

TUGAS AKHIR

ESTIMASI PERILAKU GEDUNG BERTINGKAT BANYAK DI KOTA MEDAN AKIBAT GETARAN GEMPA BERSISTEM SRPMK DENGAN METODE LINEAR

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat – Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD ALWI ALFALAH

NPM: 2207210080



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Alwi Alfalah
NPM : 2207210080
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Estimasi Perilaku Gedung Bertingkat Banyak Di Kota
Medan Akibat Getaran Gempa Bersistem SRPMK Dengan
Metode Linear
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, September 2026

Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Alwi Alfalah
NPM : 2207210080
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Estimasi Perilaku Gedung Bertingkat Banyak Di Kota Medan Akibat Getaran Gempa Bersistem SRPMK Dengan Metode Linear.
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2026

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing I



Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain.,
S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II



Ir. Tondi Amirsyah Putera., S.T., M.T.

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Josef Hadipramana, S.T., M.Si., Ph.D

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Alwi Alfalah

NPM : 2207210080

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul: “Estimasi Perilaku Gedung Bertingkat Banyak Di Kota Medan Akibat Getaran Gempa Bersistem SRPMK Dengan Metode Linear”.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisiil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat dan ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2026

Saya yang menyatakan




Muhammad Alwi Alfalah

ABSTRAK

ESTIMASI PERILAKU GEDUNG BERTINGKAT BANYAK DI KOTA MEDAN AKIBAT GETARAN GEMPA BERSISTEM SRPMK DENGAN METODE LINEAR

Muhammad Alwi Alfalah

2207210080

Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

Kota Medan merupakan wilayah dengan potensi bahaya gempa yang cukup tinggi sehingga perencanaan gedung bertingkat harus memperhatikan respons struktur terhadap beban seismik. Penelitian ini bertujuan mengestimasi perilaku gedung bertingkat banyak dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) akibat pengaruh rekaman gempa dekat (*near-field*) dan gempa jauh (*far-field*) menggunakan metode analisis respons spektrum linear. Objek penelitian berupa gedung apartemen 23 lantai dan 1 lantai mezzanine yang dimodelkan menggunakan ETABS sesuai ketentuan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 2847:2019. Rekaman *ground motion* diubah menjadi spektrum respons, kemudian dilakukan penskalaan sebelum diterapkan sebagai pembebanan dinamik. Parameter yang dievaluasi meliputi periode struktur, *Story Drift Ratio* (IDR), kurva probabilitas kerusakan (*fragility curve*), serta probabilitas tercapainya kondisi *Limit State* (LS) dan *Near Collapse* (NC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa respons struktur dipengaruhi oleh karakteristik rekaman gempa, arah pembebanan, dan mode getar. Pada kelompok gempa dekat, GM 2, GM 4, GM 7, dan GM 14 menghasilkan respons simpangan terbesar, sedangkan pada gempa jauh GM 1, GM 2, dan GM 3 menjadi kondisi paling kritis. Lantai bawah hingga menengah (sekitar lantai 3–9) merupakan zona dengan kecenderungan simpangan terbesar. Analisis probabilitas menunjukkan bahwa peluang struktur mencapai kondisi LS meningkat pada nilai $RSA(T1)$ sekitar 0,106–0,125 g untuk gempa dekat dan 0,116–0,117 g untuk gempa jauh, sedangkan kondisi NC memerlukan intensitas gempa yang lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa metode respons spektrum linear mampu memberikan estimasi awal perilaku struktur secara efisien serta menggambarkan pengaruh perbedaan karakteristik gempa terhadap kinerja gedung bertingkat.

Kata kunci: SRPMK, respons spektrum, *ground motion*, *Story Drift Ratio*, *Limit State*, *Near Collapse*.

ABSTRACT

ESTIMASI PERILAKU GEDUNG BERTINGKAT BANYAK DI KOTA MEDAN AKIBAT GETARAN GEMPA BERSISTEM SRPMK DENGAN METODE LINEAR

Muhammad Alwi Alfalah

2207210080

Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

Medan City is located in a region with significant seismic hazard; therefore, the design of multi-story buildings must consider structural response under earthquake loading. This study aims to estimate the behavior of a multi-story building with a Special Moment Resisting Frame (SMRF) subjected to near-field and far-field earthquake ground motions using the linear response spectrum analysis method. The research object is a 23-story apartment building with one mezzanine floor modeled in ETABS v22 based on the provisions of SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, and SNI 2847:2019. Earthquake ground motion records were converted into response spectra and scaled before being applied as dynamic loading. The evaluated parameters include the structural fundamental period, Interstory Drift Ratio (IDR), fragility curves, and the probabilities of reaching the Limit State (LS) and Near Collapse (NC) conditions. The results indicate that the structural response is significantly influenced by the characteristics of the earthquake records, loading direction, and vibration mode. Among the near-field records, GM2, GM4, GM7, and GM14 produced the largest interstory drifts, whereas GM1, GM2, and GM3 were the most critical far-field records. The greatest drift demand generally occurred in the lower to middle stories, particularly between the 3rd and 9th floors. Fragility analysis shows that the probability of reaching the Limit State increases at an $RSA(T1)$ intensity of approximately 0.106–0.125 g for near-field earthquakes and 0.116–0.117 g for far-field earthquakes, while the Near Collapse condition requires higher seismic intensity. These findings demonstrate that linear response spectrum analysis provides an efficient preliminary estimation of structural behavior while adequately capturing the influence of different earthquake characteristics on the seismic performance of multi-story buildings.

Keywords: SRPMK, respons spektrum, ground motion, Story Drift Ratio, Limit State, Near Collapse.

KATA PENGANTAR

Assalamu'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT berkat dan rahmatnya penulis dapat menyelesaikan skripsi penelitian pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Judul dari skripsi ini adalah “Estimasi Perilaku Gedung Bertingkat Banyak Di Kota Medan Akibat Getaran Gempa Bersistem SRPMK Dengan Metode Linear”.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak yang tidak bisa dinilai harganya. Untuk itu dalam kesempatan ini dengan ketulusan hati penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah bersedia membantu, memotivasi, membimbing dan mengarahkan selama penyusunan skripsi. Penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih sebesar-besarnya terutama kepada:

1. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan memberi arahan serta meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Bapak Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain., S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan koreksi dan saran demi kesempurnaan penulisan dan penyusunan laporan Tugas Akhir.
3. Bapak Ir. Tondi Amirsyah Putera., S.T., M.T., selaku dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan koreksi dan saran demi kesempurnaan penulisan dan penyusunan laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Dosen di Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman kepada saya.
8. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Orang tua dan keluarga penulis, yang selalu mendukung dan memberi doa, nasihat, dan kasih sayang kepada penulis.
10. Sahabat Penulis, Nauval Halim, terimakasih karena selalu ada sebagai teman diskusi dan tempat berbagi cerita yang sangat berarti bagi penulis. Persahabatan ini adalah salah satu hal terbaik yang saya miliki.
11. Teman-teman penulis, yang tidak dapat disebut satu persatu, yang telah mendukung untuk dapat menyelesaikan masa studinya bersama-sama.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, September 2026



Muhammad Alwi Alfalah
2207210080

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Peneliti Terdahulu	6
2.2 Perilaku Struktur Gedung Bertingkat Banyak Beban Gempa	11
2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	12
2.4 Analisis Respons Spektrum	12
2.5 Ketentuan Pembebanan Desain untuk Bangunan Gedung Berdasarkan SNI 1727:2020	12
2.5.1 Pembebanan Gravitasi pada Struktur	13
2.5.2 Kombinasi Pembebanan	14
2.6 Ketentuan Pembebanan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019	15

2.6.1 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	16
2.6.2 Klasifikasi Situs	18
2.6.3 Koefisien Situs dan Parameter Respons Gempa Maksimum	19
2.6.4 Parameter Percepatan Spektral Desain	22
2.6.5 Spektrum Respons Desain	22
2.6.6 Menentukan Sistem Struktur	24
2.6.7 Penentuan Perioda	25
2.6.8 Penentuan Simpangan Antar Tingkat	26
2.7 Karakteristik Umum Rekaman Gempa	28
2.7.1 Definisi dan Karakteristik Gempa Dekat (<i>Near-Field Earthquakes</i>)	28
2.7.2 Definisi dan Karakteristik Gempa Jauh (<i>Far-Field Earthquakes</i>)	29
BAB 3 METODE PENELITIAN	30
3.1 Umum	30
3.2 Metode Pengerjaan	30
3.2.1 Studi Literatur	30
3.2.2 Pemilihan Rekaman Gempa	31
3.2.3 Mengubah ke Spektrum Respon Percepatan	33
3.2.4 Penskalaan Spektrum Respon Percepatan	33
3.2.5 Pengumpulan Data Gedung	37
3.2.6 Pemodelan dan Pembebanan Struktur dengan SRPMK	40
3.2.7 Analisa Mengacu pada SNI	44
3.2.8 Evaluasi Simpangan Antar Tingkat	44
3.2.9 Analisa Statistik	44
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Tinjauan Umum	45
4.2 Hasil Analisis Linear	45
4.2.1 Respon Spektrum Ragam	45
4.2.2 Hasil Simpangan Antar Tingkat	46

4.3 Hasil Perbandingan dari RSA Medan dengan 4 Data <i>Ground Motion</i> (DM1, DM2, JM1, JM2)	56
4.4 Analisis Kurva Probabilitas Kerusakan Berdasarkan Intensitas RSA(T1)	58
4.5 Analisis Probabilitas Kondisi Batas <i>Limit State</i> (LS) dan <i>Near Collapse</i> (NC)	62
4.5.1 Analisis Kondisi Batas <i>Ground Motion</i> Dekat	62
4.5.2 <i>Limit State Ground Motion</i> Jauh	68
4.6 Analisis Probabilitas Kerusakan Berdasarkan Gempa Dekat (<i>Near-Field</i>) dan Gempa Jauh (<i>Far-Field</i>)	75
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	90
5.1 Kesimpulan	90
5.2 Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN	95
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	124

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1:	Kombinasi Pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019.	14
Tabel 2.2:	Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung. (Sumber: Tabel 3 SNI 1726:2019).	16
Tabel 2.3:	Faktor Keutamaan Gempa (Sumber: Tabel 4 SNI 1726:2019).	18
Tabel 2.4:	Kelas Situs (Sumber: Tabel 5 SNI 1726:2019).	18
Tabel 2.5:	Koefisien Situs F_a . (Sumber: Tabel 6 SNI 1726:2019).	20
Tabel 2.6:	Koefisien Situs F_v . (Sumber: Tabel 7 SNI 1726:2019).	20
Tabel 2.7:	Faktor R, C_d , dan Ω_0 (Sumber: Tabel 12 SNI 1726:2019).	24
Tabel 2.8:	Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (Sumber: Tabel 17 SNI 1726:2019).	25
Tabel 2.9:	Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (Sumber: Tabel 18 SNI 1726:2019).	26
Tabel 2.10:	Simpangan antar tingkat izin, Δa a, b (Sumber: Tabel 20 SNI 1726:2019).	28
Tabel 3.1:	Data Rekaman Gempa Dekat.	31
Tabel 3.2:	Data Rekaman Gempa Jauh.	32
Tabel 3.3:	Kuat tekan beton yang direncanakan pada balok.	37
Tabel 3.4:	Kuat tekan beton yang direncanakan pada kolom.	37
Tabel 3.5:	Dimensi rencana kolom.	38
Tabel 3.6:	Dimensi rencana balok lantai mezzanine sampai lantai 22.	38
Tabel 3.7:	Dimensi rencana balok lantai 23.	39
Tabel 3.8:	Dimensi rencana pelat lantai.	39
Tabel 3.9:	Pembebanan yang diinputkan pada struktur Apartemen berdasarkan fungsi ruangan (SNI 1727:2020)	42
Tabel 3.10:	Beban rata-rata dan luas kereta maksimal .	42
Tabel 4.1:	Data perioda dan partisipasi massa.	46
Tabel 4.2:	Persentase Tingkat Yang Melebihi <i>Drift Limit</i> , Per GM (Dekat Mode 1)	47
Tabel 4.3:	GM Per Lantai Yang Melewati 0,02, GM (Dekat Mode 1)	48

Tabel 4.4:	Persentase Tingkat Yang Melebihi <i>Drift Limit</i> , Per GM (Dekat Mode 2)	49
Tabel 4.5:	GM Per Lantai Yang Melewati 0,02, GM (Dekat Mode 2)	50
Tabel 4.6:	Persentase Tingkat Yang Melebihi <i>Drift Limit</i> , Per GM (Jauh Mode 1)	52
Tabel 4.7:	GM Per Lantai Yang Melewati 0,02, GM (Jauh Mode 1)	53
Tabel 4.8:	Persentase Tingkat Yang Melebihi <i>Drift Limit</i> , Per GM (Jauh Mode 2)	54
Tabel 4.9:	GM Per Lantai Yang Melewati 0,02, GM (Jauh Mode 2)	55
Tabel 4.10:	Tingkat berisiko pelampauan <i>drift</i> (paling berisiko ke paling aman)	57
Tabel 4.11:	Hasil Analisis Probabilitas Kondisi Batas LS dan NC	74
Tabel 4.12:	Hasil Analisis Probabilitas Kerusakan Gempa Dekat dan Gempa Jauh	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1:	Parameter S_1 periode pendek. (SNI 1726:2019)	21
Gambar 2.2:	Parameter S_S periode 1 detik. (SNI 1726:2019)	21
Gambar 2.3:	Spektrum respons desain. (SNI 1726:2019)	23
Gambar 2.4:	Peta transisi periode panjang. (SNI 1726:2019)	23
Gambar 2.5:	Penentuan simpangan antar tingkat (SNI 1726:2019)	27
Gambar 3.1:	Diagram Alir Penelitian.	30
Gambar 3.2:	Riwayat waktu gempa Imperial Valley-06 yang terekam accelerogram dan gempa hasil simulasi (modifikasi)	33
Gambar 3.3:	Rekaman gempa Imperial Valley-06 setelah diubah menjadi respon	33
Gambar 3.4:	Penskalaan Mode 1 UX Dekat	35
Gambar 3.5:	Penskalaan Mode 1 UY Dekat	35
Gambar 3.6:	Penskalaan Mode 2 UX Dekat	36
Gambar 3.7:	Penskalaan Mode 2 UY Dekat	36
Gambar 3.8:	Pemodelan 3D SRPMK.	41
Gambar 3.9	Respon spektrum Medan, Tanah Lunak (SE).	43
Gambar 4.1:	kurva probabilitas kerusakan (<i>fragility curve</i>), pada gempa dekat mode 1.	59
Gambar 4.2:	kurva probabilitas kerusakan (<i>fragility curve</i>), pada gempa dekat mode 2.	60
Gambar 4.3:	kurva probabilitas kerusakan (<i>fragility curve</i>), pada gempa jauh mode 1.	61
Gambar 4.4:	kurva probabilitas kerusakan (<i>fragility curve</i>), pada gempa jauh mode 2.	62
Gambar 4.5:	Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Hampir Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Dekat arah X, Mode 1	63
Gambar 4.6:	Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Dekat arah Y, Mode 1.	65

Gambar 4.7:	Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Dekat arah X, Mode 2.	66
Gambar 4.8:	Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Hampir Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Dekat arah Y, Mode 2.	67
Gambar 4.9:	Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Jauh arah X, Mode 1.	69
Gambar 4.10:	Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Jauh arah Y, Mode 1.	70
Gambar 4.11:	Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Jauh arah X, Mode 2.	71
Gambar 4.12:	Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Jauh arah Y, Mode 2.	72
Gambar 4.13:	Kondisi Batas IDR=0,02 Mode 1 (Arah X)	76
Gambar 4.14:	Kondisi Batas IDR=0,02 Mode 1 (Arah Y)	78
Gambar 4.15:	Kondisi Batas IDR=0,04 Mode 1 (Arah X)	79
Gambar 4.16:	Kondisi Batas IDR=0,04 Mode 1 (Arah Y)	81
Gambar 4.17:	Kondisi Batas IDR=0,02 Mode 2 (Arah X)	82
Gambar 4.18:	Kondisi Batas IDR=0,02 Mode 2 (Arah Y)	83
Gambar 4.19:	Kondisi Batas IDR=0,04 Mode 2 (Arah X)	85
Gambar 4.20:	Kondisi Batas IDR=0,04 Mode 2 (Arah Y)	87

LAMPIRAN

Lampiran 1. Denah Fungsi Ruang	96
Lampiran 2. Denah struktur (SRPMK).	103
Lampiran 3. Data perioda dan partisipasi massa (SRPMK).	112
Lampiran 4. Hasil Tampilan Simpangan Antar Tingkat dari ETABS	113
Lampiran 5. Hasil Penskalaan dari ETABS	121

DAFTAR NOTASI

δ_x	= Defleksi pusat massa ditingkat x
Cd	= Faktor amplifikasi defleksi
CQC	= <i>Complete Quadratic Combination</i>
C_s	= Koefisien respons seismik
C_u	= Koefisien batasan atas untuk periode yang dihitung
D	= Beban mati dengan analisis elastis
E	= Beban gempa
E_x	= Beban gempa arah x
E_y	= Beban gempa arah y
Fa	= Koefisien situs untuk periode pendek yaitu pada periode 0,2 detik
f_c'	= Mutu beton
F_{FGA}	= koefisien situs untuk PGA
F_u	= Sifat material baja yang menunjukkan tegangan putus
F_v	= Koefisien situs untuk periode seismik pada periode 1 detik
F_y	= Sifat material baja yang menunjukkan tegangan leleh
g	= Gravitasi
h_n	= Ketinggian struktur
I_e	= Faktor keutamaan gempa
L	= Beban hidup
L_r	= Beban hidup atap tereduksi
MCE_R	= gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget
$\bar{N}$	= tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas
$\bar{N}_{ch}$	= tahanan penetrasi standar rata-rata tanah nonkohesif dalam lapisan 30 m paling atas.
PGA	= percepatan muka tanah puncak MCE_G terpeta;
P_u	= Beban total yang bekerja pada kolom
R	= Beban hujan
R	= Faktor modifikasi respon struktur
S	= Beban salju

S_1	= Parameter percepatan respons seismik MCE_R dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen, didefinisikan dalam 0
S_a	= Respon percepatan desain
S_{D1}	= Parameter percepatan respon seismik pada periode 1 detik
S_{DS}	= Parameter percepatan respon seismik pada periode pendek
S_{M1}	= Parameter percepatan respon seismik MCE_R pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{MS}	= Parameter percepatan respon seismik MCE_R pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
SRSS	= <i>Square Root of the Sum of Squares</i>
S_s	= Parameter percepatan respons seismik MCE_R dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen, didefinisikan dalam 0
T	= Periode getar fundamental struktur
T_0	= $0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
T_a	= Periode fundamental pendekatan
T_s	= $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
V	= Gaya geser dasar
V_s	= kecepatan rambat gelombang geser pada regangan geser yang kecil (m/detik)
W	= Beban angin
W	= Berat seismik efektif
δ	= Simpangan antar lantai
δ_a	= Simpangan antar lantai ijin
δ_{xe}	= Defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan
Ω_0	= Faktor kuat lebih sistem
θ	= koefisien stabilitas untuk pengaruh P-Delta
IDR	= Interstory Drift Ratio (rasio simpangan antar tingkat)
RSA	= Respon spektrum analisis
(T1)	= Nilai percepatan spektrum respons pada periode fundamental struktur T1

DAFTAR SINGKATAN

SRPMK	= Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
KDS	= Kategori Desain Seismik
DL	= <i>Dead Load</i>
LL	= <i>Live Load</i>
SIDL	= <i>Superimposed Dead Load</i>
WL	= <i>Wind Load</i>
EL	= <i>Earthquake Load</i>
LR	= <i>Live Roof Load</i>
MCE_R	= <i>Maximum Considered Earthquake Risk-targeted</i>
SCWB	= <i>Strong Column Weak Beam</i>
GM	= Ground Motion
LS	= <i>Life Safety</i>
NC	= <i>Near Collapse</i> (kondisi hampir runtuh)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Medan, sebagai salah satu metropolitan terbesar di Indonesia, berada dalam kawasan yang memiliki potensi gempa yang signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh peta *hazard* gempa Indonesia (SNI 1726:2019) yang menetapkan Kota Medan berada pada zona seismik dengan tingkat risiko tertentu. Kondisi geografis ini menuntut adanya perencanaan dan analisis struktur yang teliti, khususnya untuk gedung bertingkat banyak yang memiliki risiko lebih kompleks ketika terjadi gempa kuat.

Dalam perencanaan struktur tahan gempa, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan sistem yang banyak direkomendasikan karena kemampuannya dalam menyerap dan mendisipasi energi gempa melalui perilaku daktilnya. Kemampuan ini memungkinkan struktur mengalami simpangan yang besar tanpa runtuh secara tiba-tiba, memberikan peringatan dan waktu bagi penghuni untuk menyelamatkan diri.

Analisis struktur secara non-linier (*non-linear time history analysis*) diakui sebagai metode yang paling ideal dan mendekati kondisi nyata untuk memprediksi perilaku struktur, terutama ketika struktur sudah memasuki fase inelastik menjelang runtuh. Metode ini dapat merepresentasikan secara detail kinerja elemen-elemen struktur dari kondisi elastis hingga patah. Namun, dalam praktiknya, analisis non-linier memiliki beberapa kendala yang signifikan. Proses analisisnya memakan waktu yang sangat lama, memerlukan pemahaman teoritis yang mendalam, serta parameter input dan interpretasi hasilnya tergolong kompleks. Akibatnya, metode ini kurang populer dan jarang digunakan dalam dunia praktisi engineering yang seringkali mengutamakan efisiensi waktu dan kemudahan aplikasi.

Oleh karena itu, dalam dunia praktik, analisis respons spektrum linear masih menjadi pilihan utama karena kesederhanaan, kecepatan, dan kemudahannya. Standar desain seperti SNI 1726:2019 juga telah menyediakan respon spektrum desain yang mewakili karakteristik gempa regional. Namun, spektrum desain ini

adalah generalisasi dan mungkin tidak sepenuhnya menangkap karakteristik unik dari berbagai jenis rekaman gempa, seperti perbedaan perilaku antara gempa dekat (near-fault) yang cenderung memiliki pulsa kecepatan tinggi dan gempa jauh (far-fault).

Penelitian ini berusaha menjembatani kesenjangan antara keakuratan analisis non-linier dan kepraktisan analisis linear. Alih-alih menggunakan spektrum desain yang sudah digeneralisir, penelitian ini akan menggunakan data rekaman gempa asli (20 rekaman gempa jauh dan 20 rekaman gempa dekat) yang dikonversi menjadi respon spektrum. Spektrum hasil konversi ini kemudian akan digunakan sebagai pembebanan dalam analisis respons spektrum linear yang sederhana dan cepat.

Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh estimasi perilaku gedung SRPMK bertingkat banyak di Kota Medan khususnya simpangan antar tingkat (*drift*) pada kondisi pembebanan maksimum yang lebih reflektif terhadap variasi karakteristik gempa nyata, namun tetap dilakukan dengan metode yang efisien dan populer di kalangan praktisi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan berharga bagi para perencana struktur dalam mengestimasi kinerja gedung tanpa harus terjebak dalam kompleksitas analisis non-linier.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Bagaimana besarnya simpangan antar tingkat (*story drift*) pada gedung bertingkat banyak dengan sistem SRPMK di Kota Medan, akibat getaran gempa dekat dan gempa jauh?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Untuk mengetahui besarnya simpangan antar tingkat (*story drift*) pada gedung bertingkat banyak dengan sistem SRPMK di Kota Medan, akibat getaran gempa dekat dan gempa jauh.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat praktis bagi para praktisi dan insinyur teknik sipil, khususnya dalam tahap desain awal (*preliminary design*), dengan menyajikan sebuah metode yang lebih efisien namun tetap informatif untuk mengestimasi perilaku dan simpangan gedung SRPMK bertingkat banyak di Kota Medan ketika menghadapi gempa maksimum. Dengan menggunakan analisis respons spektrum linear yang digenerasikan dari rekaman gempa nyata, penelitian ini menawarkan alternatif yang lebih reflektif terhadap variasi karakteristik gempa sebenarnya dibandingkan penggunaan spektrum desain umum, tanpa harus memasuki kompleksitas dan waktu komputasi yang tinggi dari analisis non-linier. Secara keseluruhan, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam meningkatkan kualitas perencanaan struktur tahan gempa yang lebih realistis dan aplikatif di dunia praktis.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menghindari perluasan masalah-masalah yang tidak terkait dengan Tugas Akhir ini, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Struktur bangunan yang direncanakan merupakan
 - a. Struktur sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dengan jumlah 23 lantai utama dan 1 lantai mezzanine yang difungsikan sebagai bangunan apartemen yang berada pada kawasan dengan Kategori Desain Seismik (KDS) D maksimum.
 - b. Jenis tanah dilokasi berdasarkan data situs puskim tanah lunak (SE)
 - c. struktur menggunakan beton bertulang.
- d. Kriteria desain berdasarkan :
 - a. SNI 1726:2019, Struktur bangunan direncanakan menggunakan standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung
 - b. SNI 1727:2020, Pembebanan struktur menggunakan standar pembebanan bangunan gedung dan struktur lain
 - c. SNI 2847:2019. Tata cara perencanaan struktur beton bertulang menggunakan Persyaratan Beton Struktural untuk bangunan Gedung.

- d. SNI 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik.
- e. Analisis menggunakan alat bantu berupa program yaitu :
 - a. PEER NGA untuk mendapatkan rekaman gempa
 - b. SEISMOSIGNAL untuk mengubah ground motion menjadi Respon Spektrum.
 - c. ETABS Versi 22, untuk pemodelan struktur 3D dan perhitungan analisis struktur.
 - d. EXCEL, untuk penskalaan dan analisa statisti
- f. Analisis struktur gedung terhadap beban gempa menggunakan analisis desain response spectra.
- g. Struktur bangunan bawah (basement) 3 lantai tidak termasuk dalam penelitian ini.
- h. Parameter yang ditinjau adalah:
 - a. Simpangan antar tingkat akibat getaran gempa dekat dan gempa jauh, yang dianalisis menggunakan metode respons spektrum linear untuk mensimulasikan kondisi struktur ketika mendekati runtuh akibat pengaruh gempa maksimum.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyesuaikan dengan sistematika yang telah ditetapkan sebelumnya, adapun sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini membahas tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berisikan tentang teori yang berupa pengertian dan landasan teori dari penelitian sebelumnya dan metode metode perhitungan yang digunakan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Dalam bab ini dapat diuraikan mengenai tahapan penelitian, tentang bagaimana penelitian dilaksanakan, teknik pengumpulan data, metode analisis.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini membahas tentang data hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini merupakan penutup yang berisikan tentang kesimpulan dan saran atas hasil penelitian yang sudah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peneliti Terdahulu

Penelitian-penelitian sebelumnya dijadikan sebagai dasar rujukan oleh penulis untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini, sehingga dapat memperluas landasan teori yang digunakan dalam proses pengkajian. Adapun beberapa penelitian terdahulu yang relevan disajikan sebagai acuan dalam penelitian ini.

1. (Harahap dkk., 2019) melakukan penelitian mengenai perilaku dinamik struktur Apartemen Metro Galaxy Park di Bekasi terhadap pengaruh beban gempa. Penelitian ini berfokus pada pemodelan struktur menggunakan ETABS, analisis periode getar, kekakuan tiap lantai, bentuk mode getar (*mode shape*), partisipasi massa, serta perhitungan gaya geser dasar baik secara statik ekuivalen maupun metode respons spektrum. Pemodelan struktur mencakup elemen kolom, balok, pelat, dan *shearwall* berdasarkan gambar perencanaan. Pembebanan yang dianalisis terdiri dari beban mati tambahan dan beban hidup sesuai SNI 1727:2013, sedangkan analisis gempa mengacu pada SNI 1726:2012. Hasil penelitian menunjukkan bahwa periode getar fundamental gedung sebesar 4,281 detik, masih dalam batas aman sesuai SNI. Nilai kekakuan terbesar terjadi pada lantai dasar, baik untuk pembebanan arah X maupun Y. Analisis modal menghasilkan partisipasi massa melampaui 90% pada mode ke-21 (arah X) dan mode ke-24 (arah Y), sesuai syarat SNI 1726:2012. Perhitungan gaya geser dasar memberikan hasil V_{statik} sebesar 23.357,8 kN, sedangkan gaya geser dasar dinamis untuk arah X dan Y masing-masing sebesar 9.788,04 kN dan 10.777,75 kN. Karena nilai ini belum memenuhi batas minimum 85% dari gaya statik ekuivalen, digunakan faktor skala desain sebesar 2,03 untuk arah X dan 1,84 untuk arah Y, sehingga gaya geser dasar dinamis meningkat menjadi sekitar 19.860 kN pada kedua arah.
2. (Candra dkk., 2021) menganalisis ketahanan struktur gedung pendidikan kategori risiko IV terhadap beban gempa sesuai ketentuan SNI 1726:2012. Analisis dilakukan menggunakan metode respons spektrum dengan bantuan

perangkat lunak SAP2000. Beban yang ditinjau meliputi beban mati, beban hidup, beban mati tambahan, dan beban gempa yang dihitung berdasarkan parameter kegempaan wilayah Jimbaran. Fokus analisis meliputi simpangan antar tingkat (*interstory drift*) serta gaya geser dasar (*base shear*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai simpangan antar tingkat pada arah X maupun Y berada di bawah batas maksimum yang diizinkan SNI 1726:2012. Nilai gaya geser dasar struktur juga masih memenuhi syarat regulasi, yaitu sebesar 1175,46 kN pada arah X dan 1224,65 kN pada arah Y. Penelitian ini menyimpulkan bahwa struktur gedung Fakulantaias Pariwisata Universitas Udayana dinilai aman terhadap beban gempa rencana. Selain itu, penelitian ini menegaskan pentingnya pemodelan struktur 3D, penentuan klasifikasi situs, serta penggunaan parameter respons spektrum yang tepat dalam analisis ketahanan gempa bangunan gedung.

3. (Rafsanjani & Kurnia, 2021) menganalisis kekuatan Gedung Asrama Pusdiklat PPATK terhadap gaya gempa menggunakan metode respons spektrum linear. Pemodelan struktur dilakukan di ETABS berdasarkan data shop drawing serta parameter gempa sesuai SNI 1726:2012. Penelitian ini menghitung periode getar, koefisien respons seismik, gaya geser dasar, distribusi gaya gempa vertikal, dan simpangan antar lantai. Hasil pemodelan menunjukkan berat total bangunan sebesar 3.041.822 kg, dengan gaya geser dasar statik sebesar 2.267,08 kN. Analisis dinamik menghasilkan gaya geser 1.775,93 kN pada arah X dan 1.865,28 kN pada arah Y. Karena nilai tersebut belum memenuhi batas minimum 85% dari gaya statik, diterapkan faktor skala koreksi hingga hasil dinamik memenuhi ketentuan SNI. Simpangan antar lantai yang dihasilkan seluruhnya berada di bawah batas izin, yaitu 84 mm, menandakan bangunan berada dalam kondisi aman terhadap beban gempa. Secara keseluruhan, penelitian menyimpulkan bahwa struktur gedung memenuhi persyaratan ketahanan gempa berdasarkan hasil analisis respons spektrum.
4. (Ramadhan dkk., 2024) Penelitian pada proyek Gedung KONI Jakarta Pusat ini menganalisis kinerja struktur bangunan bertingkat menggunakan metode respon spektrum dengan pemodelan struktur melalui software SAP2000. Analisis dilakukan untuk menilai parameter periode getar, perpindahan, simpangan antar

lantai (drift), serta gaya geser dasar sesuai ketentuan SNI 1726:2012. Hasil penelitian menunjukkan bahwa periode getar fundamental bangunan masih berada dalam batas standar SNI, dan nilai simpangan antar lantai berada di bawah batas simpangan izin, sehingga struktur dinilai aman. Gaya geser dasar yang dihasilkan dari analisis dinamik juga memenuhi persyaratan minimum, menunjukkan bahwa distribusi gaya gempa sudah sesuai dengan perilaku struktur. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa struktur Gedung KONI memiliki kinerja seismik yang baik, memenuhi persyaratan ketahanan gempa, serta mampu merespon beban dinamik secara aman berdasarkan metode respon spektrum.

5. (Halawa dkk., 2025) meneliti perilaku kinerja struktur bangunan pada zona gempa 5 dengan membandingkan tiga tipe konfigurasi struktur, yaitu bangunan non-podium, podium sentris, dan podium eksentris. Analisis dilakukan menggunakan metode respon spektrum pada pemodelan 3D di ETABS V18 untuk mengevaluasi gaya geser dasar, simpangan antar tingkat, serta pengaruh P-Delta. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan non-podium menghasilkan gaya geser dasar terbesar (18.463,26 kN), sedangkan bangunan podium sentris dan eksentris memiliki gaya geser yang lebih kecil, yaitu 10.661,57 kN. Pada aspek drift, model podium eksentris memiliki simpangan arah X sebesar 64,405 mm yang melebihi batas izin, sehingga dinilai kurang aman. Sementara itu, model non-podium dan podium sentris masih berada di bawah batas simpangan yang diperbolehkan. Analisis P-Delta pada ketiga model menunjukkan bahwa seluruh struktur masih memenuhi batas stabilitas ($\theta < 0,1$), dengan nilai tertinggi terdapat pada model non-podium (0,0964). Penelitian ini menyimpulkan bahwa struktur podium sentris memiliki kinerja paling stabil, sedangkan podium eksentris perlu perhatian khusus karena rentan terhadap torsi dan simpangan berlebih pada zona gempa tinggi.
6. (Hassan dkk., 2024) Penelitian ini menganalisis perilaku seismik bangunan bertingkat yang memiliki re-entrant corner (sudut cekung/L-shape), karena bentuk tersebut sering menjadi titik lemah struktur akibat konsentrasi tegangan dan torsi yang tinggi saat gempa. Studi dilakukan pada bangunan 10, 12, dan 15 lantai menggunakan *Equivalent Static Analysis* (ESA) dan Response Spectrum

Analysis (RSA) sesuai BNBC 2020, dengan pemodelan melalui ETABS V19. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan dengan re-entrant corner mengalami drift lantai, gaya geser dasar, momen guling, dan perpindahan lateral yang meningkat seiring bertambahnya jumlah lantai dan tingginya zona gempa. ESA cenderung menghasilkan nilai drift, base shear, dan overturning moment yang lebih besar dibanding RSA, namun seluruh nilai masih berada dalam batas aman standar BNBC. Kolom dan balok yang berada di dekat re-entrant corner terbukti sebagai elemen paling kritis, karena menerima axial force, bending moment, torsion, serta kebutuhan tulangan terbesar dibanding elemen lain. Slab pada area re-entrant corner juga menunjukkan tegangan normal tertinggi, sehingga memerlukan perhatian khusus dalam desain. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa ketidakteraturan bentuk bangunan (L-shape) signifikan mempengaruhi respons seismik, dan elemen di sudut cekung harus direncanakan dengan detail lebih kuat untuk menjaga kinerja struktur di berbagai zona gempa.

7. (Mohite & Patil, 2023) meneliti perilaku seismik bangunan G+15 lantai dengan membandingkan dua kondisi struktur, yaitu *fixed base* dan *base isolation* menggunakan *Lead Rubber Bearing* (LRB). Pemodelan dilakukan melalui software ETABS 2016 dengan mengacu pada IS 1893:2002 dan parameter isolator berdasarkan IBC 2000 serta UBC 1997. Analisis respon spektrum digunakan untuk mengevaluasi *displacement*, *drift*, *story force*, *stiffness*, dan periode getar. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan sistem isolasi dasar secara signifikan meningkatkan displacement dan drift, terutama pada lantai pertama, namun mampu mengurangi *story force* hingga 3–10% dibanding *fixed base*. Selain itu, struktur dengan base isolator memiliki *stiffness* lebih rendah dan periode getar yang lebih panjang (5,154 detik), yaitu sekitar 1,31 kali lebih besar dibanding *fixed base*, sehingga beban gempa yang diterima bangunan menjadi lebih kecil. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa base isolation (LRB) efektif dalam mengurangi gaya gempa dan respons internal struktur, meskipun menyebabkan peningkatan simpangan. Perbandingan kedua sistem ini memberikan pemahaman penting terkait kinerja seismik pada bangunan tinggi.

8. (Amrullah dkk., 2019) melakukan perencanaan struktur gedung 38 lantai Apartment 88 Avenue Surabaya menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012. Analisis beban gempa dilakukan dengan metode respons spektrum menggunakan SAP2000, meliputi penentuan kelas situs, periode getar fundamental, partisipasi massa, serta gaya geser dasar. Dari hasil analisis dinamik, gaya geser arah X sebesar 11.977 kN dan arah Y sebesar 11.986 kN, sedangkan gaya geser statik masing-masing 14.105 kN. Struktur memenuhi syarat partisipasi massa dan periode getar ($T = 2,8778$ detik), serta berada pada kategori desain seismik D. Tanah lokasi gedung memiliki klasifikasi SD (tanah sedang) berdasarkan data N-SPT. Perencanaan elemen struktur meliputi balok, kolom, pelat, tangga, balok anak, dan pondasi bore pile. Hasil akhir menunjukkan dimensi balok induk bervariasi antara 25/50 cm hingga 35/70 cm, pelat 14 cm, kolom bertahap dari 70×70 cm hingga 190×190 cm, serta pondasi bore pile diameter 100 cm kedalaman 30 m. Secara keseluruhan, struktur gedung 38 lantai yang direncanakan dengan SRPMK dinilai memenuhi ketentuan keamanan gempa sesuai standar nasional.
9. (Simanjuntak & Meilawaty, 2024) menganalisis perilaku struktur rumah dengan metode RISHA dan RIKO terhadap beban gempa dinamik menggunakan analisis respon spektrum berbasis SNI 1726:2019. Pemodelan dilakukan pada ETABS untuk mengevaluasi gaya geser dasar, perpindahan (*displacement*), dan simpangan lantai (*story drift*). Hasil analisis menunjukkan bahwa rumah metode RISHA memiliki gaya geser dasar lebih besar (376,94 kN) dibanding rumah metode RIKO (294,90 kN), karena berat struktur RISHA lebih besar. Nilai perpindahan RISHA relatif kecil (3,639 mm arah X dan 2,791 mm arah Y), sedangkan rumah metode RIKO mengalami perpindahan jauh lebih besar (21,741 mm arah X dan 21,976 mm arah Y), menandakan kekakuan RISHA lebih baik. Simpangan lantai menunjukkan bahwa metode RISHA memenuhi batas drift ($\Delta < 60$ mm), sedangkan metode RIKO tidak memenuhi karena simpangan yang terjadi melebihi batas izin. Hal ini menunjukkan bahwa rumah metode RIKO berpotensi mengalami kegagalan struktur apabila menerima beban gempa signifikan, sehingga diperlukan peningkatan dimensi elemen strukturnya.

10. (Shaik, 2019) menganalisis perilaku bangunan bertingkat menggunakan metode Response Spectrum berdasarkan standar IS 1893 (Part 1)–2002. Tujuan utama penelitian ini adalah mengevaluasi respons struktur gedung 12 lantai terhadap beban gempa pada beberapa zona seismik yang berbeda di India. Pemodelan struktur dilakukan dengan ETABS, di mana peneliti membandingkan pengaruh variasi *zone factor* terhadap besarnya *base shear*, perpindahan antar lantai (*storey displacement*), *drift*, serta momen guling (*overturning moment*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *base shear* meningkat seiring tingginya percepatan seismik. Struktur yang lebih kaku menghasilkan perpindahan yang lebih kecil, sedangkan struktur fleksibel mengalami perpindahan lebih besar. Penelitian ini juga menegaskan pentingnya batasan *storey drift* dalam desain elemen non-struktural seperti dinding, karena drift yang berlebihan dapat menimbulkan kerusakan. Selain itu, gaya lateral akibat gempa menyebabkan momen guling yang harus diantisipasi agar stabilitas bangunan tetap terjaga, terutama pada struktur bertingkat tinggi. Secara keseluruhan, studi ini memberikan gambaran mengenai perilaku dinamis bangunan tinggi terhadap gempa pada berbagai zona seismik, serta menekankan pentingnya penggunaan metode respons spektrum untuk memperoleh desain struktur yang aman dan efisien.

2.2 Perilaku Struktur Gedung Bertingkat Banyak Beban Gempa

Gempa bumi menghasilkan gaya inersia pada struktur gedung akibat getaran tanah. Pada gedung bertingkat banyak, respons struktur terhadap getaran ini menjadi kompleks karena efek mode yang berpartisipasi. Kinerja struktur gedung selama gempa ditentukan oleh kekuatan, kekakuan, dan daktilitasnya. Sistem SRPMK dirancang untuk memiliki daktilitas tinggi, yang memungkinkan struktur mengalami deformasi inelastis yang signifikan (melewati batas elastis) tanpa kehilangan kemampuan memikul beban vertikal, sehingga mencegah keruntuhan secara tiba-tiba.

2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

SRPMK adalah sistem struktur yang dirancang untuk menahan beban gempa melalui bagian-bagiannya yang memiliki daktilitas dan kapasitas daktil yang tinggi. Prinsip utama desain SRPMK adalah SCWB (*strong column-weak beam*), dimana balok didesain untuk mengalami leleh terlebih dahulu sebelum kolom, membentuk *plastic hinge* pada ujung-ujung balok. Hal ini menjamin terbentuknya mekanisme *collapse* yang terkontrol. Persyaratan detail penulangan pada daerah *joint* dan ujung balok serta kolom sangat ketat untuk memastikan kemampuan rotasi inelastis yang memadai.

2.4 Analisis Respons Spektrum

Analisis respon spektrum adalah metode analisis struktur bangunan dengan menggunakan spektrum gempa yang digambarkan dalam bentuk kurva hubungan antara periode struktur bangunan dengan nilai percepatan bangunan itu sendiri ketika terkena beban gempa. (Satria, 2022). Metode ini menggunakan spektrum respons, yaitu grafik yang menunjukkan respons maksimum (seperti percepatan, kecepatan, atau perpindahan) dari suatu struktur berderajat kebebasan tunggal terhadap berbagai periode getar, akibat suatu gerakan tanah tertentu.

2.5 Ketentuan Pembebanan Desain untuk Bangunan Gedung Berdasarkan SNI 1727:2020

Dalam perencanaan bangunan, penentuan beban merupakan langkah penting untuk memastikan bahwa struktur mampu menahan gaya-gaya yang bekerja selama masa layanannya. Ketentuan mengenai beban desain minimum untuk bangunan gedung diatur dalam standar nasional, seperti SNI 1727:2020, yang mencakup berbagai jenis beban seperti beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Standar ini juga memberikan aturan mengenai kombinasi beban yang harus digunakan dalam analisis struktur.

Selain menentukan besar beban, standar ini juga menjelaskan persyaratan kinerja bangunan agar tetap aman dan stabil, baik terhadap beban sehari-hari maupun beban ekstrem seperti gempa bumi. Dengan mengikuti ketentuan

pembebanan yang berlaku, analisis struktur dapat dilakukan secara tepat sehingga bangunan dapat dirancang dengan tingkat keamanan yang memadai dan sesuai peraturan yang berlaku.

2.5.1 Pembebanan Gravitasi pada Struktur

Dalam analisis struktur gedung apartemen ini, penerapan beban gravitasi mengacu pada SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jenis beban gravitasi yang diperhitungkan mencakup beban mati struktur (*dead load*), beban mati tambahan (*super dead load*), beban hidup (*live load*), serta beban yang bekerja pada area atap.

1. Beban Mati

Menurut SNI 1727-2020 Pasal 3.1.1. Defenisi Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material.

Perhitungan beban mati pada model struktur dilakukan secara otomatis oleh program ETABS dengan mengacu pada berat jenis beton bertulang sebesar 24 kN/m³.

2. Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 4.1. beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Beban hidup pada perencanaan bangunan gedung dan struktur lainnya harus mewakili beban terbesar yang mungkin timbul dari aktivitas serta penggunaan ruang, namun nilainya tidak boleh lebih rendah dari batas minimum beban merata yang telah ditentukan pada Tabel 4.3-1.

3. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah beban tetap yang berasal dari komponen bangunan selain dari berat struktur utama seperti kolom, balok, dan pelat. Beban ini

mencakup seluruh elemen yang menempel pada struktur dan menambah massa bangunan, tetapi tidak dihitung sebagai bagian dari elemen struktural utama.

Dengan memasukkan beban mati tambahan dalam analisis struktur, perhitungan menjadi lebih realistis dan sesuai standar keselamatan yang berlaku sehingga gedung memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap beban gravitasi dan beban gempa.

