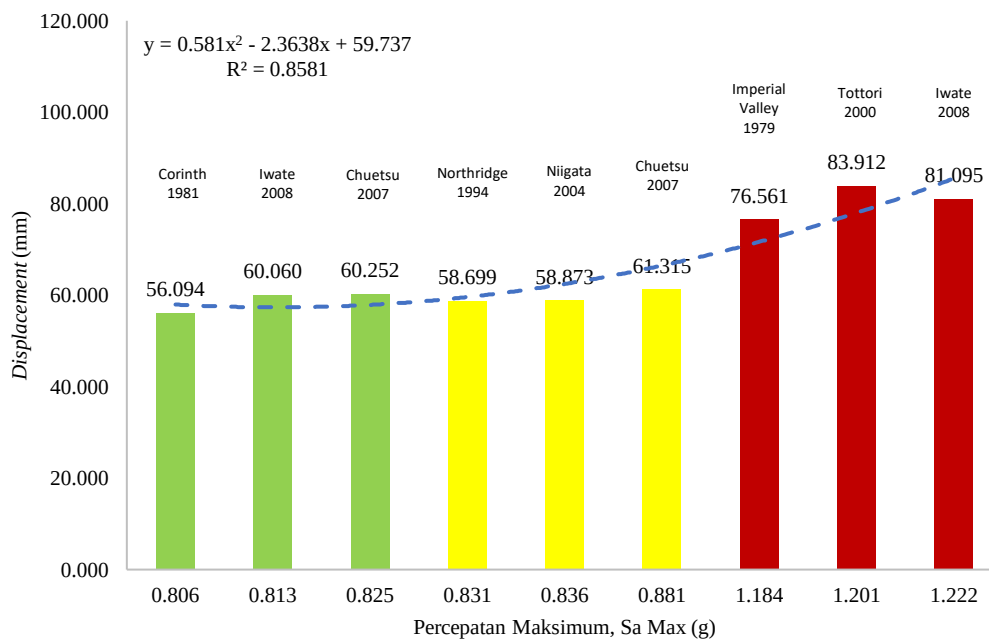
Berdasarkan analisis yang dilakukan oleh peneliti, hasil ini didapatkan karena disebabkan faktor peraturan yang mengatur batasan-batasan perencanaan bangunan struktur tahan gempa. Bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII selesai dibangun dan disahkan pada tahun 2012. Dari informasi tersebut dapat diketahui bahwa perencanaan bangunan struktur tentunya menggunakan peraturan lama sebelum masa pelaksanaan proyek yaitu sebelum

tahun 2012. SNI 1726:2019 merupakan aturan yang mengatur batasan-batasan dalam perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung, sedangkan peraturan lama yang mengatur tentang batasan-batasan tersebut sebelum tahun 2012 adalah SNI 1726:2002.

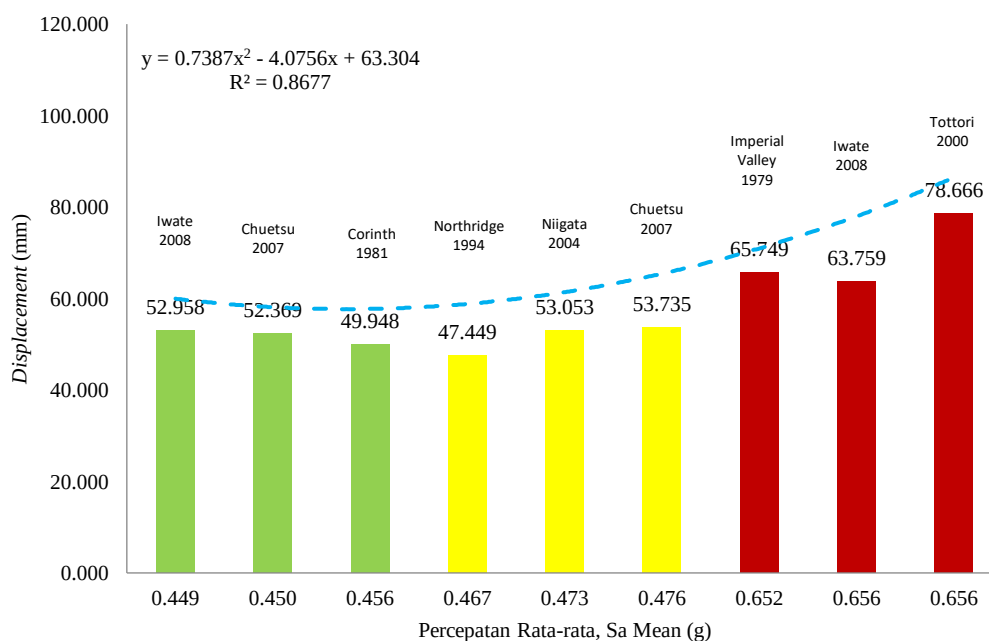
Diketahui sebelumnya bahwa dalam perhitungan nilai *Drift Ratio Limit* melibatkan nilai simpangan antar tingkat izin dan nilai faktor redundansi yang pada aturan terbaru yaitu SNI 1726:2019 diatur berdasarkan kategori desains seismiknya. Sedangkan pada SNI 1726:2002, pada Pasal 8.2.2 hanya diatur tentang simpangan antar tingkat tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan tanpa dikategorikan berdasarkan kategori desain seismiknya. Sedangkan untuk nilai redundansi pada aturan ini belum diatur ketentuan penggunaannya dalam perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung.

Jika kedua nilai tersebut disesuaikan oleh peneliti sesuai dengan ketentuan yang diatur pada SNI 1726:2002, maka nilai *Drift Ratio* akibat beban gempa statik pada Zona 2 yang merupakan lokasi eksisting bangunan gedung yang ditinjau, didapatkan bahwa nilai *Drift Ratio* tidak melebihi nilai *Drift Ratio Limit*. Tetapi untuk nilai *Drift Ratio* akibat rekaman gerak tanah asli hasil pencocokan spektral diperoleh masih melebihi nilai *Drift Ratio Limit*. Oleh karena itu, besar kemungkinan perencanaan bangunan gedung ini hanya menggunakan analisis *Static Equivalent Lateral Force* (ELF) atau analisis gempa statik pada saat perencanaanya.

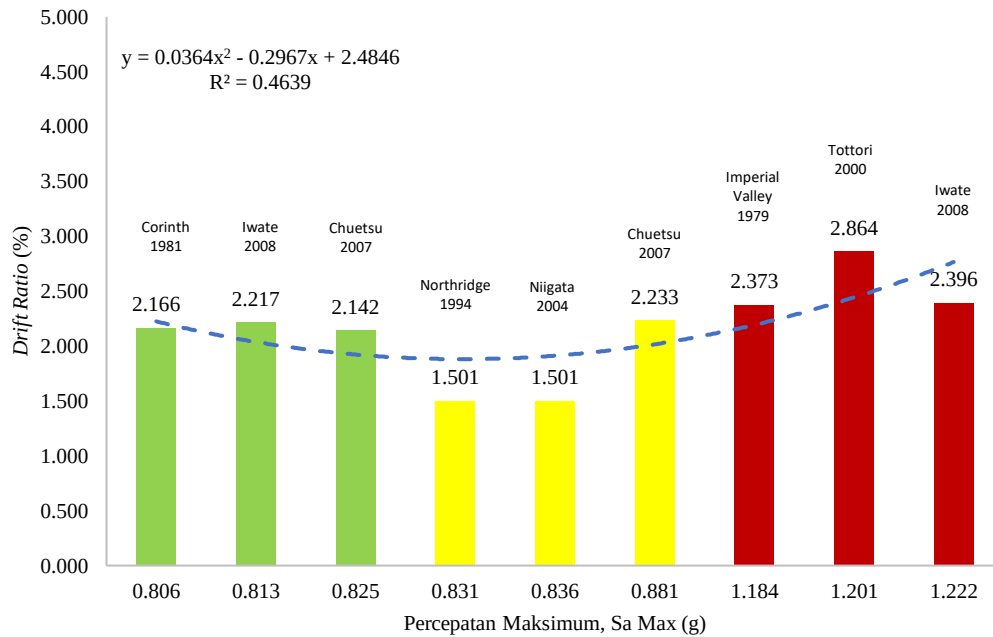
Selanjutnya hasil antara nilai *displacement* hasil analisis dengan nilai percepatan gerak tanah maksimum dan percepatan gerak tanah rata-rata pada masing-masing zona hubungannya dapat dilihat pada Gambar 5.80 dan Gambar 5.81. Sedangkan hasil antara nilai *drift ratio* hasil perhitungan dengan nilai percepatan gerak tanah maksimum dan percepatan gerak tanah rata-rata pada masing-masing zona hubungannya dapat dilihat pada Gambar 5.82 dan Gambar 5.83 berikut.



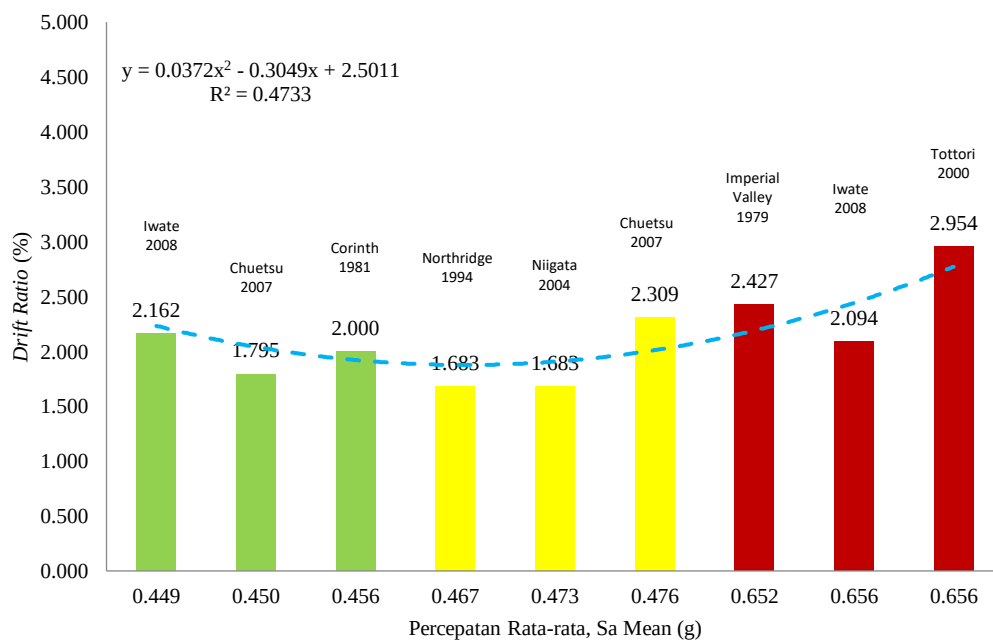
Gambar 5.80 Hubungan Nilai *Displacement* Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Maksimum pada setiap Zona



Gambar 5.81 Hubungan Nilai *Displacement* Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Rata-rata pada setiap Zona



Gambar 5.82 Hubungan Nilai *Drift Ratio* Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Maksimum pada setiap Zona



Gambar 5.83 Hubungan Nilai *Drift Ratio* Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Rata-rata pada setiap Zona

Berdasarkan Gambar 5.56 dan Gambar 5.57, dapat diketahui bahwa terdapat hubungan antara nilai *displacement* dengan nilai percepatan gerak tanah, baik percepatan gerak tanah maksimum dan percepatan gerak tanah rata-rata. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa semakin besar nilai percepatan gerak tanah pada zona yang ditinjau maka nilai *displacement* akibat beban gempa pada zona tersebut cenderung akan mengalami kenaikan. Sedangkan berdasarkan Gambar 5.58 dan Gambar 5.59, dapat diketahui bahwa tidak ada hubungan antara nilai *drift ratio* dengan nilai percepatan gerak tanah, baik percepatan gerak tanah maksimum dan percepatan gerak tanah rata-rata. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa nilai *drift ratio* tidak selaras dengan nilai percepatan gerak tanah. Hal ini menurut analisis peneliti adalah dikarenakan nilai *drift ratio* bukan merupakan nilai atau respon struktur yang langsung didapat saat melakukan analisis struktur tetapi didapatkan dari hasil perbandingan antara displacement dengan tingkat di sekitarnya.

5.7.4 Pengaruh P-delta

Perhitungan pengaruh P-Delta pada setiap lantainya sebenarnya tidak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) yang didapatkan sama dengan atau kurang dari nilai 0,1. Berikut adalah contoh perhitungan pada lantai kubah untuk sumbu x gempa Corinth 1981.

$$\beta = 1$$

$$C_d = 5,5$$

$$I_e = 1,5$$

$$h = 3100 \text{ mm}$$

$$\Delta_x = 72,45 \text{ mm}$$

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$$

$$= \frac{0,5}{1 \times 5,5} \leq 0,25$$

$$= 0,0909$$

$$P = 480,183 \text{ kN}$$

$$V_X = 178,166 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\theta_X &= \frac{P \times \Delta \times I_e}{V_X \times h \times C_d} \\ &= \frac{480,183 \times 72,45 \times 1,5}{178,166 \times 3100 \times 5,5} \\ &= 0,017\end{aligned}$$

Kemudian dilakukan kontrol terhadap koefisien stabilitas struktur

$$\theta_X < \theta_{\max}$$

$$0,017 < 0,0909 \text{ (Aman)}$$

Rekapitulasi perhitungan P-delta pada sumbu x dan sumbu y pada setiap lantai setiap rekaman gempa di masing-masing zona dapat dilihat pada Tabel 5.90 hingga Tabel 5.98, sedangkan grafik koefisien stabilitas pada setiap tingkat setiap rekaman gempa di masing-masing zona dapat dilihat pada Gambar 5.84 hingga Gambar 5.89.

Tabel 5.90 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Corinth 1981 Zona 1

Tingkat	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
5	70,437	67,016	480,183	170,419	157,631	3100,000	0,017	0,018	0,1	0,0909	OK
4	38,496	36,164	3859,163	623,048	655,146	3900,000	0,017	0,015	0,1	0,0909	OK
3	39,816	30,276	16356,919	1532,189	1564,705	4000,000	0,029	0,022	0,1	0,0909	OK
2	52,921	32,780	27759,833	1906,364	2315,596	4000,000	0,053	0,027	0,1	0,0909	OK
1	26,539	16,907	39327,681	2519,195	2785,842	4150,000	0,027	0,016	0,1	0,0909	OK

Tabel 5.91 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 1

Tingkat	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
5	77,147	55,631	480,183	147,312	147,775	3100,000	0,022	0,016	0,1	0,0909	OK
4	45,305	48,037	3859,163	630,428	684,654	3900,000	0,019	0,019	0,1	0,0909	OK
3	47,549	35,204	16356,919	1587,361	1894,411	4000,000	0,033	0,021	0,1	0,0909	OK
2	53,768	35,519	27759,833	2004,233	2516,203	4000,000	0,051	0,027	0,1	0,0909	OK
1	26,055	17,629	39327,681	2541,341	2799,789	4150,000	0,026	0,016	0,1	0,0909	OK

Tabel 5.92 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Iwate 2008 Zona 1

Tingkat	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
5	72,259	62,011	480,183	158,727	188,338	3100,000	0,019	0,014	0,1	0,0909	OK
4	41,899	49,100	3859,163	611,101	776,479	3900,000	0,019	0,017	0,1	0,0909	OK
3	47,887	33,103	16356,919	1593,934	1812,301	4000,000	0,034	0,020	0,1	0,0909	OK
2	57,017	32,923	27759,833	2090,633	2382,977	4000,000	0,052	0,026	0,1	0,0909	OK
1	27,196	17,043	39327,681	2551,989	2873,953	4150,000	0,028	0,015	0,1	0,0909	OK

Tabel 5.93 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Northridge 1994 Zona 2

Tingkat	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
5	74,298	46,369	480,183	196,761	137,706	3100,000	0,016	0,014	0,1	0,0909	OK
4	52,056	46,570	3859,163	739,876	648,401	3900,000	0,019	0,019	0,1	0,0909	OK
3	46,299	30,536	16356,919	1815,314	1736,517	4000,000	0,028	0,020	0,1	0,0909	OK
2	56,144	33,308	27759,833	2040,701	2338,816	4000,000	0,052	0,027	0,1	0,0909	OK
1	27,683	17,197	39327,681	2609,599	2807,602	4150,000	0,027	0,016	0,1	0,0909	OK

Tabel 5.94 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Niigata 2004 Zona 2

Tingkat	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
5	40,902	52,188	480,183	141,249	181,935	3100,000	0,012	0,012	0,1	0,0909	OK
4	51,201	52,114	3859,163	645,356	752,903	3900,000	0,021	0,019	0,1	0,0909	OK
3	55,143	35,633	16356,919	1684,263	1903,412	4000,000	0,037	0,021	0,1	0,0909	OK
2	61,446	36,593	27759,833	2267,598	2570,195	4000,000	0,051	0,027	0,1	0,0909	OK
1	28,516	18,000	39327,681	2576,525	2915,798	4150,000	0,029	0,016	0,1	0,0909	OK

Tabel 5.95 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 2

Tingkat	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
5	66,840	71,577	480,183	166,748	150,728	3100,000	0,017	0,020	0,1	0,0909	OK
4	47,311	47,252	3859,163	656,382	722,989	3900,000	0,019	0,018	0,1	0,0909	OK
3	51,880	28,497	16356,919	1576,701	1778,601	4000,000	0,037	0,018	0,1	0,0909	OK
2	58,630	32,589	27759,833	2181,731	2271,509	4000,000	0,051	0,027	0,1	0,0909	OK
1	27,951	17,112	39327,681	2606,586	2770,026	4150,000	0,028	0,016	0,1	0,0909	OK

Tabel 5.96 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Imperial Valley 1979 Zona 3

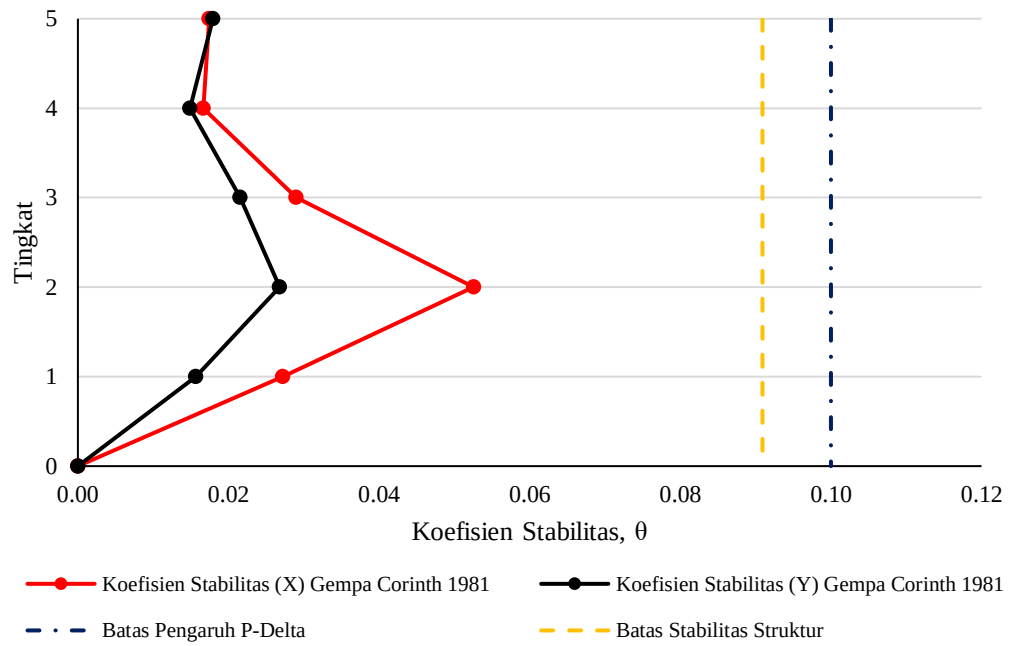
Tingkat	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
5	71,911	75,244	480,183	209,793	202,847	3100,000	0,014	0,016	0,1	0,0909	OK
4	68,145	63,177	3859,163	780,399	842,108	3900,000	0,024	0,020	0,1	0,0909	OK
3	69,509	39,835	16356,919	2168,821	2124,948	4000,000	0,036	0,021	0,1	0,0909	OK
2	75,948	41,752	27759,833	2817,831	2952,882	4000,000	0,051	0,027	0,1	0,0909	OK
1	34,852	21,072	39327,681	3178,053	3416,739	4150,000	0,028	0,016	0,1	0,0909	OK

Tabel 5.97 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Tottori 2000 Zona 3

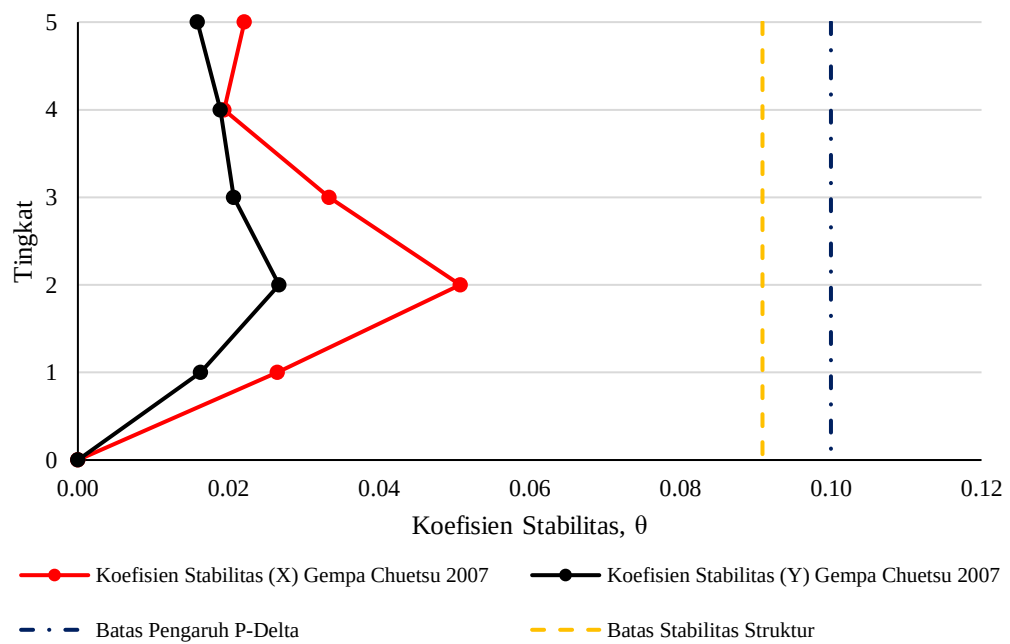
Tingkat	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
5	85,991	91,571	480,183	211,946	318,415	3100,000	0,017	0,012	0,1	0,0909	OK
4	62,520	78,870	3859,163	764,782	1641,141	3900,000	0,022	0,013	0,1	0,0909	OK
3	68,963	50,215	16356,919	2068,572	3286,726	4000,000	0,037	0,017	0,1	0,0909	OK
2	75,038	45,921	27759,833	2794,771	3345,581	4000,000	0,051	0,026	0,1	0,0909	OK
1	34,401	21,864	39327,681	3164,025	3451,469	4150,000	0,028	0,016	0,1	0,0909	OK

Tabel 5.98 Perhitungan Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Iwate 2008 Zona 3

