TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN RESPON STRUKTUR DENGAN PENERAPAN BEBAN GEMPA STATIK EKIVALEN, RESPON SPEKTRUM, DAN *TIME HISTORY* (*COMPARISON OF STRUCTURE RESPONSE WITH THE APPLICATION OF EARTHQUAKE LOADS EQUIVALENT STATIC ANALYSIS, RESPONSE SPECTRUM, AND TIME HISTORY*)

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

Rizki Abil Nurkhusnaedi
20511398

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM NDONESIA
2025

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN RESPON STRUKTUR DENGAN PENERAPAN BEBAN GEMPA STATIK EKIVALEN, RESPON SPEKTRUM, DAN *TIME HISTORY* (*COMPARISON OF STRUCTURE RESPONSE WITH THE APPLICATION OF EARTHQUAKE LOADS EQUIVALENT STATIC ANALYSIS, RESPONSE SPECTRUM, AND TIME HISTORY*)

Disusun Oleh

Rizki Abil Nurkhusnaedi
20511398

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

Diuji pada tanggal 24 februari 2025

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Elvis Saputra, S.T., M.T.	Jafar, S.T., M.T.	Astriana Harduwati, S.T., M.Eng.
NIK : 205111302	NIK : 185111305	NIK : 165111301

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T. Ph.D (Eng)., IPM.
NIK:095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 24 Februari 2025

Yang Membuat Pernyataan



Rizki Abil Nurkhusnaedi

(20511398)

DEDIKASI

Dengan mengucapkan *Alhamdulillahi Robbil ‘alamin*

Tugas Akhir ini saya persembahkan Kepada Keluarga Saya,

Bapak Nuryudi dan Ibu Martini

Serta Saudari Laila Nur Hanifah

Segala tetes dan doa yang senantiasa mereka ucapkan membentuk
Jiwa dan pribadi yang kuat
Membentuk insan yang berakal dan berbudi pekerti
Tiada ilmu yang berguna melainkan
doa dari mereka dan
ridho dari Allah *subḥānahu wa ta’āla*
Tulisan ini adalah wujud anugrahnya,
wujud doa yang selalau dipanjatkan,
wujud keyakinan ditengah keraguan
Semoga tulisan ini membawa penulis untuk menjadi pribadi yang gigih dalam berilmu
Dan berguna bagi sesama
Amin

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Perbandingan Respon Struktur Dengan Penerapan Beban Gempa Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Elvis Saputra S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing , memberikan nasehat, saran dan dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Jafar, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I.
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji II
4. Bapak Nuryudi , Ibu Martini, serta saudari Laila Nur Hanifah yang berkorban banyak tanpa meminta pamrih untuk anak – anaknya, yang selalu mendoakan untuk anaknya tercinta dengan penuh ketulusan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Teman – teman “Next Trip” yang selalu memberikan saran dan semangat,
6. Terimakasih kepada teman lama yang selalu menjadi tempat singgah dan berbagi tawa maupun duka,

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini nantinya dapat bermanfaat bagi orang lain yang membaca di kemudian hari.

Yogyakarta, 24 Februari 2025

Penulis,

Rizki Abil Nurkhusnaedi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ii
DEDIKASI iii
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR LAMPIRAN xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xvi
ABSTRAK xviii
ABSTRACT xix
BAB I 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 Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu 5
2.2 Penelitian yang Dilakukan dan Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu 9
BAB III LANDASAN TEORI 13
3.1 Umum 13
3.2 Pembebanan Struktur 14
3.2.1 Beban Mati (*Dead Load*) 14
3.2.2 Beban Hidup (*Live Load*) 14
3.2.3 Beban Gempa 15

3.3 Analisis Struktur 21
3.3.1. Statik Ekivalen 21
3.3.2. Respon Spektrum 25
3.3.3. *Time History* (Riwayat Waktu) 33
3.4 Simpangan Antar Tingkat 34
3.5 Ketidakberaturan 36
3.5.1. Ketidakberaturan Horizontal 36
3.5.2. Ketidakberaturan Vertikal 40
3.6 Gaya Dalam 42
3.6.1. Gaya Aksial 42
3.6.2. Gaya Lintang 42
3.6.3. Gaya Normal 43
3.6.4. Momen 43
BAB IV METODE PENELITIAN 44
4.1 Jenis Penelitian 44
4.2 Data Bangunan 44
4.3 Perbandingan Penyesuaian Dengan Penelitian Sebelumnya 48
4.4 Tahapan Penelitian 48
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 56
5.1 Beban Gravitasi 56
5.1.1. Beban Mati Tambahan 56
5.1.2. Beban Hidup 57
5.2 Beban Gempa Respon Spektrum 58
5.3 Beban Gempa Statik Ekivalen 62
5.4 Beban Gempa *Time History* 67
5.5 Pemodelan Struktur 73
5.6 Analisis Dan Perbandingan Gaya Geser Dasar (*Base shear)* 78
5.7 Analisis Dan Perbandingan Simpangan Antar Tingkat 82
5.8 Analisis Dan Perbandingan Ketidakberaturan 92
5.9 Analisis Dan Perbandingan Gaya Dalam 114
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 124

6.1 Kesimpulan 124
6.2 Saran 125
DAFTAR PUSTAKA 126
LAMPIRAN 128

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Ini 10

Tabel 3. 1 Beban Mati (dead Load) 14

Tabel 3. 2 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, *Lo* dan Beban HidupTerpusat Minimum 15

Tabel 3. 3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa 16

Tabel 3. 4 Faktor Keutamaan Gempa 18

Tabel 3. 5 Persyaratan Untuk Masing – Masing Tingkat Yang Menahan 19

Tabel 3. 6 Klasifikasi Situs 21

Tabel 3. 7 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_x dan x 23

Tabel 3. 8 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x 24

Tabel 3. 9 Koefisien Situs F_a 27

Tabel 3. 10 Koefisien Situs, F_v 27

Tabel 3. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode Pendek 30

Tabel 3. 12 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon 30

Tabel 3. 13 Faktor $R, C_{d,}$ *dan* Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik 30

Tabel 3. 14 Prosedur Analisis yang Diizinkan 31

Tabel 3. 15 Simpangan Antar Tingkat Izin (Δa) 36

Tabel 3. 16 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur 37

Tabel 3. 17 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur 40

Tabel 4. 1 Tipe – Tipe Balok Lintang Dan Memanjang 47

Tabel 4. 2 Tipe – Tipe Balok Memanjang 47

Tabel 4. 3 Tipe – Tipe Kolom 47

Tabel 4. 4 Penyesuaian Data Pemodelan Struktur 48

Tabel 5. 1 Beban Mati Tambahan Pelat Lantai (SDL) 56

Tabel 5. 2 Beban Mati Tambahan Pelat Atap 56

Tabel 5. 3 Beban Hidup Pelat Lantai 57
Tabel 5. 4 Beban Hidup Pelat Atap 57
Tabel 5. 5 Nilai Respon Percepatan Desain (S_a) 61
Tabel 5. 6 Berat Beban Mati Tambahan 63
Tabel 5. 7 Berat Beban Mati Tambahan 65
Tabel 5. 8 Perbandingan Berat Bangunan Manual Dan ETABS 65
Tabel 5. 9 Distribusi Gaya Vertikal Seismik Tiap Lantai 67
Tabel 5. 10 Parameter Pemilihan Gerakan Tanah 68
Tabel 5. 11 Hasil Rekaman Gerakan Tanah 69
Tabel 5. 12 Kombinasi Pembebanan 76
Tabel 5. 13 Hasil Nilai Modal Partisipasi Massa 77
Tabel 5. 14 Hasil Gaya Geser Dasar Statik Ekivalen Dengan *ETABS* 78
Tabel 5. 15 Hasil Gaya Geser Dasar Respon Spektrum 78
Tabel 5. 16 Hasil Gaya Geser Dasar *Time History* Arah X 79
Tabel 5. 17 Hasil Gaya Geser Dasar *Time History* Arah Y 80
Tabel 5. 18 Perpindahan Arah X (δe) Statik Ekivalen 82
Tabel 5. 19 Perpindahan Arah Y (δe) Statik Ekivalen 82
Tabel 5. 20 Nilai Simpangan Antar Tingkat Arah X Statik Ekivalen 83
Tabel 5. 21 Nilai Simpangan Antar Tingkat Arah Y Statik Ekivalen 84
Tabel 5. 22 Perpindahan Arah X (δe) Respon Spektrum 84
Tabel 5. 23 Perpindahan Arah Y (δe) Respon Spektrum 85
Tabel 5. 24 Nilai Simpangan Antar Tingkat Arah X Respon Spektrum 86
Tabel 5. 25 Nilai Simpangan Antar Tingkat Arah Y Respon Spektrum 86
Tabel 5. 26 Rekap Perpindahan Arah (δe) X *Time History* (mm) 87
Tabel 5. 27 Perpindahan Arah Y (δe) *Time History* (mm) 87
Tabel 5. 28 Nilai Simpangan Antar Tingkat Arah X *Time History* 88
Tabel 5. 29 Nilai Simpangan Antar Tingkat Arah Y *Time History* 89
Tabel 5. 30 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Arah X Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* 90
Tabel 5. 31 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Arah Y Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* 90

Tabel 5. 32 Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Statik Ekivalen Arah X 92
Tabel 5. 33 Ketidakberaturan Torsi 1a Dan 1b Statik Ekivalen Arah Y 93
Tabel 5. 34 Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Respon Spektrum 94
Tabel 5. 35 Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Respon Spektrum 94
Tabel 5. 36 Ketidakberaturan Torsi 1a Arah X *Time History* 96
Tabel 5. 37 Ketidakberaturan Torsi 1a Arah Y *Time History* 97
Tabel 5. 38 Ketidakberaturan Torsi 1b Arah X *Time History* 98
Tabel 5. 39 Ketidakberaturan Torsi 1b Arah Y *Time History* 99
Tabel 5. 40 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah X Statik Ekivalen 101
Tabel 5. 41 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah Y Statik Ekivalen 101
Tabel 5. 42 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah X Statik Ekivalen 102
Tabel 5. 43 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah Y Statik Ekivalen 103
Tabel 5. 44 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah X Respon Spektrum 104
Tabel 5. 45 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah Y Respon Spektrum 104
Tabel 5. 46 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah X Respon Spektrum 105
Tabel 5. 47 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah Y Respon Spektrum 106
Tabel 5. 48 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah X *Time History* 107
Tabel 5. 49 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah Y *Time History* 107
Tabel 5. 50 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah X *Time History* 108
Tabel 5. 51 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah Y *Time History* 109
Tabel 5. 52 Perbandingan Ketidakberaturan Torsi 1a Arah X 109
Tabel 5. 53 Perbandingan Ketidakberaturan Torsi 1a Arah Y 110
Tabel 5. 54 Perbandingan Ketidakberaturan Torsi Berlebihan 1b Arah X 110
Tabel 5. 55 Perbandingan Ketidakberaturan Torsi Berlebihan 1b Arah Y 111
Tabel 5. 56 Perbandingan Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah X 112
Tabel 5. 57 Perbandingan Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a ArahY 112
Tabel 5. 58 Perbandingan Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah X 113
Tabel 5. 59 Perbandingan Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah Y 113
Tabel 5. 60 Momen dan Gaya Geser Pada BIL 1 Statik Ekivalen 114
Tabel 5. 61 Gaya Dalam Pada Kolom K3 Statik Ekivalen 115
Tabel 5. 62 Momen dan Gaya Geser Pada BIL 1 Respon Spektrum 116

Tabel 5. 63 Gaya Dalam Pada Kolom K3 Respon Spektrum 117
Tabel 5. 64 Momen dan Gaya Geser Pada BIL 1 *Time History* 117
Tabel 5. 65 Gaya Dalam Pada Kolom K3 *Time History* 118
Tabel 5. 66 Momen Tumpuan Pada BIL 1 Statik Ekivalen, Respon 119
Tabel 5. 67 Gaya Geser Tumpuan Pada BIL 1 Statik Ekivalen, Respon 120
Tabel 5. 68 Hasil Gaya Aksial Kolom K3 Statik Ekivalen, Respon 121
Tabel 5. 69 Gaya Geser Tumpuan Pada K3 Statik Ekivalen, Respon 122

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respon 0,2 detik (redaman kritis 5%) 26
Gambar 3. 2 S_1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respon 0,2 detik (redaman kritis 5%) 26
Gambar 3. 3 Peta Transisi Periode Panjang, T_L, Wilayah Indonesia 27
Gambar 3. 4 Spektrum Respon Desain 29
Gambar 3. 5 Penentuan Simpangan Antar Tingkat 35
Gambar 3. 6 Ketidakberaturan 1a dan 1b 38
Gambar 3. 7 Ketidakberaturan 2 38
Gambar 3. 8 Ketidakberaturan 3 39
Gambar 3. 9 Ketidakberaturan 4 39
Gambar 3. 10 Ketidakberaturan 4 39
Gambar 3. 11 Ketidakberaturan 1a dan 1b 41
Gambar 3. 12 Ketidakberaturan 2 41
Gambar 3. 13 Ketidakberaturan 3 41
Gambar 3. 14 Ketidakberaturan 4 42
Gambar 3. 15 Ketidakberaturan 5a dan 5b 42
Gambar 3. 16 Gaya Dalam Pada Penampang Batang 43
Gambar 3. 17 Perilaku Struktur Portal Akibat Beban Vertikal dan Horizontal 43
Gambar 4. 1 Denah Lantai Basement dan Dasar Gedung 44
Gambar 4. 2 Denah Lantai 1-12 45
Gambar 4. 3 Potongan Melintang Model Lantai 1 – 12 45
Gambar 4. 4 Potongan Memanjang Model Lantai 1 – 12 46
Gambar 4. 5 Pemodelan Balok Dan Kolom 48
Gambar 4. 6 Bagan Alir Tugas Akhir 54
Gambar 5. 1 Grafik Spektrum Respon Desain Yogyakarta 61
Gambar 5. 2 Perbandingan Gaya Lateral 67

Gambar 5. 3 Input Parameter Gerakan Tanah 68
Gambar 5. 4 Hasil Rekaman Gerakan Tanah 69
Gambar 5. 5 Nilai Periode T_{upper} Dan T_{Lower} 70
Gambar 5. 6 Input Rekaman Gerakan Tanah Pada Seismomatch 70
Gambar 5. 7 Input Target Respon Spektrum 71
Gambar 5. 8 Input Rentang Periode 71
Gambar 5. 9 *Setting* Untuk *Spectral Matching* 72
Gambar 5. 10 Hasil *Spectral Matching* 72
Gambar 5. 11 Kodefikasi Balok 73
Gambar 5. 12 Kodefikasi Kolom 73
Gambar 5. 13 Kodefikasi Pelat Lantai 74
Gambar 5. 14 Kodefikasi Pelat Atap 74
Gambar 5. 15 Hasil Pemodelan Struktur Dengan *ETABS* 75
Gambar 5. 16 Diagram Batang Gaya Geser Dasar Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* Arah X 81
Gambar 5. 17 Diagram Batang Gaya Geser Dasar Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* Arah Y 81
Gambar 5. 18 Grafik Simpangan Antar Tingkat Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* Arah X 91
Gambar 5. 19 Grafik Simpangan Antar Tingkat Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* Arah Y 91
Gambar 5. 20 Diagram Batang Momen Tumpuan BIL 1 Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* 119
Gambar 5. 21 Diagram Batang Gaya Geser Tumpuan BIL 1 Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* 120
Gambar 5. 22 Diagram Batang Gaya Aksial Tumpuan BIL 1 Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* 122
Gambar 5. 23 Diagram Batang Gaya Geser Tumpuan Kolom K3 Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* 123

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Jadwa Tugas Akkhir 129

Lampiran 2 Peta Deagregasi Jarak (R) 130

Lampiran 3 Peta Deagregasi Maginitudo (M) 131

Lampiran 4 *Function Time History* 132

Lampiran 5 Cek Ketidakberaturan *Time History* 137

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

C_d	=	faktor pembesaran simpangan lateral
C_S	=	koefisien respon seismik
Cu	=	koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung
Cv	=	koefisien vertikal
C_{Vx}	=	faktor distribusi vertikal
D	=	pengaruh dari beban mati
E	=	pengaruh beban seismik horizontal dan vertikal
Eh	=	pengaruh gaya seismik horizontal
Ev	=	pengaruh gaya seismik vertikal
F_i ,F_x	=	bagian dari gaya geser dasar, V, pada tingkat-i atau tingkat-x
Fp	=	gaya seismik yang bekerja pada elemen atau komponen dari struktur
Fv	=	koefisien situs untuk periode panjang
Fx	=	gaya seismik lateral (kN) di level-x
g	=	percepatan gravitasi (m/detik^2)
h	=	tinggi rata-rata struktur diukur dari dasar hingga level atap
h^*	=	tinggi efektif dari bangunan (m)
hi, hx	=	tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x(m)
hsx	=	tinggi tingkat di bawah level-x
Ie	=	faktor keutamaan gempa
k	=	eksponen yang terkait dengan periode struktur
L	=	pengaruh beban hidup
Lr	=	pengaruh beban hidup di atap
L_0	=	pengaruh beban hidup desain tanpa reduksi
MCE_R	=	gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget
N	=	tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas
PGA	=	percepatan muka tanah puncak MCE_G terpeta
PGA_M	=	percepatan muka tanah puncak MCE_G yang sudah disesuaikan akibat pengaruh kelas situs
PI	=	indeks plastisitas tanah
Q_E	=	pengaruh gaya seismik horizontal
R	=	beban air hujan
R	=	koefisien modifikasi respon
Sa	=	respon spektra percepatan
S_{DS}	=	parameter percepatan respon spektral pada periode pendek, redaman 5 persen

S_{D1}	=	parameter percepatan respon spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen
S_{MS}	=	parameter percepatan respon spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{M1}	=	percepatan percepatan respon spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_S	=	parameter percepatan respon spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen
S_1	=	parameter percepatan respon spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen
T	=	periode fundamental bangunan
T_a	=	periode fundamental pendekatan
T_L	=	peta transisi perioda panjang yang ditunjukkan pada Gambar 3.3
T_{lower}	=	periode getar pada saat 90 % partisipasi massa aktual telah terpenuhi pada masing-masing respon dua arah ortogonal
T_{upper}	=	nilai yang lebih besar di antara dua nilai periode getar fundamental ortogonal
vs	=	kecepatan rambat gelombang geser pada regangan geser yang kecil (m/detik) (< 10-3 persen)
$\bar{v}_s$	=	kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas
V	=	geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau
W	=	beban angin
W	=	berat seismik efektif bangunan
x	=	tingkat yang sedang ditinjau, 1 menandakan tingkat pertama setelah lantai dasar
Δ	=	simpangan antar tingkat desain
Δa	=	simpangan antar tingkat yang diizinkan
δmax	=	perpindahan maksimum (mm) di tingkat-x
δm	=	perpindahan respon inelastik maksimum
δavg	=	rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat x
δx	=	defleksi pusat massa di tingkat x
T	=	faktor partisipasi ragam
ρ	=	faktor redundansi struktur

ABSTRAK

Aktivitas lempeng di sekeliling Indonesia memicu gempa yang menggangu kesetabilan bangunan. Penerapan gempa pada bangunan tingkat tinggi harus menyertakan dua analisis gempa secara statik dan dinamik. Penerapan gempa statik dengan Statik Ekivalen dan dinamik berupa gempa Respon Spektrum atau *Time History* yang memberikan respon berbeda pada struktur. Penelitian ini bertujuan mengetahui respon struktur dengan penerapan ketiga beban gempa.

Data Gedung Apartemen memiliki 12 tingkat ketinggian total 48 m dan memiliki bentuk ireguler. Pemodel 3D dan analisis menggunakan *ETABS*. Gedung diterapkan ketiga beban gempa lalu dintinjau dari respon strukturnya berupa gaya geser dasar, simpangan antar tingkat, ketidakberaturan, dan gaya dalam.

Gempa Statik Ekivalen memberikan gaya geser dasar terbesar dibandingkan kedua gempa lainnya. Penurunan nilai gaya geser dasar Respon Spektrum arah x 19% arah y 13% dan *Time History* arah x 23% arah y 29%. Simpangan ketiga gempa meningkat pada tingkat 1 - 4 namun menurun pada tingkat 5 - 12. Simpangan terbesar gempa statik ekivalen terjadi pada tingkat ke-4 sedangkan gempa Respon Spektrum dan *Time History* pada tingkat ke-3. Terdapat ketidakberaturan torsi 1a untuk arah y pada gempa Statik Ekivalen serta Respon Spektrum sedangkan ketidakberaturan tingkat lunak 1a dan 1b hanaya pada gempa *Time History*. Nilai momen, gaya geser dan gaya aksial terbesar akibat dari gempa Statik Ekivalen namun pada tingkat 11 dan 12 nilai gaya dalam hampir mendekati pada ketiga gempa. Gempa statik ekivalen masih efektif diterapkan pada bangunan sebanyak 10 tingkat dengan tinggi 40 m namun untuk ketinggian lebih dari itu disarankan menggunakan gempa Respon Spektrum atau *Time History*.

Kata kunci : Gempa bumi, respon struktur, respon spektrum, statik ekivalen, dan *Time History.*

ABSTRACT

The activity of tectonic plates around Indonesia triggers earthquakes that affect the stability of buildings. The application of earthquake analysis on high-rise buildings must include both static and dynamic earthquake analyses. The static earthquake application is done using the Equivalent Static method, while the dynamic application is performed using the Response Spectrum or Time History methods, which provide different responses on the structure. This study aims to analyze the structural response under the application of these three earthquake loads.

The data for the apartment building has 12 floors with a total height of 48 meters and an irregular shape. A 3D model and analysis were conducted using ETABS. The building was subjected to all three earthquake loads, and the structural responses were reviewed, focusing on base shear, inter-story displacement, irregularities, and internal forces.

The Equivalent Static Earthquake produced the largest base shear compared to the other two earthquake methods. The base shear values decreased by 19% in the x-direction and 13% in the y-direction for the Response Spectrum, and by 23% in the x-direction and 29% in the y-direction for Time History. Displacements for all three earthquake types increased from levels 1 to 4 but decreased from levels 5 to 12. The largest displacement for the Equivalent Static Earthquake occurred at the 4th floor, while for the Response Spectrum and Time History, the largest displacement occurred at the 3rd floor. There was torsional irregularity 1a in the y-direction for both the Equivalent Static Earthquake and the Response Spectrum, while soft story irregularity 1a and 1b appeared only under the Time History method. The largest moment, shear force, and axial force values were caused by the Equivalent Static Earthquake, but at levels 11 and 12, the internal forces for all three earthquakes were nearly the same. The Equivalent Static Earthquake is still effective for buildings up to 10 stories with a height of 40 meters, but for buildings taller than that, it is recommended to use the Response Spectrum or Time History methods.

***Keywords**: Earthquake, Structure Respone, Statically Equivalent, Spectrum Respone, Time History*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara geografis Indonesia terletak pada pertemuan antara tiga lempeng yakni Lempeng Indo - Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Setiap tahun Lempeng – lempeng ini bergerak menurut arah dan kecepatannya. Menurut (Pawirodikromo 2012) terdapat 3 gerakan lempeng yang memberikan dampak berbeda–beda. Gerakan lempeng ini antara lain gerakan divergen, gerakan konvergen, gerakan slip. Gerakan divergen adalah gerakan dua lempeng tektonik yang saling menjauh. Gerakan konvergen adalah gerakan lempeng yang saling mendekat. Sedangkan gerakan slip merupakan gerakan lempeng yang sejajar dan berlawanan arah. Lempeng yang saling mendekat dapat bertumbukan dan memicu gelombang gempa.

Pawirodikromo (2012) menyatakan bahwa "gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba–tiba akibat dari pecah/slipnya masa batuan di lapisan kerak bumi". Mula–mula kedua lempeng bertumbukan di daerah subduksi sehingga menimbulkan tegangan. Salah satu lempeng kemudian tertekuk dan tertahan hal ini berlangsung secara terus menerus. Setelah itu muncul retakan pada batuan karena desakan yang terakumulasi dan pecah sampai batas keseimbangan. Di tempat yang paling lemah, batuan benar-benar pecah, slip atau kontak batuan yang terkunci menjadi terlepas dan terjadilah peristiwa gempa bumi.

Goncangan gempa bumi membuat tanah bergetar dan mengganggu kestabilan bangunan di atasnya. Bangunan yang tidak stabil dapat mengalami kerusakan baik secara ringan, sedang, hingga berat (Pawirodikromo, 2012). Gedung tersusun atas material yang getas, akibatnya elemen struktur sangat rentan mengalami deformasi. Oleh karena itu bangunan harus didesain kuat dan tahan gempa.

Berdasarkan SNI 1726-2019, dalam analisis beban gempa dapat dilakukan secara statik dan dinamik. Analisis beban gempa secara statik berupa metode Statik Ekivalen dan analisis beban gempa secara dinamik berupa metode Respon

Spektrum dan *Time History*. Metode Statik Ekivalen didapatkan melalui perhitungan secara manual sedangkan metode Respon Spektrum dapat didapatkan secara manual sesuai SNI 1726 - 2019 ataupun menggunakan website RSA Cipta Karya. Metode *Time History* menggunakan data gempa yang pernah terjadi pada lokasi tertentu dan dinormalisasi dengan bantuan program seismomatch (Sunarto, 2018). Ketiga metode memberikan pengaruh berbeda–beda terhadap struktur.

Pemilihan pembebanan gempa pada struktur sudah diatur pada SNI 1726 – 2019 terkait karakteristik struktur dan kategori desain seismik. Menurut Fadhilah dan Waludjodjati (2020) beban seismik telah mengalami perubahan mendasar pada struktur bangunan pada 5 sampai 10 tingkat. Analisis statik akan lebih efektif jika digunakan pada struktur dengan jumlah 5 tingkat sedangkan analisis secara dinamik akan lebih tepat digunakan pada struktur dengan tinggi tingkat di atasnya. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk membandingkan respon pada bangunan berbentuk ireguler dengan pembebanan seismik secara statik dan dinamik. Penerapan beban tersebut berupa gempa Statik Ekivalen, Respon Spektrum, dan *Time History*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh beban gempa metode Statik Ekivalen, Respon Spektrum dan *Time History* terhadap nilai gaya geser dasar?
2. Bagaimana pengaruh beban - beban gempa terhadap nilai simpangan dan ketidakberaturan struktur?
3. Bagaimana pengaruh beban - beban gempa terhadap nilai gaya dalam pada elemen balok dan kolom ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut ini.

1. Mengetahui perbandingan gaya geser dasar *(base shear)* yang ditimbulkan dari beban gempa Statik Ekivalen, Respon Spektrum, dan *Time History*,

2. Mengetahui pengaruh beban gempa terhadap nilai simpangan dan ketidakberaturan struktur,
3. Mengetahui besar gaya dalam pada balok dan kolom akibat beban gempa Statik Ekivalen, Respon Spektrum, dan *Time History*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penyusunan tugas akhir ini dapat dijabarkan yakni sebagai berikut.

1. Sebagai referensi untuk karya ilmiah yang berkaitan dengan respon struktur akibat gempa bumi,
2. Sebagai referensi desain pada gedung yang memiliki ketidakberaturan,
3. Sebagai sarana peningkatan kemampuan penulis terkait penggunaan *ETABS*,
4. Sebagai referensi untuk peningkatan kekuatan pada struktur yang memiliki desain tidakberaturan.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Penelitian ini bersumber dari penelitian Bayyinah dan Faimun (2017) tentang Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan *Time History* untuk Desain Gedung dengan penyesuaian berupa peruahan sistem pemikul gaya seismik dan pengurangan lantai *basement*,
2. Lokasi gedung disesuaikan dengan lokasi penelitian yakni Yogyakarta,
3. Fungsi gedung mengikuti penelitian sebelumnya sebagai Apartemen,
4. Gedung dimodelkan dari lantai dasar tanpa *basement*,
5. Pemodelan gedung berupa 12 lantai dengan 1 pelat atap,
6. Dimensi balok dan kolom dipertahankan,
7. Pembebanan yang digunakan meliputi beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load)*, dan beban gempa (*earthquake load*),
8. Struktur pondasi bawah dimodelkan sebagai tumpuan jepit,
9. *Lift* dan tangga diabaikan,
10. Kolom, balok, dan pelat lantai menggunakan beton bertulang,
11. Pemodelan menggunakan *Software ETABS* dan dimodelkan secara 3d ,

12. Beban angin dan hujan diabaikan,
13. Beban dinding diabaikan karena terbatasnya sumber data,
14. Beban gempa analisis Statik Ekivalen sesuai dengan SNI 1726 – 2019,
15. Beban gempa Respon Spektrum mengikuti acuan SNI 1726 -2019,
16. Beban gempa analisis *Time History* mengikuti acuan SNI SNI 8899 – 2020 dan SNI 1726 - 2019,
17. Analisis *Time History* dilakukan secara linier,
18. Ketidakberaturan yang ditinjau adalah ketidakberaturan Horizontal 1a 1b dan Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b,
19. Peraturan yang digunakan :
    a. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan, SNI 1726 – 2019 tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.
    b. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan, SNI 2847 – 2019.
    c. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983.
    d. Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain SNI 1727 – 2020.
    e. SNI 8899 – 2020 tentang Tata Cara Pemilihan dan Modifikasi Gerak Tanah Permukaan Untuk Perencanaan Gedung Tahan Gempa.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu

1. Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra Dan *Time History* Untuk Desain Gedung

   Penelitian ini dilakukan oleh Bayyinah dan Faimun (2017). Perbandingan metode analisis yang digunakan adalah metode Respon Spektra dan linier *Time History*. Data gedung yang diteliti adalah Gedung Apartemen dengan 1 *basement* 12 tingkat dengan 1 atap. Penelitian ini juga menjadi acuan dalam penggunaan data lapangan dan sebagai data penelitian yang akan dilakukan.

   Tujuan penelitian ini adalah perbedaan analisis gempa secara dinamik respon spektra dan *Time History*. Dengan tinjauan gaya geser dasar dan nilai simpangan. Selain itu dari hasil analisis digunakan sebagai dasar desain ulang untuk struktur tersebut.

   Hasil penelitian ini adalah nilai *base shear* respon spektra lebih besar dibandingkan analisis linier *Time History*. Persentase penurunan nilai *base shear* dari 3 (tiga) gempa dengan analisis linier *Time History* terhadap respon spektra yaitu sebesar 4,69 % Kobe - x ; 11,32% Kobe -y; 62,4 % Imperial Valley - x ; 83,046 % Imperial Valley - y; 8,1 % Tabas -x dan 12,1 % Tabas - y. Hasil simpangan dengan respon spektra aman terhadap simpangan ijin, kemudian dievaluasi dengan analisis linier *Time History* masih dalam kategori aman tapi pada simpangan arah - x, gempa imperial valley melebihi simpangan respon spektra dan arah y di beberapa lantai melebihi respon spektra. Data simpangan menunjukkan bahwa gempa imperial valley menyebabkan simpangan terbesar dari ketiga gempa yang ditinjau.

2. Analisis Struktur Tahan Gempa Hotel Santika Tasikmalaya Dengan Metode Analisis Statik Dan Dinamik *Time History*

   Penelitian ini dilakukan oleh Anggraeni dkk.(2020) mengenai Analisis Struktur Tahan Gempa Hotel Santika Tasikmalaya Dengan Metode Analisis Statik Dan Dinamik *Time History*. Bangunan yang diuji adalah Hotel Santika dengan total tingkat sebanyak 9 lantai. Pemodelan bangunan menggunakan bantuan software *ETABS*.

   Tujuan penelitian ini adalah mengetahui respon struktur akibat beban gempa dengan metode statik dan dinamik riwayat waktu (*Time History*). Tinjauan dari respon struktur berupa nilai *displacement, drift* dan *base shear*. Selain itu untuk mengetahui keamanan struktur melalui evaluasi kinerja struktur berdasarkan SNI 03–1726-2012.

   Hasil dari penelitian ini adalah seperti ini. Hasil gaya geser menggunakan metdoe Statik Ekivalen arah X = 4385,32 kN dan arah Y = 0,00073 kN. Sedangakan berdasarkan TH Tabs arah X = 3555,48 kN dan arah Y = 619945,7 kN. Untuk TH Elcentro arah X = -1934,94 kN dan arah Y = 10996,71 kN. Selanjutnya TH Loma Prieta arah X = 4462,94 kN dan arah Y = 249177,73 kN. Nilai displacement pada lantai 1 akibat ; sataik ekivalen 0,0002 mm , TH Loma Prieta 1,3 mm, TH Elcentro = 1,1 mm, dan TH Tabs = 2 mm. Pada lantai 2 akibat; Statik Ekivalen = 0,001 mm, TH Loma Prieta = 5,6 mm, TH Elcentro = 4,4 mm, dan TH Tabs = 8,7mm. Pada lantai 3 akibat; Statik Ekivalen = 0,003 mm, TH Loma Prieta = 14,1 mm, TH Elcentro = 10,8 mm, dan TH Tabs = 23 mm. Pada lantai 4 akibat; Statik Ekivalen = 0,004 mm, TH Loma Prieta = 20,9 mm, TH Elcentro = 16,2 mm, dan TH Tabs = 35,5 mm. Pada lantai 5 akibat; Statik Ekivalen = 0,005 mm, TH Loma Prieta = 26,5 mm, TH Elcentro = 20,9 mm, dan TH Tabs = 46,3 mm. Pada lantai 6 akibat; Statik Ekivalen = 0,006 mm, TH Loma Prieta = 30,9 mm, TH Elcentro = 24,9 mm, dan TH Tabs = 55,6 mm. Pada lantai 7 akibat; Statik Ekivalen = 0,007 mm, TH Loma Prieta = 33,9 mm, TH Elcentro = 28,2 mm, dan TH Tabs = 62,6 mm. Pada lantai 8 akibat; Statik Ekivalen = 0,008 mm, TH Loma Prieta = 35,9 mm, TH Elcentro = 30,6 mm, dan TH Tabs = 67,9 mm. Pada lantai 9 akibat; Statik Ekivalen = 0,008 mm, TH Loma

Prieta = 36,7 mm, TH Elcentro = 31,4 mm, dan TH Tabs = 69,4 mm. Sedangkan untuk nilai Drift Ratio (%) pada lantai 1 oleh beban Statik Ekivalen = 0,00, TH Loma Prieta = 0,2, TH Elcentro = 0,17, dan TH Tabs = 0,31. Pada lantai 2 oleh beban Statik Ekivalen = 0,01, TH Loma Prieta = 0,67, TH Elcentro = 0,51, dan TH Tabs = 1,05. Pada lantai 3 oleh beban Statik Ekivalen = 0,02, TH Loma Prieta = 1,03, TH Elcentro = 0,78, dan TH Tabs = 1,74. Pada lantai 4 oleh beban Statik Ekivalen = 0,02, TH Loma Prieta = 1,03, TH Elcentro = 0,82, dan TH Tabs = 1,90. Pada lantai 5 oleh beban Statik Ekivalen = 0,02, TH Loma Prieta = 0,85, TH Elcentro = 0,71, dan TH Tabs = 1,65. Pada lantai 6 oleh beban Statik Ekivalen = 0,02, TH Loma Prieta = 0,67, TH Elcentro = 0,61, dan TH Tabs = 1,42. Pada lantai 7 oleh beban Statik Ekivalen = 0,02, TH Loma Prieta = 0,45, TH Elcentro = 0,5, dan TH Tabs = 0,106. Pada lantai 8 oleh beban Statik Ekivalen = 0,02, TH Loma Prieta = 0,3, TH Elcentro = 0,36, dan TH Tabs = 0,80. Pada lantai 9 oleh beban Statik Ekivalen = 0,00, TH Loma Prieta = 0,12, TH Elcentro = 0,12, dan TH Tabs = 0,22.