2.5.2 Kombinasi Pembebanan

Dalam proses perencanaan struktur pada Gedung Apartemen, penetapan kombinasi beban menjadi tahapan penting untuk memastikan struktur memiliki tingkat keamanan dan kinerja yang optimal selama masa penggunaannya. Tahap ini mencakup peninjauan berbagai jenis beban yang bekerja secara bersamaan, seperti beban mati (DL), beban hidup (LL), beban gempa (EL) yang mengacu pada SNI 1726:2019, serta beban angin (WL), termasuk pula pertimbangan tambahan terhadap beban hujan maupun beban air bila diperlukan. Tujuan dari penyusunan kombinasi beban ini adalah menentukan kondisi pembebanan yang paling kritis pada setiap elemen struktur baik pelat, balok, maupun kolom sehingga kapasitas ulantaiimit elemen yang direncanakan mampu menahan kemungkinan beban terberat yang terjadi sesuai standar perencanaan yang berlaku. Nilai rho digunakan sebesar 1,3 berdasarkan hasil pemeriksaan redundansi. Adapun kombinasi beban yang diterapkan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1: Kombinasi Pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019.

Nomor		DL	SIDL	LL	L _r	R	W _x	W _y	E _x	E _y
1	1.1	1.4	1.4							
2	2.1	1.2	1.2	1.6	0.5					
	2.2	1.2	1.2	1.6		0.5				
3	3.1	1.2	1.2	1	1.6					
	3.2	1.2	1.2		1.6		0.5			
	3.3	1.2	1.2		1.6			0.5		
	3.4	1.2	1.2		1.6		0.375	0.375		
	3.5	1.2	1.2	1		1.6				
	3.6	1.2	1.2			1.6	0.5			
	3.7	1.2	1.2			1.6		0.5		
	3.8	1.2	1.2			1.6	0.375	0.375		
4	4.1	1.2	1.2	1	0.5		1			

Tabel 2.1: *Lanjutan*

	4.2	1.2	1.2	1	0.5			1		
	4.5	1.2	1.2	1	0.5		0.75	0.75		
	4.3	1.2	1.2	1		0.5	1			
	4.4	1.2	1.2	1		0.5		1		
	4.6	1.2	1.2	1		0.5	0.75	0.75		
5	5.1	0.9	0.9				1			
	5.2	0.9	0.9					1		
	5.3	0.9	0.9				0.75	0.75		
6	6.1	1.3269	1.3269	1					1.3	0.39
	6.2	1.3269	1.3269	1					1.3	-0.39
	6.3	1.3269	1.3269	1					-1.3	0.39
	6.4	1.3269	1.3269	1					-1.3	-0.39
	6.5	1.3269	1.3269	1					0.39	1.3
	6.6	1.3269	1.3269	1					-0.39	1.3
	6.7	1.3269	1.3269	1					0.39	-1.3
	6.8	1.3269	1.3269	1					-0.39	-1.3
7	7.1	0.7731	0.7731						1.3	0.39
	7.2	0.7731	0.7731						1.3	-0.39
	7.3	0.7731	0.7731						-1.3	0.39
	7.4	0.7731	0.7731						-1.3	-0.39
	7.5	0.7731	0.7731						0.39	1.3
	7.6	0.7731	0.7731						-0.39	1.3
	7.7	0.7731	0.7731						0.39	-1.3
	7.8	0.7731	0.7731						-0.39	-1.3

Keterangan :

- D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap
- E = Beban gempa
- L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan
- L_r = Beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak
- R = Beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air

2.6 Ketentuan Pembebanan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

Beban gempa pada bangunan di Indonesia diatur dalam SNI 1726:2019 yang memuat ketentuan perencanaan struktur tahan gempa. Standar ini mengatur cara

menentukan gaya gempa rencana berdasarkan tingkat risiko bangunan, kategori situs, serta kondisi kegempaan wilayah. Beban gempa dapat ditentukan melalui analisis statik ekuivalen atau analisis dinamik, seperti metode respons spektrum. Selain itu, SNI ini juga memberikan kriteria penting seperti penentuan simpangan antar tingkat, ketentuan ketidakberaturan struktur, serta faktor-faktor reduksi gempa yang digunakan untuk memastikan bangunan memiliki kinerja yang baik saat terjadi gempa, terutama dalam mencegah keruntuhan dan meminimalkan korban.

2.6.1 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai dengan Tabel 2.2 kemudian harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (I_e) menurut Tabel 2.3.

Tabel 2.2: Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung. (Sumber: Tabel 3 SNI 1726:2019).

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, perternakan, 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, II, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion	III

Tabel 2.2: *Lanjutan*

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam 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 nongedung 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 di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
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, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - 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 atau struktur pendukung air atau material atau	IV

Tabel 2.2: *Lanjutan*

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

Tabel 2.3: Faktor Keutamaan Gempa (Sumber: Tabel 4 SNI 1726:2019).

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

2.6.2 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs merupakan proses pengelompokan kondisi tanah di suatu lokasi berdasarkan karakteristik geoteknik yang berpengaruh terhadap respons seismik. SNI 1726:2019 menetapkan bahwa kondisi tanah memiliki peran penting dalam menentukan besarnya percepatan gempa yang diterima struktur, sehingga analisis klasifikasi situs menjadi tahap awal yang wajib dilakukan dalam perencanaan ketahanan gempa.

Dalam SNI 1726:2019 Pasal 5.1, klasifikasi situs ditentukan terutama berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser rata-rata hingga kedalaman 30 meter (V_{s30}), serta dapat pula mempertimbangkan nilai N-SPT rata-rata dan *undrained shear strength* (S_u) pada tanah kohesif. Standar ini mengelompokkan kondisi tanah ke dalam beberapa kelas situs mulai dari batuan keras hingga tanah sangat lunak yang masing-masing memiliki faktor amplifikasi respons gempa yang berbeda.

Tabel 2.4: Kelas Situs (Sumber: Tabel 5 SNI 1726:2019).

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/s)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750-1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350-750	>50	≥ 100

Tabel 2.4: *Lanjutan*

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/s)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SD (tanah sedang)	175-350	15-50	50-100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat Geser nilarir $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	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 $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$).		
	Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

2.6.3 Koefisien Situs dan Parameter Respons Gempa Maksimum

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 1726:2019 Pasal 6.2, penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah memerlukan pertimbangan faktor amplifikasi seismik pada dua periode waktu yang berbeda, yaitu 0,2 detik dan 1 detik. Amplifikasi tersebut direpresentasikan oleh dua koefisien situs, yaitu faktor (F_a) untuk getaran periode pendek dan faktor (F_v) untuk getaran pada periode 1 detik. Nilai dari kedua faktor amplifikasi ini dapat mengacu pada Tabel 2.5 untuk (F_a) dan Tabel 2.6 untuk (F_v). Selanjutnya, parameter respons spektral percepatan yang telah disesuaikan dengan klasifikasi situs, yaitu (S_{MS}) untuk periode pendek dan (S_{M1}) untuk periode 1 detik, dihitung menggunakan Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.1)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.2)$$

Dimana:

S_{MS} = Parameter percepatan respon spektral MCE_R pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

S_{M1} = Parameter percepatan respon spektral MCE_R pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek dilihat pada Gambar 2.2

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik dilihat pada Gambar 2.3

Tabel 2.5: Koefisien Situs F_a . (Sumber: Tabel 6 SNI 1726:2019).

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget MCE_R terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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:

- Untuk nilai nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisa respons situs-spesifikasi

Tabel 2.6: Koefisien Situs F_v . (Sumber: Tabel 7 SNI 1726:2019).

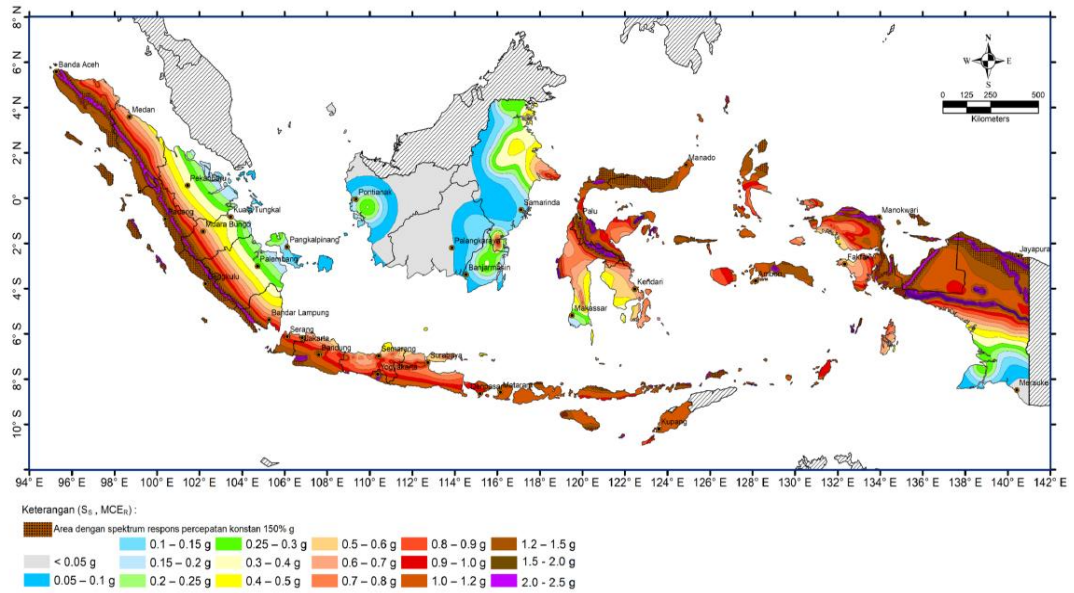
Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	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:

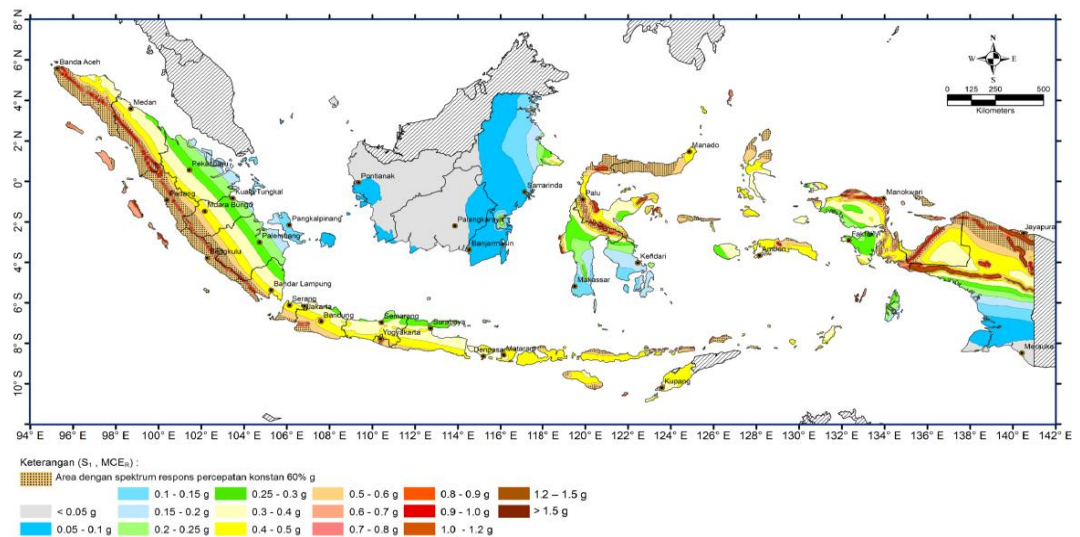
- Untuk nilai nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier

- b. SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisa respons situs-spesifikasi.

Untuk menentukan nilai S_5 dan S_1 sebagai parameter pergerakan tanah bisa dilihat pada gambar 2.1 dan



Gambar 2.1: Parameter S_1 periode pendek. (SNI 1726:2019)



Gambar 2.2: Parameter S_5 periode 1 detik. (SNI 1726:2019)

2.6.4 Parameter Percepatan Spektral Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.3 untuk menentukan parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.4.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

Dimana:

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektral pada perioda pendek

S_{D1} = Parameter percepatan respon spektral pada perioda 1 detik

2.6.5 Spektrum Respons Desain

Berikut adalah ketentuan dalam spektrum respons desain berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.4 sebagai berikut.

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan 2.5.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.5)$$

2. Untuk periode lebih besar dari 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 2.6.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.6)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan 2.7.

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (2.7)$$

Dengan begitu, nilai dari T_0 dapat kita hitung menggunakan Persamaan 2.8 dan nilai T_s menggunakan Persamaan 2.9.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$

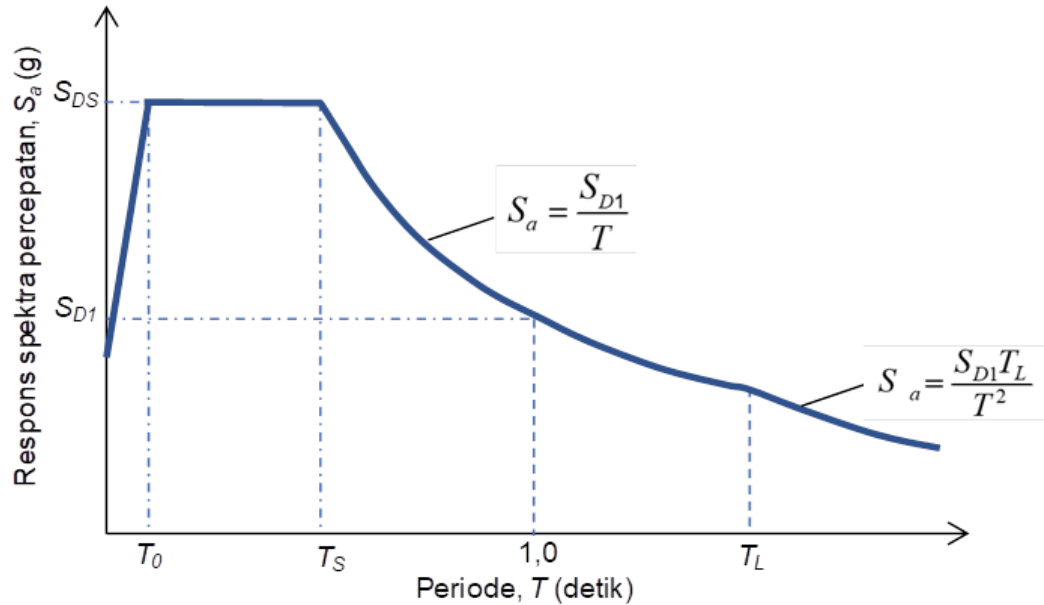
Dimana :

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektral pada perioda pendek

S_{D1} = Parameter percepatan respon spektral pada perioda 1 detik

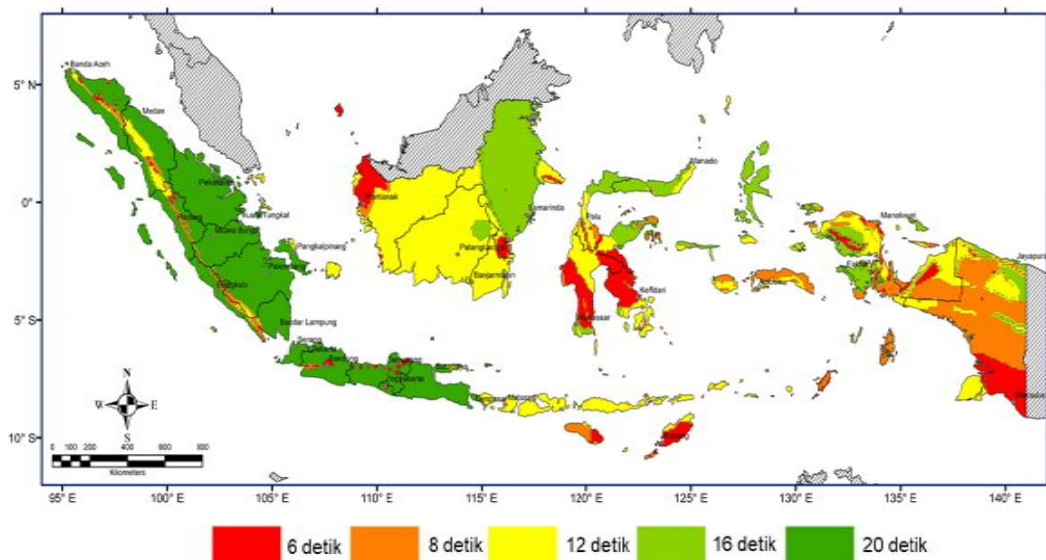
T = Periode getar fundamental struktur

T_L = Transisi periode panjang.



Gambar 2.3: Spektrum respons desain. (SNI 1726:2019)

Kemudian untuk mendapatkan nilai T_L , dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4: Peta transisi periode panjang. (SNI 1726:2019)

2.6.6 Menentukan Sistem Struktur

Struktur diperbolehkan memakai sistem yang tidak sama untuk memikul beban gempa pada setiap arah sumbu utamanya. Apabila diterapkan sistem yang berbeda ini, maka setiap sistem harus menggunakan nilai-nilai faktor modifikasi respons (R), faktor amplifikasi simpangan (C_d), dan (Ω_0) dengan tetap mengacu pada seluruh batasan ketentuan sistem struktur yang tercantum dalam Tabel 2.7.

Tabel 2.7: Faktor R , C_d , dan Ω_0 (Sumber: Tabel 12 SNI 1726:2019).

Sistem pemikul-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_a^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI'	TI'	TI'
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen Khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 2.7: *Lanjutan*

Sistem pemikul-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_a^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen Biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

Keterangan : TB = Tidak Dibatasi, TI = Tidak Diijinkan

2.6.7 Penentuan Periode

Periode getar struktur merupakan properti yang sangat penting untuk diketahui dalam proses perancangan struktur, khususnya dalam struktur bangunan tahan gempa. Periode getar struktur menentukan besarnya beban gempa yang akan diaplikasikan dalam perancangan struktur. Selain itu periode getar struktur disebut juga properti dinamik dari suatu struktur. Periode getar (T) adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya. (Sinuraya, 2025)

Tabel 2.8: Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (Sumber: Tabel 17 SNI 1726:2019).

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4

Tabel 2.8: *Lanjutan*

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefitsien C_u
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

2.6.7.1 Periode Fundamental pendekatan

Perioda fundamental pendekatan (T_a) dalam detik, harus ditentukan dari Persamaan 2.10 sebagai berikut.

$$T_a = C_t x h_n^x \quad (2.10)$$

Keterangan :

h_n = Ketinggian struktur dalam satuan meter

C_t = Dari tabel koefisien parameter periode pendekatan

X = Dari tabel koefisien parameter periode pendekatan

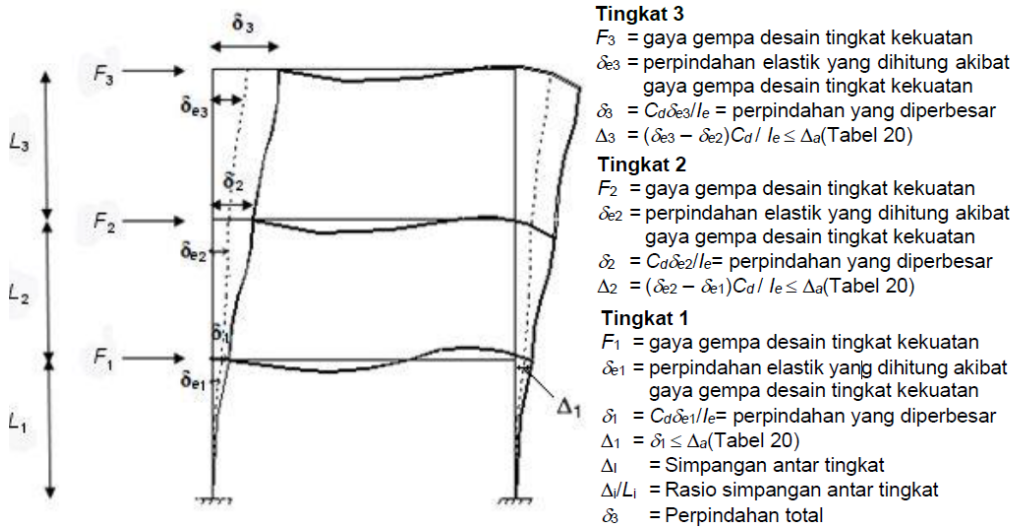
Tabel 2.9: Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (Sumber: Tabel 18 SNI 1726:2019).

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 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:		
• 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 bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

2.6.8 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Ketentuan mengenai penentuan dan batas toleransi simpangan antar lantai diatur dalam Pasal 7.8.6 SNI 1726:2019. Besarnya simpangan (Δ) harus dihitung berdasarkan selisih antara perpindahan pusat massa lantai atas dan pusat massa lantai bawah pada tingkat yang ditinjau. Apabila posisi pusat massa antara dua lantai tidak segaris secara vertikal, perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan proyeksi vertikal dari pusat massa lantai atas terhadap dasar tingkat

yang dianalisis. Dalam metode desain tegangan ijin, nilai (Δ) harus ditentukan dengan menggunakan beban seismik rencana penuh, tanpa menerapkan faktor reduksi yang biasa digunakan dalam perhitungan tegangan ijin.



Gambar 2.5: Penentuan simpangan antar tingkat (SNI 1726:2019)

Penentuan simpangan lantai atau *story drift* desain harus dihitung sebagai selisih terbesar dari titik-titik diatas dan dibawah tingkat di sepanjang salah satu bagian tepi struktur. Defleksi pusat massa ditingkat-x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 2.11.

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.11)$$

Keterangan:

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = simpangan yang disyaratkan dan ditentukan dengan analisis elastik

I_e = faktor keutamaan gempa

Simpangan antar lantai (Δ) berdasarkan pasal 7.12.1 tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin Δ_a seperti ditetapkan pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10: Simpangan antar tingkat izin, $\Delta_a^{a,b}$ (Sumber: Tabel 20 SNI 1726:2019).

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.	$0,025h_{sx}^c$	$0,02h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
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	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

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

2.7 Karakteristik Umum Rekaman Gempa

Rekaman gerakan tanah (*ground motion*) merupakan data fundamental dalam analisis dinamik struktur. Rekaman ini merepresentasikan percepatan, kecepatan, dan perpindahan tanah di suatu lokasi akibat kejadian gempa. Karakteristik rekaman gempa sangat dipengaruhi oleh mekanisme sumber gempa, jarak antara sumber gempa dan lokasi, serta kondisi geoteknik setempat.

2.7.1 Definisi dan Karakteristik Gempa Dekat (*Near-Field Earthquakes*)

Gempa dekat didefinisikan sebagai gempa yang terjadi pada jarak relatif dekat dari sumber gempa (patahan), umumnya dalam rentang kurang dari 30 km.

2.7.1.1 Karakteristik Rekaman Gempa Jauh meliputi:

Adapun karakteristik pada gempa jauh yaitu :

1. Kandungan Frekuensi yang Lebih Teratur: Getaran tanah cenderung memiliki variasi frekuensi yang lebih merata.
2. Durasi Getaran yang Lebih Panjang: Energi gempa dilepaskan dalam durasi yang lebih lama.
3. Amplitudo yang Lebih Kecil: Amplitudo percepatan dan kecepatan tanah maksimum umumnya lebih rendah dibandingkan dengan gempa dekat.
4. Tidak adanya atau lemahnya Pulsa Kecepatan: Efek fling step dan direktivitas sudah sangat melemah.

2.7.2 Definisi dan Karakteristik Gempa Jauh (*Far-Field Earthquakes*)

Gempa jauh adalah gempa yang sumbernya berada pada jarak lebih dari 30 km dari lokasi pengamatan. Pada jarak ini, gelombang gempa telah mengalami atenuasi (pelemahan) dan filantairasi oleh medium batuan yang dilaluinya.

2.7.2.1 Karakteristik Rekaman Gempa Dekat meliputi:

Rekaman gempa dekat memiliki karakteristik yang unik dan lebih destruktif, yang utamanya disebabkan oleh dua fenomena:

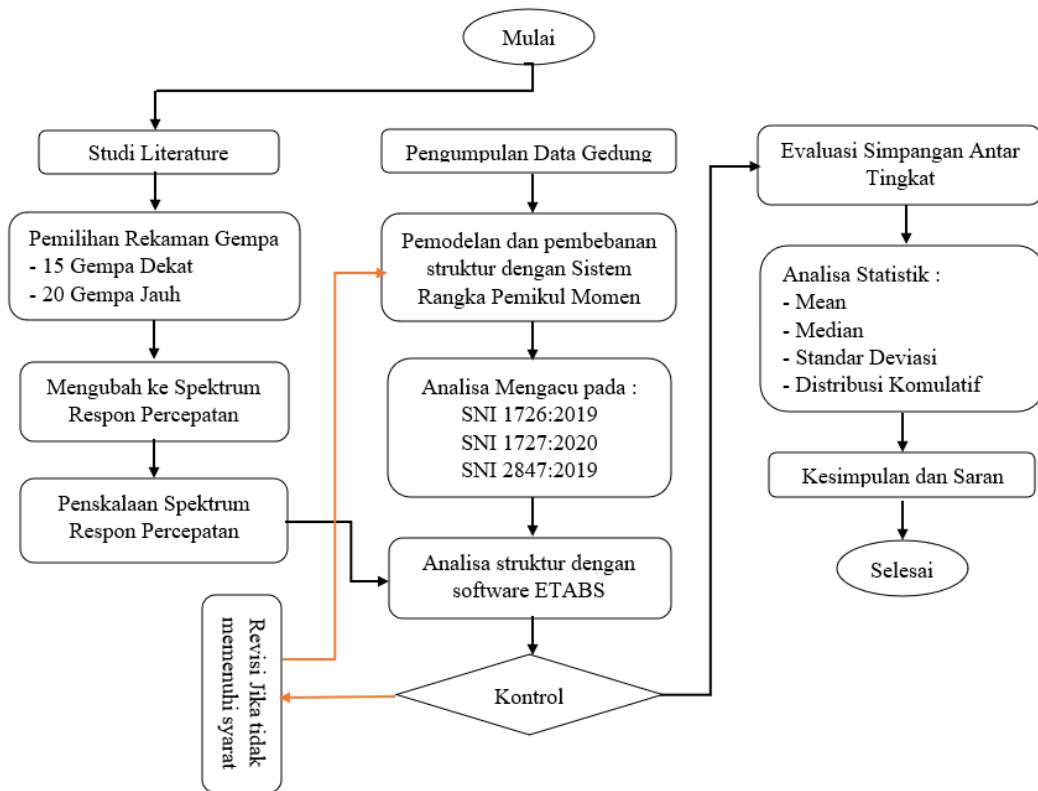
1. *Fling Step* (Permanent Displacement): Merupakan perpindahan tanah secara permanen yang diakibatkan oleh pergeseran patahan. Fenomena ini menghasilkan pulsa kecepatan (*velocity pulse*) yang besar dan berdurasi pendek pada rekaman.
2. *Directivity Effect* (Efek Direktivitas): Terjadi ketika perambatan ruptur patahan mengarah langsung ke lokasi pengamatan. Efek ini menyebabkan energi gempa terkonsentrasi dan tiba dalam satu pulsa besar yang dominan, biasanya pada awal rekaman.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Berikut Metode pelaksanaan tugas akhir ini disusun melalui beberapa tahapan sebagai berikut:



Gambar 3.1: Diagram Alir Penelitian.

3.2 Metode Pengerjaan

Dari diagram alur di atas dapat dijelaskan metode pekerjaan yang akan di pakai dalam menyusun tugas akhir ini.

3.2.1 Studi Literatur

Studi Literatur yang dilakukan menggunakan beberapa buku pustaka mengenai perancangan struktur gedung secara umum, studi literatur dilakukan

untuk memilih dasar dasar teori dalam pelaksanaan tugas akhir. Untuk judul-judul referensi yang dipakai dapat dilihat pada daftar pustaka.

3.2.2 Pemilihan Rekaman Gempa

Data rekaman gerakan tanah (*ground motion*) yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari *Pacific Earthquake Engineering Research Center* (PEER) *Ground Motion Database*, khususnya dari NGA-West2. Rekaman gempa dipilih untuk merepresentasikan karakteristik getaran gempa yang berpotensi memberikan respons terhadap struktur gedung bertingkat banyak dengan sistem Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) di Kota Medan. Data rekaman yang dipilih berupa rekaman percepatan tanah (*ground motion*) yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pembentukan respons spektrum dan proses penskalaan sebelum diterapkan pada analisis struktur.

Dalam penelitian ini, rekaman gempa dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu 15 rekaman *near-fault* dan 20 rekaman *far-fault*. Rekaman *near-fault* digunakan untuk merepresentasikan kondisi gempa yang berasal dari sumber relatif dekat dengan lokasi pencatatan, sedangkan rekaman *far-fault* digunakan untuk merepresentasikan kondisi gempa dengan sumber yang relatif lebih jauh. Pengelompokan ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan respons struktur akibat karakteristik rekaman gempa yang berbeda.

Tabel 3.1: Data Rekaman Gempa Dekat.

GROUND MOTION	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun	Magnitude
1	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #3	6.53
2	Imperial Valley-07	1979	El Centro Array #3	5.01
3	Chi-Chi Taiwan	1999	CHY047	7.62
4	Whittier Narrows-02	1987	Carson - Water St	5.27
5	Tottori Japan	2000	SMN002	6.61
6	Tottori Japan	2000	TTR008	6.61
7	Parkfield-02_ CA	2004	Parkfield - Cholame 2WA	6.0
8	Niigata Japan	2004	NIG014	6.63
9	Chuetsu-oki Japan	2007	NIG013	6.8

Tabel 3.1: *Lanjutan*

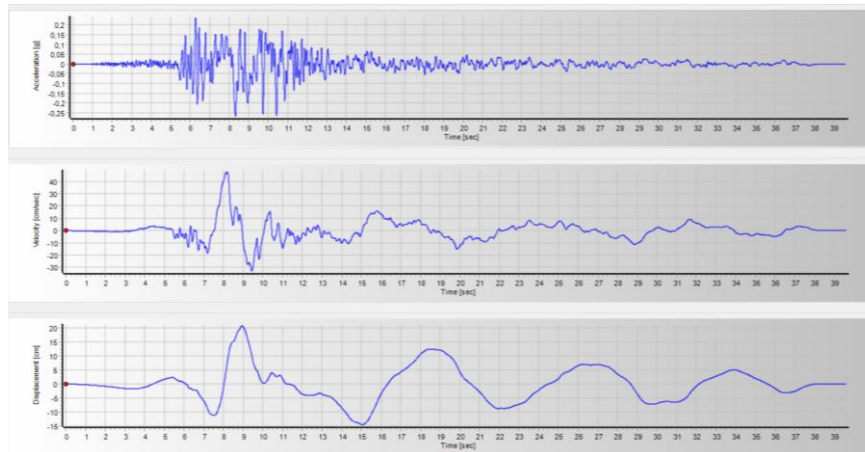
GROUND MOTION	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun	Magnitude
10	Chuetsu-oki Japan	2007	NIG014	6.8
11	Chuetsu-oki Japan	2007	NIG025	6.8
12	Darfield_ New Zealand	2010	Christchurch Resthaven	7.0
13	Christchurch_ New Zealand	2011	Christchurch Resthaven	6.2
14	Whittier Narrows-01	1987	Carson - Water St	5.99
15	Iwate Japan	2008	MYG006	6.9

Tabel 3.2: Data Rekaman Gempa Jauh.

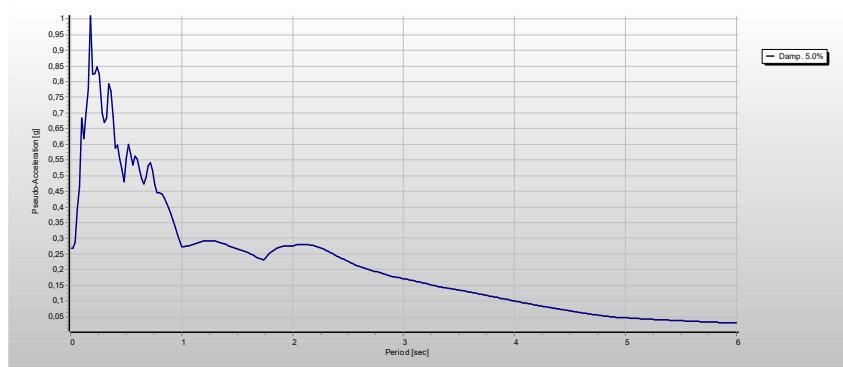
GROUND MOTION	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun	Magnitude
1	Coalinga-01	1983	Parkfield - Cholame 2WA	6.36
2	Morgan Hill	1984	Foster City - APEEL 1	6.19
3	Loma Prieta	1989	APEEL 2 - Redwood City	6.93
4	Loma Prieta	1989	Foster City - APEEL 1	6.93
5	Loma Prieta	1989	Foster City - Menhaden Court	6.93
6	Northridge-01	1994	Carson - Water St	6.69
7	Kocaeli Turkey	1999	Ambarli	7.51
8	Chi-Chi Taiwan	1999	CHY054	7.62
9	Chi-Chi Taiwan	1999	ILA004	7.62
10	Chi-Chi Taiwan	1999	KAU011	7.62
11	Chi-Chi Taiwan-04	1999	CHY054	6.2
12	Chi-Chi Taiwan-04	1999	CHY076	6.2
13	Chi-Chi Taiwan-04	1999	CHY078	6.2
14	Chi-Chi Taiwan-04	1999	KAU045	6.2
15	Tottori Japan	2000	TTR005	6.61
16	Niigata Japan	2004	FKS020	6.63
17	El Mayor-Cucapah_ Mexico	2010	El Centro Array #3	7.2
18	Tottori Japan	2000	HRS013	6.61
19	Tottori Japan	2000	HRS018	6.61
20	Tottori Japan	2000	KYT002	6.61

3.2.3 Mengubah ke Spektrum Respon Percepatan

Data percepatan tanah hasil pemilihan dari PEER dimasukkan ke dalam *SeismoSignal* berdasarkan nilai percepatan dan interval waktu pencatatannya. kemudian diproses untuk menghasilkan Spektrum Respons Percepatan masing-masing, yang akan digunakan sebagai input beban dinamik dalam analisis linear.



Gambar 3.2: Riwayat waktu gempa Imperial Valley-06 yang terekam accelerogram dan gempa hasil simulasi (modifikasi)



Gambar 3.3: Rekaman gempa Imperial Valley-06 setelah diubah menjadi respon spektrum.

3.2.4 Penskalaan Spektrum Respon Percepatan

Penskalaan rekaman gempa dilakukan untuk menyesuaikan tingkat intensitas rekaman *ground motion* terhadap tingkat bahaya gempa yang digunakan dalam perencanaan struktur. Proses ini dilakukan karena setiap rekaman gempa yang diperoleh dari PEER memiliki karakteristik amplitudo dan kandungan

frekuensi yang berbeda, sehingga diperlukan penyesuaian agar dapat digunakan dalam analisis struktur sesuai dengan kondisi gempa rencana.

Dalam penelitian ini, proses penskalaan dilakukan dengan membandingkan respons spektrum masing-masing rekaman gempa terhadap spektrum target yang digunakan untuk kondisi Kota Medan berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019. Spektrum target digunakan sebagai acuan untuk menentukan besarnya faktor skala yang diberikan pada masing-masing rekaman.

Proses penskalaan dilakukan terhadap seluruh rekaman gempa, baik itu dari rekaman *near-fault* maupun *far-fault*. Faktor skala ditentukan berdasarkan perbandingan antara respons spektrum target dengan respons spektrum rekaman pada rentang periode yang digunakan dalam evaluasi. Rekaman gempa dari PEER memiliki karakteristik amplitudo yang berbeda-beda. Karena itu, rekaman tersebut tidak langsung digunakan begitu saja. Rekaman perlu diskalakan agar tingkat percepatannya sesuai dengan spektrum target yang digunakan dalam penelitian.

Secara umum, faktor skala dapat dinyatakan sebagai:

$$SF = \frac{S_{a,target}}{S_{a,record}} \quad (3.1)$$

Rumus ini digunakan untuk mengetahui berapa kali amplitudo rekaman gempa harus diperbesar atau diperkecil.

Dimana :

- SF : Faktor skala
 $S_{a,target}$: percepatan spektral pada spektrum target
 $S_{a,record}$: percepatan spektral pada spektrum rekaman.

Setelah dikalikan faktor skala:

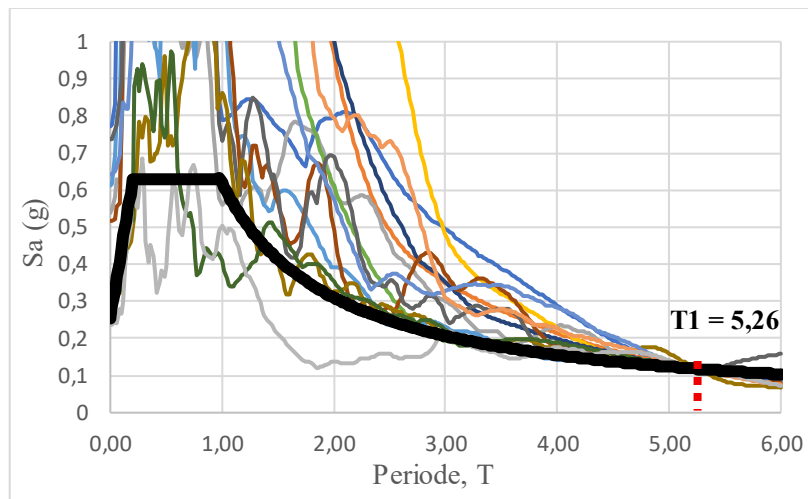
$$S_{a,scaled} = SF \times S_{a,rekaman} \quad (3.2)$$

maka spektrum rekaman yang telah diskalakan diharapkan mendekati spektrum target pada rentang periode yang dijadikan dasar penskalaan.

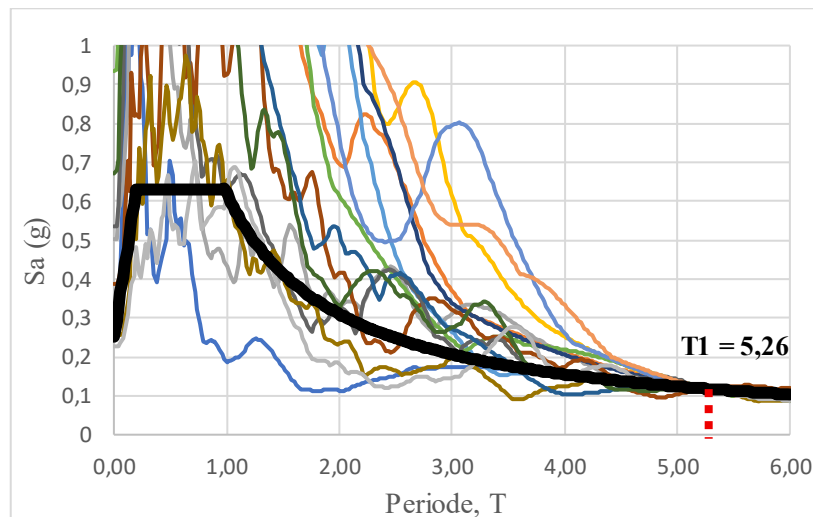
- Periode 5,260 detik digunakan sebagai T_1 (periode fundamental) untuk penskalaan gempa arah X.

- Periode 4,913 detik digunakan sebagai T_2 untuk penskalaan gempa arah Y (karena arah Y baru dominan pada mode ini).

Gambar 3.4 dan 3.5 ini menampilkan hasil penskalaan 15 rekaman gempa dekat (*near-field*) arah X pada Mode 1 dan arah Y pada Mode 2. Spektrum rekaman yang telah diskalakan (garis berwarna) dibandingkan dengan spektrum target Kota Medan (garis tebal hitam). Pada rentang periode fundamental struktur (sekitar 5,26 detik), seluruh rekaman telah disesuaikan mendekati nilai spektrum target.



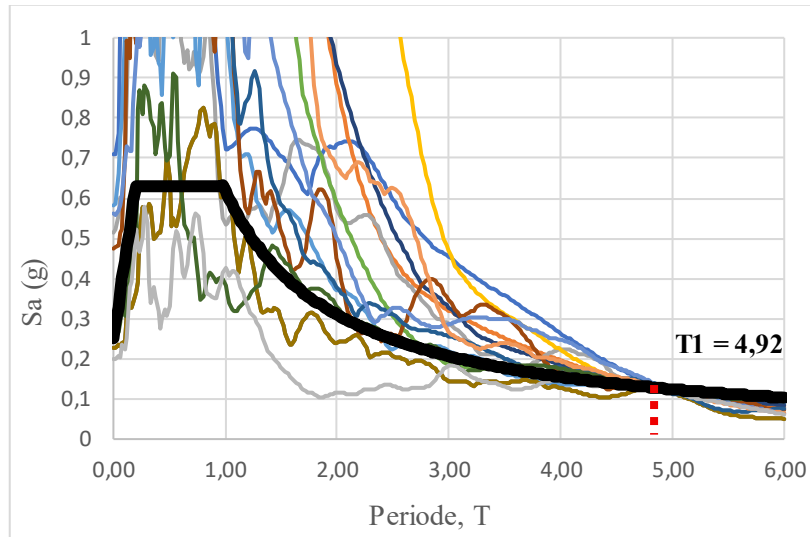
Gambar 3.4: Penskalaan Mode 1 UX Dekat



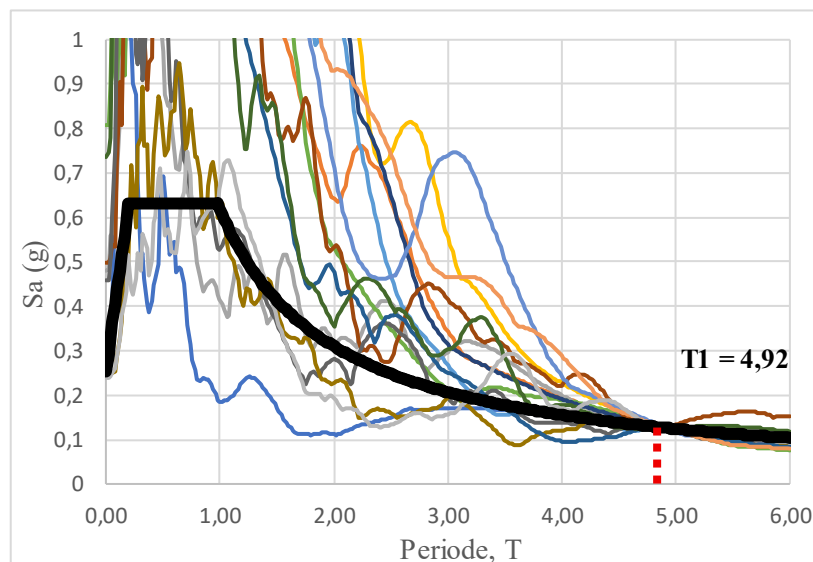
Gambar 3.5: Penskalaan Mode 1 UY Dekat

Gambar 3.6 dan 3.7 ini menunjukkan penskalaan 15 gempa dekat arah X pada Mode 2 dan arah Y Mode 2 (periode 4,913 detik). Terlihat bahwa faktor skala yang diperlukan berbeda-beda untuk setiap rekaman. Spektrum hasil penskalaan

secara umum mengikuti bentuk spektrum target, namun dengan variasi pada periode-periode tertentu. Rekaman dengan amplitudo awal rendah memerlukan faktor skala lebih besar untuk mencapai target.



Gambar 3.6: Penskalaan Mode 2 UX Dekat



Gambar 3.7: Penskalaan Mode 2 UY Dekat

Berdasarkan Keempat gambar berikut (3.4-3,7) adalah hasil visualisasi proses penskalaan (*scaling*) spektrum respons percepatan untuk kelompok Gempa Dekat (*Near-Field*). Grafik ini menunjukkan perbandingan antara spektrum target (Kota Medan, tanah lunak SE) dengan spektrum rekaman asli serta spektrum yang sudah diskalakan, sehingga pembaca bisa melihat secara langsung seberapa besar faktor skala (SF) yang diterapkan dan seberapa baik hasil skala mendekati target.

3.2.5 Pengumpulan Data Gedung

Pengumpulan data yang dikumpulkan meliputi: denah dan tampak gedung, dimensi elemen struktur (balok dan kolom), mutu material (beton dan baja), serta besarnya beban mati dan beban hidup yang berlaku.