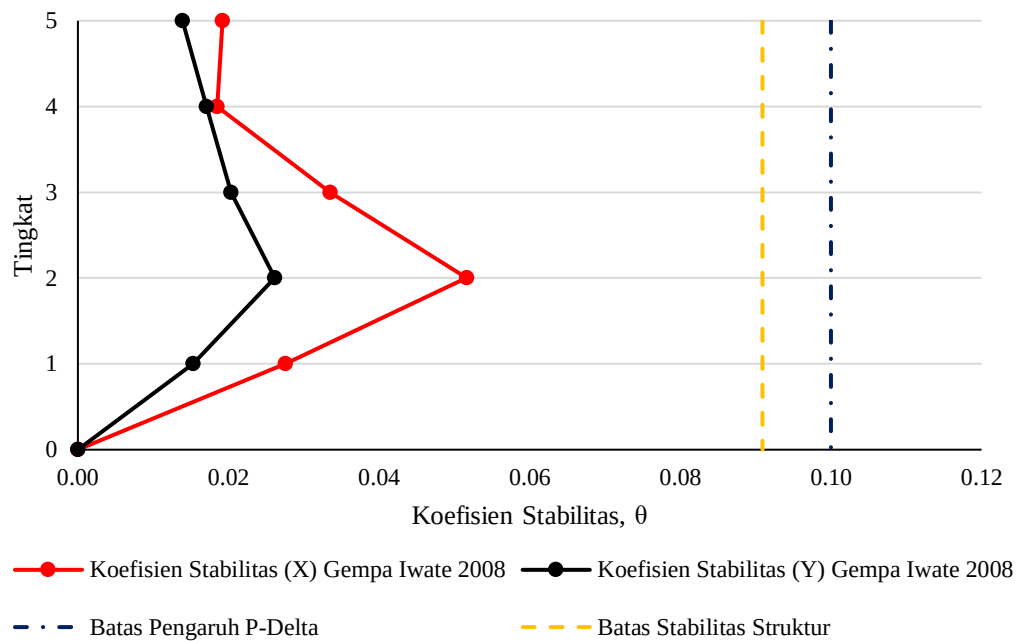
Tingkat	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
5	83,651	64,900	480,183	255,513	191,882	3100,000	0,014	0,014	0,1	0,0909	OK
4	87,377	61,798	3859,163	927,725	793,721	3900,000	0,025	0,021	0,1	0,0909	OK
3	76,908	41,609	16356,919	2555,468	2224,502	4000,000	0,034	0,021	0,1	0,0909	OK
2	78,038	43,894	27759,833	2969,337	3067,081	4000,000	0,050	0,027	0,1	0,0909	OK
1	34,936	21,582	39327,681	3173,974	3440,096	4150,000	0,028	0,016	0,1	0,0909	OK



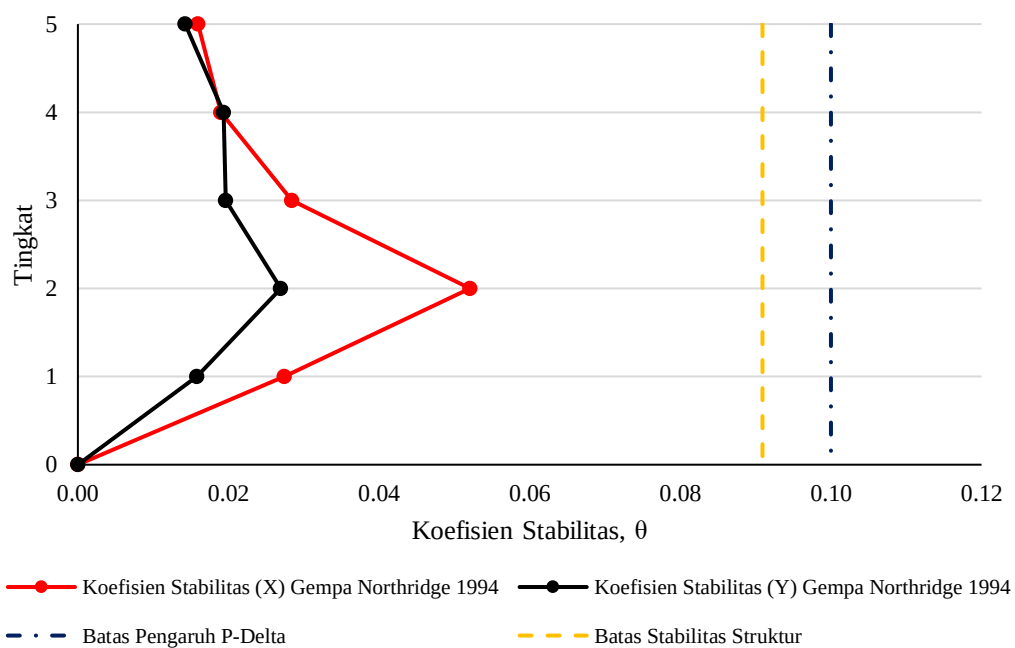
Gambar 5.84 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Corinth 1981 Zona 1



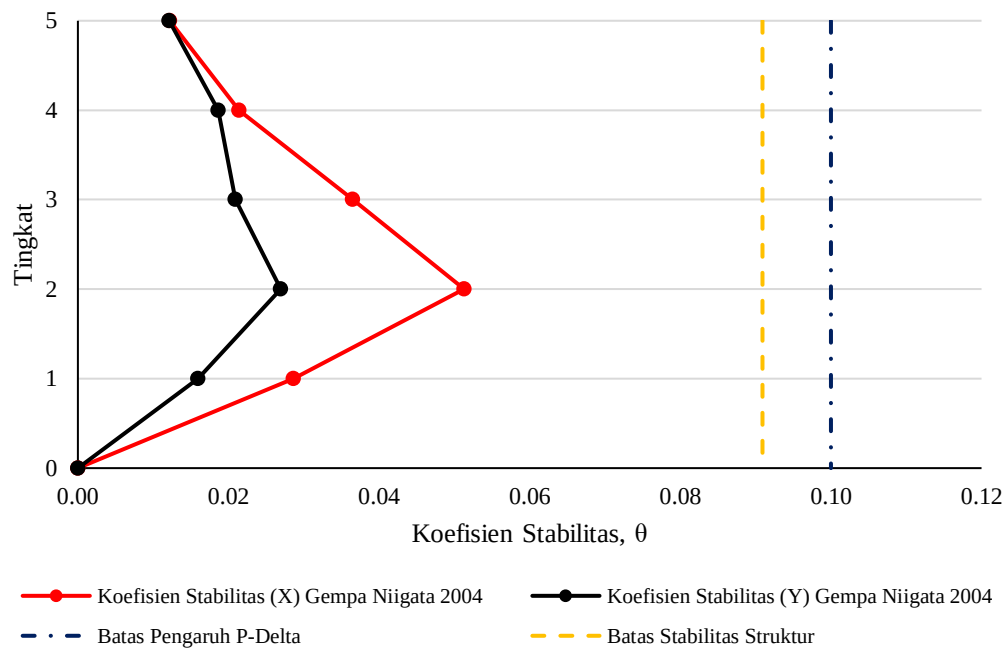
Gambar 5.85 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Chuetsu 2007 Zona 1



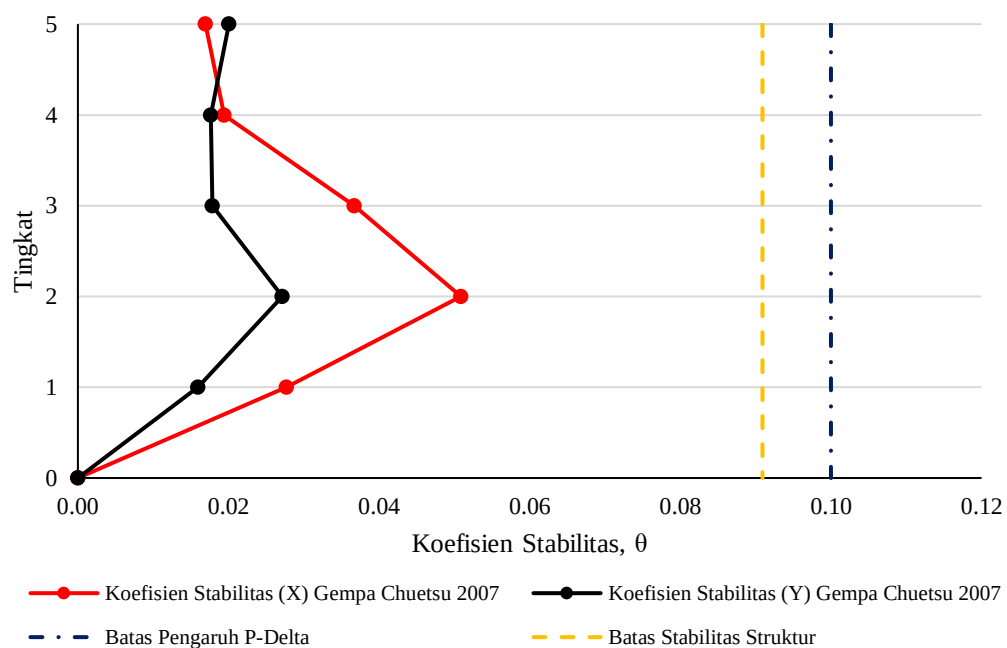
Gambar 5.86 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Iwate 2008 Zona 1



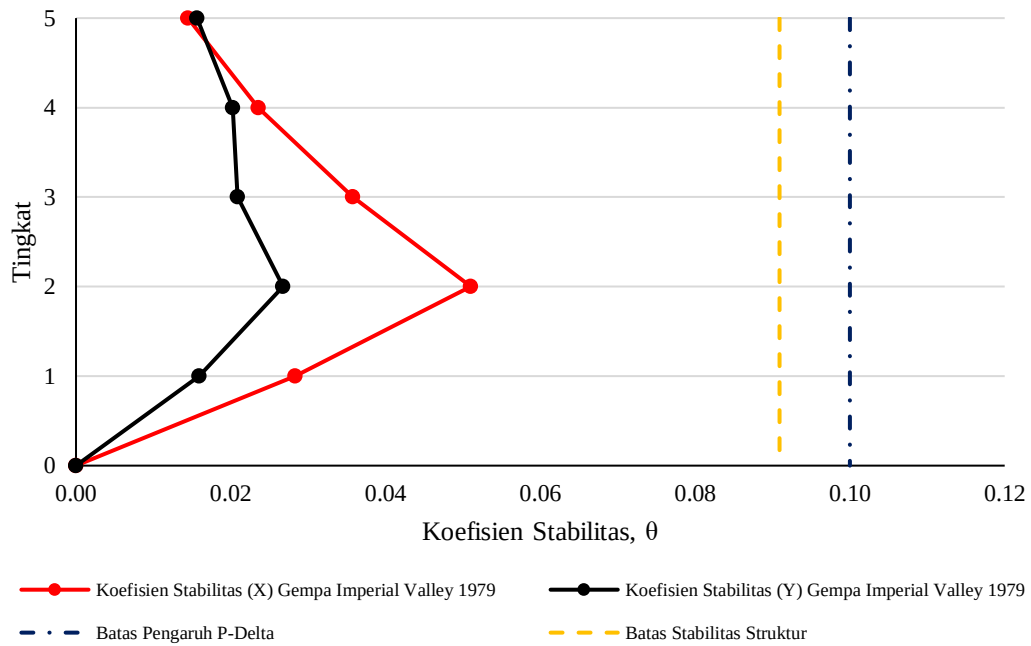
Gambar 5.87 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Northridge 1994 Zona 2



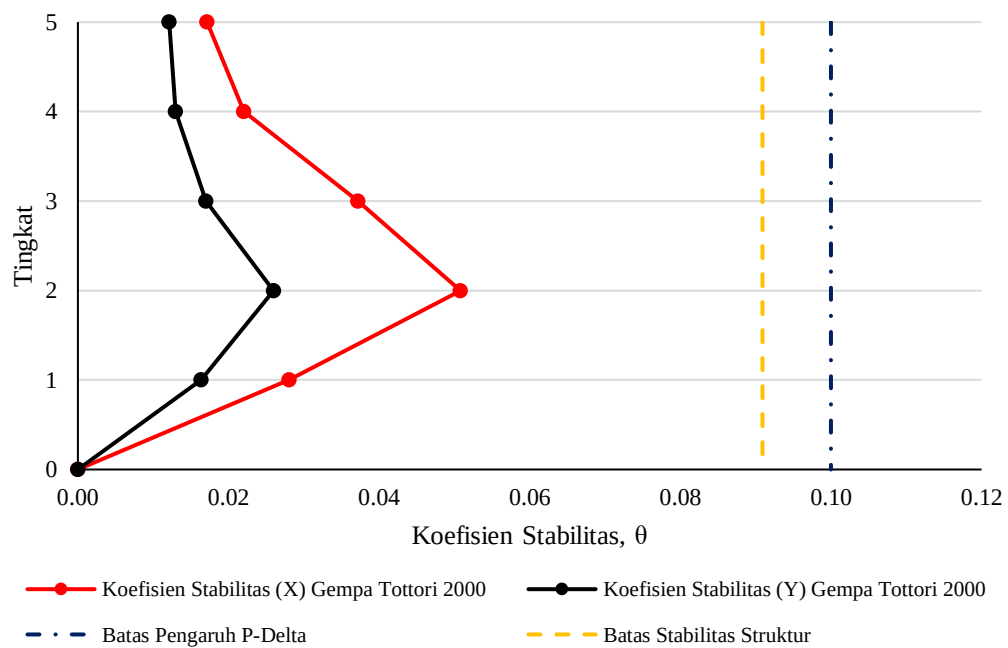
**Gambar 5.88 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Niigata 2004
Zona 2**



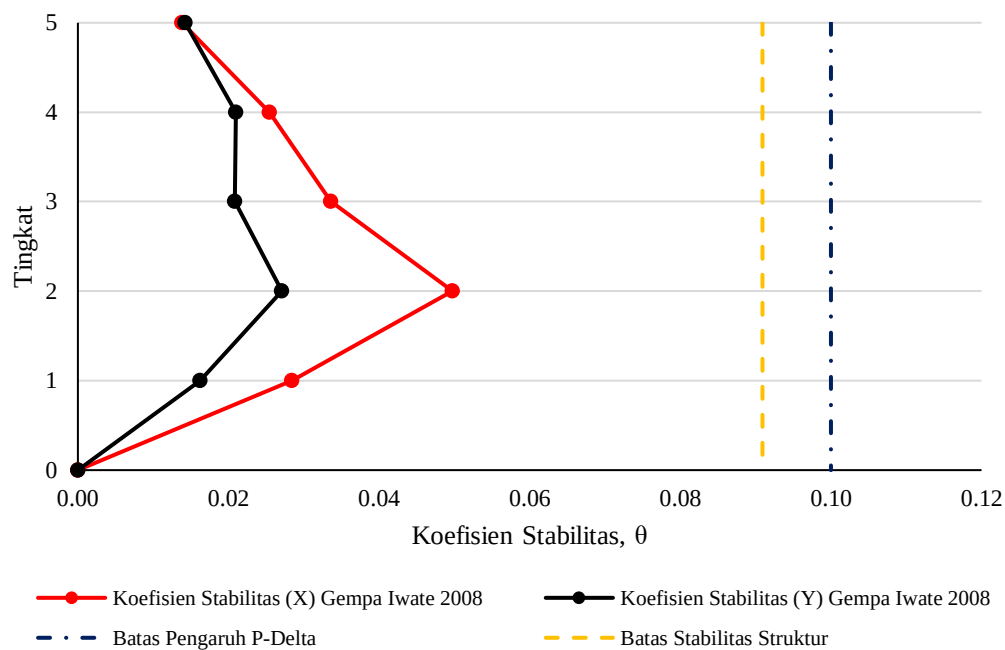
**Gambar 5.89 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Chuetsu 2007
Zona 2**



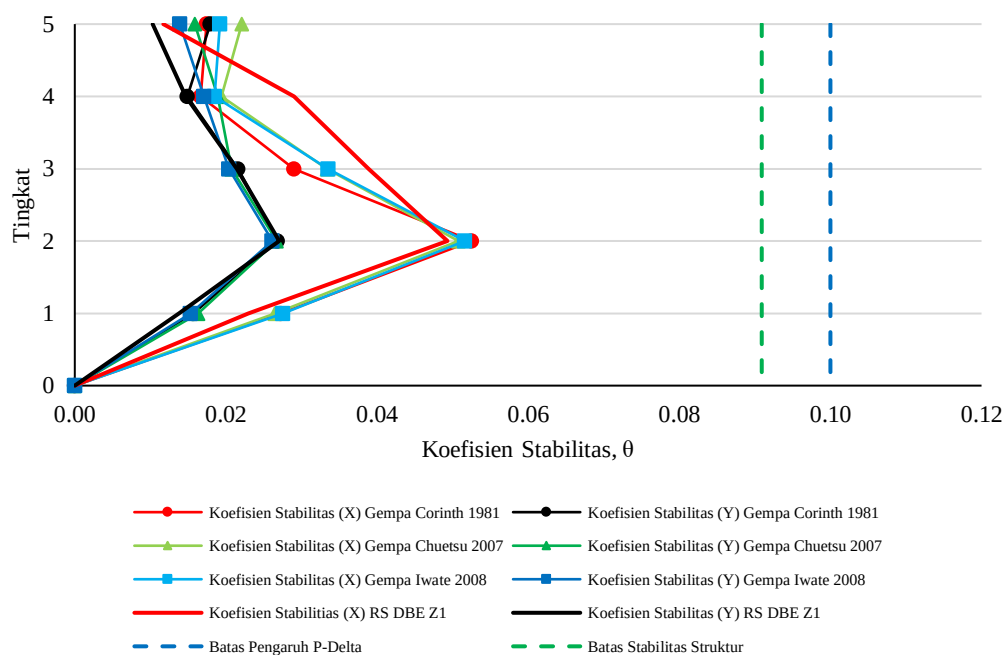
Gambar 5.90 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Imperial Valley 1979 Zona 3



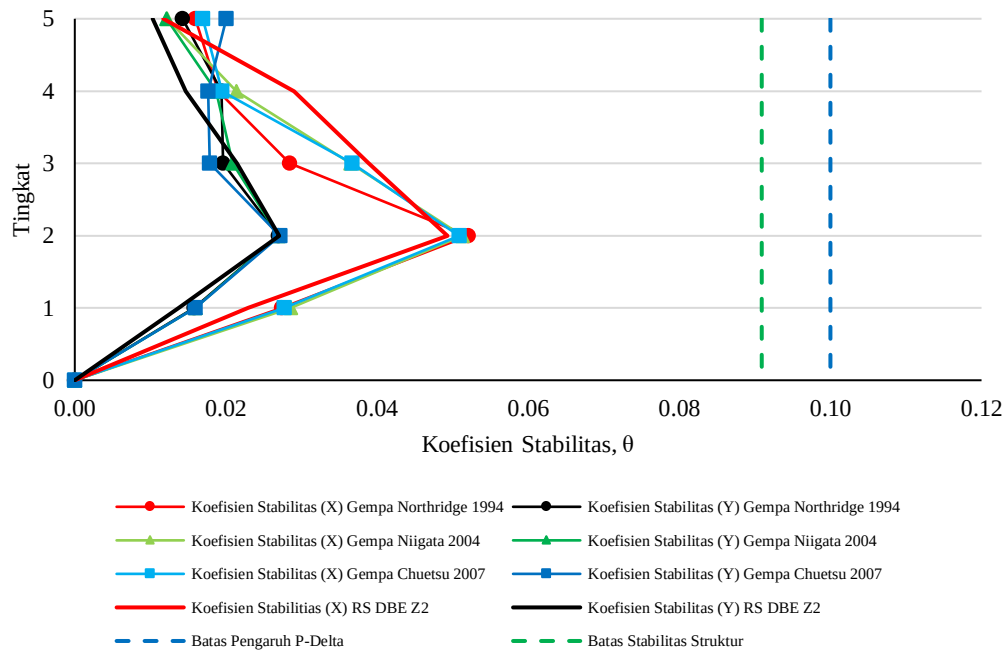
Gambar 5.91 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Tottori 2000 Zona 3



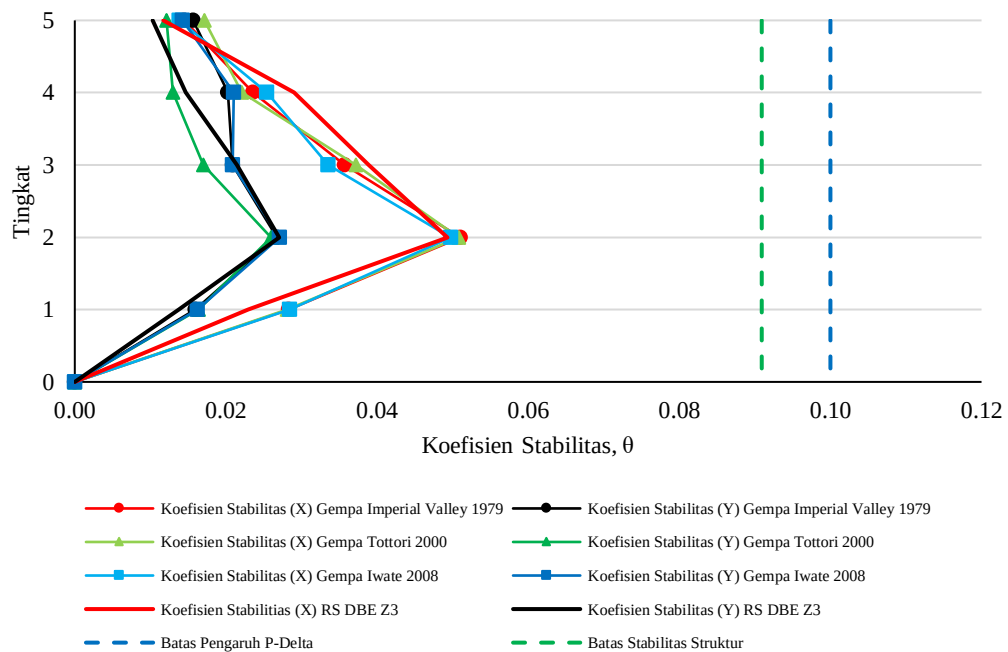
Gambar 5.92 Grafik Koefisien Stabilitas Gaya akibat Gempa Iwate 2008 Zona 3



Gambar 5.93 Grafik Komparasi Koefisien Stabilitas Gaya Zona 1



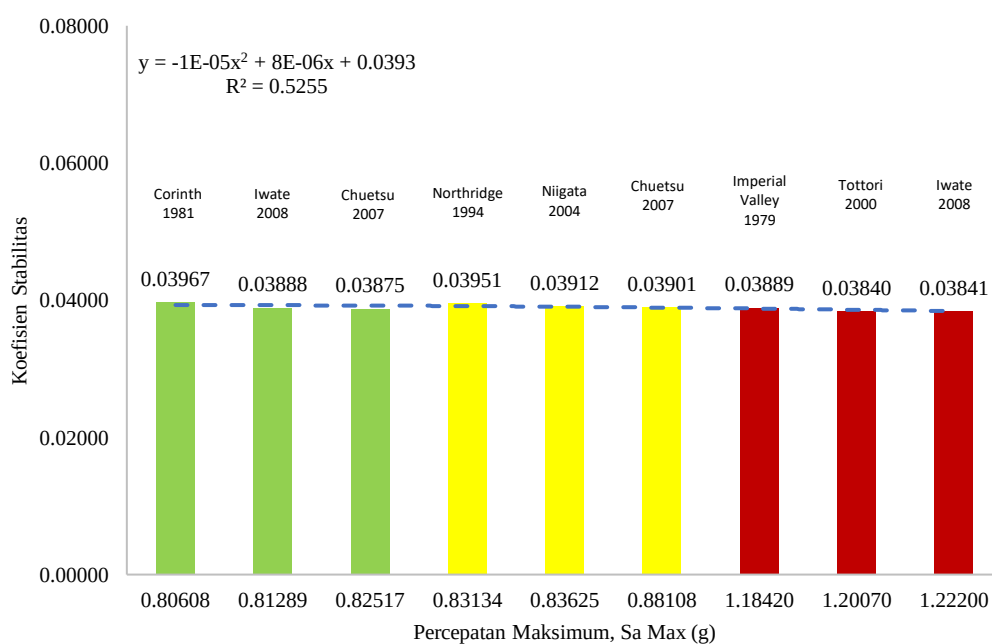
Gambar 5.94 Grafik Komparasi Koefisien Stabilitas Gaya Zona 2



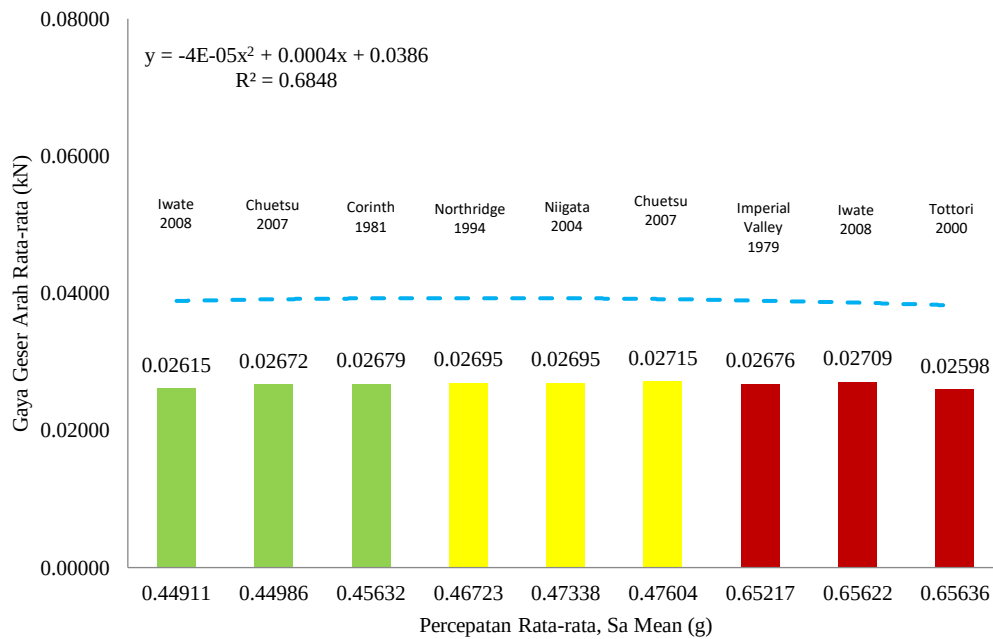
Gambar 5.95 Grafik Komparasi Koefisien Stabilitas Gaya Zona 3

Berdasarkan tabel dan gambar analisis pengaruh P-Delta yang telah dilakukan di atas menggunakan metode riwayat waktu diperoleh pengaruh P-Delta pada ketiga zonasi tidak perlu diperhitungkan karena semua hasil perhitungan dari masing-masing rekaman gempa yang dibebankan kepada gedung tidak menyebabkan koefisien stabilitas struktur melebihi nilai 0,1. Hasil analisis riwayat waktu pada ketiga zona menunjukkan perhitungan pengaruh P-Delta pada masing-masing zonasi memiliki hasil yang identik. Hasil penelitian menunjukkan nilai koefisien stabilitas terbesar terjadi pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu sebesar 0,05254, kemudian pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu sebesar 0,05207, dan nilai koefisien stabilitas terkecil terjadi pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) yaitu sebesar 0,05101.