3. Perbandingan Pembebanan Gempa Bangunan Bertingkat Menggunakan Analisis *Static Equivalent* dan Analisis *Dynamic Time History* di Kab. Garut

   Gedung yang ditinjau merupakan gedung dengan model tingkat 5,6,7,8,9 dan 10 lantai. Metode analisis yang digunakan adalah analisis Statik Ekivalen dan *Time History*. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil analisis dari kedua metode berupa gaya geser dasar bangunan dan gaya lateral tiap tingkat.

   Hasil penelitian ini adalah pada struktur dengan 5 tingkat gaya lateral yang terjadi antara pembebanan Statik Ekivalen dan *Time History* tidak jauh berbeda. Pada lantai ke-1 = 12,39%, pada lantai ke-2 = 26,41%, pada lantai ke-3 = 43,54%, pada lantai ke-4 = 66,29% dan pada lantai ke-5 = 99,52%. Gaya lateral tertinggi terjadi pada tingkat ke 6 akibat beban dinamik *Time History* sebesar = 46,22%. Pada struktur 7 sampai dengan 10 tingkat menghasilkan pembebanan yang hampir sama seperti yang terjadi pada perhitungan struktur 6 tingkat, dimana gaya lateral hasil analisis Statik Ekivalen memiliki nilai yang lebih kecil dari gaya lateral pada semua tingkat.

4. Perbandingan Beban Gempa Rencana Hasil Analisis Menggunakan Metode Statik Ekivalen Dan Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726 -2012

   Penelitian ini bersumber dari Jurnal Sains Perbandingan Beban Gempa Rencana Hasil Analisis Menggunakan Metode Statik Ekivalen Dan Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726 -2012 oleh Annisa dkk.(2020) . Gedung yang diteliti adalah kantor dengan 6 lantai. Pemodelan struktur menggunakan program *SAP 2000*. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui hasil analisis terbesar dari metode Statik Ekivalen dan Respon Spektrum. Tinjauan pada penelitian ini adalah nilai simpangan antar lantai dan perbandingan gaya dalam.

   Hasil dari penelitian ini adalah simpangan antar lantai yang terjadi pada masing masing arah sumbu x dan sumbu y untuk kedua metode nilainya kurang dari simpangan antar lantai maksimum yang diijinkan, yang artinya simpangan antar lantai yang terjadi telah memenuhi syarat. Berdasarkan grafik perbandingan gaya dalam berupa momen dan gaya geser pada kolom dan balok pada lantai 1 sampai 6 nilai terbesar yang dihasilkan berasal dari metode Statik Ekivalen. Oleh karena itu untuk kebutuhan desain menggunakan hasil analisis Statik Ekivalen.

5. Analisis Respon Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal pada Gedung Perkuliahan di Yogyakarta dengan Menggunakan SNI 1726-2019

   Penelitian ini dilakukan oleh Syafara dkk.(2023), dimana objek penelitian ini adalah gedung perkuliahan tidak beraturan 6 lantai dengan beban gempa di Kota Yogyakarta Analisis struktur menggunakan *Software ETABS v18.1.1* Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis respon struktur yang terjadi pada salah satu bangunan gedung perkuliahan tidak beraturan yang ada di Yogyakarta dengan menggunakan metode analisis Respon Spektrum (*Spectrum Respones Analysis*).

   Hasil penelitian ini adalah gedung perkuliahan memiliki desain ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal. Ketidakberaturan horizontal yang terjadi pada gedung ini adalah ketidakberaturan sudut dalam (tipe 2). Ketidakberaturan vertikal yang terjadi adalah ketidakberaturan berat/massa (tipe 2). Dari hasil analisis gaya desain diafragma perlu ditambahkan elemen kolektor dan elemen kord pada gedung tersebut. Simpangan antar tingkat (Δ) arah X pada

lantai 1-6 adalah 7,9 mm, 17,6 mm, 23,3 mm, 26,5 mm, 28 mm, dan 26,9 mm.Simpangan antar tingkat (Δ) pada arah Y pada lantai 1-6 adalah 4,1 mm, 9,2 mm, 12,4 mm, 14,4 mm, 15,4 mm, dan 14,9 mm. Nilai simpangan antar tingkat izin (Δa) untuk semua lantai sebesar 90 mm. Maka, simpangan antar tingkat pada gedung ini, baik pada arah X maupun arah Y dinyatakan aman. Nilai koefisien stabilitas (θ) arah X pada gedung ini lantai 1-6 adalah 0,0320 rad, 0,0472 rad, 0,0418 rad, 0,0353 rad, 0,0285 rad, dan 0,0153 rad. Nilai koefisien stabilitas (θ) pada arah Y lantai 1- 6 adalah 0,0313 rad, 0,0490 rad, 0,0433 rad, 0,0366 rad, 0,0301 rad, dan 0,0160 rad. Nilai koefisien stabilitas maksimum (θmax) pada seluruh lantai sebesar 0,0909 rad, sehingga pengaruh P-Delta pada seluruh lantai di gedung perkuliahan yang diteliti dinyatakan stabil.

2.2 Penelitian yang Dilakukan dan Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Berdasarkan tinjauan dari penelitian terdahulu pada tabel 2.1, penelitian yang telah dilakukan umumnya membandingkan antara dua beban gempa seperti Statik Ekivalen dengan Respon Spektrum, Statik Ekivalen dengan *Time History*, ataupun Respon Spektrum dengan *Time History* saja dan tidak membandingkan ketiga beban gempa tersebut. Dalam penelitian ini dibandingkan hasil respon struktur dengan menggunakan ketiga beban gempa. Ketiga beban gempa tersebut adalah Gempa Statik Ekivalen, Gempa Respon Spektrum, dan Gempa *Time History*. Selain itu peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI) digunakan adalah yang terbaru. Dengan adanya perbedaan tersebut maka penelitian ini murni dan dapat dilakukan. Untuk membedakan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya maupun sumber – sumber harus dilakukan perbandingan. Perbandingan antara penelitian sebelumnya dan sumber sumber terkait dapat dilihat dari tabel di bawah ini.

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Ini

Parameter Pembanding	Pembandingan Penelitian Terdahulu					Penelitian yang dilakukan
Peneliti	Bayinah dan Faimun (2017)	Anggraeni dkk (2020)	Fadhilah & Waludjodjati (2020)	Annisa dkk (2020)	Syafara dkk (2023)	Rizki Abil Nurkhusnaedi (2024)
Judul Penelitian	Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra Dan *Time History* Untuk Desain Gedung	Analisis Struktur Tahan Gempa Hotel Santika Tasikmalaya Dengan Metode Analisis Statik Dan Dinamik *Time History*	Perbandingan Pembebanan Gempa Bangunan Bertingkat Menggunakan Analisis Static Equivalent dan Analisis Dynamic *Time History* di Kab. Garut	Perbandingan Beban Gempa Rencana Hasil Analisis Menggunakan Metode Statik Ekivalen dan Respon Spektrum berdasarkan sni 1726-2012	Analisis Respon Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal pada Gedung Perkuliahan di Yogyakarta dengan Menggunakan SNI 1726-2019	Perbandingan Respon Struktur dengan Penerapan Beban Gempa Analisis Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History*
Tujuan Penelitian	Mengetahui perbedaan analisis gempa secara dinamik respon spektra dan *time history*	Mengetahui respon struktur akibat beban gempa dengan metode statik dan dinamik riwayat waktu (*Time History)*	Membandingkan hasil analisis dari metode Statik Ekivalen dan dinamik *Time History* berupa gaya geser dasar bangunan dan gaya lateral tiap tingkat	Mengetahui hasil analisis dari metode Statik Ekivalen dan Respon Spektrum	Menganalisis respon struktur yang terjadi pada salah satu bangunan gedung perkuliahan tidak beraturan yang ada di Yogyakarta.	Mengetahui perbandingan gaya geser dasar dan Simpang. Mengetahui tipe tidakberturan struktur. Mengetahui perbandingan gaya dalam struktur pada elemen balok dan kolom

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Ini

Parameter Pembanding	Pembandingan Penelitian Terdahulu					Penelitian yang dilakukan
Metode Penelitian	Metode analisis Respon Spektrum dan analisis riwayat waktu	Metode analisis Statik Ekivalen, analisis dinamik *Time History*	Metode analisis Statik Ekivalen, metode analisis dinamik *Time History*	Metode analisis Statik Ekivalen dan Respon Spektrum	Metode analisis Respon Spektrum	Metode analisis Statik Ekivalen, Respon Spektrum, dan *Time History*
Hasil Penelitian	Hasil penelitian ini adalah nilai *base shear* respon spektra lebih besar dibandingkan analisis linier Time History. Persentase penurunan nilai base shear dari 3 (tiga) gempa dengan analisis linier *Time History* terhadap respon spektra yaitu sebesar 4,69 % Kobe - x ; 11,32% Kobe -y; 62,4 % Imperial Valley - x ; 83,046 % Imperial	Nilai partisipasi massa dalam menghasilkan respon total melebihi 90% Hasil Control *base shear* , Elcentro tidak memenuhi syarat. Rekaman gempa Tabs aman (V≥0,8V1) dan Rekaman gaya Loma aman (V≥0,8V1).	pada struktur dengan 5 tingkat gaya lateral yang terjadi antara pembebanan Statik Ekivalen dan *Time History* tidak jauh berbeda. Pada lantai ke-1 = 12,39%, pada lantai ke-2 = 26,41%, pada lantai ke-3 = 43,54%, pada lantai ke-4 = 66,29% dan pada lantai ke-5 = 99,52%. Gaya lateral tertinggi terjadi pada tingkat ke 6 akibat beban	simpangan antar lantai yang terjadi pada masing masing arah sumbu x dan sumbu y untuk kedua metode nilainya kurang dari simpangan antar lantai maksimum yang diijinkan, yang artinya simpangan antar lantai yang terjadi telah memenuhi syarat. Berdasarkan grafik perbandingan	Terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 2 pada seluruh lantai, dan tidak beraturan vertikal tipe 2 pada 6 lantai.Simpangan antar tingkat baik arah x maupun arah y telah memenuhi persyaratan karena kurang dari simpangan antar tingkat ijin, sehingga dinyatakan aman. Akibat adanya ketidakberaturan	Gaya geser terbesar terjadi akibat beban gempa Statik Ekivalen, disusul dengan Respon Spektrum dan terakhir *Time History*. Gaya geser dasar mengalami penurunan pada Respon Spektrum arah x 19% arah y 13% dan *Time History* arah x 23% arah y 29%. Nilai simpangan meningkat pada tingkt 1 – 4 dan menurun pada tingkat 5 – 12. Simpangan Statik Ekivalen terbesar terjadi pada tingkat 4 namun pada respon spektrum dan time history lebih dahulu terjadi pada tingkat 3. Pada beban gempa Statik Ekivalen hanya terdapat ketidakberaturan horizontal 1a pada arah y. Pada Respon Spektrum

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Ini

Parameter Pembanding	Perbandingan Penelitian Terdahulu					Penelitian yang dilakukan
	Valley - y; 8,1 % Tabas -x dan 12,1 % Tabas - y	Hasil control displacement : Simpangan lantai dengan analisis Statik Ekivalen aman, analisis dengan rekaman gempa Elcentro, Loma, dan Tabs berada pada kondisi tidak aman.Tabs berada pada kondisi tidak aman.	dinamik Time History sebesar = 46,22%. Pada struktur 7 sampai dengan 10 tingkat menghasilkan pembebanan yang hampir sama seperti yang terjadi pada perhitungan struktur 6 tingkat, dimana gaya lateral hasil analisis Statik Ekivalen memiliki nilai yang lebih kecil dari gaya lateral pada semua tingkat.	gaya dalam berupa momen dan gaya geser dasar pada kolom dan balok pada lantai 1 sampai 6 nilai terbesar yang dihasilkan berasal dari metode Statik Ekivalen. Oleh karena itu untuk kebutuhan desain menggunakan hasil analisis Statik Ekivalen.	gaya desain diafragma harus ditingkatkan sebesar 25%.	hanya terjadi pada *Story* 5 – 12. Pada rata – rata. *Time History* tidak ditemukan ketidakberaturan 1a atau 1b. Ketidakberaturan vertikal hanya terjadi pada gempa *Time History*. Nilai momen tumpuan dan gaya geser tumpuan untuk balok dan gaya aksial kolom terbesar terjadi akibat Statik Ekivalen dan terendah akibat beban gempa *Time History*.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Menurut Hermansyah dkk (2020) dalam Hidayati dkk (2023) gempa bumi merupakan getaran alam yang terjadi pada lapis permukaan bumi yang diakibatkan oleh terlepasnya energi dari dalam bumi secara tiba-tiba sehingga menciptakan gelombang seismik yang disebabkan oleh pergeseran lempeng bumi. Gempa bumi dimulai dengan adanya gerakan lempeng tektonik yang menyebabkan timbulnya tegangan/regangan pada masa batuan di dalam bumi. Pada masa batuan tersebut bekerja tegangan geser horizontal maupun vertikal. Hal ini terjadi secara berangsur – angsur sampai tegangan tersebut terakumulasi. Masa batuan yang tidak mampu menahan tegangan yang bekerja akan pecah secara tiba–tiba. Energi yang ditimbulkan ini akan merambat ke segala arah hingga mencapai permukaaan tanah dan inilah yang dikenal dengan gempa bumi Widodo (2012).

Gempa bumi menjadi ancaman yang berbahaya bagi kehidupan alam dan manusia. Getaran yang ditimbulkan pada permukaan tanah dapat menggoyangkan berbagai macam benda yang berada di atasnya. Bangunan infrastruktur sipil seperti jembatan, dermaga pelabuhan, jalan, dan gedung – gedung akan riskan terganggu getaran gempa. Gangguan tersebut bisa berupa getaran, retak – retak kecil maupun sampai merobohkan bangunan tersebut Widodo (2012). Getaran pada permukaan yang ditimbulkan sangat bergantung pada lapisan tanah yang ada di bawah bangunan yang berdiri.

Konsep bangunan tahan gempa menjadi salah satu solusi rekayasa kegempaan. Konsep ini menekankan pada kemampuan untuk melakukan desain dan melaksanakan bangunan tahan gempa (*Earthquake Resistant Design and Construction. ERDC*) Widodo (2012). Struktur bangunan memiliki karakteristik respon yang berbeda dari gempa kecil sampai gempa besar. Ketika terjadi gempa kecil, elemen non struktur seperti dinding tembok, partisi dan sejenisnya tidak boleh rusak. Pada gempa menengah kerusakan pada struktur utama tidak boleh terjadi

namun elemen non struktur boleh rusak. Sedangkan, saat terjadi gempa besar struktur utama boleh rusak namun tidak boleh runtuh supaya meminimalisir korban.

3.2 Pembebanan Struktur

Untuk mendesain suatu struktur diperlukan beban yang akan diwujudkan sebagai kekuatan dari elemen struktur. Pembebanan menjadi hal yang paling mendasar dalam perencanaan suatu bangunan. Oleh karena itu pembebanan harus dikaji secara jelas dan teliti supaya bangunan bisa berdiri dengan kokoh. Pada pembebanan struktur gedung digunakan beban – beban sebagai berikut.

3.2.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat mati yang ditumpu oleh komponen struktur. Menurut SNI 1727-2020, beban mati berupa bahan penyusun konstruksi bangunan gedung, beban – beban seperti dinding, atap, lantai, tangga, plafon, partisi tetap pada dinding, *finishing, cladding* gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya. Beban mati yang bekerja harus memiliki informasi secara jelas dan disetujui oleh pihak berwenang. Nilai untuk beban mati seperti tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Beban Mati (dead Load)

No	Nama Material	Berat Isi	Satuan
1	Beton – bertulang	2400	Kg/m^3
2	Beton	2200	Kg/m^3
3	Pasir (Jenuh air)	1800	Kg/m^3
4	Adukan, per cm tebal : - dari semen	21	Kg/m^2
5	Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan per cm tebal	24	Kg/m^2

(Sumber :PBI 1971-PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA)

3.2.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Menurut SNI 1727-2020, beban hidup adalah 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 dikategorikan sesuai dengan penggunaan jenis ruangan. Untuk nilai dan jenis penggunaan beban hidup dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, *Lo* dan Beban Hidup Terpusat Minimum

No	Hunian atau Penggunaan	Merata, Lo pasf (kN/m^2)	Reduksi Beban Hidup Diizinkan	Reduksi Beban Hidup Berlantai Banyak Diizinkan? (No. pasal)	Terpusat lb (kN)
1	Rumah Tinggal Hunian satu dan dua keluarga				
	Loteng yang tidak dapat dihuni	10 (0,48)	Ya	Ya	4.12.1
	Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	Ya	Ya	4.12.2
	Loteng yang tidak dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	Ya	Ya	0
	Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	Ya	Ya	0
	Semua hunian rumah tinggal lainnya				
	Ruang pribadi dan koridornya	20 (1,92)	Ya	Ya	0
	Ruang publik	100(4,79)	Tidak	Tidak	0
	Koridor ruang publik	100(4,79)	Ya	Ya	

(Sumber :SNI 1727 2020)

3.2.3 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang timbul akibat adanya kejadian gempa bumi. Beban gempa dipengaruhi oleh jenis tanah dan kategori risiko bangunan. Getaran akibat gempa dapat diredam ketika melalui sifat tanah dan bangunan dengan kekuatan yang tinggi. Dalam menentukan beban gempa terdapat parameter - parameter yang harus diperhatikan, parameter tersebut adalah sebagai berikut.

1. Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

   Nilai kategori risiko bangunan ditentukan berdasarkan jenis pemanfaatan bangunan itu sendiri. Pengaruh gempa rencana terhadap bangunan harus dikalikan suatu faktor keutamaan gempa (I_e). Untuk menentukan nilai kategori risiko struktur bangunan dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gedung penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan Struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ Rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang	III

Lanjutan Tabel 3.3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa

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 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.	IV

Nilai faktor keutamaan gempa dapat ditentukan berdasarkan nilai kategori risiko bangunan. Untuk nilai faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, *Ie*
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

(Sumber: (Badan Standardisasi Nasional (b) 2019)

2. Faktor Redundansi (ρ)

   Nilai faktor redundansi untuk struktur dengan kategori desain seismik D dan mempunyai ketidakberaturan torsi berlebihan tipe 1b adalah 1,3. Sementara itu, untuk struktur dengan kategori desain seismik E dan F tidak diperbolehkan didesain dengan memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan. Struktur dengan desain seismik D, E, atau F harus menggunakan nilai ρ sebesar 1,3. Namun apabila pada struktur tersebut terdapat dua kondisi di bawah ini maka diperbolehkan menggunakan nilai ρ sebesar 1. Adapun kondisi tersebut adalah sebagai berikut ini.

   a. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan Tabel 3.5.
   b. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem pemikul gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter pemikul gaya seismik yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, hsx, untuk konstruksi rangka ringan.

Tabel 3. 5 Persyaratan Untuk Masing – Masing Tingkat Yang Menahan Lebih Dari 35%

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

(Sumber:Badan Standardisasi Nasional (b) 2019)

3. Kombinasi Pembebanan Dasar dan Pengaruh Beban Seismik

   Untuk mendapatkan kuat rencana yang setara ataupun melebihi adanya beban – beban terfaktor komponen struktur harus didesain menggunakan kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan untuk metode ultimit untuk dapat dilihat sebagai berikut.

   a. 1,4 D (3.1)

   b. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r atau R) (3.2)

   c. 1,2 D + 1,6 (L_r atau R) + (L_r atau $0{,}5\ W$) (3.3)

   d. 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r atau R) (3.4)

   e. 0,9 D + 1,0 W (3.5)

   f. 1,2 D + E_v + E_h + L (3.6)

   g. 0,9 D - E_v + E_h (3.7)

Pengaruh beban seismik, E, harus ditentukan sesuai dengan berikut ini :

1) Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 6 atau kombinasi beban 5 dan 6 nilai E harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini :

$$E = E_h + E_v \quad (3.8)$$

2) Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 atau kombinasi beban 8 dalam E harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E = E_h - E_v \quad (3.8)$$

3) Pengaruh beban seismik horizontal E_h, harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E_h = \rho Q_E \quad (3.8)$$

Keterangan :

Q_E = pengaruh gaya seismik horizontal dari V atau F_P;

ρ = faktor redundansi.

4) Pengaruh beban seismik horizontal E_V, harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E_V = 0{,}2 S_{DS} D \quad (3.9)$$

Keterangan :

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

D = pengaruh beban mati.

4. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs digunakan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor – faktor amplifikasi pada bangunan. Faktor amplifikasi menunjukkan nilai besaran percepatan gempa dari batuan ke dasar permukaan tanah untuk tiap situs tanah. Oleh karena itu tanah harus diklasifikasikan tiap situsnya terlebih dahulu. Klasifikasi situs didasarkan pada jenis tanah dengan kedalaman minimal 30 m dan apabila pada kedalaman tersebut tidak didapatkan data yang jelas maka sifat – sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik. Klasifikasi tanah dapat dilihat berdasarkan tabel 3.6 berikut ini.

Tabel 3. 6 Klasifikasi Situs

Kelas situs	Vs (m/detik)	*N* atau N_{ch}	S_u(kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, PI > 20, 2. Kadar air, w ≥ 40%, 3. Kuat geser niralir s_u < 25 kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respon spesifik-situs yang mengikuti)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah 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		

(Sumber:(Badan Standardisasi Nasional (b) 2019)

3.3 Analisis Struktur

Analisis struktur digunakan untuk mengetahui reaksi yang ditimbulkan struktur akibat adanya beban yang bekerja. Dalam SNI 1726-2019 terdapat dua macam metode analisis yakni analisis secara statik dan dinamik. Dalam Analisis secara statik, dapat menggunakan metode Analisis Statik Ekivalen sedangkan analisis secara dinamik, dapat menggunakan Analisis Respon Spektrum dan *Time History*. Pada penelitian ini akan dilakukan dengan ketiga metode analisis tersebut.

3.3.1. Statik Ekivalen

Metode analisis Statik Ekivalen menggunakan pengaruh percepatan tanah akibat gempa menjadi gaya horizontal yang bekerja pada pusat massa (Pawirodikromo 2012). Analisis Statik Ekivalen juga merupakan pengembangan dari hukum newton (1687), dimana f = m.a. Gaya horizontal tersebut merupakan representasi dari adanya beban dinamik yang sesungguhnya terjadi akibat gempa

bumi. Oleh karena itu gaya – gaya horizontal tersebut kemudian dikenal sebagai gaya/beban horizontal ekuivalen statik. Adapun untuk ketentuan yang harus diperhatikan pada Metode Statik Ekivalen adalah sebagai berikut ini.

1. Gaya Geser Seismik

   Gaya dasar seismik, V dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut ini.

   $$V = C_S W \quad (3.10)$$

   Keterangan :

   V = Gaya geser seismik;

   C_S = Koefisien respon seismik

   W = Berat seismik efektif

2. Perhitungan koefisien respon seismik

   Nilai CS harus dihitung berdasarkan persamaan berikut ini :

   $$C_s = \frac{S_{DS}}{(\frac{R}{I_e})} \quad (3.11)$$

   Keterangan :

   S_{DS} = Parameter percepatan respon spektral desain dalam rentang periode pendek

   R = Koefisien modifikasi respon

   Ie = Faktor keutamaan gempa

   Nilai C_s yang dihitung tidak perlu melebihi berikut ini;

   a. Untuk $T \leq T_L$

      $$C_s = \frac{S_{D1}}{T(\frac{R}{I_e})} \quad (3.12)$$

   b. Untuk T > TL

      $$C_s = \frac{S_{D1}\, T_L}{T^2(\frac{R}{I_e})} \quad (3.13)$$

   c. C_s harus tidak kurang dari

      $$C_s = 0{,}044 S_D I_e \geq 0{,}01 \quad (3.14)$$

      Sebagai tambahan, apabila lokasi pada struktur tersebut memiliki nilai S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka nilai cs dihitung menggunakan :

$$C_s = \frac{0{,}5S_1}{(\frac{R}{I_e})} \quad (3.15)$$

Keterangan :

S_{D1} = Parameter percepatan respon spektral desain dalam rentang periode 1,0 detik

T = Periode fundamental struktur (detik)

S_1 = Parameter percepatan respon spektral maksimum yang dipetakan

3. Periode fundamental struktur

Nilai periode fundamental pendekat (*T*) , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode T_a, (T_a). Selain itu diizinkan menggunakan nilai periode fundamental struktur pendekatan, (T_a) seperti pada tabel 3.7 di bawah ini.

Tabel 3. 7 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_x dan x

Parameter percepatan respon spketral desain Pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

(Sumber: SNI 1726 – 2019)

Periode Fundamental pendekatan (T_a) dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut ini.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.16)$$

Keterangan :

h_x = ketinggian strukur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

C_t = Koefisien faktor pengali periode pendekatan

Ta = Periode Fundamental pendekat

dan koefisien C_t dan x ditentukan dari tabel 3.8 berikut ini.

Tabel 3. 8 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik :		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0446	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

(Sumber: SNI 1726 – 2019)

Jika dilakukan perhitungan secara manual nilai T ditentukan sesuai syarat di bawah ini :

- Jika nilai Tc > Cu.Ta, maka digunakan T = Cu.Ta
- Jika nilai Ta < Tc<Cu.Ta, maka digunakan T = Tc
- Jika nilai Tc < Ta, maka digunakan T = Ta

4. Distribusi Vertikal gaya seismik

Gaya seismik lateral,F_x (kN) pada tiap lantai dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$F_x = C_{vx} V \quad (3.17)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} W_i h_i^k} \quad (3.18)$$

Keterangan :

C_{vx} = Faktor distribusi Vertikal

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

w_i dan w_x = Bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x (m)

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

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

untuk struktur dengan T ≤ 0,5 detik, k = 1

untuk struktur dengan T ≥ 2,5 detik, k = 2

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

3.3.2. Respon Spektrum

Respon Spektrum adalah suatu spektrum yang ditampilkan dari grafik hubungan antara periode getar struktur (T) dengan respon – respon maksimumnya untuk suatu redaman dari adanya beban gempa tertentu Widodo (2012). Analisis spektrum didasarkan pada klasifikasi situs /tanah tiap lokasi yang akan didirikan suatu bangunan. Dalam membuat Respon Spektrum terdapat ketentuan sebagai berikut.

1. Koefisien – koefisen situs dan parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko – tertarget (MCE_R)

   Untuk menentukan respon spektral percepatan diperlukan faktor amplifikasi pada periode pendek dan periode panjang. Faktor percepatan pada periode 0,2 detik (pendek) dan periode panjang (1 detik) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut$_r$.

   $$S_{MS} = F_a\, Ss \quad (3.18)$$

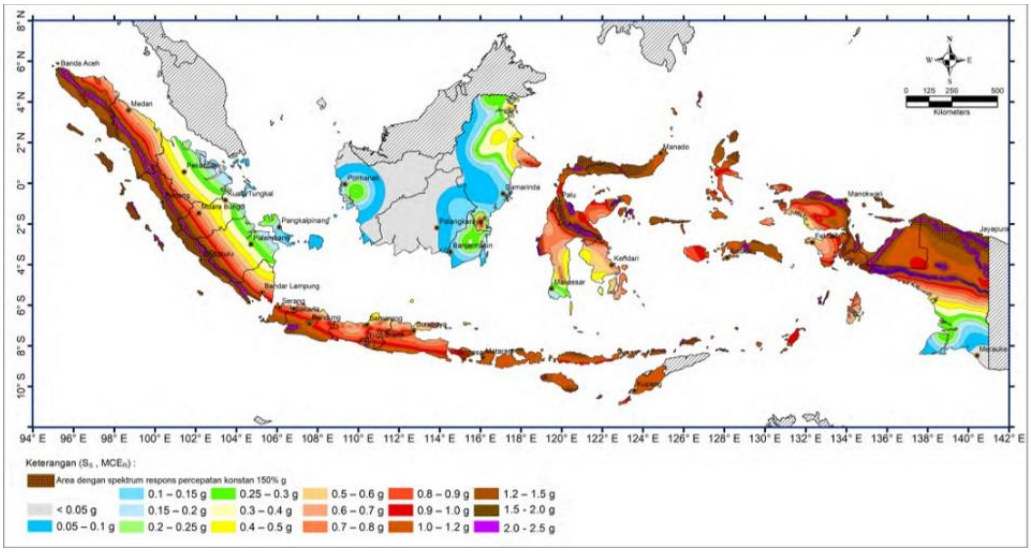
   $$S_{M1} = F_v\, S_1 \quad (3.19)$$

   Keterangan :

   S_s = parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek

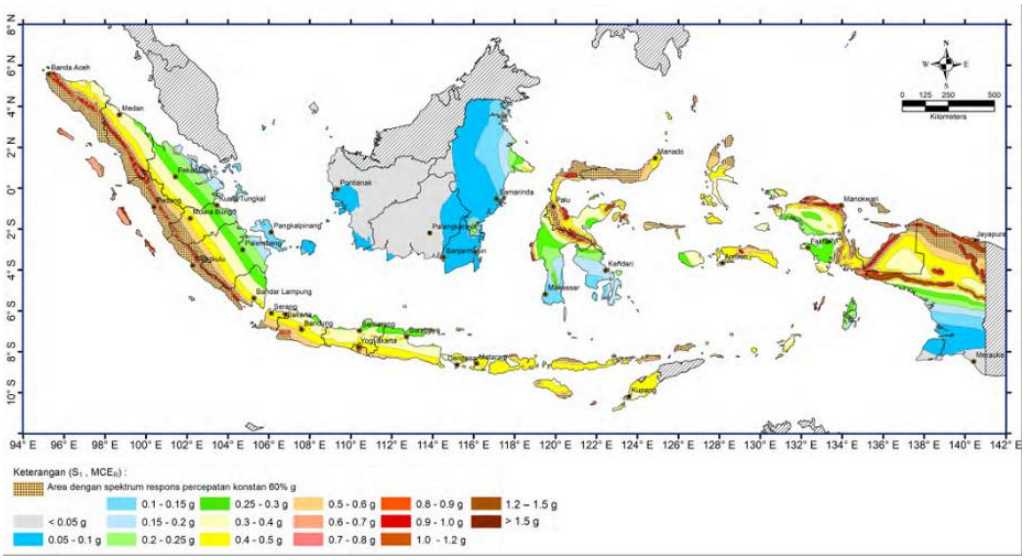
   S_1 = parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik.

   Untuk menentukan nilai percepatan gempa periode pendek (S_s) dan percepatan periode panjang (S_1) dilihat berdasarkan gambar 3.1 berikut ini.



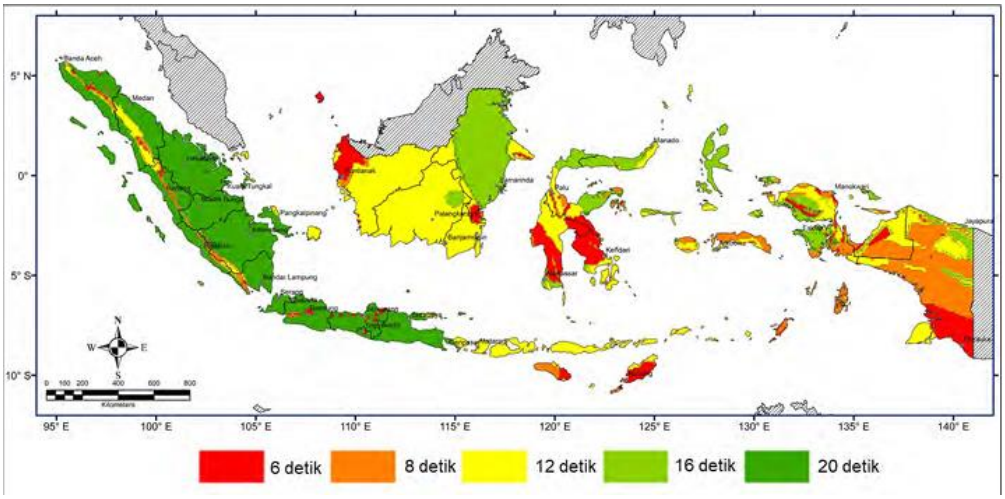
Gambar 3. 1 Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respon 0,2 detik (redaman kritis 5%)

(Sumber: SNI 1726 – 2019)



Gambar 3. 2 S_1, Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respon 0,2 detik (redaman kritis 5%)

(Sumber: SNI 1726 – 2019)



Gambar 3. 3 Peta Transisi Periode Panjang, T_L, Wilayah Indonesia
(Sumber: SNI 1726 – 2019)

Dengan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti tabel 3.9 dan 3.10 berikut ini.

Tabel 3. 9 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S_s					
	Ss ≤ 0,25	Ss = 0,5	Ss = 0,75	Ss = 1,0	Ss = 1,25	Ss ≥ 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					

(Sumber: SNI 1726 – 2019)

Tabel 3. 10 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T = 1 detik, S_1					
	S_1 ≤0,25	S_1 = 0,5	S_1=0,75	S_1= 1,0	S_1 = 1,25	S_1 ≥ 1,5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4

Lanjutan Tabel 3.10 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, T = 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0{,}25$	$S_1 = 0{,}5$	$S_1 = 0{,}75$	$S_1 = 1{,}0$	$S_1 = 1{,}25$	$S_1 \geq 1{,}5$
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					

(Sumber: SNI 1726 – 2019)

2. Parameter percepatan spektral desain

   Untuk menentukan nilai parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan periode panjang 1 detik, dapat menggunakan persamaan berikut ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.20)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.21)$$

3. Spektrum respon desain

   Dalam menentukan spektrum respon desain harus menggunakan ketentuan yang ada, adapun ketentuan yang dimaksud adalah sebagai berikut.

   a. Untuk Periode yang lebih kecil dari pada T_0, nilai spektrum respon percepatan desain, S_a dihitung menggunakan persamaan berikut ;

$$S_a = S_{DS}\left(0{,}4 + 0{,}6\frac{T}{T0}\right) \quad (3.22)$$

   b. Untuk periode lebih besar atau bernilai sama dengan T_0 dan nilai tersebut sama dengan T_s, spektrum respon percepatan desain, S_a sama dengan S_{Ds1};

   c. Untuk periode lebih besar dari T_s, tetapi nilainya lebih kecil dari atau sama dengan nilai T_1, respon spektral percepatan desain, S_a, menggunakan persamaan di bawah ini;

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.23)$$

   d. Untuk nilai periode lebih besar dari T_L, respon spektral percepatan desain, S_a menggunakan persamaan berikut ini;

$$S_a = \frac{S_{DS} T_L}{T^2} \quad (3.24)$$

Keterangan :

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

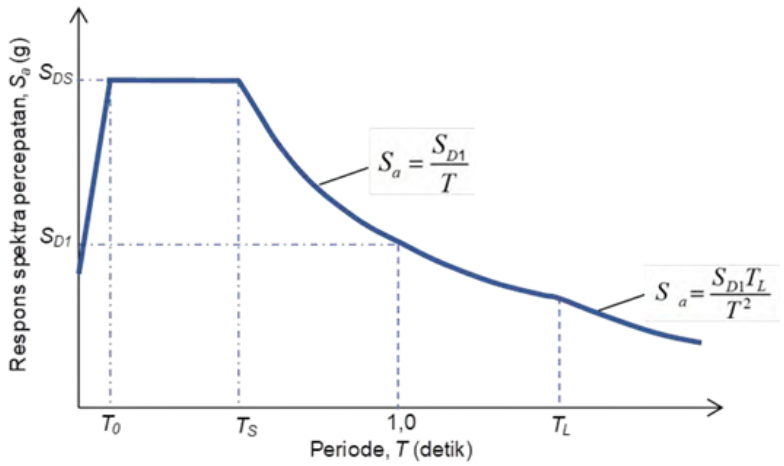
S_1 = parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

T = periode getar fundamental struktur.