Fungsi : Apartemen
Lokasi : Kota Medan
Jumlah lantai : 23
Struktur utama : Struktur beton bertulang

3.2.5.1 Material Struktur yang Direncanakan

Material struktur yang direncanakan dalam pembangunan struktur atas apartemen ini adalah sebagai berikut :

a. Beton

Tabel 3.3: Kuat tekan beton yang direncanakan pada balok.

Lantai	Fc' Beton
Base	40 Mpa
1-10	40 Mpa
11-23	40 Mpa

Tabel 3.4: Kuat tekan beton yang direncanakan pada kolom.

Lantai	Fc' Beton
Base	40 Mpa
1-10	40 Mpa
11-23	40 Mpa

b. Baja Tulangan :

➤ Tulangan utama (BJTS – 420B).

Tegangan leleh minimum (fy) : 420 MPa.

Tegangan putus minimum (fu) : 350 MPa.

➤ Tulangan Sengkang (BJTS – 280).

Tegangan leleh minimum (fy) : 280 MPa.

Tegangan putus minimum (fu) ; 350 MPa.

3.2.5.2 Menentukan Penampang Rencana pada Balok, Kolom, dan Plat Lantai

Adapun ukuran penampang yang direncanakan pada struktur gedung apartemen adalah sebagai berikut:

a. Kolom

Tabel 3.5: Dimensi rencana kolom.

Identifikasi Kolom	Lantai	Dimensi Kolom (m)
K1	Mezzanine	1.3x1.6
	1	1.3x1.6
K2-1	2	1.2x1.3
K2	3	1x1.3
	4	1x1.3
	5	1x1.3
	6	1x1.3
	7	1x1.3
	8	1x1.3
	9	1x1.3
K3	10	1x1.3
	11	1x1.2
	12	1x1.2
	13	1x1.2
	14	1x1.2
	15	1x1.2
	16	1x1.2
	17	1x1.2
	18	1x1.2
	19	1x1.2
	20	1x1.2
	21	1x1.2
	22	1x1.2
	23	1x1.2

b. Balok

Tabel 3.6: Dimensi rencana balok lantai mezzanine sampai lantai 22.

Lantai	Balok Utama B1 (m)	Balok Utama B2 (m)	Balok Utama B3 (m)	Balok Anak BA (m)
LANTAI Mezzanin	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
1	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
2	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
3	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
4	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6

Tabel 3.6: *lanjutan*

Lantai	Balok Utama B1 (m)	Balok Utama B2 (m)	Balok Utama B3 (m)	Balok Anak BA (m)
5	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
6	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
7	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
8	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
9	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
10	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
11	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
12	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
13	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
14	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
15	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
16	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
17	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
18	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
19	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
20	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
21	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
22	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6
23	0.5x0.8	0.9x0.6	0.9x0.7	0.3x0.6

Tabel 3.7: Dimensi rencana balok lantai 23.

Lantai	Balok Utama B1 (m)	Balok Utama B2 (m)	Balok Utama B4 (m)	Balok Anak BA1 (m)	Balok Anak (BA) (m)
23	0.5x0.8	0.9x0.6	0.7x1	0.5x0.8	0.3x0.6

c. Pelat Lantai

Tabel 3.8: Dimensi rencana pelat lantai.

Lantai	Tebal Pelat (cm)
Lantai Mezzanine	15
1	15
2	15
3	15
4	15
5	15
6	15
7	15
8	15
9	15
10	15

Tabel 3.8: *Lanjutan*

Lantai	Tebal Pelat (cm)
11	15
12	15
13	15
14	15
15	15
16	15
17	15
18	15
19	15
20	15
21	15
22	15
23	15

Catatan Tambahan :

Tinggi antar lantai h : 4500 mm

Simpangan Antar Tingkat Izin Δ_a : 0.02 h

(Tabel 20 SNI 1726:2019)

3.2.6 Pemodelan dan Pembebanan Struktur dengan SRPMK

Data tersebut kemudian digunakan untuk membangun model numerik gedung bertingkat banyak dalam perangkat lunak ETABS V22. Pemodelan dilakukan dengan mendefinisikan sistem struktur sebagai SRPMK dan menerapkan semua pembebanan sesuai peraturan.

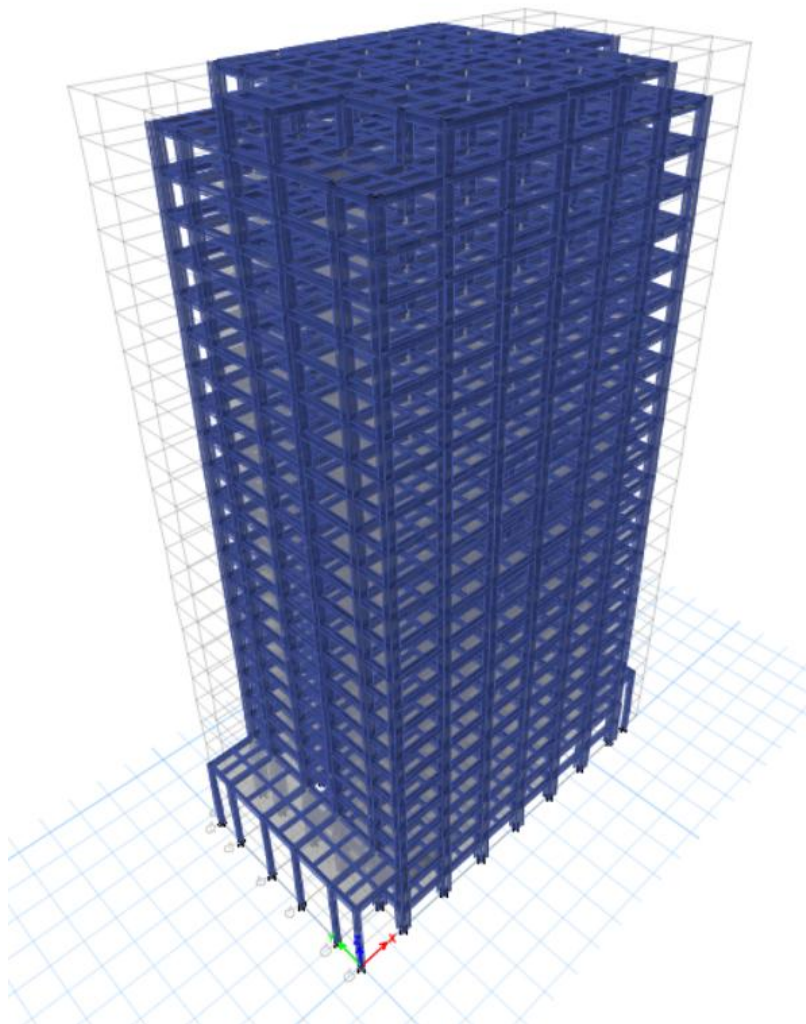
3.2.6.1 Pemodelan 3D pada Struktur

Pemodelan tiga dimensi (3D) dilakukan untuk merepresentasikan kondisi struktur gedung yang sebenarnya ke dalam perangkat lunak ETABS. Pemodelan ini bertujuan untuk memperoleh model analitis yang dapat digunakan dalam menganalisis respons struktur terhadap beban gravitasi dan beban gempa. Model struktur dibuat berdasarkan data geometrik, dimensi elemen struktur, material, serta sistem struktur yang telah ditentukan pada tahap pengumpulan data.

Pemodelan struktur dilakukan dengan memasukkan elemen-elemen utama bangunan yang terdiri atas kolom, balok, pelat lantai, serta elemen struktur lainnya

apabila terdapat pada bangunan. Setiap elemen dimodelkan berdasarkan dimensi dan karakteristik material sesuai data perencanaan.

Kegiatan ini bukan hanya membuat gambaran digital dari bangunan, tetapi juga memasukkan proses evaluasi yang lebih mendalam agar kinerja, keamanan, serta ketahanan struktur tetap sesuai standar yang berlaku. Tujuan utama pemodelan ini adalah untuk memperoleh desain struktur yang efisien, aman, dan memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan.



Gambar 3.8: Pemodelan 3D SRPMK.

3.2.6.2 Memberi Pembebanan Berdasarkan Fungsi Ruang

Pada perencanaan gedung ini beban gravitasi mengacu pada SNI 1727:2020.

Tabel 3.9: Pembebanan yang diinputkan pada struktur Apartemen berdasarkan fungsi ruangan (SNI 1727:2020)

Fungsi	Beban	
	SDL	Live
Aula	120 kg/m ²	470 kg/m ²
Koridor	120 kg/m ²	479 kg/m ²
Mushola	120 kg/m ²	479 kg/m ²
Lobby lift	120 kg/m ²	479 kg/m ²
Toilet	120 kg/m ²	479 kg/m ²
Lantai	120 kg/m ²	479 kg/m ²
Tenant	120 kg/m ²	479 kg/m ²
Gudang	120 kg/m ²	1197 kg/m ²
Kantor	120 kg/m ²	240 kg/m ²
R. PPPSRS	120 kg/m ²	479 kg/m ²
R. tidur	120 kg/m ²	192 kg/m ²
Dapur	120 kg/m ²	479 kg/m ²
R. Keluarga	120 kg/m ²	479 kg/m ²
R. Serbaguna	120 kg/m ²	479 kg/m ²
Gym	120 kg/m ²	479 kg/m ²
Taman	120 kg/m ²	479 kg/m ²
Balkon	120 kg/m ²	479 kg/m ²
R. Binatu	120 kg/m ²	718 kg/m ²
Playground	120 kg/m ²	479 kg/m ²
Kolam renang (Kedalaman 1,5 m)	120 kg/m ²	479 kg/m ²

Note: Beban SDL sebagian besar diambil nilai maksimum dalam rentang yang ada.

3.2.6.3 Pembebanan Perangkat Lift dan Penumpang

Beban dari perangkat dan penumpang lift dimodelkan sebagai beban merata pada balok atap, dengan besaran mengacu pada spesifikasi teknis lift merek Hyundai.

Tabel 3.10: Beban rata-rata dan luas kereta maksimal .

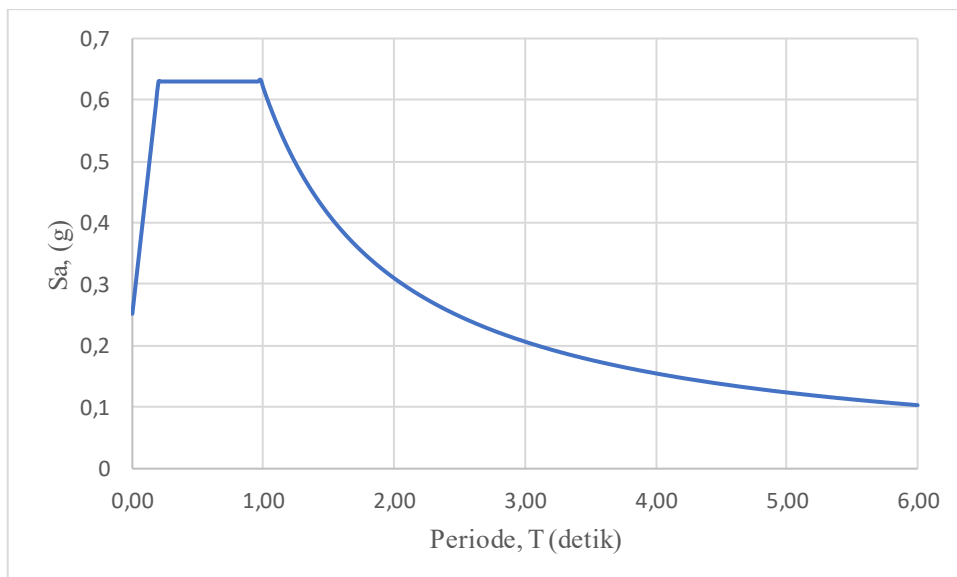
Luas kereta maksimal (m ²), Toleransi 0.10 m ²	Jumlah penumpang maksimal (orang)	Pembulatan beban (Kg)
3.56	23	1600

3.2.6.4 Pembebanan Respons Spektrum Gempa Kota Medan

Respons spektrum gempa untuk wilayah Kota Medan digunakan sebagai dasar untuk menentukan tingkat intensitas gempa yang menjadi target dalam penelitian. Spektrum target tersebut diperlukan karena rekaman gempa yang diperoleh dari database PEER NGA memiliki karakteristik amplitudo dan kandungan frekuensi yang berbeda-beda, sehingga perlu disesuaikan dengan tingkat kegempaan lokasi bangunan yang dianalisis.

Penentuan respons spektrum dilakukan berdasarkan lokasi gedung yang berada di Kota Medan dengan mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019. Parameter kegempaan dan kondisi situs digunakan untuk membentuk kurva respons spektrum desain yang menggambarkan hubungan antara periode getar struktur dengan percepatan spektral yang digunakan sebagai target analisis.

Dalam penelitian ini, respons spektrum Kota Medan berfungsi sebagai spektrum target dalam proses penskalaan rekaman gempa. Respons spektrum dari masing-masing rekaman gempa PEER dibandingkan dengan spektrum target pada rentang periode yang ditinjau. Selanjutnya dilakukan perhitungan faktor skala untuk menyesuaikan tingkat intensitas masing-masing rekaman terhadap spektrum target.



Gambar 3.9 Respon spektrum Medan, Tanah Lunak (SE).

3.2.7 Analisa Mengacu pada SNI

Seluruh proses perencanaan dan analisis struktur mengacu pada peraturan nasional Indonesia terbaru, yaitu

1. SNI 1726:2019 (Beban Gempa)
2. SNI 1727:2020 (Beban Desain Minimum)
3. dan SNI 2847:2019 (Persyaratan Beton Struktural).

3.2.8 Evaluasi Simpangan Antar Tingkat

Parameter utama yang diekstrak dari hasil analisis ETABS adalah Simpangan Antar Tingkat (*Interstory Drift*) untuk setiap lantai dari setiap analisis menggunakan spektrum gempa.

Interstory drift sendiri adalah selisih perpindahan horizontal antara dua lantai yang berdekatan, dibagi tinggi antar lantai tersebut parameter ini penting untuk mengevaluasi kinerja struktur terhadap gempa (apakah struktur cukup kaku/fleksibel dan aman sesuai batas yang disyaratkan berdasarkan SNI 1726:2019).

3.2.9 Analisa Statistik

Data simpangan antar tingkat yang banyak tersebut kemudian dianalisis secara statistik. Perhitungan Nilai Tengah (*Median*), dan Simpangan Baku (*Standard Deviation*) dilakukan untuk mendapatkan nilai representatif dari setiap set gempa (dekat dan jauh). Distribusi Kumulatif juga ditinjau untuk memahami variasi dan probabilitas dari respons yang terjadi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Bab ini akan menyajikan hasil analisis dan pembahasan terhadap respons struktur gedung apartemen 23 lantai dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menggunakan ETABS. Analisis dilakukan berdasarkan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 2847:2019 dengan menggunakan rekaman gempa dekat dan gempa jauh yang telah diskalakan sesuai spektrum respons rencana. Pembahasan meliputi hasil pemodelan struktur, analisis respons struktur, evaluasi simpangan antar tingkat (*story drift*), serta analisis statistik untuk membandingkan respons struktur akibat kedua jenis rekaman gempa.

4.2 Hasil Analisis Linear

4.2.1 Respon Spektrum Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1, analisis ragam getar alami untuk struktur harus menyertakan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% (maksimal) dari massa struktur dalam masing-masing arah horizontal, namun sebagai alternatif diizinkan paling sedikit 90% (minimal) dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal.

Berdasarkan hasil analisis modal pada ETABS, jumlah ragam yang digunakan sebanyak 12 mode menghasilkan partisipasi massa kumulatif sebesar :

- Mode 7 → arah X sudah melewati 90% (91,60%)
- Mode 8 → arah Y juga melewati 90% (92,89%)
- Mode 84 → arah X juga melewati 90% (98,54%), sedangkan untuk arah Y juga melewati 90% (98,86%). Sudah hampir mendekati 100%.

Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan SNI 1726 yaitu partisipasi massa ragam minimum 90% pada masing-masing arah horizontal, sehingga jumlah ragam yang digunakan dinyatakan mencukupi untuk analisis respons spektrum.

Jadi, Semakin tinggi mode getar, semakin kecil kontribusinya. Dengan menambahkan mode ke-13, ke-14, dan seterusnya, kontribusi massa dari mode-mode tambahan ini akan terus menambah nilai kumulatif hingga mendekati 100%.

Tabel 4.1: Data perioda dan partisipasi massa.

Mode	Period	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY
1	5,26	0,7763	0,000003514	0,0011	0,7763	0,000003514
2	4,913	0,0000041	0,7834	0,0002	0,7763	0,7834
3	4,226	0,0004	0,0001	0,7762	0,7767	0,7835
4	1,716	0,0998	0	0,0001	0,8765	0,7835
5	1,611	0	0,1085	0,000007372	0,8765	0,892
6	1,395	0,0001	0,00001441	0,1041	0,8766	0,892
7	0,975	0,0393	0	0	0,916	0,892
8	0,913	0	0,0369	0,000002074	0,916	0,9289
9	0,803	0,00004759	0,0000127	0,0398	0,916	0,9289
10	0,656	0,022	0	0,00003191	0,938	0,9289
11	0,628	0	0,0191	0,00001068	0,938	0,9479
12	0,554	0,0001	0,00001059	0,0219	0,9381	0,9479
84	0,099	0,0015	0	0,00001348	0,9854	0,9886

4.2.2 Hasil Simpangan Antar Tingkat

4.2.2.1 Story Drifts (Gempa Dekat) Mode 1

Pada Tabel 4.2 menunjukkan jumlah dan persentase lantai yang mengalami simpangan antar tingkat (*drift*) melebihi batas izin 0,02 untuk setiap rekaman gempa dekat (GM 1-15) pada Mode 1. Kolom "Arah X", Jumlah Lantai > 0,02 dan Arah Y, Jumlah Lantai > 0,02 menampilkan berapa dari 23 lantai yang melampaui batas *drift*. Kolom "Persentase (%)" dihitung dari jumlah lantai yang melampaui dibagi 23 lantai total. Kolom "Status" menunjukkan apakah *ground motion* tersebut "Melebihi" atau "Aman" berdasarkan adanya lantai yang melampaui batas. Dari 15 GM, GM 2, 4, 7, dan 14 merupakan yang paling dominan menyebabkan pelampauan di kedua arah.

Tabel 4.2: Persentase Tingkat Yang Melebihi *Drift Limit*, Per GM (Dekat Mode 1)

Ground Motion (GM)	Arah X, Jumlah Lantai > 0,02	Persentase (%)	Status (X)	Arah Y, Jumlah Lantai > 0,02	Persentase (%)	Status (Y)
GM 1	5	21,74%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 2	23	100,00%	Melebihi	23	100,00%	Melebihi
GM 3	7	30,43%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 4	23	100,00%	Melebihi	23	100,00%	Melebihi
GM 5	8	34,78%	Melebihi	21	91,30%	Melebihi
GM 6	19	82,61%	Melebihi	20	86,96%	Melebihi
GM 7	23	100,00%	Melebihi	23	100,00%	Melebihi
GM 8	7	30,43%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 9	4	17,39%	Melebihi	6	26,09%	Melebihi
GM 10	3	13,04%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 11	19	82,61%	Melebihi	14	60,87%	Melebihi
GM 12	3	13,04%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 13	19	82,61%	Melebihi	21	91,30%	Melebihi
GM 14	23	100,00%	Melebihi	23	100,00%	Melebihi
GM 15	0	0,00%	Aman	0	0,00%	Aman

Persentase Setiap *Ground Motion* (GM) :

$$P = \frac{N_{\text{lantai dengan drift} > 0,02}}{23} \times 100\% :$$

Jika GM 6 memiliki 18 lantai yang *Story Drift* Rasio nya > 0,02:

$$P = \frac{18}{23} \times 100 = 78,26\%$$

Dari 15 *Ground Motion*, 14 GM melebihi batas (di arah X dan/atau Y) dan hanya GM 15 yang aman di kedua arah.

- a. Melebihi di arah X: GM 1, GM 2, GM 3, GM 4, GM 5, GM 6, GM 7, GM 8, GM 9, GM 10, GM 11, GM 12, GM 13, GM 14
- b. Melebihi di arah Y: GM 2, GM 4, GM 5, GM 6, GM 7, GM 9, GM 11, GM 13, GM 14
- c. Aman di kedua arah: GM 15.

Pada Tabel 4.3: menunjukkan *ground motion* mana saja yang menyebabkan pelampauan drift di setiap lantai (dari lantai 1 sampai 23) untuk gempa dekat Mode 1. Setiap sel berisi daftar nomor GM yang melewati batas 0,02 pada lantai tersebut, baik arah X maupun Y. Tabel ini memungkinkan identifikasi lantai-lantai kritis (misalnya lantai 4-6 arah X memiliki 14 dari 15 GM yang melampaui) dan pola distribusi pelampauan dari lantai bawah hingga atas.

Tabel 4.3: GM Per Lantai Yang Melewati 0,02, GM (Dekat Mode 1)

Lantai (Story)	<i>Ground Motion</i> yang Melewati <i>Drift Limit</i> 0,02 (Arah X)	<i>Ground Motion</i> yang Melewati <i>Drift Limit</i> 0,02 (Arah Y)
23	GM 2, 4, 7, 14	GM 2, 4, 7, 14
22	GM 2, 4, 7, 14	GM 2, 4, 7, 14
21	GM 2, 4, 7, 11, 14	GM 2, 4, 5, 7, 13, 14
20	GM 2, 4, 7, 11, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
19	GM 2, 4, 6, 7, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
18	GM 2, 4, 6, 7, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
17	GM 2, 4, 6, 7, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
16	GM 2, 4, 6, 7, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
15	GM 2, 3, 4, 6, 7, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
14	GM 2, 4, 6, 7, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14
13	GM 2, 4, 6, 7, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14
12	GM 2, 4, 6, 7, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14
11	GM 2, 4, 6, 7, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14
10	GM 2, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14
9	GM 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14
8	GM 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 14
7	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 14
6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 14
5	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 14

Tabel 4.3: *Lanjutan*

Lantai (Story)	<i>Ground Motion</i> yang Melewati <i>Drift Limit</i> 0,02 (Arah X)	<i>Ground Motion</i> yang Melewati <i>Drift Limit</i> 0,02 (Arah Y)
4	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 14
3	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 14
2	GM 2, 4, 6, 7, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14
1	GM 2, 3, 4, 6, 7, 11, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14

Pelampauan *drift* paling berisiko tinggi terjadi di tingkat tengah-bawah, berada di lantai 4-9, arah X melampaui dengan 14 dan 15 GM di lantai 4-6, sementara di lantai atas 20-23 relatif lebih sedikit GM yang melebihi.

- Lantai bawah-tengah (lantai 4-9) adalah zona paling kritis. Di sinilah jumlah GM yang melampaui 0,02 paling banyak puncaknya di lantai 4-6 arah X, di mana 14 dari 15 GM melebihi batas sekaligus.
- Lantai atas (lantai 20-23) relatif paling aman, hanya sekitar 4 GM yang melebihi di sana hanya GM 2, 4, 7, 14 yang memang melewati di hampir semua lantai.

4.2.2.2 *Story Drifts* (Gempa Dekat) Mode 2

Pada Tabel 4.4 menunjukkan serupa dengan Tabel 4.2, namun untuk analisis pada Mode 2 gempa dekat. Menampilkan *persentase* dan status pelampauan *drift* untuk 15 GM pada arah X dan Y. Terlihat bahwa pada Mode 2, GM 10 dan GM 15 merupakan satu-satunya yang aman di kedua arah, sedangkan 13 GM lainnya menyebabkan pelampauan di salah satu atau kedua arah. Perbandingan dengan Mode 1 menunjukkan perubahan pola respons akibat perbedaan mode getar yang ditinjau.

Tabel 4.4: Persentase Tingkat Yang Melebihi *Drift Limit*, Per GM (Dekat Mode 2)

<i>Ground Motion</i> (GM)	Arah X, Jumlah Lantai > 0,02	<i>Persentase</i> (%)	Status (X)	Arah Y, Jumlah Lantai > 0,02	<i>Persentase</i> (%)	Status (Y)
GM 1	1	4,35%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 2	23	100,00%	Melebihi	22	95,65%	Melebihi
GM 3	4	17,39%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 4	23	100,00%	Melebihi	23	100,00%	Melebihi

Tabel 4.4: *Lanjutan*

<i>Ground Motion</i> (GM)	Arah X, Jumlah Lantai > 0,02	<i>Persentase</i> (%)	Status (X)	Arah Y, Jumlah Lantai > 0,02	<i>Persentase</i> (%)	Status (Y)
GM 5	2	8,70%	Melebihi	21	91,30%	Melebihi
GM 6	18	78,26%	Melebihi	14	60,87%	Melebihi
GM 7	23	100,00%	Melebihi	23	100,00%	Melebihi
GM 8	0	0,00%	Aman	4	17,39%	Melebihi
GM 9	1	4,35%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 10	0	0,00%	Aman	0	0,00%	Aman
GM 11	2	8,70%	Melebihi	5	21,74%	Melebihi
GM 12	0	0,00%	Aman	3	13,04%	Melebihi
GM 13	3	13,04%	Melebihi	20	86,96%	Melebihi
GM 14	22	95,65%	Melebihi	23	100,00%	Melebihi
GM 15	0	0,00%	Aman	0	0,00%	Aman

Dari 15 GM, 13 GM melebihi batas (di X dan/atau Y), GM 10 dan GM 15 aman di kedua arah.

- Melebihi di arah X: GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 14
- Melebihi di arah Y: GM 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14
- Melebihi di X dan/atau Y: GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14 (13 dari 15 GM)
- Aman di kedua arah: GM 10, GM 15

Pada Tabel 4.5 ini menjelaskan *ground motion* yang menyebabkan pelampauan per lantai untuk gempa dekat Mode 2. Berbeda dengan Mode 1, pada Mode 2 arah Y menunjukkan konsentrasi pelampauan yang lebih tinggi di lantai bawah (lantai 1-3) dengan 10 dari 15 GM melampaui batas. Tabel ini memperlihatkan pergeseran zona kritis dari lantai tengah (Mode 1) ke lantai bawah (Mode 2) pada arah Y.

Tabel 4.5: GM Per Lantai Yang Melewati 0,02, GM (Dekat Mode 2)

<i>Lantai</i> (<i>Story</i>)	<i>Ground Motion</i> yang Melewati <i>Drift Limit</i> 0,02 (Arah X)	<i>Ground Motion</i> yang Melewati <i>Drift Limit</i> 0,02 (Arah Y)
23	GM 2, 4, 7	GM 4, 7, 14
22	GM 2, 4, 7, 14	GM 2, 4, 7, 14
21	GM 2, 4, 7, 14	GM 2, 4, 5, 7, 14
20	GM 2, 4, 7, 14	GM 2, 4, 5, 7, 13, 14
19	GM 2, 4, 7, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14

Tabel 4.5: *Lanjutan*

<i>Lantai (Story)</i>	<i>Ground Motion yang Melewati Drift Limit 0,02 (Arah X)</i>	<i>Ground Motion yang Melewati Drift Limit 0,02 (Arah Y)</i>
18	GM 2, 4, 6, 7, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
17	GM 2, 4, 6, 7, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
16	GM 2, 4, 6, 7, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
15	GM 2, 4, 6, 7, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
14	GM 2, 4, 6, 7, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
13	GM 2, 4, 6, 7, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
12	GM 2, 4, 6, 7, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
11	GM 2, 4, 6, 7, 14	GM 2, 4, 5, 7, 13, 14
10	GM 2, 4, 6, 7, 14	GM 2, 4, 5, 7, 13, 14
9	GM 2, 4, 6, 7, 14	GM 2, 4, 5, 7, 13, 14
8	GM 2, 4, 6, 7, 11, 14	GM 2, 4, 5, 7, 11, 13, 14
7	GM 2, 4, 6, 7, 11, 14	GM 2, 4, 5, 7, 11, 13, 14
6	GM 2, 3, 4, 6, 7, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
5	GM 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 13, 14
4	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 14
3	GM 2, 3, 4, 6, 7, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14
2	GM 2, 4, 6, 7, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14
1	GM 2, 4, 6, 7, 13, 14	GM 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14

Pada arah X, pelampauan paling berisiko tinggi ada di lantai 4-5 yang melampaui sekitar 9 dan 8 GM melebihi. Di arah Y, dan paling berisiko tinggi di lantai 1-3 sekitar 10 dari 15 GM melebihi tiap lantainya, beda dari DM1 yang polanya lebih ke tengah (lantai 4-9). Dengan Begitu artinya arah Y pada model DM2 punya kelemahan *drift* yang terkonsentrasi di lantai-lantai bawah.

- Arah X: zona paling kritis ada di lantai 4-5, dengan puncaknya di lantai 4-9 dari 15 GM melampaui batas sekaligus. Lantai atas (20-23) paling aman, hanya 3-4 GM yang melebihi.
- Arah Y: zona paling kritis justru bergeser ke lantai bawah, lantai 1-3 dari 15 GM melampaui batas di setiap lantai tersebut. Semakin ke atas, jumlah GM yang melebihi cenderung menurun (3-7 GM saja di lantai 19-23).

4.2.2.3 *Story Shifts (Gempa Jauh) Mode 1*

Pada Tabel 4.6 menampilkan data pelampauan *drift* untuk 20 rekaman gempa jauh pada Mode 1. Menunjukkan jumlah dan persentase lantai yang melewati batas 0,02 beserta status kelulusan. Dari 20 GM, 15 GM menyebabkan pelampauan di salah satu atau kedua arah, sedangkan 5 GM (GM 7, 9, 12, 15, 20) aman di kedua arah. Kolom *persentase* dihitung berdasarkan jumlah lantai yang melampaui dibagi total 23 lantai.

Tabel 4.6: Persentase Tingkat Yang Melebihi *Drift Limit*, Per GM (Jauh Mode 1)

<i>Ground Motion</i> (GM)	Arah X, Jumlah Lantai > 0,02	<i>Persentase</i> (%)	Status (X)	Arah Y, Jumlah Lantai > 0,02	<i>Persentase</i> (%)	Status (Y)
GM 1	22	95,65%	Melebihi	23	100,00%	Melebihi
GM 2	23	100,00%	Melebihi	23	100,00%	Melebihi
GM 3	22	95,65%	Melebihi	23	100,00%	Melebihi
GM 4	21	91,30%	Melebihi	20	86,96%	Melebihi
GM 5	7	30,43%	Melebihi	21	91,30%	Melebihi
GM 6	19	82,61%	Melebihi	19	82,61%	Melebihi
GM 7	0	0,00%	Aman	0	0,00%	Aman
GM 8	3	13,04%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 9	0	0,00%	Aman	0	0,00%	Aman
GM 10	4	17,39%	Melebihi	5	21,74%	Melebihi
GM 11	2	8,70%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 12	0	0,00%	Aman	0	0,00%	Aman
GM 13	2	8,70%	Melebihi	6	26,09%	Melebihi
GM 14	3	13,04%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 15	0	0,00%	Aman	0	0,00%	Aman
GM 16	3	73,91%	Melebihi	11	47,83%	Melebihi
GM 17	0	4,35%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 18	17	21,74%	Melebihi	4	17,39%	Melebihi
GM 19	1	21,74%	Melebihi	14	60,87%	Melebihi
GM 20	5	0,00%	Aman	0	0,00%	Aman

Dari 20 GM, 15 GM melebihi batas (di X dan/atau Y), dan 5 GM aman: GM 7, GM 9, GM 12, GM 15, GM 20.

- Melebihi di arah X: GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 13, 14, 16, 17, 18, 19
- Melebihi di arah Y: GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 13, 16, 18, 19
- Melebihi di X dan/atau Y: 15 dari 20 GM
- Aman di kedua arah: GM 7, GM 9, GM 12, GM 15, GM 20

Pada Tabel 4.7 menjelaskan *ground motion* jauh yang menyebabkan pelampauan per lantai untuk Mode 1. Pada arah X, lantai 5-6 menjadi zona paling kritis dengan 13 dari 20 GM melampaui batas. Pada arah Y, lantai 3 menunjukkan pelampauan terbanyak. Tabel ini memungkinkan visualisasi sebaran pelampauan dari lantai bawah (lantai 1) hingga atas (lantai 23), menunjukkan bahwa lantai tengah-bawah (4-9) merupakan zona dengan risiko tertinggi.

Tabel 4.7: GM Per Lantai Yang Melewati 0,02, GM (Jauh Mode 1)

Lantai (Story)	<i>Ground Motion</i> yang Melewati <i>Drift Limit</i> 0,02 (Arah X)	<i>Ground Motion</i> yang Melewati <i>Drift Limit</i> 0,02 (Arah Y)
23	GM 2	GM 1, 2, 3
22	GM 1, 2, 3	GM 1, 2, 3
21	GM 1, 2, 3, 4	GM 1, 2, 3, 5, 19
20	GM 1, 2, 3, 4	GM 1, 2, 3, 4, 5, 19
19	GM 1, 2, 3, 4, 6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 19
18	GM 1, 2, 3, 4, 6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 19
17	GM 1, 2, 3, 4, 6, 16	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 19
16	GM 1, 2, 3, 4, 6, 16	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16
15	GM 1, 2, 3, 4, 6, 16	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16
14	GM 1, 2, 3, 4, 6, 16	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16
13	GM 1, 2, 3, 4, 6, 16	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16
12	GM 1, 2, 3, 4, 6, 16	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 19
11	GM 1, 2, 3, 4, 6, 16, 18	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 19
10	GM 1, 2, 3, 4, 6, 16, 18, 19	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 18, 19
9	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 18, 19	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 18, 19
8	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 18, 19	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 18, 19
7	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 16, 18, 19	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 18, 19
6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 13, 14, 16, 19	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 13
5	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 13, 14, 16, 17	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 13, 16
4	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 14, 16	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 13, 16
3	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 13, 16, 18, 19
2	GM 1, 2, 3, 4, 6, 16	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 13, 16, 19
1	GM 1, 2, 3, 4, 6, 16	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 13, 16, 19

Pada arah X paling berisiko tinggi di lantai 5-6 yang melampaui sekitar 13 dari 20 GM melebihi, sedangkan arah Y paling berisiko tinggi di lantai 3 yang melampaui sekitar 1 dari 20 GM. Rentang lantai 1-6 dan 5-9 secara umum jadi zona kritis di kedua arah.

- a. Arah X: titik berisiko tinggi ada di lantai 5-6, dengan 13 dari 20 GM melebihi batas di situ, hampir dua pertiga skenario gempa gagal memenuhi syarat *drift* pada elevasi ini. Zona kritis melebar dari lantai 4-9, dengan berada di atas 9 GM melebihi.
- b. Arah Y: titik berisiko tinggi ada di lantai 3, dengan 11 dari 20 GM melebihi, tapi bedanya di arah Y zona kritisnya lebih merata, dari lantai 1 sampai 9 semuanya konsisten tinggi sekitar 8-11 GM yang melebihi, tidak setajam puncak di arah X.

4.2.2.4 *Story Drifts* (Gempa Jauh) Mode 2

Pada Tabel 4.8 ini menampilkan data pelampauan untuk 20 GM gempa jauh pada Mode 2. Menunjukkan 16 dari 20 GM menyebabkan pelampauan di salah satu atau kedua arah. Kolom "Status" menunjukkan apakah GM tersebut melebihi batas di arah X dan Y. Tabel ini memperlihatkan bahwa arah X memiliki lebih banyak GM yang bermasalah dibandingkan arah Y pada Mode 2 gempa jauh.

Tabel 4.8: Persentase Tingkat Yang Melebihi *Drift Limit*, Per GM (Jauh Mode 2)

<i>Ground Motion</i> (GM)	Arah X, Jumlah Lantai > 0,02	<i>Persentase</i> (%)	Status (X)	Arah Y, Jumlah Lantai > 0,02	<i>Persentase</i> (%)	Status (Y)
GM 1	22	95,65%	Melebihi	23	100,00%	Melebihi
GM 2	23	100,00%	Melebihi	23	100,00%	Melebihi
GM 3	22	95,65%	Melebihi	22	95,65%	Melebihi
GM 4	21	91,30%	Melebihi	15	65,22%	Melebihi
GM 5	7	30,43%	Melebihi	21	91,30%	Melebihi
GM 6	20	86,96%	Melebihi	5	21,74%	Melebihi
GM 7	9	39,13%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 8	0	0,00%	Aman	0	0,00%	Aman
GM 9	6	26,09%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 10	0	0,00%	Aman	0	0,00%	Aman
GM 11	4	17,39%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 12	9	39,13%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 13	0	0,00%	Aman	0	0,00%	Aman
GM 14	4	17,39%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 15	2	8,70%	Melebihi	0	0,00%	Aman
GM 16	2	8,70%	Melebihi	14	60,87%	Melebihi
GM 17	2	8,70%	Melebihi	0	0,00%	Aman

Tabel 4.8: *Lanjutan.*

<i>Ground Motion</i> (GM)	Arah X, Jumlah Lantai > 0,02	<i>Persentase</i> (%)	Status (X)	Arah Y, Jumlah Lantai > 0,02	<i>Persentase</i> (%)	Status (Y)
GM 18	0	0,00%	Aman	0	0,00%	Aman
GM 19	9	39,13%	Melebihi	16	69,57%	Melebihi
GM 20	9	39,13%	Melebihi	0	0,00%	Aman

Dari 20 GM, 16 GM melebihi batas (di X dan/atau Y) dan 4 GM aman: GM 8, GM 10, GM 13, GM 18.

- Melebihi di arah X: GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 19
- Melebihi di arah Y: GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 19, GM 20
- Melebihi di X dan/atau Y: 16 dari 20 GM
- Aman di kedua arah: GM 8, GM 10, GM 13, GM 18.

Pada Tabel 4.9 ini menjelaskan *ground motion* jauh yang menyebabkan pelampauan per lantai untuk Mode 2. Pada arah X, lantai 5-6 menunjukkan pelampauan paling ekstrem dengan 15 dari 20 GM (75%) melampaui batas. Pada arah Y, puncak pelampauan terjadi di lantai 1-4 dengan 8 dari 20 GM melampaui. Tabel ini menunjukkan perbedaan signifikan antara pola respons arah X (terkonsentrasi tajam di lantai tengah) dan arah Y (lebih merata di lantai bawah).

Tabel 4.9: GM Per Lantai Yang Melewati 0,02, GM (Jauh Mode 2)

Lantai (Story)	<i>Ground Motion</i> yang Melewati <i>Drift Limit</i> 0,02 (Arah X)	<i>Ground Motion</i> yang Melewati <i>Drift</i> <i>Limit</i> 0,02 (Arah Y)
23	GM 2	GM 1, 2
22	GM 1, 2, 3	GM 1, 2, 3
21	GM 1, 2, 3, 4	GM 1, 2, 3, 5, 19
20	GM 1, 2, 3, 4, 6	GM 1, 2, 3, 5, 19
19	GM 1, 2, 3, 4, 6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 16, 19
18	GM 1, 2, 3, 4, 6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 16, 19
17	GM 1, 2, 3, 4, 6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 16, 19
16	GM 1, 2, 3, 4, 6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 16
15	GM 1, 2, 3, 4, 6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 16
14	GM 1, 2, 3, 4, 6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 16
13	GM 1, 2, 3, 4, 6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 16, 19
12	GM 1, 2, 3, 4, 6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 16, 19
11	GM 1, 2, 3, 4, 6, 7, 12, 19, 20	GM 1, 2, 3, 5, 19

Tabel 4.9: *Lanjutan.*

Lantai (Story)	<i>Ground Motion</i> yang Melewati <i>Drift Limit</i> 0,02 (Arah X)	<i>Ground Motion</i> yang Melewati <i>Drift Limit</i> 0,02 (Arah Y)
10	GM 1, 2, 3, 4, 6, 7, 12, 19, 20	GM 1, 2, 3, 5, 19
9	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 19, 20	GM 1, 2, 3, 5, 19
8	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 19, 20	GM 1, 2, 3, 5, 19
7	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 14, 19, 20	GM 1, 2, 3, 4, 5, 19
6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 14, 15, 17, 19, 20	GM 1, 2, 3, 4, 5, 16
5	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 14, 15, 17, 19, 20	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16
4	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 14, 16, 19, 20	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 19
3	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 16, 19, 20	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 19
2	GM 1, 2, 3, 4, 6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 19
1	GM 1, 2, 3, 4, 6	GM 1, 2, 3, 4, 5, 6, 16, 19

Pada arah X sangat kritis di lantai 5-6, sekitar 15 dari 20 GM melebihi 75% skenario gagal syarat *drift* di sini, dengan zona kritis melebar dari lantai 3-10. Arah Y lebih merata dan lebih ringan, puncaknya di lantai 1-4 dengan melampaui 8 GM melebihi tiap lantainya, tapi intensitasnya lebih rendah dibanding arah X.

- Arah X: sangat tajam terpusat di lantai 5-6, dengan 15 dari 20 GM melebihi batas, artinya 75% skenario gempa gagal memenuhi syarat *drift* di elevasi ini. Zona kritisnya melebar dari lantai 3-10, semua di atas 9 GM yang melebihi, lalu turun tajam ke lantai atas, hanya 1-5 GM di lantai 12-23.
- Arah Y: lebih landai dan merata, puncaknya di lantai 1-4 dengan 8 dari 20 GM melebihi, jauh lebih ringan dibanding puncak arah X, dan tidak ada lonjakan tajam di satu titik saja.

4.3 Hasil Perbandingan dari RSA Medan dengan 4 Data *Ground Motion* (DM1, DM2, JM1, JM2)

RSA Medan (analisis respons spektrum, sama untuk keempat model) itu sendiri MASIH AMAN terhadap batas ijin 0,02:

- Arah X: maksimum 0,01900 di lantai 5 (99,1% dari batas sangat mendekati tapi belum lewat)
- Arah Y: maksimum 0,01744 di lantai 4 (87,2% dari batas aman dengan margin lebih)

Tapi setelah dicek menggunakan analisis *ground motion* aktual, mayoritas GM di keempat data justru melampaui batas jauh di atas RSA bahkan sampai 3-4 kali lipat batas ijin (nilai maksimum tembus 0,05-0,068). Ini artinya RSA/analisis spektrum respons cenderung *under-estimate demand drift* sesungguhnya sesuatu yang lazim terjadi karena RSA tidak menangkap efek nonlinier, mode tinggi, dan variabilitas riwayat waktu spesifik tiap rekaman gempa.

Tabel 4.10: Tingkat berisiko pelampauan *drift* (paling berisiko ke paling aman)

Nomor	Data	Jumlah GM	(%) GM melebihi (X)	(%) GM melebihi (Y)	(%) total lantai×GM melebihi (X)	(%) total lantai×GM melebihi (Y)	Drift maks tercatat
1 (paling berisiko)	DM 1	15	93,3% (14/15)	60,0% (9/15)	53,9%	50,4%	0,0685 (Y, lantai.1)
2	DM 2	15	73,3% (11/15)	66,7% (10/15)	35,4%	45,8%	0,0592 (Y, lantai.1)
3	JM1	20	75,0% (15/20)	55,0% (11/20)	33,9%	36,7%	0,0616 (X, lantai.5)
4 (paling aman)	JM2	20	80,0% (16/20)	40,0% (8/20)	37,2%	30,2%	0,0536 (X, lantai.5)

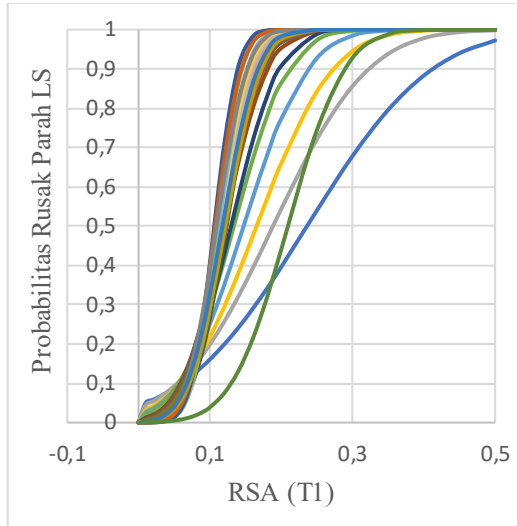
DM1 adalah yang paling berisiko tinggi hampir 94% GM-nya melebihi batas di arah X, dan rata-rata lebih dari separuh kombinasi lantai GM (X maupun Y) melampaui *limit*. JM2 relatif paling baik di antara keempatnya (meski tetap jauh dari memenuhi syarat), terutama karena arah Y nya jauh lebih terkendali (hanya 30,2% kombinasi melebihi, dan hanya 8 dari 20 GM yang bermasalah).