Selanjutnya hasil antara nilai koefisien stabilitas hasil analisis dengan nilai percepatan gerak tanah maksimum dan percepatan gerak tanah rata-rata pada masing-masing zona hubungannya dapat dilihat pada Gambar 5.60 dan Gambar 5.61.



Gambar 5.96 Hubungan Nilai Koefisien Stabilitas Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Maksimum pada setiap Zona



Gambar 5.97 Hubungan Nilai Koefisien Stabilitas Rata-rata dengan Percepatan Gerak Tanah Rata-rata pada setiap Zona

Berdasarkan Gambar 5.60 dan Gambar 5.61, dapat diketahui bahwa tidak ada hubungan antara nilai koefisien stabilitas dengan nilai percepatan gerak tanah, baik percepatan gerak tanah maksimum dan percepatan gerak tanah rata-rata. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa nilai drift ratio tidak selaras dengan nilai percepatan gerak tanah.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis struktur bangunan gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran UII terhadap beban seismik metode riwayat waktu (*time history*) maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Perbandingan respon struktur berdasarkan nilai *base shear* pada setiap zonasi kerawanan gempa bumi berdasarkan nilai *base shear* maksimum dan nilai *base shear* rata-rata adalah sebagai berikut.

- a. Nilai *Base Shear* Maksimum

Nilai *base shear* Maksimum terbesar adalah akibat beban gempa yang terdapat pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) yaitu akibat gempa Imperial Valley 1979 (Y) sebesar 3147,99 kN, kemudian beban gempa yang terdapat pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu akibat gempa Niigata 2004 (Y) sebesar 2898,104 kN, dan *base shear* maksimum yang terkecil adalah beban gempa yang terdapat pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu akibat gempa Iwate 2008 (Y) sebesar 2893,85 kN.

- b. Nilai *Base Shear* Rata-rata

Nilai *Base Shear* Rata-rata terbesar adalah akibat beban gempa yang terdapat pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) sebesar 3297,636 kN, kemudian beban gempa yang terdapat pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu sebesar 2706,594 kN, dan yang terkecil adalah beban gempa yang terdapat pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu sebesar 2686,116 kN.

2. Perbandingan respon struktur berdasarkan nilai *displacement* dan *drift ratio* pada setiap zonasi kerawanan gempa bumi berdasarkan nilai *displacement*

dan *drift ratio* serta berdasarkan nilai *displacement* rata-rata maksimum dan nilai *drift ratio* rata-rata adalah sebagai berikut.

- a. Nilai *displacement* maksimum terbesar terjadi pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) yaitu sebesar 98,430 mm pada arah x akibat gempa Iwate 2008, kemudian pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu sebesar 69,949 mm pada arah x akibat gempa Northridge 1994 dan *displacement* maksimum terkecil terjadi pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu sebesar 68,134 mm pada arah x akibat gempa Chuetsu 2007. Sedangkan untuk nilai *drift ratio* maksimum terbesar terjadi pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) yaitu sebesar 2,954 % pada arah y akibat gempa Tottori 2000, kemudian pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu sebesar 2,489 % pada arah x akibat gempa Chuetsu 2007 dan *drift ratio* maksimum terkecil terjadi pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu sebesar 2,397 % pada arah x akibat gempa Northridge 1994.
- b. Nilai *displacement* rata-rata terbesar terjadi pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) yaitu sebesar 42,219 mm, kemudian pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu sebesar 31,693 mm dan *displacement* rata-rata terkecil terjadi pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu sebesar 30,369 mm. Sedangkan nilai *drift ratio* terbesar terjadi pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) yaitu sebesar 1,595 %, kemudian pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu sebesar 1,181 % mm dan *drift ratio* rata-rata terkecil terjadi pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu sebesar 1,177 %.
- c. Berdasarkan hasil analisis di atas juga diperoleh bahwa pada setiap zona nilai *drift ratio* melebihi nilai *drift ratio limit* yang ditentukan yaitu sebesar 0,769 %. Nilai *drift ratio* yang melebihi nilai *drift ratio limit* rata-rata terjadi pada tingkat kedua pada masing-masing zona kecuali zona 3 yang sudah terdapat nilai yang melebihi batas mulai dari tingkat pertama.

3. Perbandingan respon struktur berdasarkan nilai pengaruh P-Delta pada setiap zonasi kerawanan gempa bumi memiliki hasil yang identik dan pada ketiga zonasi tersebut tidak ada zona yang perlu memperhitungkan pengaruh P-Delta. Hasil penelitian menunjukkan nilai koefisien stabilitas terbesar terjadi pada Zona 1 (Zona Kerawanan Sangat Rendah) yaitu sebesar 0,05254, kemudian pada Zona 2 (Zona Kerawanan Menengah) yaitu sebesar 0,05207, dan nilai koefisien stabilitas terkecil terjadi pada Zona 3 (Zona Kerawanan Sangat Tinggi) yaitu sebesar 0,05101.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis dapat memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Menggunakan bangunan bertingkat yang memiliki tingkat lebih banyak.
2. Menggunakan bangunan yang memiliki ketidakberaturan horizontal maupun ketidakberaturan vertikal.
3. Pada saat memilih rekaman gerak tanah disarankan untuk memperhitungkan *scale factor* rekaman gempa yang akan dipilih dalam proses pemilihannya.
4. Menggunakan variasi rekaman gempa yang sama agar dapat terlihat jelas perbandingan diantara ketiga zona kerawanan gempa bumi
5. Menggunakan bantuan software yang khusus diperuntukkan untuk melakukan pencocokan spektral untuk mendapatkan spektrum respons hasil pencocokan spektral yang dapat mencocokkan rekaman gerak tanah dalam jumlah banyak sekaligus.
6. Menggunakan metode dinamik non-linear pada penelitian selanjutnya dengan minimal 11 rekaman gempa yang dilibatkan dalam proses analisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrianto, H. R., 2007. *Analisis Struktur Gedung ETABS v.9.0.7*. PT Elex Media Komputindo. Jakarta
- Anggraeni, R., Alhuseiny, M. S. & Asniar, N., 2020. Analisis Struktur Tahan Gempa Hotel Santika Tasikmalaya Dengan Metode Analisis Statik Dan Dinamik Time History. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1(Vol 1. No. 1: Desember 2020), pp. 32-42.
- Arisyi, A., Afifuddin, M. & Putra, R., 2023. Evaluasi Perilaku Gedung Ikatan Alumni Universitas Syiah Kuala dengan Time History Analysis. *Journal of The Civil Engineering Student*, Volume 5, pp. 71-77.
- American Society of Civil Engineers, 2017. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures
- Baker, J. W. et al., 2015. Updated Ground Motion Spectral Matching Requirements in the 2015 NEHRP Recommended Seismic Provisions. 6th International Conference of Earthquake Geotechnical Engineering. Christchurch, New Zealand. 1-4 November 2015.
- Bernhardsen, T., 2002. *Geographic Information Systems : An Introduction*. 3th ed. John Wiley & Sons. Canada
- Boers, B. d. J. 1995. Mount Tambora in 1815: A Volcanic Eruption in Indonesia and Its Aftermath. 37–60. (<https://doi.org/10.2307/3351140> Diakses 14 Februari 2024)
- Badan Standardisasi Nasional, 2019. SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (*ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD*). Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional, 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional, 2020. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta
- Daulay, M. S., 2020. *Mengenal hardware-Software dan Pengelolaan Instalasi Komputer*. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Elnashai, A. S., Kim, S. J., Yun, G. J. & Sidarta, D., 2007. The Yogyakarta Earthquake of May 27, 2006. *Mid-America Earthquake Center*.
- Elnashai, A. S. & Sarno, L. D., 2015. *Fundamentals of Earthquake Engineering*. 2nd ed. John Wiley & Sons. Chichester

- Handoyo, I. N., Afifuddin, M. & Putra, R., 2019. Evaluasi Kinerja Gedung 20 Lantai dengan Variasi Dinding Geser Berdasarkan Analisis Time History Gempa. *Journal of The Civil Engineering Student*, Volume 1, pp. 83 - 90.
- Kiswiranti, D., 2019. *SEISMOLOGI (Dasar-dasar Seismologi dan Aplikasinya)*. Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta. Yogyakarta
- Muntafi, Y., Nojima, N. & Ikramullah, I., 2023. *Study of Ground Motion Models Selection to the Concrete Frame Building damage Probability using the 2006 Yogyakarta Earthquake Scenario*. IOP Conference Series, 3(Earth and Enviromental Science), p. 3. Natawidjaja, D. H., 2016. Misteri patahan sumber gempa Yogya 2006 (Mystery of earthquake fault of the Yogya 2006 event). *GEOMAGZ* 6.
- Natawidjaja, D. H., 2016. Misteri patahan sumber gempa Yogya 2006 (Mystery of earthquake fault of the Yogya 2006 event). *GEOMAGZ* 6.
- Okamoto, S., 1973. *Introduction to Earthquake Engineering*. University of Tokyo Press. Tokyo
- Pawirodikromo, W., 2012. *Seismogi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Edisi Pertama. Pustaka Pelajar. Yogyakarta
- Pujianto, 2007. *Bahan Kuliah Perencanaan Struktur Tahan Gempa*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UMY. Yogyakarta
- Pusat Studi Gempa Nasional, 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta
- Pusat Studi Gempa Nasional, 2022. *Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia Untuk Perencanaan Dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa*. Jakarta
- Putrawan, D. K., 2019. *e-Modul Pengetahuan Dasar Peta*. Direktorat Pembinaan SMA - Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta
- Suprayitno, H. & Soemitro, R. A. A., 2019. Pemikiran Awal tentang Prinsip Tindakan Mitigasi Preventif Resiko Bencana Alam bagi Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, Volume 3.
- Tirtosugondo, T. F. et al., 2022. Pengaruh Penggunaan High Damper Rubber Bearing Pada Gedung Bertingkat Ditinjau Terhadap Level Kinerja Struktur Dengan Metode Analisis Time History (Studi Kasus : Pembangunan Gedung Hotel). *G-SMART Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijapranata Semarang*, Volume 6.
- Tjokrodinuljo, K., 1993. *Teknik Gempa*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

- Walter, T. et al., 2008. The 26 May 2006 Magnitude 6.4 Yogyakarta Earthquake South of Merapi volcano.
- Wibowo, N. B. & Huda, I., 2020. Analisis Amplifikasi, Indeks Kerentanan Seismik dan Klasifikasi Tanah Berdasarkan Distribusi Vs30 D.I.YOGYAKARTA. *Buletin Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*, Volume 1, pp. 21-31.
- Wiegel, R. L. & Bolt, B. A., 1970. *Earthquake Engineering*. s.l.:s.n.
- Wijayanto, et al., 2022. *Characteristic and Spatial Distribution of Vs30 Based on Microtremor Inversion and MASW Data Through Landform Unit in Yogyakarta, Indonesia. Journal of Hunan University Natural Sciences*.
- Wisner, B., Cannon, T., Blaikie, P. & Davis, I., 2003. *At Risk : Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. 2nd ed. Routledge. London

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Keterangan 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: 2448860277/Perpus./10/Dir.Perpus/IX/2024

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Assalamualaikum Wr. Wb.

Dengan ini, menerangkan Bahwa:

Nama : Muhamad Fajri Nurul Hakim
Nomor Mahasiswa : 20511026
Pembimbing : Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM.
Fakultas / Prodi : Teknik Sipil dan Perencanaan/ Teknik Sipil
Judul Karya Ilmiah : PENGARUH VARIASI ZONASI KERAWANAN GEMPA BUMI
TERHADAP PERILAKU SEISMIS STRUKTUR BANGUNAN
TAHAN GEMPA DI YOGYAKARTA

Karya ilmiah yang bersangkutan di atas telah melalui proses cek plagiasi menggunakan **Turnitin** dengan hasil kemiripan (*similarity*) sebesar **8 (Delapan) %**.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