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 yang nilainya diambil dari Gambar 20

$$T_0 = 0{,}2\frac{S_{D1}}{S_{Ds}} \quad (3.25)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} \quad (3.26)$$



Gambar 3. 4 Spektrum Respon Desain
(Sumber: SNI 1726 – 2019)

4. Kategori desain seismik

Penetapan nilai kategori desain seismik didapatkan dari nilai parameter respon spektral perceptan desain periode pendek (S_{DS}) dan periode panjang (S_{D1}). Nilai kategori risiko berdasarkan percepatan desain seismik pada periode pendek dan panjang dapat dilihat pada tabel 3.11 dan 3.12 berikut ini.

Tabel 3. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau II	IV
$S_{DS} < 0{,}167$	A	A
$0{,}167 \leq S_{DS} \leq 0{,}33$	B	C
$0{,}33 \leq S_{DS} \leq 0{,}5$	C	D
$0{,}5 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726 – 2019)

Tabel 3. 12 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau II	IV
$S_{D1} < 0{,}067$	A	A
$0{,}067 \leq S_{D1} \leq 0{,}133$	B	C
$0{,}133 \leq S_{D1} \leq 0{,}2$	C	D
$0{,}2 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726 – 2019)

5. Sistem Struktur

Sistem struktur merupakan penumpu utama dalam menahan gaya seismik yang terjadi. Oleh karena itu setiap sistem memiliki nilai *R, $C_{d,}$ dan Ω_0* yang berbeda beda, nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 3.13 berikut ini.

Tabel 3. 13 Faktor *R, $C_{d,}$ dan Ω_0* Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul Gaya Seismik	*R*	Ω_0	C_d	Batasan Sistem struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m)[d]				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
C. Sistem rangka pemikul momen								
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI

(Sumber: SNI 1726 – 2019)

Keterangan :

R = Koefisien modifikasi respon

C_d = Faktor pembesaran defleksi

Ω_0 = Faktor kuat lebih sistem

6. Berat Seismik Efektif (W)

Berat seismik efektif (W) menunjukkan seluruh beban mati dan beban yang terdapat pada struktur tersebut.

1. Prosedur Analisis

Dalam menentukan prosedur analisis struktur ketentuan yang harus diperhatikan seperti pada tabel 3.14 berikut ini.

Tabel 3. 14 Prosedur Analisis yang Diizinkan

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

(Sumber: SNI 1726 – 2019)

7. Analisis Jumlah Ragam

   Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (single rigid body) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik. Namun terdapat pengecualian Sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 % dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

8. Parameter Respon Ragam

   Nilai untuk masing-masing parameter desain terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing ragam respons harus dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan spektrum respons dibagi dengan kuantitas (R/Ie). Nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar tingkat harus dikalikan dengan kuantitas (Cd/Ie).

9. Parameter Respons Terkombinasi

   Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS) atau metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC), sesuai dengan SNI 1726. Metode CQC harus digunakan untuk masing-masing nilai ragam di mana ragam yang berdekatan mempunyai korelasi silang yang signifikan di antara respons translasi dan torsi.

10. Penskalaan gaya

    Apabila periode fundamental hasil analisis lebih besar dari CuTa pada suatu arah tertentu, maka periode struktur T harus diambil sebesar CuTa. Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (Vt) kurang dari 100 % dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/Vt, dimana. V adalah gaya geser dasar

statik ekivalen dan Vt adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam.

3.3.3. *Time History* (Riwayat Waktu)

Menurut Syafara dkk. (2023), analisis riwayat waktu merupakan analisis struktur yang merepresentasikan riwayat waktu dari respon dinamik struktur bangunan yang memiliki desain beraturan maupun tidak beraturan. Analisis riwayat waktu menggunakan input gempa berupa rekaman akselerogram sebagai data percepatan gerakan tanah akibat gempa. Dalam memberikan responnya anlisis riwayat waktu menggunakan model matematis linier pada struktur berupa integrasi numerik antara rangkaian riwayat percepatan yang telah dicocokkan secara spektral. Pencocokan tersebut harus kompatibel dengan respon spektra pada lokasi yang ditinjau. Dalam melakukan analisis riwayat waktu digunakan persyaratan seperti di bawah ini.

1. Target respons spketra

   Berdasarkan SNI 1726-2019, target respon spektra MCE_R dengan redaman 5%, harus dikembangkan dengan menggunakan prosedur pada metode 1 atau metode 2. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur.(SNI 8899 2020)

2. Pemilihan gerakan tanah

   Riwayat percepatan tanah yang digunakan untuk analisis terdiri tidak kurang dari tiga pasang komponen ortogonal yang telah dicocokkan secara spektral (*spectrally matched*) yang diturunkan dari rekaman gerak tanah atau gerak tanah tiruan. Gerakan tanah dasar harus memuat komponen gerakan tanah. Komponen gerakan tanah tersebut seperti gerakan arah horizontal yang saling tegak lurus. Apabila gerakan tanah vertikal diperhitungkan maka diperlukan komponen gerak tanah vertikal. Pemilihan gerakan tanah dasar harus berdasarkan kejadian dalam aktivitas tektonik umum yang mana memiliki nilai magnitudo dan jarak sesar/patahan yang konsisten. Dengan kondisi yang konsisten akan membentuk target respon spektral yang serupa dengan target spektra. Apabila lokasi termasuk *near - fault* atau guncangan MCER bersifat *directionally* dan *impulsif*,

maka proporsi antara gerakan tanah dasar dengan efek *near- fault* dan *rupture directivity* harus dapat menunjukkan probabilitas besaran seperti guncangan MCER. Jika jumlah gerakan tanah yang terekam tidak terpenuhi, maka diijinkan melengkapi gerakan tanah tersebut dengan simulasi gerakan tanah. Hal yang harus diperhatikan adalah nilai simulasi harus konsisten terhadap nilai magnitudo, karakteristik sumber, jarak kegagalan, dan kondisi lokasi yang mengendalikan target spektra. (SNI 8899 2020)

3. Prosedur pencocokan secara spektral

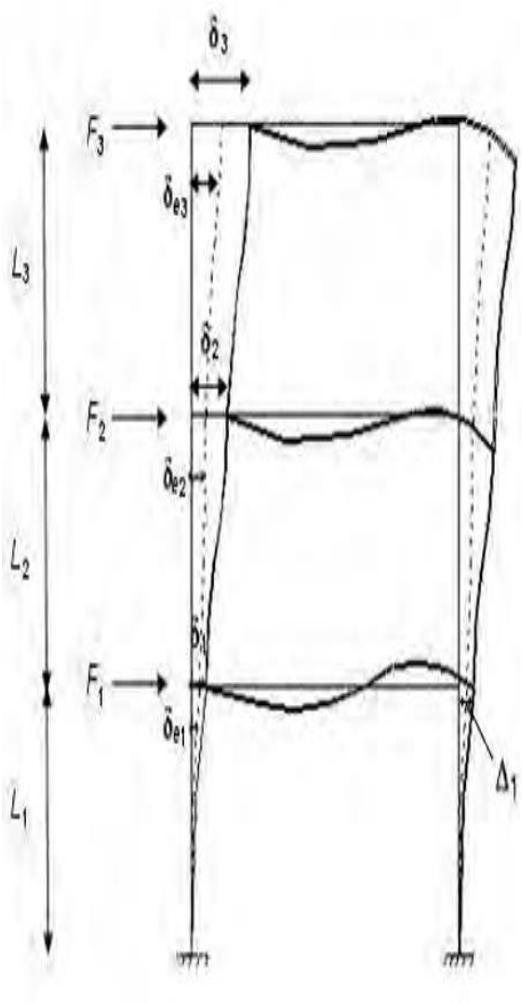
   Setiap komponen dari gerak tanah harus dicocokkan secara spektral dalam rentang 0,8 T_{lower} sampai dengan 1,2 T_{upper}. Dalam rentang periode ini dan di tiap arah, nilai rata-rata dari percepatan semu (*pseudo acceleration*) dengan redaman 5 % yang dihitung dengan rekaman yang sudah dicocokan secara spektral tidak boleh kurang atau lebih dari 10 % spektrum target. (SNI 1726 2019)

   T_{lower} = periode getar pada saat 90 % partisipasi massa aktual telah terpenuhi pada masing-masing respon dua arah ortogonal

   T_{upper} = nilai yang lebih besar di antara dua nilai periode getar fundamental ortogonal

3.4 Simpangan Antar Tingkat

Nilai simpangan antar tingkat desain (Δ) dapat ditentukan dari hasil perhitungan nilai pada selisih perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Jika pusat massa pada tingkat tidak dalam posisi segaris vertikal diperbolehkan dihitung dengan nilai simpangan pada dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Apabila menggunakan tegangan ijin maka nilai (Δ) dihitung menggunakan gaya seismik desain tanpa reduksi.



Gambar 3. 5 Penentuan Simpangan Antar Tingkat
(Sumber: SNI 1726 – 2019)

Tingkat 3
F_3 = gaya gempa desain tingkat kekuatan
$\delta e3$ = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat
$\delta 3$ = kekuatan
$C_d\delta e3/I_E$ = perpindahan
Δ_3 = yang diperbesar
$(\delta e3-\delta e2)C_d / I_E \leq \Delta a$

Tingkat 2
F_2 = gaya gempa desain tingkat kekuatan
$\delta e2$ = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat
$\delta 2$ = kekuatan
$C_d\delta e2/I_E$ = perpindahan
Δ_2 = yang diperbesar
$(\delta e2-\delta e1)C_d / I_E \leq \Delta a$

Tingkat 1
F_1 = gaya gempa desain tingkat kekuatan
$\delta e1$ = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat
$\delta 1$ = kekuatan
Δ_1 = perpindahan yang diperbesar
Δ_1 = $\delta 1 \leq \Delta a$
Δ_1/L_1 = Simpangan antar tingkat
$\delta 3$ = Rasio simpangan antar tingkat
Perpindahan total

Simpangan pusat massa di tingkat -x (δx) (mm) harus dihitung menggunakan persamaan 3.28.

$$\delta_{xe} = \frac{C_D\ \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.28)$$

Keterangan :

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral;

δ_{xe} = Simpangan di tingkat -x yang diisyaratkan pada pasal ini, ditentukan dengan analisis elastik;

I_e = Faktor keutamaan gempa.

Simpangan antar tingkat desain (Δ) seperti ditentukan dalam SNI 1726 2019, tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δa) seperti didapatkan dari Tabel 3.15 untuk semua tingkat.

Tabel 3. 15 Simpangan Antar Tingkat Izin (Δa)

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.	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,020h_{sx}$

(Sumber : SNI 1726-2019)

Dimana hsx adalah tinggi tingkat di bawah tingkat-x.

3.5 Ketidakberaturan

Struktur harus diteliti terhadap keberaturan atau ketidakberaturan struktur ditinjau pada konfigurasi horizontal dan vertikal struktur tersebut. Berdasarkan SNI 1726-2019 ketidakberaturan struktur dibagi menjadi dua yakni ketidakberaturan vertikal dan horizontal. Apabila struktur terdapat ketidakberaturan maka kategori desain seismik harus diatur berdasarkan syarat – syarat yang ditentukan sebagai berikut.

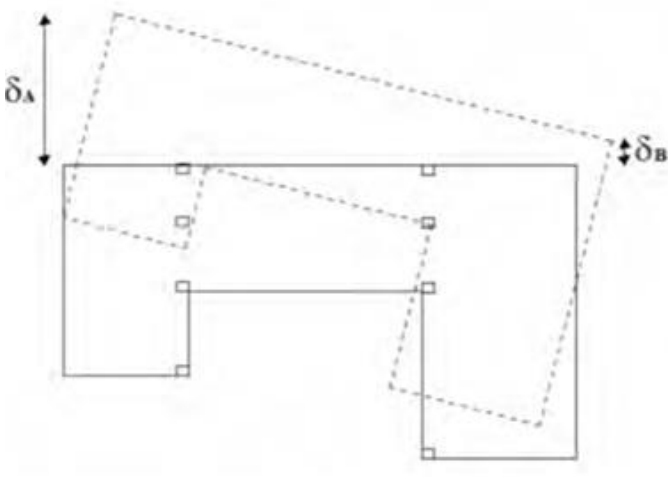
3.5.1. Ketidakberaturan Horizontal

SNI 1726 – 2019 menjabarkan ketidakberaturan horizontal menjadi 5 jenis ketidakberaturan. Dalam SNI 1726-2019 struktur dengan ketidakberaturan harus disesuaikan penerapan kategori desain seimiknya. Untuk ketentuan pada ketidakberaturan horizontal diatur pada tabel 3.16 di bawah ini.

Tabel 3. 16 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur

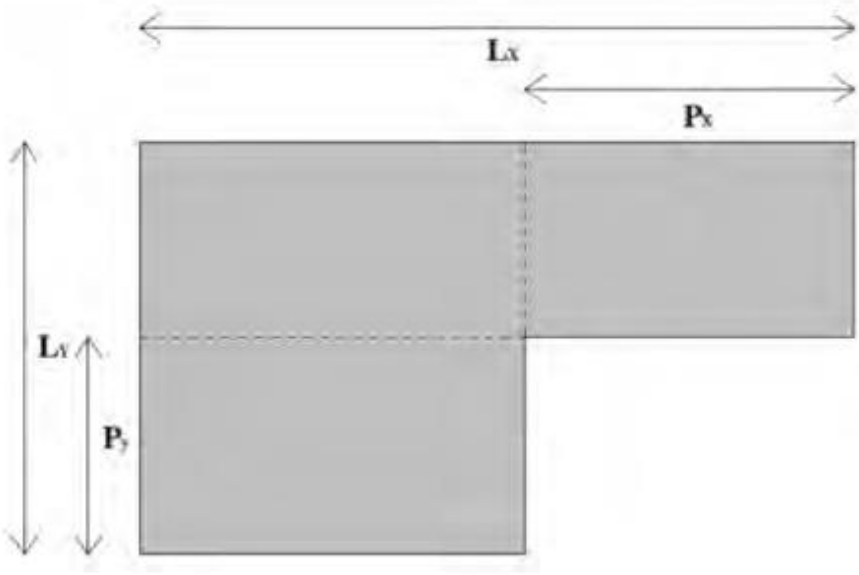
Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan		Referensi	Penerapan Kategori desain seismik
1a.	**Ketidakberaturan torsi** didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan Ax = 1,0, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	Tabel 3.14	D, E, dan F B, C, D, E dan F C, D, E dan F C, D, E dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	**Ketidakberaturan torsi berlebihan** didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan Ax = 1,0, disalah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata – rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku **atau setengah kaku.**	Tabel 3.14	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	**Ketidakberaturan sudut dalam** didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau. diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	Tabel 3.14	D, E, dan F D, E, dan F
3.	**Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma** didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan	Tabel 3.14	D, E, dan F D, E, dan F
4.	**Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang** didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidakNya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	Tabel 3.14	B, C, D,E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	**Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan** ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	Tabel 3.14	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D E, dan F B, C, D, E, dan F

(Sumber: SNI 1726 – 2019)



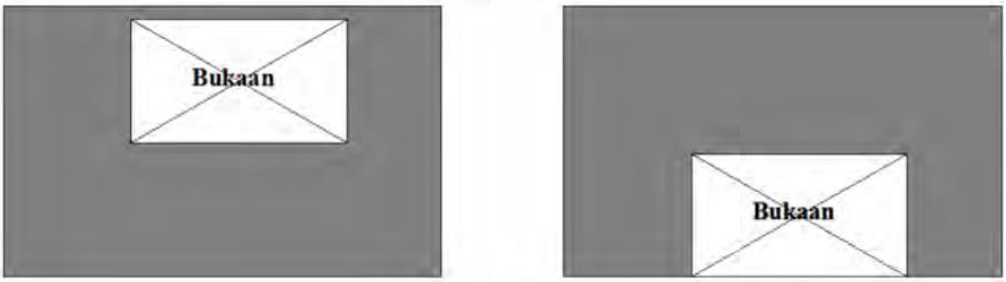
Gambar 3. 6 Ketidakberaturan 1a dan 1b

(Sumber: SNI 1726 – 2019)



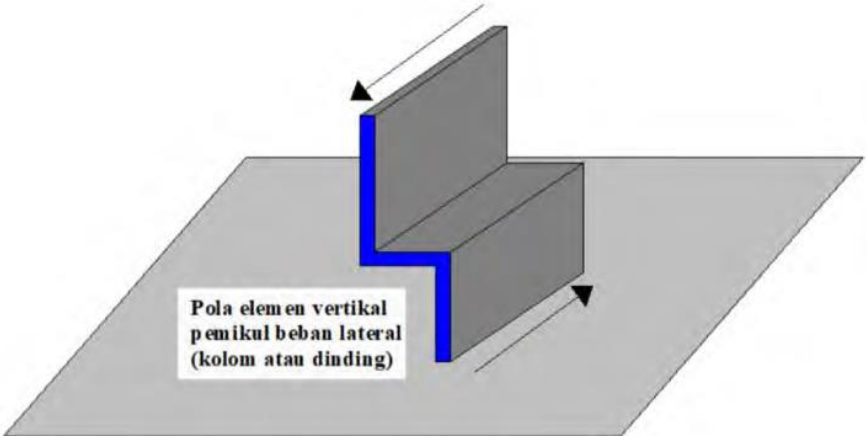
Gambar 3. 7 Ketidakberaturan 2

(Sumber: SNI 1726 – 2019)



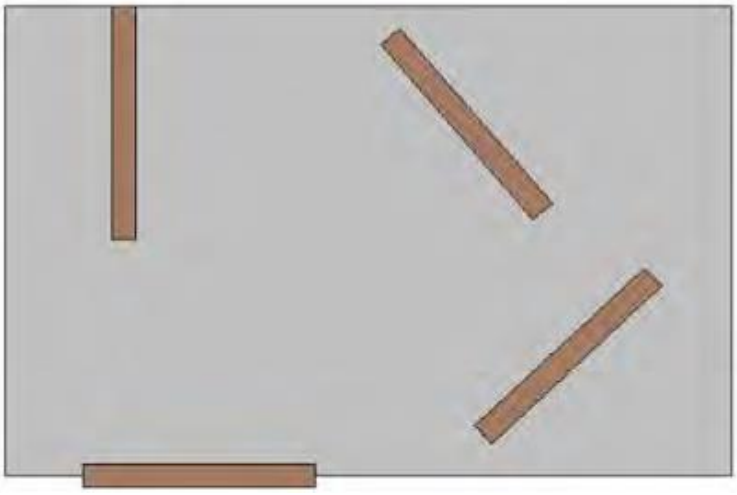
Gambar 3. 8 Ketidakberaturan 3

(Sumber: SNI 1726 – 2019)



Gambar 3. 9 Ketidakberaturan 4

(Sumber: SNI 1726 – 2019)



Gambar 3. 10 Ketidakberaturan 4

(Sumber: SNI 1726 – 2019)

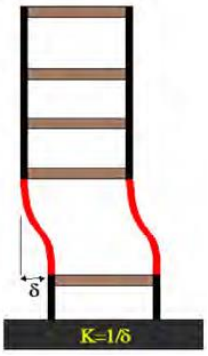
3.5.2. Ketidakberaturan Vertikal

Untuk ketentuan pada ketidakberaturan horizontal diatur pada tabel 3.17 di bawah ini.

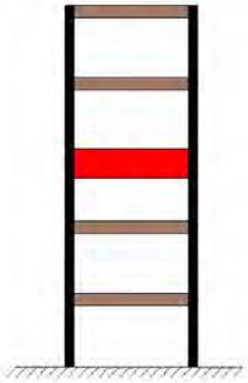
Tabel 3. 17 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur

Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan		Referensi	Penerapan Kategori desain seismik
1a.	**Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak** didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 3.14	D, E, dan F
1b.	**Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan** didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 3.14	E dan F D, E, dan F
2	**Ketidakberaturan Berat (Massa)** didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 3.14	D, E, dan F
3.	**Ketidakberaturan Geometri Vertikal** didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 3.14	D, E, dan F
4.	**Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral** didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	Tabel 3.14	B, C, D, E dan D, E, dan F D, E, dan F
5a.	**Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat** didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau**.**	Tabel 3.14	E dan F D, E. dan F
5b.	ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	Tabel 3.14	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

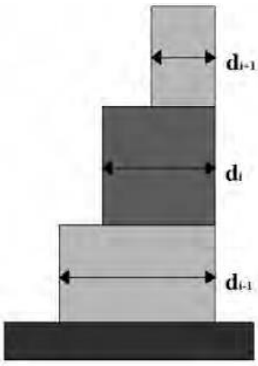
(Sumber: SNI 1726 – 2019)



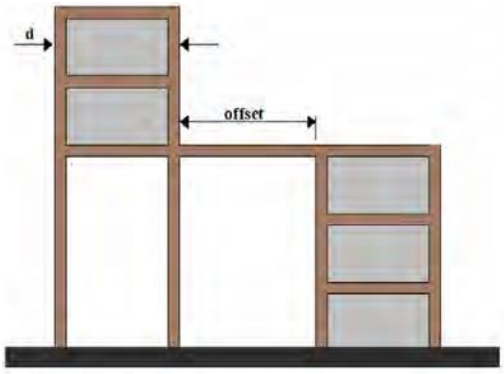
Gambar 3. 11 Ketidakberaturan 1a dan 1b
(Sumber: SNI 1726 – 2019)



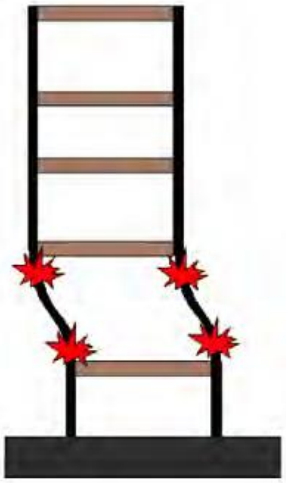
Gambar 3. 12 Ketidakberaturan 2
(Sumber: SNI 1726 – 2019)



Gambar 3. 13 Ketidakberaturan 3
(Sumber: SNI 1726 – 2019



Gambar 3. 14 Ketidakberaturan 4
(Sumber: SNI 1726 – 2019)



Gambar 3. 15 Ketidakberaturan 5a dan 5b
(Sumber: SNI 1726 – 2019)

3.6 Gaya Dalam

3.6.1. Gaya Aksial

Gaya aksial adalah beban yang mempunyai arah sama dengan sumbu elemen, sehingga mengakibatkan terjadinya tarik atau tekan pada batang, (Gere, J.M., Timoshenko 1997)

3.6.2. Gaya Lintang

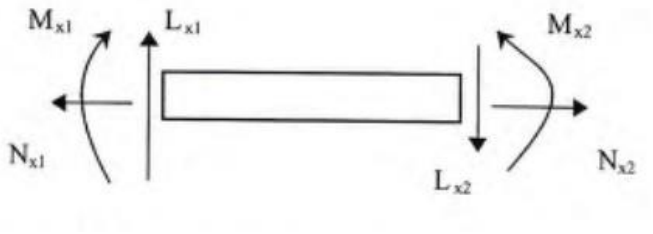
Gaya Lintang atau Gaya Geser adalah gaya dalam yang melintangi benda atau disebut juga gaya yang menggeser benda pada potongan(Nasution 2014). Dalam vektor gaya dalam, gaya geser ditampilkan seperti pada gambar 3.16.

3.6.3. Gaya Normal

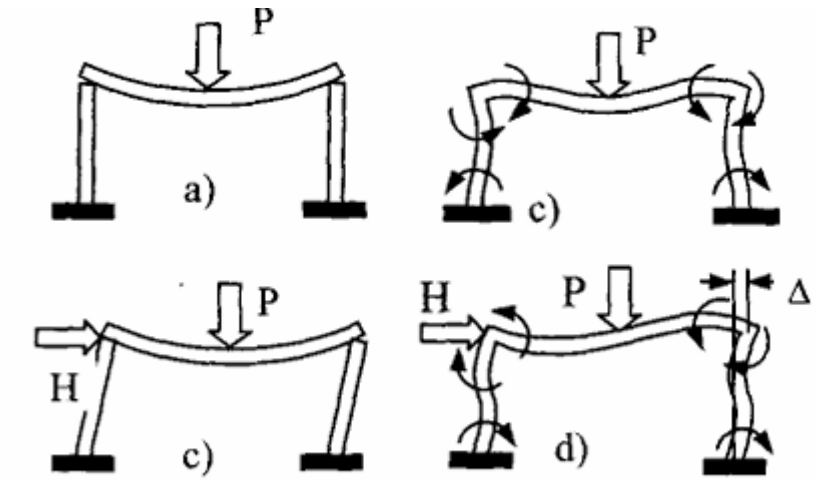
Gaya normal adalah gaya dalam yang searah sumbu aksial benda, atau disebut juga gaya arah normal dari potongan benda tersebut. Dalam vektor gaya dalam, gaya normal ditampilkan seperti pada gambar 3.16.

3.6.4. Momen

Momen mengakibatkan batang bengkok atau melentur, sehingga disebut juga momen bengkok atau momen lentur, dan arah momen ini adalah sumbu putar sumbu Z (sumbu tegak lurus kertas) (Nasution 2014) Dalam vektor dalam, gaya normal ditampilkan seperti pada gambar 3.16.



Gambar 3. 16 Gaya Dalam Pada Penampang Batang
(Sumber :Statika Struktur 3)



Gambar 3. 17 Perilaku Struktur Portal Akibat Beban Vertikal dan Horizontal
(sumber : Seismologi Teknik Rekayasa Kegempaan)

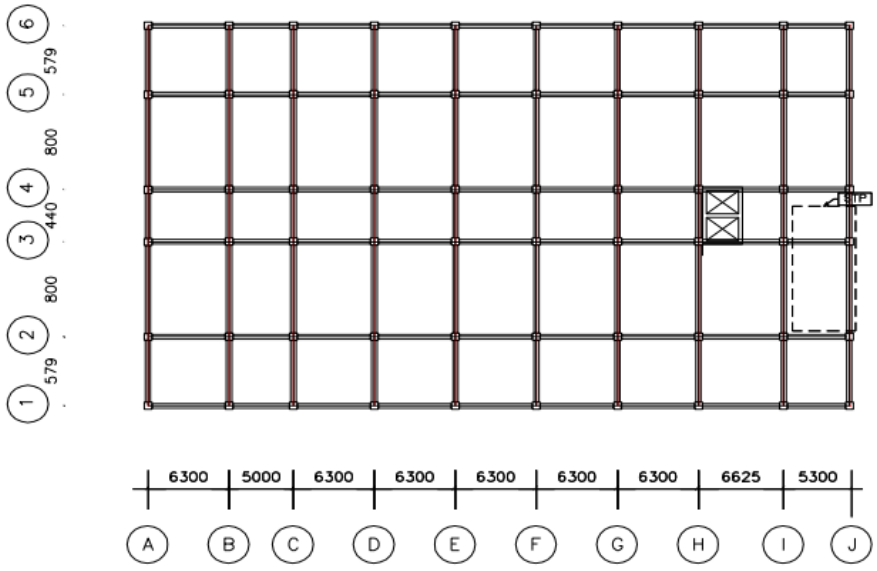
BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

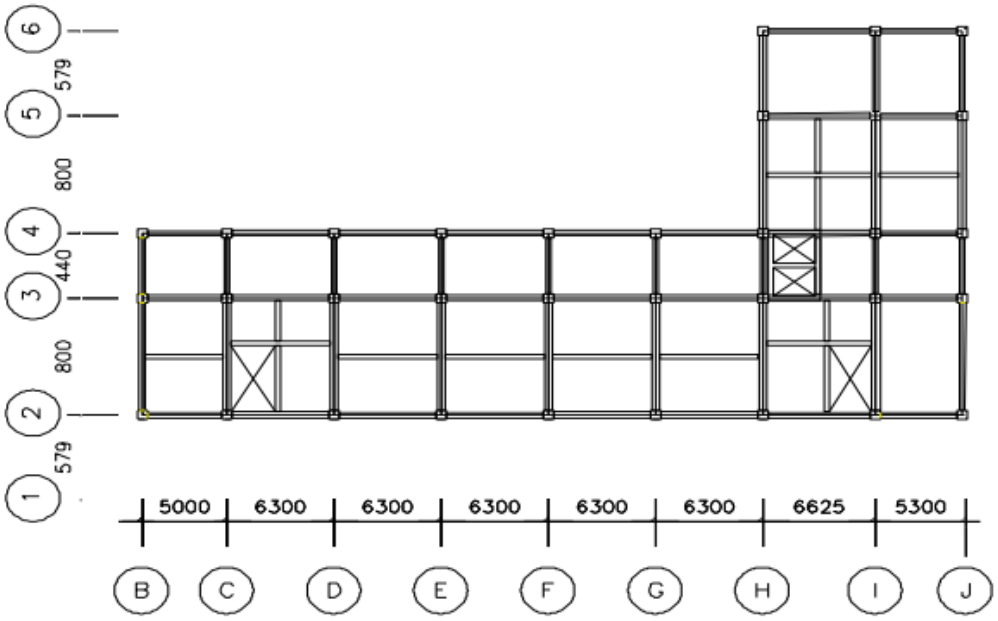
Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan metode komparatif. Metode komparatif adalah metode yang digunakan dalam penelitian yang diarahkan untuk mengetahui apakah antara dua variabel ada perbedaan dalam suatu aspek yang diteliti (Syahrizal dan Jailani 2023). Analisis struktur yang digunakan adalah metode analisis Statik Ekivalen, respon spektrum, dan *Time History*. Prosedur analisis mengikuti sesuai dengan SNI 1726 - 2019 beban gempa. Dalam menunjang analisis, pemodelan dan pembebanan menggunakan bantuan software *ETABS*.

4.2 Data Bangunan

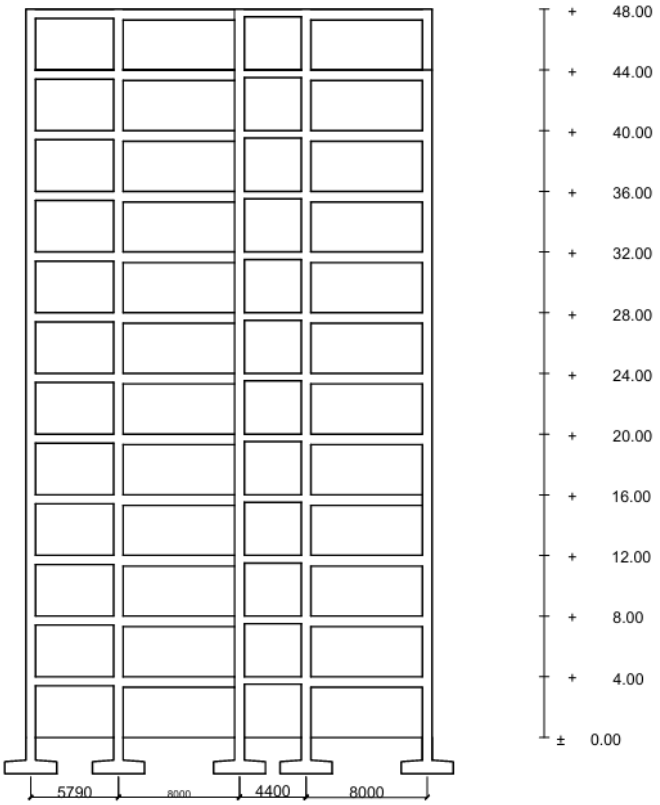
Penelitian ini menggunakan model gedung Apartemen yang berlokasi di Yogyakarta. Gedung ini memiliki desain dengan konfigurasi yang tidak beraturan. Pemodelan 3D dilakukan pada denah lantai 1 – 12 dan sistem pemikul gaya seismik dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Untuk denah struktur dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2 berikut ini.