4.4 Analisis Kurva Probabilitas Kerusakan Berdasarkan Intensitas RSA(T1)

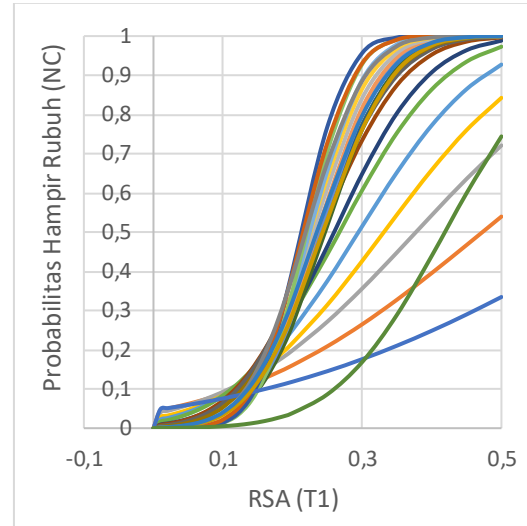
Grafik probabilitas kerusakan pada kondisi Gempa Dekat Mode 1 (M1) digunakan untuk menggambarkan hubungan antara nilai RSA(T1) sebagai parameter intensitas gempa dengan probabilitas terjadinya atau terlampauinya kondisi batas kerusakan struktur. RSA(T1) merupakan nilai respons spektral percepatan pada periode fundamental struktur, sehingga dapat digunakan sebagai parameter yang mewakili tingkat intensitas getaran gempa yang diterima oleh struktur.

Kurva pada grafik berbentuk kurva probabilistik (*fragility curve*) yang menunjukkan bahwa semakin besar nilai RSA(T1), maka semakin besar pula probabilitas struktur mengalami kondisi kerusakan yang ditinjau. Pada nilai RSA(T1) yang relatif kecil, probabilitas kerusakan masih rendah. Seiring meningkatnya RSA(T1), probabilitas tersebut meningkat secara bertahap hingga mendekati nilai 1 atau 100%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan intensitas gempa akan meningkatkan kemungkinan struktur mencapai kondisi batas tertentu.

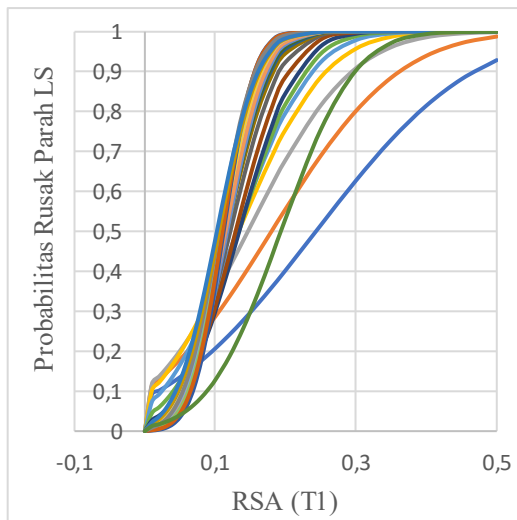
Gambar 4.1 (Gempa Dekat, Mode 1) Ini adalah kelompok grafik yang menunjukkan intensitas paling rendah untuk mencapai kondisi batas. Kondisi LS 50% tercapai pada RSA(T1) hanya sekitar 0,10-0,11 g, dan margin antara LS ke NC tergolong sedang (0-0,105 g). Arah Y sedikit lebih kritis dari arah X karena kedua kondisi batas tercapai pada intensitas yang sedikit lebih rendah. Secara umum, Mode 1 pada gempa dekat menggambarkan struktur yang paling cepat merespons peningkatan intensitas gempa dibanding tiga kelompok lainnya.



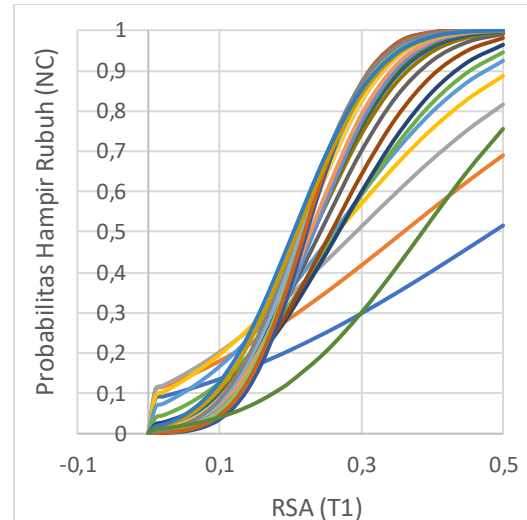
(a) Arah X



(a) Arah X



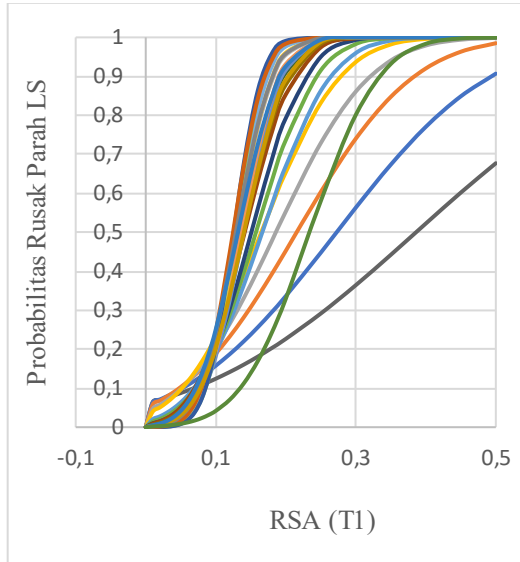
(b) Arah Y



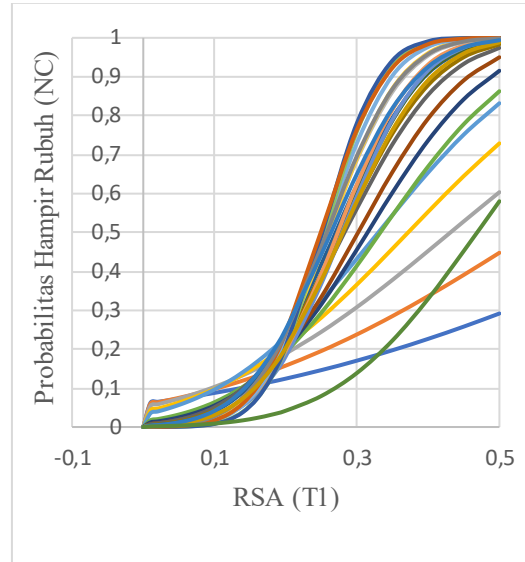
(b) Arah Y

Gambar 4.1: kurva probabilitas kerusakan (*fragility curve*), pada gempa dekat mode 1.

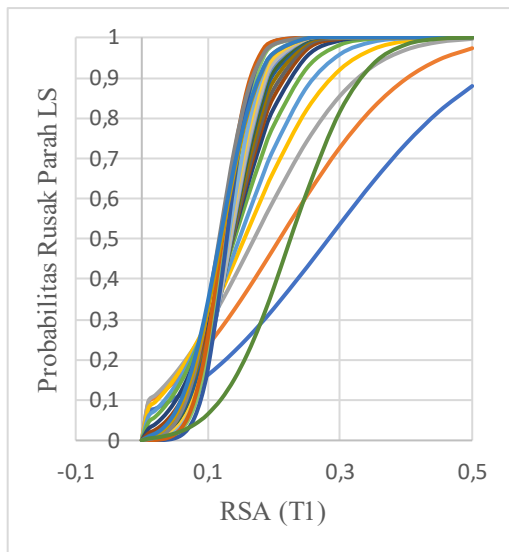
Gambar 4.2 (Gempa Dekat, Mode 2) dibandingkan Gambar 4.1, kurva pada Gambar 4.2 bergeser sedikit ke kanan (butuh RSA(T1) sedikit lebih besar untuk mencapai LS maupun NC), terutama pada arah X (0,125 g dengan 0,11 g). Ciri khas kelompok ini adalah margin LS–NC arah X yang paling lebar di antara seluruh kombinasi (0,125 g, atau $NC \approx 2 \times LS$), menandakan struktur memiliki cadangan kapasitas cukup besar sebelum berpindah dari kondisi LS ke NC pada mode ini.



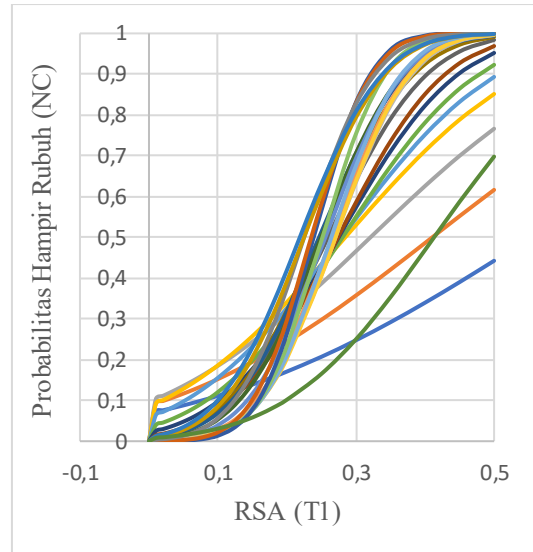
(a) Arah X



(a) Arah X



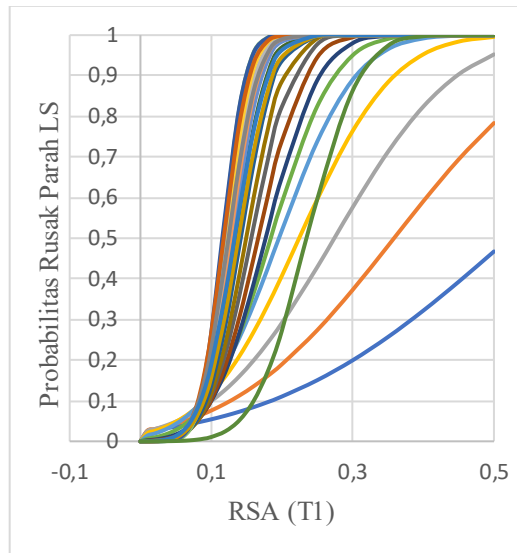
(b) Arah Y



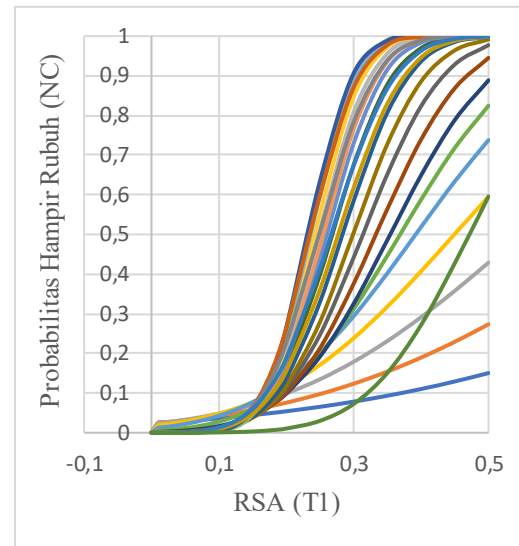
(b) Arah Y

Gambar 4.2: kurva probabilitas kerusakan (*fragility curve*), pada gempa dekat mode 2.

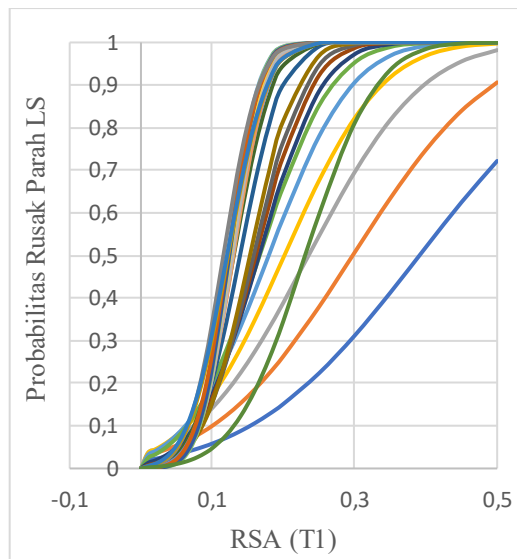
Gambar 4.3 (Gempa Jauh, Mode 1) Nilai RSA(T1) pada probabilitas 50% untuk arah X dan Y pada kelompok ini identik ($LS = 0,117$ g; $NC = 0,233$ g), berbeda dengan gempa dekat yang cenderung menunjukkan selisih antar arah. Ini menunjukkan bahwa pada gempa jauh Mode 1, respons struktur terhadap kedua arah pembebanan relatif seragam. Dibanding Gambar 4.1, intensitas yang dibutuhkan sedikit lebih tinggi.



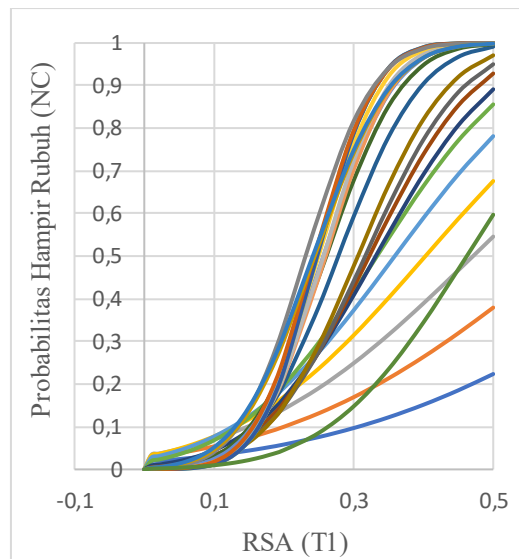
(a) Arah X



(a) Arah X



(b) Arah Y

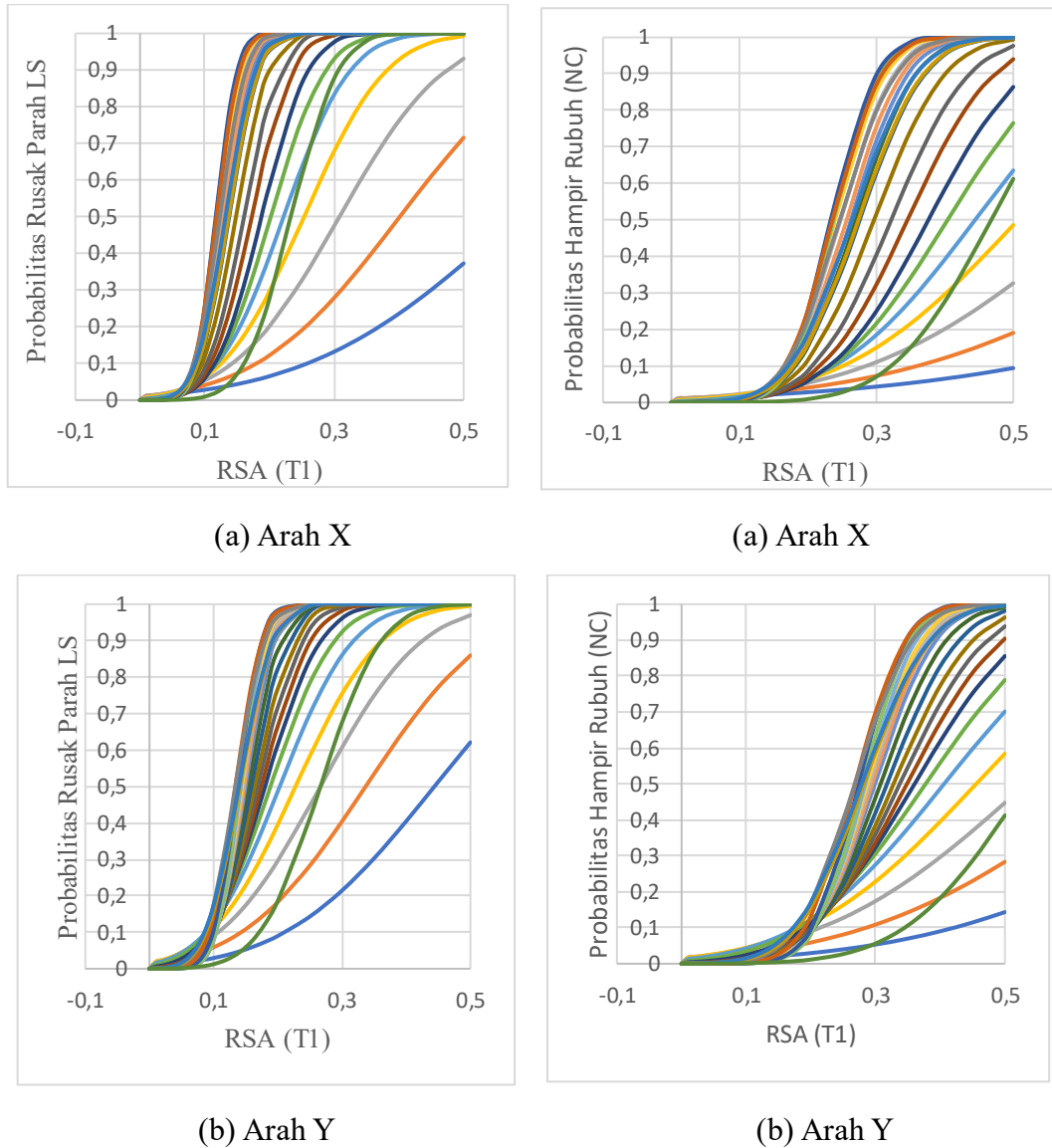


(b) Arah Y

Gambar 4.3: kurva probabilitas kerusakan (*fragility curve*), pada gempa jauh mode 1.

Gambar 4.4 (Gempa Jauh, Mode 2) Kelompok ini menunjukkan kebutuhan intensitas gempa tertinggi untuk mencapai kondisi batas, khususnya arah Y yang membutuhkan $RSA(T1) = 0,135$ g untuk LS dan $0,266$ g untuk NC nilai tertinggi di antara seluruh delapan grafik yang dianalisis, dengan margin LS–NC terlebar ($0,131$ g). Ini mengindikasikan bahwa kombinasi gempa jauh dan mode 2 arah Y menghasilkan struktur yang paling kuat secara probabilistik pada rentang $RSA(T1)$ yang ditinjau, meski tetap membutuhkan analisis lebih lanjut karena beberapa kurva

NC pada kelompok ini bahkan belum mencapai probabilitas 50% hingga batas RSA(T1) = 0,50 g.



Gambar 4.4: kurva probabilitas kerusakan (*fragility curve*), pada gempa jauh mode 2.

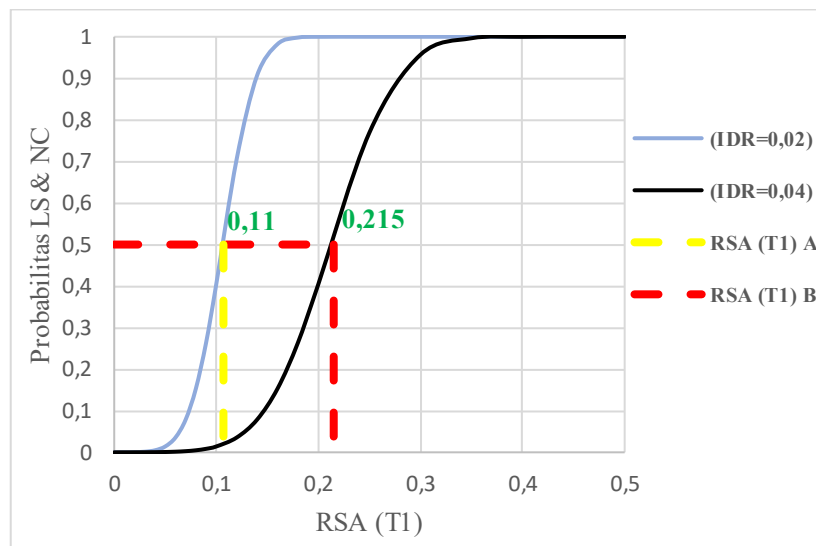
4.5 Analisis Probabilitas Kondisi Batas *Limit State* (LS) dan *Near Collapse* (NC)

4.5.1 Analisis Kondisi Batas *Ground Motion* Dekat

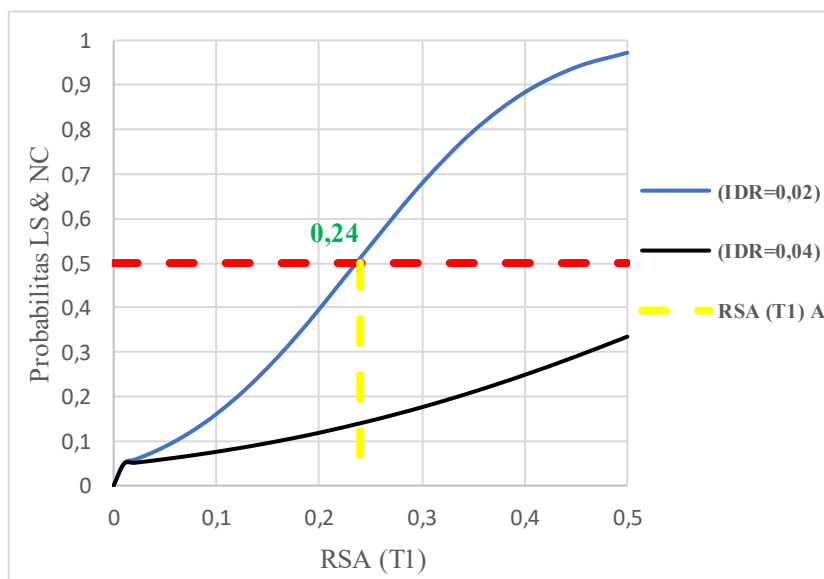
1. Mode 1 arah X

Dari Gambar 4.1: grafik (a), probabilitas 50% untuk kondisi *Life Safety* (LS, IDR = 0,02) tercapai pada RSA(T1) = 0,11 g, sedangkan kondisi *Near Collapse*

(NC, IDR = 0,04) tercapai pada $RSA(T1) = 0,215$ g. Selisih (margin) sekitar 0,105 g ini menunjukkan struktur masih memiliki cadangan kapasitas antara kondisi mulai rusak hingga mendekati runtuh. Pada grafik (b), kecenderungannya lebih landai: LS baru mencapai 50% pada $RSA(T1) = 0,24$ g, sementara kurva NC tidak sampai menyentuh probabilitas 50% hingga batas $RSA(T1) = 0,5$ g yang ditinjau (nilai maksimumnya hanya sekitar 35%). Artinya, berdasarkan sebaran data pada grafik (b), kondisi keruntuhan relatif jarang terjadi pada rentang intensitas gempa dekat arah X yang dianalisis.



(a)



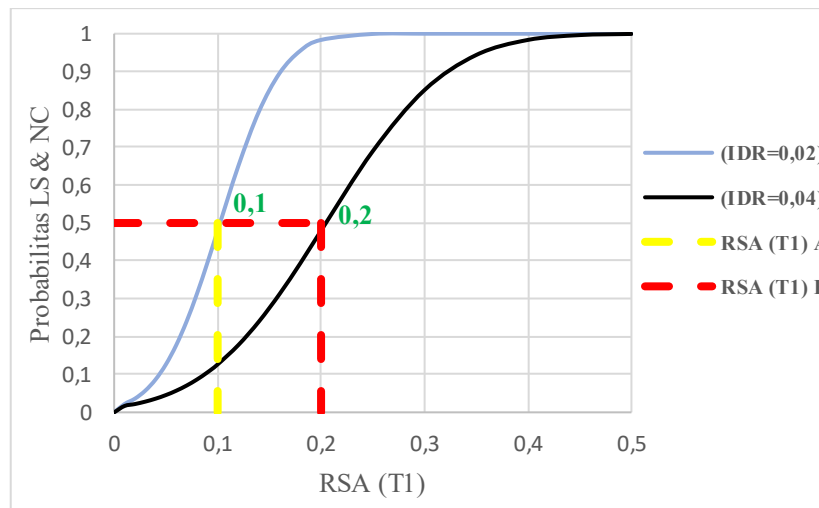
(b)

Gambar 4.5: Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Hampir Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Dekat arah X, Mode 1

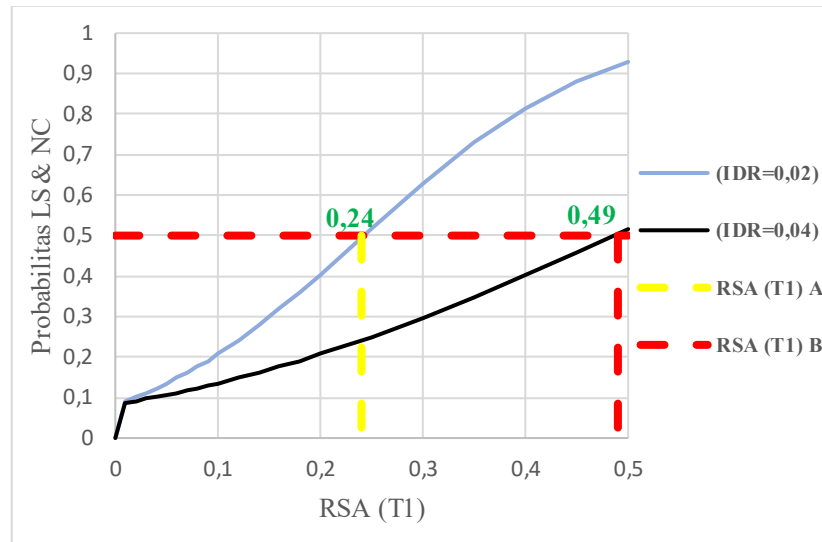
2. Mode 1 arah Y

Gambar 4.2: kondisi LS pada gempa dekat arah Y Mode 1 mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sebesar 0,10 g, sedangkan kondisi NC mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sebesar 0,20 g. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi LS dan NC pada arah Y tercapai pada intensitas yang sedikit lebih rendah dibandingkan arah X, sehingga pada Mode 1 arah Y dapat dikatakan memiliki kecenderungan respons yang sedikit lebih kritis terhadap peningkatan intensitas gempa.

Pada grafik kedua, LS mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sebesar 0,24 g, sedangkan NC mencapai probabilitas 50% pada sekitar 0,49 g. Jarak yang cukup besar antara kedua kondisi tersebut menunjukkan bahwa diperlukan peningkatan intensitas gempa yang cukup besar untuk mengubah kondisi LS menjadi kondisi NC. Dengan demikian, berdasarkan sebaran data tersebut, struktur masih menunjukkan adanya rentang respons sebelum mencapai kondisi mendekati keruntuhan.



(a)



(b)

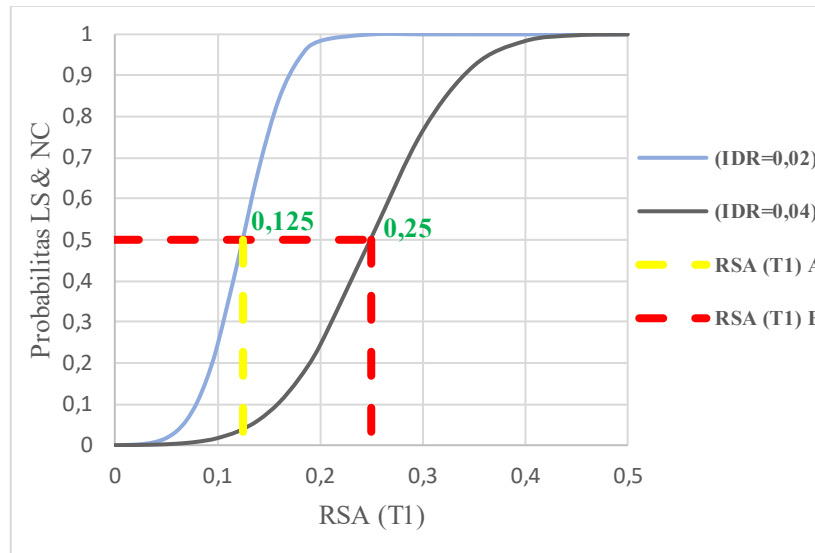
Gambar 4.6: Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Dekat arah Y, Mode 1.

3. Mode 2 arah X

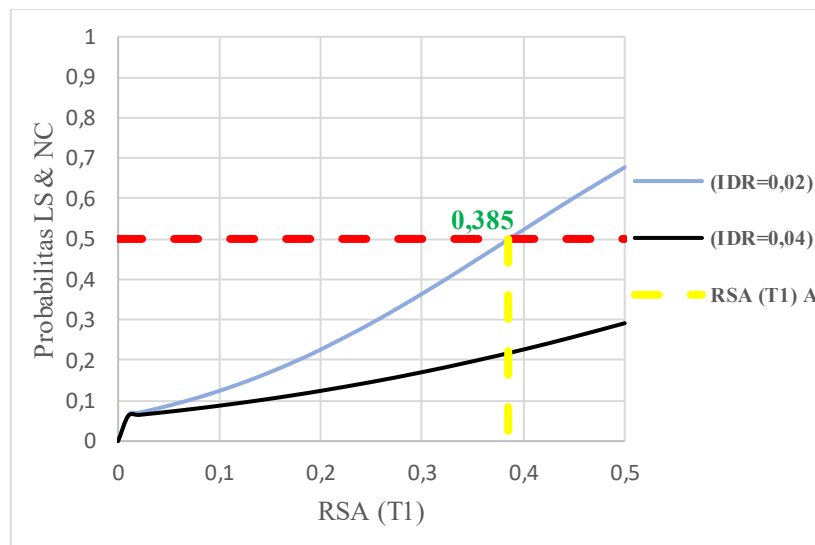
Gambar 4.3: pada grafik pertama kondisi LS mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sebesar 0,125 g, sedangkan kondisi NC mencapai probabilitas 50% pada 0,25 g. Nilai NC tersebut sekitar dua kali nilai RSA(T1) pada kondisi LS. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan intensitas gempa yang cukup besar diperlukan untuk meningkatkan kondisi respons struktur dari batas LS menuju kondisi NC.

Pada grafik kedua, kondisi LS baru mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sekitar 0,385 g, sedangkan kondisi NC belum mencapai probabilitas 50% sampai RSA(T1) = 0,50 g. Probabilitas maksimum NC pada rentang tersebut hanya sekitar 30%. Dengan demikian, grafik kedua memperlihatkan kecenderungan respons yang lebih landai dan probabilitas mencapai kondisi NC yang relatif rendah.

Jika dibandingkan dengan Mode 1 arah X, nilai RSA(T1) pada grafik pertama untuk mencapai LS sedikit lebih besar, yaitu 0,125 g dibandingkan 0,11 g. Hal ini menunjukkan bahwa pada data gempa yang digunakan, Mode 2 arah X membutuhkan intensitas sedikit lebih tinggi untuk mencapai probabilitas kerusakan 50%.



(a)



(b)

Gambar 4.7: Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Dekat arah X, Mode 2.

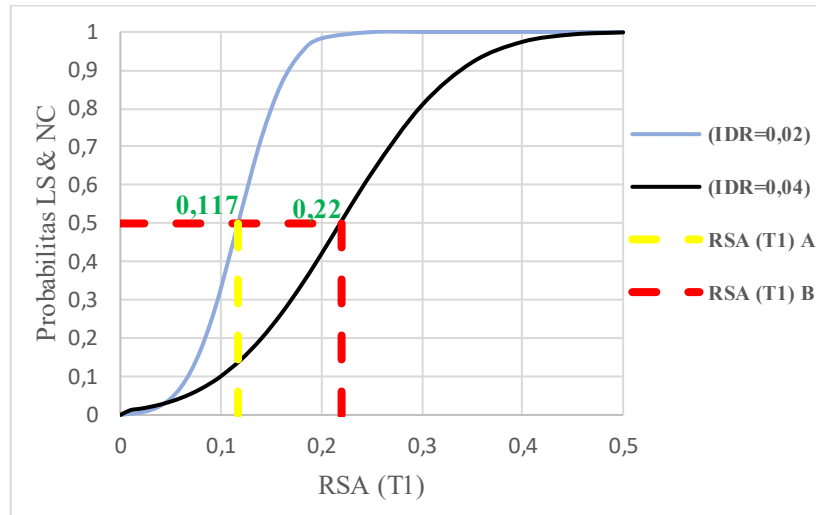
4. Mode 2 arah Y

Pada Gambar 4.4: kondisi LS mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sebesar 0,117 g, sedangkan kondisi NC mencapai probabilitas 50% pada 0,22 g. Dengan demikian, terdapat selisih sekitar 0,103 g antara kedua kondisi tersebut.

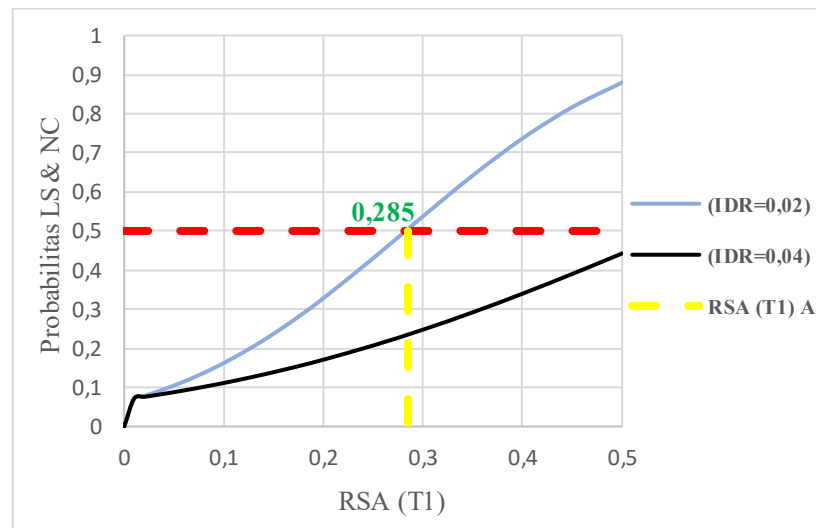
Pada grafik kedua, kondisi LS mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sekitar 0,285 g, sedangkan kondisi NC tidak mencapai probabilitas 50% pada rentang RSA(T1) sampai 0,50 g. Probabilitas NC pada RSA(T1) = 0,50 g hanya

sekitar 45%. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada grafik kedua kondisi mendekati keruntuhan relatif lebih sulit tercapai dibandingkan kondisi LS.

Secara keseluruhan, Mode 2 arah Y menunjukkan bahwa kondisi LS masih tercapai pada intensitas gempa yang relatif rendah, tetapi kondisi NC membutuhkan intensitas gempa yang lebih tinggi dan bahkan belum mencapai probabilitas 50% pada batas rentang analisis.



(a)



(b)

Gambar 4.8: Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Hampir Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Dekat arah Y, Mode 2.

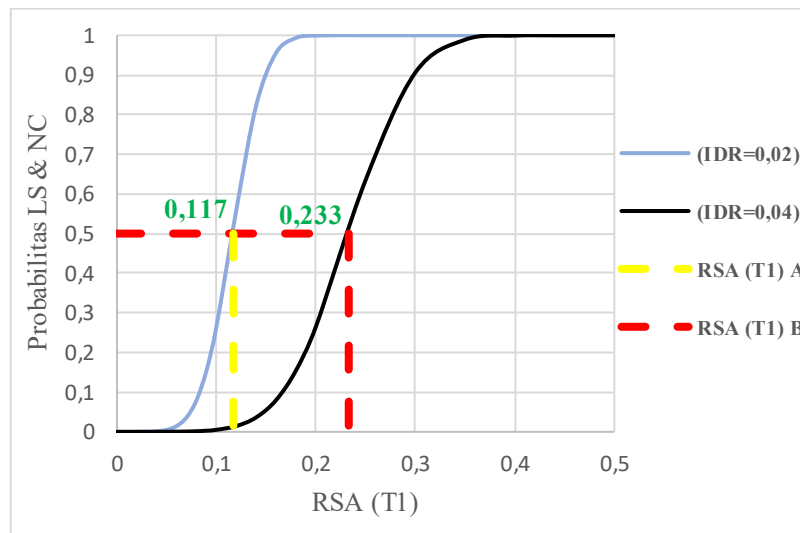
4.5.2 Limit State Ground Motion Jauh

1. Mode 1 arah X

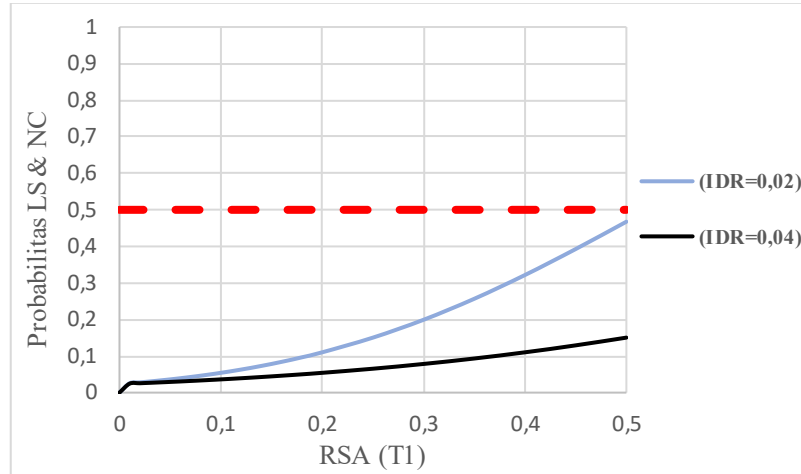
Pada Gambar 4.5: Berdasarkan Gambar 4.5, pada grafik pertama kondisi LS mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sebesar 0,117 g, sedangkan kondisi NC mencapai probabilitas 50% pada 0,233 g. Dengan demikian, terdapat selisih sekitar 0,116 g antara kedua kondisi tersebut.

Pada grafik kedua, kondisi LS maupun NC tidak mencapai probabilitas 50% sampai RSA(T1) = 0,50 g. Probabilitas maksimum LS sekitar 47%, sedangkan NC hanya sekitar 15%. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada sebaran data gempa jauh arah X, kemungkinan mencapai kondisi LS maupun NC relatif lebih rendah pada rentang intensitas yang ditinjau.

Hasil ini menunjukkan bahwa respons struktur terhadap gempa jauh arah X pada grafik kedua relatif lebih terkendali dibandingkan grafik pertama. Kondisi NC khususnya memiliki probabilitas yang sangat rendah sehingga tidak dapat ditentukan nilai RSA(T1) pada probabilitas 50% dalam rentang analisis.



(a)



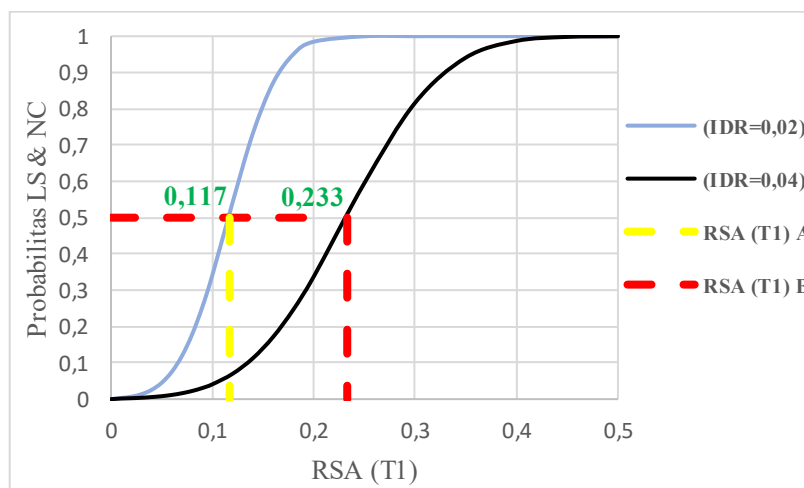
(b)

Gambar 4.9: Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Jauh arah X, Mode 1.

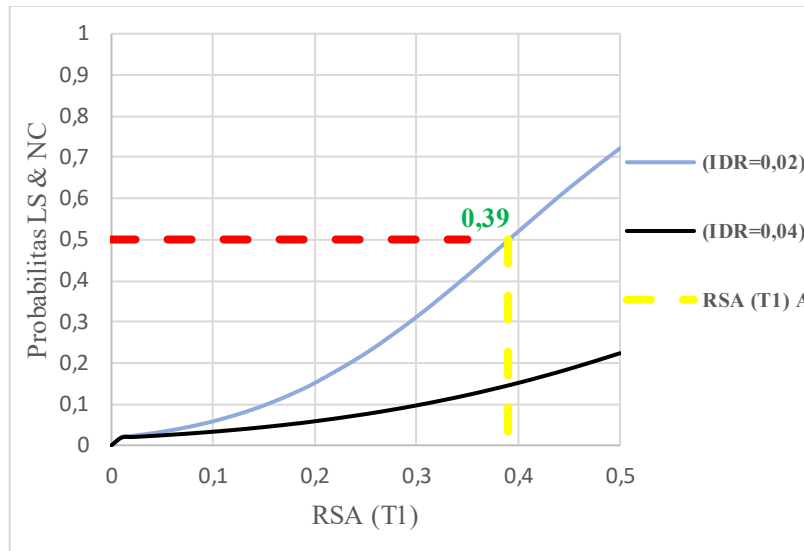
2. Mode 1 arah Y

Pada Gambar 4.6: Pada kondisi LS mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sebesar 0,117 g, sedangkan kondisi NC mencapai probabilitas 50% pada 0,233 g. Nilai tersebut menunjukkan adanya peningkatan intensitas gempa yang cukup besar antara kondisi LS dan NC.

Pada grafik kedua, kondisi LS baru mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sebesar 0,39 g, sedangkan kondisi NC belum mencapai probabilitas 50% hingga RSA(T1) = 0,50 g. Probabilitas NC maksimum hanya sekitar 22%. Dengan demikian, kondisi mendekati keruntuhan relatif lebih sulit tercapai dibandingkan kondisi LS.



(a)



(b)

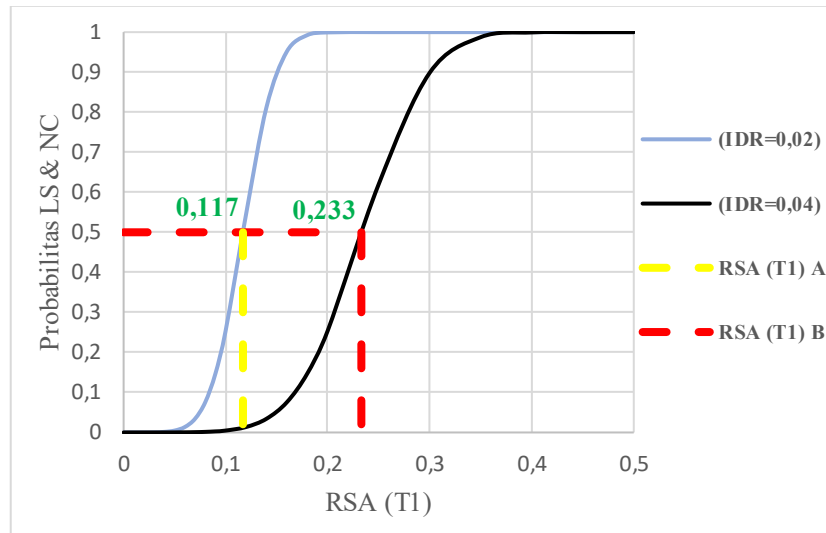
Gambar 4.10: Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Jauh arah Y, Mode 1.

3. Mode 2 arah X

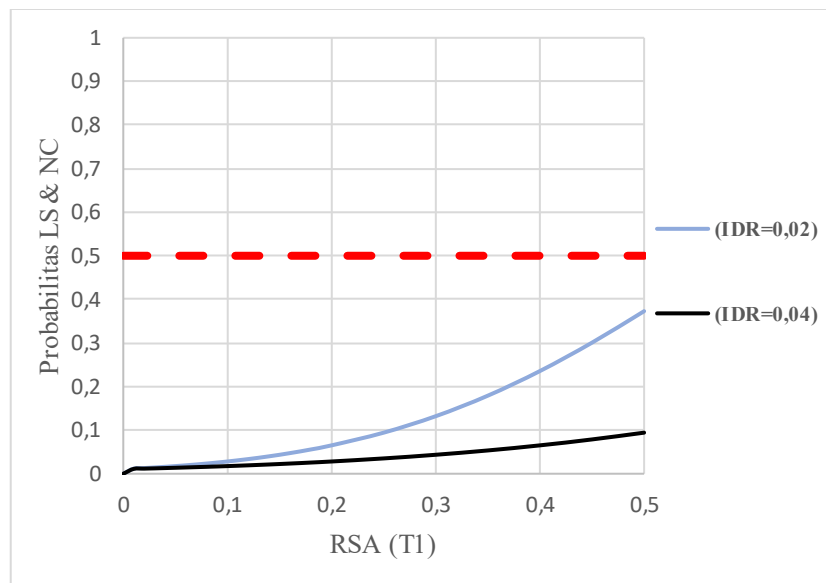
Pada Gambar 4.7: grafik pertama menunjukkan bahwa kondisi LS mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sekitar 0,117 g, sedangkan kondisi NC mencapai probabilitas 50% pada sekitar 0,233 g. Jarak antara kedua nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi NC memerlukan intensitas gempa yang lebih besar dibandingkan kondisi LS.