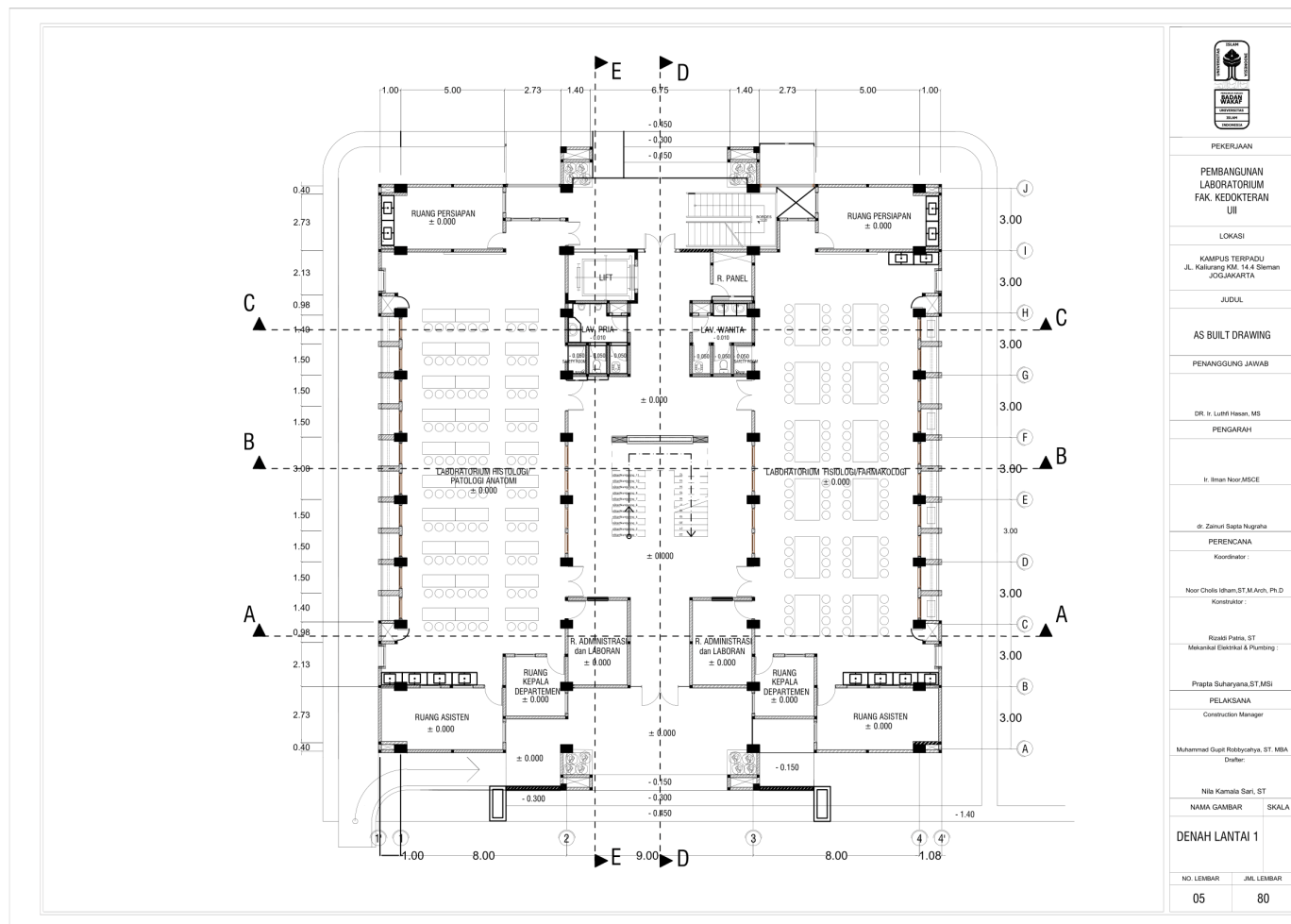
Yogyakarta, 9/9/2024

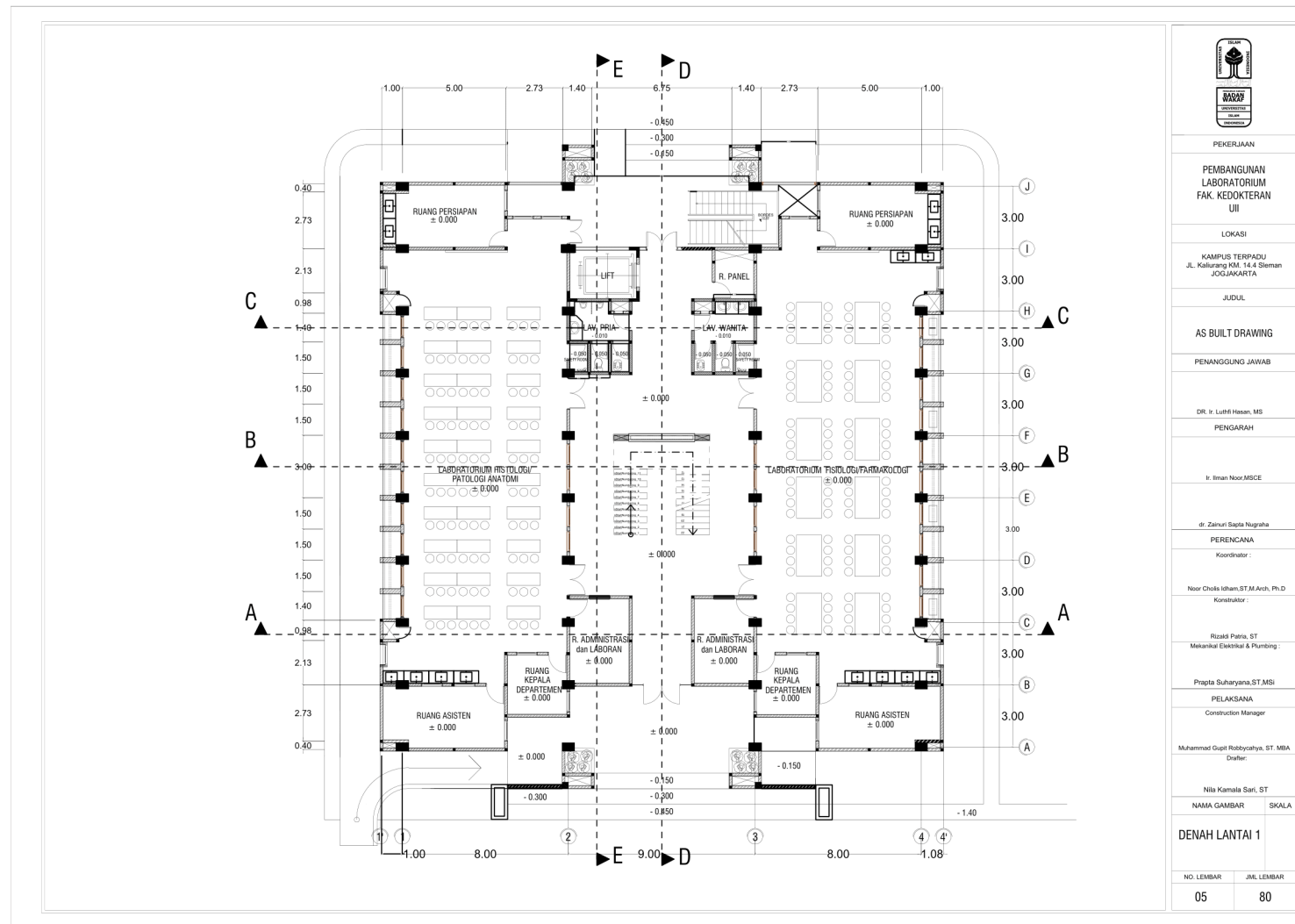
Direktur

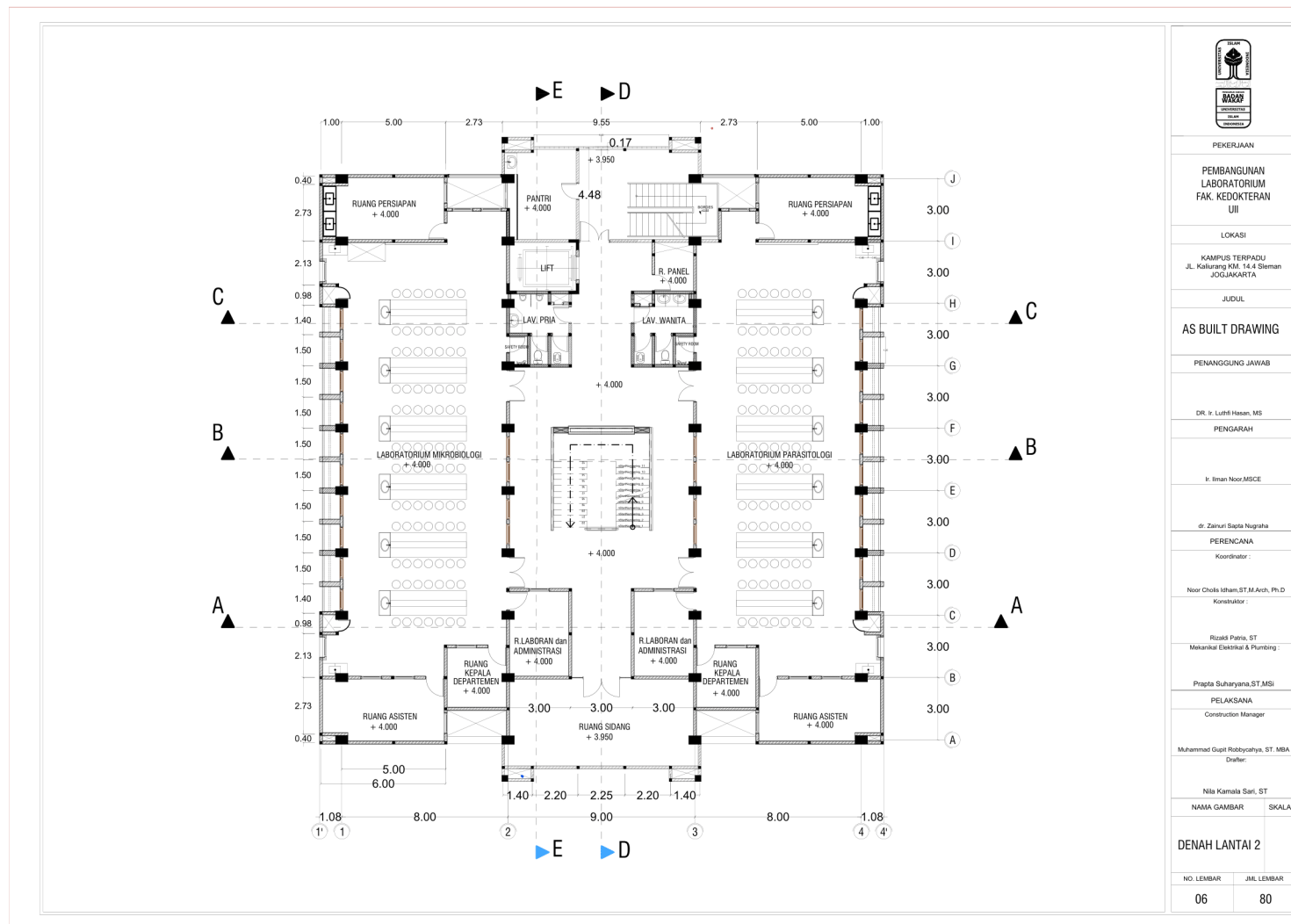


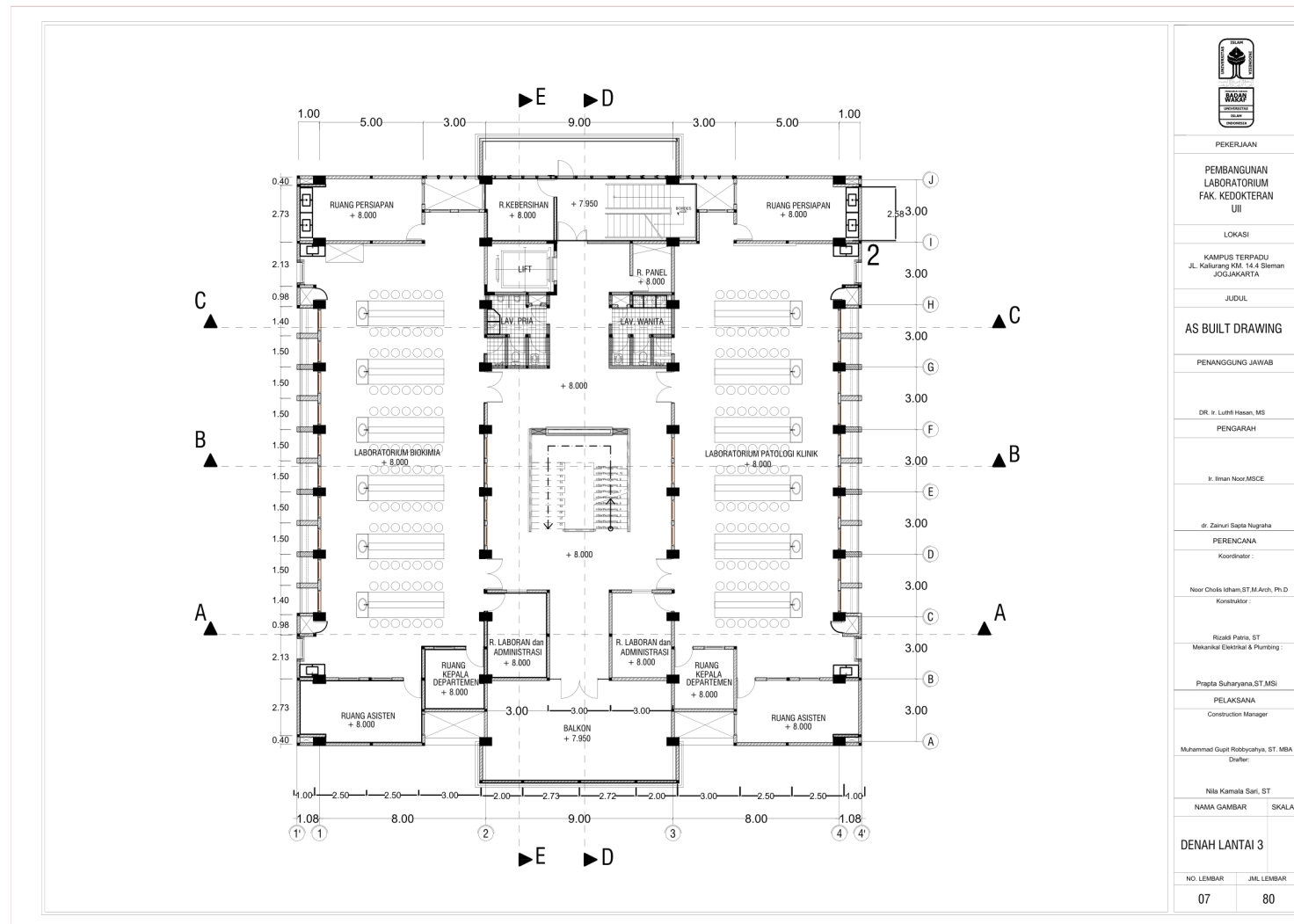
Muhammad Jamil, SIP.

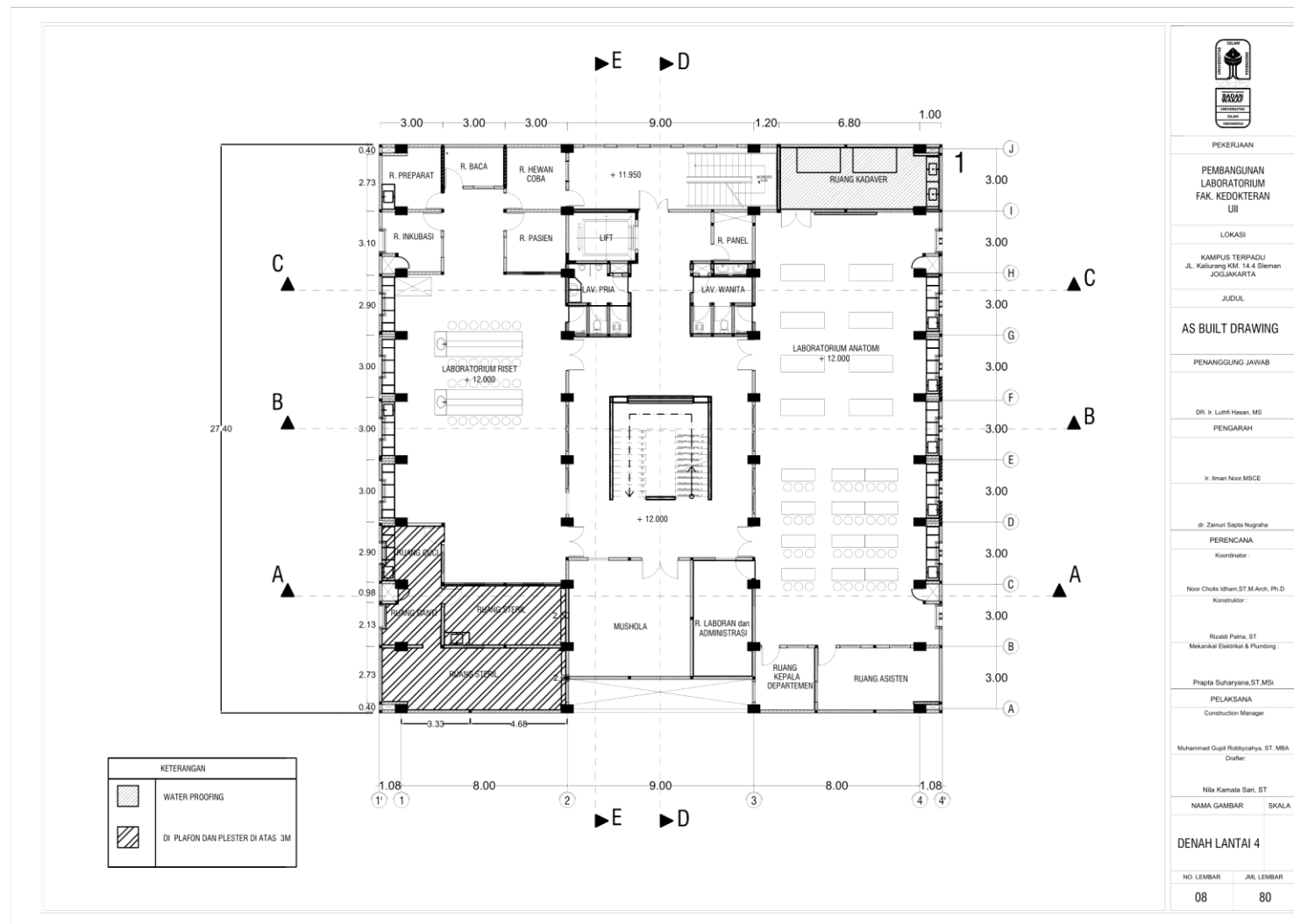
Lampiran 2 Gambar *As Built Drawing* Gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia

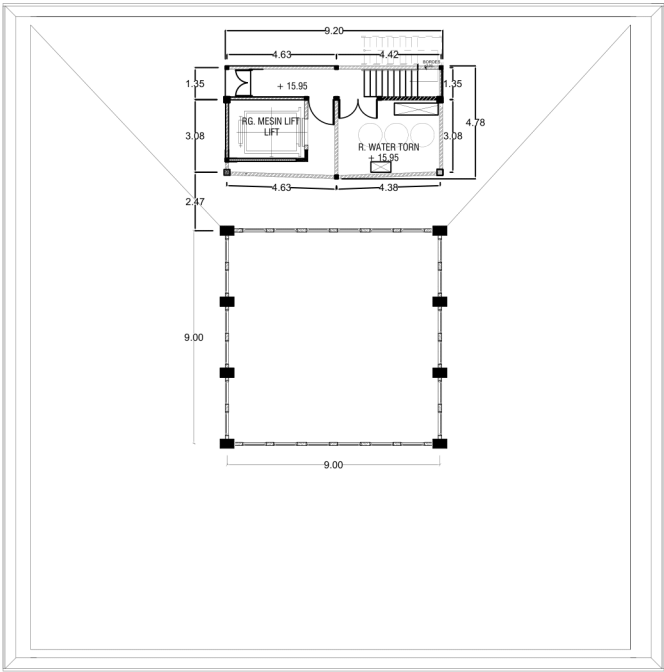




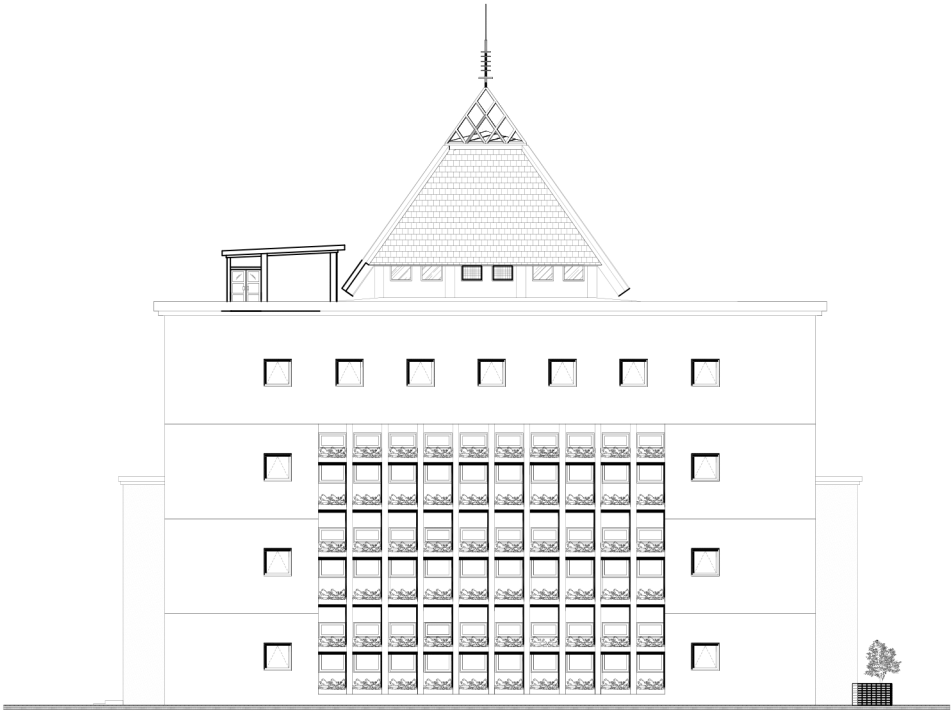




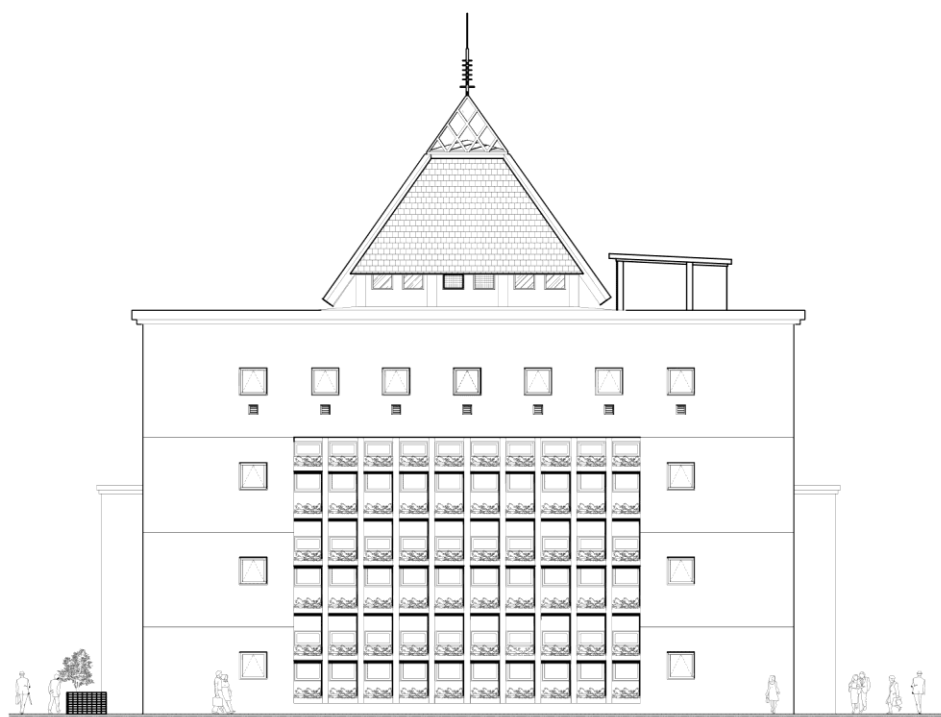




 	
PEKERJAAN	
PEMBANGUNAN LABORATORIUM FAK. KEDOKTERAN UII	
LOKASI	
KAMPUS TERPADU Jl. Kullurang XXI, 14-4 Slemman JOGJAKARTA	
JUDUL	
AS BUILT DRAWING	
PENANGGUNG JAWAB	
DR. Ir. Luthi Hasan, MS	
PENGARAH	
Ir. Brian Noor MSCE	
dr. Zahnuh Saipha Nugraha	
PERENCANA	
Koordinator :	
Noor Chala Itham, ST, M. Arch, Ph.D	
Konstruktor :	
Rizaki Patria, ST	
Mekanikal Elektrikal & Plumbing :	
Pragita Suharyana, ST, MSI	
PELAKSANA	
Construction Manager	
Muhammad Gupti Robbycahya, ST, MBA	
Drafter:	
Nila Kamala Sari, ST	
NAMA GAMBAR	SKALA
DENAH LANTAI ATAP	
NO. LEMBAR	JML. LEMBAR
09	80



 	
PEKERJAAN	
PEMBANGUNAN LABORATORIUM FAK. KEDOKTERAN UII	
LOKASI	
KAMPUS TERPADU Jl. Kallurang KM. 14.4 Sleman JOGJAKARTA	
JUDUL	
AS BUILT DRAWING	
PENANGGUNG JAWAB	
DR. Ir. Luthi Hasan, MS	
PENGARAH	
Ir. Iman Noor, MSCE	
dr. Zahrul Ekapta Nugraha	
PERENCANA	
Koordinator :	
Noor Chala Itham, ST, M. Arch, Ph.D	
Konstruktor :	
Rizaki Patria, ST	
Mekanikal Elektrikal & Plumbing :	
Pragita Suharyana, ST, MSi	
PELAKSANA	
Construction Manager	
Muhammad Gupit Robbycahya, ST, MBA	
Drafter:	
Nila Kamala Sari, ST	
NAMA GAMBAR	SKALA
TAMPAK UTARA	
NO. LEMBAR	JML LEMBAR
10	80



PEKERJAAN

**PEMBANGUNAN
LABORATORIUM
FAK. KEDOKTERAN
UII**

LOKASI

KAMPUS TERPADU
Jl. Kallurang KM. 14.4 Sleman
JOGJAKARTA

JUDUL

AS BUILT DRAWING

PENANGGUNG JAWAB

DR. Ir. Luthi Hasan, MS

PENGARAH

Ir. Iman Noor MSCE

dr. Zainuri Sapta Nugraha

PERENCANA

Koordinator :

Noor Chula Ihsani, ST, M.Arch, Ph.D
Konstruktor :

Rizati Patis, ST
Mekanikal Elektrikal & Plumbing :

Pragita Suharyana, ST, MSi

PELAKSANA

Construction Manager

Muhammad Gusni Robbyrahya, ST, MBA
Drafter:

Nita Kamala Sari, ST

NAMA GAMBAR

SKALA

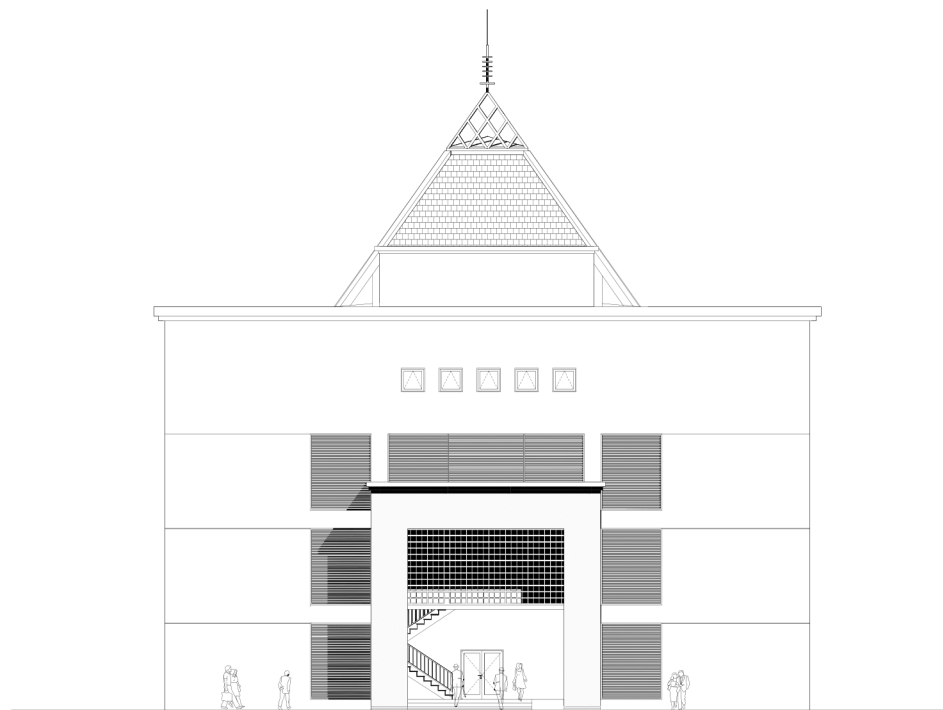
**TAMPAK
SELATAN**

NO. LEMBAR

JML. LEMBAR

11

80



PEKERJAAN

**PEMBANGUNAN
LABORATORIUM
FAK. KEDOKTERAN
UII**

LOKASI

KAMPUS TERPADU
Jl. Kallurang KM. 14.4 Sleman
JOGJAKARTA

JUDUL

AS BUILT DRAWING

PENANGGUNG JAWAB

DR. Ir. Luthi Hasan, MS

PENGARAH

Ir. Brian Noor MSCE

dr. Zahrul Ekapta Nugraha

PERENCANA

Koordinator :

Noor Chala Itham, ST, M. Arch, Ph.D

Konstruktor :

Rizaki Patria, ST
Mekanikal Elektrikal & Plumbing :

Pragita Suharyana, ST, MSi

PELAKSANA

Construction Manager

Muhammad Gupri Robbycahya, ST, MBA
Drafter:

Nila Kamala Sari, ST

NAMA GAMBAR

SKALA

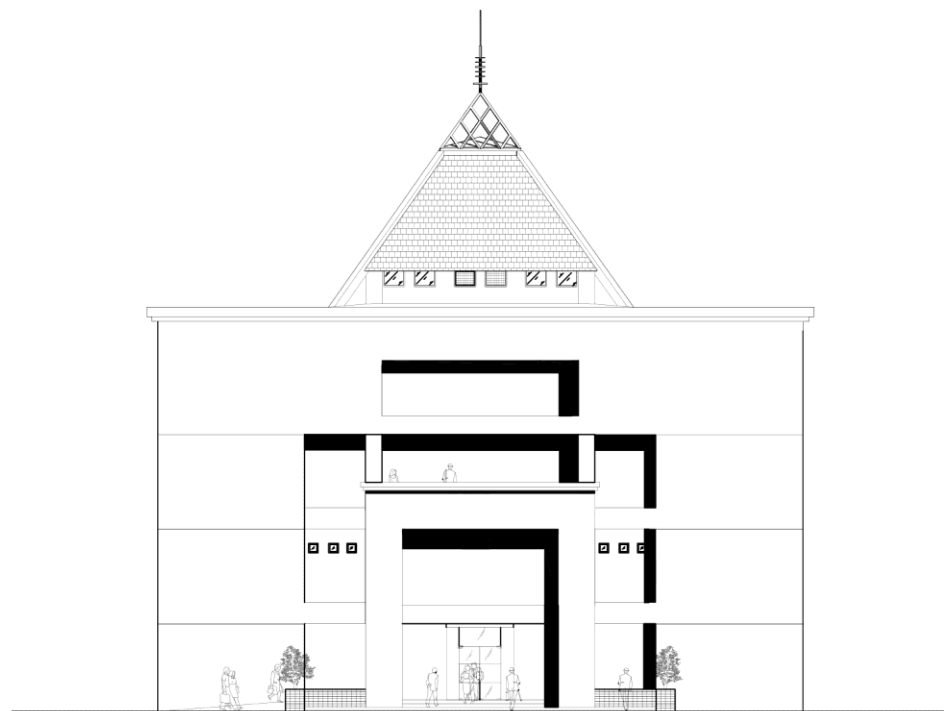
**TAMPAK
TIMUR**

NO. LEMBAR

JML LEMBAR

12

80



PEKERJAAN

**PEMBANGUNAN
LABORATORIUM
FAK. KEDOKTERAN
UII**

LOKASI

KAMPUS TERPADU
Jl. Kallurang KM. 14.4 Sieman
JOGJAKARTA

JUDUL

AS BUILT DRAWING

PENANGGUNG JAWAB

DR. Ir. Luthi Hasan, MS

PENGARAH

Ir. Iman Noor MSCE

dr. Zainuri Septa Nugraha

PERENCANA

Koordinator :