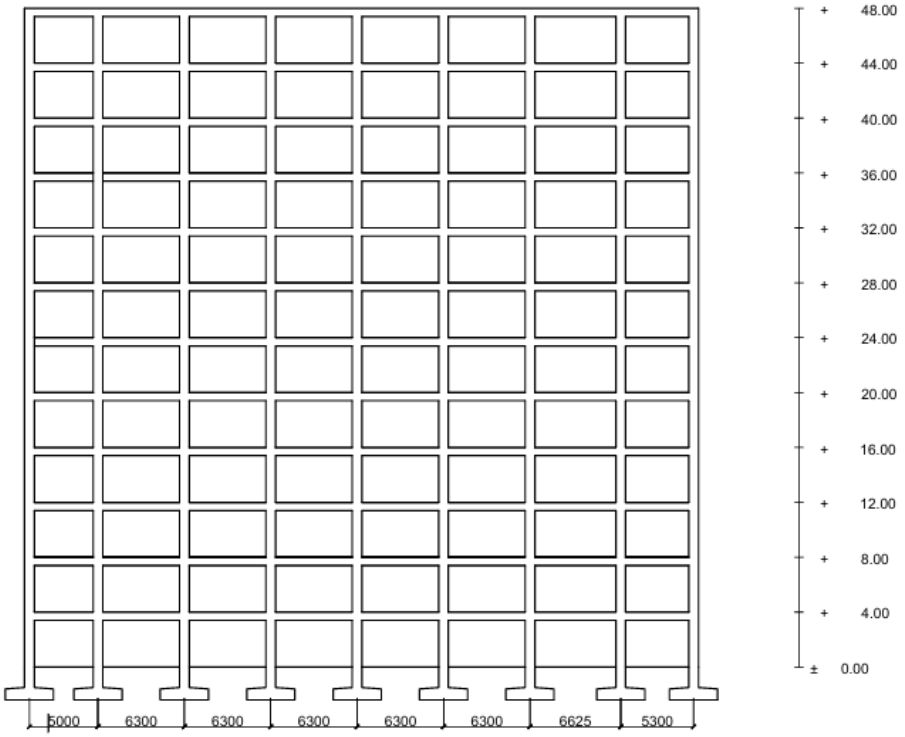
Gambar 4. 1 Denah Lantai *Basement* dan Dasar Gedung
sumber : Bayinah dan Faimun (2017)



Gambar 4. 2 Denah Lantai 1-12
sumber : Bayinah dan Faimun (2017)



Gambar 4. 3 Potongan Melintang Model Tingkat 1 – 12



Gambar 4. 4 Potongan Memanjang Model Tingkat 1 – 12

Selain data di atas, data – data yang digunakan pada penelitian kali ini antara lain :

1. Fungsi Gedung : Apartemen
2. Lokasi : Yogyakarta
3. Jenis Struktur : Beton bertulang
4. Sistem struktur : SRPMK
5. Tinggi tingkat : 4 m
6. Jenis Tanah : Sedang
7. Mutu beton (f'c) : 40 MPa
8. Mutu baja (Fy) : 420 MPa dan 280 MPa
9. Dimensi struktur :
    a. Pelat lantai : 120 mm
    b. Pelat atap : 120 mm
    c. Balok

Preliminary balok dan kolom disesuaikan dengan penelitian sebelumnya. Data balok dan kolom dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 1 Tipe – Tipe Balok Lintang Dan Memanjang

Jenis balok	Dimensi (mm)	
	B	H
BIL 1	500	700
BIL 2	300	400
BIL 3	400	600
BAL 1	300	400

Tabel 4. 2 Tipe – Tipe Balok Memanjang

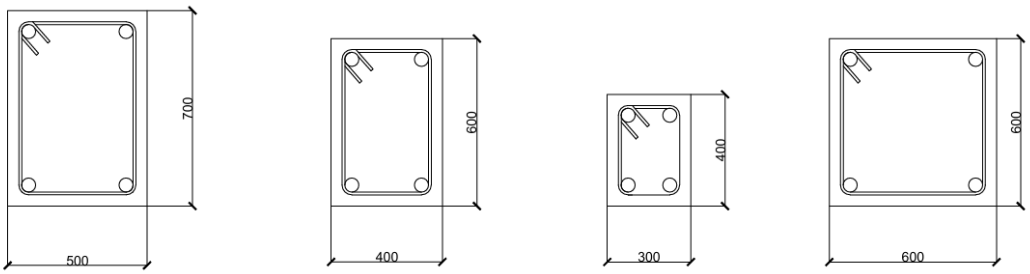
Jenis balok	Dimensi (mm)	
	B	H
BIM 1	400	600
BIM 2	400	600
BIM 3	400	600
BIM 4	400	600
BAM 1	300	400
BAM 2	300	400
BAM 3	300	400
BAM 4	300	400
BAM 5	300	400
BAL 1	300	400

d. Kolom

Berikut jenis dan dimensi balok yang digunakan pada sturktur ini.

Tabel 4. 3 Tipe – Tipe Kolom

Jenis Kolom	Dimensi (mm)	
	B	H
K1	600	600
K2	600	600
K3	600	600
K4	600	600



Gambar 4. 5 Pemodelan Balok Dan Kolom

4.3 Perbandingan Penyesuaian Dengan Penelitian Sebelumnya

Dalam pemodelan struktur dari penelitian terdahulu penyesuaian yang dilakukan peneliti adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 4 Penyesuaian Data Pemodelan Struktur

Penyesuaian	Bayinah, Faimun (2017)	Peneliti
Model struktur	Struktur *basement* dan lantai 1 - 12	Lantai 1 – 12 tanpa basement
Sistem pemikul gaya seismik	Sistem ganda	SRPMK
Elemen Struktur	Balok, Kolom, Pelat, dan *Shear Wall*	Balok, Kolom, Pelat
Peneraapan lantai 1	Lantai 1 di atas basement	Dimodelkan sebagai lantai dasar
Mutu Bahan	Fy 400 MPa	Fy 420 MPa
Struktur lain	Dengan tangga	Tanpa tangga

4.4 Tahapan Penelitian

Berikut ini adalah tahapan – tahapan dalam penelitian tugas akhir ini.

1. Studi literatur

   Dalam tahapan ini peneliti mengumpulkan data – data baik itu sumber penelitian maupun sumber pendukung. Data penelitian ini bersumber dari penelitian Bayyinah dan Faimun (2017) tentang Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan *Time History* untuk Desain Gedung. Sedangkan data pendukung berupa jurnal – jurnal dan peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI).

Adapun jurnal dan peraturan SNI yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut :

a. Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra Dan *Time History* Untuk Desain Gedung tahun 2017,
b. Analisis Struktur Tahan Gempa Hotel Santika Tasikmalaya Dengan Metode Analisis Statik Dan Dinamik *Time History* tahun 2020,
c. Perbandingan Pembebanan Gempa Bangunan Bertingkat Menggunakan Analisis Static Equivalent dan Analisis Dynamic *Time History* di Kab. Garut,
d. Perbandingan Beban Gempa Rencana Hasil Analisis Menggunakan Metode Statik Ekivalen Dan Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726 -2012,
e. Analisis Respon Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal pada Gedung Perkuliahan di Yogyakarta dengan Menggunakan SNI 1726-2019,
f. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan, SNI 1726 – 2019 tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.
g. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan, SNI 2847 – 2019.
h. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983.
i. Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain SNI 1727 – 2020.
j. SNI 8899 – 2020 tentang Tata Cara Pemilihan dan Modifikasi Gerak Tanah Permukaan Untuk Perencanaan Gedung Tahan Gempa

2. Pengumpulan data

Data yang dihimpun berupa data untuk pemodelan struktur dan beban gempa. Untuk data balok dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2. Untuk data kolom dapat dilihat pada tabel 4.3. Data lokasi, tanah, dan peruntukan bangunan sudah dirincikan pada sub bab sebelumnya. Data gempa yang diambil adalah rekaman gempa *Time History* sebanyak 7 pasang (vertikal dan horizontal).

3. Analisis Pembebanan

   Beban yang bekerja pada struktur meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Untuk beban mati pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1 dan beban hidup dapat dilihat pada tabel 3.2.

4. Analisis Beban Gempa

   Penentuan beban gempa tertuang pada SNI 1726 – 2019. Berikut tahapan parameter beban gempa.

   a. Beban gempa Statik Ekivalen

      1) Berat seismik efektif (W)

         Berat struktur dihitung tiap – tiap tingkat. Berat struktur yang dihitung seperti berat pelat, balok, dan kolom. Untuk perhitungan berat balok menggunakan persamaan berikut.

         Berat pelat = (Luas plat x Qd) +(Luas plat x Ql) (4.1)

         Berat Balok = b x h x l x Bj beton (4.2)

         Berat kolom = b x h x t x Bj beton (4.3)

         Keterangan :

         b = Dimensi Lebar balok/kolom

         h = Dimensi tinggi balok/kolom

         l = Bentang memanjang balok

         t = Bentang vertikal kolom

         Qd = Beban mati

         Ql = Beban hidup

      2) Menghitung gaya dasar seismik dengan persamaan 3. 10.

      3) Menentukan koefisien respon seismik (Cs).

      4) Menentukan nilai T hitung (Ta) dengan persamaan 3. 16

      5) Menentukan nilai periode getar pendekat (Tc) sesuai tabel 3. 8

      6) Menentukan nilai periode getar fundamental struktur (T)

      7) Menghitung distribusi vertikal gaya seismik (Fx) dengan persamaan 3.17 .

   b. Beban gempa Respon Spektrum

1) Faktor keutamaan gempa dan kategori risiko struktur bangunan kategori risiko sesuai tabel 3.3 ,faktor keutamaan gempa (I_e) di tabel 3.4.
2) Kombinasi pembebanan dasar dan pengaruh beban seismik kombinasi pembebanan dasar menggunakan metode beban ultimit persamaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 3.1 sampai dengan 3.7 yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Pada pembuatan kombinasi pembebanan dimasukan faktor redundansi (ρ).
3) Klasifikasi Situs

   Untuk menentukan kelas situs digunakan data hasil pengeboran tanah. Kemudian berdasarkan nilai N spt didapatkan jenis kelas situs yang dapat dilihat pada tabel 3.6.
4) Penentuan nilai Ss dan S1

   Untuk menentukan nilai S_s dapat dilihat berdasarkan gambar 3.1 dan nilai S_1 dapat ditentukan dengan gambar 3.2.
5) Penentuan Nilai F_a dan F_v

   Nilai F_a didapatkan dari tabel 3.9 dan nilai F_v dapat dilihat pada tabel 3.10.
6) Penentuan nilai SMS menggunakan persamaan 3.18 dan SM1 menggunakan persamaan 3.19.
7) Perhitungan nilai SDS menggunakan persamaan 3.20 dan nilai SD1 dengan persamaan 3.21.
8) Penentuan Periode Getar Fundamental Struktur (T)
9) Penentuan nilai T0 dengan persamaan 3.25.
10) Penentuan nilai Ts dengan persamaan 3.26.
11) Penentuan nilai TL berdasarkan gambar 3.3.
12) Pembuatan desain respon spektra (Sa)
    a) Untuk Periode yang lebih kecil dari pada T_0 menggunakan persamaan 3.22
    b) Untuk periode lebih besar dari T_s menggunakan persamaan 3.23

c) Untuk nilai periode lebih besar dari T_L menggunakan persamaan 3.24

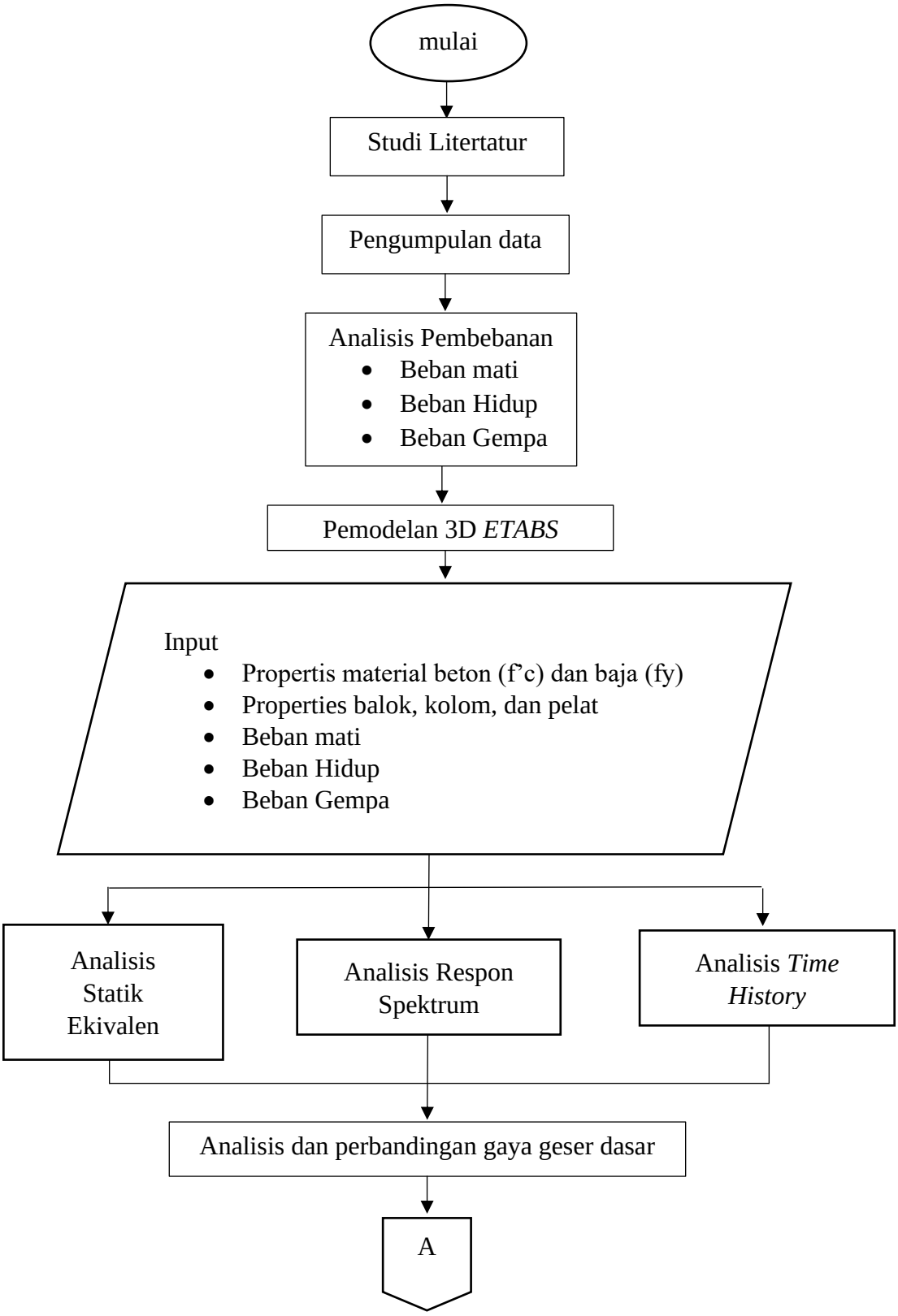
13) Penentuan Kategori desain seismik berdasarkan periode pendek dengan tabel 3.11 dan untuk periode panjang dengan tabel 3.12.
14) Penentuan sistem pemikul gaya seismik berdasarkan tabel 3.13.
15) Menentukan nilai R, Cd, Ω0 berdasarkan tabel 3.13.

c. Beban gempa *Time History*.

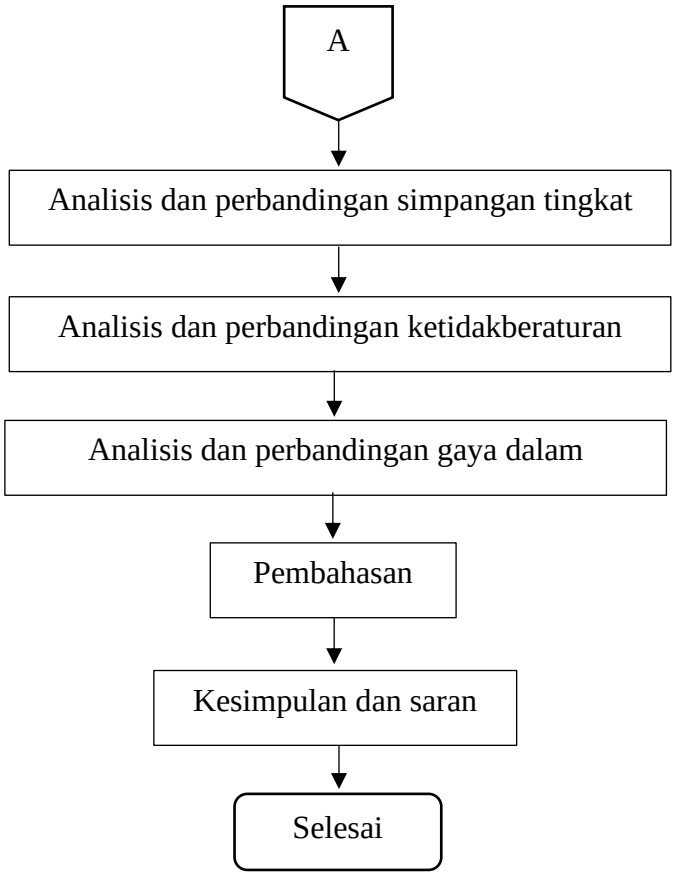
1) Pengambilan data gempa seperti Magnitude, Jarak, dan Sumber dari Buku Peta Deagregasi Indonesia
2) Pengambilan rekaman gerakan tanah pada website *Peer Ground Motion Database* Sebanyak 7 pasang rekaman
3) Penentuan data target Respon Spektrum
4) Penentuan parameter pencocokan spektral
5) Pembuatan Ground Motion Sintetik dengan bantuan program *Seismo Match.* Seismosoft (2009) pada (Saputra dan Makrup 2021)

5. Kemudian dilanjutkan dengan pemodelan struktur secara 3d menggunakan *software ETABS.*
6. Setelah dilakukan pemodelan input beban mati tambahan, beban hidup, dan beban gempa Statik Ekivalen, beban gempa Respon Spektrum, serta beban gempa *Time History* pada *software ETABS.*
7. Setelah input beban dilakukan analisis nilai gaya geser dasar (*base shear*) pada tiap – tiap beban gempa. Hasil analisis gaya geser dasar direkap dan dibandingkan.
8. Dilanjutkan analisis terhadap simpangan kemudian hasil analisis direkap dan dibandingkan pada ketiga beban gempa.
9. Dilakukan analisis ketidakberaturan yang terjadi tiap beban gempa kemudian hasil analisis direkap untuk dibandingkan.
10. Analisis yang terakhir dengan bantuan *software ETABS* mengambil gaya – gaya dalam terhadap elemen struktur tiap beban gempa dan hasil analisis direkap untuk dibandingkan.

11. Pada tahap pembahasan dijabarkan hasil – hasil tiap analisis pada ketiga model. Selanjutnya diberikan penjelasan terkait dari rumusan- rumusan masalah. Selain itu juga diambil kesimpulan yang terkait dengan rumusan masalah pada penelitian ini.



Gambar 4. 6 Bagan Alir Tugas Akhir



Lanjutan Gambar 4. 6 Bagan Alir Tugas Akhir

BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Beban Gravitasi

Untuk kebutuhan analisis struktur beban – beban yang bekerja harus ditentukan terlebih dahulu. Dalam penelitian ini beban yang dihimpun berupa beban mati, hidup, dan gempa. Perhitungan tiap beban dijelaskan pada sub bab berikut ini.

5.1.1. Beban Mati Tambahan

Dalam penentuan beban mati struktur digunakan acuan dari SNI 03-1727-1989 tentang. Nilai beban mati tambahan pada pelat dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Beban Mati Tambahan Pelat Lantai (SDL)

Material	Berat Volume	Tebal (m)	Perhitungan	(Qd) kN/m^2
Pasir	1800kg/m^3	0,03	1800x0,003 x9,81/1000	0,529
Spesi	21kg/m^3	0,04	21x0,04 x9,81/1000	0,00824
Keramik	24kg/ m^2		24x9,81/1000	0,235
MEP + ducting AC	25 kg/m^2		25x9,81/1000	0,2452
Plafon	11 kg/m^2		11x9,81/1000	0,1079
Penggantung Plafon	7 kg/m^2		7 x9,81/1000	0,0686
Total Beban Mati Tambahan (Qd)				1,1952

Tabel 5. 2 Beban Mati Tambahan Pelat Atap

Material	Berat Volume	Tebal (m)	Perhitungan	(Qd) kN/m^2
Spesi	21kg/m^3	0,04	21 x 0,04 x 9,81/1000	0,00824
Plafon	11 kg/m^2		11 x 9,81/1000	0,1079
Penggantung Plafon	7 kg/m^2		7 x 9,81/1000	0,0686
Total Beban Mati Tambahan (Qd)				0,1848

5.1.2. Beban Hidup

Untuk menentukan beban hidup digunakan SNI 1727 2020. Beban hidup pada struktur diambil berdasarkan peruntukan bangunan dan fungsi tiap ruangan. Nilai beban hidup yang digunakan dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5. 3 Beban Hidup Pelat Lantai

Hunian atau Penggunaan	Nilai (KN/m^2)
Rumah Tinggal - Ruang Pribadi dan Koridornya	1,92

Sumber :(SNI 1727 2020)

Berdasarkan Pasal 4.7.3 sampai 4.7.6 reduksi beban hidup diizinkan apabila nilai K_{LL} A_T adalah 400 ft^2 (37,16 m^2). Untuk itu perlu dilakukan reduksi beban hidup dengan rumus di bawah ini.

$$L = L_0(0{,}25 + \frac{4{,}57}{\sqrt{K_{LL}A_T}})$$

Nilai Faktor Elemen Beban hidup (K_{LL}) = 1

Luas Tributari area = 5,79 m x 6,625 m

= 38,3587 m^2 >37,16 m^2 (Perlu direduksi)

L_0 = 1,92 kN/m^2

$$L = 1{,}92(0{,}25 + \frac{4{,}57}{\sqrt{1x38{,}3587}})$$

= 1,8967 KN/m^2

Tabel 5. 4 Beban Hidup Pelat Atap

Hunian atau Penggunaan	Nilai (KN/m^2)
Atap - Atap bukan untuk hunian	0,96

Sumber :(SNI 1727 2020)

Reduksi beban hidup pada pelat atap

L_r = L_0 R_1 R_2 dengan 0,58 ≤ 0,96

Faktor reduksi R_1, untuk 18,58 m^2 < 38,3587 m^2 < 55,74 m^2, maka

R_1 = 1,2 – 0,011 A_T

= 1,2 – 0,011 x 38,3587

= 0,77805

F = 0,12 x 0

R_2 = 1

L_r = L_0 R_1 R_2

= 0,96 x 0,77805 x 1

= 0,7469 KN/m^2

5.2 Beban Gempa Respon Spektrum

1. Nilai parameter respon spektral percepatan gempa MCER periode pendek (Ss) dan periode panjang (S_1)

   Berdasarkan gambar 3.1 nilai Ss untuk Kota Yogyakarta berada pada rentang 1 – 1,2 g. Dengan bantuan websitie RSA Cipta Karya untuk Kota Yogyakarta nilai Ss adalah 1,107g.

   Untuk nilai S1 berdasarkan gambar 3.2 nilai S_1 berada pada rentang 0,5 – 0,6 g. Dengan website RSA Cipta karya nilai S_1 adalah 0,507g.

2. Nilai koefisien situs Fa dan Fv

   Berdasarkan Tabel 3.9 Nilai Fa untuk kelas situs SD, nilai Ss berada pada rentang 1,0 – 1,25. Oleh karena nilai Ss = 1,107 untuk menentukan nilai Fa digunakan rumus interpolasi sebagai berikut.

   X = y1+($\frac{(x-x1)}{(x2-x1)}$)x$(y2 - y1)$

   Dengan x1 adalah Ss dan y2 adalah Fa ,maka

   Fa = 1,1+($\frac{(1,107-1)}{(1,25-1)}$)x$(1 - 1,1)$

   = 1,0572

   Untuk nilai Fv dengan S1 = 0,507g didapatkan nilai sebesar 1,793.

3. Nilai faktor amplifikasi periode pendek 0,2 detik (S_{MS}) dan periode panjang 1 detik (S_{M1})

   S_{MS} = Fa Ss

   = 1,0572 x 1,107

   = 1,17032 g

   S_{M1} = Fv S_1

   = 1,793 x 0,507 g

= 0,90905

4. Parameter percepatan desain periode pendek (S_{DS}) dan panjang (S_{D1})

S_{DS} $= \frac{2}{3} S_{MS}$

$= \frac{2}{3} 1{,}17032$

= 0,780214 g

S_{D1} $= \frac{2}{3} S_{M1}$

$= \frac{2}{3} 0{,}90905$

= 0,606034 g

5. Nilai periode T, T0, dan Ts

Menentukan nilai periode getar struktur.

Nilai periode getar fundamental struktur alami (T) berdasarkan analisis *ETABS* adalah 2,503 arah x dan 2,305 arah y.

Tc = 2,503 detik

Periode fundamental pendekat (Ta)

Berdasarkan Tabel 3.8 untuk sistem rangka pemikul momen nilai C_t sebesar 0,0466 dan nilai x sebesar 0,9 sehingga nilai Ta sebagai berikut.

Ta $= C_t h_n^x$

C_t = 0,0466

x = 0,9

h_n = 48 m

Ta $= 0{,}0466 \times 48^{0,9}$

= 1,518809 detik

Periode Fundamental Maksimum (T)

T = Cu. Ta

Cu = 1,4

T = 1,4 x 1,518809

= 2,1263

T_L = 20 detik

nilai Tc > Cu.Ta, maka digunakan T = Cu.Ta = 2,1263 detik untuk arah x dan arah y

Menghitung nilai T0 dan Ts

T0 $= 0{,}2\,\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

$= 0{,}2\,\frac{0{,}606034}{0{,}780214}$

$= 0{,}155351$ detik

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

$= \frac{0{,}606034}{0{,}780214}$

$= 0{,}776675$ detik

6. Spektrum respon desain

Untuk T< T0, nilai respon percepatan desain (S_a) adalah

Sa $= S_{DS}\left(0{,}4 + 0{,}6\,\frac{T}{T0}\right)$

$= 0{,}780214\left(0{,}4 + 0{,}6\,\frac{0}{0{,}155351}\right)$

$= 0{,}31209$ g

Untuk $T0 \leq T \leq Ts$, nilai respon percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS},

Sa $= 0{,}780214$

Untuk $Ts \leq T \leq T_L$, nilai respon percepatan desain (S_a) adalah

Sa $= \frac{S_{D1}}{T}$

$= \frac{0{,}606034}{0{,}776675}$

$= 0{,}780686$ g

Untuk $T_L \leq T$, nilai respon percepatan desain (S_a) adalah

Sa $= \frac{S_{DS}T_L}{T^2}$

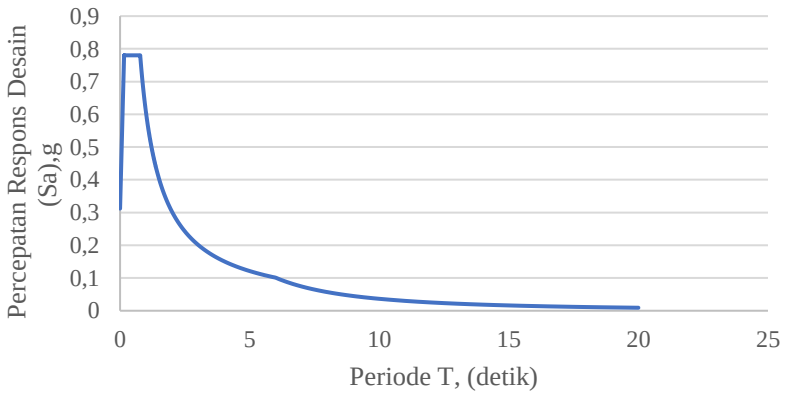
$= \frac{0{,}780214\ 20}{21^2}$

$= 0{,}03538$ g

Nilai respon percepatan desain (Sa) dihitung sampai dengan periode panjang (T_L) struktur sebesar 20 detik. Nilai respon percepatan desain (Sa) ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai grafik spektrum desain.

Tabel 5. 5 Nilai Respon Percepatan Desain (S_a)

T	Sa (g)
0	0,3120854
0,1553508	0,7802136
0,2	0,7802136
0,3	0,7802136
0,4	0,7802136
0,5	0,7802136
0,6	0,7802136
0,7	0,7802136
0,8	0,7575425
0,9	0,6733711
Sampai Dengan	
T	Sa
13	0,021516
14	0,0185521
15	0,0161609
16	0,0142039
17	0,012582
18	0,0112229
19	0,0100726
20	0,0090905



Gambar 5. 1 Grafik Spektrum Respon Desain Yogyakarta

7. Kategori desain seismik

   Nilai kategori desain seismik sesuai tabel 3.11 dan 3.12 dengan nilai S_{DS} sebesar 0,7802 dan kategori risiko II adalah D.

8. Sistem Struktur

Sistem struktur yang digunakan menahan gaya seismik adalah Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sehingga didapatkan nila masing masing R, Ω_0, dan Cd adalah sebagai berikut.

Koefisien modifikasi Respon (R) = 8

Faktor kuat lebih sistem (Ω_0) = 3

Faktor pembesaran defleksi (Cd) = $5\frac{1}{2}$

5.3 Beban Gempa Statik Ekivalen

1. Berat Struktur (W)

   Perhitungan berat struktur dibedakan menjadi tingkat typical dan tingkat 12. Karena denah struktur pada tingkat 1 – 11 seragam dapat disebut sebagai tigkat typical . Pada tingkat 1–11 dimensi dan jumlah balok, kolom, dan beban mati tambahan sama besar tiap – tiap tingkat.

   a. Perhitungan berat balok untuk tingkat typical

      Balok = b x h x Ln x Bj x n

      Ln = L – lebar balok/kolom

      Balok BIL 1

      b = 500 mm = 0,5 m
      h = 700 mm = 0,7 m
      Ln = 8000 – (2x 300) = 7400 mm
      Bj = 2400 kg/m^3
      n = 12

BIL 1	= 0,5 x 0,7 x (8-0,6) x 2400 x 12	= 74592 kg
BIL 2	= 0,3 x 0,4 x (4,4- 0,6) x 2400 x 9	= 9852,79 kg
BIL 3	= 0,4 x 0,6 x (5,79-0,6) x 2400 x 3	= 8969,57 kg
BAL 1	= 0,3 x 0,4 x (8-0,4) x 2400 x 2	= 4377,6 kg
BAL 2	= 0,3 x 0,4 x (4,4 – 0,4) x 2400 x 1	= 1152 kg
BIM 1	= 0,4 x 0,6 x (5-0,6) x 2400 x 4	= 8899,2 kg
BIM 2	= 0,4 x 0,6 x (6,3-0,6) x 2400 x 16	= 52718,4 kg
BIM 3	= 0,4 x 0,6 x (6,625-0,6) x 2400 x 5	= 17372,24 kg
BIM 4	= 0,4 x 0,6 x (5,3-0,6) x 2400 x 5	= 13554,05 kg
BAM 1	= 0,3 x 0,4 x (5-0,5) x 2400 x 1	= 1296 kg
BAM 2	= 0,3 x 0,4 x (3,15-(0,25+0,15)) x 2400 x 2	= 1584 kg
BAM 3	= 0,3 x 0,4 x (6,3-0,5) x 2400 x 4	= 6681,6 kg
BAM 4	= 0,3 x 0,4 x (3,125-(0,25+0,15)) x 2400 x 5	= 4194 kg
BAM 5	= 0,3 x 0,4 x (5,3- (0,15+0,25)) x 2400 x 2	= 2822,4 kg +
	Berat Total Balok	= 205488,25 kg/lantai

a. Perhitungan Berat Kolom untuk tingkat typical

Berat kolom dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

W_{kolom} = b x h x Ln x Bj x n

Kolom K1

b = 0,6 m

h = 0,6 m

Ln = 4 m

Bj = 2400 kg/m^3

n = 10

K1 = 0,6 x 0,6 x 4 x 2400 x 10 = 34571,52 kg
K2 = 0,6 x 0,6 x 4 x 2400 x 6 = 20736 kg
K3 = 0,6 x 0,6 x 4 x 2400 x 10 = 34560 kg
K4 = 0,6 x 0,6 x 4 x 2400 x 6 = 20736 kg +
Berat total kolom = 114100 kg/lantai

b. Perhitungan berat pelat untuk tingkat typical

$W_{Pelat\ lantai}$= A_{netto} x t x BJ

A_{netto} = A_{bruto} – Void

A_{bruto} = ((5+(6,3 x 5)+6,625+5,3)x(8+4,4))((6,625+5,3) x (8+5,79))
= 764,916 m^2

Void = (2x(3,15 x 4)) + (3,3125 x 4,4)
= 14,575 m^2

A_{netto} = 764,916 - 14,575 = 725,141 m^2

t = 0,12 m

Bj = 2400 kg/m^3

$W_{Pelat\ lantai}$= 725,141 x 0,12 x 2400 = 208841 kg/lantai

c. Perhitungan berat beban mati tambahan untuk tingkat typical

Tabel 5. 6 Berat Beban Mati Tambahan

Material	Luas bersih x t x Berat jenis	W (kg)
Pasir	725,141 m^2 x 0,03 m x 1800 kg/m^3	39157,6
Spesi	725,141 m^2 x 0,03 m x 1800 kg/m^3	609,118
Keramik	725,141 m^2 x 24 kg/m^2	17403,4
MEP	725,141 m^2 x 25 kg/m^2	18128,5
Plafon	725,141 m^2 x 11 kg/m^2	7976,55
Penggantung plafon	725,141 m^2 x 7 kg/m^2	5075,99
Total berat beban mati tambahan		88351,149

$W_{tingkat\ typical}$ = W_{balok} + W_{kolom} + $W_{Pelat\ lantai}$ + W berat beban mati

= 205488,25 + 114100 + 208841 + 88351,149 = 616779,8 kg/lantai

d. berat balok tingkat 12

Balok = b x h x Ln x Bj x n

Ln = L – lebar balok/kolom

Balok BIL 1

b = 500 mm = 0,5 m

h = 700 mm = 0,7 m

Ln = 8000 – (2x 300) = 7400 mm

Bj = 2400 kg/m3

n = 12

BIL 1	= 0,5 x 0,7 x (8-0,6) x 2400 x 12	= 74592 kg
BIL 2	= 0,3 x 0,4 x (4,4- 0,6) x 2400 x 9	= 9852,79 kg
BIL 3	= 0,4 x 0,6 x (5,79-0,6) x 2400 x 3	= 8969,57 kg
BAL 1	= 0,3 x 0,4 x (8-0,4) x 2400 x 2	= 4377,6 kg
BIM 1	= 0,4 x 0,6 x (5-0,6) x 2400 x 4	= 8899,2 kg
BIM 2	= 0,4 x 0,6 x (6,3-0,6) x 2400 x 16	= 52718,4 kg
BIM 3	= 0,4 x 0,6 x (6,625-0,6) x 2400 x 5	= 17372,24 kg
BIM 4	= 0,4 x 0,6 x (5,3-0,6) x 2400 x 4	= 13554,05 kg
BAM 1	= 0,3 x 0,4 x (5-0,5) x 2400 x 1	= 1296 kg
BAM 2	= 0,3 x 0,4 x (3,15-(0,25+0,15)) x 2400 x 2	= 1584 kg
BAM 3	= 0,3 x 0,4 x (6,3-0,5) x 2400 x 4	= 6681,6 kg
BAM 4	= 0,3 x 0,4 x (3,125-(0,25+0,15)) x 2400 x 4	= 4194 kg
BAM 5	= 0,3 x 0,4 x (5,3-0,15+0,25) x 2400 x	= 2822,4 kg +

Berat total balok= 203619,85 kg

e. Perhitungan berat kolom tingkat 12

W_{kolom} = b x h x T x Bj x n

Kolom K1

b = 0,6 m

h = 0,6 m

T = 4 m

Bj = 2400 kg/m^3

n = 10

K1 = 0,6 x 0,6 x 2 x 2400 x 10 = 34571,52 kg

K2 = 0,6 x 0,6 x 2 x 2400 x 6 = 20736 kg
K3 = 0,6 x 0,6 x 2 x 2400 x 10 = 34560 kg
K4 = 0,6 x 0,6 x 2 x 2400 x 6 = 20736 kg +
Berat total kolom= 57049,92 kg

f. Perhitungan berat pelat tingkat 12

$W_{Pelat\ lantai}$= A_{netto} x t x BJ

A_{netto} = A_{bruto} – Void

A_{bruto} = ((5+(6,3 x 5)+6,625+5,3) x (8+4,4)) + ((6,625+5,3) x (8+5,79))

= 764,916 m^2

Void = 0 m^2

A_{netto} = 764,916 - 0 = 764,916 m^2

t = 0,12 m

Bj = 2400 kg/m^3

$W_{Pelat\ lantai}$= 764,916 x 0,12 x 2400 = 220295,74 kg

g. Perhitungan berat beban mati tambahan tingkat 12

Tabel 5. 7 Berat Beban Mati Tambahan

Material	Luas bersih x t x Berat jenis	W (kg)
Spesi	725,141 m^2 x 0,03 m x 1800 kg/m^3	609,118
Plafon	725,141 m^2 x 11 kg/m^2	7976,55
Penggantung plafon	725,141 m^2 x 7 kg/m^2	5075,99
Total berat beban mati tambahan		14411

$W_{tingkat}$ 12 = W_{balok} + W_{kolom} + $W_{Pelat\ lantai}$ + W berat beban mati

= 203619,85 + 57049 + 220295,74 + 14411

= 495376,52 kg

Tabel 5. 8 Perbandingan Berat Bangunan Manual Dan ETABS

Tingkat	Hitungan Manual	Output Etabs	EROR
12	495376,5 kg	499361 kg	0,0079
11	616779,8 kg	618648 kg	0,003
10	616779,8 kg	618648 kg	0,003
9	616779,8 kg	618648 kg	0,003
8	616779,8 kg	618648 kg	0,003
7	616779,8 kg	618648 kg	0,003
6	616779,8 kg	618648 kg	0,003
5	616779,8 kg	618648 kg	0,003
4	616779,8 kg	618648 kg	0,003
3	616779,8 kg	618648 kg	0,003
2	616779,8 kg	618648 kg	0,003
1	616779,8 kg	618648 kg	0,003
Total	7279954,04 kg	7304490 kg	0,003

2. Penentuan nilai koefisien respon seismik (Cs)

Cs hitung $= \frac{S_{DS}}{(\frac{R}{I_e})}$

$= \frac{0,7802}{(\frac{8}{1})}$

$= 0,0975$

$T \leq TL$

Cs maks $= \frac{S_{D1}}{T(\frac{R}{I_e})}$

$= \frac{0,606}{2,126(\frac{8}{1})}$

$= 0,0356$

Cs min $= 0,044 S_{Ds} I_e \geq 0,01$

$= 0,044 \text{ x } 0,7802 \text{ } 1 \geq 0,01$

$= 0,0343$

Cs pakai = Cs maks

= 0,0356

Karena nilai periode T yang digunakan sama pada arah x dan y maka nilai Cs untuk arah x dan y juga sama.