Pada grafik kedua, kurva LS dan NC tetap berada di bawah probabilitas 50% hingga $RSA(T1) = 0,50$ g. Berdasarkan grafik, probabilitas LS hanya sekitar 37%, sedangkan probabilitas NC sekitar 9% pada batas RSA(T1) tersebut. Dengan demikian, kondisi NC mempunyai kemungkinan kejadian yang sangat rendah pada rentang intensitas gempa yang ditinjau.

Hasil tersebut memperlihatkan bahwa Mode 2 arah X pada sebagian data gempa jauh memberikan respons yang relatif rendah pada grafik kedua. Hal ini menunjukkan adanya variasi respons yang cukup besar antar rekaman gempa, meskipun seluruh rekaman telah disesuaikan terhadap spektrum target.



(a)



(b)

Gambar 4.11: Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Jauh arah X, Mode 2.

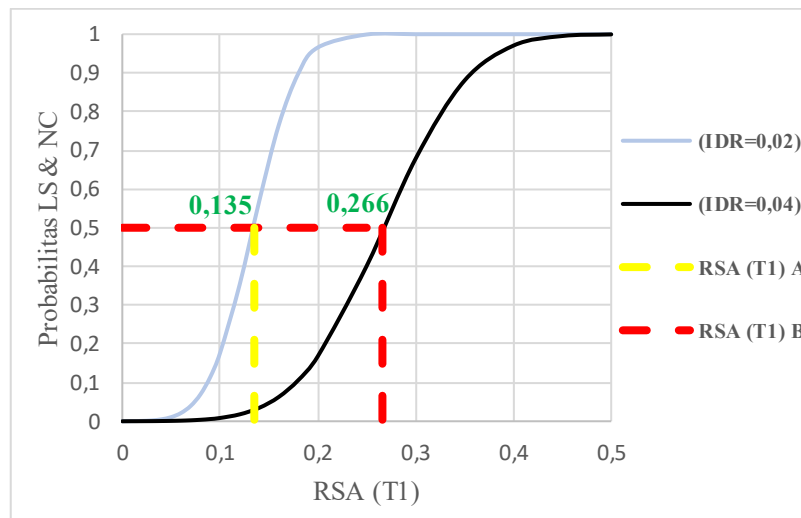
4. Mode 2 arah Y

Pada Gambar 4.8: grafik pertama menunjukkan bahwa kondisi LS mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sebesar 0,135 g, sedangkan kondisi NC mencapai probabilitas 50% pada 0,266 g. Dengan demikian, terdapat selisih sekitar 0,131 g antara kondisi LS dan NC. Nilai tersebut merupakan salah satu jarak LS–NC yang cukup besar pada delapan grafik yang dianalisis.

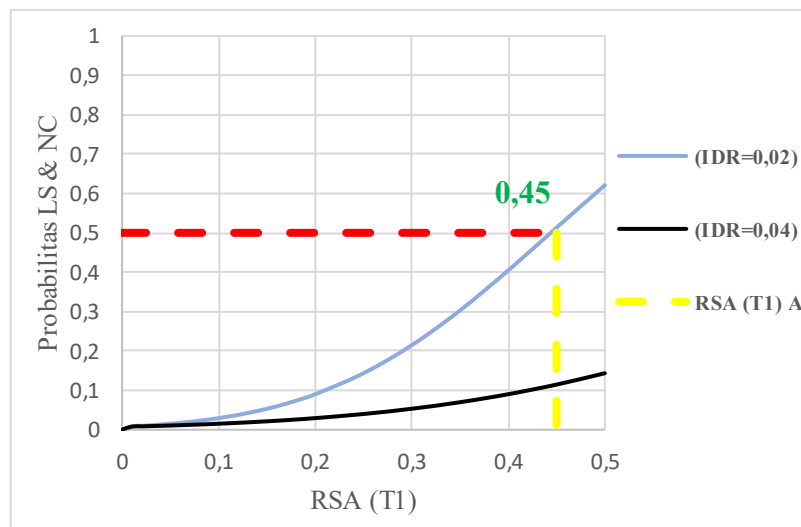
Pada grafik kedua, kondisi LS mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sekitar 0,45 g, sedangkan kondisi NC tidak mencapai probabilitas 50% sampai

RSA(T1) = 0,50 g. Probabilitas NC pada batas tersebut hanya sekitar 15%. Kondisi ini menunjukkan bahwa untuk data gempa jauh arah Y Mode 2, probabilitas mencapai kondisi mendekati keruntuhan relatif rendah dalam rentang intensitas yang dianalisis.

Secara umum, Mode 2 arah Y menunjukkan respons yang relatif lebih terkendali pada grafik kedua. Nilai RSA(T1) sebesar 0,45 g yang diperlukan untuk mencapai probabilitas LS 50% menunjukkan bahwa kondisi tersebut baru memiliki kemungkinan 50% pada intensitas gempa yang cukup tinggi.



(a)



(b)

Gambar 4.12: Perbandingan Probabilitas Rusak IDR 0,02 (LS) Dengan Probabilitas Rubuh IDR 0,04 (NC) pada GM Jauh arah Y, Mode 2.

Berdasarkan keseluruhan grafik perbandingan probabilitas kondisi batas, dapat dilihat bahwa kondisi LS ($IDR = 0,02$) selalu lebih dahulu tercapai dibandingkan kondisi NC ($IDR = 0,04$). Hal ini terlihat dari posisi kurva LS yang secara umum berada di sebelah kiri kurva NC. Artinya, intensitas gempa yang diperlukan untuk menghasilkan $IDR = 0,02$ lebih rendah daripada intensitas yang diperlukan untuk menghasilkan $IDR = 0,04$.

Pada gempa dekat, nilai $RSA(T1)$ pada probabilitas 50% untuk kondisi LS pada grafik pertama berada pada kisaran 0,10-0,125 g, sedangkan kondisi NC berada pada kisaran 0,20-0,25 g. Sementara itu, pada grafik kedua, kondisi LS membutuhkan $RSA(T1)$ sekitar 0,24-0,385 g, dan beberapa kondisi NC tidak mencapai probabilitas 50% sampai batas $RSA(T1) = 0,50$ g. Hasil ini menunjukkan adanya variasi respons yang cukup besar antar kelompok data *ground motion* dekat. Pada gempa jauh, nilai $RSA(T1)$ pada probabilitas 50% untuk kondisi LS pada grafik pertama berada sekitar 0,117-0,135 g, sedangkan kondisi NC sekitar 0,233–0,266 g. Pada grafik kedua, kondisi LS memerlukan $RSA(T1)$ yang lebih besar, yaitu sekitar 0,39–0,45 g, sedangkan sebagian besar kondisi NC belum mencapai probabilitas 50% pada $RSA(T1) = 0,50$ g.

Pada Tabel 4.11 ini merangkum nilai $RSA(T1)$ yang diperlukan untuk mencapai probabilitas 50% pada kondisi *Limit State* (LS, $IDR = 0,02$) dan *Near Collapse* (NC, $IDR = 0,04$) untuk delapan kombinasi kondisi (gempa dekat/jauh, arah X/Y, Mode 1/2). Kolom "Kondisi yang Lebih Dahulu Tercapai" menunjukkan bahwa LS selalu tercapai lebih awal daripada NC. Kolom "Keterangan Utama" memberikan catatan penting seperti nilai intensitas untuk grafik kedua atau margin antara LS dan NC. Tabel ini menunjukkan bahwa gempa dekat umumnya membutuhkan intensitas lebih rendah untuk mencapai kondisi batas dibandingkan gempa jauh.

Tabel 4.11: Hasil Analisis Probabilitas Kondisi Batas LS dan NC

No.	Kondisi	Arah	Mode	RSA(T1) LS, P = 50% (g)	RSA(T1) NC, P = 50% (g)	Kondisi yang Lebih Dahulu Tercapai	Keterangan Utama
1	Gempa dekat	X	Mode 1	0,110	0,215	LS	LS tercapai lebih awal; NC masih memiliki margin intensitas
2	Gempa dekat	Y	Mode 1	0,100	0,200	LS	Sedikit lebih kritis daripada X pada Mode 1
3	Gempa dekat	X	Mode 2	0,125	0,250	LS	NC membutuhkan sekitar 2× intensitas LS
4	Gempa dekat	Y	Mode 2	0,117	0,220	LS	Terdapat jarak respons LS– NC yang cukup jelas
5	Gempa jauh	X	Mode 1	0,117	0,233	LS	Grafik kedua tidak mencapai P = 50% untuk LS maupun NC
6	Gempa jauh	Y	Mode 1	0,117	0,233	LS	Grafik kedua LS = 0,39 g; NC belum P = 50%
7	Gempa jauh	X	Mode 2	0,117	0,233	LS	Grafik kedua LS dan NC belum P = 50%
8	Gempa jauh	Y	Mode 2	0,135	0,266	LS	Grafik kedua LS ≈ 0,45 g; NC belum P = 50%

Berdasarkan grafik dapat disimpulkan bahwa :

1. Kondisi LS ($IDR = 0,02$) secara konsisten tercapai pada intensitas gempa yang lebih rendah dibandingkan NC ($IDR = 0,04$). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan intensitas gempa setelah struktur mencapai batas LS masih diperlukan untuk mencapai kondisi mendekati keruntuhan.
2. Gempa dekat menunjukkan kecenderungan probabilitas kerusakan yang lebih cepat pada sebagian grafik, terutama karena nilai $RSA(T1)$ untuk mencapai probabilitas 50% pada kondisi LS umumnya berada pada kisaran 0,10–0,125 g pada grafik pertama. Pada gempa jauh, nilai tersebut umumnya berada sekitar 0,117–0,135 g.
3. Grafik kedua menunjukkan bahwa sebagian kondisi NC tidak mencapai probabilitas 50% hingga $RSA(T1) = 0,50$ g. Ini berarti berdasarkan distribusi *ground motion* yang dianalisis, belum terdapat cukup bukti statistik bahwa probabilitas kondisi NC mencapai 50% dalam rentang intensitas tersebut.

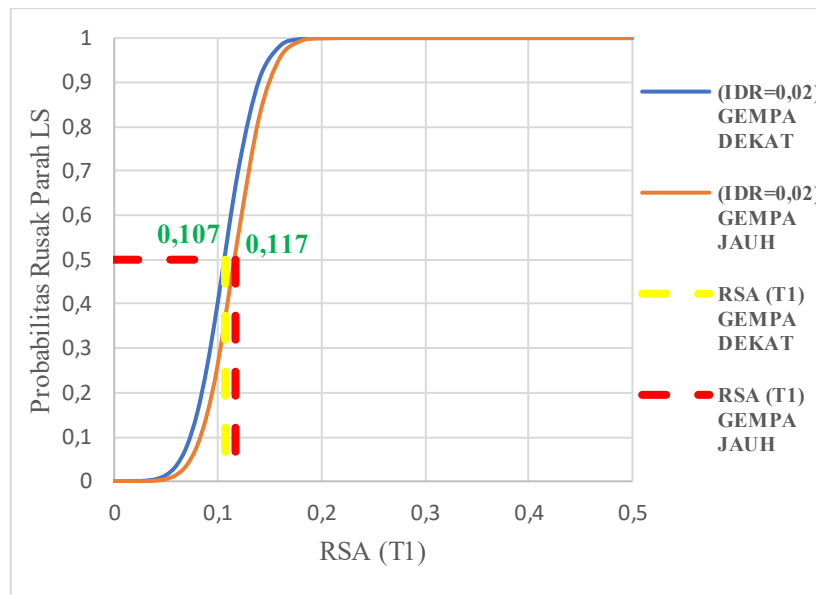
4.6 Analisis Probabilitas Kerusakan Berdasarkan Gempa Dekat (*Near-Field*) dan Gempa Jauh (*Far-Field*)

1. Kondisi Batas $IDR = 0,02$ Mode 1 Arah X

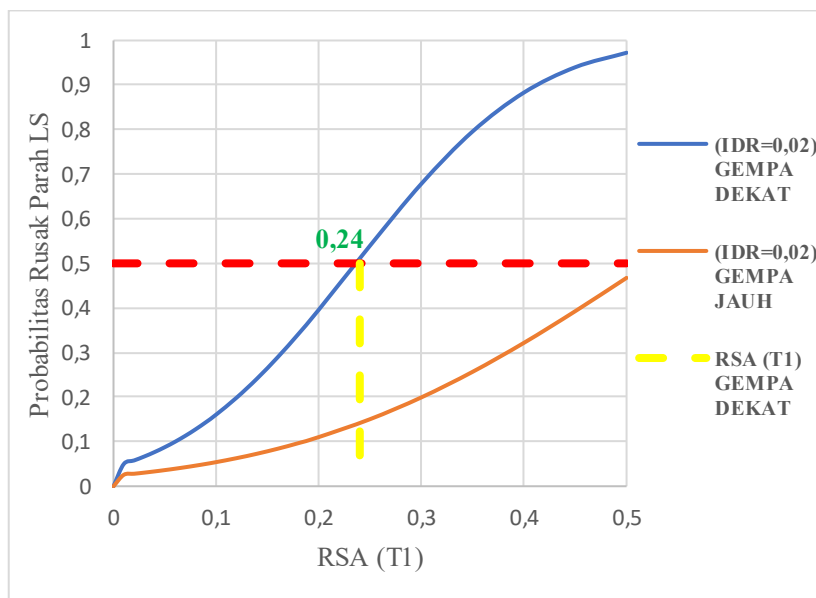
Gambar 4.13: menunjukkan perbandingan probabilitas tercapainya kondisi *Life Safety* (LS) dengan $IDR = 0,02$ pada struktur akibat gempa dekat dan gempa jauh untuk Mode 1 arah X. Pada grafik (a), kurva probabilitas gempa dekat menunjukkan bahwa probabilitas 50% tercapai pada $RSA(T1)$ sekitar 0,107 g, sedangkan pada gempa jauh probabilitas 50% tercapai pada $RSA(T1)$ sekitar 0,117 g. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa pada arah X Mode 1, kondisi LS pada gempa dekat dapat tercapai pada intensitas sedikit lebih rendah dibandingkan gempa jauh. Dengan demikian, berdasarkan data yang dianalisis, respons struktur terhadap kelompok gempa dekat cenderung lebih sensitif terhadap peningkatan intensitas gempa pada rentang probabilitas tersebut.

Pada grafik (b), perbedaan respons antara kedua kelompok gempa terlihat lebih jelas. Kurva gempa dekat meningkat lebih cepat dibandingkan kurva gempa jauh dan mencapai probabilitas 50% pada $RSA(T1)$ sekitar 0,24 g, sedangkan kurva gempa jauh masih berada di bawah probabilitas 50% hingga batas intensitas

RSA(T1) sebesar 0,50 g. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa terdapat variasi respons yang cukup besar antara rekaman gempa yang digunakan. Dengan demikian, karakteristik gempa tidak hanya ditentukan oleh besar intensitasnya, tetapi juga oleh karakteristik masing-masing rekaman yang menghasilkan respons struktur yang berbeda.



(a)



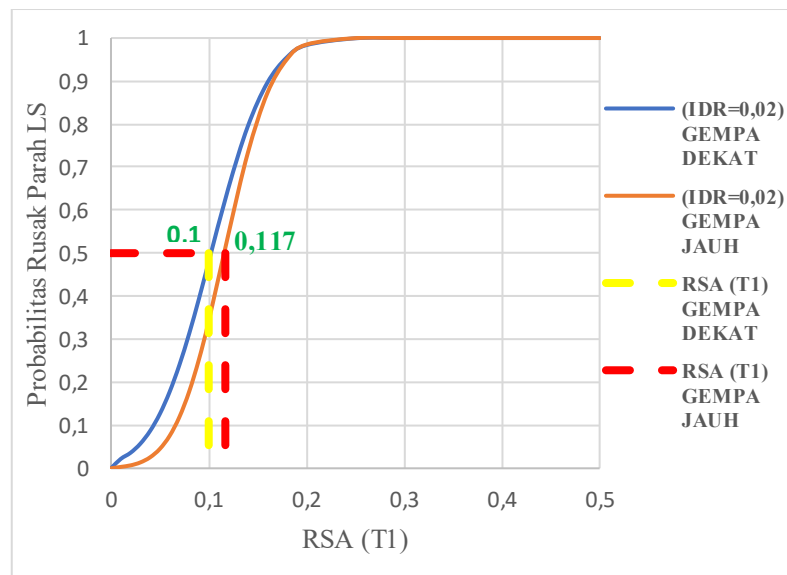
(b)

Gambar 4.13: Kondisi Batas IDR=0,02 Mode 1 (Arah X)

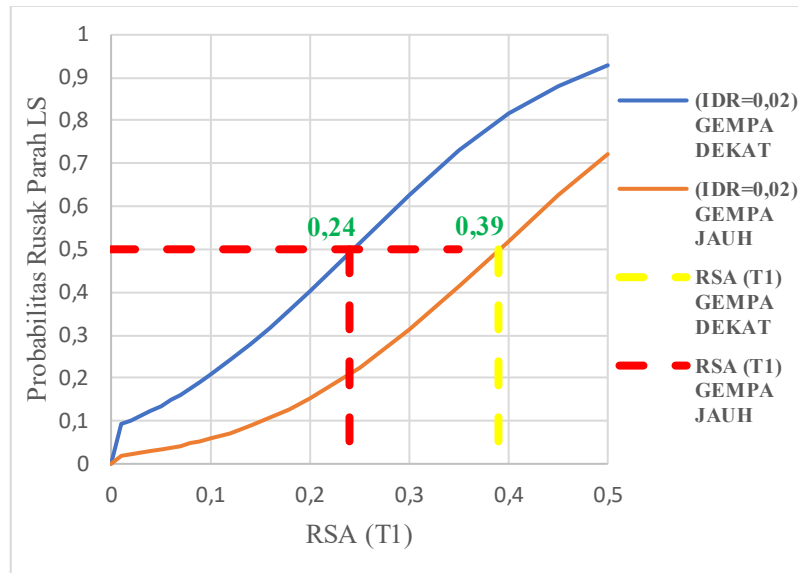
2. Kondisi Batas IDR = 0,02 Mode 1 Arah Y

Gambar 4.14: menunjukkan perbandingan probabilitas tercapainya kondisi *Life Safety* (LS) dengan IDR = 0,02 pada struktur akibat gempa dekat dan gempa jauh untuk Mode 1 arah X. Pada grafik (a), kurva probabilitas gempa dekat menunjukkan bahwa probabilitas 50% tercapai pada RSA(T1) sekitar 0,107 g, sedangkan pada gempa jauh probabilitas 50% tercapai pada RSA(T1) sekitar 0,117 g. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa pada arah X Mode 1, kondisi LS pada gempa dekat dapat tercapai pada intensitas sedikit lebih rendah dibandingkan gempa jauh. Dengan demikian, berdasarkan data yang dianalisis, respons struktur terhadap kelompok gempa dekat cenderung lebih sensitif terhadap peningkatan intensitas gempa pada rentang probabilitas tersebut.

Pada grafik (b), perbedaan respons antara kedua kelompok gempa terlihat lebih jelas. Kurva gempa dekat meningkat lebih cepat dibandingkan kurva gempa jauh dan mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sekitar 0,24 g, sedangkan kurva gempa jauh masih berada di bawah probabilitas 50% hingga batas intensitas RSA(T1) sebesar 0,50 g. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa terdapat variasi respons yang cukup besar antara rekaman gempa yang digunakan. Dengan demikian, karakteristik gempa tidak hanya ditentukan oleh besar intensitasnya, tetapi juga oleh karakteristik masing-masing rekaman yang menghasilkan respons struktur yang berbeda.



(a)



(b)

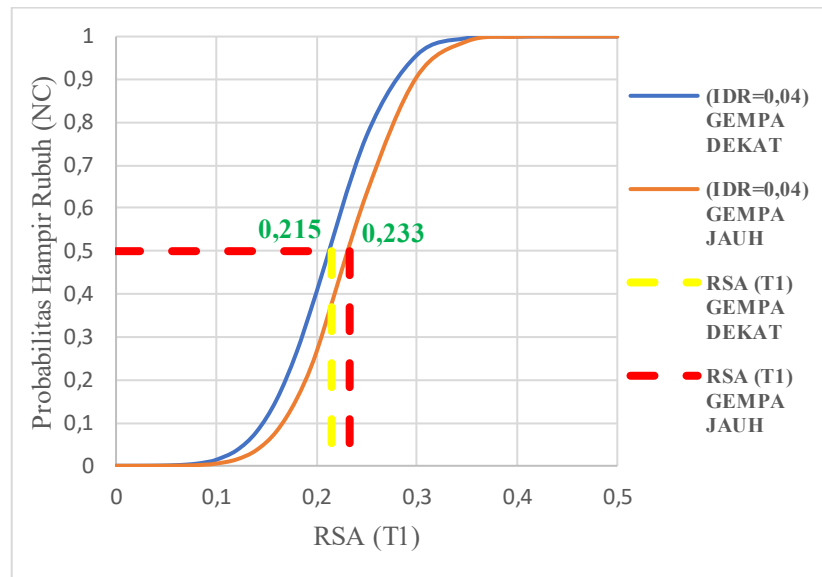
Gambar 4.14: Kondisi Batas IDR=0,02 Mode 1 (Arah Y)

3. Kondisi Batas IDR = 0,04 Mode 1 Arah X

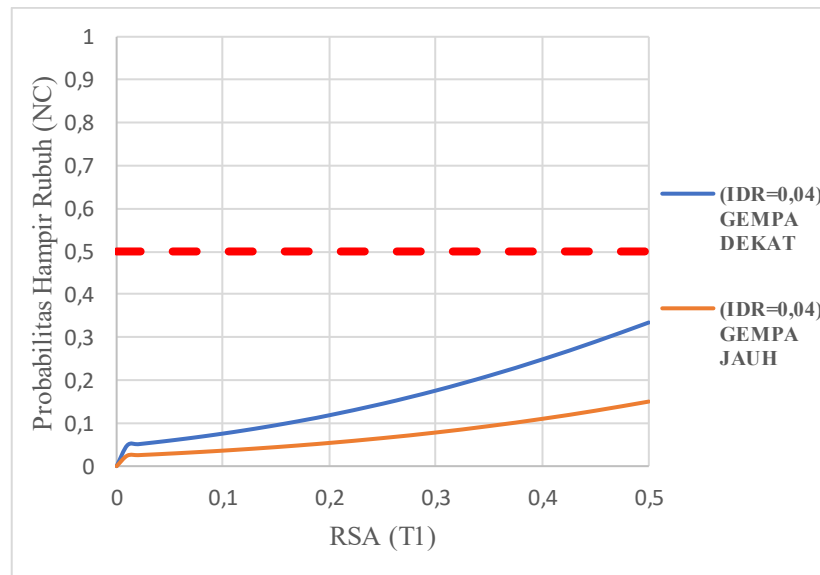
Gambar 4.15: menunjukkan perbandingan probabilitas tercapainya kondisi *Near Collapse* (NC) dengan IDR = 0,04 pada Mode 1 arah X. Pada grafik (a), probabilitas 50% kondisi NC tercapai pada RSA(T1) sekitar 0,215 g untuk gempa dekat dan sekitar 0,233 g untuk gempa jauh. Dengan demikian, gempa dekat membutuhkan intensitas sedikit lebih rendah untuk mencapai probabilitas 50% kondisi NC dibandingkan gempa jauh. Selisih tersebut menunjukkan bahwa kecenderungan respons gempa dekat masih lebih cepat dalam mencapai kondisi batas, meskipun perbedaannya relatif kecil dibandingkan dengan perbedaan yang terlihat pada beberapa grafik lainnya.

Pada grafik (b), kedua kurva berada cukup jauh di bawah probabilitas 50% hingga RSA(T1) = 0,50 g. Kurva gempa dekat menunjukkan probabilitas yang lebih tinggi dibandingkan gempa jauh, tetapi keduanya belum mencapai probabilitas 50%. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi mendekati keruntuhan tidak mudah tercapai pada rentang intensitas yang dianalisis. Dengan kata lain, meskipun struktur lebih mudah mencapai kondisi LS pada IDR = 0,02, peningkatan respons hingga mencapai IDR = 0,04 memerlukan intensitas gempa yang lebih besar.

Perbedaan ini sekaligus memperlihatkan adanya rentang respons antara kondisi LS dan NC sebelum struktur mencapai kondisi yang lebih kritis.



(a)



(b)

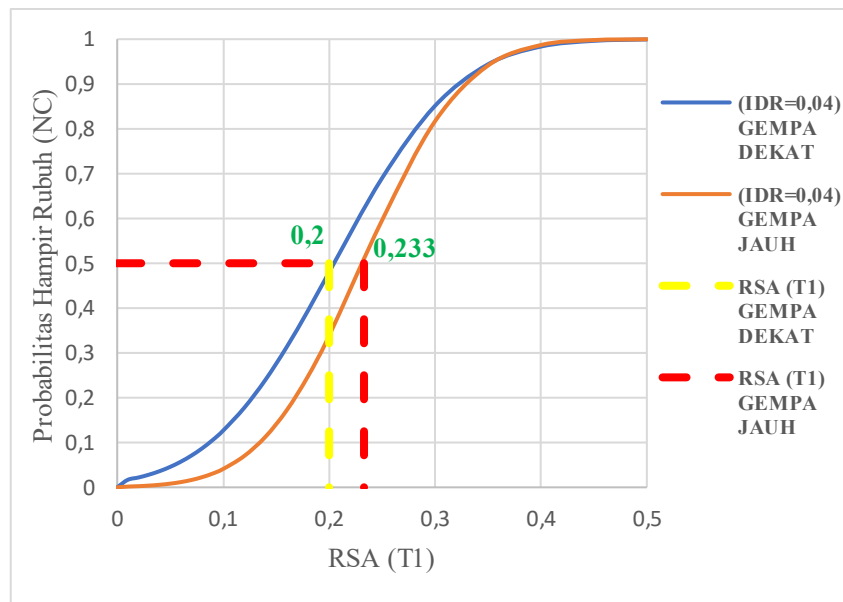
Gambar 4.15: Kondisi Batas IDR=0,04 Mode 1 (Arah X)

4. Kondisi Batas IDR = 0,04 Mode 1 Arah Y

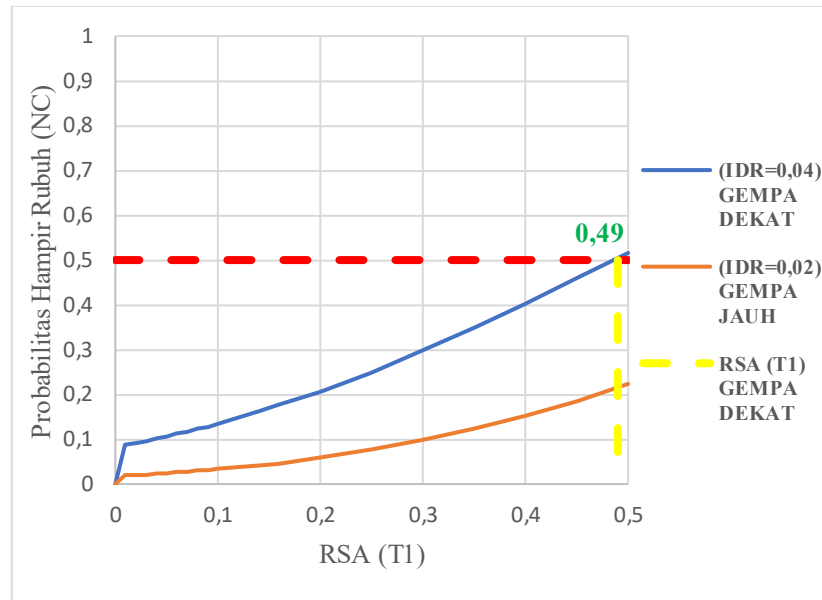
Gambar 4.16: memperlihatkan kondisi *Near Collapse* pada Mode 1 arah Y. Pada grafik (a), probabilitas 50% kondisi NC tercapai pada RSA(T1) sekitar 0,20 g untuk gempa dekat, sedangkan pada gempa jauh diperlukan RSA(T1) sekitar 0,233

g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa gempa dekat kembali mencapai kondisi batas pada intensitas yang lebih rendah dibandingkan gempa jauh. Selisih tersebut memperlihatkan bahwa karakteristik gempa dekat pada data penelitian memberikan kecenderungan respons struktur yang lebih cepat meningkat terhadap pertambahan intensitas gempa.

Pada grafik (b), kurva probabilitas kondisi NC untuk kedua kelompok gempa masih berada di bawah 50% hingga $RSA(T1) = 0,50$ g. Kurva gempa dekat memiliki probabilitas yang lebih tinggi dibandingkan gempa jauh, tetapi belum menunjukkan kemungkinan 50% untuk mencapai kondisi NC. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun peningkatan intensitas gempa menyebabkan probabilitas kerusakan bertambah, kondisi mendekati keruntuhan masih relatif sulit dicapai dalam rentang intensitas yang dianalisis. Hasil ini memperkuat bahwa pencapaian $IDR = 0,04$ membutuhkan tingkat intensitas gempa yang lebih tinggi dibandingkan pencapaian $IDR = 0,02$.



(a)



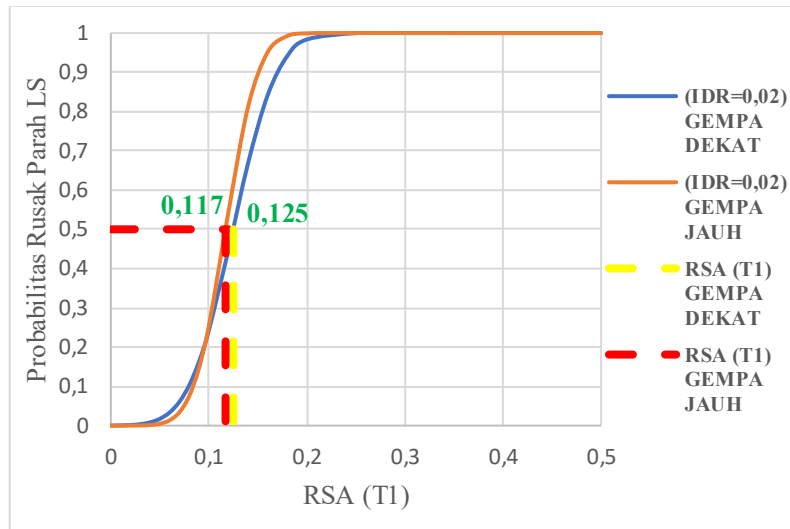
(b)

Gambar 4.16: Kondisi Batas IDR=0,04 Mode 1 (Arah Y)

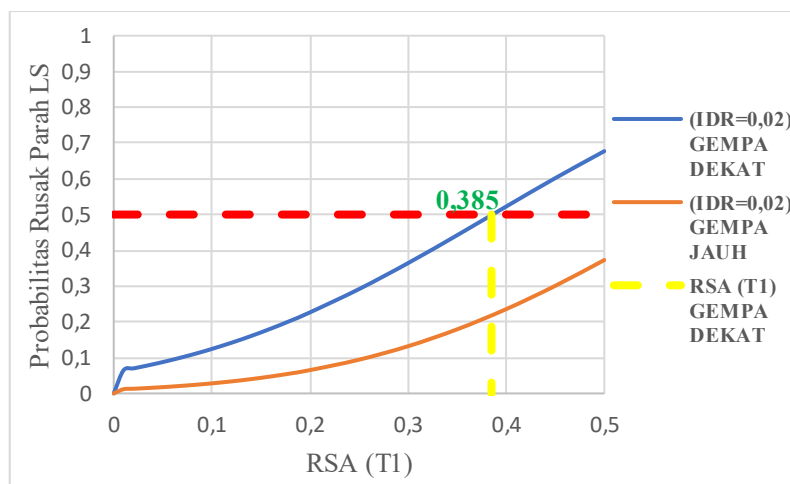
5. Kondisi Batas IDR = 0,02 Mode 2 Arah X

Gambar 4.17: menunjukkan probabilitas kondisi *Life Safety* pada Mode 2 arah X. Pada grafik (a), probabilitas 50% tercapai pada RSA(T1) sekitar 0,117 g untuk gempa dekat dan 0,125 g untuk gempa jauh. Selisih yang relatif kecil tersebut menunjukkan bahwa respons kedua kelompok gempa pada kondisi LS Mode 2 arah X memiliki kecenderungan yang cukup berdekatan. Meskipun demikian, gempa dekat tetap menunjukkan tercapainya probabilitas 50% pada intensitas yang sedikit lebih rendah.

Pada grafik (b), kurva gempa dekat mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sekitar 0,385 g, sedangkan kurva gempa jauh masih berada di bawah probabilitas tersebut hingga RSA(T1) = 0,50 g. Perbedaan ini menunjukkan bahwa respons kelompok gempa jauh pada sebagian data relatif lebih rendah dibandingkan gempa dekat. Dengan demikian, Mode 2 arah X memperlihatkan bahwa perubahan mode getar dapat memengaruhi tingkat sensitivitas struktur terhadap karakteristik ground motion. Hasil ini juga menunjukkan adanya variasi respons yang cukup besar meskipun seluruh rekaman telah digunakan dalam analisis dengan pendekatan intensitas RSA(T1) yang sama.



(a)



(b)

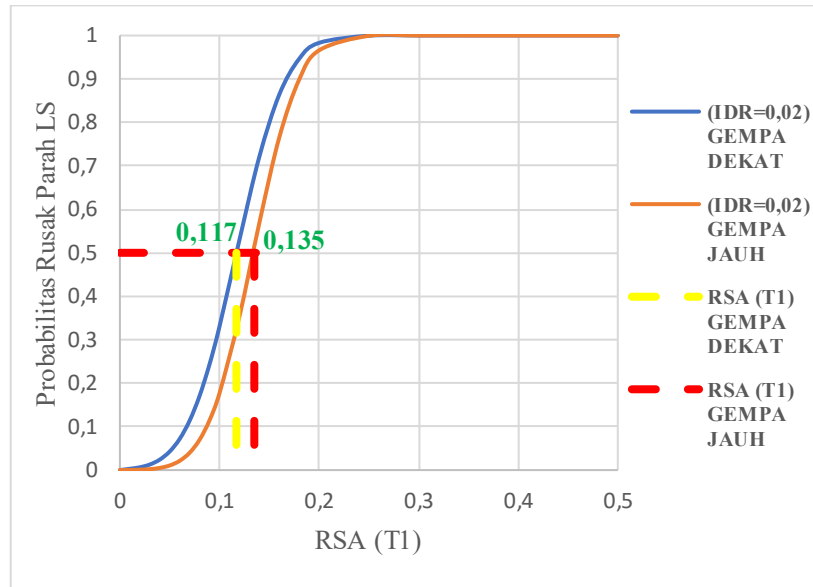
Gambar 4.17: Kondisi Batas IDR=0,02 Mode 2 (Arah X)

6. Kondisi Batas IDR = 0,02 Mode 2 Arah Y

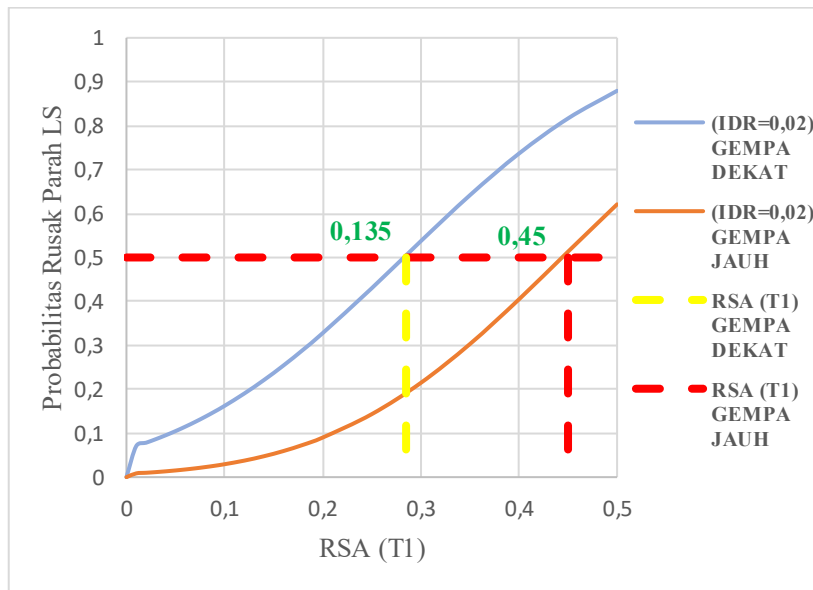
Gambar 4.18: menunjukkan kondisi Life Safety pada Mode 2 arah Y. Pada grafik (a), probabilitas 50% kondisi LS tercapai pada RSA(T1) sebesar 0,117 g untuk gempa dekat, sedangkan gempa jauh mencapai probabilitas yang sama pada sekitar 0,135 g. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa gempa dekat membutuhkan intensitas sedikit lebih rendah untuk mencapai kondisi LS. Dengan demikian, pada intensitas gempa yang sama, kelompok gempa dekat memiliki kecenderungan probabilitas kerusakan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan kelompok gempa jauh pada kondisi tersebut.

Pada grafik (b), perbedaan respons semakin terlihat. Kondisi LS pada gempa dekat mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) sekitar 0,285 g, sedangkan

gempa jauh membutuhkan RSA(T1) sekitar 0,45 g untuk mencapai probabilitas yang sama. Selisih yang cukup besar tersebut menunjukkan bahwa respons struktur terhadap gempa jauh pada Mode 2 arah Y relatif lebih terkendali pada rentang intensitas yang ditinjau. Dengan demikian, perubahan dari Mode 1 ke Mode 2 serta perubahan arah pembebanan memberikan pengaruh terhadap sensitivitas probabilistik struktur terhadap kelompok gempa yang digunakan.



(a)



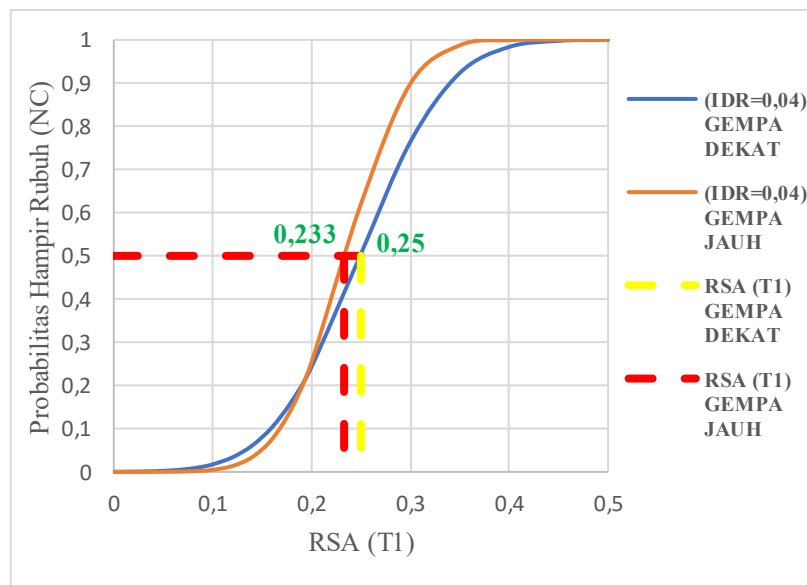
(b)

Gambar 4.18: Kondisi Batas IDR=0,02 Mode 2 (Arah Y)

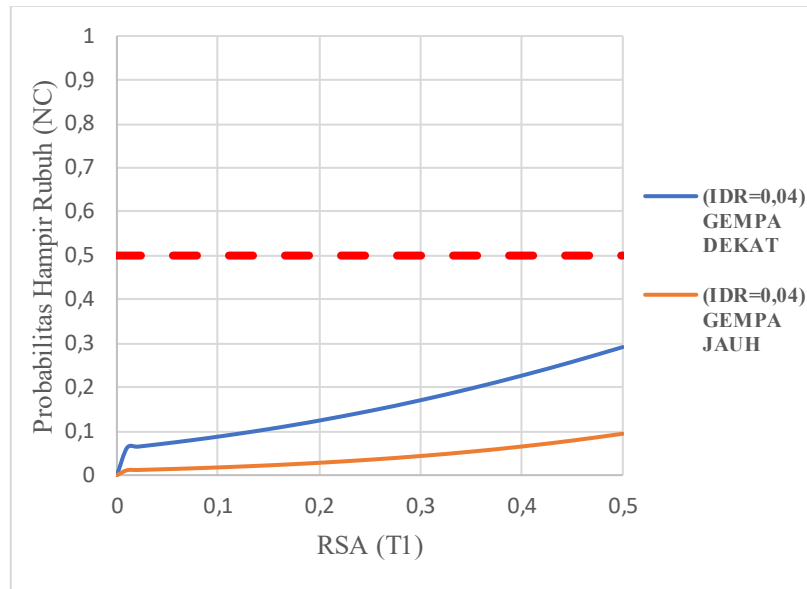
7. Kondisi Batas $IDR = 0,04$ Mode 2 Arah X

Gambar 4.19: menunjukkan probabilitas tercapainya kondisi *Near Collapse* pada Mode 2 arah X. Pada grafik (a), probabilitas 50% kondisi NC tercapai pada $RSA(T1)$ sekitar 0,25 g untuk gempa dekat dan sekitar 0,233 g untuk gempa jauh. Berbeda dengan beberapa grafik sebelumnya, pada kondisi ini nilai intensitas gempa jauh yang diperlukan untuk mencapai probabilitas 50% sedikit lebih rendah dibandingkan gempa dekat. Hal tersebut menunjukkan bahwa respons probabilistik struktur tidak selalu membuat gempa dekat menjadi kondisi yang paling kritis. Perbedaan karakteristik setiap rekaman gempa dan interaksinya dengan karakteristik dinamik struktur dapat menyebabkan perubahan posisi kurva probabilitas.

Pada grafik (b), baik kurva gempa dekat maupun gempa jauh masih berada jauh di bawah probabilitas 50% sampai $RSA(T1) = 0,50$ g. Kondisi ini menunjukkan bahwa probabilitas struktur mencapai $IDR = 0,04$ relatif rendah pada rentang intensitas tersebut. Dengan demikian, meskipun kondisi LS dapat tercapai pada intensitas tertentu, peningkatan respons hingga kondisi NC memerlukan intensitas yang jauh lebih besar. Hal ini memperlihatkan adanya perbedaan tingkat sensitivitas antara batas kerusakan LS dan kondisi mendekati keruntuhan pada Mode 2 arah X.



(a)



(b)

Gambar 4.19: Kondisi Batas IDR=0,04 Mode 2 (Arah X)

8. Kondisi Batas IDR = 0,04 Mode 2 Arah Y

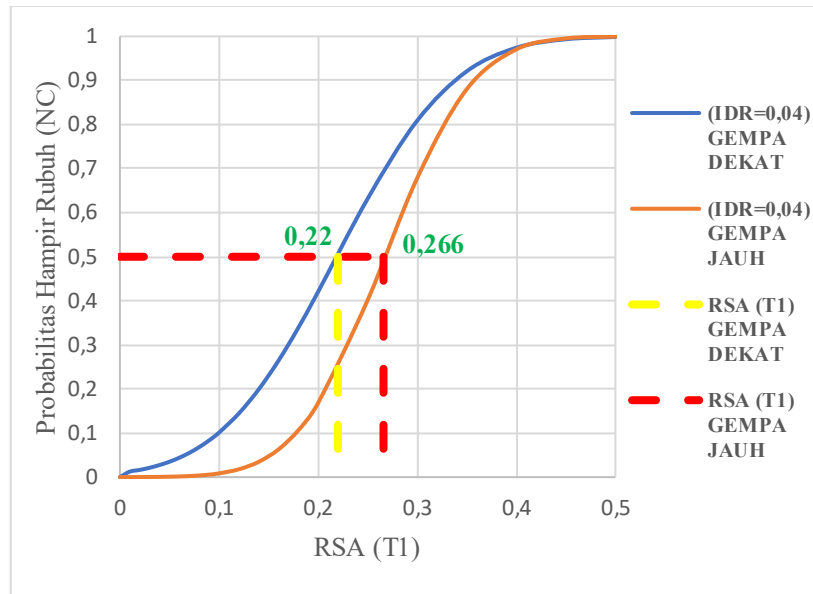
Gambar 4.20: merupakan grafik terakhir yang menunjukkan probabilitas kondisi *Near Collapse* pada Mode 2 arah Y. Pada grafik (a), probabilitas 50% kondisi NC tercapai pada RSA(T1) sekitar 0,22 g untuk gempa dekat dan sekitar 0,266 g untuk gempa jauh. Dengan demikian, gempa dekat membutuhkan intensitas yang lebih rendah dibandingkan gempa jauh untuk mencapai probabilitas 50% kondisi mendekati keruntuhan. Selisih tersebut menunjukkan bahwa pada Mode 2 arah Y, respons terhadap gempa dekat cenderung meningkat lebih cepat dibandingkan gempa jauh pada kondisi batas NC.