Noor Chala Ihsani, ST, M.Arch, Ph.D
Konstruktor :

Rizati Patis, ST
Mekanikal Elektrikal & Plumbing :

Pragita Suharyana, ST, MSi

PELAKSANA

Construction Manager

Muhammad Gusni Robbycahya, ST, MBA
Drafter :

Nita Kamala Sari, ST

NAMA GAMBAR

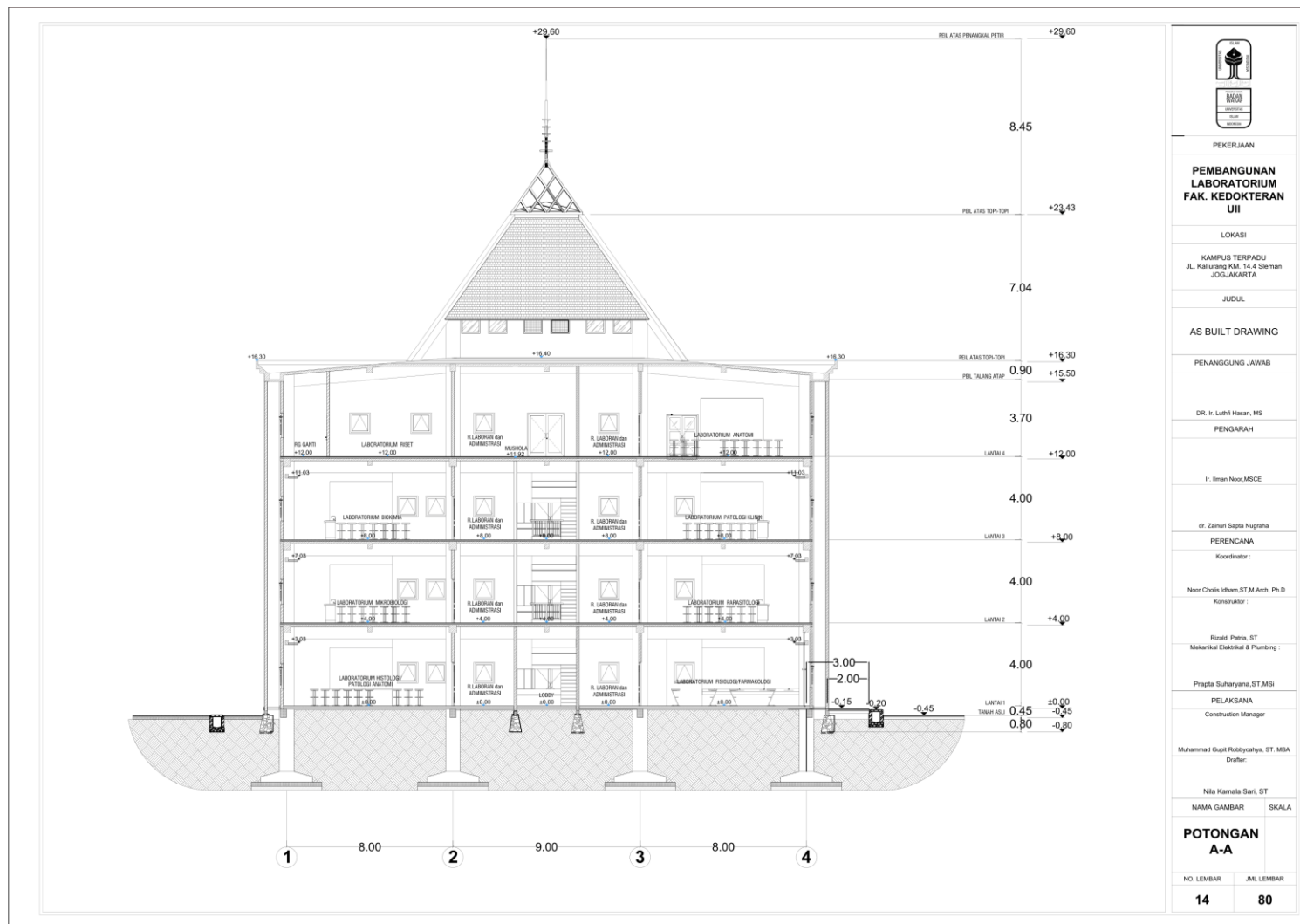
SKALA

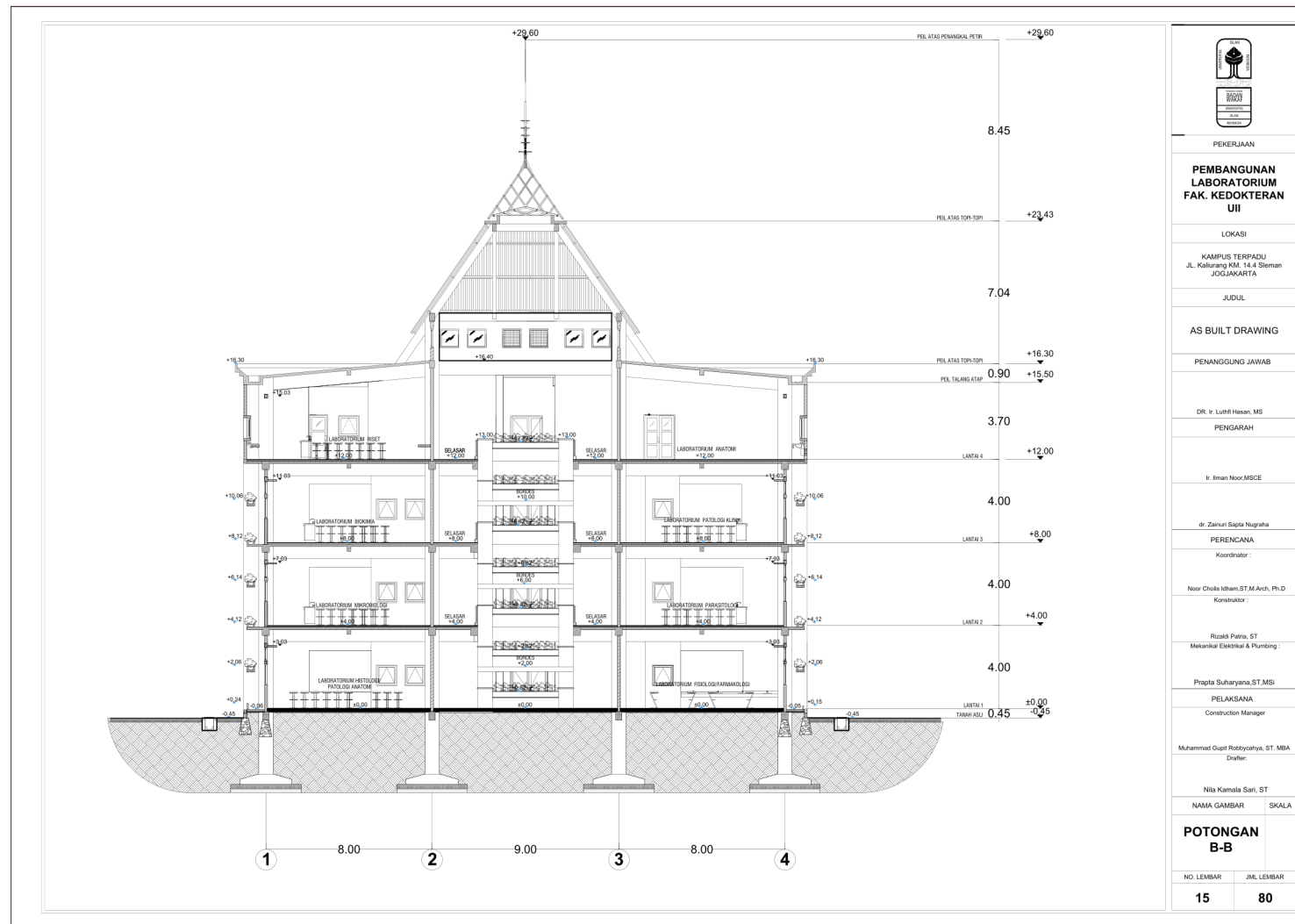
TAMPAK BARAT

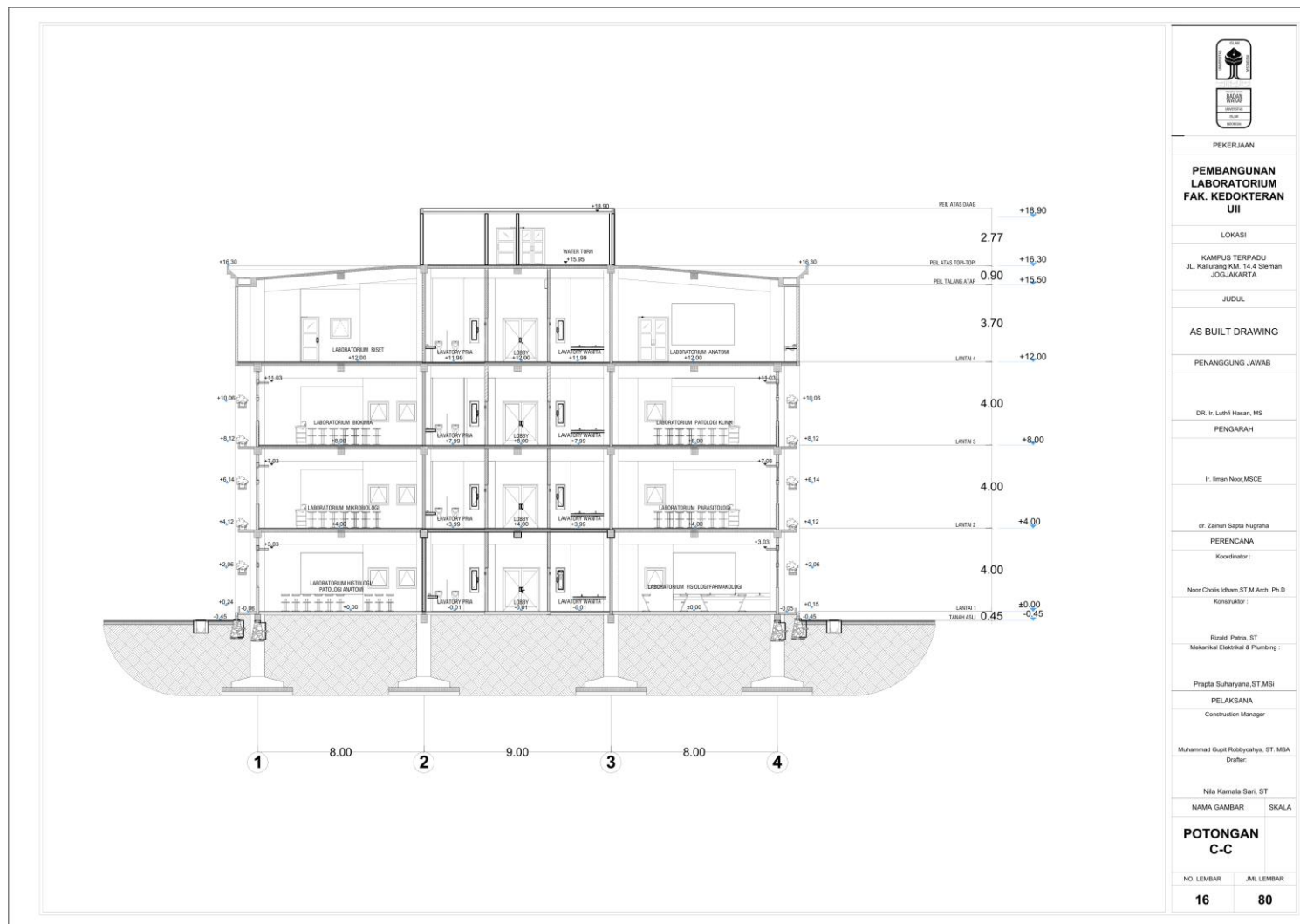
NO. LEMBAR

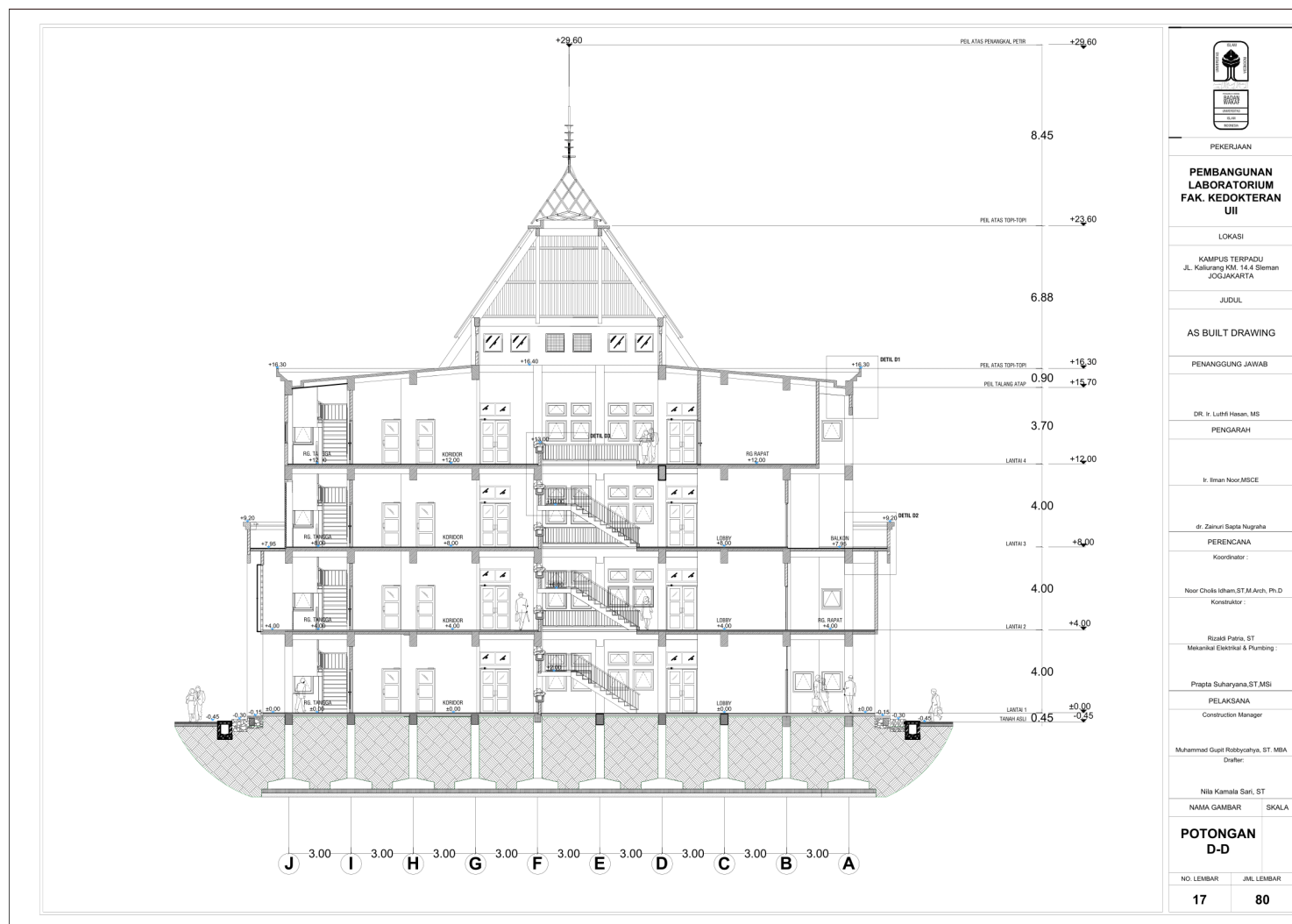
JML. LEMBAR

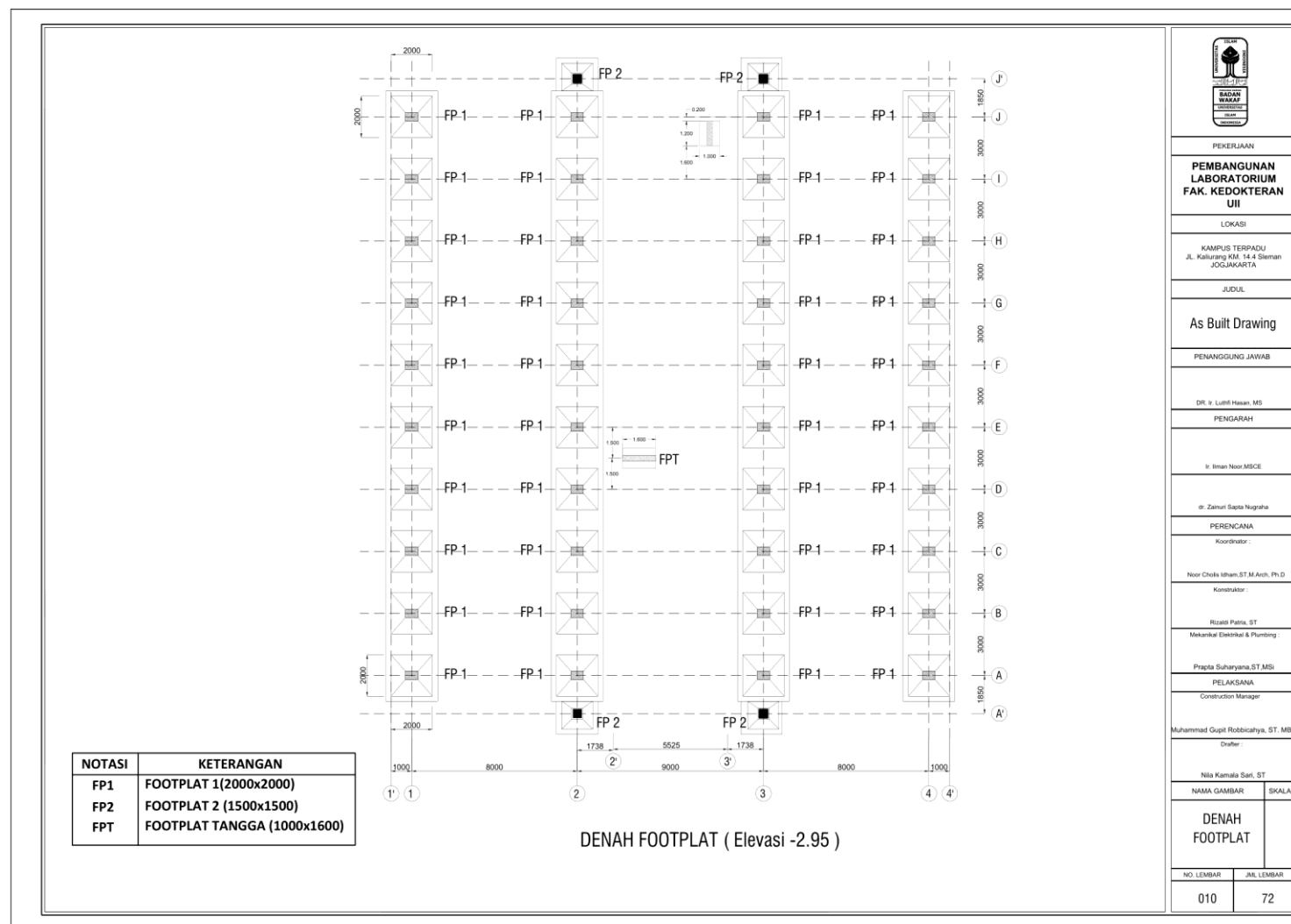
13**80**

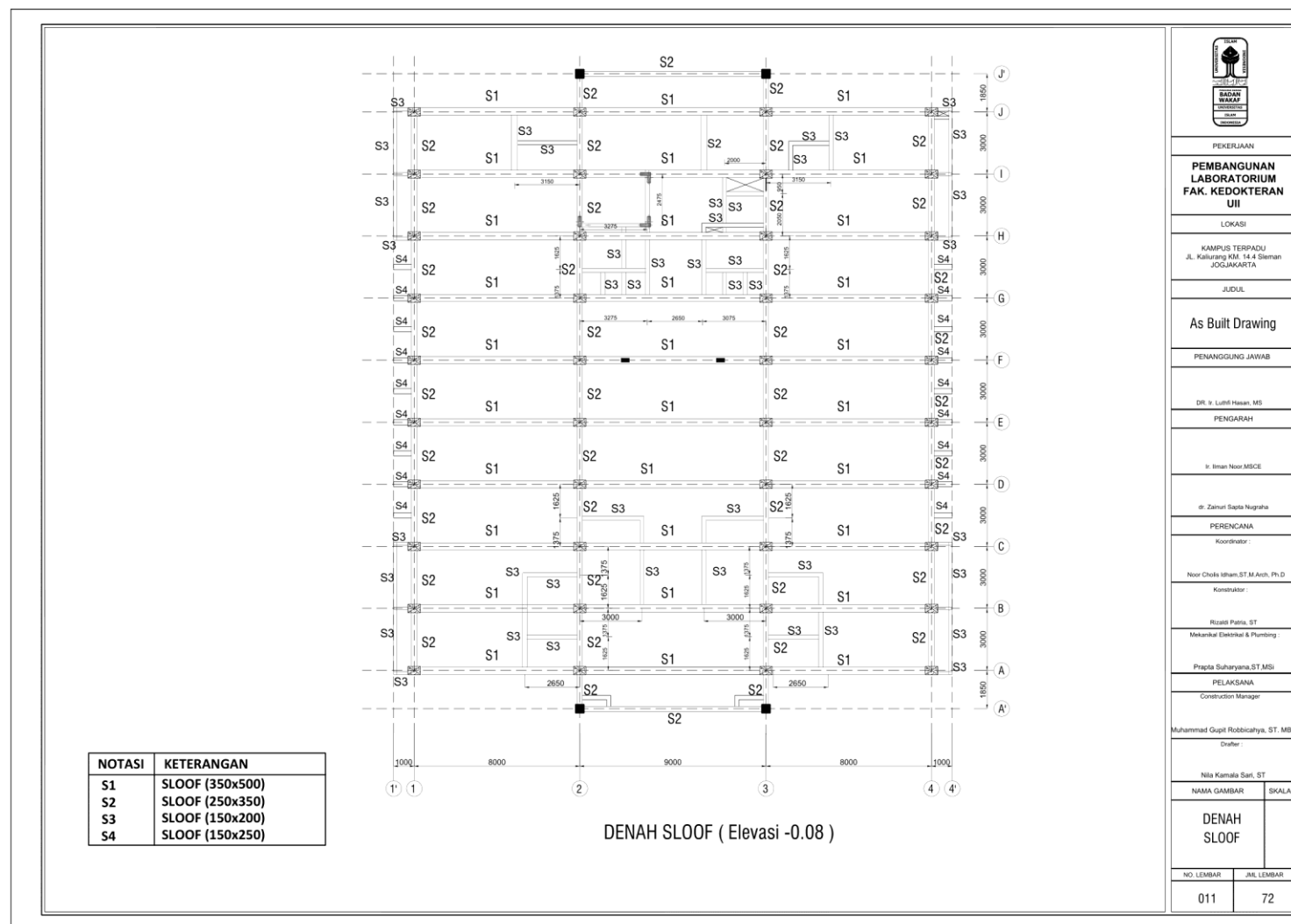


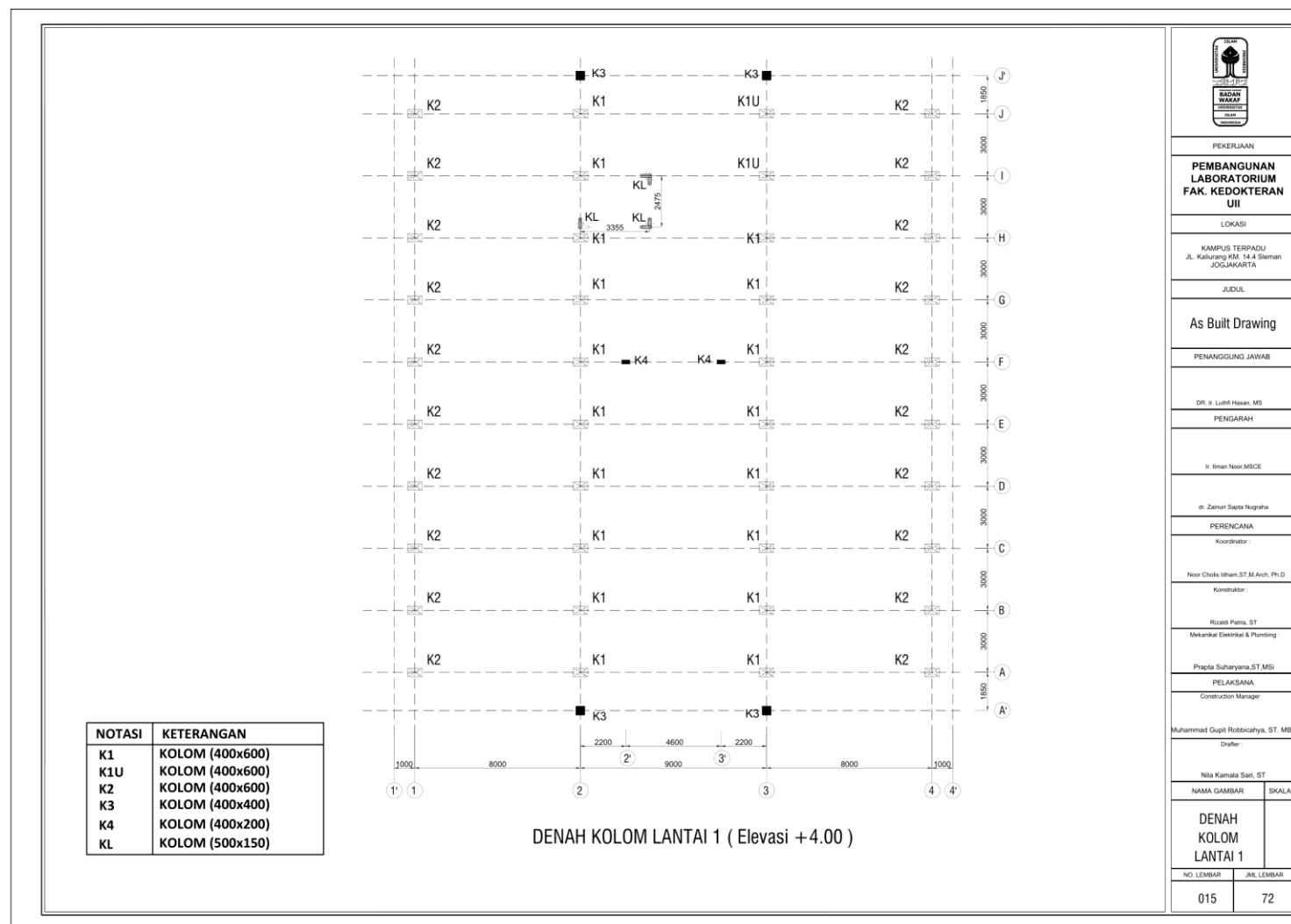


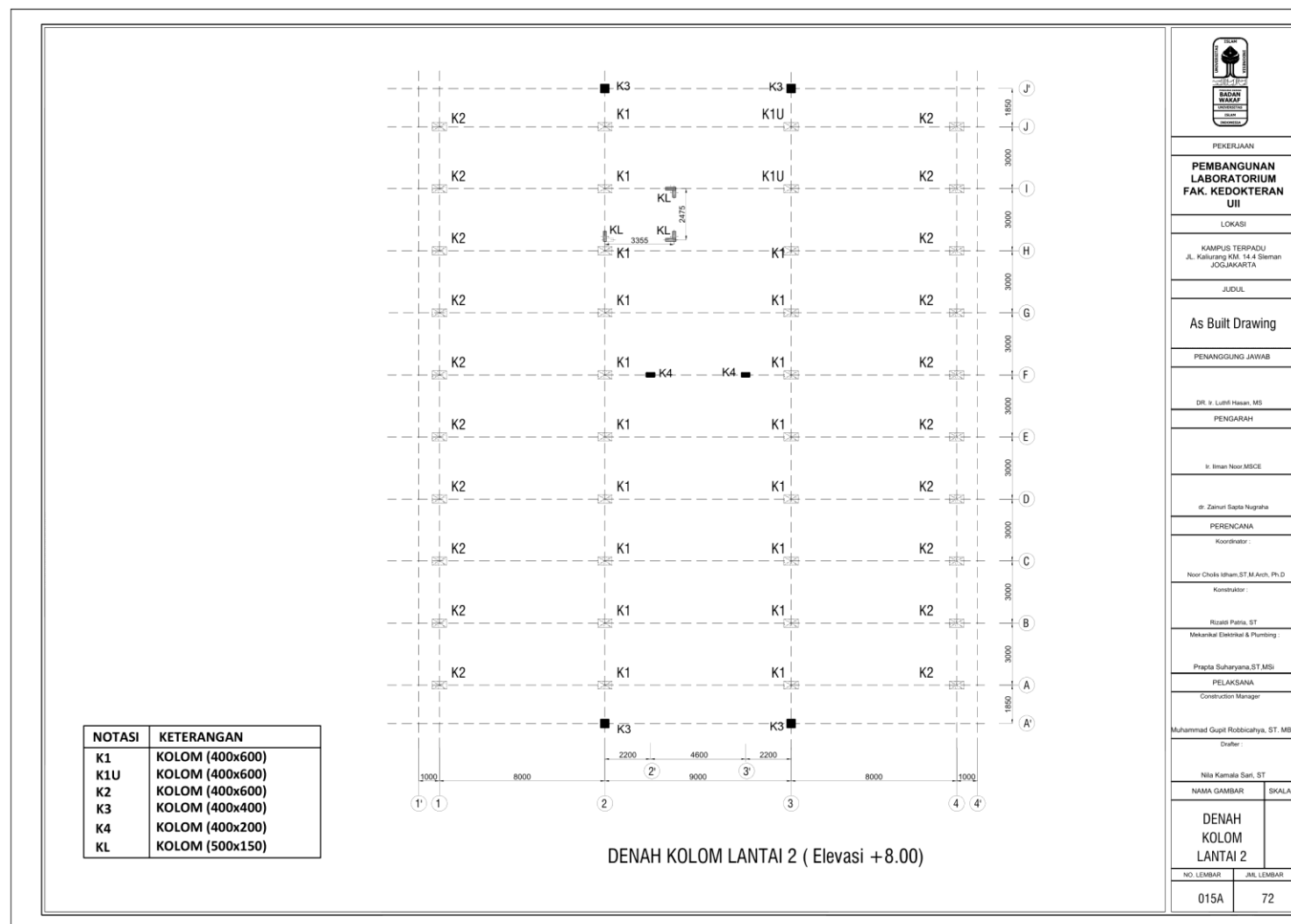


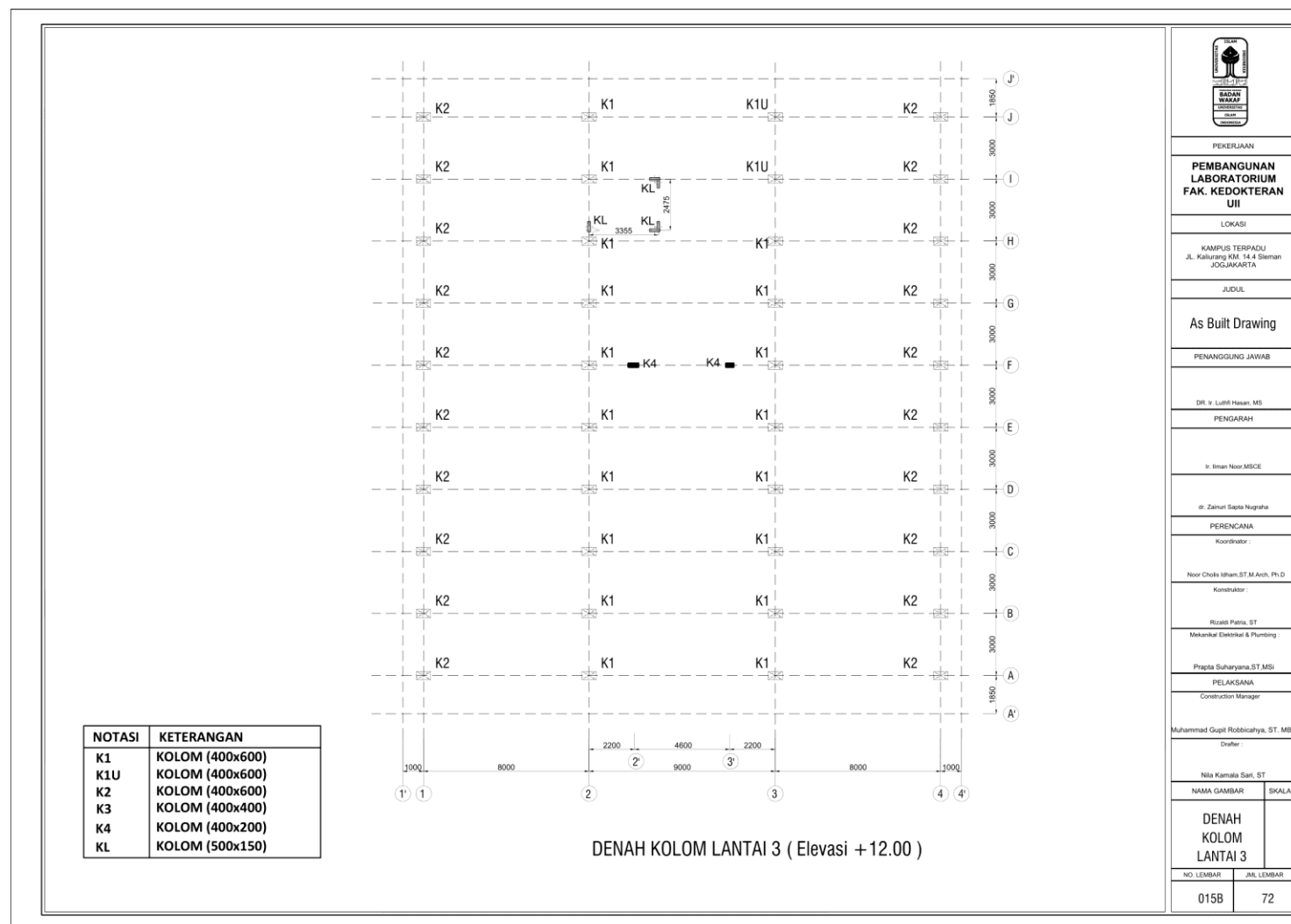


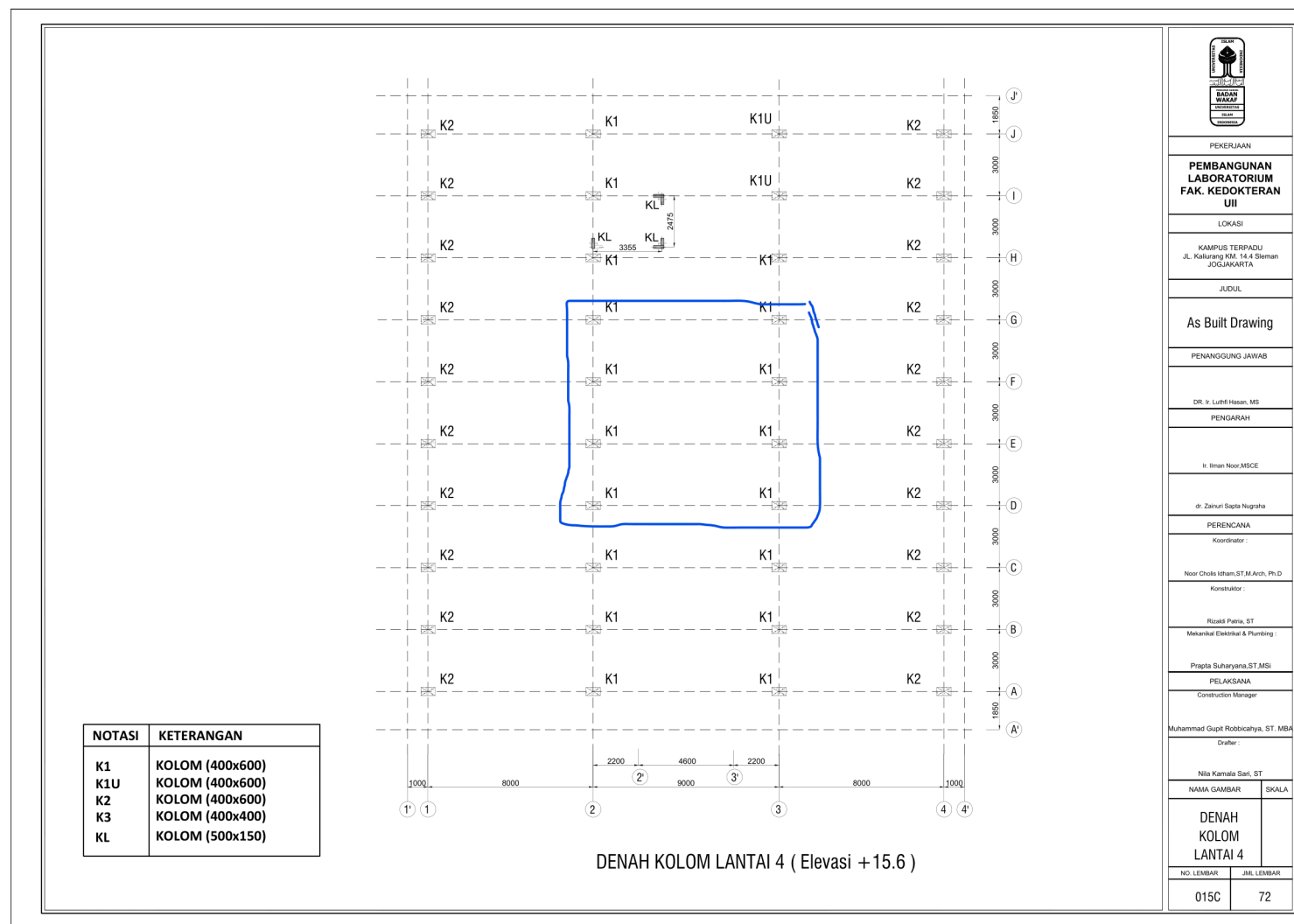


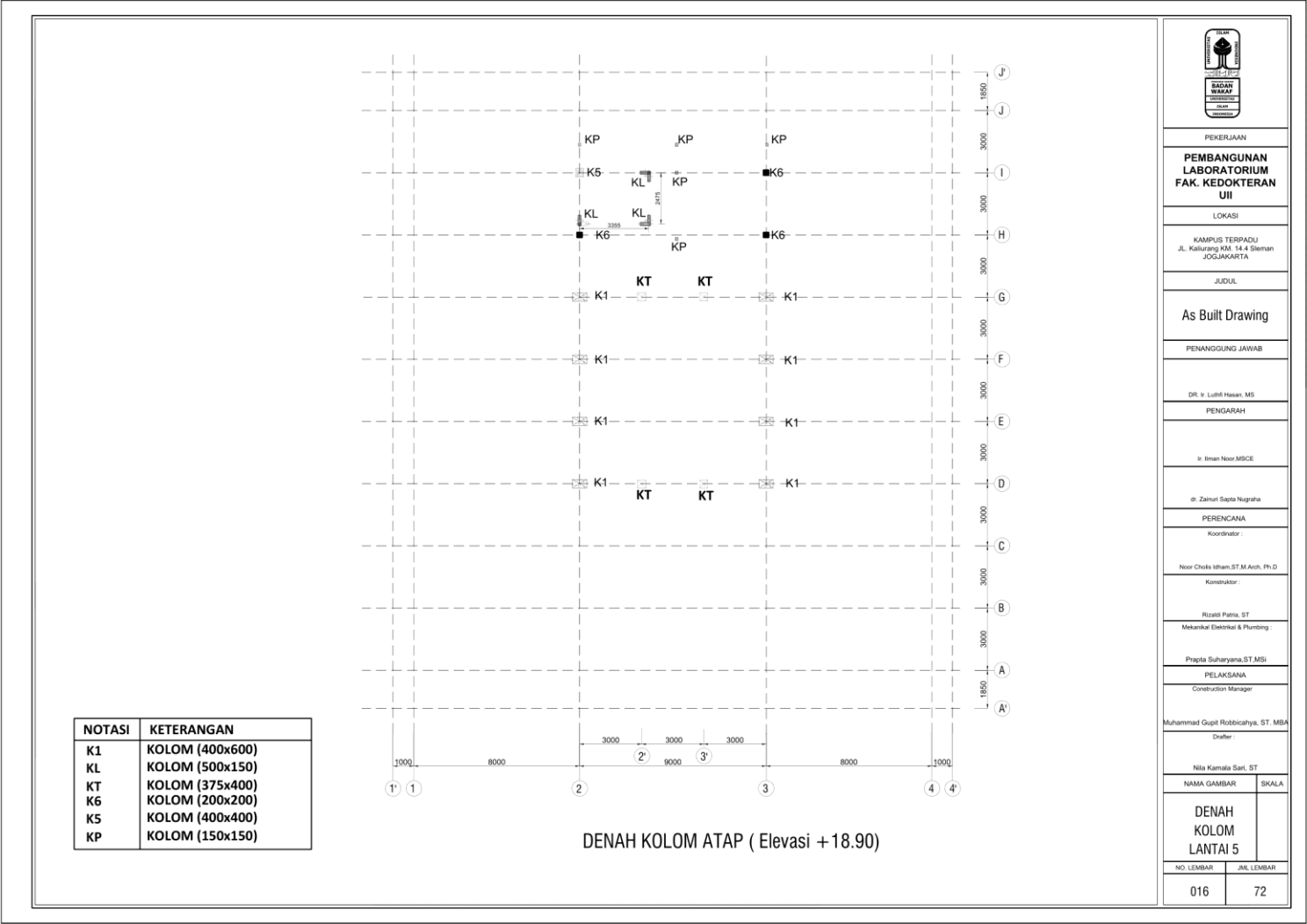


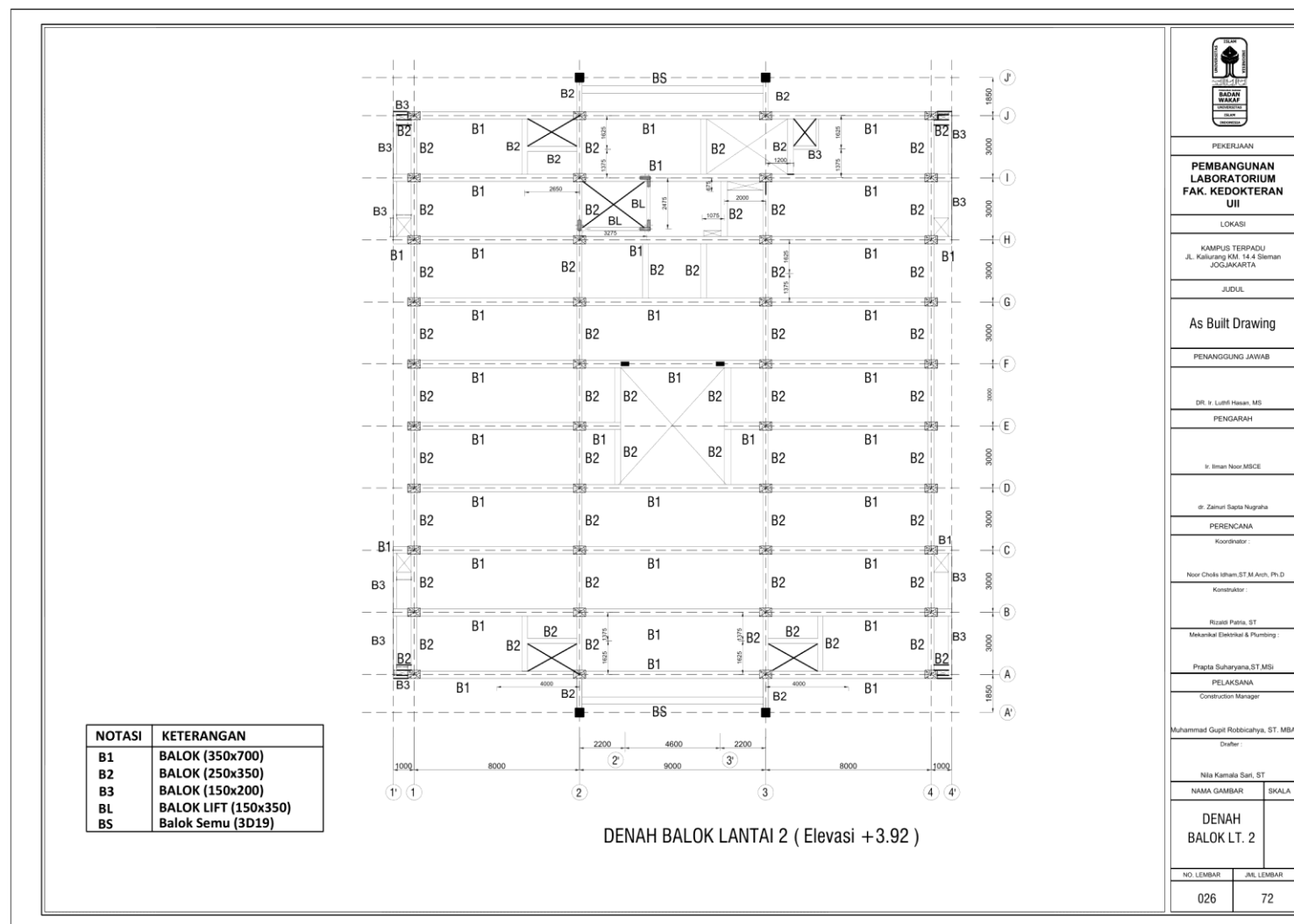