3. Gaya Geser Dasar Seismik

V = Cs.W

= 0,0343 x 7279954,04

= 259360,9417 kg

= 2544,3308 kN

4. Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Fx = Cvx . V

Cvx $= \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} W_i h_i^k}$

Karena nilai periode (T) adalah 2,122 dan berada pada 0,5 < T < 2,5 detik maka nilai K ditentukan dengan interpolasi,

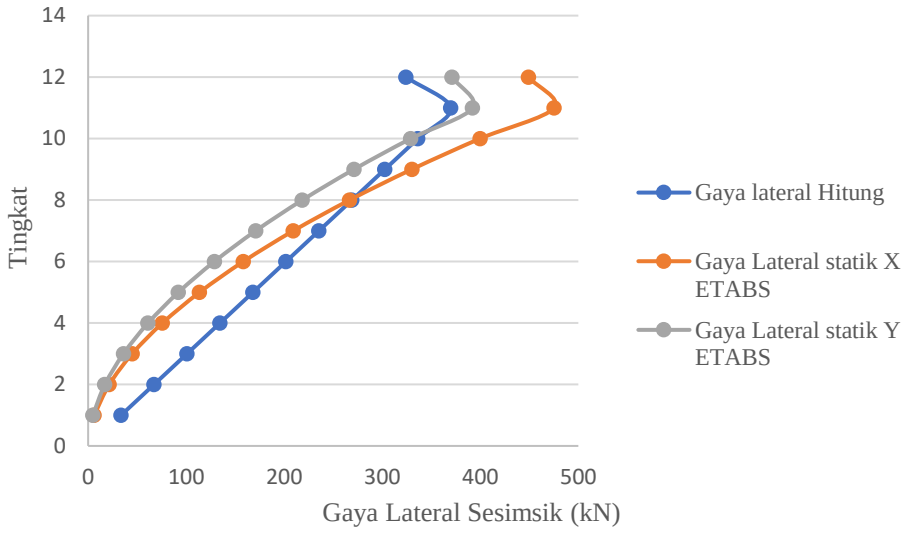
K $= 1 + ((\frac{(2,12633-0,5)}{(2,5-0,5)} \text{ x } (2,5\text{-}1)$

$= 1,8137$

Perhitungan untuk distribusi gaya vertikal seismik tiap lantai dijabarkan dalam tabel 5.9 di bawah ini.

Tabel 5. 9 Distribusi Gaya Vertikal Seismik Tiap Lantai

Tingkat	Berat (w) kN	Tinggi (H) M	H^k	W x H^k	Cvx	Fx (kN)
12	4859,64	48	87,031	422944	0,127422	324,205
11	6050,60	44	79,779	482713	0,145429	370,020
10	6050,60	40	72,5266	438830	0,132	336,382
9	6050,60	36	65,274	394947	0,118	302,744
8	6050,60	32	58,021	351064	0,105	269,106
7	6050,60	28	50,768	307181	0,092	235,467
6	6050,60	24	43,516	263298	0,079	201,829
5	6050,60	20	36,263	219415	0,066	168,191
4	6050,60	16	29,01	175532	0,052	134,553
3	6050,60	12	21,758	131649	0,039	100,914
2	6050,60	8	14,505	87766	0,026	67,276
1	6050,60	4	7,252	43883	0,013	33,638
$\Sigma W \times H^k$						2544,3308



Gambar 5. 2 Perbandingan Gaya Lateral

5.4 Beban Gempa *Time History*

1. Parameter pemilihan gerakan tanah dasar
   a. Berdasarkan Peta Deagregasi Hazard lokasi Yogyakarta dengan periode 2500 tahun nilai magnitude (Mw) berkisar pada 6,4 – 6,6.
   b. Nilai jarak (*R*) Berdasarkan Peta Deagregasi Hazard pada gambar 3. untuk periode 2500 tahun sumber gempa *Shallow Crustel* adalah 10 – 20 km.
   c. Berdasarkan Tabel 3.6 untuk tanah sedang nilai Vs (m/detik) berkisar 175 sampai 350.

d. Mekanisme sumber gempa adalah sesar dangkal sesuai sesar opak yang ada di Yogyakarta.

Tabel 5. 10 Parameter Pemilihan Gerakan Tanah

Sumber	Magnitude (Mw)			Jarak, R (km)		
	PGA	0,2 detik	3 detik	PGA	0,2 detik	3 detik
Sesar dangkal	6,4 – 6,6	6,4 – 6,6	6,4 – 6,6	20 – 30	20 - 30	10 - 20

(Sumber:Pusat Studi Gempa Nasional 2022)

PGA, apabila T < T0

0,2 detik, apabila T0 < T < TS

3 detik, apabila T > TS

T = 2,571

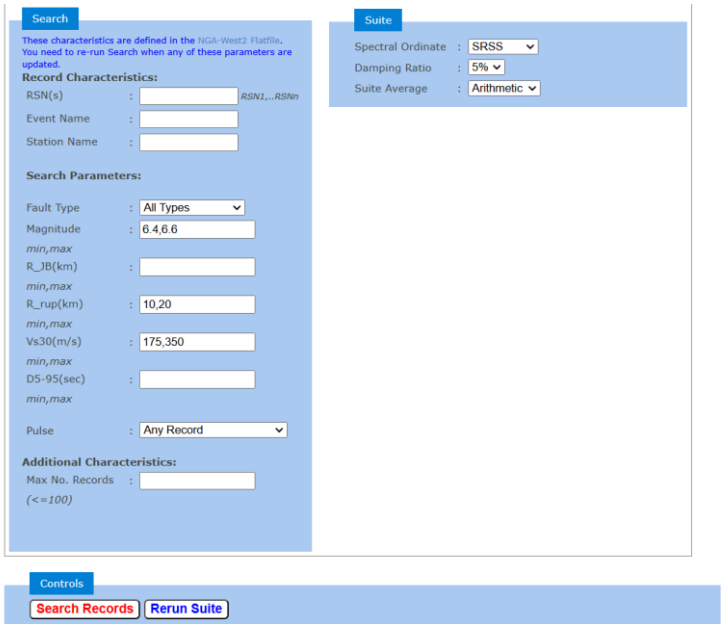
T0 = 0,1553

Ts = 0,7767

Maka digunakan periode 3 detik

2. Pengambilan rekaman gerakan tanah menggunakan website PEER *Ground Motion Database*

Input data parameter seperti nilai magnitude, Jarak / Rrup (Km), Dan nilai Vs nya pada website https://ngawest2.berkeley.edu.



Gambar 5. 3 Input Parameter Gerakan Tanah



Gambar 5. 4 Hasil Rekaman Gerakan Tanah

Berdasarkan SNI 8899 yang menganut dari ASCE 7-10 dibutuhkan paling sedikit 7 pasang rekaman gempa sehingga dalam penentuan rekaman gerakan tanah ini rentang magnitude diperbesar ± 0,5 menjadi 6 – 7 sehingga didapatkan rekaman gerakan tanah di bawah ini.

Tabel 5. 11 Hasil Rekaman Gerakan Tanah

Event	Lokasi	Tahun	Mw	Rrup (Km)	Rjb (Km)	Vs (m/s)	Mekanisme
Joshua Tree	California	1992	6,1	17,56	17,58	333,89	Strike Slip
Parkfield	California	1966	6,19	12,9	12,9	256,82	Strike Slip
Victoria	Mexico	1980	6,33	18,53	18,96	243,05	Strike Slip
Imperial valley	California	1979	6,53	14,75	14,75	193,67	Strike Slip
Supertition Hills	California	1987	6,54	17,03	17,03	208,71	Strike Slip
Totori	Japan	2000	6,61	14,42	14,42	331	Strike Slip
Kobe	Japan	1995	6,9	11,34	11,34	256	Strike Slip

3. Prosedur Pencocokan secara spektral

Pencocokan gerakan tanah harus berada pada rentang 0,8 T_{lower} sampai dengan 1,2 T_{upeper}. Dengan T_{lower} adalah periode getar pada saat 90 % partisipasi massa aktual telah terpenuhi pada masing-masing respon dua arah ortogonal. T_{upper} adalah nilai yang lebih besar di antara dua nilai periode getar fundamental

ortogonal. Untuk mendapatkan kedua nilai tersebut diperlukan pengecekan terhadap nilai periode getar alami struktur.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
		sec												
Modal	1	2,503	0,0001	0,7269	0	0,0001	0,7269	0	0,1881	0,0000311	0,0707	0,1881	3,11E-05	0,0707
Modal	2	2,308	0,803	0,0001	0	0,8032	0,7269	0	1,552E-05	0,2016	0,0001	0,1881	0,2017	0,0708
Modal	3	2,246	0,0001	0,0724	0	0,8032	0,7993	0	0,0178	8,079E-06	0,7298	0,2059	0,2017	0,8006
Modal	4	0,808	0,00002553	0,0915	0	0,8032	0,8909	0	0,4846	0,0002	0,0079	0,6905	0,2018	0,8085
Modal	5	0,75	0,0975	0,0001	0	0,9008	0,8909	0	0,0004	0,5352	0,0001	0,6909	0,737	0,8085
Modal	6	0,729	0,0002	0,0074	0	0,901	0,8983	0	0,0421	0,0007	0,0901	0,733	0,7378	0,8986
Modal	7	0,457	0,0000166	0,0354	0	0,901	0,9337	0	0,0604	0,00002894	0,0022	0,7934	0,7378	0,9008
Modal	8	0,429	0,0363	0,0001	0	0,9373	0,9338	0	0,0001	0,062	0,0005	0,7936	0,7998	0,9013
Modal	9	0,415	0,0006	0,002	0	0,9378	0,9358	0	0,0034	0,001	0,0347	0,797	0,8008	0,936

Gambar 5. 5 Nilai Periode T_{upper} Dan T_{Lower}

T_{lower} = 0,42 s

T_{upper} = 2,5 s

Rentang pencocokan :

0,8 T_{lower} = 0,8 x 0,429 s

= 0,3392 s

1,2 T_{upeper} = 1,2 x 2,507 s

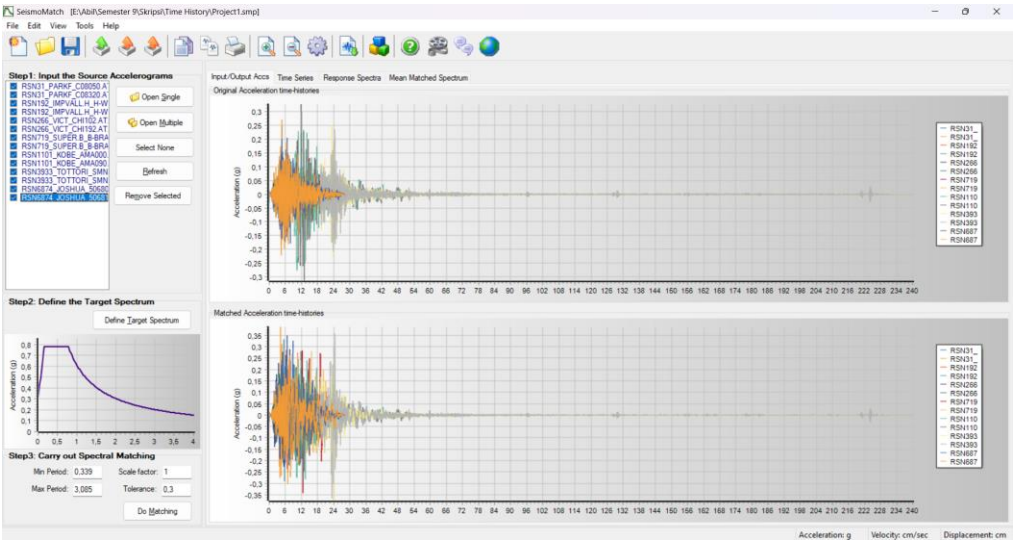
= 3,085 s

target Respon Spektrum sesuai dengan grafik Respon Spektrum yang sudah ditentukan sebelumnya pada gambar 5.9.

4. *Spectral Matching* dengan *Seismomatch*

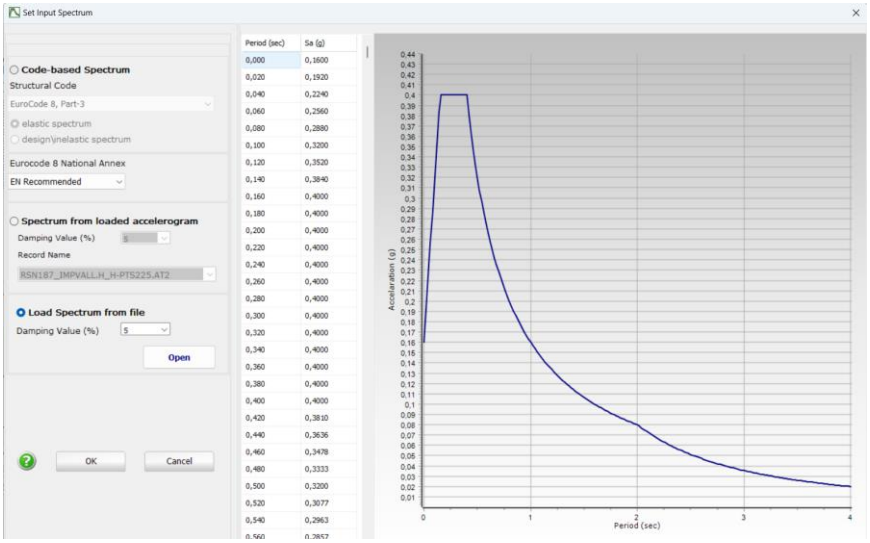
Langkah – langkah dalam *spectral matching* adalah sebagai berikut.

a. Input 7 pasang rekaman gerakan tanah



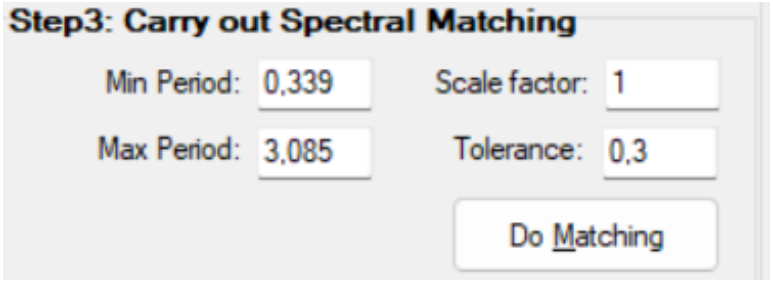
Gambar 5. 6 Input Rekaman Gerakan Tanah Pada Seismomatch

b. Masukkan nilai target spektrum yang sudah didapatkan



Gambar 5. 7 Input Target Respon Spektrum

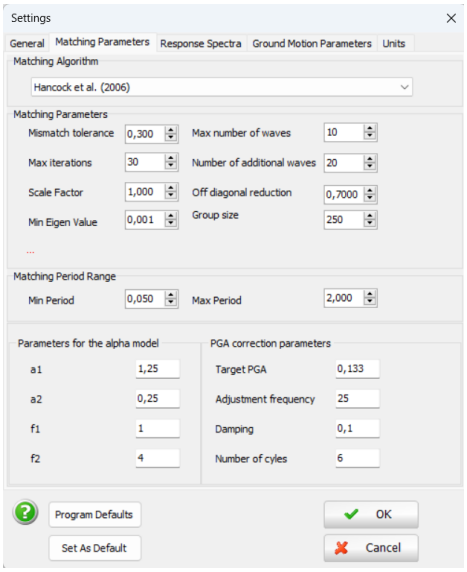
c. Input nilai rentang periode *spectral matching*



Gambar 5. 8 Input Rentang Periode

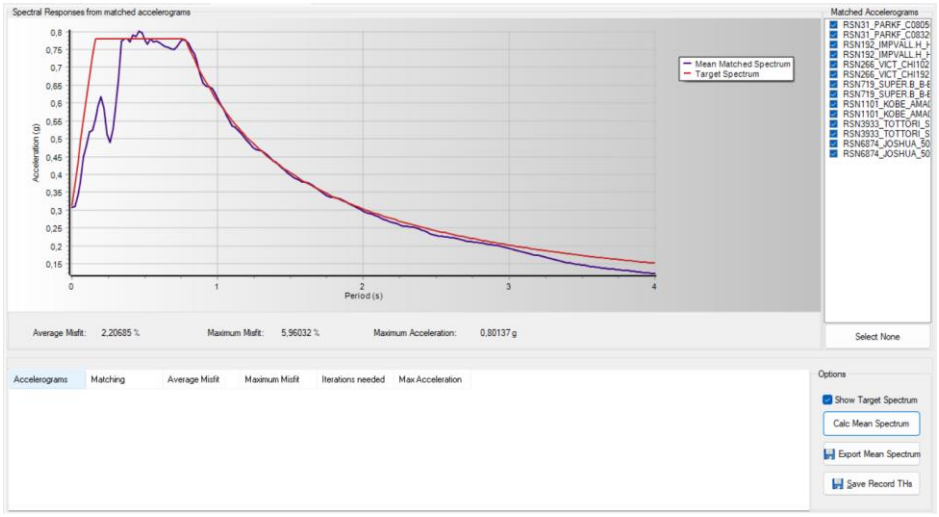
d. Pada menu *setting*, kemudian terdapat dua pilihan pada kolom *matching* algorithm yakni metode Hancock et al. (2006) dan Al Atik & Abrahamson (2010). Kedua alogaritma tersebut digunakan sebagai penyesuaian akselerogram terhadap spektrum respon target tertentu. Metode Abrahamson (1992) menyesuaiakan akselerogram gempa menggunakan transformasi walvlet. Sedangkan Metode Hancock et al.(2006) merupakan pengembangan dari metode Abrahamson (1992) dengan meningkatkan penyesuaian pada teknik wavlet. Metode Hancock et al. (2006) dipilih karena pada ke tujuh pasang rekaman gempa dan target Respon Spektrum yang digunakan

mengahasilkan nilai *matching* dengan *missfit* yang sesuai dengan SNI 1726 – 2019.



Gambar 5. 9 *Setting* Untuk *Spectral Matching*

e. Kemudian klik *"do matching"*

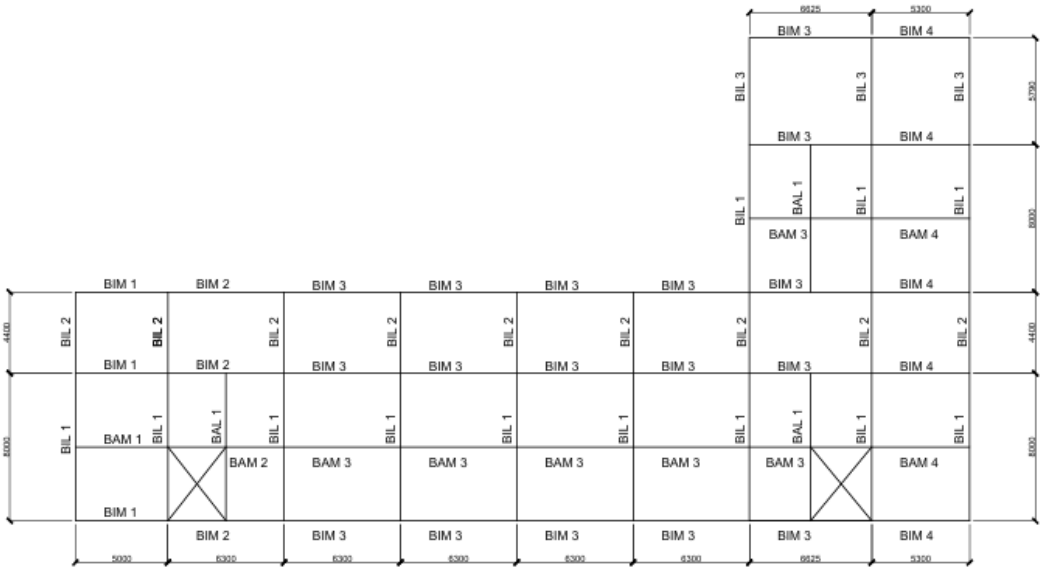


Gambar 5. 10 Hasil *Spectral Matching*

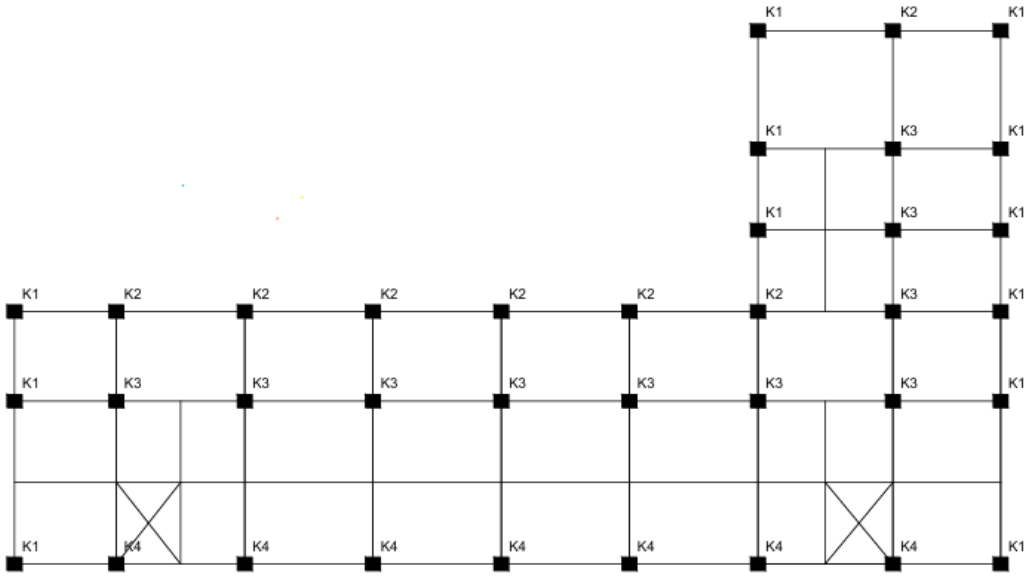
Dari hasil *matching* nilai *average misfit* 2,206% kurang dari 10% dan nilai *maximum misfit* 5,96% di bawah 10% hal ini sesuai dengan SNI 1726 – 2019 bahwa nilai rata-rata dari percepatan semu (*pseudo acceleration*) yang dihitung dengan rekaman yang sudah dicocokan secara spektral tidak boleh lebih dari 10 % spektrum target. Sehingga hasil *matching* dapat digunakan sebagai analisis.

5.5 Pemodelan Struktur

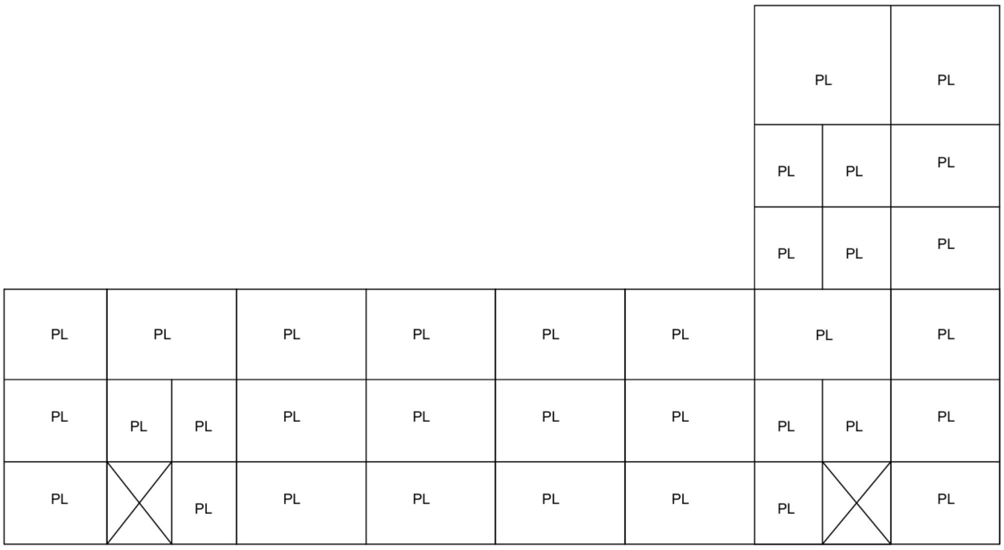
1. Pembuatan kodefikasi Balok, Kolom, dan Pelat



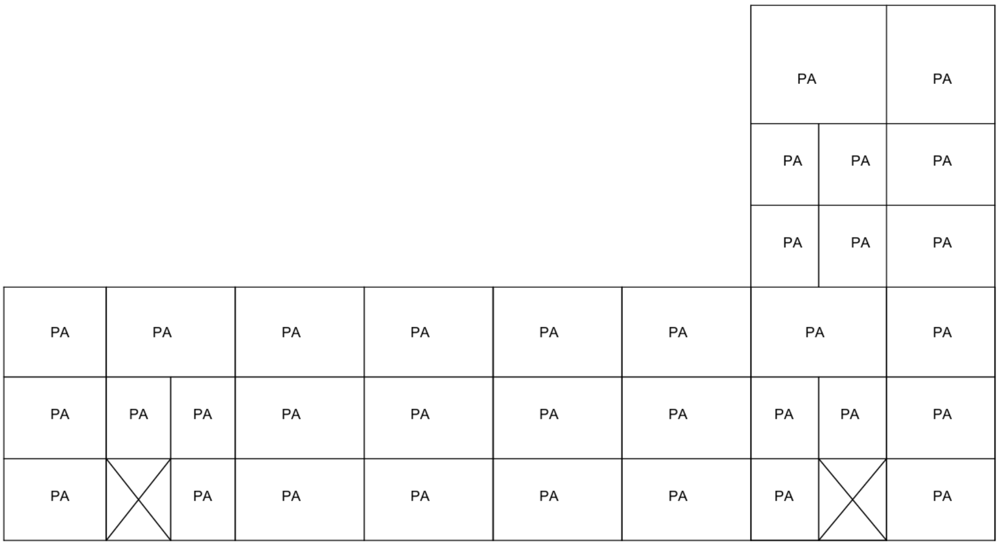
Gambar 5. 11 Kodefikasi Balok



Gambar 5. 12 Kodefikasi Kolom

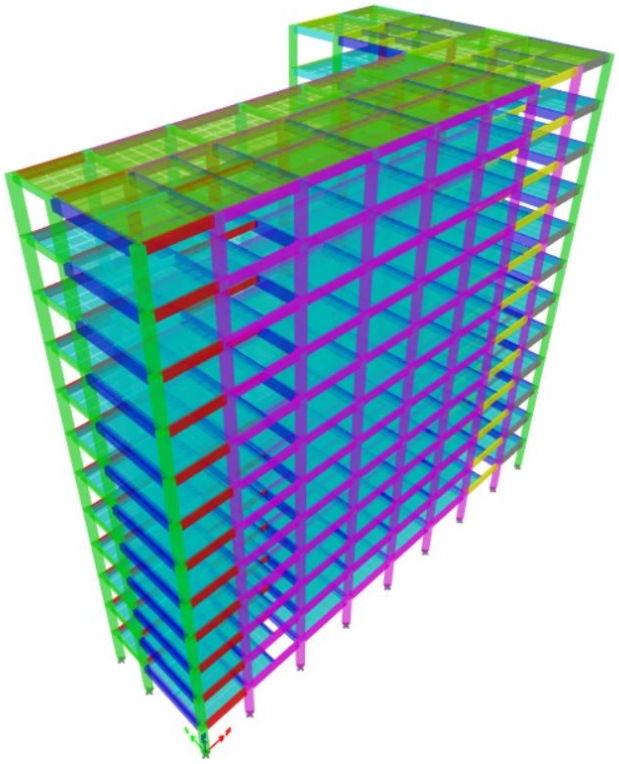


Gambar 5. 13 Kodefikasi Pelat Lantai



Gambar 5. 14 Kodefikasi Pelat Atap

2. Pemodelan Struktur dengam *ETABS*



S

Gambar 5. 15 Hasil Pemodelan Struktur Dengan *ETABS*

3. Kombinasi pembeban yang digunakan menurut SNI 1726 – 2019 adalah sebagai berikut.

Poin 6 = 1,2 D + Ev + Eh + L

Ev = 0,2 Sds D

= 0,2 . 0,7802. D

= 0,15604 D

Eh = ρ Qe

ρ = 1,3 → KDS = D

= 1,3 * 30%

= 0,39

Poin 7 = 0,9 D – Ev + Eh

= 0,9 – 0,2.Sds D

= 0,743496 D

Koefisien untuk poin 6 dan 7 berlaku untuk semua beban gempa.

Tabel 5. 12 Kombinasi Pembebanan

POIN	KOMBINASI	DL	SIDL	LL	EX	EY
1	COMBO 1	1,4	1,4	1		
2	COMBO 2	1,2	1,2	1,6		
	COMBO 2.1	1,2	1,2	1		
	COMBO 2.2	1,2	1,2	1		
	COMBO 2.3	0,9	0,9			
6	COMBO 3	1,356043	1,35604272	1		0,39
	COMBO 4	1,356043	1,35604272	1	1,3	-0,39
	COMBO 5	1,356043	1,35604272	1	-1,3	0,39
	COMBO 6	1,356043	1,35604272	1	-1,3	-0,39
	COMBO 7	1,356043	1,35604272	1	0,39	
	COMBO 8	1,356043	1,35604272	1	-0,39	1,3
	COMBO 9	1,356043	1,35604272	1	0,39	-1,3
	COMBO 10	1,356043	1,35604272	1	-0,39	-1,3
7	COMBO 11	0,743957	0,74395728		1,3	0,39
	COMBO 12	0,743957	0,74395728		1,3	-0,39
	COMBO 13	0,743957	0,74395728		-1,3	0,39
	COMBO 14	0,743957	0,74395728		-1,3	-0,39
	COMBO 15	0,743957	0,74395728		0,39	1,3
	COMBO 16	0,743957	0,74395728		-0,39	1,3
	COMBO 17	0,743957	0,74395728		0,39	-1,3
	COMBO 18	0,743957	0,74395728		-0,39	-1,3

4. Kontrol *Mass Participation Ratio*

Berdasarkan SNI 1726-2019 jumlah ragam harus cukup untuk mendapatkan nilai partisipasi massa terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Namun terdapat alternatif diizinkan untk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 % dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Pada kolom SUM X dan SUM Y Tabel 5. 13 saat modal ke 12 jumlah partisipasi massa sudah menunjukkan nilai 95% > 90 % pada kedua arah ortogonal. Pada kolom sumRx nilai partisipasi massa mencapai 95% ketika modal ke 19. Dan pada kolom sumRy tercapai keetika modal ke 20. Jumlah ragam yang didapatkan sudah melebihi batas minimum yakni 90% sehingga dapat dilanjutkan untuk tahap analisis selanjutnya.

Tabel 5. 13 Hasil Nilai Modal Partisipasi Massa

Case	Mode	Periode sec	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
Modal	1	2,503	0,0001	0,7269	0	0,1881	0,0000311	0,0707
Modal	2	2,308	0,8032	0,7269	0	0,1881	0,2017	0,0708
Modal	3	2,246	0,8032	0,7993	0	0,2059	0,2017	0,8006
Modal	4	0,808	0,8032	0,8909	0	0,6905	0,2018	0,8085
Modal	5	0,75	0,9008	0,8909	0	0,6909	0,737	0,8085
Modal	6	0,729	0,901	0,8983	0	0,733	0,7378	0,8986
Modal	7	0,457	0,901	0,9337	0	0,7934	0,7378	0,9008
Modal	8	0,429	0,9373	0,9338	0	0,7936	0,7998	0,9013
Modal	9	0,415	0,9378	0,9358	0	0,797	0,8008	0,936
Modal	10	0,306	0,9379	0,956	0	0,8726	0,8009	0,9368
Modal	11	0,29	0,9578	0,956	0	0,8728	0,8776	0,9372
Modal	12	0,279	0,9583	0,9567	0	0,8755	0,8794	0,9568
Modal	13	0,222	0,9583	0,9701	0	0,9072	0,8794	0,9571
Modal	14	0,213	0,9711	0,9701	0	0,9073	0,9096	0,9575
Modal	15	0,203	0,9715	0,9703	0	0,9078	0,9106	0,9704
Modal	16	0,169	0,9715	0,9799	0	0,9403	0,9107	0,9704
Modal	17	0,164	0,9805	0,9799	0	0,9403	0,9418	0,9708
Modal	18	0,155	0,9808	0,9799	0	0,9404	0,9429	0,98
Modal	19	0,134	0,9808	0,987	0	0,9595	0,9429	0,98
Modal	20	0,131	0,9874	0,987	0	0,9595	0,9606	0,9802
Modal	21	0,123	0,9876	0,987	0	0,9595	0,9613	0,987
Modal	22	0,11	0,9877	0,9922	0	0,9765	0,9613	0,987
Modal	23	0,108	0,9925	0,9922	0	0,9765	0,9772	0,9872
Modal	24	0,101	0,9927	0,9922	0	0,9765	0,9778	0,9922
Modal	25	0,093	0,9927	0,9958	0	0,987	0,978	0,9923
Modal	26	0,092	0,9961	0,9959	0	0,9872	0,9877	0,9924
Modal	27	0,085	0,9962	0,9959	0	0,9873	0,9881	0,996
Modal	28	0,081	0,9964	0,9981	0	0,9942	0,9887	0,996
Modal	29	0,081	0,9984	0,9983	0	0,995	0,9952	0,9961
Modal	30	0,075	0,9985	0,9984	0	0,995	0,9955	0,9984
Modal	31	0,074	0,9988	0,9992	0	0,9977	0,9964	0,9984
Modal	32	0,073	0,9996	0,9996	0	0,9988	0,9988	0,9984
Modal	33	0,07	0,9998	0,9998	0	0,9993	0,9992	0,9985
Modal	34	0,069	0,9999	0,9999	0	0,9998	0,9998	0,9985
Modal	35	0,067	1	1	0	1	1	0,9997
Modal	36	0,063	1	1	0	1	1	1

5.6 Analisis Dan Perbandingan Gaya Geser Dasar (*Base shear)*

1. Gaya geser dasar Statik Ekivalen

   Nilai Gaya Geser yang didapatkan dengan bantuan *ETABS* seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 14 Hasil Gaya Geser Dasar Statik Ekivalen Dengan *ETABS*

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX(kN)	FY(kN)
Statik X	LinStatic	Step By Step	1	-2551,326	0
Statik y	LinStatic	Step By Step	1		-2093,448

Berdasarkan hasil analisis di atas pada step 1 dengan gempa Statik Ekivalen didapatkan nilai gaya geser dasar arah x sebesar 2551,326 kN dan nilai gaya geser dasar arah y sebesar 2093,448 kN.