Sementara itu, pada grafik (b), kedua kurva probabilitas masih berada di bawah 50% hingga RSA(T1) = 0,50 g. Kurva gempa dekat menunjukkan probabilitas yang lebih tinggi dibandingkan gempa jauh, tetapi belum mencapai probabilitas 50%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa untuk mencapai *Near Collapse* berdasarkan IDR = 0,04 diperlukan intensitas gempa yang lebih besar daripada rentang intensitas yang ditinjau. Hasil ini juga memperlihatkan bahwa peningkatan intensitas gempa memang meningkatkan probabilitas kerusakan, tetapi peningkatan tersebut tidak selalu cukup untuk mencapai kondisi NC pada seluruh kelompok rekaman gempa.

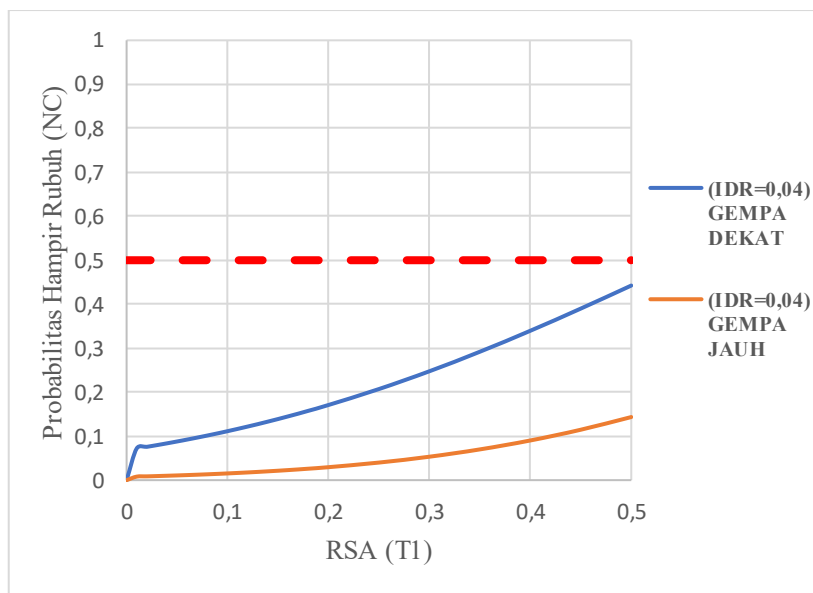
Berdasarkan keseluruhan Gambar 4.9 sampai dengan Gambar 4.16, dapat dilihat bahwa kondisi *Life Safety* dengan $IDR = 0,02$ secara konsisten tercapai pada intensitas $RSA(T1)$ yang lebih rendah dibandingkan kondisi *Near Collapse* dengan $IDR = 0,04$. Hal tersebut menunjukkan bahwa struktur lebih mudah mencapai batas $IDR = 0,02$ sebelum mencapai $IDR = 0,04$. Pada kondisi probabilitas 50%, nilai $RSA(T1)$ untuk kondisi LS pada grafik pembanding berada sekitar 0,107–0,135 g untuk grafik pertama, sedangkan kondisi NC berada sekitar 0,20–0,266 g. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa masih terdapat peningkatan intensitas gempa yang diperlukan untuk mengubah kondisi struktur dari batas LS menuju kondisi NC.

Secara keseluruhan, gempa dekat menunjukkan kecenderungan mencapai kondisi batas pada intensitas yang sedikit lebih rendah dibandingkan gempa jauh pada sebagian besar grafik, terutama pada kondisi LS. Namun, pola tersebut tidak bersifat mutlak karena pada Gambar 4.15, kondisi NC Mode 2 arah X menunjukkan bahwa nilai $RSA(T1)$ gempa jauh untuk probabilitas 50% justru sedikit lebih rendah dibandingkan gempa dekat. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik respons struktur sangat dipengaruhi oleh kombinasi antara karakteristik *ground motion*, arah pembebanan, dan mode getar struktur. Oleh karena itu, perbedaan antara gempa dekat dan gempa jauh tidak cukup dinilai hanya berdasarkan klasifikasi jarak sumber gempa, tetapi perlu dilihat berdasarkan respons probabilistik yang dihasilkan oleh masing-masing kelompok rekaman.

Hasil tersebut sejalan dengan kesimpulan penelitian bahwa peningkatan intensitas $RSA(T1)$ menyebabkan peningkatan probabilitas struktur mencapai atau melampaui batas *Story Drift Ratio*. Pada probabilitas 50%, nilai $RSA(T1)$ untuk mencapai $IDR = 0,02$ berada pada kisaran sekitar 0,106–0,125 g untuk *Ground Motion* dekat dan sekitar 0,116–0,117 g untuk *Ground Motion* jauh. Dengan demikian, semakin besar intensitas gempa, semakin besar kemungkinan struktur mengalami simpangan antar tingkat yang lebih besar. Selain itu, perbedaan antara gempa dekat dan gempa jauh serta antara Mode 1 dan Mode 2 menunjukkan bahwa karakteristik rekaman gempa dan karakteristik dinamik struktur mempunyai pengaruh terhadap respons probabilistik struktur.



(a)



(b)

Gambar 4.20: Kondisi Batas IDR=0,04 Mode 2 (Arah Y)

Tabel 4.12: Hasil Analisis Probabilitas Kerusakan Gempa Dekat dan Gempa Jauh

Gambar	Kondisi	Mode / Arah	RSA(T1) pada Prob. 50% Gempa Dekat	RSA(T1) pada Prob. 50% Gempa Jauh	Limit yang Lebih Dahulu Tercapai	Keterangan
4.9	LS, IDR = 0,02	Mode 1 – X	0,107 g	0,117 g	LS	Gempa dekat mencapai LS pada intensitas lebih rendah
4.10	LS, IDR = 0,02	Mode 1 – Y	0,100 g	0,117 g	LS	Gempa dekat lebih cepat mencapai LS
4.11	NC, IDR = 0,04	Mode 1 – X	0,215 g	0,233 g	NC	NC tercapai pada intensitas lebih tinggi daripada LS
4.12	NC, IDR = 0,04	Mode 1 – Y	0,200 g	0,233 g	NC	Gempa dekat mencapai NC lebih dahulu
4.13	LS, IDR = 0,02	Mode 2 – X	0,117 g	0,125 g	LS	Perbedaan dekat–jauh relatif kecil
4.14	LS, IDR = 0,02	Mode 2 – Y	0,117 g	0,135 g	LS	Gempa dekat lebih cepat mencapai LS
4.15	NC, IDR = 0,04	Mode 2 – X	0,250 g	0,233 g	NC	Gempa jauh sedikit lebih cepat mencapai NC
4.16	NC, IDR = 0,04	Mode 2 – Y	0,220 g	0,266 g	NC	Gempa dekat lebih cepat mencapai NC

Berdasarkan hasil analisis probabilitas kerusakan pada Gambar 4.13 sampai dengan Gambar 4.20, terlihat bahwa kondisi *Life Safety* (LS) dengan IDR = 0,02 secara umum tercapai terlebih dahulu dibandingkan kondisi *Near Collapse* (NC) dengan IDR = 0,04. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai RSA(T1) pada probabilitas 50% yang selalu lebih rendah untuk kondisi LS dibandingkan kondisi NC. Pada

gempa dekat, nilai RSA(T1) untuk mencapai probabilitas 50% kondisi LS berada pada kisaran sekitar 0,100–0,117 g, sedangkan kondisi NC berada pada kisaran 0,200–0,250 g. Sementara itu, pada gempa jauh, kondisi LS berada pada kisaran 0,117–0,135 g, sedangkan kondisi NC berada pada kisaran 0,233–0,266 g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa struktur membutuhkan intensitas gempa yang lebih besar untuk berpindah dari kondisi *Life Safety* menuju kondisi *Near Collapse*.

Jika dibandingkan berdasarkan karakteristik gempa, gempa dekat cenderung menghasilkan kondisi *limit state* pada intensitas RSA(T1) yang lebih rendah dibandingkan gempa jauh. Kecenderungan tersebut terlihat pada sebagian besar grafik, terutama pada Gambar 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.18, dan 4.20. Hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan data *ground motion* yang digunakan, gempa dekat cenderung memberikan respons probabilistik yang lebih cepat meningkat terhadap pertambahan intensitas RSA(T1). Namun demikian, kecenderungan tersebut tidak berlaku secara mutlak, karena pada Gambar 4.19 kondisi NC Mode 2 arah X menunjukkan bahwa gempa jauh mencapai probabilitas 50% pada RSA(T1) 0,233 g, sedangkan gempa dekat membutuhkan 0,25 g. Perbedaan ini menunjukkan bahwa respons probabilistik struktur tidak hanya dipengaruhi oleh klasifikasi gempa dekat atau jauh, tetapi juga oleh karakteristik masing-masing rekaman gempa, arah pembebanan, dan mode getar struktur.

Hal lain yang penting diperhatikan adalah grafik (b) pada beberapa gambar. Pada grafik tersebut, khususnya untuk kondisi NC, kurva tidak mencapai probabilitas 50% hingga batas RSA(T1) = 0,50 g. Kondisi ini menunjukkan bahwa berdasarkan distribusi *ground motion* yang dianalisis, belum terdapat probabilitas 50% untuk mencapai kondisi *Near Collapse* dalam rentang intensitas yang ditinjau. Sebagai contoh, pada gempa jauh arah X Mode 1, probabilitas maksimum NC hanya sekitar 15%, sedangkan pada gempa jauh arah Y Mode 1 probabilitas NC sekitar 22%. Pada Mode 2 arah X, probabilitas NC juga relatif rendah.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Analisis respons spektrum linear menunjukkan bahwa perilaku gedung SRPMK berbeda untuk setiap rekaman *ground motion*, arah pembebanan, dan mode getar. Rekaman gempa dekat memberikan variasi respons yang lebih besar dibandingkan gempa jauh, dengan GM 2, GM 4, GM 7, dan GM 14 sebagai rekaman yang paling dominan menghasilkan simpangan, sedangkan pada gempa jauh respons terbesar dihasilkan oleh GM 1, GM 2, dan GM 3
2. Distribusi *Story Drift Ratio* menunjukkan bahwa simpangan terbesar umumnya terjadi pada lantai bawah hingga lantai menengah, terutama pada kisaran lantai 3 sampai lantai 9. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa daerah tersebut merupakan bagian struktur yang paling sensitif terhadap pengaruh beban gempa dan perlu menjadi perhatian dalam evaluasi kinerja struktur
3. Kurva probabilitas kerusakan (*fragility curve*) memperlihatkan bahwa semakin besar nilai intensitas gempa $RSA(T1)$, semakin besar pula peluang struktur mencapai kondisi kerusakan. Pada probabilitas 50%, kondisi *Limit State* ($IDR = 0,02$) dicapai pada kisaran $RSA(T1)$ 0,106–0,125 g untuk gempa dekat dan 0,116–0,117 g untuk gempa jauh, sehingga kondisi LS terjadi lebih dahulu sebelum struktur mendekati keruntuhan.
4. Hasil evaluasi probabilitas *Near Collapse* ($IDR = 0,04$) menunjukkan bahwa struktur memerlukan intensitas gempa yang lebih tinggi dibandingkan kondisi LS. Perbedaan nilai probabilitas antara gempa dekat dan gempa jauh membuktikan bahwa karakteristik rekaman gempa berpengaruh terhadap estimasi perilaku struktur, sehingga penggunaan data *ground motion* nyata dapat memberikan gambaran respons yang lebih representatif dibandingkan hanya menggunakan spektrum desain umum.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah dan variasi *Ground Motion* yang lebih banyak, sehingga karakteristik gempa yang digunakan dapat lebih mewakili berbagai kondisi gempa dan hasil analisis probabilistik menjadi lebih baik.
2. *Ground Motion* yang menghasilkan respons paling kritis perlu dianalisis lebih lanjut, terutama pada lantai bawah hingga menengah yang menunjukkan *Story Drift Ratio* relatif besar, sehingga dapat diketahui penyebab dan karakteristik respons struktur secara lebih mendalam.
3. Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan analisis menggunakan metode *nonlinear*, seperti *nonlinear time history analysis*, serta mempertimbangkan parameter kinerja struktur lainnya agar perilaku struktur ketika memasuki kondisi inelastik dan mendekati keruntuhan dapat dievaluasi secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah, W., Bagio, T. H., & Tistogondo, J. (2019). DESAIN PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG 38 LANTAI DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK). *Jurnal MITSU*, 7(1), 18–23.
- Candra, I. M. A., Wibawa, I. M. S., Wiryadi, I. G. G., & Letra, I. M. (2021). ANALISIS PERILAKU STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS PARIWISATA. 1(2), 24–29.
- Halawa, P., Tampubolon, S. P., & Hutabarat, L. E. (2025). Analisis perilaku kinerja struktur bangunan pada variasi tipe podium zona gempa 5 menggunakan metode respon spektrum. 14, 152–165.
- Harahap, M. F., Pertanian, F. T., & Indonesia, J. B. (2019). Perilaku Dinamik pada Struktur Apartemen Metro Galaxy Park terhadap Beban Gempa. 04(03), 195–206.
- Hassan, N., Chowdhury, S. R., & Shuvo, R. I. (2024). Jurnal Teknologi SEISMIC BEHAVIOR OF MULANTAI-STORIED RC BUILDING WITH RE-ENTRANT CORNER. 2, 183–198.
- Mohite, M. N. A., & Patil, M. V. B. (2023). Response Spectrum Analysis of G 15 Story. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 9(Mei), 5–12.
- Rafsanjani, A., & Kurnia, F. (2021). LINEAR RESPON SPEKTRUM Studi Kasus Gedung Asrama Pusdiklat PPATK , Depok (Analysis Strenght of Building Against Earthquakes Force Using Response Spectrum Linear Method). 1(1), 52–57.
- Ramadhan, A. H., Artiani, G. P., & Triastuti, N. S. (2024). ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT DENGAN METODE RESPON SPEKTRUM PADA PROYEK GEDUNG KONI JAKARTA PUSAT. *Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 2, 677–700.
- Satria, F. A. (2022). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Akibat Gempa Berdasarkan Simpangan Dengan Analisis Respon Spektrum. 10(3), 423–432.
- Shaik, A. (2019). Analysis of Mulantaii-Storey Building by Response Spectrum Method using E-Tabs Software. 8(10), 638–642.

- Simanjuntak, N. A., & Meilawaty, O. (2024). *Analisis Perilaku Struktur Bangunan Rumah Metode RISHA dan RIKO Ditinjau Terhadap Gempa Linier Dinamik Respon Spektrum di Kabupaten Minahasa Selatan. IX(3)*, 10106–10114.
- Sinuraya, I. F. A. (2025). *GEMPA PADA STRUKTUR GEDUNG TINGGI MENGGUNAKAN BASEMENT (Studi Penelitian) IBNU FAJAR AUZA ' I SINURAYA*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726-2019: Indonesia Seismic Resistance Design Guideline for Buildings and Other Structures (in Indonesian)*. www.bsn.go.id
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727-2020: Peraturan Beban Desain Bangunan Gedung*.

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : MUHAMMAD ALWI ALFALAH
NPM : 2207210080
JURUSAN : TEKNIK SIPIL
BIDANG ILMU : STRUKTUR

NO	HARI/TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
		- perbaikan judul T.A.	<i>[Signature]</i> 27/11/25
		- perbaikan studi pustaka) dan metode	<i>[Signature]</i> 11/11/25
		- perbaikan diagram celis metode	<i>[Signature]</i> 15/11/25
		all utk diseminasikan proposal ini! <i>[Signature]</i> 2/11/25	

DOSEN PEMBIMBING

(Assoc. Prof. Ir. ADE FAISAL., S.T., M.Sc., Ph.D.)



TUGAS AKHIR
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061) 6622400



LEMBAR ASISTENSI

NAMA : MUHAMMAD ALWI ALFALAH
NPM : 2207210080
JURUSAN : TEKNIK SIPIL
BIDANG ILMU : STRUKTUR

NO	HARI/TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
		ace utk sentias! ade faisal	26/2/24 OP

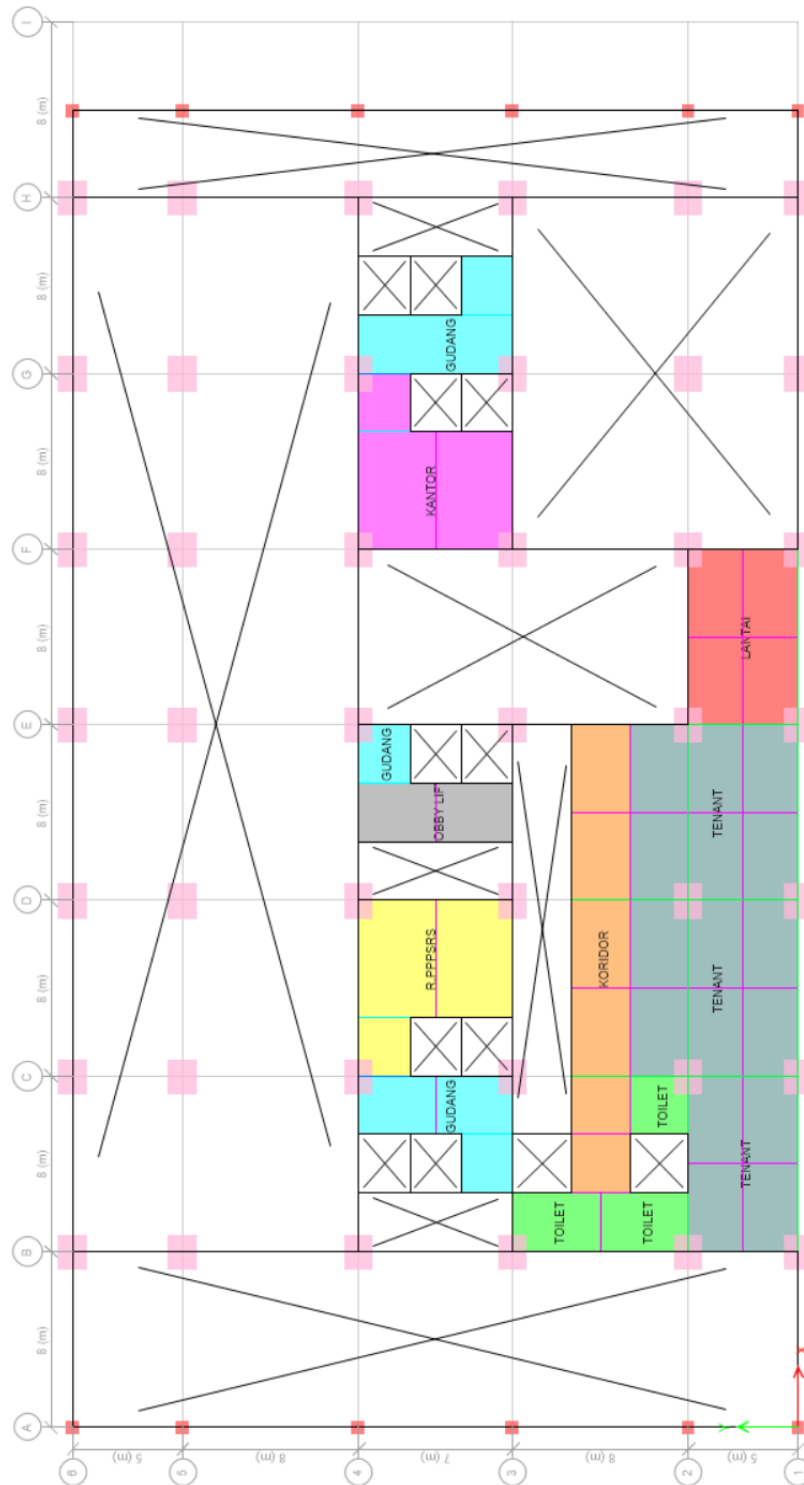
DOSEN PEMBIMBING

(Assoc. Prof. Ir. ADE FAISAL., S.T., M.Sc., Ph.D.)

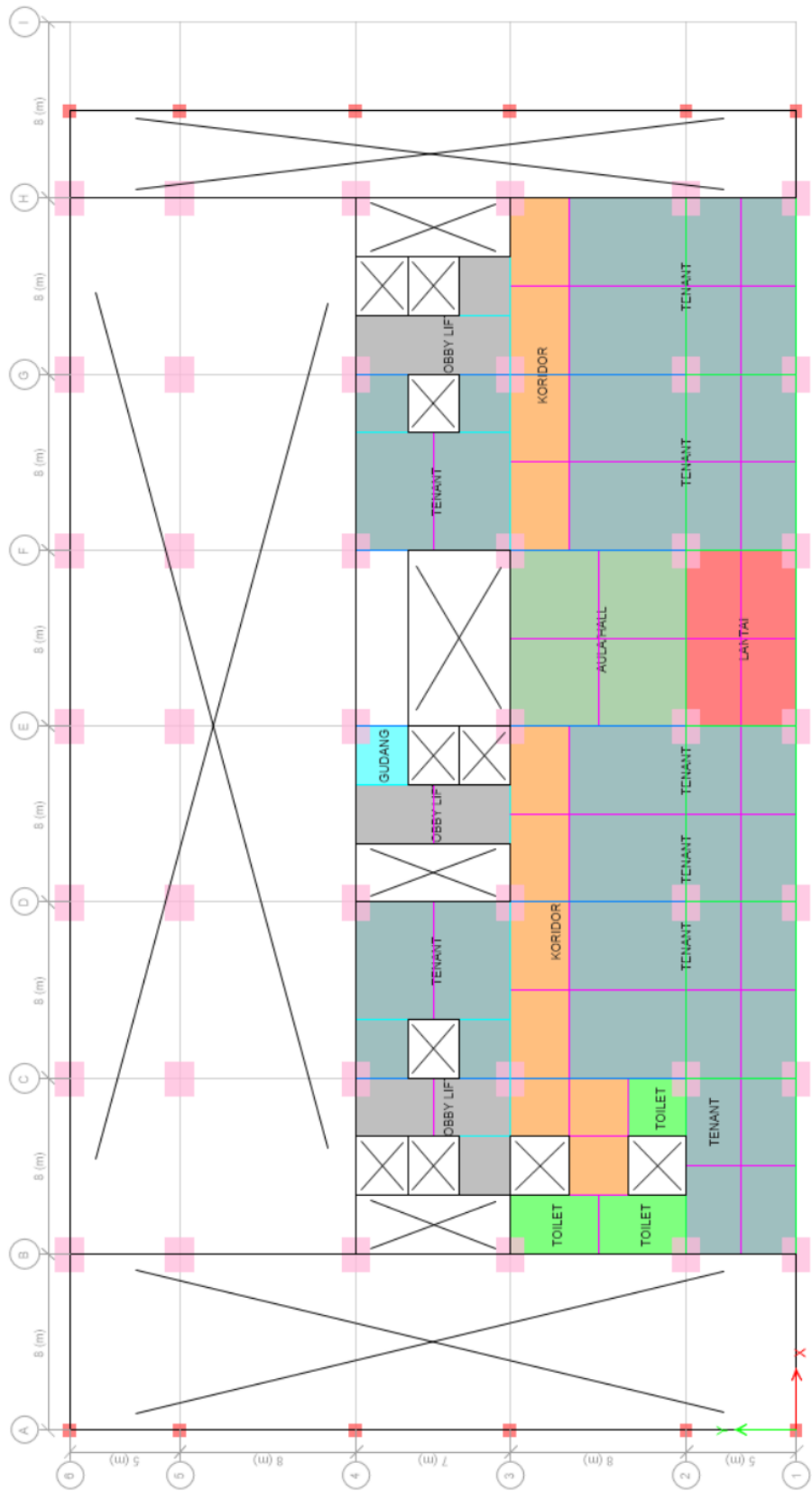
LAMPIRAN

Lampiran 1. Denah Fungsi Ruang

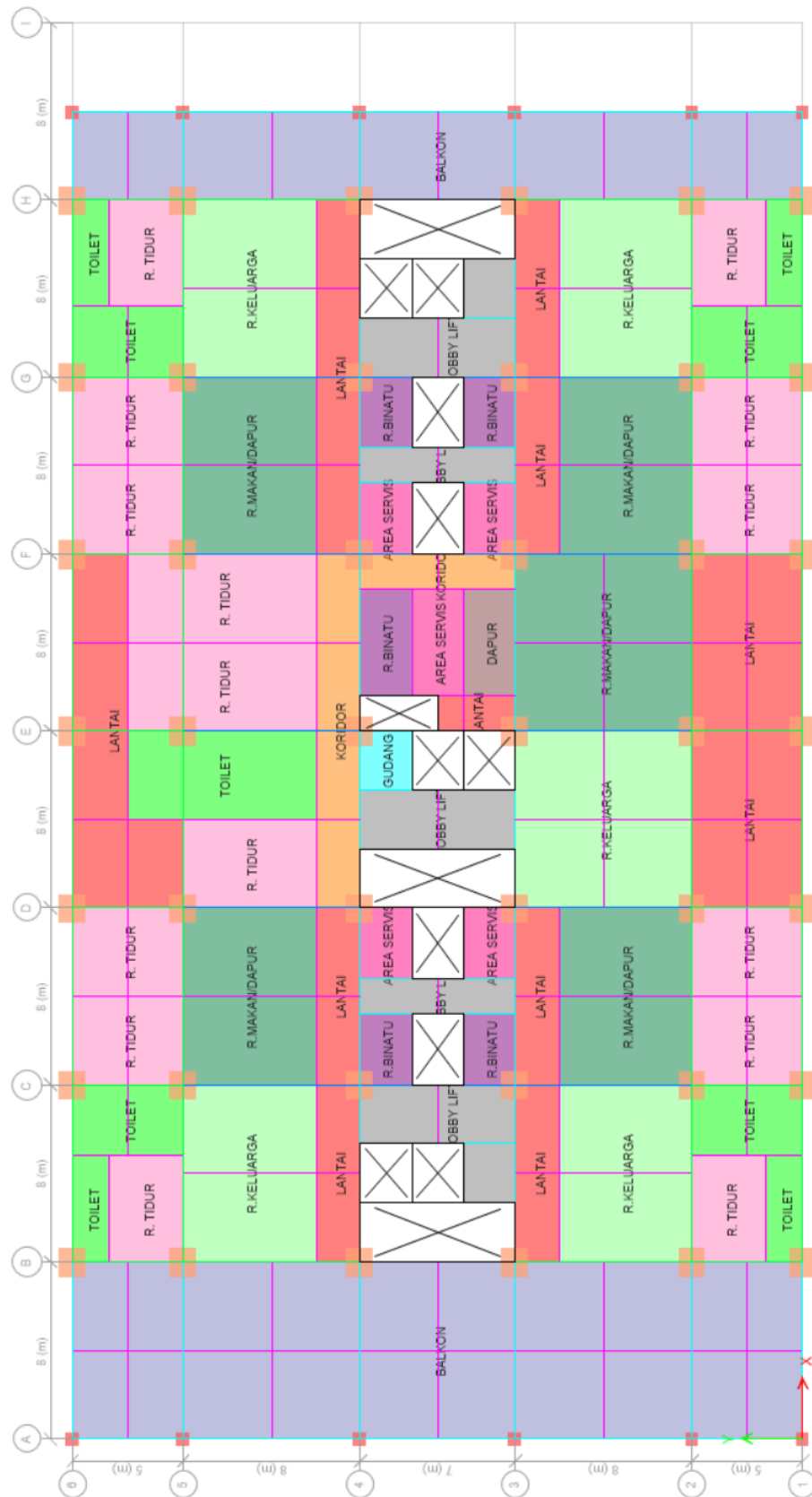
DENAH LANTAI MEZZ



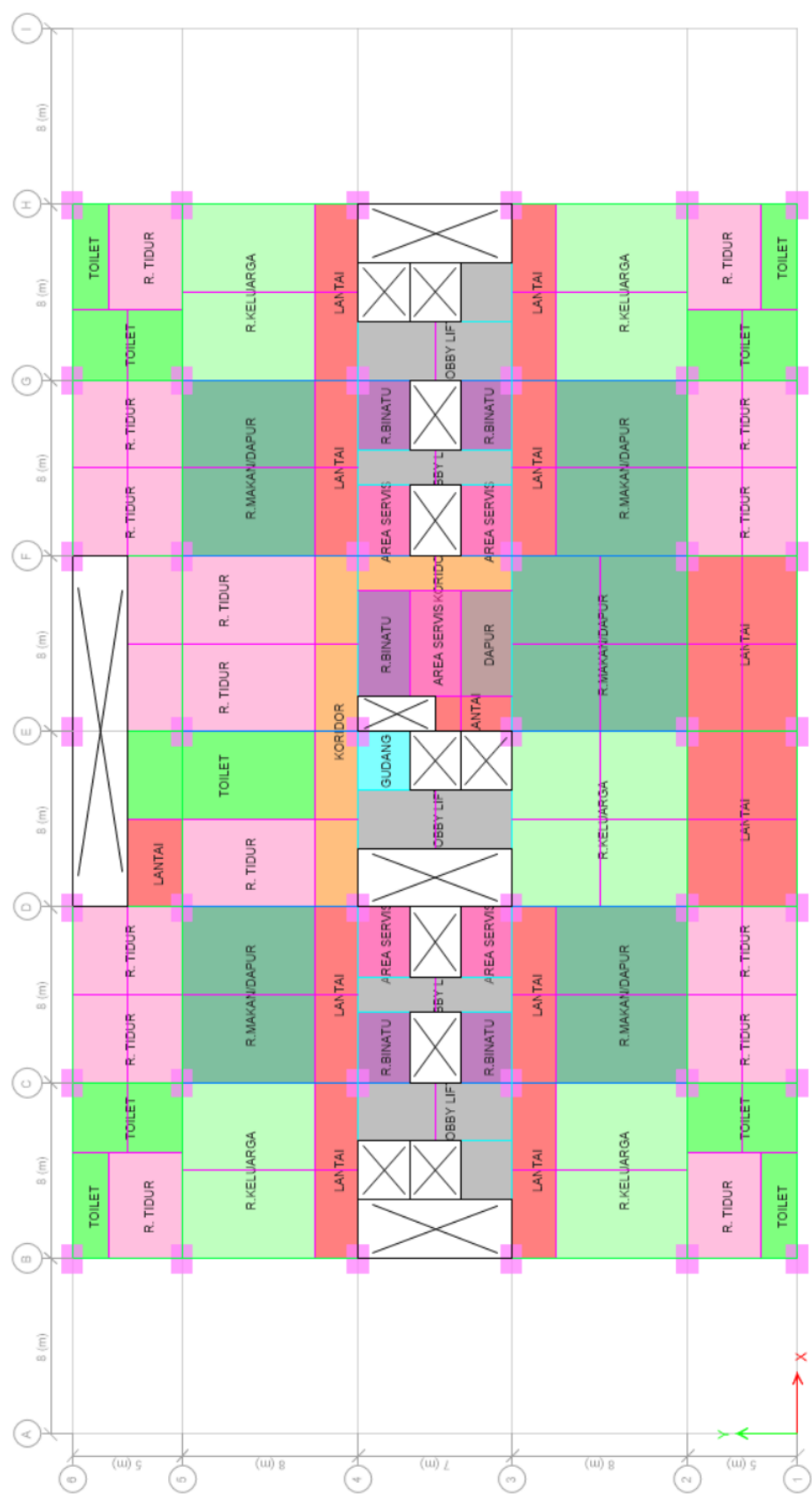
DENAH LANTAI 1



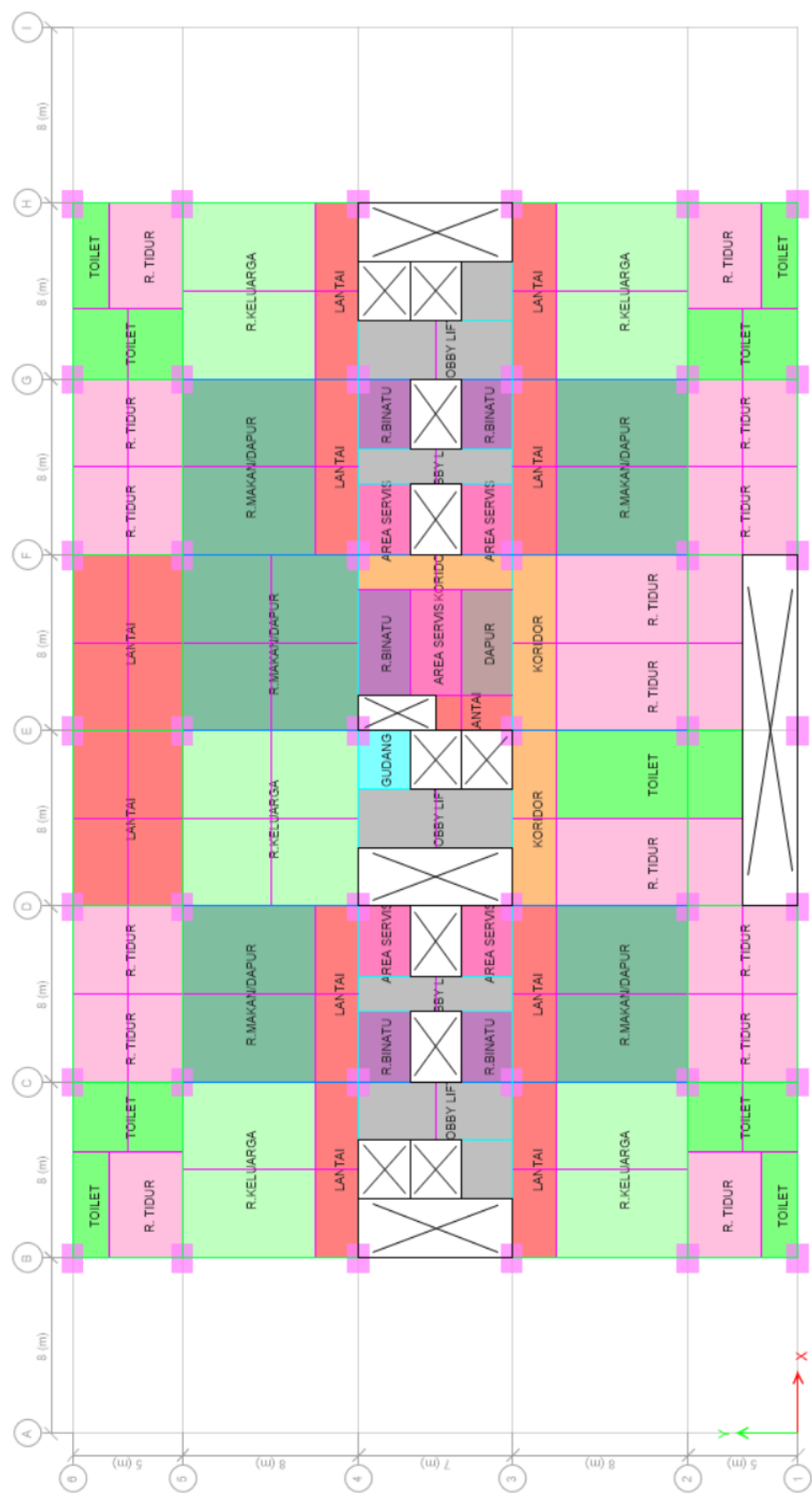
DENAH LANTAI 2



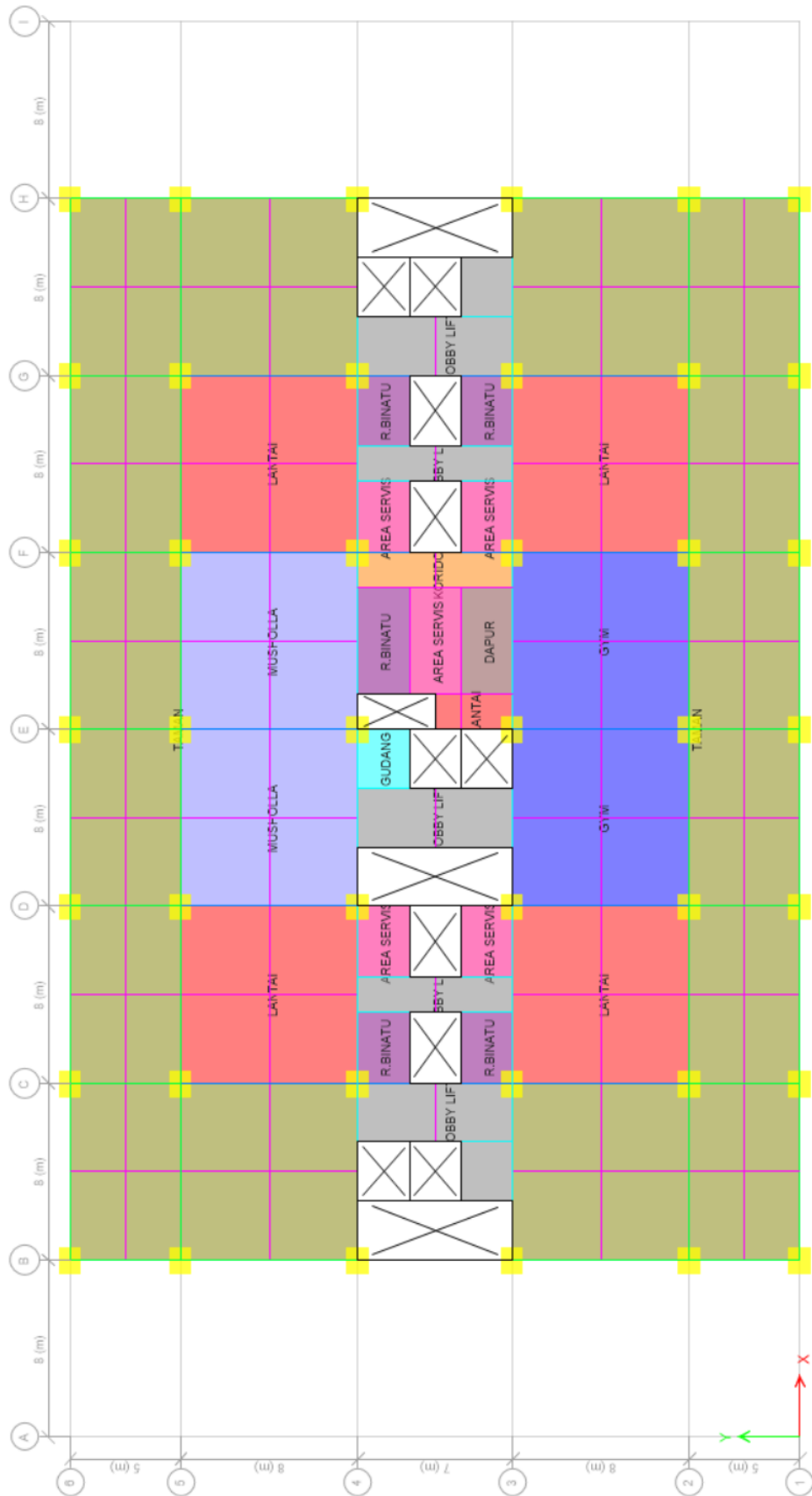
DENAH LANTAI 3,5,7,9,11,13,15,17,19,21



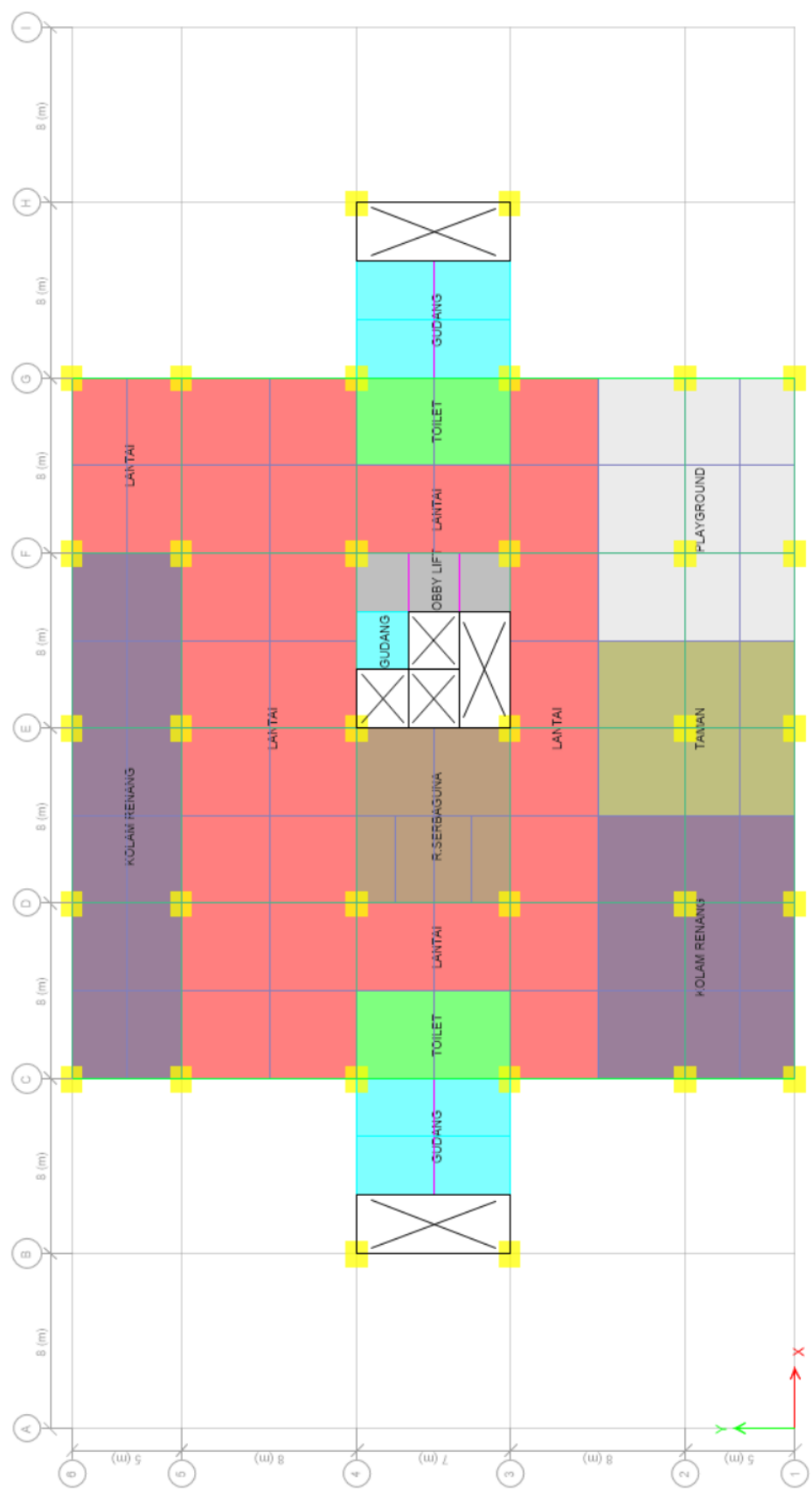
DENAH LANTAI 4,6,8,10,12,14,16,18,20



DENAH LANTAI 22

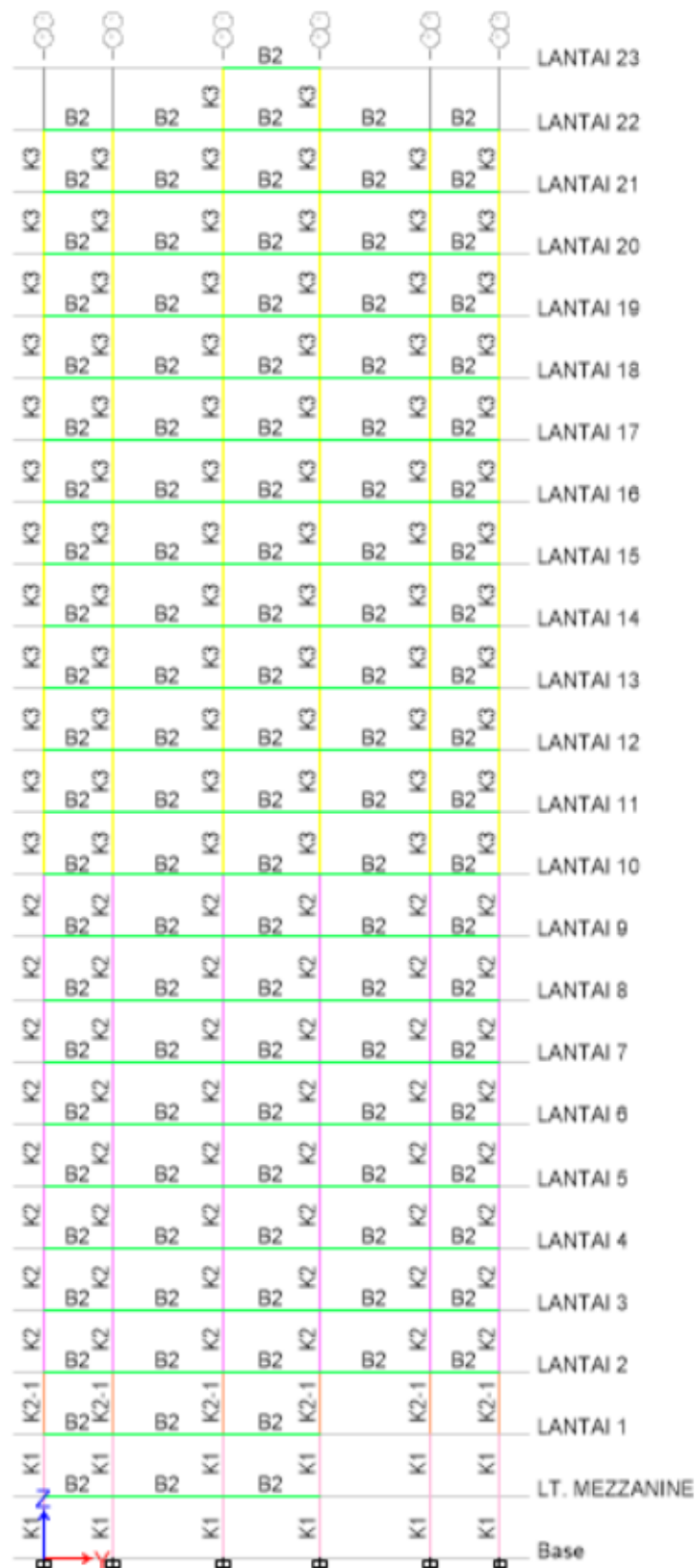


DENAH LANTAI 23

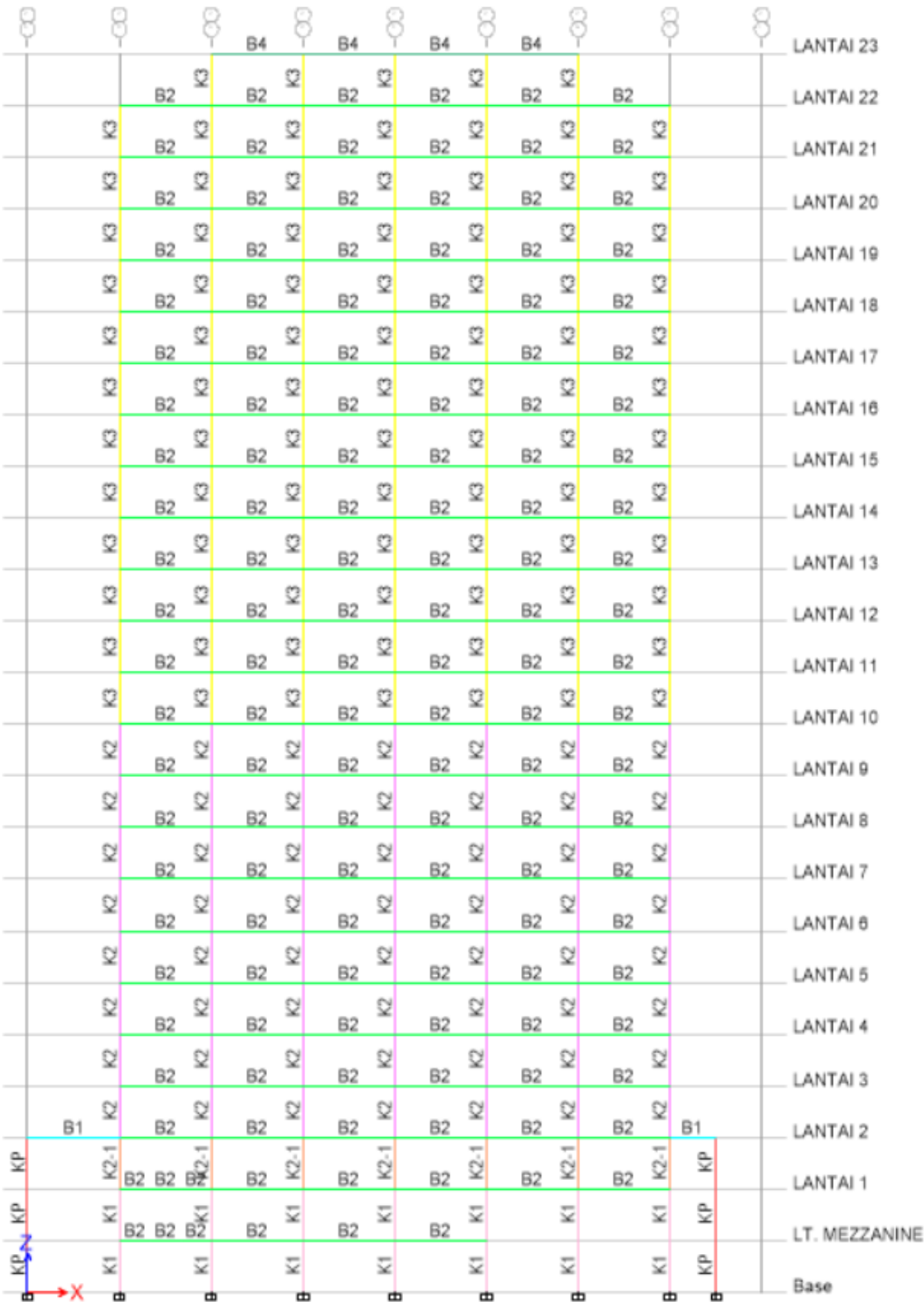


Lampiran 2. Denah struktur (SRPMK).