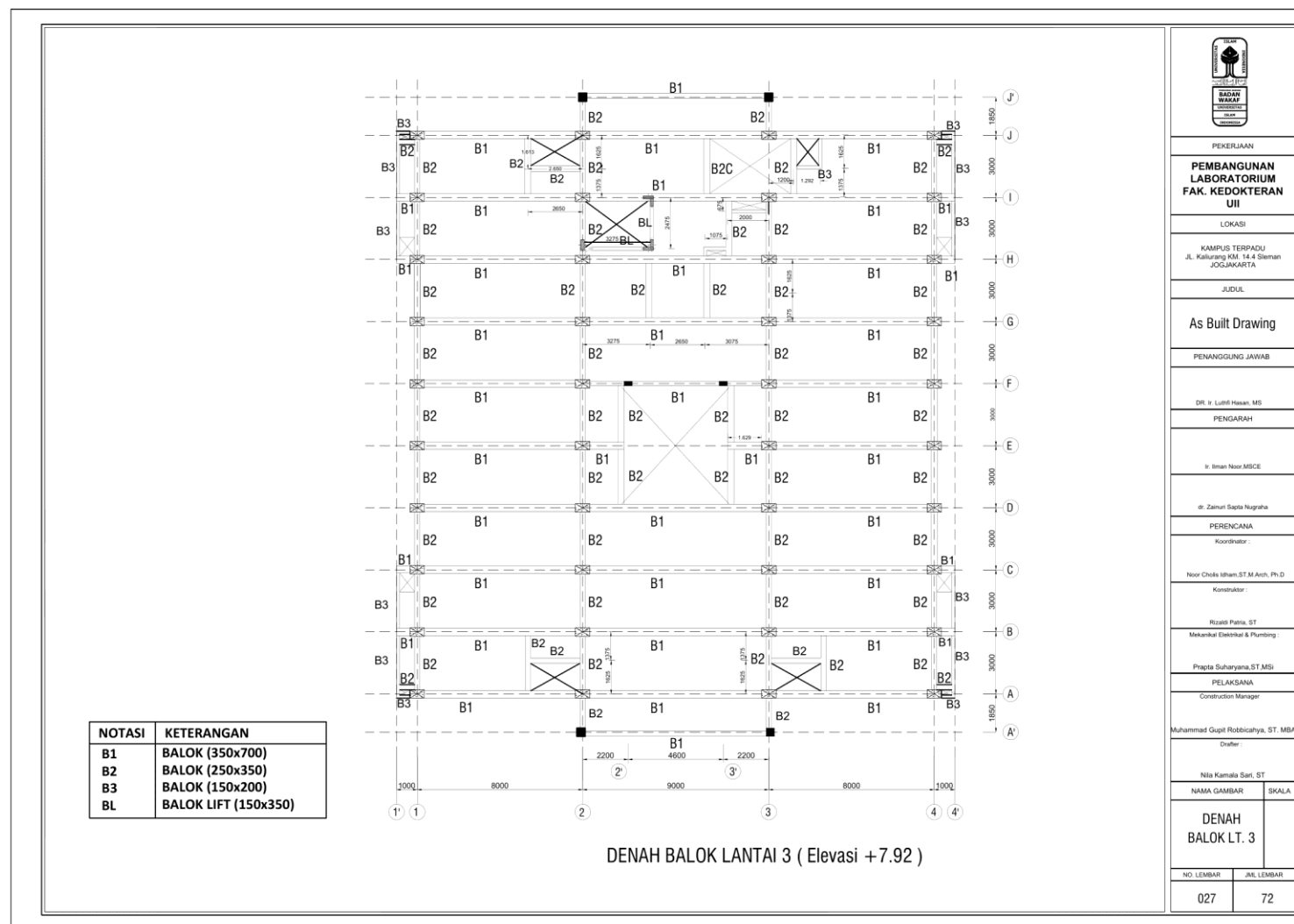


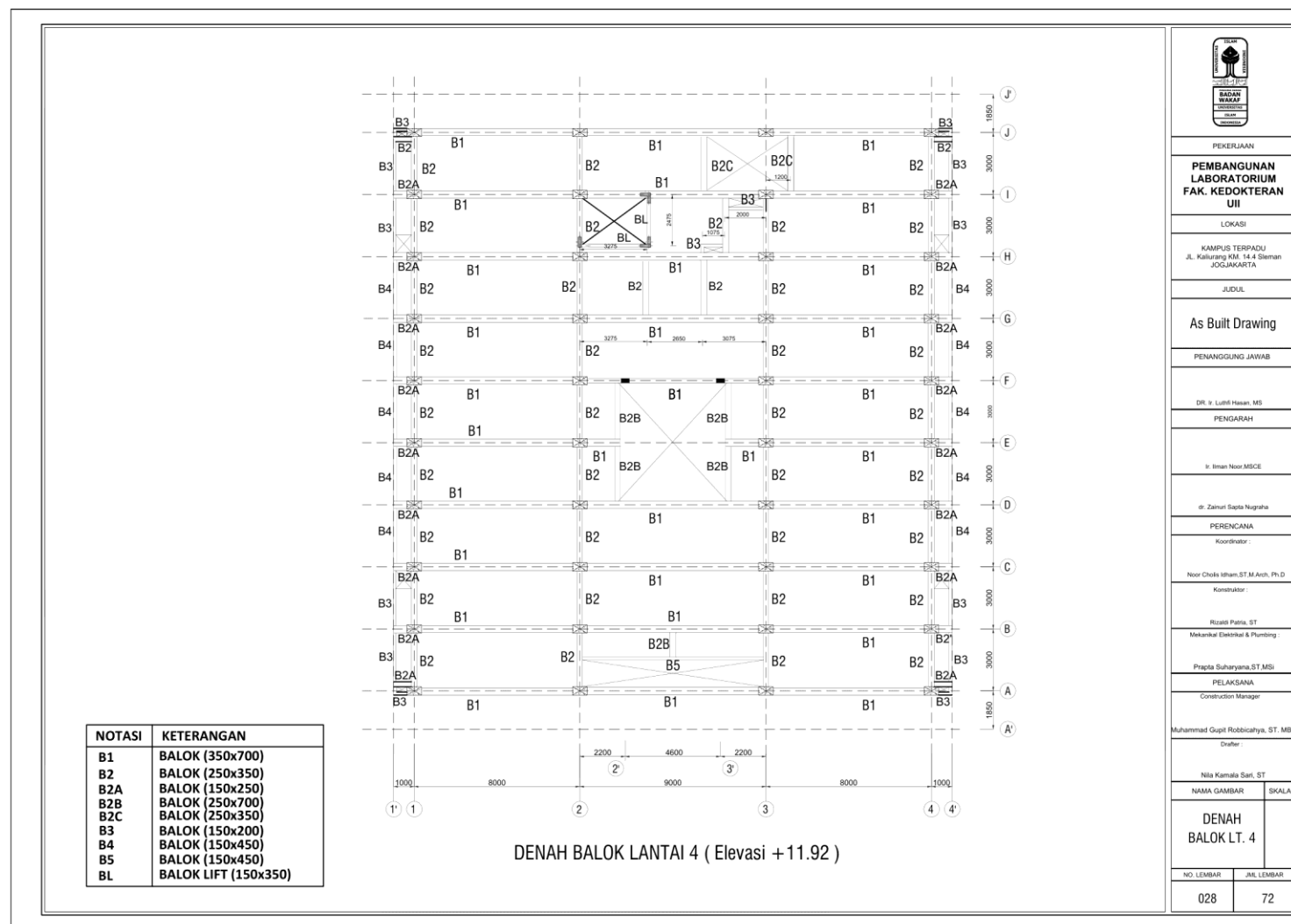


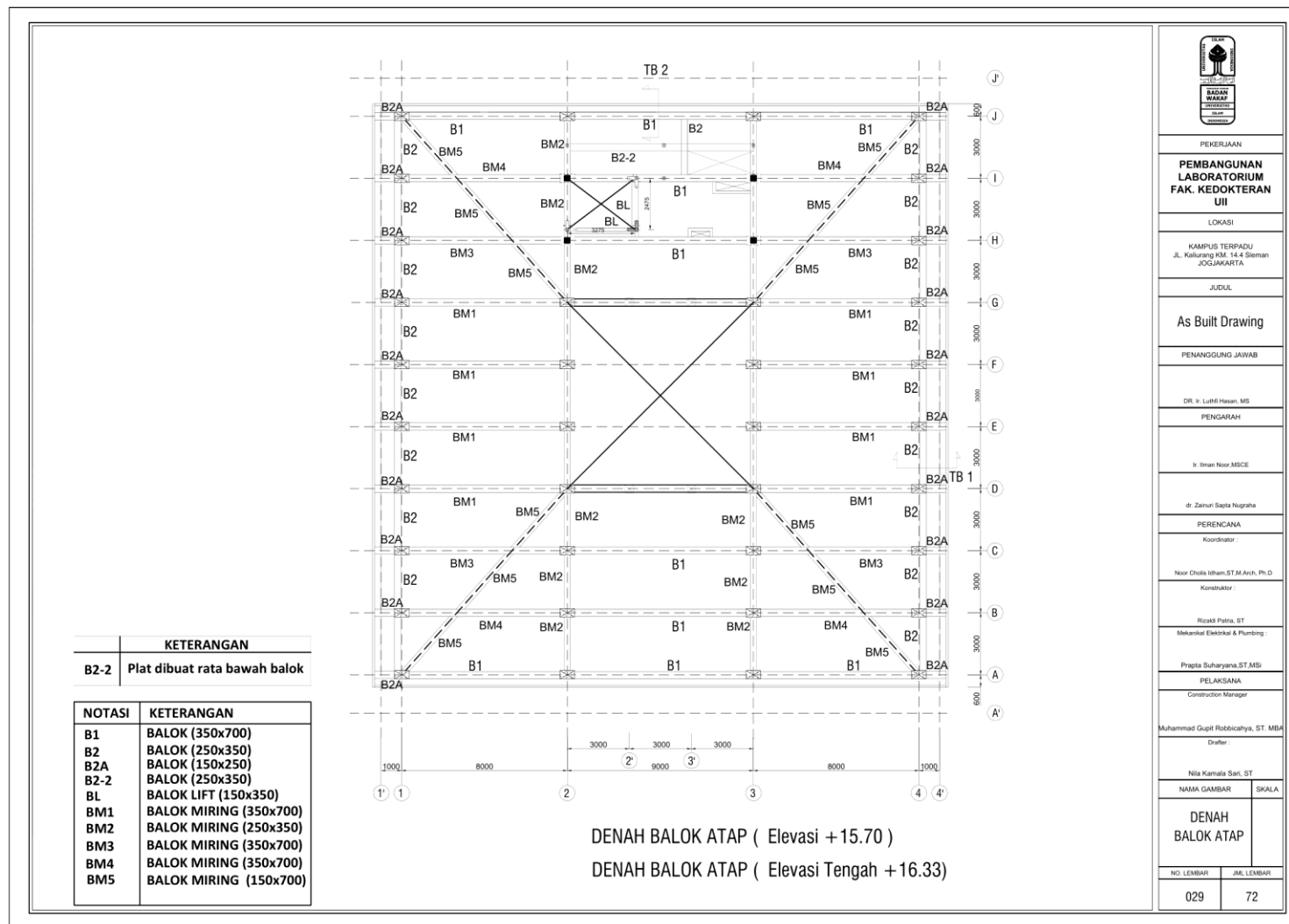


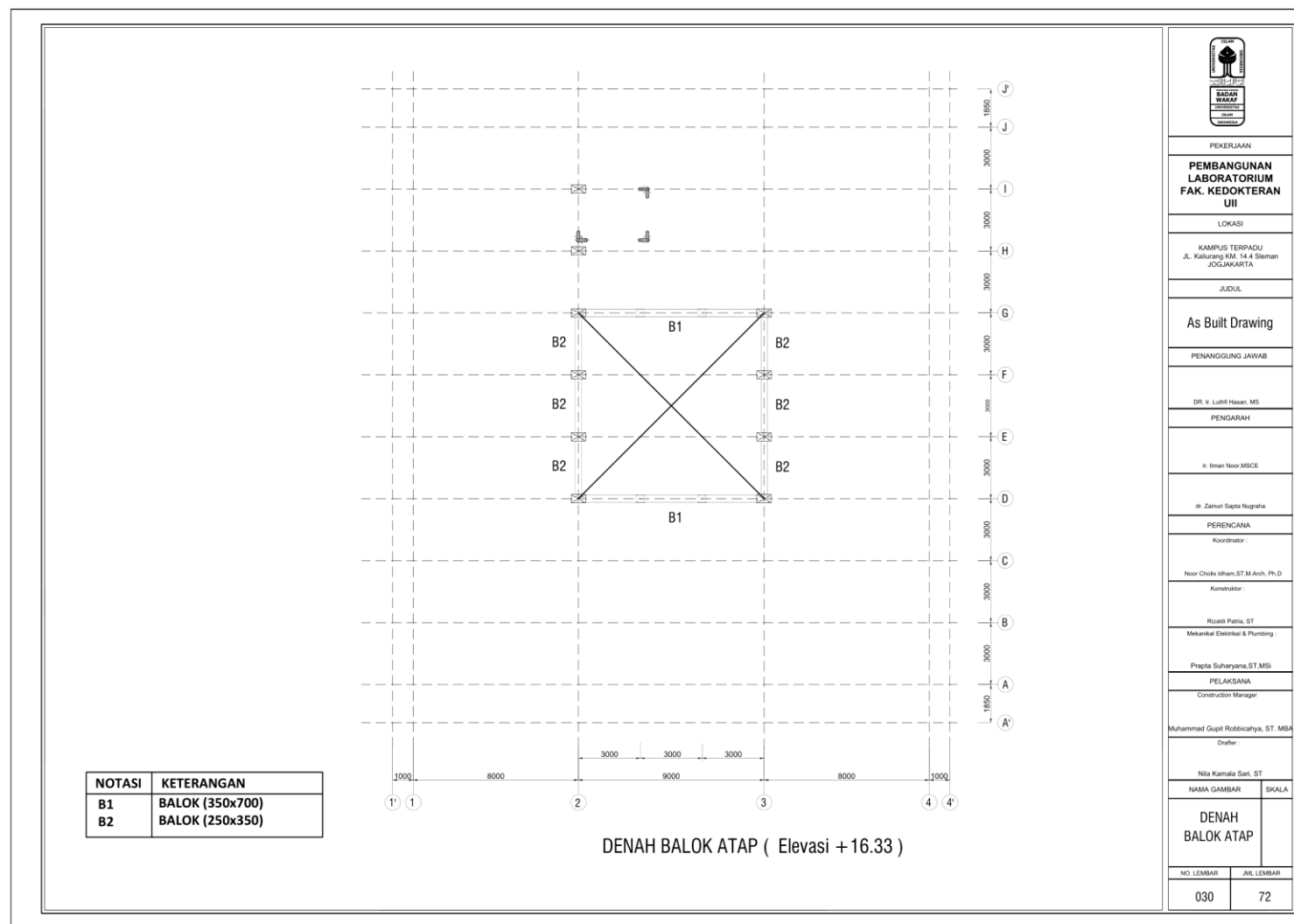


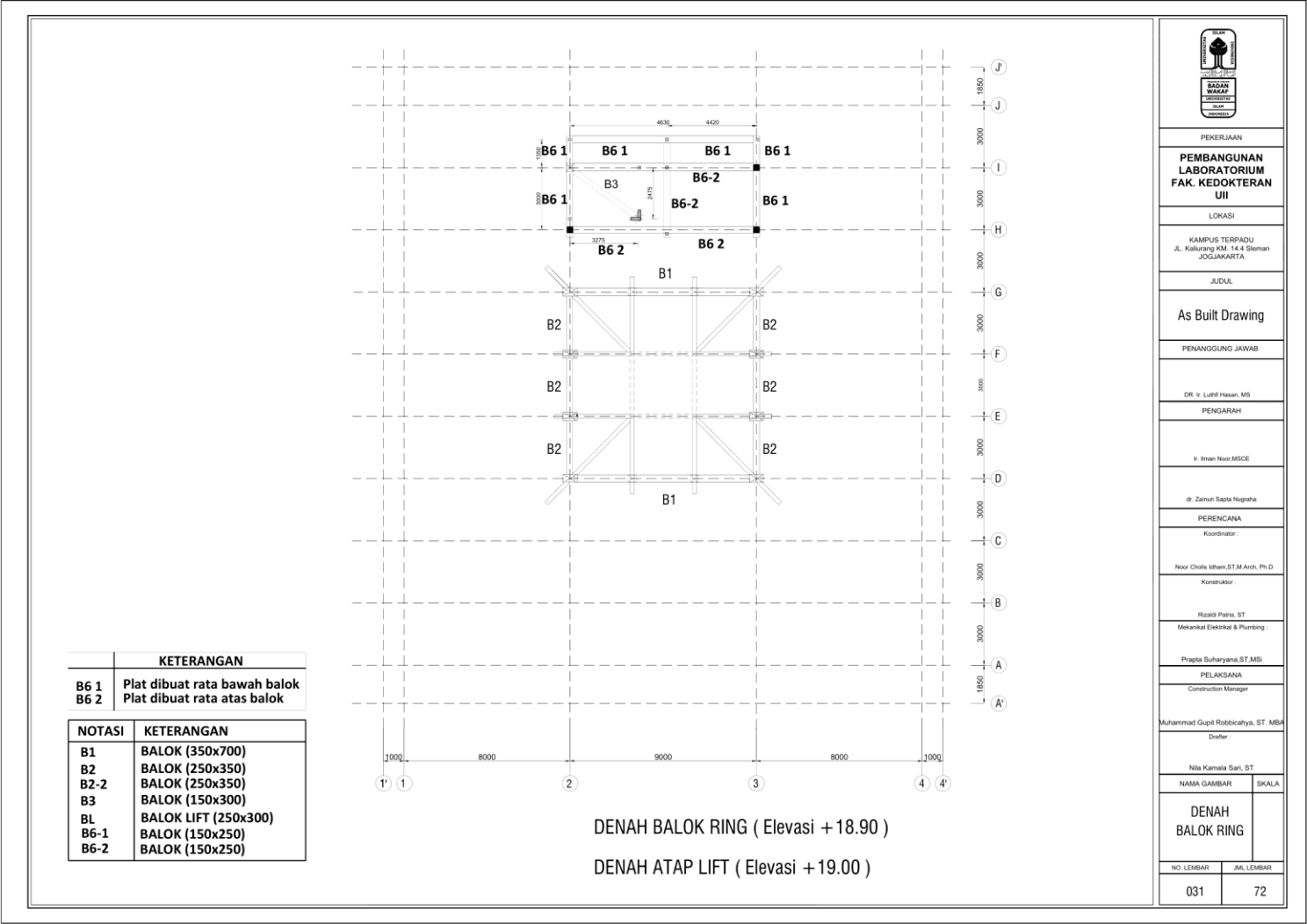


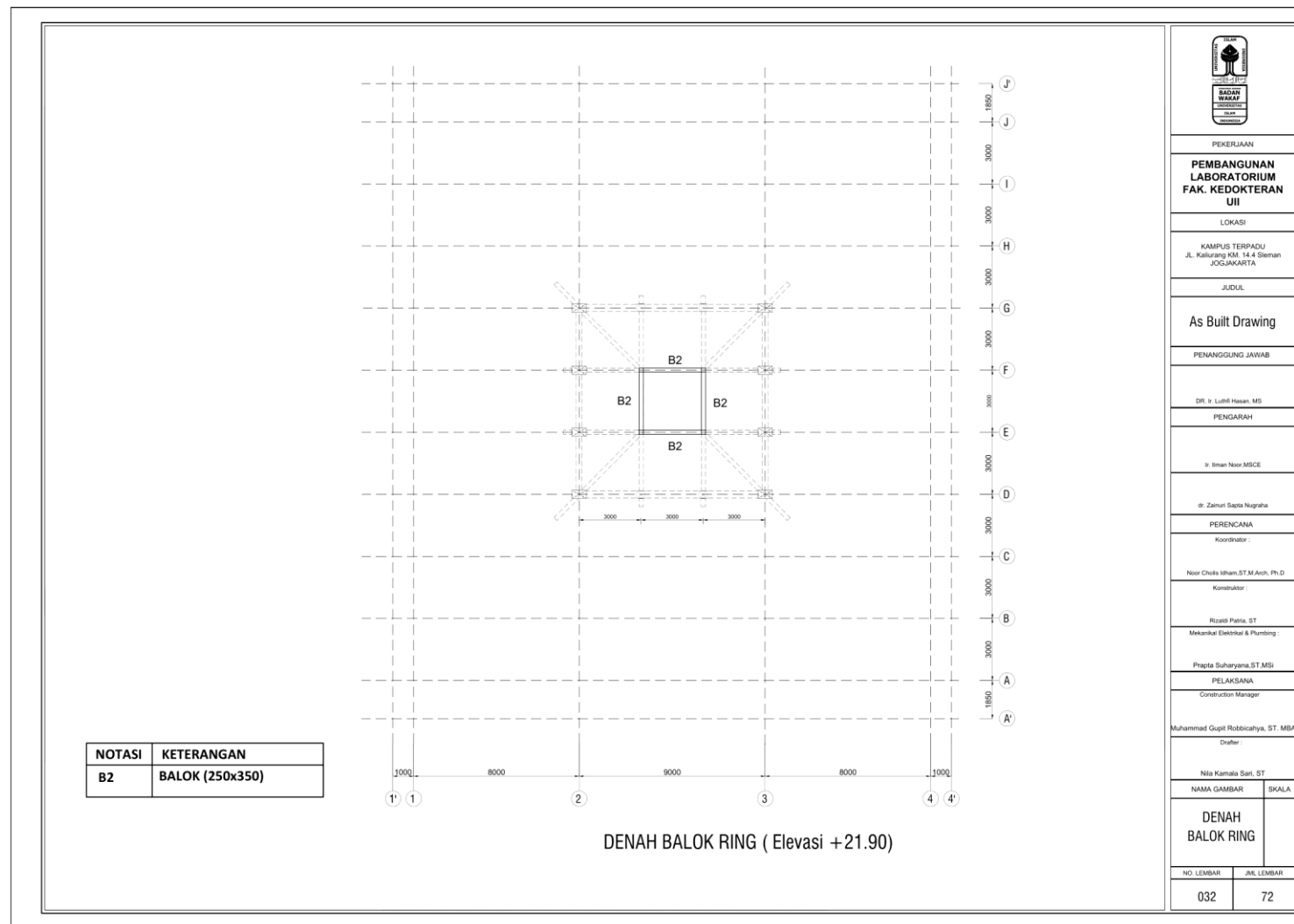


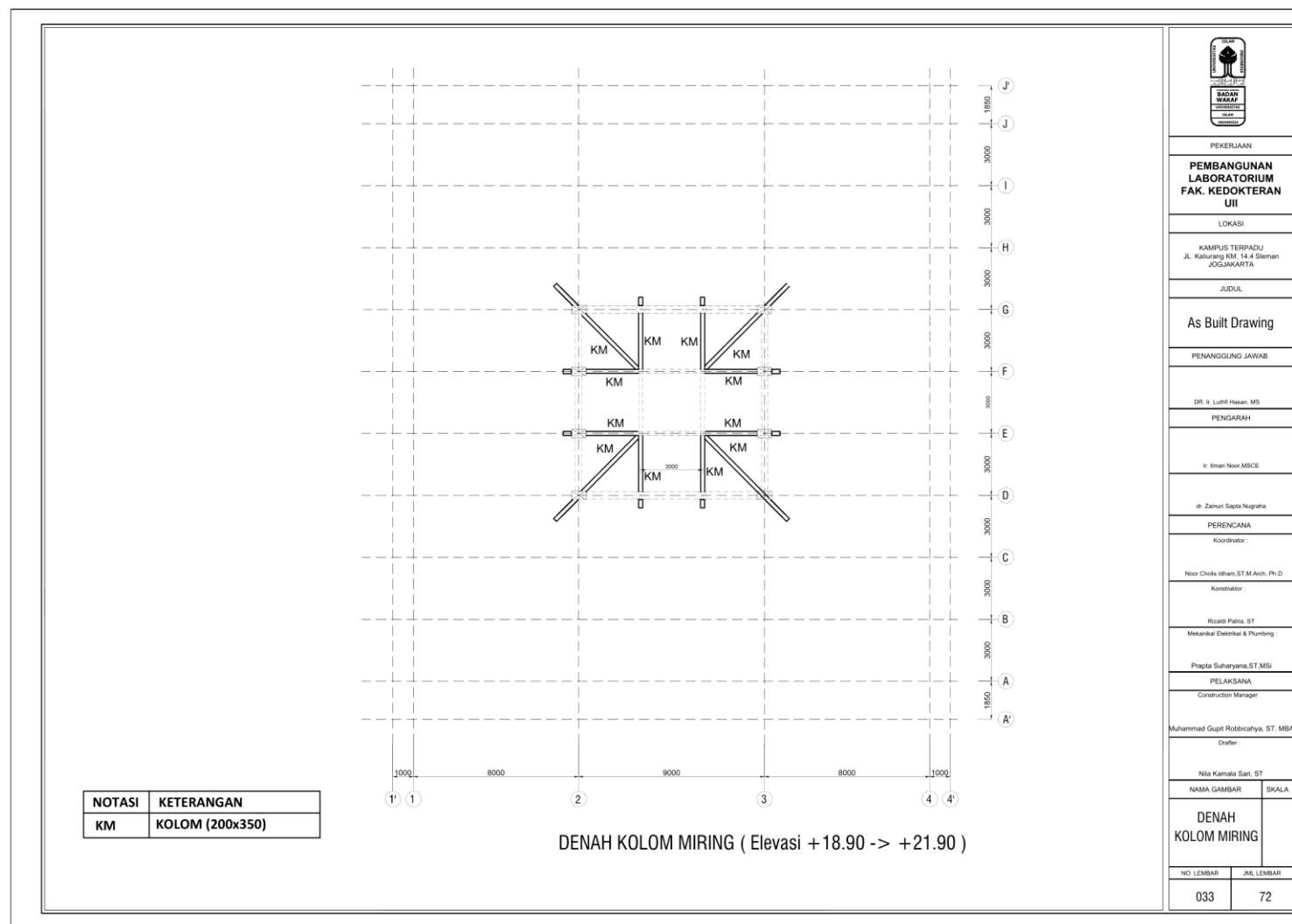


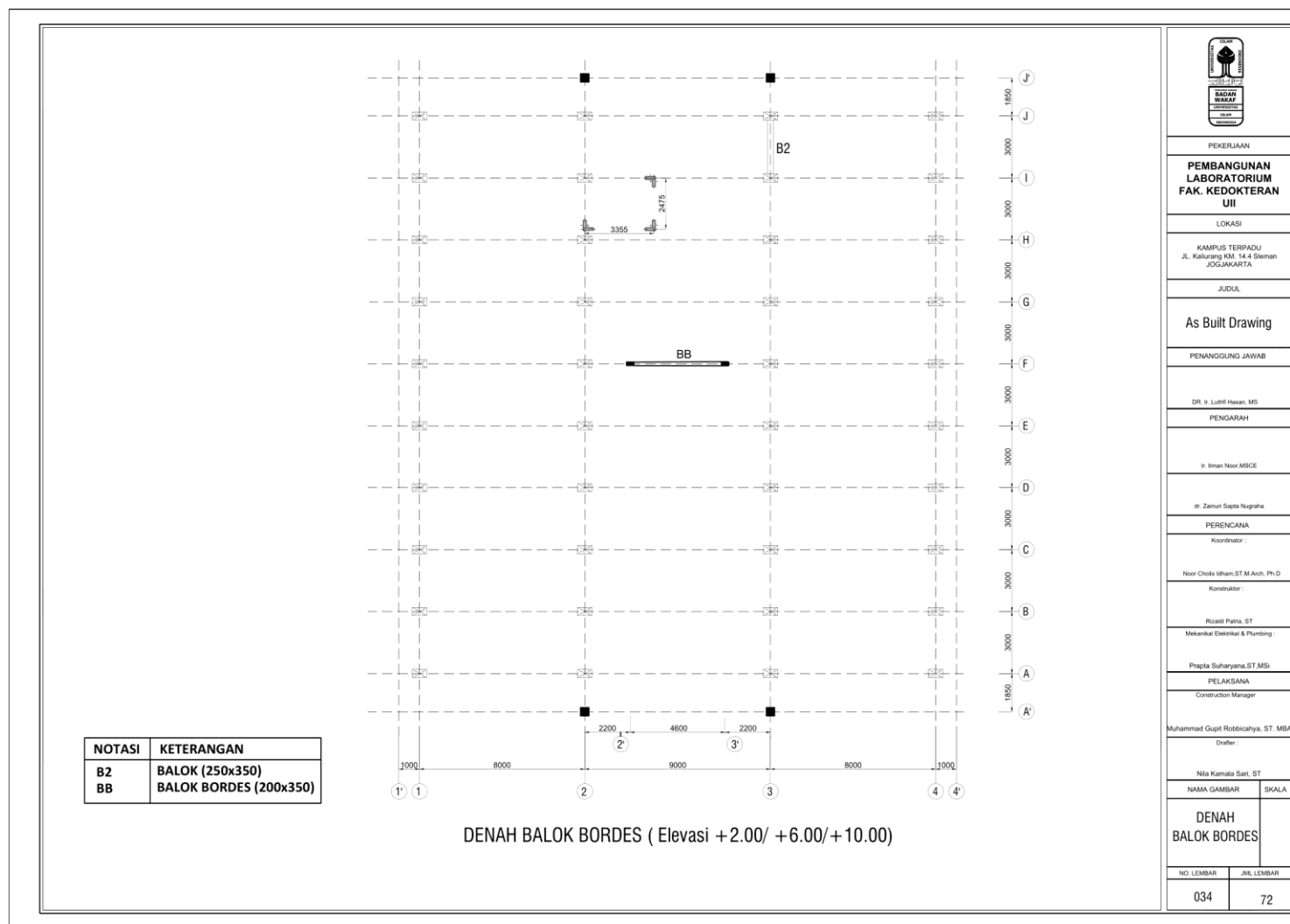


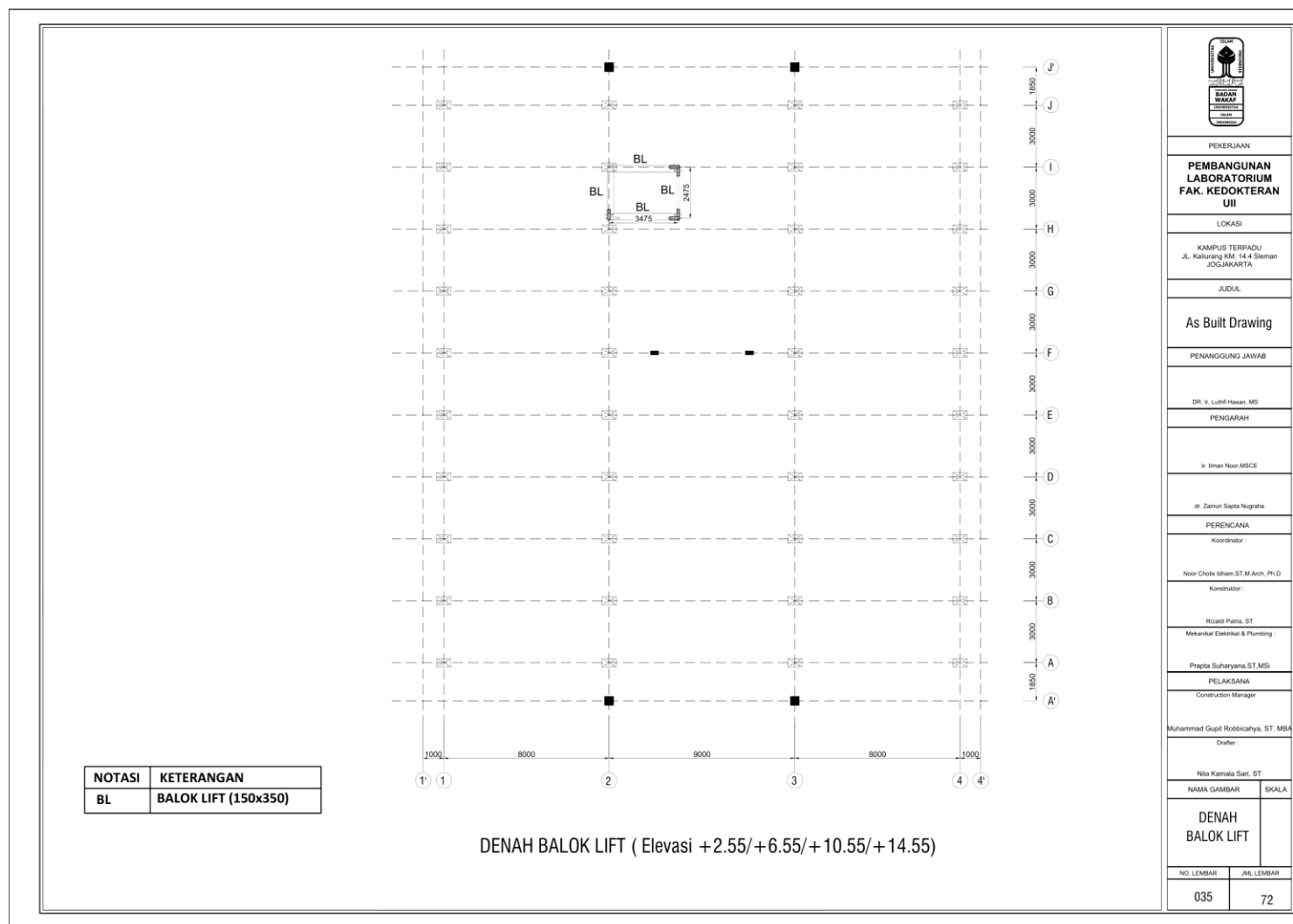


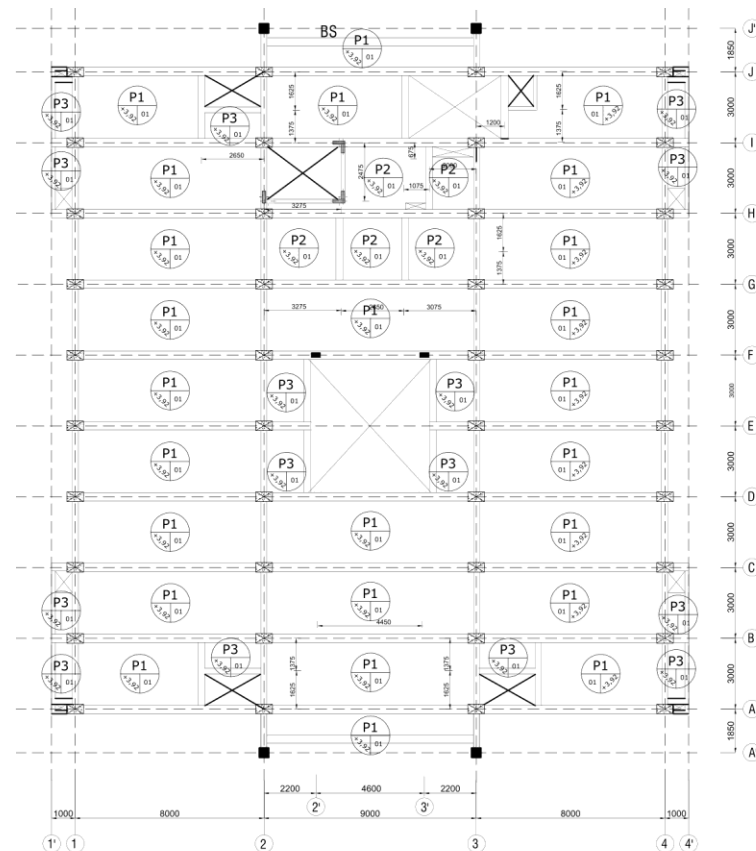












DENAH PELAT LANTAI 2 (Elevasi +3.92)



PEKERJAAN

**PEMBANGUNAN
LABORATORIUM
FAK. KEDOKTERAN
UII**

LOKASI

KAMPUS TERPADU
Jl. Kalurang Km. 14.4 Siemam
JOGJAKARTA

JUDUL

As Built Drawing

PENANGGUNG JAWAB

DR. Ir. Lutfi Hasan, MS

PENGARAH

Ir. Iman Noor MSCE

Dr. Zahuri Sapta Nugraha

PERENCANA

Kordinator :