2. Gaya geser dasar Respon Spektrum

   ETABS mengkalkulasikan gaya geser dasar dengan beban gempa Respon Spektrum sebagai kombinasi semua gaya modal. Kalkulasi kombinasi gaya modal didapatkan dengan salah satu metode seperti SRSS, CQC, atau ABS. Hasil gaya geser dasar yang didapatkan berdasarkan beban gempa Respon Spektrum dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 15 Hasil Gaya Geser Dasar Respon Spektrum

Output Case	Case Type	Step Type	FX(kN)	FY(kN)
Respon Spektrum X	LinRespSpec	Max	2064,636	21,9921
Respon Spektrum Y	LinRespSpec	Max	21,9921	1826,8126

Nilai gaya geser dasar dengan beban gempa Respon Spektrum untuk arah x didapatkan sebesar 2064,636 kN dan untuk nilai gaya geser dasar arah y sebesar 1826,8126 kN. Untuk melihat hasil perbedaan, gaya geser dasar respon spektrum tanpa diskalakan. Jika dilakukan penskalaan gaya maka gaya geser dasar yang didapatkan adalah sebagai berikut.

Vstatik x = 2551,326 kN

Vdinamik x = 2064,636 kN

Vstatik/Vdinamik = 2551,326/2064,636

= 1,235

Maka nilai Vdinamik setelah penskalaan sebesar,

Vt = Vdinamik x Nilai penskalaan

= 2064,636 x 1,235

= 2551,33 kN

Setelah diskalakan nilai gaya geser dasar respon spektrum sama besar dengan statik ekivalen sehingga tidak nampak perbedaan pengaruh pada kedua beban gempa.

3. Gaya geser dasar *Time History*

Gaya geser dengan beban gempa *Time History* dihitung tiap langkah waktu berdasarkan gaya lateral di dasar struktur. Hal ini menyebabkan adanya gaya geser puncak (maximum) dan gaya dasar (minimum). Ketujuh rekaman gempa memberikan gaya geser maksimum dan minimum sehingga harus dihitung rata – rata nya.

Tabel 5. 16 Hasil Gaya Geser Dasar *Time History* Arah X

Output Case	Case Type	Step	FX (kN)
PARKFIELD X	LinModHist	Max	1258,209
IMPERIAL VALEY X	LinModHist	Max	2153,014
VICTORIA X	LinModHist	Max	2417,704
SUPERSTITION HILL X	LinModHist	Max	1912,815
KOBE X	LinModHist	Max	1969,174
JOSUA X	LinModHist	Max	1731,7
TOTORI X	LinModHist	Max	1993,331
PARKFIELD X	LinModHist	Min	1499,374
IMPERIAL VALEY X	LinModHist	Min	1874,677
VICTORIA X	LinModHist	Min	2467,197
SUPERSTITION HILL X	LinModHist	Min	2163,521
KOBE X	LinModHist	Min	2085,271
JOSUA X	LinModHist	Min	2092,33
TOTORI X	LinModHist	Min	1833,628
Rata - rata			1960,853

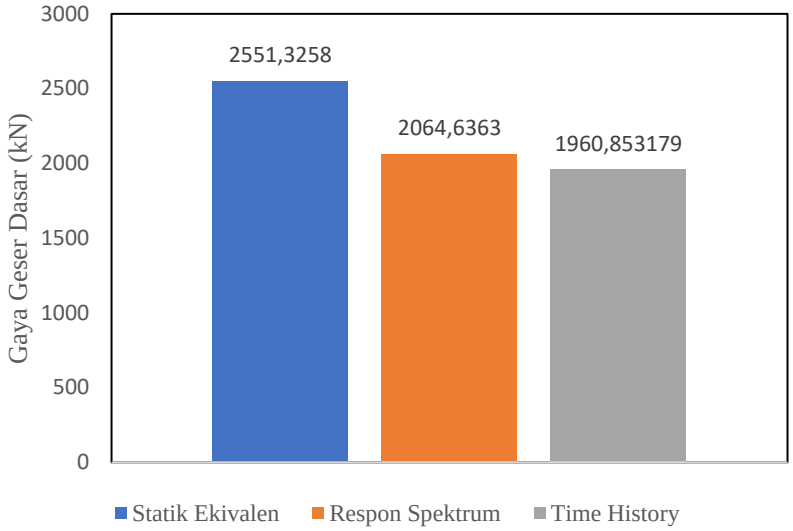
Tabel 5. 17 Hasil Gaya Geser Dasar *Time History* Arah Y

Output Case	Case Type	Step	FX (kN)
PARKFIELD Y	LinModHist	Max	1212,178
VICTORIA Y	LinModHist	Max	1563,6163
SUPERSTITON HILL Y	LinModHist	Max	1651,5209
KOBE Y	LinModHist	Max	1458,6176
JOSUA Y	LinModHist	Max	1324,1172
TOTORI Y	LinModHist	Max	1419,8029
IMPERIAL VALEY Y	LinModHist	Max	1486,3542
PARKFIELD Y	LinModHist	Min	1325,7023
VICTORIA Y	LinModHist	Min	1476,3529
SUPERSTITION HILL Y	LinModHist	Min	1783,6241
KOBE Y	LinModHist	Min	1341,1434
JOSUA Y	LinModHist	Min	1372,6261
TOTORI Y	LinModHist	Min	1711,7057
IMPERIAL VALEY Y	LinModHist	Min	1756,2058
Rata - rata			1491,6834

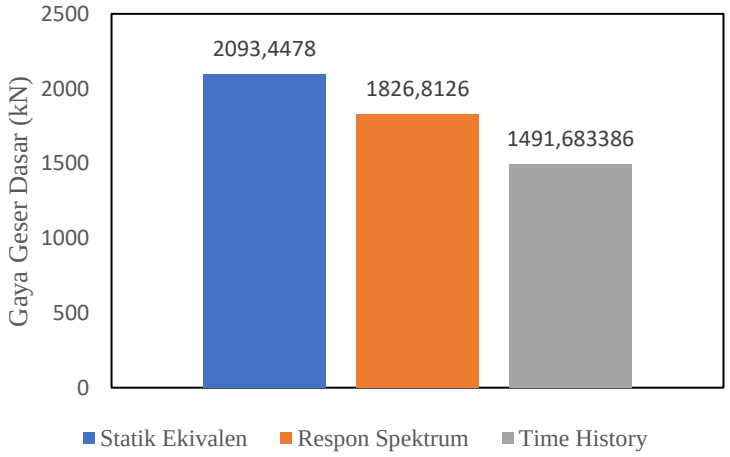
Hasil analisis *Time History* gaya geser dasar tertinggi dihasilkan oleh TH. Victoria untuk arah x dengan nilai sebesar 2467,197 kN dan untuk arah y dihasilkan oleh TH. Superstition Hills sebesar 1783,6241 kN. Sedangkan untuk nilai gaya geser terkecil arah x ditimbulkan oleh TH. Parkfield yakni sebesar 1258,209 kN dan arah y oleh TH. Parkfield sebesar 1212,178 kN. Nilai gaya geser dasar rata – rata arah x pada ketujuh rekaman gempa adalah sebesar 1960,853 kN dan untuk arah y nilai gaya geser dasar rata – rata sebesar 1491,6834 kN.

4. Perbandingan gaya geser dasar

   Nilai perbandingan gaya geser dasar dengan beban gempa Statik Ekivalen, Respon Spektrum, dan *Time History* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. 16 Diagram Batang Gaya Geser Dasar Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* Arah X



Gambar 5. 17 Diagram Batang Gaya Geser Dasar Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* Arah Y

Hasil analisis di atas nilai gaya geser terbesar dihasilkan oleh beban gempa Statik Ekivalen baik untuk arah x (Fx) dan arah y (Fy). Nilai penurunan gaya geser dasar terhadap beban gempa Statik Ekivalen pada Respon Spektrum arah x sebesar 19 % arah y 13%. Pada beban gempa *Time History* untuk arah x sebesar 23 % dan arah y sebesar 29%. Gaya geser dasar *Time History* memiliki nilai terkecil dibandingkan gaya geser dasar Respon Spektrum dan Statik Ekivalen. Nilai penurunan gaya geser dasar melebihi 10 % sehingga penurunannya

signifikan. Hal ini sejalan dengan (Fadilah dan Walujodjati 2020) yang menyebutkan bahwa analisis statik ekivalen menghasilkan gaya geser lebih besar pada rentang tingkat 5, 10, dan 15. Penelitian lain dari (Anggraeni dkk.2020) juga menjelaskan bahwa gempa *Time history* menghasilkan gaya geser yang lebih kecil dibandingkan gempa statik ekivalen.

5.7 Analisis Dan Perbandingan Simpangan Antar Tingkat

Dalam menentukan simpangan antar tingkat SNI 1726 – 2019 menjelaskan bahwa nilai simpngan harus dihitung dari hasil perbedaan simpangan yang terjadi pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat.

1. Simpangan Statik Ekivalen

Tabel 5. 18 Perpindahan Arah X (δe) Statik Ekivalen

Tingkat	δe x (mm)	δe y (mm)
12	89,320	11,389
11	86,857	11,057
10	82,794	10,531
9	77,199	9,812
8	70,297	8,926
7	62,337	7,905
6	53,552	6,779
5	44,155	5,574
4	34,340	4,316
3	24,302	3,032
2	14,325	1,765
1	5,186	0,623

Tabel 5. 19 Perpindahan Arah Y (δe) Statik Ekivalen

Tingkat	δe x (mm)	δe y (mm)
12	11,610	94,527
11	11,209	91,681
10	10,632	87,2385
9	9,867	81,206
8	8,937	73,807
7	7,873	65,299
6	6,705	55,933
5	5,462	45,936
4	4,172	35,522
3	2,869	24,916
2	1,609	14,467
1	0,555	5,089

Perhitungan simpangan antar lantai

$$\delta_x = \frac{C_D \ \delta_{xe}}{I_e}$$

Nilai Cd sesuai tabel 3.13 = 5,5

Nilai Ie didapatkan sebesar = 1

a. Perpindahan Elastik (Sx)

$\delta x = \delta e_{i+1} - \delta e_i$

δx_{12} = 89,3205 – 86,857 = 2,4635 mm

b. Simpangan Tingkat (Δx)

$\Delta x_{12} = \frac{C_D \ \delta_{xe}}{I_e}$

$= \frac{5,5 \ \text{x} \ 2,4635}{1}$

= 13,5493 mm

Hasil perhitungan simpangan antar tingkat sesuai dengan rumus di atas untuk tingkat 1 sampai 12 dapat dilihat pada tabel 5.20 untuk arah x dan arah y dapat dilihat pada tabel 5.21.

Tabel 5. 20 Nilai Simpangan Antar Tingkat Arah X Statik Ekivalen

Tingkat	Tinggi	Perpindahan		Perpindahan elastik		Simpangan Tingkat	
	mm	δe x (mm)	δe y (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)
12	4000	89,320	11,389	2,463	0,332	13,549	1,826
11	4000	86,857	11,057	4,063	0,526	22,3465	2,893
10	4000	82,794	10,531	5,595	0,719	30,772	3,957
9	4000	77,199	9,812	6,901	0,885	37,958	4,870
8	4000	70,297	8,926	7,960	1,021	43,780	5,615
7	4000	62,337	7,905	8,785	1,126	48,320	6,195
6	4000	53,552	6,779	9,397	1,205	51,683	6,627
5	4000	44,155	5,574	9,814	1,258	53,979	6,919
4	4000	34,340	4,316	10,08	1,283	55,209	7,0592
3	4000	24,302	3,032	9,977	1,267	54,876	6,968
2	4000	14,325	1,765	9,139	1,142	50,264	6,283
1	4000	5,186	0,623	5,186	0,623	28,523	3,426

Tabel 5. 21 Nilai Simpangan Antar Tingkat Arah Y Statik Ekivalen

Tingkat	Tinggi	Perpindahan		Perpindahan elastik		Simpangan Tingkat	
	mm	δe x (mm)	δe y (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)
12	4000	11,610	94,527	0,400	2,846	2,202	15,653
11	4000	11,209	91,681	0,577	4,442	3,176	24,433
10	4000	10,632	87,238	0,764	6,032	4,204	33,178
9	4000	9,867	81,206	0,930	7,399	5,115	40,694
8	4000	8,937	73,807	1,064	8,507	5,852	46,791
7	4000	7,873	65,299	1,168	9,366	6,424	51,515
6	4000	6,705	55,933	1,243	9,996	6,836	54,980
5	4000	5,462	45,936	1,29	10,41	7,095	57,277
4	4000	4,172	35,522	1,303	10,606	7,166	58,333
3	4000	2,869	24,916	1,2605	10,449	6,932	57,469
2	4000	1,609	14,467	1,0535	9,378	5,794	51,579
1	4000	0,555	5,0895	0,5555	5,0895	3,055	27,992

Beban gempa Statik Ekivalen menunjukkan bahwa nilai simpangan yang didapatkan mengalamai kenaikan pada tingkat ke 1 - 4 namun menurun pada tingkat ke 5 - 12. Pada tingkat 3, 4 , dan 5 baik untuk arah x maupaun arah y menghasilkan nilai simpangan terbesar. Nilai simpangan terbesar terdapat pada tingkat 4 sebesar 55,209 mm untuk arah x dan 58,333 mm untuk arah y.

2. Simpangan Respon Spektrum

Tabel 5. 22 Perpindahan Arah X (δe) Respon Spektrum

Tingkat	δe x (mm)	δe y (mm)
12	57,246	1,02
11	55,888	0,953
10	53,68	0,883
9	50,608	0,809
8	46,758	0,732
7	42,212	0,652
6	37,045	0,569
5	31,298	0,485
4	24,97	0,4
3	18,121	0,311
2	10,932	0,213
1	4,04	0,098

Tabel 5. 23 Perpindahan Arah Y (δe) Respon Spektrum

Tingkat	δe x (mm)	δe y (mm)
12	17,182	77,888
11	16,734	75,844
10	16,043	72,69
9	15,096	68,39
8	13,912	63,055
7	12,516	56,795
6	10,926	49,683
5	9,155	41,763
4	7,218	33,073
3	5,146	23,716
2	3,017	14,013
1	1,06	4,974

Perhitungan simpangan antar lantai

$$\delta_{xe} = \frac{C_D \ \delta_{xe}}{I_e}$$

Nilai Cd sesuai tabel 3.13 = 5,5

Nilai Ie didapatkan sebesar = 1

a. Perpindahan Elastik (Sx)

$\delta x = \delta e_{i+1} - \delta e_i$

δx_{12} = 57,246 – 1,02 = 1,02 mm

b. Simpangan Tingkat (Δx)

$$\Delta x_{12} = \frac{C_D \ \delta_{xe}}{I_e}$$

$$= \frac{5{,}5 \ \text{x} \ 1{,}02}{1}$$

= 7,469 mm

Beban gempa Respon Spektrum menunjukkan bahwa nilai simpangan yang didapatkan juga mengalamai kenaikan pada tingkat ke 1 - 4 dan nilainya juga menurun pada tingkat ke 5 - 12. Nilai simpangan terbesar terjadi pada tingkat 2, 3 , dan 4 baik untuk arah x maupaun arah y. Nilai simpangan terbesar terdapat pada tingkat 3 sebesar 39,539 mm untuk arah x dan 53,366 mm untuk arah y**.** Hasil perhitungan simpangan antar tingkat arah x dan arah y sesuai dengan

rumus di atas untuk tingkat 1 sampai 12 dapat dilihat pada tabel 5.24 dan pada tabel 5.25

Tabel 5. 24 Nilai Simpangan Antar Tingkat Arah X Respon Spektrum

Tingkat	Tinggi	Perpindahan		Perpindahan elastik		Simpangan Tingkat	
	mm	δe x (mm)	δe y (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)
12	4000	57,246	1,02	1,358	0,067	7,469	0,368
11	4000	55,888	0,953	2,208	0,07	12,144	0,313
10	4000	53,68	0,883	3,072	0,074	16,896	0,331
9	4000	50,608	0,809	3,85	0,077	21,175	0,345
8	4000	46,758	0,732	4,546	0,08	25,003	0,358
7	4000	42,212	0,652	5,167	0,083	28,418	0,372
6	4000	37,045	0,569	5,747	0,084	31,608	0,376
5	4000	31,298	0,485	6,328	0,085	34,804	0,3812
4	4000	24,97	0,4	6,849	0,089	37,669	0,399
3	4000	18,121	0,311	7,189	0,098	39,539	0,439
2	4000	10,932	0,213	6,892	0,115	37,906	0,515
1	4000	4,04	0,098	4,04	0,098	22,220	0,439

Tabel 5. 25 Nilai Simpangan Antar Tingkat Arah Y Respon Spektrum

Tingkat	Tinggi	Perpindahan		Perpindahan elastik		Simpangan Tingkat	
	mm	δe x (mm)	δe y (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)
12	4000	17,182	77,888	0,448	2,044	2,464	11,242
11	4000	16,734	75,844	0,691	3,154	3,8005	17,347
10	4000	16,043	72,690	0,947	4,300	5,2085	23,65
9	4000	15,096	68,390	1,184	5,335	6,512	29,342
8	4000	13,912	63,055	1,396	6,26	7,678	34,43
7	4000	12,516	56,795	1,590	7,112	8,745	39,116
6	4000	10,926	49,683	1,771	7,920	9,7405	43,56
5	4000	9,155	41,763	1,937	8,690	10,653	47,795
4	4000	7,218	33,073	2,072	9,357	11,396	51,463
3	4000	5,146	23,716	2,129	9,703	11,709	53,366
2	4000	3,017	14,013	1,957	9,039	10,763	49,714
1	4000	1,060	4,974	1,060	4,974	5,83	27,357

3. Simpangan *Time History*

Setiap pasang rekaman gempa memiliki nilai perpindahan yang berbeda-beda baik untuk arah x maupun arah y. Nilai displacement pada ketujuh pasang rekaman gempa *Time History* untuk arah x dan arah y dapat dilihat sesuai tabel 5.26 dan 5.27

Tabel 5. 26 Rekap Perpindahan Arah (δe) X *Time History* (mm)

Tingkat	TH. Imperial Valley		TH. Joshua		TH. Kobe		TH. Parkfield		TH. Supersition Hills		TH. Totori		TH. Victoria		Rata - rata	
	δe x	δe y	δe x	δe y	δe x	δe y	δe x	δe y	δe x	δe y	δe x	δe y	δe x	δe y	δe x	δe y
12	53,24	0,94	48,97	0,56	53,83	0,74	40,31	0,53	55,99	0,89	56,66	0,58	51,69	0,70	51,69	0,70
11	52,20	0,88	47,66	0,51	52,68	0,71	39,46	0,49	54,42	0,82	55,82	0,54	50,51	0,65	50,51	0,65
10	50,47	0,81	45,53	0,44	50,75	0,66	38,05	0,44	51,83	0,75	54,41	0,48	48,54	0,60	48,54	0,60
9	48,10	0,75	42,55	0,37	47,92	0,61	35,98	0,38	48,21	0,70	52,25	0,41	45,72	0,54	45,72	0,54
8	45,13	0,67	39,28	0,33	44,21	0,56	33,25	0,34	43,73	0,63	49,35	0,38	42,27	0,49	42,27	0,49
7	41,33	0,59	36,14	0,34	39,67	0,51	29,89	0,35	38,58	0,58	45,75	0,38	38,34	0,45	38,34	0,45
6	36,65	0,49	32,56	0,34	34,45	0,45	25,98	0,35	33,12	0,52	41,13	0,37	33,77	0,41	33,77	0,41
5	31,13	0,39	28,15	0,33	28,71	0,43	21,70	0,34	27,80	0,46	35,43	0,34	28,69	0,38	28,69	0,38
4	24,86	0,33	22,84	0,30	22,58	0,39	17,27	0,31	22,61	0,39	28,70	0,29	23,07	0,33	23,07	0,33
3	17,99	0,28	16,74	0,25	16,81	0,31	12,46	0,25	16,69	0,30	21,06	0,26	16,91	0,27	16,91	0,27
2	10,79	0,21	10,14	0,18	10,44	0,21	7,42	0,16	10,20	0,22	12,80	0,21	10,27	0,19	10,27	0,19
1	3,97	0,10	3,75	0,08	3,92	0,09	2,67	0,07	3,85	0,11	4,75	0,11	3,81	0,09	3,81	0,09

Tabel 5. 27 Perpindahan Arah Y (δe) *Time History* (mm)

Tingkat	TH. Imperial Valley		TH. Joshua		TH. Kobe		TH. Parkfield		TH. Supersttion Hills		TH. Totori		TH. Victoria		Rata - rata	
	δe x	δe y	δe x	δe y	δe x	δe y	δe x	δe y	δe x	δe y	δe x	δe y	δe x	δe y	δe x	δe y
12	12,75	71,23	12,465	58,8	13,8	67,7	11,1	54,54	11,97	66,3	18,46	72,9	18,84	77,2	14,2	67
11	12,42	69,7	12,16	56,7	13,49	66	10,77	53,02	11,58	64,7	18,01	71	18,39	75,3	13,83	65,2
10	11,92	67,26	11,684	54,2	12,99	63,2	10,25	50,97	10,99	62,2	17,31	68,1	17,67	72,3	13,26	62,6
9	11,21	63,76	11,013	51	12,32	59,3	9,603	48,41	10,24	58,8	16,32	64	16,66	68	12,48	59
8	10,31	59,16	10,151	47	11,48	54,3	9,049	45,02	9,451	54,3	15,04	58,9	15,36	62,5	11,55	54,4
7	9,225	53,48	9,111	42,1	10,5	48,2	8,373	41,02	8,529	48,9	13,5	52,7	13,79	55,9	10,43	48,9
6	7,986	46,77	7,9125	36,6	9,321	41,7	7,503	36,24	7,437	42,7	11,72	45,7	11,98	48,3	9,124	42,6
5	6,63	39,16	6,578	30,4	7,919	35,2	6,432	30,58	6,196	35,7	9,743	37,9	9,969	40	7,638	35,6
4	5,164	30,79	5,2235	23,7	6,306	27,8	5,163	24,13	4,838	28,1	7,605	29,6	7,789	31,2	6,012	27,9
3	3,685	21,91	3,749	17	4,52	19,9	3,734	17,2	3,426	19,9	5,364	20,9	5,498	22	4,282	19,8
2	2,155	12,84	2,22	10	2,651	11,9	2,201	10,11	1,999	11,6	3,115	12,2	3,194	12,8	2,505	11,6
1	0,748	4,526	0,7775	3,55	0,926	4,24	0,769	3,575	0,702	4,06	1,087	4,27	1,113	4,5	0,874	4,1

Perhitungan simpangan antar lantai

$$\delta_{xe} = \frac{C_D \ \delta_{xe}}{I_e}$$

Nilai Cd sesuai tabel 3.13 = 5,5

Nilai Ie didapatkan sebesar = 1

a. Perpindahan Elastik (Sx)

$\delta x = \delta e_{i+1} - \delta e_i$

$\delta x_{12} = 51,69 - 50,51 = 1,179$mm

b. Simpangan Tingkat (Δx)

$\Delta x_{12} = \frac{C_D \ \delta_{xe}}{I_e}$

$= \frac{5,5 \ x \ 1,179}{1}$

= 6,486 mm

Hasil perhitungan simpangan antar tingkat sesuai dengan rumus di atas untuk tingkat 1 sampai 12 dapat dilihat pada tabel 5.28 dan pada tabel 5.29.

Tabel 5. 28 Nilai Simpangan Antar Tingkat Arah X *Time History*

Tingkat	Tinggi	Perpindahan		Perpindahan elastik		Simpangan Tingkat	
	mm	δe x (mm)	δe y (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)
12	4000	51,691	0,701	1,179	0,047	6,486	0,263
11	4000	50,512	0,653	1,970	0,057	10,836	0,314
10	4000	48,541	0,596	2,820	0,060	15,511	0,333
9	4000	45,721	0,535	3,450	0,049	18,977	0,271
8	4000	42,271	0,486	3,935	0,033	21,647	0,182
7	4000	38,335	0,452	4,564	0,040	25,103	0,222
6	4000	33,770	0,412	5,078	0,035	27,933	0,197
5	4000	28,692	0,376	5,623	0,048	30,930	0,265
4	4000	23,068	0,328	6,160	0,057	33,882	0,314
3	4000	16,908	0,270	6,641	0,076	36,526	0,419
2	4000	10,2667	0,194	6,460	0,102	35,532	0,561
1	4000	3,806	0,092	3,806	0,092	20,934	0,509

Tabel 5. 29 Nilai Simpangan Antar Tingkat Arah Y *Time History*

Tingkat	Tinggi	Perpindahan		Perpindahan elastik		Simpangan Tingkat	
	mm	δe x (mm)	δe y (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)
12	4000	14,196	66,952	0,367	1,746	2,018	9,608
11	4000	13,829	65,205	0,570	2,593	3,138	14,266
10	4000	13,259	62,611	0,777	3,563	4,277	19,598
9	4000	12,481	59,048	0,933	4,600	5,133	25,303
8	4000	11,548	54,447	1,114	5,538	6,131	30,460
7	4000	10,433	48,909	1,309	6,353	7,202	34,943
6	4000	9,1237	42,555	1,485	6,992	8,171	38,459
5	4000	7,638	35,563	1,625	7,657	8,941	42,117
4	4000	6,012	27,905	1,730	8,068	9,517	44,377
3	4000	4,281	19,836	1,777	8,199	9,773	45,099
2	4000	2,504	11,637	1,630	7,533	8,968	41,433
1	4000	0,874	4,103	0,874	4,103	4,808	22,570

Nilai simpangan pada beban gempa *Time History* dihitung menggunakan nilai rata – rata perpindahan dari ketujuh rekaman gempa. Berdasarkan perhitungan di atas diketahui nilai simpangan antar tingkat dengan beban gempa *Time History* menunjukkan bahwa nilai simpangan yang didapatkan juga mengalamai kenaikan pada tingkat ke 1 - 4 dan nilainya juga menurun pada tingkat ke 5 - 12. Namun nilai simpangan terbesar terjadi pada tingkat ke 2, 3 , dan 4 baik untuk arah x maupaun arah y. Nilai simpangan terbesar terdapat pada tingkat 3 sebesar 36,526 mm untuk arah x dan 45,099 mm untuk arah y**.**

4. Perbandingan Simpangan Antar Tingkat

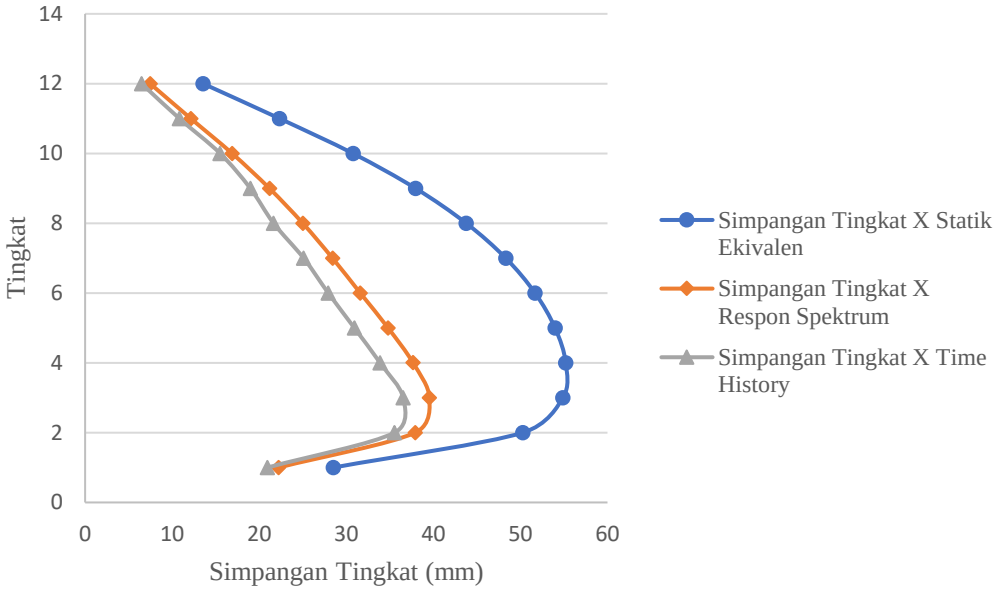
Dari hasil analisis simpangan antar tingkat ketiga beban gempa dihasilkan nilai simpangan yang berbeda – beda. Untuk mengetahui perbedaannya dilakukan perbandingan pada ketiga hasil analisis tersebut. Nilai perbandingan simpangan antar tingkat dengan beban gempa Statik Ekivalen, Respon Spektrum, dan *Time History* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 30 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Arah X Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History*

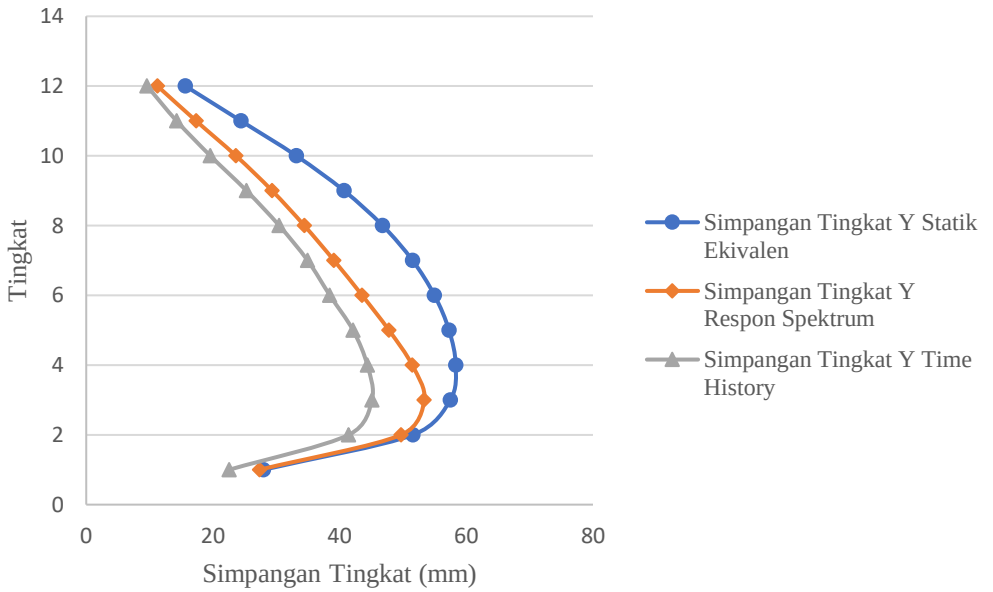
Tingkat	Simpangan Tingkat (Δx) mm		
	Statik Ekivalen	Respon Spektrum	*Time History*
12	13,540	7,469	6,486
11	22,346	12,144	10,836
10	30,770	16,896	15,511
9	37,950	21,175	18,977
8	43,780	25,003	21,647
7	48,320	28,418	25,103
6	51,680	31,608	27,933
5	53,970	34,804	30,930
4	55,20	37,669	33,882
3	54,870	39,539	36,526
2	50,260	37,906	35,532
1	28,520	22,220	20,934

Tabel 5. 31 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Arah Y Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History*

Tingkat	Simpangan Tingkat (Δx) mm		
	Statik Ekivalen	Respon Spektrum	*Time History*
12	15,653	11,242	9,608
11	24,433	17,347	14,266
10	33,178	23,65	19,598
9	40,694	29,342	25,303
8	46,791	34,43	30,460
7	51,515	39,116	34,943
6	54,980	43,56	38,459
5	57,277	47,795	42,117
4	58,333	51,463	44,377
3	57,469	53,366	45,099
2	51,579	49,714	41,433
1	27,992	27,357	22,570



Gambar 5. 18 Grafik Simpangan Antar Tingkat Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* Arah X



Gambar 5. 19 Grafik Simpangan Antar Tingkat Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History* Arah Y

Berdasarkan hasil perbandingan analisis simpangan antar tingkat pada ketiga beban gempa di atas diketahui bahwa nilai simpangan terbesar untuk arah x dan arah y diakibatkan oleh beban gempa Statik Ekivalen dan simpangan terkecil

terjadi pada gempa *Time History*. Pada ketiga beban gempa nlai simapangan mengalami kenaiakan pada tingkat 1 sampai 4 dan menunrun pada tingkat di atasya. Pada beban gempa statik ekivalen struktur menunjukkan nilai simpangan yang terbesar pada tingkat 3,4, dan 5 namun pada gempa respon spektrum dan *Time History* lebih dahulu terjadi pada tingkat 2,3 dan 4. Selain itu simpangan terbesar pada statik ekivalen terjadi pada tingkat ke 4 sedangka pada respon spektrum dan *Time History* pada tingkat 3. Nilai penurunan simpangan pada tingkat 2,3, dan 4 statik ekivalen arah x dengan Respon Spektrum sebesar 25%, 28%, dan 32% sedangkan untuk arah y 4%, 7%, dan 12%. Nilai penurunan simpangan pada tingkat 2,3, dan 4 Statik Ekivalen arah x dengan *Time History* sebesar 29%, 33%, dan 39% sedangkan untuk arah y 19%, 20%, dan 22%.