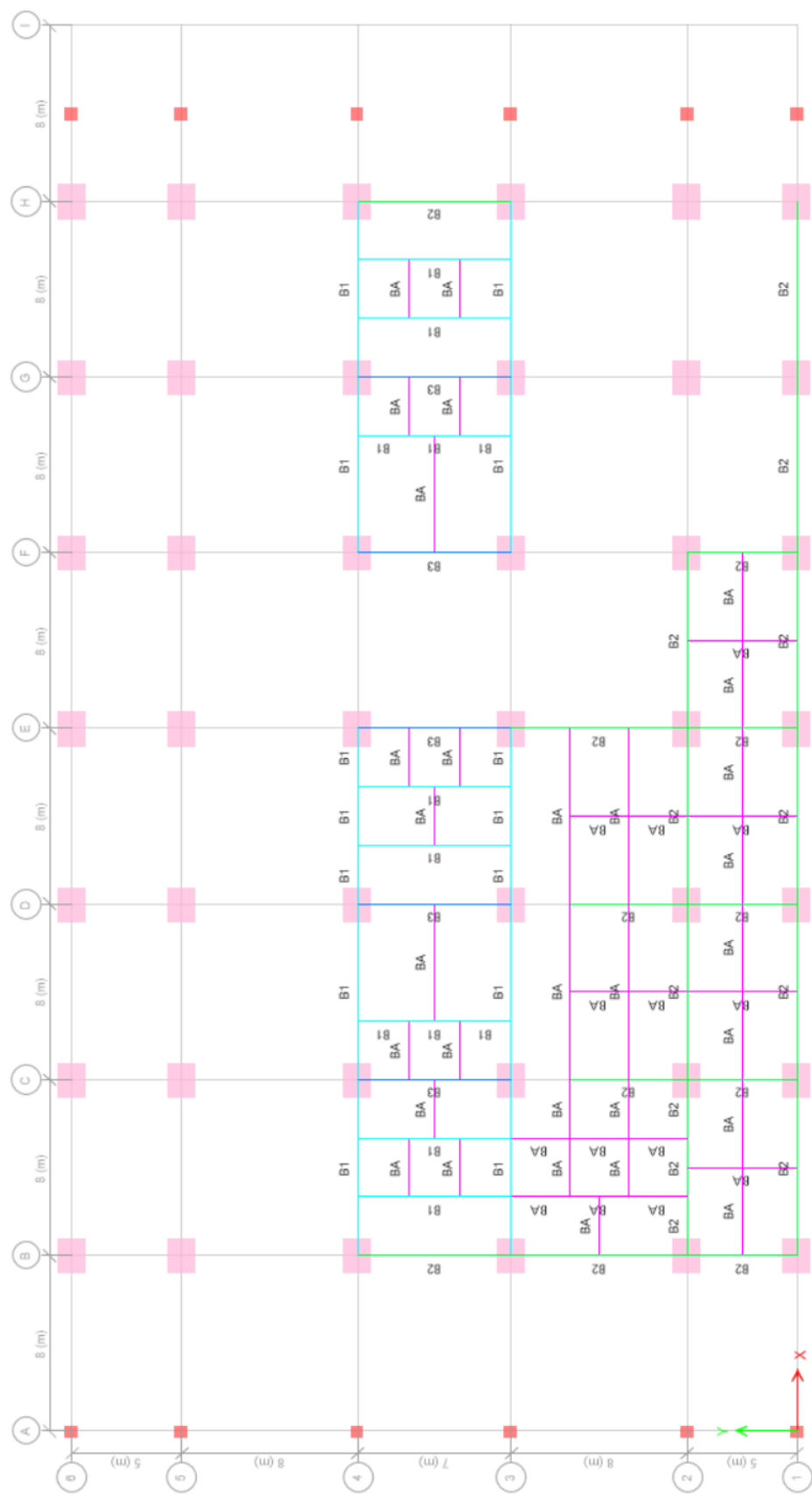
POTONGAN B-B



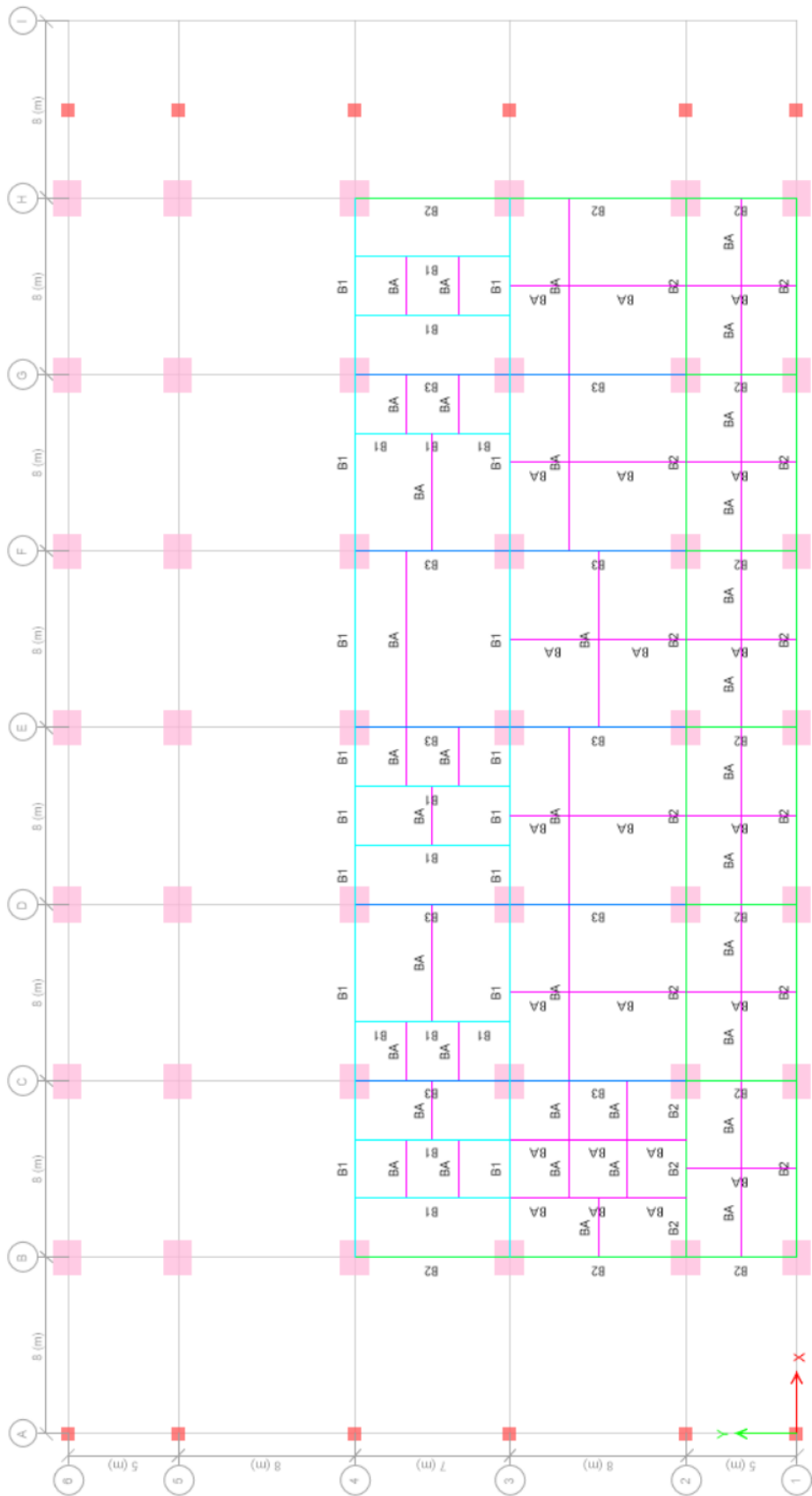
POTONGAN 2-2



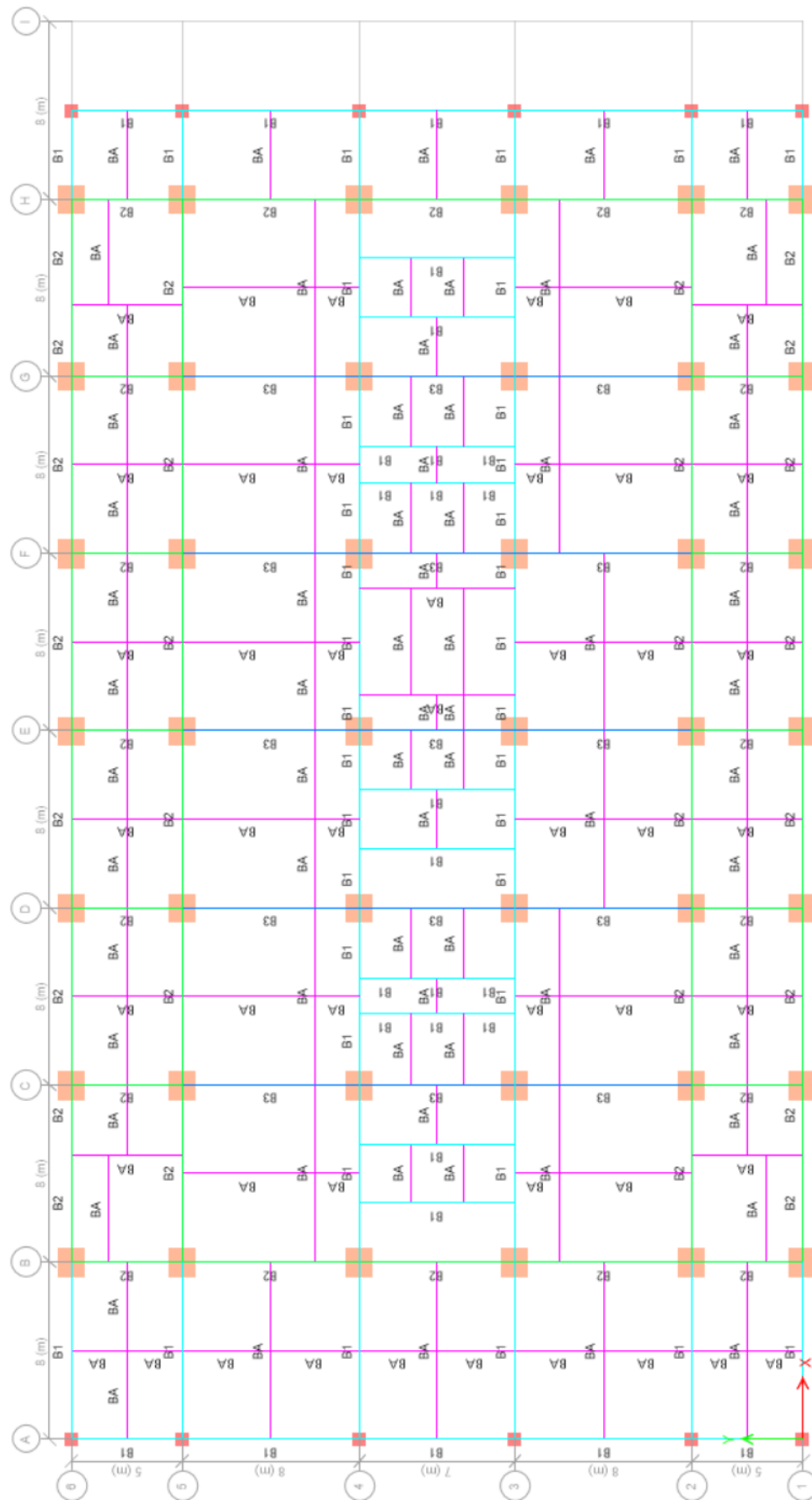
BALOK LANTAI MEZZ



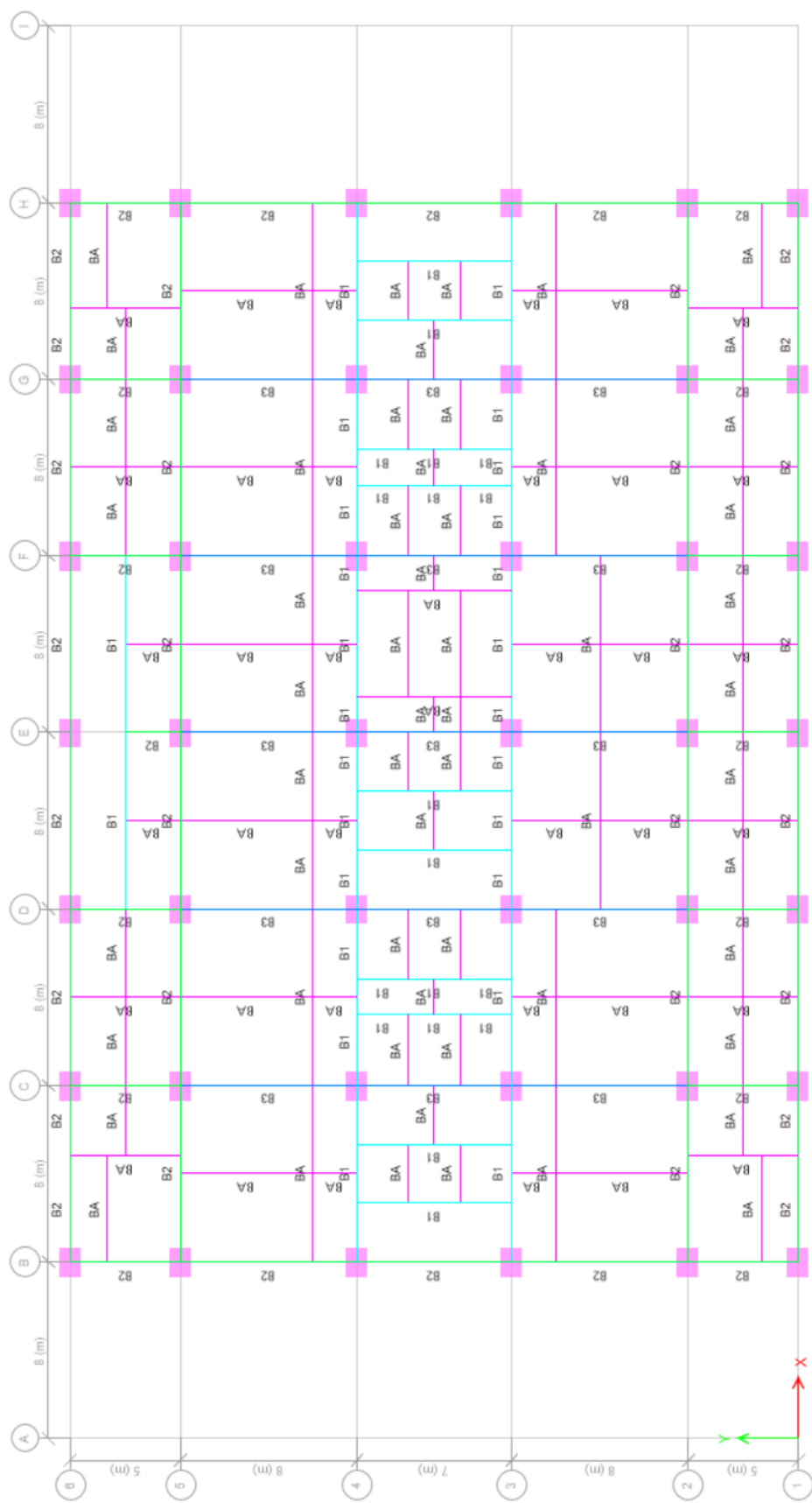
BALOK LANTAI 1



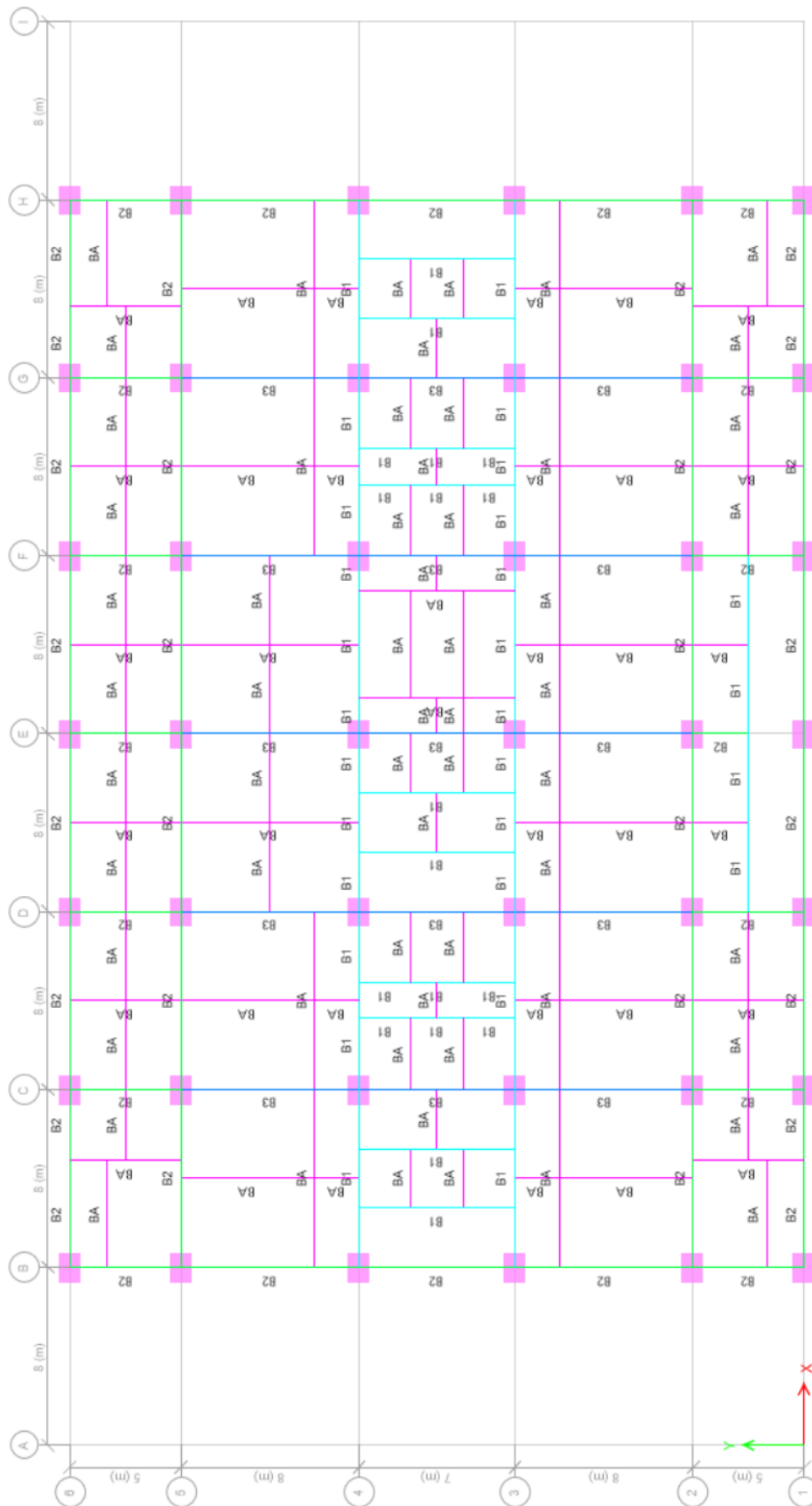
BALOK LANTAI 2



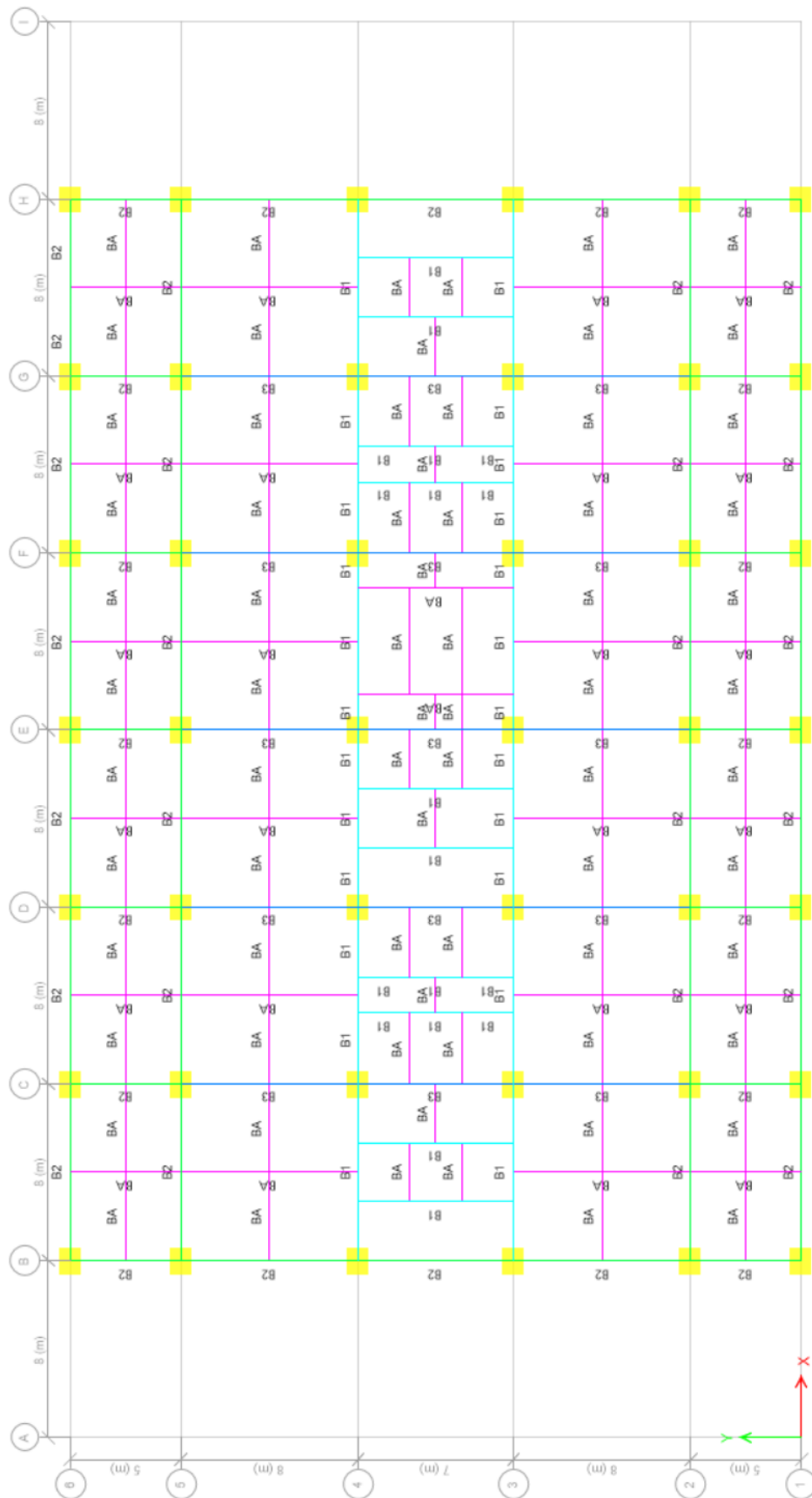
BALOK LANTAI 3,5,7,9,11,13,15,17,19,21



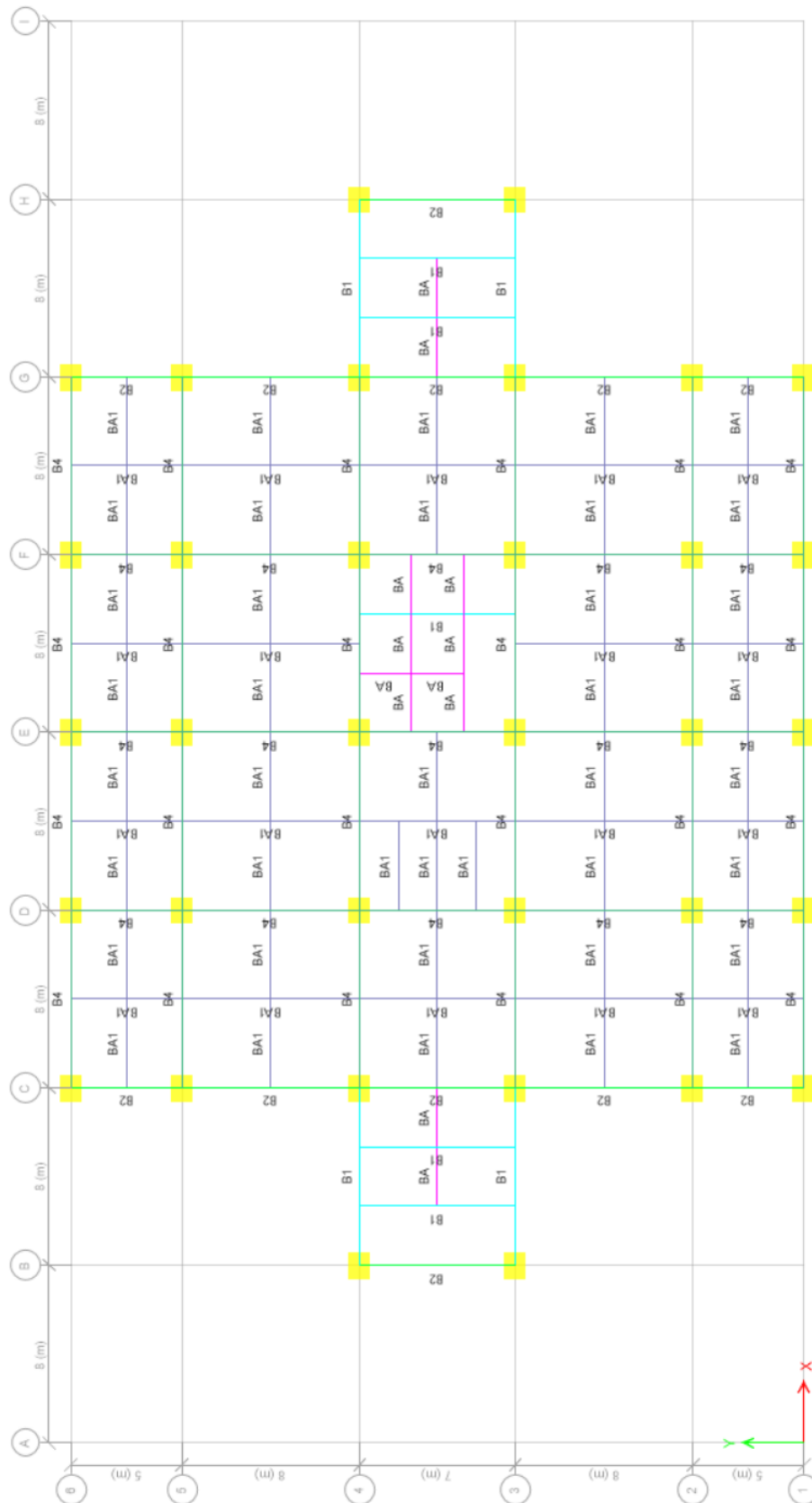
BALOK LANTAI 4,6,8,10,12,14,16,18,20



BALOK LANTAI 22



BALOK LANTAI 23

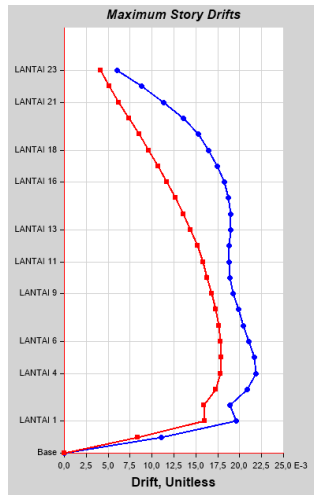


Lampiran 3. Data perioda dan partisipasi massa (SRPMK).

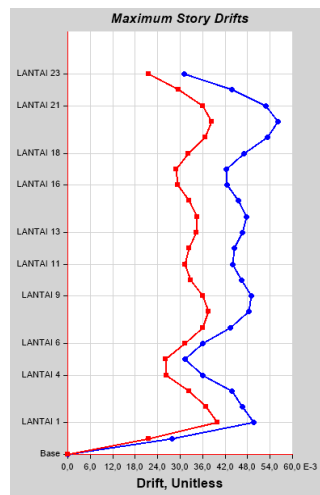
Mode	Period sec	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ
1	5,26	0,7763	0,000003533	0,7763	0,000003533	0,0011
2	4,913	0,000004122	0,7834	0,7763	0,7834	0,0002
3	4,226	0,0004	0,0001	0,7767	0,7835	0,7762
4	1,716	0,0998	0	0,8765	0,7835	0,0001
5	1,611	0	0,1085	0,8765	0,892	0,000007361
6	1,395	0,0001	0,00001448	0,8766	0,892	0,1041
7	0,975	0,0393	0	0,916	0,892	0
8	0,913	0	0,0369	0,916	0,9289	0,000002116
9	0,803	0,0000476	0,00001275	0,916	0,9289	0,0398
10	0,656	0,022	0	0,938	0,9289	0,00003192
11	0,628	0	0,0191	0,938	0,9479	0,00001079
12	0,554	0,0001	0,00001063	0,9381	0,9479	0,0219
13	0,476	0,0141	0	0,9522	0,9479	0,0001
14	0,466	0	0,0111	0,9522	0,9591	0,000008155
15	0,412	0,0001	0,000007129	0,9523	0,9591	0,013
16	0,364	0,000001111	0,0071	0,9523	0,9661	0,000004779
17	0,362	0,0093	8,608E-07	0,9616	0,9661	0,0001
18	0,322	0,0001	0,000007602	0,9617	0,9662	0,008
19	0,292	0	0,0049	0,9617	0,971	0,000001071
20	0,283	0,0064	0	0,9681	0,971	0,0001
21	0,258	0,00003618	0,000006639	0,9681	0,971	0,0052
22	0,24	0	0,0036	0,9681	0,9746	0
23	0,228	0,0047	0	0,9728	0,9746	0,0001
24	0,212	0,00001419	0,00000995	0,9728	0,9746	0,0036

Lampiran 4. Hasil Tampilan Simpangan Antar Tingkat dari ETABS

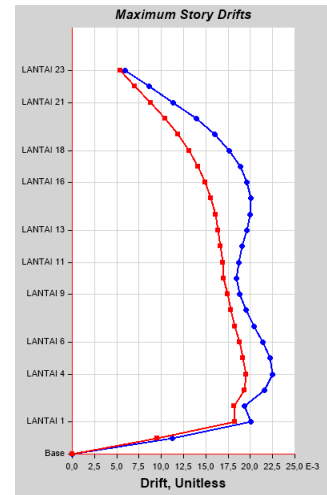
a. GM Dekat Mode 1



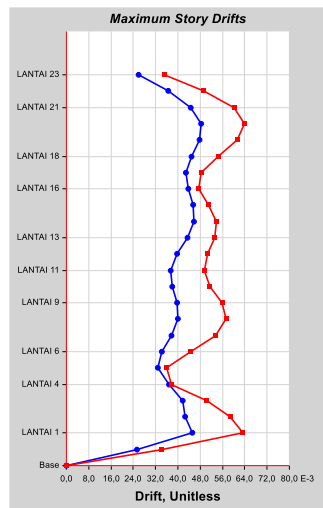
(GM1)



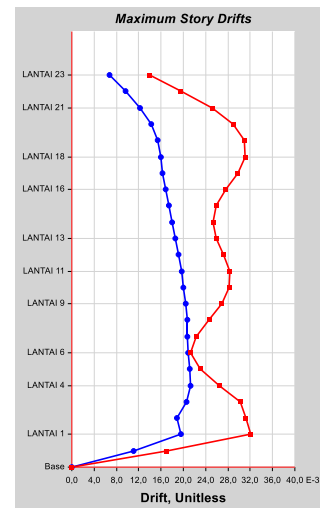
(GM2)



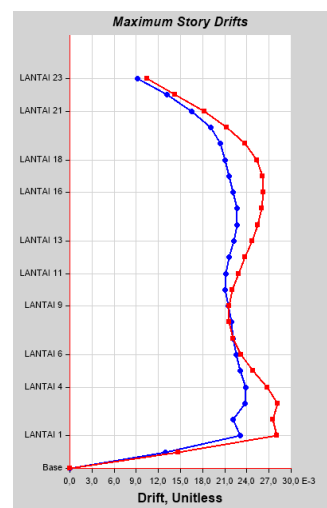
(GM3)



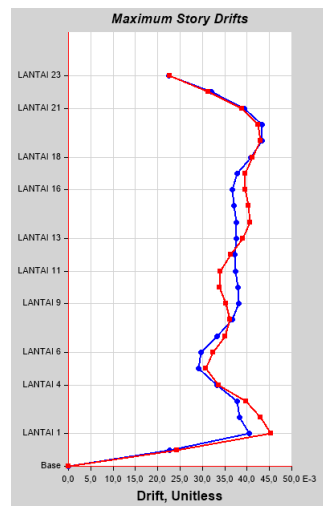
(GM4)



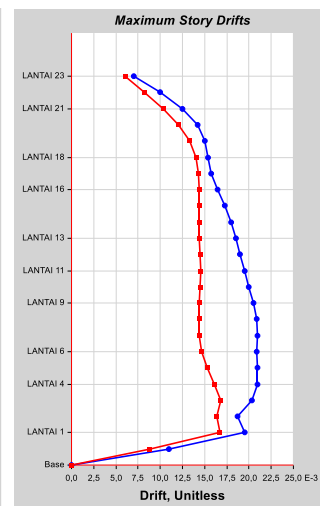
(GM5)



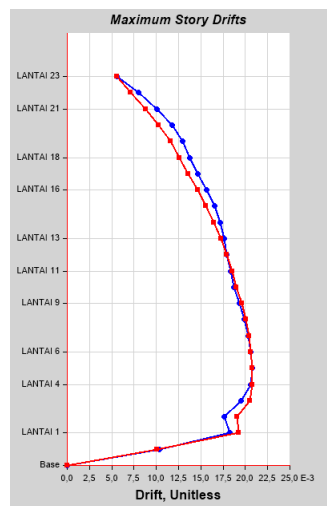
(GM6)



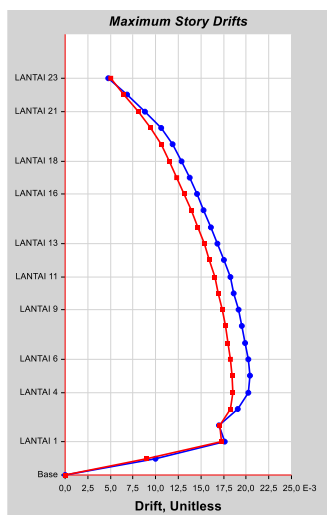
(GM7)



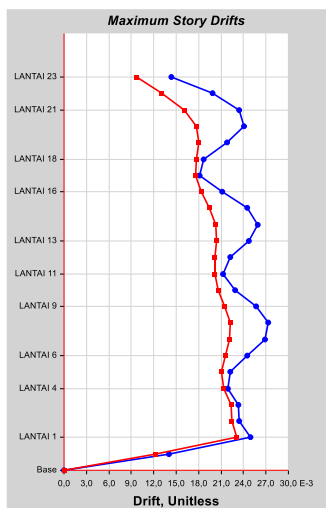
(GM8)



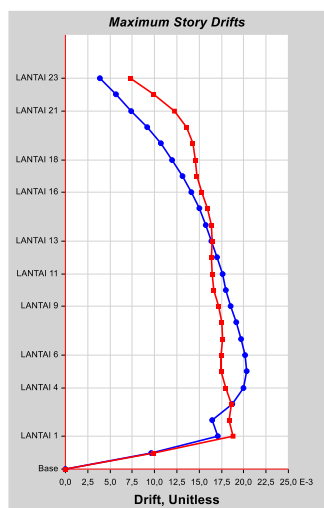
(GM9)



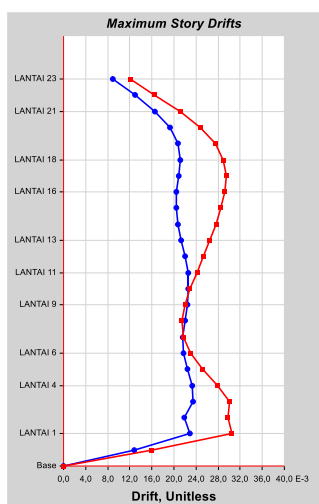
GM10)



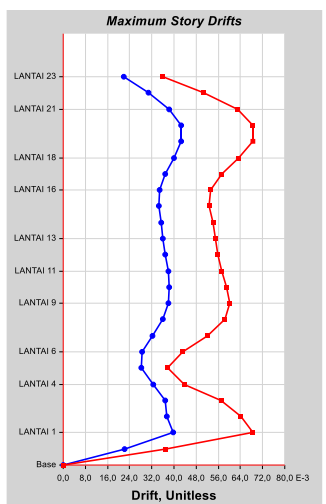
(GM11)



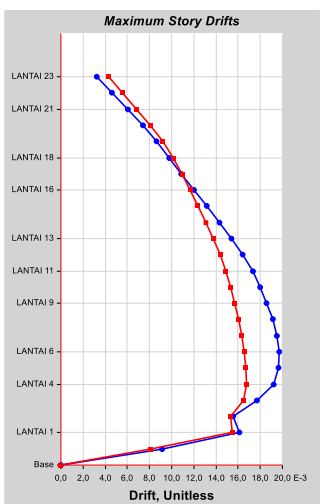
(GM12)



GM13)

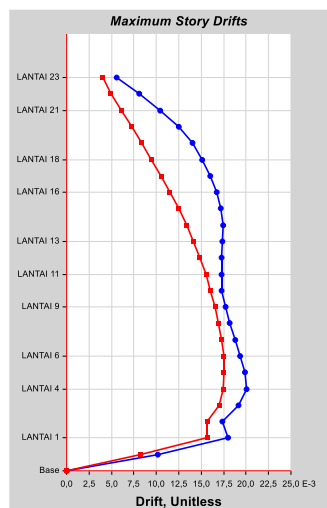


(GM14)

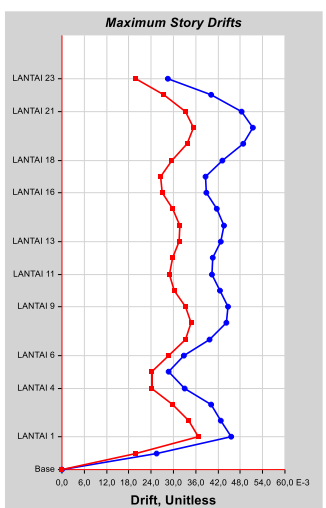


(GM15)