Noor Cholis Itham ST, M. Arch, Ph.D

Konstruktor :

Rizaldi Patra, ST
Mekanikal Elektrikal & Plumbing :

Praptia Suharyana, ST, MS

PELAKSANA

Construction Manager

Muhammad Gupit Robbichaya, ST, MBA

Drafter

Nila Kamali Satri, ST

NAMA GAMBAR

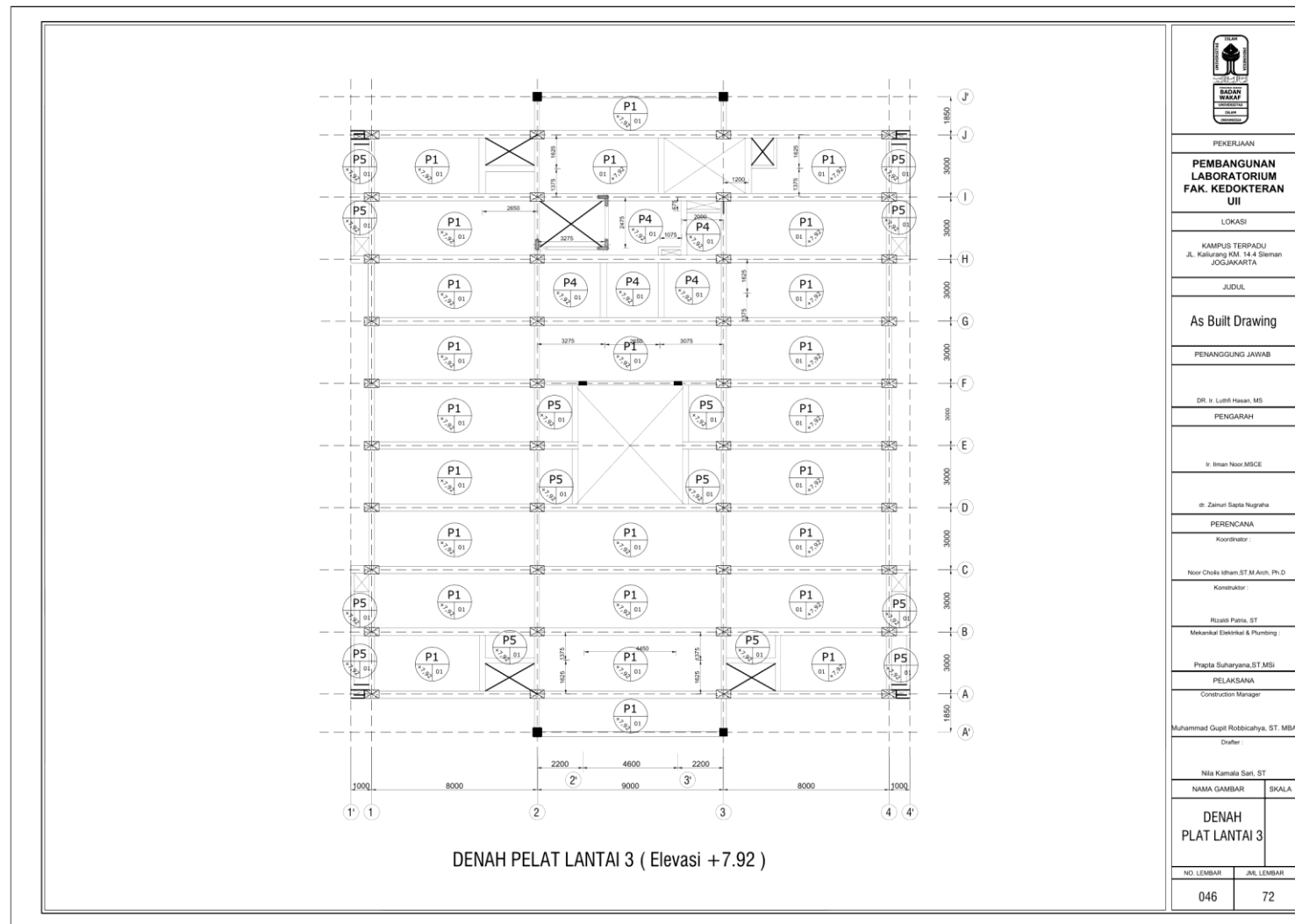
**DENAH
PLAT LANTAI 2**

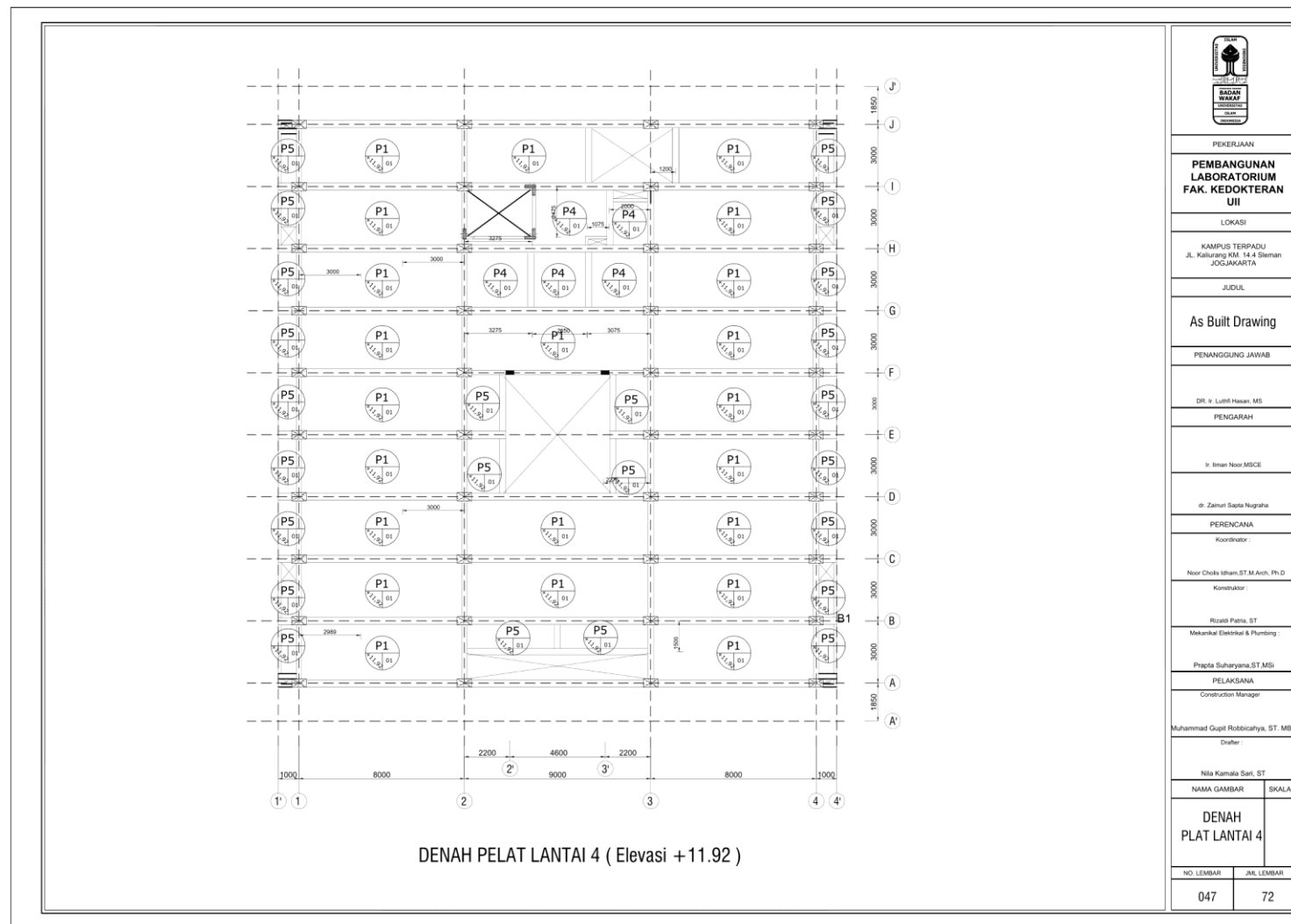
NO. LEMBAR

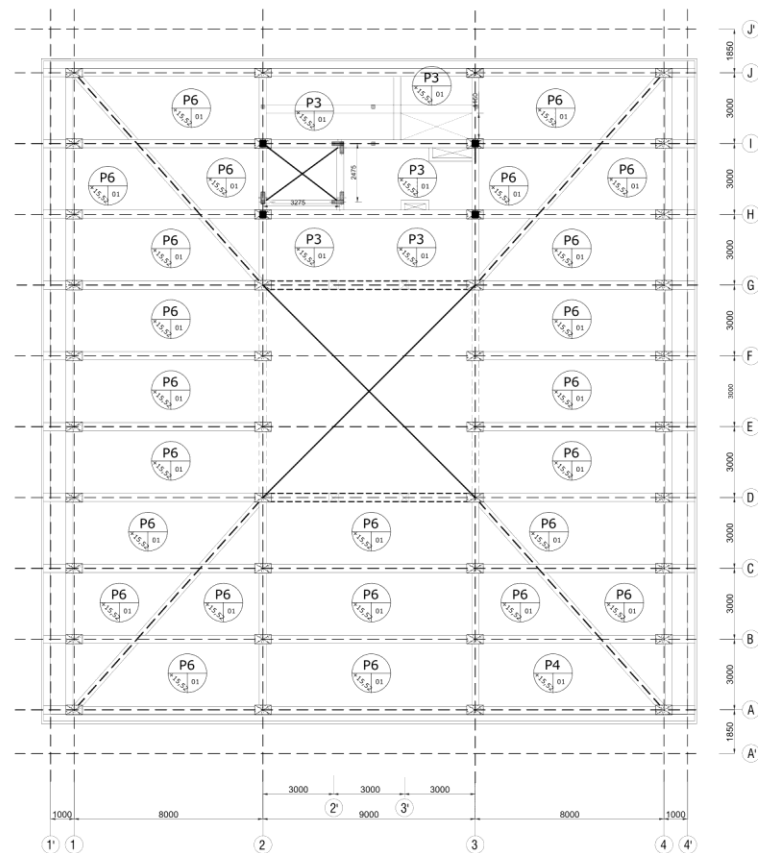
JML. LEMBAR

045

72







DENAH PELAT ATAP (Elevasi Tepi +15.70)

DENAH PELAT ATAP (Elevasi Tengah +16.33)



PEKERJAAN

**PEMBANGUNAN
LABORATORIUM
FAK. KEDOKTERAN
UII**

LOKASI

KAMPUS TERPADU
Jl. Kalurang KM. 14.4 Siemam
JOGJAKARTA

JUDUL

As Built Drawing

PENANGGUNG JAWAB

DR. Ir. Lutfi Hasan, MS

PENGARAH

Ir. Iman Noor MSCE

Dr. Zahuri Sapta Nugraha

PERENCANA

Koordinator :

Noor Cholsa Itham ST, M. Arch, Ph.D

Konstruktor :

Rizaki Patra, ST

Mekanikal Elektrikal & Plumbing :

Praptia Suharyama, ST, MSi

PELAKSANA

Construction Manager

Muhammad Gupit Robbichayya, ST, MBA

Drafter

Nila Kamali Sari, ST

NAMA GAMBAR

SKALA

**DENAH
PLAT ATAP**

NO. LEMBAR

JML. LEMBAR

048

72



Pembayaran QRIS berhasil

Rp50.000

16 Okt 2024 • 10:15:31 WIB •

Ref ID: 20241016101123000749

Penerima

SUMBANGAN BUKU ALUMNI UII
SLEMAN

Sumber dana

MUHAMAD FAJRI NURUL HAKIM
TAPLUS • *****329

Detail pembayaran

Nominal Rp50.000

Total **Rp50.000**

Detail merchant

Merchant ID 0000351326

Merchant PAN 93600451000030039
63

Terminal ID 0000351326

Nama acquirer BSM

Detail transaksi

Customer PAN 936000091100082477
8

Nama issuer Bank BNI

Tipe transaksi QRIS

Kode RRN 28da03ed3298