5.8 Analisis Dan Perbandingan Ketidakberaturan

1. Ketidakberaturan Horizontal Torsi 1a dan 1b
   a. Statik Ekivalen

   Rasio = Maximum (Δx)/ Average(Δx)

   Cek 1a = Jika nilai Rasio > 1,2 , Ada ketidakberaturan 1a

   Cek 1b = Jika nilai Rasio > 1,4 , Ada ketidakberaturan 1b

   Tingkat 12 = 89,636/84,647 = 1,059 < 1,2, (Tidak ada)

   Tingkat 12 = 89,636/84,647 = 1,059 < 1,4, (Tidak ada)

Tabel 5. 32 Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Statik Ekivalen Arah X

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Ratio	Cek 1a > 1,2	Cek 1b > 1,4
12	Statik X	89,636	84,647	1,059	Tidak ada	Tidak ada
11	Statik X	87,208	82,315	1,059	Tidak ada	Tidak ada
10	Statik X	83,18	78,483	1,059	Tidak ada	Tidak ada
9	Statik X	77,602	73,194	1,058	Tidak ada	Tidak ada
8	Statik X	70,706	66,666	1,058	Tidak ada	Tidak ada
7	Statik X	62,741	59,133	1,057	Tidak ada	Tidak ada
6	Statik X	53,94	50,815	1,057	Tidak ada	Tidak ada
5	Statik X	44,517	41,916	1,056	Tidak ada	Tidak ada
4	Statik X	34,666	32,618	1,055	Tidak ada	Tidak ada
3	Statik X	24,578	23,104	1,053	Tidak ada	Tidak ada
2	Statik X	14,529	13,638	1,051	Tidak ada	Tidak ada
1	Statik X	5,287	4,95	1,046	Tidak ada	Tidak ada

Tabel 5. 33 Ketidakberaturan Torsi 1a Dan 1b Statik Ekivalen Arah Y

Tingkat	Output Case	Maximum (Δy)mm	Average (Δy)mm	Ratio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Statik X	107,915	86,448	1,248	Ada	Tidak ada
11	Statik X	104,607	83,881	1,247	Ada	Tidak ada
10	Statik X	99,499	79,84	1,246	Ada	Tidak ada
9	Statik X	92,584	74,339	1,245	Ada	Tidak ada
8	Statik X	84,113	67,587	1,245	Ada	Tidak ada
7	Statik X	74,379	59,821	1,243	Ada	Tidak ada
6	Statik X	63,665	51,267	1,242	Ada	Tidak ada
5	Statik X	52,235	42,135	1,24	Ada	Tidak ada
4	Statik X	40,334	32,619	1,237	Ada	Tidak ada
3	Statik X	28,225	22,92	1,231	Ada	Tidak ada
2	Statik X	16,323	13,348	1,223	Ada	Tidak ada
1	Statik X	5,698	4,722	1,207	Ada	Tidak ada

Ketidakberaturan torsi 1a didefinisikan apabila terdapat rasio antara simpangan maksimum dibanding simpangan rata-rata lebih dari 1,2. Nilai rasio yang dihasilkan untuk arah y melebihi 1,2 pada tingkat 1 – 12 sehingga terdapat ketidakberaturan torsi 1a sedangkan untuk arah x tidak ada.

Ketidakberaturan torsi berlebihan 1b didefinisikan jika rasio simpangan maksimum dibanding dengan simpangan rata–rata melebihi 1,4. Pada gempa statik ekivalen arah x dan arah y nilai rasio yang dihasilkan pada tingkat 1 - 12 tidak melebihi 1,4 sehingga tidak terdapat ketidakberaturan torsi 1b.

b. Respon Spektrum

Rasio = Maximum (Δx)/ Average(Δx)

Cek = Jika nilai Rasio > 1,2 , Ada ketidakberaturan 1a

Cek = Jika nilai Rasio > 1,2 , Ada ketidakberaturan 1b

Tingkat 12 = 57,246/57,08 = 1,003 < 1,2, (Tidak ada)

Tingkat 12 = 57,246/57,08 = 1,003 < 1,4, (Tidak ada)

Hasil perhitungan untuk nilai rasio ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b beban gempa Respon Spektrum dengan rumus di atas untuk tingkat 1 – 12 dapat dilihat pada tabel 5.34 dan tabel 5.35

Tabel 5. 34 Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Respon Spektrum Arah X

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Ratio	Cek 1a >1,2	Cek 1a >1,4
12	RSX	57,246	57,08	1,003	Tidak ada	Tidak ada
11	RSX	55,888	55,758	1,002	Tidak ada	Tidak ada
10	RSX	53,68	53,58	1,002	Tidak ada	Tidak ada
9	RSX	50,608	50,538	1,001	Tidak ada	Tidak ada
8	RSX	470,341	469,838	1,001	Tidak ada	Tidak ada
7	RSX	42,212	42,197	1	Tidak ada	Tidak ada
6	RSX	37,045	37,036	1	Tidak ada	Tidak ada
5	RSX	31,298	31,267	1,001	Tidak ada	Tidak ada
4	RSX	24,97	24,922	1,002	Tidak ada	Tidak ada
3	RSX	18,121	18,061	1,003	Tidak ada	Tidak ada
2	RSX	10,932	10,873	1,005	Tidak ada	Tidak ada
1	RSX	40,739	40,378	1,009	Tidak ada	Tidak ada

Tabel 5. 35 Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Respon Spektrum Arah Y

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Ratio	Cek 1a >1,2	Cek 1a >1,4
12	RSY	77,888	64,165	1,214	Ada	Tidak Ada
11	RSY	75,844	62,55	1,213	Ada	Tidak Ada
10	RSY	72,69	60,003	1,211	Ada	Tidak Ada
9	RSY	68,39	56,505	1,21	Ada	Tidak Ada
8	RSY	63,055	52,149	1,209	Ada	Tidak Ada
7	RSY	56,795	47,026	1,208	Ada	Tidak Ada
6	RSY	49,683	41,197	1,206	Ada	Tidak Ada
5	RSY	41,763	34,696	1,204	Ada	Tidak Ada
4	RSY	33,073	27,553	1,2	Tida Ada	Tidak Ada
3	RSY	23,716	19,845	1,195	Tidak Ada	Tidak Ada
2	RSY	14,013	11,812	1,186	Tidak Ada	Tidak Ada
1	RSY	50,305	42,962	1,171	Tidak Ada	Tidak Ada

Ketidakberaturan torsi 1a didefinisikan apabila terdapat rasio antara simpangan maksimum dibanding simpangan rata-rata lebih dari 1,2. Pada

gempa arah y nilai rasio yang dihasilkan melebihi 1,2 pada tingkat 5 – 12 sehingga terdapat ketidakberaturan torsi 1a.

Ketidakberaturan torsi berlebihan 1b didefinisikan jika rasio simpangan maksimum dibanding dengan simpangan rata–rata melenbihi 1,4. Pada gempa Respon Spektrum arah x dan arah y nilai rasio yang dihasilkan pada tingkat 1 -12 tidak melebihi 1,4 sehingga tidak terdapat ketidakberaturan torsi 1b.

c. *Time History*

Untuk mengecek ketidakberaturan torsi 1a dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

Rasio = Maximum (Δx)/Average(Δx)

Cek 1a = Jika nilai Rasio > 1,2 , Ada ketidakberaturan 1a

Cek 1b = Jika nilai Rasio > 1,4 , Ada ketidakberaturan 1b

Tingkat 12 = 57,246/57,08 = 1,003 < 1,2, (Tidak ada)

Tingkat 12 = 57,246/57,08 = 1,003 < 1,4, (Tidak ada)

Hasil perhitungan untuk nilai rasio ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b beban gempa Respon Spektrum dengan rumus di atas untuk tingkat 1 – 12 dapat dilihat seperti tabel berikut.

Tabel 5. 36 Ketidakberaturan Torsi 1a Arah X *Time History*

Tingkat	Imperia Valley X		Joshua X		Kobe X		Parkfield X		Superstition Hills X		Totori X		Victoria X	
	Ratio	Cek 1a	Ratio	Cek 1a	Ratio	Cek 1a	Ratio	Cek 1a	Ratio	Cek 1a	Ratio	Cek 1a	Ratio	Cek 1a
12	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada
11	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada
10	1,001	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada
9	1	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1	Tidak Ada
8	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1	Tidak Ada
7	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1	Tidak Ada
6	1,002	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1	Tidak Ada
5	1,003	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada
4	1,004	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1,004	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,004	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada
3	1,005	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,004	Tidak Ada	1,005	Tidak Ada	1,004	Tidak Ada	1,005	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada
2	1,007	Tidak Ada	1,005	Tidak Ada	1,006	Tidak Ada	1,008	Tidak Ada	1,007	Tidak Ada	1,007	Tidak Ada	1,005	Tidak Ada
1	1,011	Tidak Ada	1,009	Tidak Ada	1,01	Tidak Ada	1,012	Tidak Ada	1,01	Tidak Ada	1,012	Tidak Ada	1,009	Tidak Ada

Tabel 5. 37 Ketidakberaturan Torsi 1a Arah Y *Time History*

Tingkat	Imperia Valley Y		Joshua Y		Kobe Y		Parkfield Y		Superstition Hills Y		Totori Y		Victoria Y	
	Ratio	Cek 1a	Ratio	Cek 1a	Ratio	Cek 1a	Ratio	Cek 1a	Ratio	Cek 1a	Ratio	Cek 1a	Ratio	Cek 1a
12	1,125	Tidak Ada	1,125	Tidak Ada	1,133	Tidak Ada	1,185	Tidak Ada	1,11	Tidak Ada	1,186	Tidak Ada	1,276	Ada
11	1,128	Tidak Ada	1,116	Tidak Ada	1,132	Tidak Ada	1,205	Ada	1,109	Tidak Ada	1,19	Ada	1,276	Ada
10	1,135	Tidak Ada	1,116	Tidak Ada	1,168	Tidak Ada	1,208	Ada	1,102	Tidak Ada	1,201	Ada	1,279	Ada
9	1,146	Tidak Ada	1,124	Tidak Ada	1,171	Tidak Ada	1,224	Ada	1,103	Tidak Ada	1,203	Tidak Ada	1,282	Ada
8	1,159	Tidak Ada	1,135	Tidak Ada	1,158	Tidak Ada	1,236	Ada	1,105	Tidak Ada	1,194	Tidak Ada	1,286	Ada
7	1,174	Tidak Ada	1,136	Tidak Ada	1,173	Tidak Ada	1,254	Ada	1,108	Tidak Ada	1,177	Tidak Ada	1,283	Ada
6	1,172	Tidak Ada	1,134	Tidak Ada	1,18	Tidak Ada	1,27	Ada	1,109	Tidak Ada	1,175	Tidak Ada	1,282	Ada
5	1,206	Tidak Ada	1,132	Ada	1,193	Tidak Ada	1,264	Ada	1,111	Tidak Ada	1,116	Tidak Ada	1,287	Ada
4	1,221	Tidak Ada	1,128	Ada	1,204	Ada	1,257	Ada	1,113	Tidak Ada	1,166	Tidak Ada	1,284	Ada
3	1,236	Tidak Ada	1,128	Ada	1,212	Ada	1,244	Ada	1,111	Tidak Ada	1,165	Tidak Ada	1,267	Ada
2	1,251	Tidak Ada	1,122	Ada	1,204	Ada	1,224	Ada	1,102	Tidak Ada	1,161	Tidak Ada	1,25	Ada
1	1,253	Tidak Ada	1,109	Ada	1,188	Tidak Ada	1,195	Tidak Ada	1,082	Tidak Ada	1,156	Tidak Ada	1,223	Ada

Tabel 5. 38 Ketidakberaturan Torsi 1b Arah X *Time History*

Tingkat	Imperia Valley X		Joshua X		Kobe X		Parkfield X		Superstition Hills X		Totori X		Victoria X	
	Ratio	Cek 1b	Ratio	Cek 1b	Ratio	Cek 1b	Ratio	Cek 1b	Ratio	Cek 1b	Ratio	Cek 1b	Ratio	Cek 1b
12	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada
11	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada
10	1,001	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada
9	1	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1	Tidak Ada
8	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1	Tidak Ada
7	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1	Tidak Ada
6	1,002	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1	Tidak Ada
5	1,003	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1,001	Tidak Ada
4	1,004	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada	1	Tidak Ada	1,004	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,004	Tidak Ada	1,002	Tidak Ada
3	1,005	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada	1,004	Tidak Ada	1,005	Tidak Ada	1,004	Tidak Ada	1,005	Tidak Ada	1,003	Tidak Ada
2	1,007	Tidak Ada	1,005	Tidak Ada	1,006	Tidak Ada	1,008	Tidak Ada	1,007	Tidak Ada	1,007	Tidak Ada	1,005	Tidak Ada
1	1,011	Tidak Ada	1,009	Tidak Ada	1,01	Tidak Ada	1,012	Tidak Ada	1,01	Tidak Ada	1,012	Tidak Ada	1,009	Tidak Ada

Tabel 5. 39 Ketidakberaturan Torsi 1b Arah Y *Time History*

Tingkat	Imperia Valley Y		Joshua Y		Kobe Y		Parkfield Y		Superstition Hills Y		Totori Y		Victoria Y	
	Ratio	Cek 1b	Ratio	Cek 1b	Ratio	Cek 1b	Ratio	Cek 1b	Ratio	Cek 1b	Ratio	Cek 1b	Ratio	Cek 1b
12	1,125	Tidak Ada	1,125	Tidak Ada	1,133	Tidak Ada	1,185	Tidak Ada	1,11	Tidak Ada	1,186	Tidak Ada	1,276	Tidak Ada
11	1,128	Tidak Ada	1,116	Tidak Ada	1,132	Tidak Ada	1,205	Tidak Ada	1,109	Tidak Ada	1,19	Tidak Ada	1,276	Tidak Ada
10	1,135	Tidak Ada	1,116	Tidak Ada	1,168	Tidak Ada	1,208	Tidak Ada	1,102	Tidak Ada	1,201	Tidak Ada	1,279	Tidak Ada
9	1,146	Tidak Ada	1,124	Tidak Ada	1,171	Tidak Ada	1,224	Tidak Ada	1,103	Tidak Ada	1,203	Tidak Ada	1,282	Tidak Ada
8	1,159	Tidak Ada	1,135	Tidak Ada	1,158	Tidak Ada	1,236	Tidak Ada	1,105	Tidak Ada	1,194	Tidak Ada	1,286	Tidak Ada
7	1,174	Tidak Ada	1,136	Tidak Ada	1,173	Tidak Ada	1,254	Tidak Ada	1,108	Tidak Ada	1,177	Tidak Ada	1,283	Tidak Ada
6	1,172	Tidak Ada	1,134	Tidak Ada	1,18	Tidak Ada	1,27	Tidak Ada	1,109	Tidak Ada	1,175	Tidak Ada	1,282	Tidak Ada
5	1,206	Tidak Ada	1,132	Tidak Ada	1,193	Tidak Ada	1,264	Tidak Ada	1,111	Tidak Ada	1,116	Tidak Ada	1,287	Tidak Ada
4	1,221	Tidak Ada	1,128	Tidak Ada	1,204	Ada	1,257	Tidak Ada	1,113	Tidak Ada	1,166	Tidak Ada	1,284	Tidak Ada
3	1,236	Tidak Ada	1,128	Tidak Ada	1,212	Ada	1,244	Tidak Ada	1,111	Tidak Ada	1,165	Tidak Ada	1,267	Tidak Ada
2	1,251	Tidak Ada	1,122	Tidak Ada	1,204	Ada	1,224	Tidak Ada	1,102	Tidak Ada	1,161	Tidak Ada	1,25	Tidak Ada
1	1,253	Tidak Ada	1,109	Tidak Ada	1,188	Tidak Ada	1,195	Tidak Ada	1,082	Tidak Ada	1,156	Tidak Ada	1,223	Tidak Ada

Ketidakberaturan torsi 1a didefinisikan sebagai rasio simpangan maksimum dibanding dengan simpangan rata – rata melebihi 1,2. Nilai rasio pada *Time History* arah x tidak melebihi 1,2 sehingga tidak terdapat ketidakberaturan torsi. Pada arah y terdapat nilai rasio yang melebihi 1,2 yakni pada TH. Imperial Valley 1 – 5, TH. Kobe Y tingkat 2 -3, TH. Parkfield tingkat 2 – 11, TH. Victoria tingkat 1 – 12. Oleh karena itu, pada arah y dengan beban gempa *Time History* terdapat tidak beraturan torsi 1a.

Ketidakberaturan torsi berlebihan 1b didefinisikan sebagai jika rasio simpangan maksimum dibanding dengan simpangan rata – rata melebihi 1,4. Berdasarkan hasil analisis di atas Gempa *Time History* arah x tidak menimbulkan adanya torsi berlebihan pada tingkat 1 – 12.

2. Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b
   a. Statik Ekivalen
      1) Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a

tingkat 1 = 70 % kekakuan tingkat di atasnya
= 70 % x 2 292956,146
= 205069,3022
Cek = 515709,5 > 205069,3022 (Tidak ada)
atau
tingkat 1 = 80 % kekakuan rata – rata 3 tingkat di atasnya
= 80 % ((292956,146+266600,600+255877,505)/3)
= 205069,302
Cek = 515709,5 > 205069,302 (Tidak ada)

Pada beban gempa Statik Ekivalen Nilai kekakuan tiap tingkat setelah dicek tidak melebihi nilai acuan baik untuk 70 % tingkat di atasnya ataupun 80% rata – rata kekakauan tiga tingkat di atasnya. Hal ini membuktikan bahwa tidak terdapat kekakuan tingkat lunak 1 a pada beban gempa Statik Ekivalen baik untuk arah x dan arah y. Hasil pengecekan ketidakberaturan 1a dapat dilihat pada tabel 5.40 dan tabel 5.41.

Tabel 5. 40 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah X Statik Ekivalen

Tingkat	Arah X				
	Kekakuan kN/m	70%	Cek	80%	Cek
12	192608,609				
11	236621,909	134826,026	tidak ada	154086,887	tidak ada
10	250404,891	165635,336	tidak ada	189297,527	tidak ada
9	253438,053	175283,423	tidak ada	200323,912	tidak ada
8	255021,533	177406,637	tidak ada	202750,442	tidak ada
7	256163,878	178515,073	tidak ada	204017,226	tidak ada
6	257199,884	179314,714	tidak ada	204931,102	tidak ada
5	258408,242	180039,918	tidak ada	205759,907	tidak ada
4	255877,505	180885,769	tidak ada	206726,593	tidak ada
3	266600,600	179114,253	tidak ada	204702,004	tidak ada
2	292956,146	186620,420	tidak ada	213280,480	tidak ada
1	515390,347	205069,302	tidak ada	234364,916	tidak ada

Tabel 5. 41 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah Y Statik Ekivalen

Tingkat	Arah X				
	Kekakuan kN/m	70%	Cek	80%	Cek
12	156681,754				
11	203598,971	109677,227	tidak ada	125345,403	tidak ada
10	213716,506	142519,279	tidak ada	162879,176	tidak ada
9	217204,154	149601,554	tidak ada	170973,204	tidak ada
8	219021,189	152042,907	tidak ada	173763,323	tidak ada
7	220321,105	153314,832	tidak ada	175216,951	tidak ada
6	221503,167	154224,773	tidak ada	176256,884	tidak ada
5	222910,409	155052,216	tidak ada	177202,533	tidak ada
4	225384,730	156037,286	tidak ada	178328,327	tidak ada
3	232199,949	157769,311	tidak ada	180307,784	tidak ada
2	259203,181	162539,964	tidak ada	185759,959	tidak ada
1	472047,696	181442,226	tidak ada	207362,544	tidak ada

2) Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b

Tingkat 1 = 60 % kekakuan tingkat di atasnya

= 70 % x 292867,5

= 175720,5

Cek = 515709,5 > 175720,5 (Tidak ada)

atau

Tingkat 1 = 70 % kekakuan rata – rata 3 tingkat di atasnya

= 70 % ((292956,146+266600,6+255877,505)/3)

= 175773,6876

Cek = 515709,5 > 175773,6876 (Tidak ada)

Nilai kekakuan tiap tingkat setelah dilakukan pengecekan tidak melebihi nilai acuan baik untuk 60 % tingkat di atasnya ataupun 70% rata – rata kekakauan tiga tingkat di atasnya. Hal ini membuktikan bahawa tidak terdapat kekakuan tingkat lunak 1 b pada beban gempa Statik Ekivalen baik untuk arah x dan arah y. Hasil pengecekan dapat dilihat pada tabel 5.42 dan 5.43.

Tabel 5. 42 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah X Statik Ekivalen

Tingkat	Arah X				
	Kekakuan kN/m	60%	Cek	70%	Cek
12	192608,609				
11	236621,909	115565,165	tidak ada	134826,026	tidak ada
10	250404,891	141973,145	tidak ada	165635,336	tidak ada
9	253438,053	150242,934	tidak ada	175283,423	tidak ada
8	255021,533	152062,831	tidak ada	177406,637	tidak ada
7	256163,878	153012,919	tidak ada	178515,073	tidak ada
6	257199,884	153698,326	tidak ada	179314,714	tidak ada
5	258408,242	154319,930	tidak ada	180039,918	tidak ada
4	255877,505	155044,945	tidak ada	180885,769	tidak ada
3	266600,6	153526,503	tidak ada	179114,253	tidak ada
2	292956,146	159960,360	tidak ada	186620,42	tidak ada
1	515390,347	175773,687	tidak ada	205069,302	tidak ada

Tabel 5. 43 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah Y Statik Ekivalen

Tingkat	Arah Y				
	Kekakuan kN/m	60%	Cek	70%	Cek
12	156681,754				
11	203598,971	109677,227	tidak ada	109677,227	tidak ada
10	213716,506	142519,279	tidak ada	142519,279	tidak ada
9	217204,154	149601,554	tidak ada	149601,554	tidak ada
8	219021,189	152042,907	tidak ada	152042,907	tidak ada
7	220321,105	153314,832	tidak ada	153314,832	tidak ada
6	221503,167	154224,773	tidak ada	154224,773	tidak ada
5	222910,409	155052,216	tidak ada	155052,216	tidak ada
4	225384,73	156037,286	tidak ada	156037,286	tidak ada
3	232199,949	157769,311	tidak ada	157769,311	tidak ada
2	259203,181	162539,964	tidak ada	162539,964	tidak ada
1	472047,696	181442,226	tidak ada	181442,226	tidak ada

b. Respon Spektrum

1) Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a

Tingkat 1 = 70 % kekakuan tingkat di atasnya

= 70 % x 292867,5

= 205007,2

Cek = 515709,5 > 205007,2 (Tidak ada)

atau

Tingkat 1 = 80 % kekakuan rata – rata 3 tingkat di atasnya

= 80 % ((292867,5+265395,2+258364,9)/3)

= 212316,1

Cek = 515709,5 > 212316,1 (Tidak ada)

Nilai kekakuan tiap tingkat setelah dicek tidak melebihi nilai acuan baik untuk 70 % tingkat di atasnya ataupun 80% rata – rata kekakauan tiga tingkat di atasnya. Hal ini membuktikan bahwa tidak terdapat kekakuan tingkat lunak 1a pada beban gempa Respon Spektrum baik untuk arah x dan arah y. Hasil pengecekan dapat dilihat pada tabel 5. 44 dan 5. 45.

Tabel 5. 44 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah X Respon Spektrum

Tingkat	Arah X				
	Kekakuan kN/m	70%	Cek	80%	Cek
12	206415,47				
11	248036,14	144490,827	tidak ada	165132,4	tidak ada
10	253179,49	173625,295	tidak ada	198428,9	tidak ada
9	253722,53	177225,645	tidak ada	202543,6	tidak ada
8	253669,74	177605,768	tidak ada	202978	tidak ada
7	253798,53	177568,820	tidak ada	202935,8	tidak ada
6	254395,83	177658,973	tidak ada	203038,8	tidak ada
5	255706,5	178077,083	tidak ada	203516,7	tidak ada
4	258364,86	178994,547	tidak ada	204565,2	tidak ada
3	265395,17	180855,400	tidak ada	206691,9	tidak ada
2	292867,5	185776,616	tidak ada	212316,1	tidak ada
1	515709,5	205007,247	tidak ada	234294	tidak ada

Tabel 5. 45 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah Y Respon Spektrum

Tingkat	Arah X				
	Kekakuan kN/m	70%	Cek	80%	Cek
12	158068,1				
11	193533,8	110647,697	tidak ada	126454,5	tidak ada
10	197882,4	135473,638	tidak ada	154827	tidak ada
9	197931,4	138517,645	tidak ada	158305,9	tidak ada
8	197473,2	138551,952	tidak ada	158345,1	tidak ada
7	197277,2	138231,261	tidak ada	157978,6	tidak ada
6	197645,8	138094,068	tidak ada	157821,8	tidak ada
5	198867,1	138352,050	tidak ada	158116,6	tidak ada
4	201647,3	139206,951	tidak ada	159093,7	tidak ada
3	208913,1	141153,094	tidak ada	161317,8	tidak ada
2	234868,9	146239,137	tidak ada	167130,4	tidak ada
1	429620,305	164408,210	tidak ada	172114,45	tidak ada

2) Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b

Tingkat 1 = 60 % kekakuan tingkat di atasnya

= 60 % x 292867,5

= 175720,4976

Cek = 515709,5 > 175720,4976 (Tidak ada)

atau

Tingkat 1 = 70 % kekakuan rata – rata 3 tingkat di atasnya

= 70 % ((292867,5+265395,2+258364,9)/3)

= 205007,2472

Cek = 515709,5 > 212316,1 (Tidak ada)

Nilai kekakuan tiap tingkat setelah dicek tidak melebihi nilai acuan baik untuk 60 % tingkat di atasnya ataupun 70% rata – rata kekakauan tiga tingkat di atasnya. Hal ini membuktikan bahwa tidak terdapat kekakuan tingkat lunak 1 b pada beban gempa Respon Spektrum baik untuk arah x dan arah y. Hasil pengecekan dapat dilihat pada tabel 5.46 dan 5. 47.

Tabel 5. 46 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah X Respon Spektrum

Tingkat	Arah X				
	Kekakuan kN/m	60%	Cek	70%	Cek
12	206415,47				
11	248036,14	123849,280	tidak ada	144490,8	tidak ada
10	253179,49	148821,681	tidak ada	173625,3	tidak ada
9	253722,53	151907,695	tidak ada	177225,6	tidak ada
8	253669,74	152233,516	tidak ada	177605,8	tidak ada
7	253798,53	152201,845	tidak ada	177568,8	tidak ada
6	254395,83	152279,119	tidak ada	177659	tidak ada
5	255706,50	152637,499	tidak ada	178077,1	tidak ada
4	258364,86	153423,898	tidak ada	178994,5	tidak ada
3	265395,17	155018,914	tidak ada	180855,4	tidak ada
2	292867,50	159237,100	tidak ada	185776,6	tidak ada
1	515709,50	175720,497	tidak ada	205007,2	tidak ada

Tabel 5. 47 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah Y Respon Spektrum

Tingkat	Arah Y				
	Kekakuan kN/m	60%	Cek	70%	Cek
12	158068,1				
11	193533,8	110647,697	tidak ada	110647,7	tidak ada
10	197882,4	135473,638	tidak ada	135473,6	tidak ada
9	197931,4	138517,645	tidak ada	138517,6	tidak ada
8	197473,2	138551,952	tidak ada	138552	tidak ada
7	197277,2	138231,261	tidak ada	138231,3	tidak ada
6	197645,8	138094,068	tidak ada	138094,1	tidak ada
5	198867,1	138352,050	tidak ada	138352,1	tidak ada
4	201647,3	139206,951	tidak ada	139207	tidak ada
3	208913,1	141153,094	tidak ada	141153,1	tidak ada
2	234868,9	146239,137	tidak ada	146239,1	tidak ada
1	429620,3	164408,210	tidak ada	164408,2	tidak ada

c. *Time History*

Analisis *Time History* berfokus pada perilaku struktur secara dinamis (percepatan, perpindahan, gaya) selama kejadian gempa, namun tidak menghitung sifat statis seperti kekakuan. Untuk menghitung ketidakberatuan tingkat lunak dapat menggunakan nilai simpangan. Semakin besar nilai simpangan berarti kekakuan tingkat semakin kecil. Oleh karena itu untuk mengecek Ketidakberaturan tingkat lunak 1a dan 1b dengan gempa *Time History* dapat dihitung sebagai berikut.

1) Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a

Tingkat 1 = 70 % Simpangan di bawahnya

= 70 % x 8,9681

= 6,2777

Cek = 4,808 < 6,2777 (Tidak ada)

atau

Tingkat 1 = 80 % kekakuan rata – rata 3 tingkat di atasnya

= 80 % ((8,968+9,7735+9,5173)/3)

= 7,537

Cek = 4,8089 < 6,277 (Tidak ada)

Tabel 5. 48 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah X *Time History*

Tingkat	Arah X				
	Simpangan mm	70%	Cek	80%	Cek
12	2,0185		Ada		Ada
11	3,1389286	1,41295	Ada	1,6148	Ada
10	4,2778214	2,19725	Ada	2,062971	Ada
9	5,1330714	2,994475	Ada	2,516067	Ada
8	6,1317143	3,59315	Ada	3,346619	Ada
7	7,20225	4,2922	Ada	4,144695	Ada
6	8,1714286	5,041575	Ada	4,924543	Ada
5	8,9410357	5,72	Ada	5,734771	Ada
4	9,5173571	6,258725	Ada	6,483924	Ada
3	9,7735	6,66215	Ada	7,101286	Ada
2	8,9681429	6,84145	Ada	7,528505	Ada
1	4,8089643	6,2777	Tidak Ada	7,535733	Tidak Ada

Tabel 5. 49 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah Y *Time History*

Tingkat	Arah X				
	Simpangan mm	60%	Cek	70%	Cek
12	2,0185		Ada		Ada
11	3,1389286	1,2111	Ada	1,41295	Ada
10	4,2778214	1,883357	Ada	1,8051	Ada
9	5,1330714	2,566693	Ada	2,201558	Ada
8	6,1317143	3,079843	Ada	2,928292	Ada
7	7,20225	3,679029	Ada	3,626608	Ada
6	8,1714286	4,32135	Ada	4,308975	Ada
5	8,9410357	4,902857	Ada	5,017925	Ada
4	9,5173571	5,364621	Ada	5,673433	Ada
3	9,7735	5,710414	Ada	6,213625	Ada
2	8,9681429	5,8641	Ada	6,587442	Ada
1	4,8089643	5,380886	Tidak Ada	6,593767	Tidak Ada

Nilai kekakuan yang didapatkan pada tingkat 2 sampai 12 melebihi simpangan ijin baik untuk arah x dan y. Dari pengecekan di atas terdapat ketidakberaturan tingkat lunak 1a pada tingkat 2 sampai 12.

2) Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b

Tingkat 1 = 60 % Simpangan di atasnya

= 60 % x 41,433

= 29,007

Cek = 22,57< 6,2777 (Tidak ada)

atau

Tingkat 1 = 80 % kekakuan rata – rata 3 tingkat di atasnya

= 80 % ((41,433+45,099+44,377)/3)

= 34,909

Cek = 22,57 < 34,909 (Tidak ada)

Pada hasil analisis terdapat ketidakberaturan tingkat lunak untuk 1a dan 1b pada kedua arah beban gempa *Time History*. Hal ini dikarenakan simpangan yang dihasilkan akibat beban gempa *Time History* tidak membentuk garis diagonal. Hasil analisis ketidakberaturan 1a dan 1b dengan beban gempa *Time History* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 50 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah X *Time History*

Tingkat	Arah X				
	Simpangan mm	70%	Cek	80%	Cek
12	9,608107				
11	14,26621	6,725675	Ada	7,686486	Ada
10	19,59807	9,98635	Ada	9,549729	Ada
9	25,30354	13,71865	Ada	11,59264	Ada
8	30,46057	17,712475	Ada	15,77809	Ada
7	34,94346	21,3224	Ada	20,09658	Ada
6	38,45993	24,460425	Ada	24,18869	Ada
5	42,11743	26,92195	Ada	27,69706	Ada
4	44,37714	29,4822	Ada	30,80555	Ada
3	45,09921	31,064	Ada	33,3212	Ada
2	41,43386	31,56945	Ada	35,09168	Ada
1	22,57004	29,0037	Tidak Ada	34,90939	Tidak Ada

Tabel 5. 51 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah Y *Time History*

Tingkat	Arah Y				
	Simpangan mm	60%	Cek	70%	Cek
12	9,608				
11	14,266	5,7648	Ada	6,7256	Ada
10	19,598	8,5597	Ada	8,3560	Ada
9	25,303	11,7588	Ada	10,1435	Ada
8	30,460	15,1821	Ada	13,8058	Ada
7	34,943	18,2763	Ada	17,5845	Ada
6	38,459	20,9660	Ada	21,1651	Ada
5	42,117	23,0759	Ada	24,2349	Ada
4	44,377	25,2704	Ada	26,9548	Ada
3	45,099	26,6262	Ada	29,1560	Ada
2	41,433	27,0595	Ada	30,7052	Ada
1	22,570	24,8603	Tidak Ada	30,5457	Tidak Ada

3. Perbandingan Ketidakberaturan Horizontal

   Hasil pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b tiap beban gempa dapat dilihat pada tabel dibawha ini.

Tabel 5. 52 Perbandingan Ketidakberaturan Torsi 1a Arah X

Tingkat	Ketidakberaturan Torsi 1a		
	Statik Ekivalen	Respon Spektrum	*Time History*
12	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel 5. 53 Perbandingan Ketidakberaturan Torsi 1a Arah Y

Tingkat	Ketidakberaturan Torsi 1a		
	Statik Ekivalen	Respon Spektrum	*Time History*
12	Ada	Ada	Tidak Ada
11	Ada	Ada	Tidak Ada
10	Ada	Ada	Tidak Ada
9	Ada	Ada	Tidak Ada
8	Ada	Ada	Tidak Ada
7	Ada	Ada	Tidak Ada
6	Ada	Ada	Tidak Ada
5	Ada	Ada	Tidak Ada
4	Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Ada	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel 5. 54 Perbandingan Ketidakberaturan Torsi Berlebihan 1b Arah X

Tingkat	Ketidakberaturan Torsi 1a		
	Statik Ekivalen	Respon Spektrum	*Time History*
12	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel 5. 55 Perbandingan Ketidakberaturan Torsi Berlebihan 1b Arah Y

Tingkat	Ketidakberaturan Torsi 1a		
	Statik Ekivalen	Respon Spektrum	*Time History*
12	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada

Pada perbandingan di atas untuk arah x beban gempa Statik Ekivalen, Respon Spektrum tidak menunjukkan adanya Ketidakberaturan torsi 1a. Namun pada arah y beban gempa Statik Ekivalen menimbulkan adanya ketidakberaturan torsi 1a pada semua tingkat. Beban gempa Respon Spektrum juga menunjukkan hal yang sama pada tingkat 5 sampai dengan 12. Berbeda dengan kedua beban gempa, gempa *Time History* tidak terdapat ketidakberaturan. Namun apabila dilihat pada tiap *Time History* beberapa akselerogram gempa menimbulkan adanya torsi. Keterangan ini dapat dilihat pada lampiran.