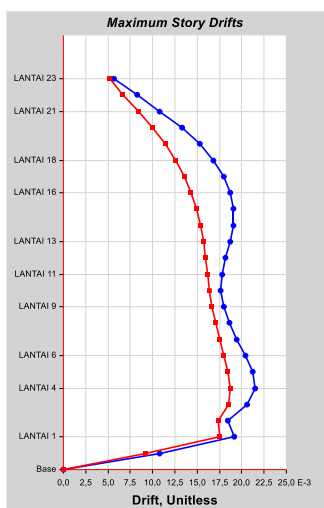
b. GM Dekat Mode 2



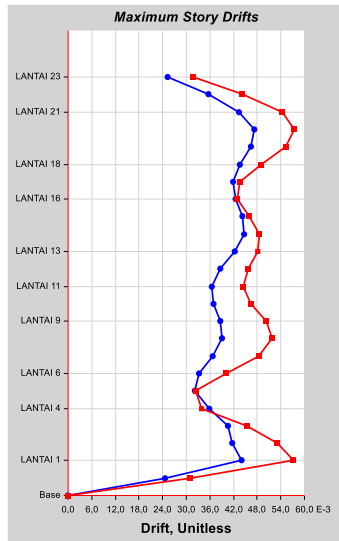
(GM1)



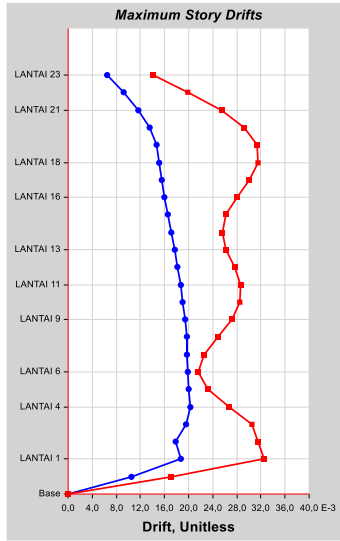
(GM2)



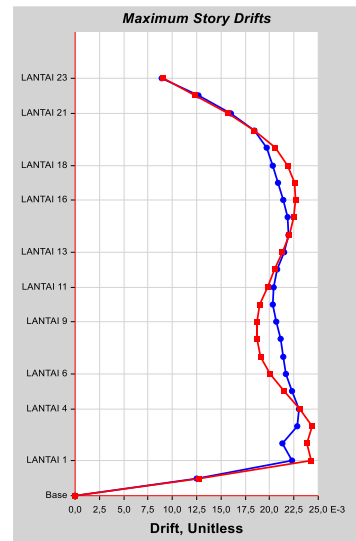
(GM3)



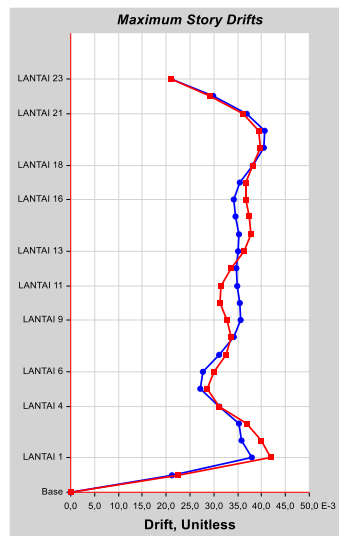
(GM4)



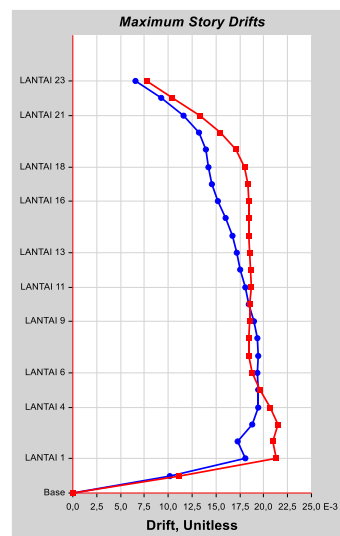
(GM5)



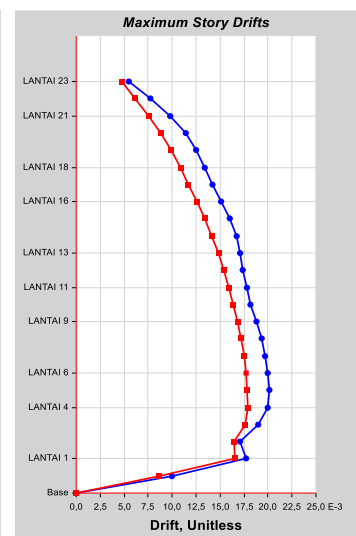
(GM6)



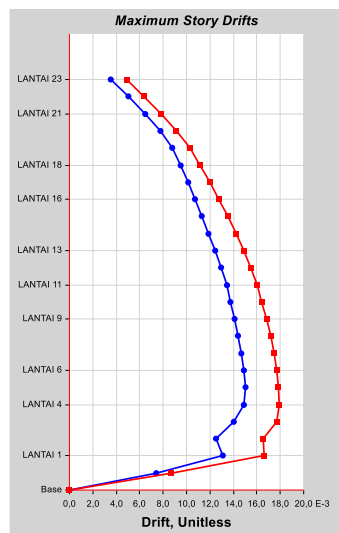
(GM7)



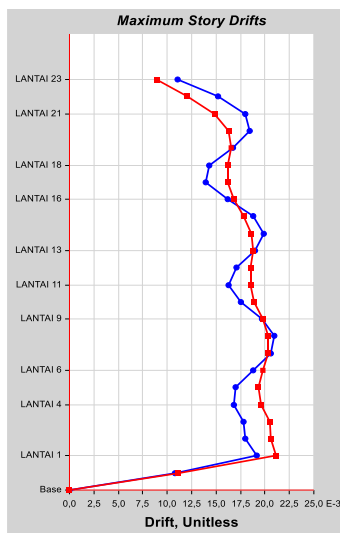
(GM8)



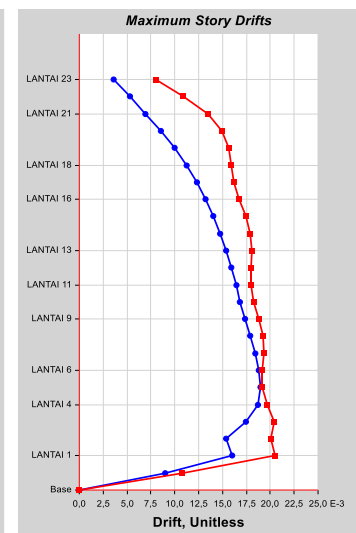
(GM9)



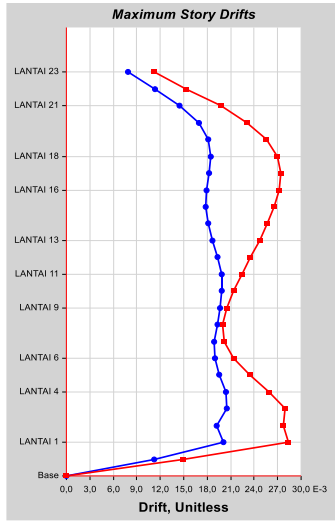
(GM10)



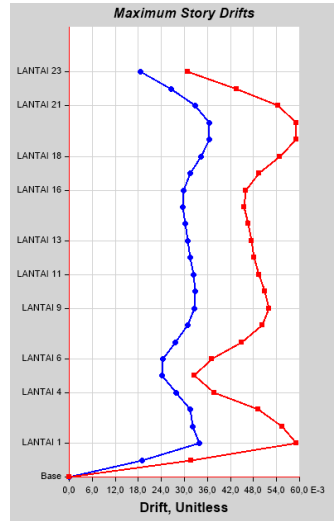
(GM11)



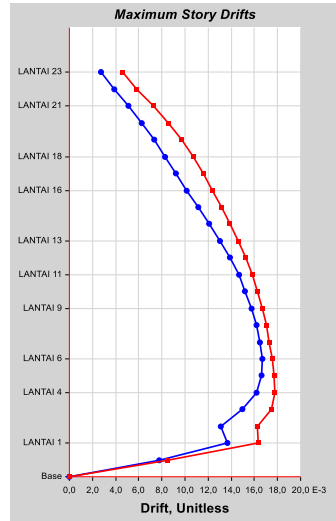
(GM12)



(GM13)

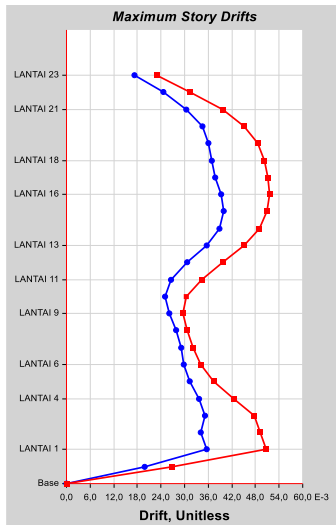


(GM14)

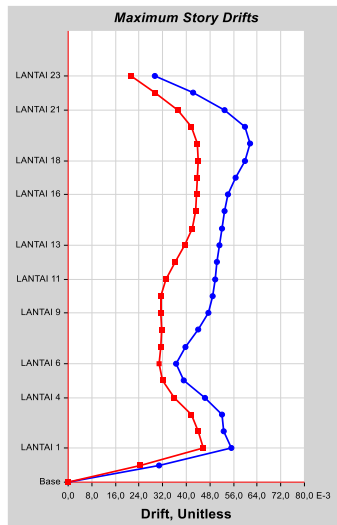


(GM15)

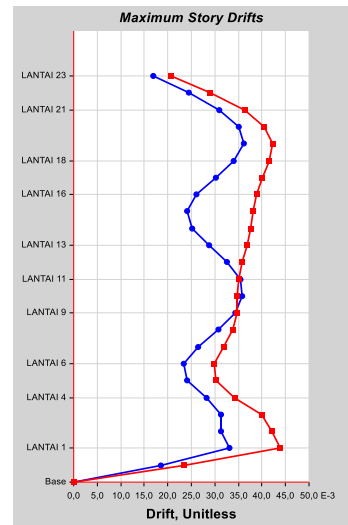
c. GM Jauh Mode 1



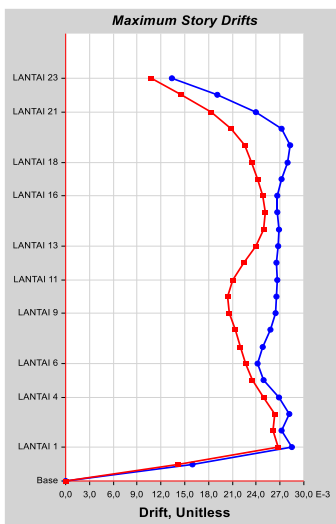
(GM1)



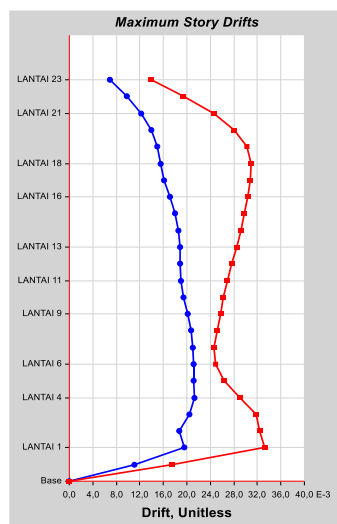
(GM2)



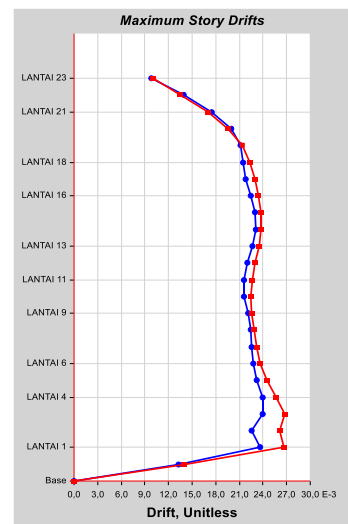
(GM3)



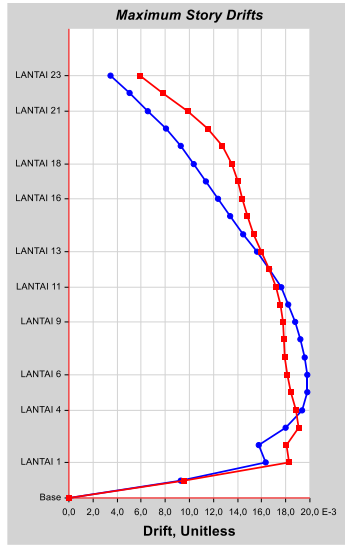
(GM4)



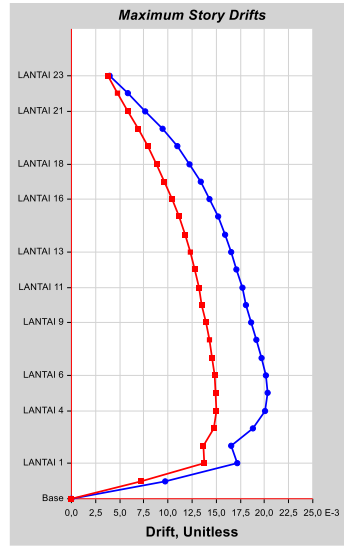
(GM5)



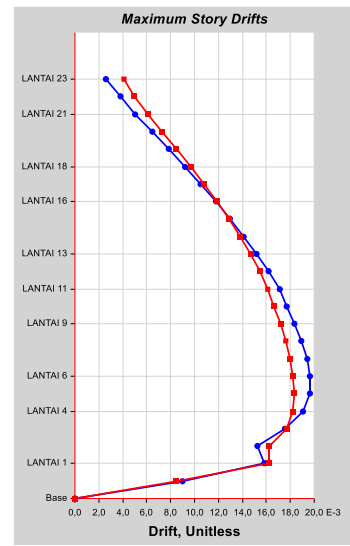
(GM6)



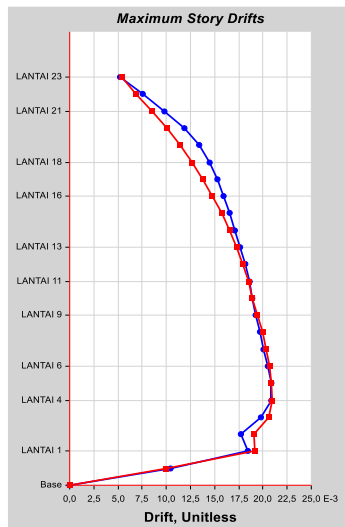
(GM7)



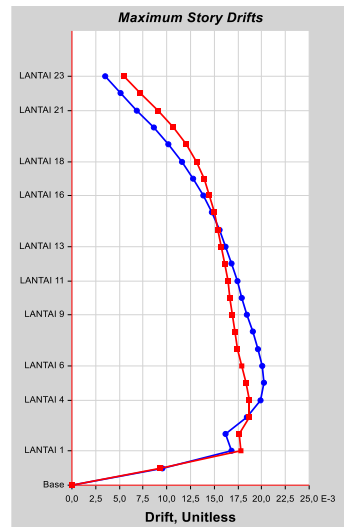
(GM8)



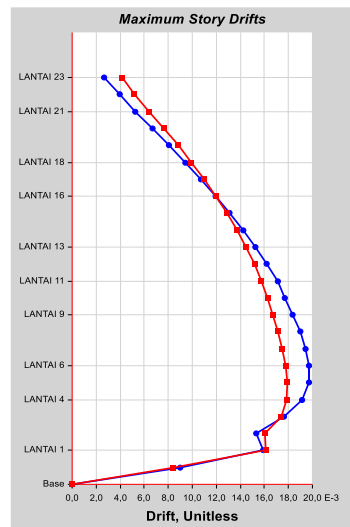
(GM9)



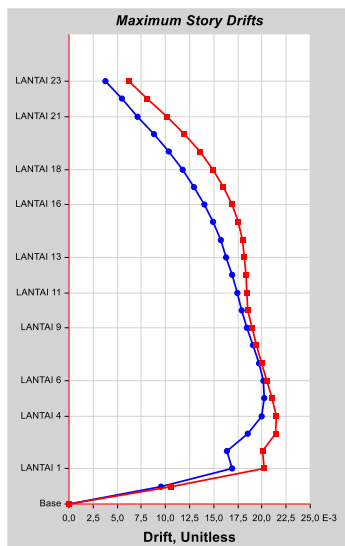
(GM10)



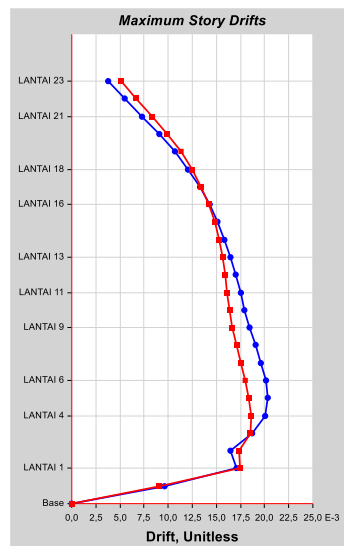
(GM11)



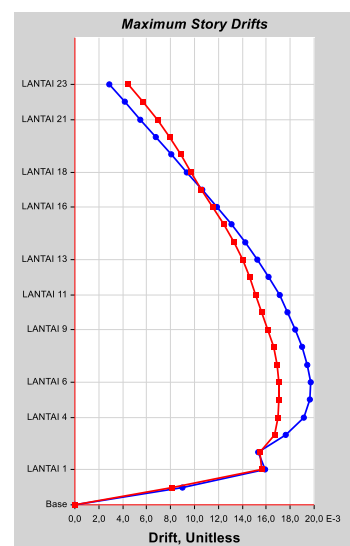
(GM12)



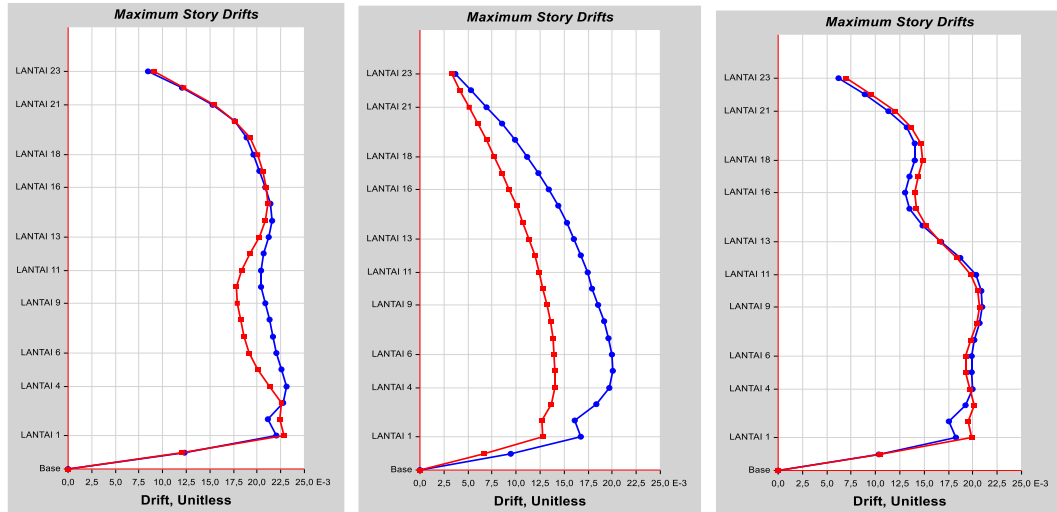
(GM13)



(GM14)



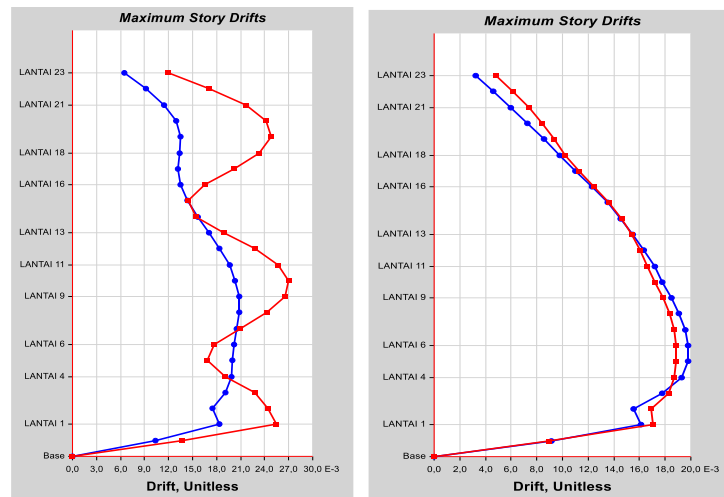
(GM15)



(GM16)

(GM17)

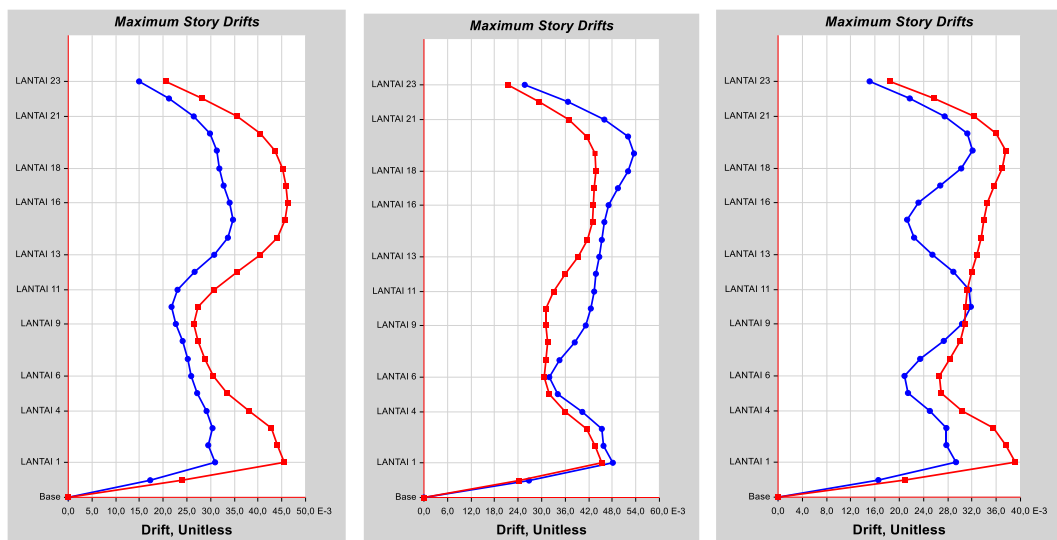
(GM18)



(GM19)

(GM20)

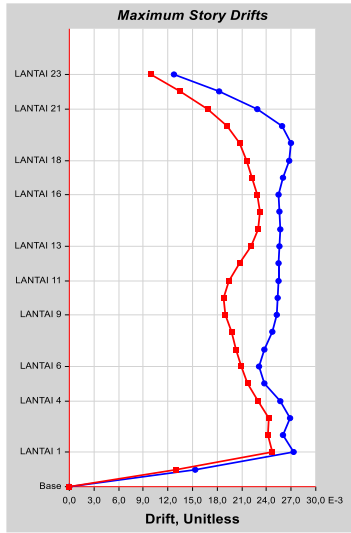
d. GM Jauh Mode 2



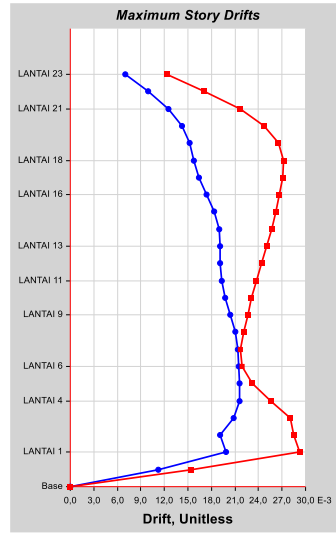
(GM1)

(GM2)

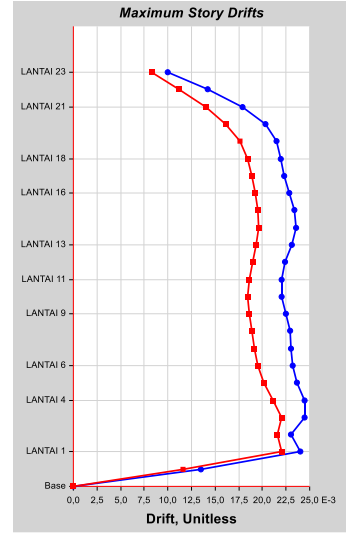
(GM3)



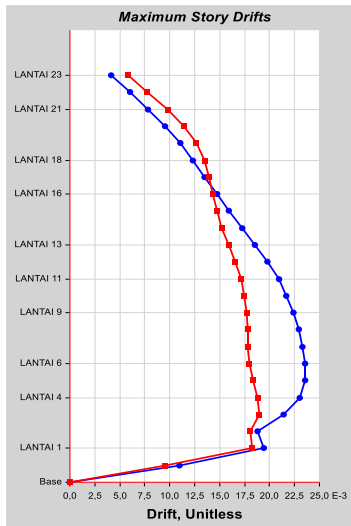
(GM4)



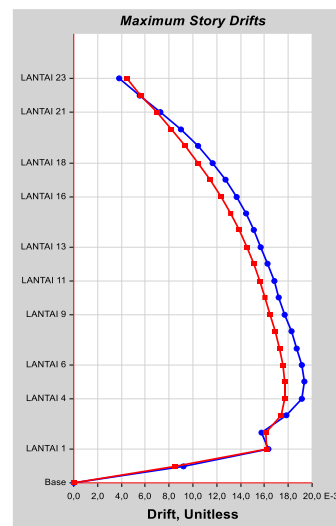
(GM5)



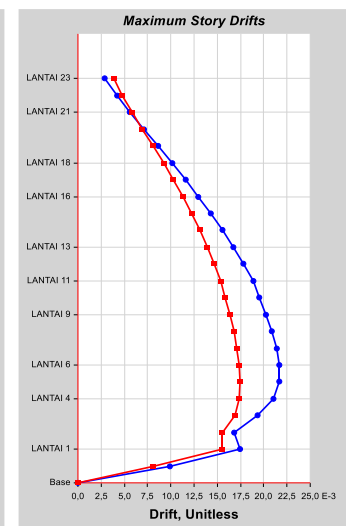
(GM6)



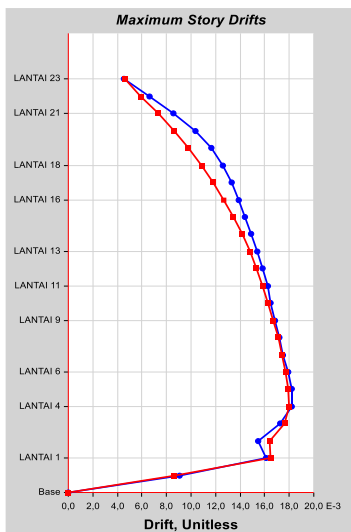
(GM7)



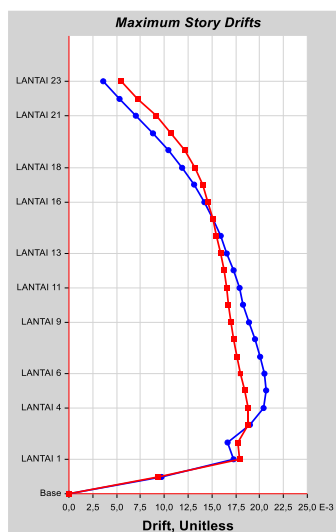
(GM8)



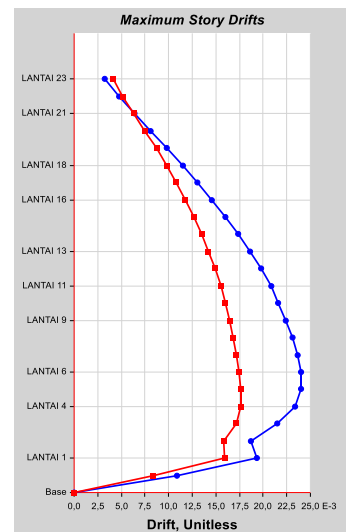
(GM9)



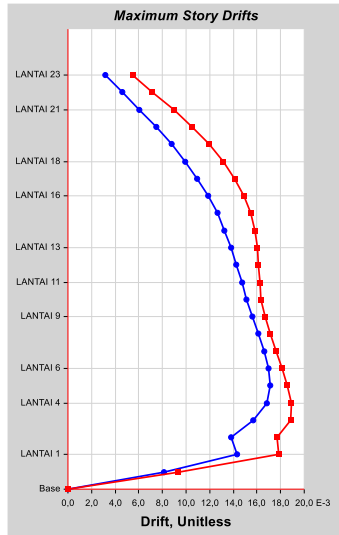
(GM10)



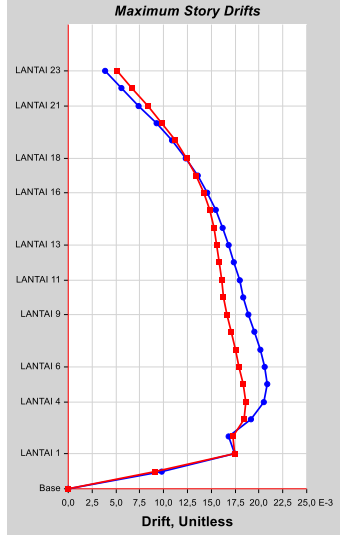
(GM11)



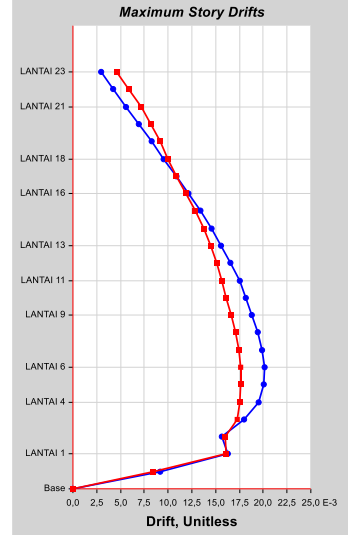
(GM12)



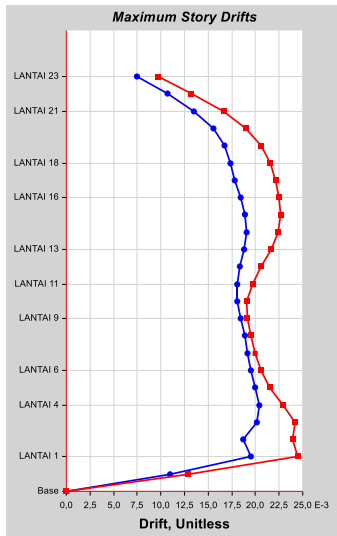
(GM13)



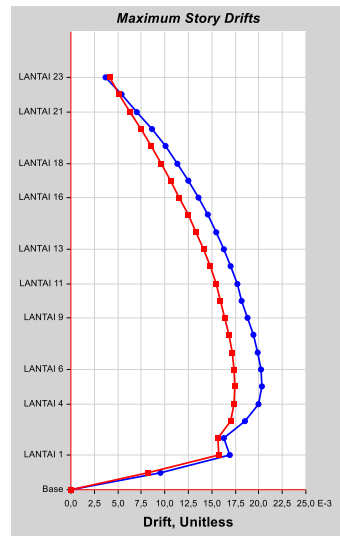
(GM14)



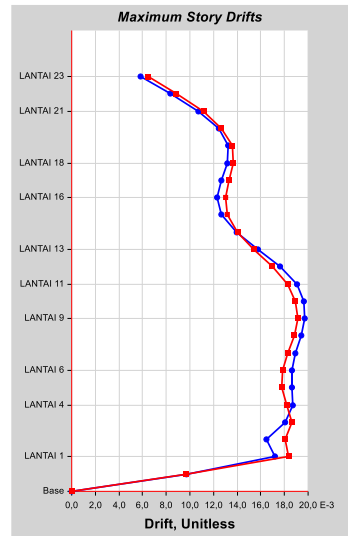
(GM15)



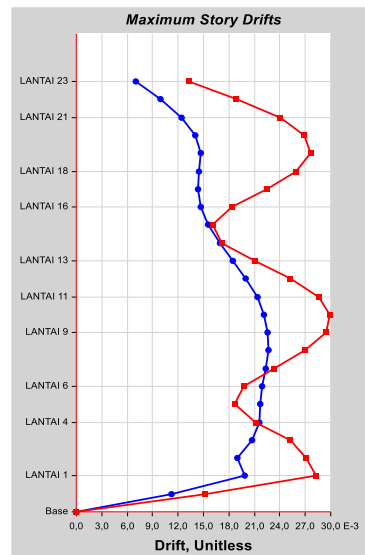
(GM16)



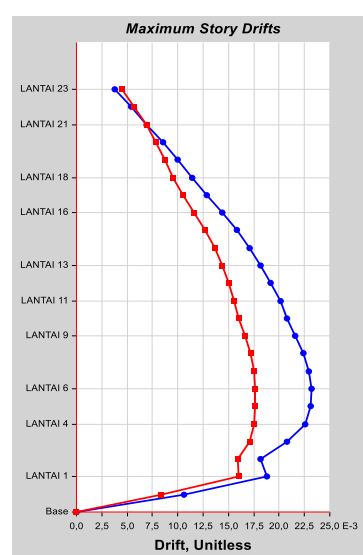
(GM17)



(GM18)



(GM19)

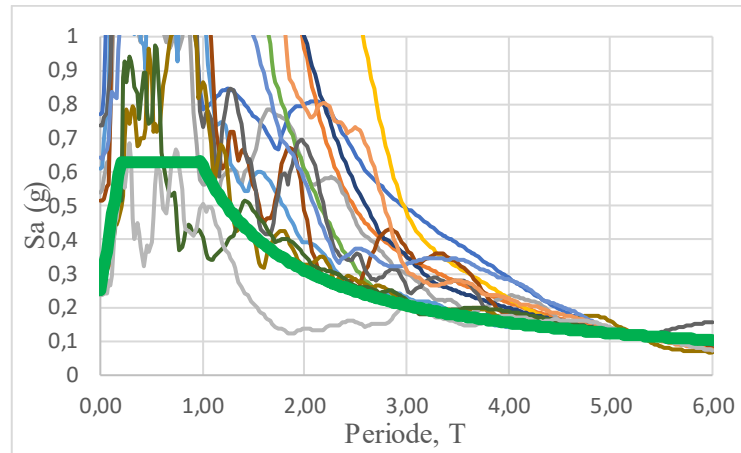


(GM20)

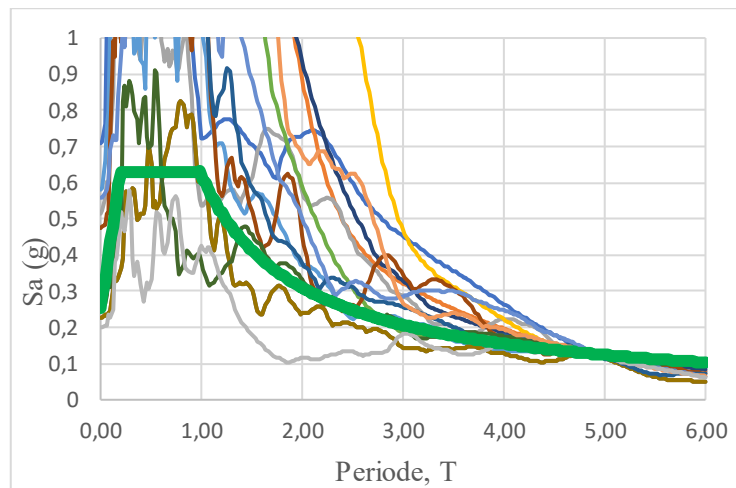
Lampiran 5. Hasil Penskalaan dari ETABS

1. GEMPA DEKAT

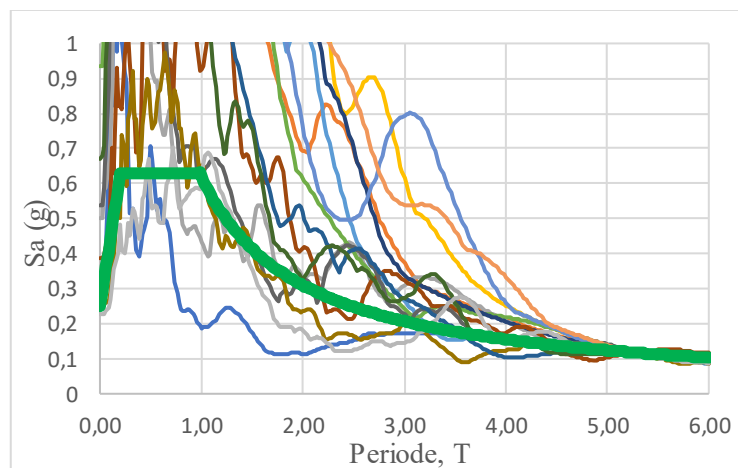
a. Hasil Penskalaan Mode 1 UX Dekat



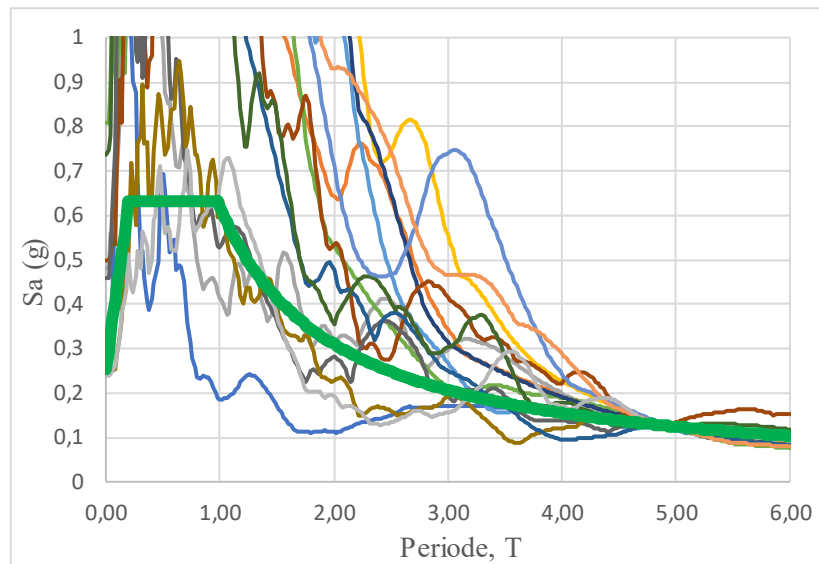
b. Hasil Penskalaan Mode 2 UX Dekat



c. Hasil Penskalaan Mode 1 UY Dekat

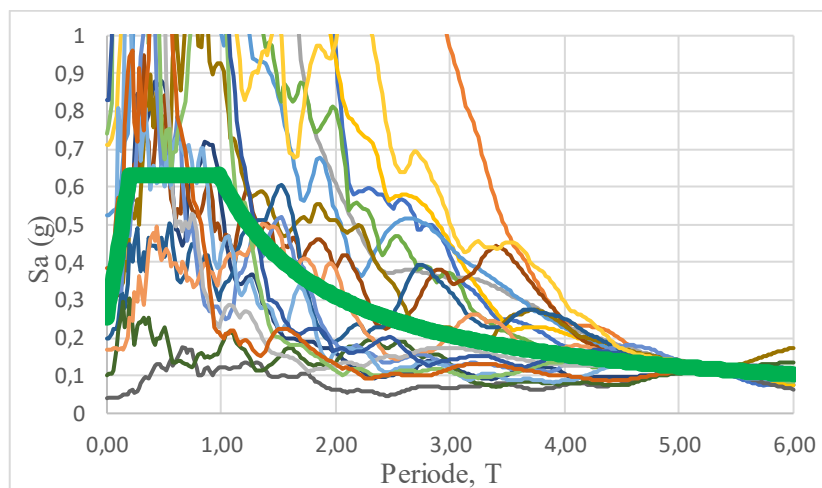


d. Hasil Penskalaan Mode 2 UY Dekat

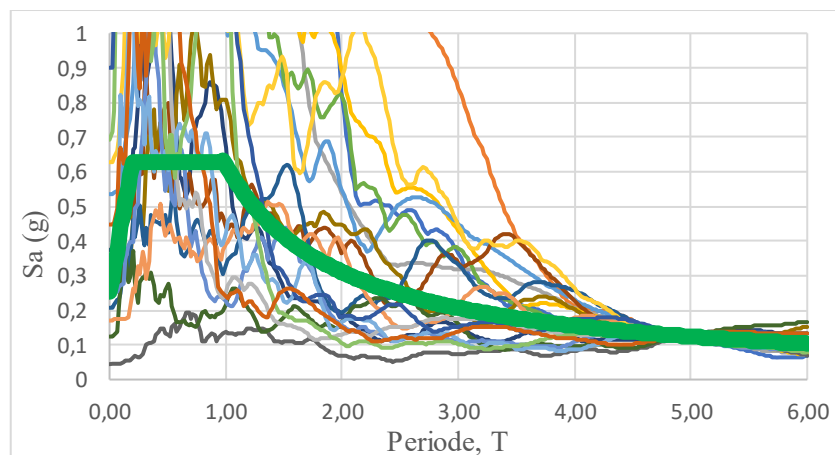


2. GEMPA JAUH

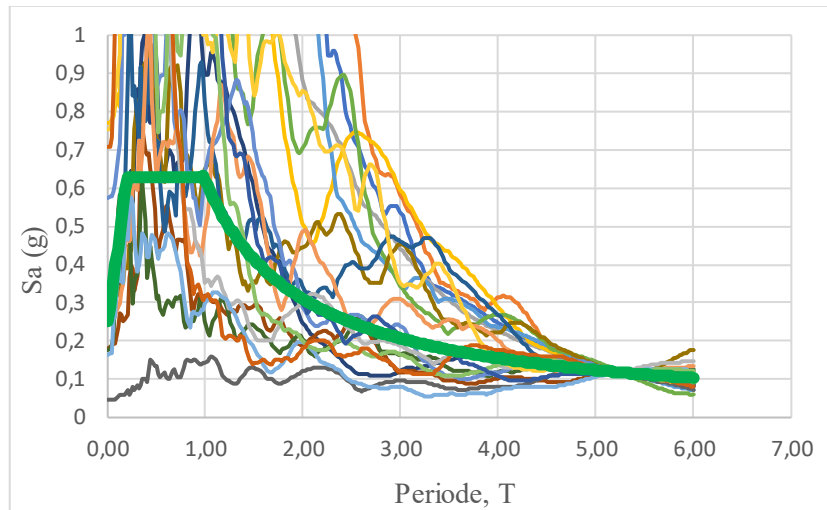
a. Hasil Penskalaan Mode 1 UX Jauh



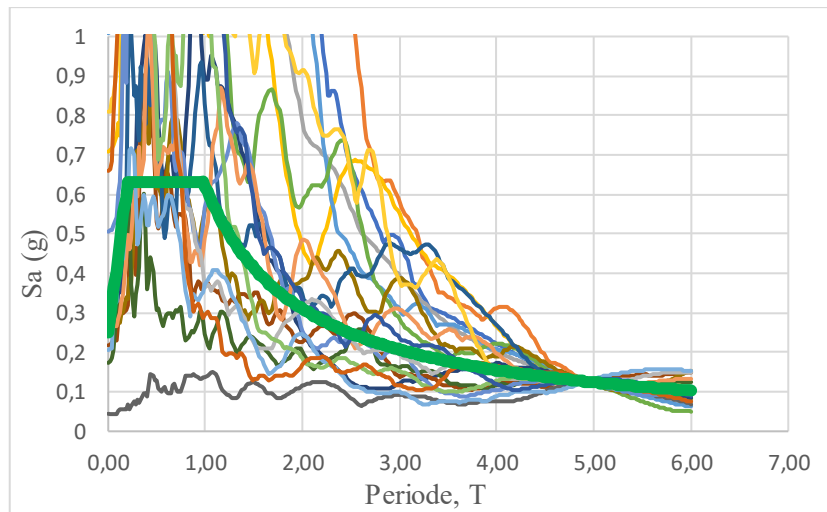
b. Hasil Penskalaan Mode 2 UX Jauh



c. Hasil Penskalaan Mode 1 UY Jauh



d. Hasil Penskalaan Mode 2 UY Jauh



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Muhammad Alwi Alfalah
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 11 Desember 2002
Jenis Kelamin : Laki – Laki
Alamat : Jl. Bromo Lr. Syukri No. 3
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Agustono, SE
Ibu : Alm. Zuriati, A.Md
No.Telp. : 088708452927
Email : alwialfalaah@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 2207210080
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238

No.	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SDN 060824	2015
2	SMP	SMP Negeri 6 Medan	2018
3	SMA	SMA Negeri 10 Medan	2021
4	UNIVERSITAS	UMSU	2022-2026