Ketidakberaturan torsi berlebihan 1b didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan Ax = 1,0, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata. Berdasarkan perbandingan di atas Nilai perbandingan simpangan maksimum terhadap simpangan rata – rata pada beban gempa Statik Ekivalen, Respon Spektrum, dan *Time History* tidak melebihi 1,4 sehingga ketidakberaturan torsi berlebihan 1b tidak ditemukan baik untuk arah x maupun arah y.

4. Perbandingan Ketidakberaturan Vertikal

   Perbandingan hasil ketidakberatuan vertikal 1a dan 1b ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 56 Perbandingan Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a Arah X

Tingkat	Ketidakberaturan Torsi 1a		
	Statik Ekivalen	Respon Spektrum	*Time History*
12	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
11	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
10	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
9	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
8	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
7	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
6	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
5	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
4	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
3	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
2	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
1	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel 5. 57 Perbandingan Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a ArahY

Tingkat	Ketidakberaturan Torsi 1a		
	Statik Ekivalen	Respon Spektrum	*Time History*
12	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
11	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
10	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
9	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
8	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
7	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
6	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
5	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
4	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
3	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
2	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
1	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel 5. 58 Perbandingan Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah X

Tingkat	Ketidakberaturan Torsi 1a		
	Statik Ekivalen	Respon Spektrum	*Time History*
12	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel 5. 59 Perbandingan Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1b Arah Y

Tingkat	Ketidakberaturan Torsi 1a		
	Statik Ekivalen	Respon Spektrum	*Time History*
12	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
11	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
10	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
9	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
8	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
7	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
6	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
5	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
4	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
3	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
2	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada
1	Tidak Ada	Tidak Ada	Ada

Pada perbandingan di atas untuk arah x dan arah y beban gempa Statik Ekivalen, Respon Spektrum tidak menunjukkan adanya Ketidakberaturan tingkat lunak 1b. Namun pada beban *Time History* terdapat adanya ketidakberaturan tingkat lunak

1a dan 1b pada tingkat 2 sampai 12 untuk arah x dan arah y. Hal ini dikarenakan nilai simpangan yang digunakan tidak membentuk garis diagonal. Beban gempa *Time History* menunjukkan adanya kekakuan lateral yang kurang tiap tingkat struktur.

5.9 Analisis Dan Perbandingan Gaya Dalam

Gaya dalam didapatkan pada elemen balok dan kolom. Gaya dalam balok berupa momen dan gaya geser sedangkan pada kolom terdapat momen, gaya aksial, dan gaya geser. Berikut adalah hasil gaya – gaya dalam pada ketiga beban gempa.

1. Statik Ekivalen
   a. Gaya dalam Balok

      Pada balok terdapat gaya dalam berupa momen dan gaya geser. Kedua gaya dalam ini bekerja pada daerah tumpuan dan lapangan. Dalam mengambil gaya dalam pada balok dipilih balok BIL 1 karena memiliki bentang terpanjang yakni 8 m. Nilai reaksi yang diambil berupa momen dan gaya geser pada tumpuan balok agar memperlihatkan nilai yang ekstrim. Hasil momen pada balok BIL dengan beban gempa Statik Ekivalen dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5. 60 Momen dan Gaya Geser Pada BIL 1 Statik Ekivalen

Tingkat	Jenis balok	Kode Balok	Momen Tumpuan (kNm)		Momen Lapangan (kNm)		Gaya Geser (kN)	
			M-	M+	M-	M+	tumpuan	lapangan
12	B1	BIL 1	-150,447	77,389	1,849	89,923	-97,345	-54,215
11	B1	BIL 1	-234,779	97,596	-21,000	104,463	-128,985	-80,140
10	B1	BIL 1	-283,551	118,920	-42,235	119,002	-142,656	-93,212
9	B1	BIL 1	-331,269	157,664	-62,939	136,677	-155,512	96,459
8	B1	BIL 1	-369,726	198,810	-79,888	151,560	-165,940	-115,417
7	B1	BIL 1	-400,122	231,718	-93,519	163,147	-174,107	-123,226
6	B1	BIL 1	-422,755	256,994	-103,976	171,750	-180,130	-129,002
5	B1	BIL 1	-438,328	275,325	-111,561	177,604	185,558	-132,920
4	B1	BIL 1	-447,114	286,968	-116,399	183,413	189,674	-135,056
3	B1	BIL 1	-447,242	290,275	-117,729	186,513	191,420	136,865
2	B1	BIL 1	-431,272	276,411	-112,330	182,016	188,222	134,212
1	B1	BIL 1	-364,392	208,352	-83,324	158,844	-161,577	117,043

Berdasarkan hasil analisis nilai momen negatif (M-) pada tumpuan terbesar terjadi pada tingkat 3 sebesar -447,242 kNm dan yang terkecil terjadi pada tingkat 12 senilai -150,447 kNm. Pada gaya geser balok nilai terbesar terjadi pada tingkat 3 sebesar 191,42 kN sedangkan nilai terkecil terdapat pada tingkat 12 senilai -54,2155 kN.

b. Gaya dalam Kolom

Pada kolom terjadi gaya aksial (P) dan gaya geser (V). Gaya geser bekerja pada daerah tumpuan dan lapangan. Untuk mengetahui gaya dalam yang terjadi diambil kolom yang mengalami gaya aksial tertinggi. Berdasarkan analisis *ETABS* Kolom K3 dengan kode c32 menghasilkan gaya aksial terbesar. Sehingga kolom K3 dipilih sebagai kolom acuan pembanding untuk gaya – gaya dalam yang terjadi pada ketiga beban gempa. Hasil analisis gaya dalam dapat dilihat pada tabel 5.61 di bawah ini.

Tabel 5. 61 Gaya Dalam Pada Kolom K3 Statik Ekivalen

Tingkat	Kode	Jenis	Gaya Aksial (kN)	Gaya Geser (kN)	
				Tumpuan	Lapangan
12	C32	K3	-349,332	49,328	49,328
11	C32	K3	-760,905	70,816	70,816
10	C32	K3	-1177,233	93,148	93,148
9	C32	K3	-1601,978	110,899	110,899
8	C32	K3	-2039,343	125,385	125,385
7	C32	K3	-2485,223	136,677	136,677
6	C32	K3	-2940,099	145,180	145,180
5	C32	K3	-3404,551	151,187	151,187
4	C32	K3	-3879,297	155,174	155,174
3	C32	K3	-4368,117	156,314	156,314
2	C32	K3	-4867,426	157,566	157,566
1	C32	K3	-5378,205	132,207	132,207

Berdasarkan hasil analisis di atas gaya aksial terbesar terjadi pada kolom K32 dengan jenis Kolom K3. Nilai Gaya Aksial terbesar yang ditumpu adalah 5378,2054 kN. Gaya aksial dan geser terbesar terjadi pada tingkat bawah dan semakin kecil pada tingkat atas. Untuk nilai gaya geser pada tumpuan maupun

lapangan bekerja sama besar. Nilai gaya geser terbesar pada kolom di tingkat 3.

2. Respon Spektrum

a. Balok

Hasil gaya dalam balok BIL 1 dengan beban gempa Respon Spektrum dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 62 Momen dan Gaya Geser Pada BIL 1 Respon Spektrum

Tingkat	Jenis balok	Kode Balok	Momen Tumpuan (kNm)		Momen Lapangan (kNm)		Gaya Geser (kN)	
			M-	M+	M-	M+	tumpuan	lapangan
12	B1	BIL 1	-143,806	75,182	4,968	90,177	-95,876	-52,765
11	B1	BIL 1	-219,473	91,770	-13,612	101,402	-125,208	-76,441
10	B1	BIL 1	-254,716	108,017	-28,293	112,364	-135,453	-86,301
9	B1	BIL 1	-287,456	120,007	-41,999	120,176	-144,397	-94,887
8	B1	BIL 1	-311,569	132,396	-52,357	129,390	-151,052	-101,3
7	B1	BIL 1	-330,348	152,423	-60,665	136,515	-156,163	-106,243
6	B1	BIL 1	-346,009	169,754	-67,837	142,448	-160,386	-110,347
5	B1	BIL 1	-360,582	186,350	-74,707	147,936	-164,277	-114,147
4	B1	BIL 1	-374,533	202,645	-81,474	153,113	-167,958	-117,759
3	B1	BIL 1	-384,801	215,928	-86,932	157,018	-170,631	-120,41
2	B1	BIL 1	-381,948	215,715	-87,196	156,883	-169,464	-119,387
1	B1	BIL 1	-325,38	166,797	-66,027	141,548	-154,058	-104,689

Berdasarkan hasil analisis nilai momen negatif (M-) pada tumpuan terbesar terjadi pada tingkat 3 sebesar -384,801 kNm dan yang terkecil terjadi pada tingkat 12 senilai -143,806 kNm. Pada gaya geser balok nilai terbesar terjadi pada tingkat 3 sebesar 170,631 kN sedangkan nilai terkecil terdapat pada tingkat 12 senilai -52,765kN.

b. Kolom

Pada kolom terjadi gaya aksial (P) dan gaya geser (V). Gaya geser bekerja pada daerah tumpuan dan lapangan. Untuk mengetahui gaya dalam yang terjadi diambil kolom yang mengalami gaya aksial tertinggi. Berdasarkan hasil analisis gaya aksial terbesar terjadi pada kolom K32 dengan jenis Kolom K3. Nilai Gaya Aksial terbesar yang ditumpu adalah 5300,337 kN. Untuk nilai gaya geser pada tumpuan maupun lapangan bernilai sama besar. Nilai

gaya geser terbesar terjadi pada daerah tumpuan kolom di tingkat 1 senilai 107,692 kN dan terkecil pada tingkat12 yakni 46,5319 kN. Hasil analisis gaya dalam dapat dilihat pada tabel 5.37 di bawah ini.

Tabel 5. 63 Gaya Dalam Pada Kolom K3 Respon Spektrum

Tingkat	Kode	Jenis	Gaya Aksial(kN)	Gaya Geser (kN)	
				Tumpuan	Lapangan
12	C32	K3	-348,575	46,531	46,531
11	C32	K3	-741,699	59,737	59,737
10	C32	K3	-1179,481	74,365	74,365
9	C32	K3	-1602,782	84,900	84,900
8	C32	K3	-2032,528	93,228	93,228
7	C32	K3	-2469,166	100,050	100,050
6	C32	K3	-2913,758	106,282	106,282
5	C32	K3	-3367,641	112,450	112,450
4	C32	K3	-3832,256	118,752	118,752
3	C32	K3	-4309,184	123,640	123,640
2	C32	K3	-4797,809	128,606	128,606
1	C32	K3	-5300,337	107,692	107,692

3. *Time History*

a. Balok

Hasil gaya dalam balok BIL 1 dengan beban gempa *Time History* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 64 Momen dan Gaya Geser Pada BIL 1 *Time History*

Tingkat	Jenis Balok	Kode Balok	Momen Tumpuan (kNm)		Momen Lapangan (kNm)		Gaya Geser (kN)	
			M-	M+	M-	M+	tumpuan	lapangan
12	B1	BIL 1	-143,02	74,890	-5,290	89,895	95,531	52,524
11	B1	BIL 1	-218,44	90,055	-13,235	102,28	124,63	76,083
10	B1	BIL 1	-254,48	107,92	-26,631	112,06	134,92	85,298
9	B1	BIL 1	-286,58	119,69	-41,771	120,40	143,57	94,472
8	B1	BIL 1	-306,31	131,83	-50,358	127,46	149,06	99,734
7	B1	BIL 1	-316,07	141,46	-54,863	131,09	151,80	102,326
6	B1	BIL 1	-324,99	150,12	-59,190	133,15	153,75	104,491
5	B1	BIL 1	-336,29	162,59	-64,848	138,48	156,38	107,268
4	B1	BIL 1	-348,66	177,22	-69,307	143,03	152,52	116,542
3	B1	BIL 1	-354,14	185,37	-74,425	145,07	160,69	111,751
2	B1	BIL 1	-346,14	179,96	-72,374	142,06	158,29	109,076
1	B1	BIL 1	-293,07	136,54	-52,299	128,25	145,17	96,246

Berdasarkan hasil analisis nilai momen negatif (M-) pada tumpuan terbesar terjadi pada tingkat 3 sebesar -354,159 kNm dan yang terkecil terjadi pada tingkat 12 senilai -144,11 kNm. Pada gaya geser balok nilai terbesar terjadi pada tingkat 3 sebesar 144,11 kN sedangkan nilai terkecil terdapat pada tingkat 12 senilai -52,765kN. Semakin tinggi tingkat semakin kecil momen yang bekerja.

b. Kolom

Pada kolom terjadi gaya aksial (P) dan gaya geser (V). Gaya geser bekerja pada daerah tumpuan dan lapangan. Gaya aksial terjadi akibat tekanan vertikal dari beban mati yang menyusun struktur. Gaya geser pada kolom terjadi akibat kolom yang menumpu beban di atasnya dan gaya gempa yang terjadi pada struktur. Untuk mengetahui gaya dalam yang terjadi diambil kolom yang mengalami gaya aksial tertinggi. Hasil analisis gaya dalam dapat dilihat pada tabel 5.65 di bawah ini.

Tabel 5. 65 Gaya Dalam Pada Kolom K3 *Time History*

Tingkat	Kode	Jenis	Gaya Aksial (kN)	Gaya Geser (kN)	
				Tumpuan	Lapangan
12	C32	K3	341,952	42,620	42,620
11	C32	K3	759,478	60,8955	60,895
10	C32	K3	1178,06	76,5241	76,524
9	C32	K3	1602,554	88,2155	88,215
8	C32	K3	2033,032	96,3792	96,379
7	C32	K3	2470,255	102,105	102,105
6	C32	K3	2914,037	107,168	107,168
5	C32	K3	3365,695	112,165	112,165
4	C32	K3	3827,172	115,885	115,885
3	C32	K3	4270,449	120,878	120,878
2	C32	K3	4782,757	128,339	128,339
1	C32	K3	5280,361	106,994	106,994

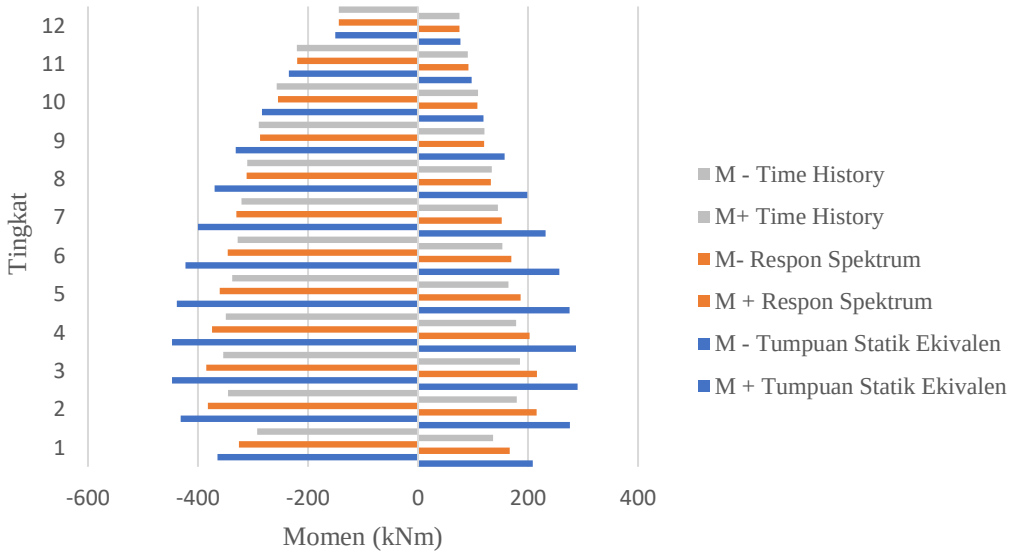
Berdasarkan hasil analisis di atas gaya aksial terbesar terjadi pada kolom K32 dengan jenis Kolom K3. Nilai Gaya Aksial terbesar yang ditumpu adalah 5280,361 kN. Gaya dalam berangsur – angsur menurun pada tingkat atas. Nilai gaya geser terbesar terjadi pada daerah tumpuan kolom di tingkat 1 senilai 106,994 kN dan terkecil pada tingkat 12 yakni 42,6205 kN.

4. Perbandingan Gaya Dalam

Haisl analisis gaya dalam tiap – tiap beban gempa memberikan nilai yang berbeda – beda. Untuk mengetahui nilai perbandingan gaya dalam pada balok BIL 1 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 66 Momen Tumpuan Pada BIL 1 Statik Ekivalen, Respon Spektrum, *Time History*

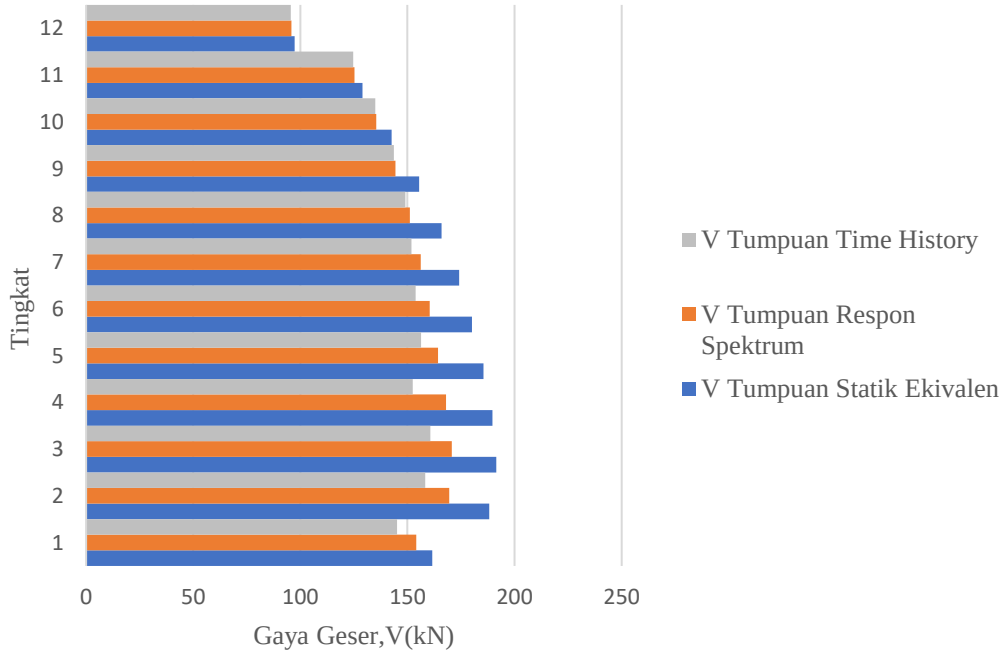
Tingkat	Jenis Balok	Kode Balok	Statik Ekivalen (kNm)		Respon Spektrum (kNm)		*Time History* (kNm)	
			M-	M+	M-	M+	M-	M+
12	B1	BIL 1	150,44	77,38	143,80	75,12	-143,02	74,890
11	B1	BIL 1	234,77	97,59	219,47	91,77	-218,44	90,055
10	B1	BIL 1	283,55	118,92	254,71	108,01	-254,48	107,92
9	B1	BIL 1	331,26	157,66	287,45	120,00	-286,58	119,69
8	B1	BIL 1	369,72	198,81	311,56	132,39	-306,31	131,83
7	B1	BIL 1	400,12	231,71	330,34	152,42	-316,07	141,46
6	B1	BIL 1	422,75	256,99	346,00	169,75	-324,99	150,12
5	B1	BIL 1	438,32	275,32	360,58	186,35	-336,29	162,59
4	B1	BIL 1	447,11	286,96	374,53	202,64	-348,66	177,22
3	B1	BIL 1	447,24	290,27	384,80	215,92	-354,14	185,37
2	B1	BIL 1	431,27	276,41	381,94	215,71	-346,14	179,96
1	B1	BIL 1	364,39	208,35	325,38	166,79	-293,07	136,54



Gambar 5. 20 Diagram Batang Momen Tumpuan BIL 1 Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History*

Tabel 5. 67 Gaya Geser Tumpuan Pada BIL 1 Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History*

Tingkat	Jenis Balok	Kode Balok	Statik Ekivalen (kN)		Respon Spektrum (kN)		*Time History* (kN)	
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
12	B1	BIL 1	97,345	52,765	95,876	52,765	95,8040	52,795
11	B1	BIL 1	128,980	76,441	125,208	76,441	125,088	76,537
10	B1	BIL 1	142,650	86,301	135,453	86,301	135,522	85,774
9	B1	BIL 1	155,510	94,887	144,397	94,887	144,321	95,238
8	B1	BIL 1	165,940	101,299	151,052	101,3	150,058	100,743
7	B1	BIL 1	174,100	106,242	156,163	106,243	153,026	103,562
6	B1	BIL 1	180,130	110,347	160,386	110,347	154,409	105,192
5	B1	BIL 1	185,550	114,147	164,277	114,147	156,647	107,622
4	B1	BIL 1	189,674	117,758	167,958	117,759	151,415	117,714
3	B1	BIL 1	191,420	120,409	170,631	120,41	160,589	111,7133
2	B1	BIL 1	188,222	119,387	169,464	119,387	158,068	108,815
1	B1	BIL 1	161,570	104,688	154,058	104,689	145,162	96,149



Gambar 5. 21 Diagram Batang Gaya Geser Tumpuan BIL 1 Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History*

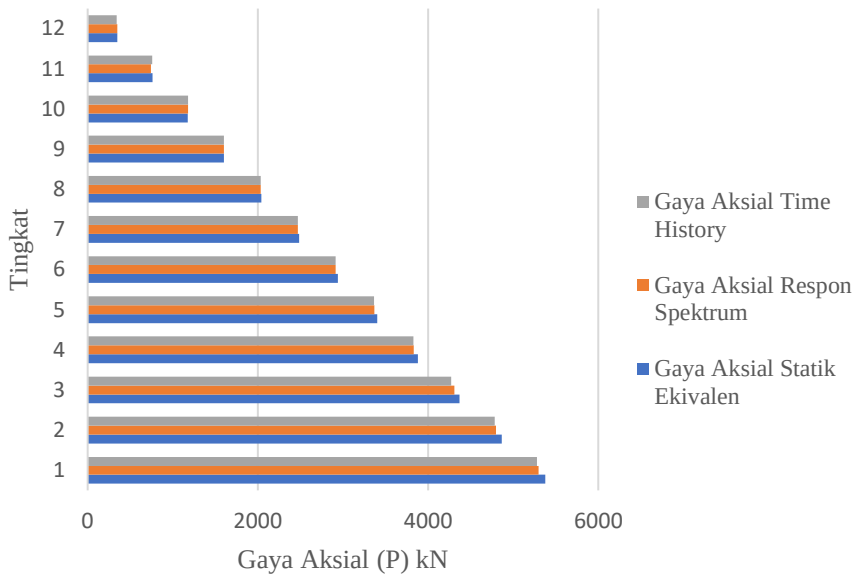
Berdasarkan hasil analisis gaya dalam pada balok BIL 1 di atas momen tumpuan terbesar terjadi pada tingkat 3 sebesar 447,242 kNm dengan gempa Statik Ekivalen. Gempa Statik Ekivalen menghasilkan momen terbesar pada tingkat 1 – 12 dibandingkan kedua beban gempa lainnya. Namun pada tingkat 11 dan 12 momen dari gempa Respon Spektrum dan *Time History* hampir mendekati hasil dari Statik Ekivalen. Hal ini sejalan dengan (Fadhilah & Waludjodjati, 2020) bahwa gaya seismik mengalami perubahan mendasar pada 5 sampai 10 tingkat. Berdasarkan hasil analisis gaya dalam pada balok BIL 1 di atas gaya geser tumpuan terbesar terjadi pada tingkat 3 sebesar 191,42 8 kN dengan gempa Statik Ekivalen. Sedangkan untuk gaya geser tumpuan terkecil terjadi pada tingkat 12 senilai 95,084 kNm. Gempa Statik Ekivalen memberikan gaya geser terbesar pada tingkat 1 – 12 dibandingkan kedua beban gempa lainnya.

5. Kolom

Nilai perbandingan gaya aksial pada Kolom K3 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. 68 Hasil Gaya Aksial Kolom K3 Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History*

Tingkat	Kode	Jenis	Gaya Aksial (P) kN		
			Statik Ekivalen	Respon Spektrum	*Time History*
12	C32	K3	349,3325	348,5758	341,9528
11	C32	K3	760,9058	741,6997	759,4789
10	C32	K3	1177,233	1179,482	1178,069
9	C32	K3	1601,979	1602,783	1602,554
8	C32	K3	2039,343	2032,529	2033,032
7	C32	K3	2485,224	2469,166	2470,255
6	C32	K3	2940,099	2913,758	2914,037
5	C32	K3	3404,552	3367,642	3365,695
4	C32	K3	3879,298	3832,257	3827,172
3	C32	K3	4368,118	4309,184	4270,449
2	C32	K3	4867,426	4797,81	4782,757
1	C32	K3	5378,205	5300,337	5280,361

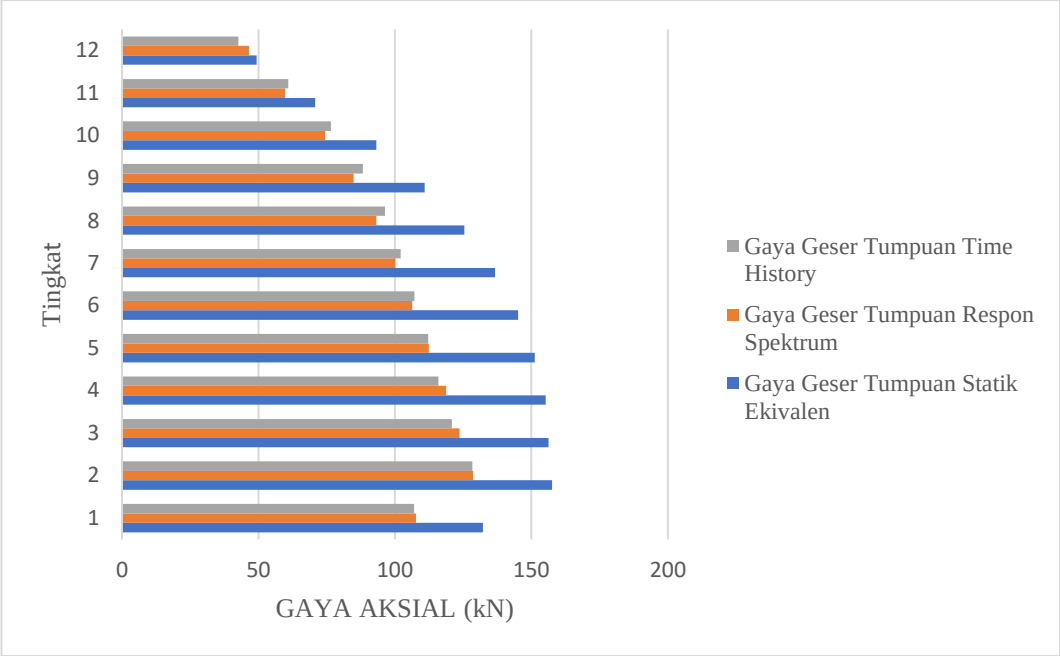


Gambar 5. 22 Diagram Batang Gaya Aksial Tumpuan BIL 1 Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History*

Berdasarkan hasil analisis gaya dalam pada Kolom K3 di atas gaya aksial terbesar terjadi pada tingkat 1 sebesar 5378,205 kN dengan gempa Statik Ekivalen. Sedangkan untuk gaya aksial terkecil terjadi pada tingkat 12 senilai 341,952 kN. Gempa Statik Ekivalen memberikan gaya aksial terbesar pada tingkat 1 – 12 dibandingkan kedua beban gempa lainnya.

Tabel 5. 69 Gaya Geser Tumpuan Pada K3 Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History*

Tingkat	Jenis Kolom	Kode Kolom	Statik Ekivalen		Respon Spektrum		*Time History*	
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
12	C32	K3	49,328	49,328	46,5319	46,5319	42,6205	42,62051
11	C32	K3	70,8168	70,8168	59,7377	59,7377	60,8955	60,89554
10	C32	K3	93,1487	93,1487	74,3656	74,3656	76,5241	76,52413
9	C32	K3	110,8999	110,899	84,9004	84,9004	88,2155	88,21554
8	C32	K3	125,3855	125,385	93,2289	93,2289	96,3792	96,37926
7	C32	K3	136,6771	136,677	100,050	100,050	102,105	102,1056
6	C32	K3	145,1804	145,180	106,282	106,282	107,168	107,1687
5	C32	K3	151,1871	151,187	112,450	112,450	112,165	112,1655
4	C32	K3	155,1741	155,174	118,752	118,752	115,885	115,8856
3	C32	K3	156,314	156,314	123,640	123,640	120,878	120,878
2	C32	K3	157,5667	157,566	128,606	128,606	128,339	128,3392
1	C32	K3	132,2074	132,207	107,692	107,692	106,994	106,9946



Gambar 5. 23 Diagram Batang Gaya Geser Tumpuan Kolom K3 Statik Ekivalen, Respon Spektrum, Dan *Time History*

Berdasarkan hasil analisis gaya dalam pada Kolom K3 di atas gaya geser tumpuan terbesar terjadi pada tingkat 3 sebesar 156,314 kN dengan gempa Statik Ekivalen. Sedangkan untuk gaya geser tumpuan terkecil terjadi pada tingkat 12 senilai 42,6205 kNm. Gempa Statik Ekivalen memberikan gaya geser terbesar pada tingkat 1 – 12 dibandingkan kedua beban gempa lainnya.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan seperti di bawah ini.

1. Gaya geser dasar terbesar dihasilkan oleh beban gempa statik ekivalen baik arah x dan arah y. Nilai gaya geser dasar Respon Spektrum mengalami penurunan terhadap beban gempa Statik Ekivalen pada arah x sebesar 19 % dan arah y 13%. Sedangkan gempa *Time History* menurun untuk arah x sebesar 23 % dan arah y sebesar 29%. Beban gempa *Time History* menghasilkan gaya geser dasar terkecil dibandingkan kedua beban gempa lainnya.
2. Pada ketiga beban gempa nilai simpangan yang dihasilkan meningkat pada tingkat 1 sampai dengan 4 dan menurun pada tingkat 5 sampai dengan 12. Simpangan terbesar pada beban gempa statik ekivalen terjadi pada tingkat ke-4 namun pada beban gempa Respon Spektrum, dan *Time History* lebih dahulu terjadi pada tingkat ke-3. Simpangan terbesar pada tingkat 1 sampai dengan 12 dihasilkan oleh beban gempa Statik Ekivalen.
3. Struktur mengalami ketidakberaturan torsi 1a pada beban gempa Statik Ekivalen dan Respon Spektrum untuk arah y sedangkan pada gempa *Time History* tidak ada. Ketidakberaturan tingkat lunak 1a dan 1b tidak terdapat pada gempa Statik Ekivalen maupun Respon Spektrum, namun pada pada gempa *Time History* struktur menunjukkan ketidakberaturan tingkat lunak 1a dan 1b pada tingkat 2 – 12.
4. Hasil perbandingan gaya dalam pada elemen balok dan kolom beban gempa Statik Ekivalen menunjukkan nilai terbesar. Namun pada momen tumpuan ketiga beban gempa tidak menunjukkan perbedaan terlalu jauh pada balok tingkat 11 dan 12. Begitu juga nilai gaya geser balok untuk beban gempa Statik Ekivalen, Respon Spektrum dan *Time History* hampir mendekati pada tingkat 10 – 12.

6.2 Saran

1. Beban gempa Statik Ekivalen memberikan pengaruh terbesar sehingga dalam desain atau analisis metode ini dapat digunakan sebagai batas maksimum untuk tinjauan awal respon strukturnya.
2. Dimensi elemen struktur yang digunakan seragam untuk semua lantai akan lebih baik jika data elemen yang digunakan sesuai data lapangan sehingga memberikan respon yang beragam.
3. Pada penelitian ini nilai gaya geser dasar tidak dilakukan penskalaan gaya atau murni tiap beban gempa hal ini memberikan perbedaan respon struktur yang signifikan antar beban gempa sehingga penelitian ini dapat dikembangkan.

DAFTAR PUSTAKA

Anggraeni, Rani, M. syarif Alhuseiny, dan Asniar Novi. 2020. "Analisis Struktur Tahan Gempa Hotel Santika Tasikmalaya Dengan Metode Analisis Statik Dan Dinamik Time History." *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 1: 32–42.

Annisa, Aulia, I Gusti Made Oka, dan Gidion Turru'allo. 2020. "Perbandingan Beban Gempa Rencana Hasil Analisis Menggunakan Metode Statik Ekivalen Dan Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726-2012." *Jurnal Sains dan Teknologi Tadalako* 6: 33–47.

Badan Standardisasi Nasional (b). 2019. "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung." *Sni 1726:2019* (8): 254.

Badan Standardisasi Nasional Kepada Yth Sekretaris Badan Penelltian dan Pengembangan, Kepala. 1034. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*.

Bayinah, Dilla Ayu Laila Nurul, dan Faimun. 2017. "Studi Perbandingan Analisis Respon Spektra dan time history untuk desain gedung." *Jurnal Teknik ITS* 6.

Fadilah, Hafid Mohamad, dan Eko Walujodjati. 2020. "Perbandingan Pembebanan Gempa Bangunan Bertingkat Menggunakan Analisis Static Equivalent dan Analisis Dynamic Time History di Kab. Garut." *Jurnal Konstruksi* 18(1): 20–30. doi:10.33364/konstruksi/v.18-1.780.

Gere, J.M., Timoshenko, S.P. 1997. "Mekanika Bahan." *Mekanika Bahan* (21010121130114): 6.

Hermansyah, A, S K Budhi, M Agus, dan P . Penggunaan. 2020. 5 Journal of Electrical Technology *Penggunaan Sensor Vibration Sebagai Antisipasi Gempa Bumi Dosen Teknik Informatika-ITM 2)*.

Nasution, Amirsyam. 2014. "Statika struktur 3." : 1–48.

Nurul Hidayati, Hariyadi, dan Mukhta Riqi Sab'it Tibaq. 2023. "Analisa ketidakberaturan horizontal dan vertikal pada struktur gedung beton bertulang." *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa* 12(2): 235–43. doi:10.22225/pd.12.2.7653.235-243.

Pawirodikromo, Widodo. 2012. "Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan." *Universitas Islam Indonesia*: 656.

PBI. 1971. "Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971." *Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan* 7: 130.

Pusat Studi Gempa Nasional. 2022. *Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa*. Jakarta Selatan: Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan.

Rafiqa Putri, Mayangsari. 2022. "Analisis Respons Ketidakberatuan Horizontal Vertikal Pada Gedung Apartemen Tingkat Tinggi Dengan Menggunakan SNI 1726-2019."

Saputra, Elvis, dan Lalu Makrup. 2021. 6 *Deagregasi Hazard Dan Rekomendasi Ground Motion Sintetik Di Provinsi Riau*.

SNI 1727. 2020. Sni 1727-2020 *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Standarisasi Nasional*. Jakarta.

SNI 8899. 2020. "Tata Cara Pemilihan dan Modifikasi Gerak Tanah Permukaan untuk Perencanaan Gedung Tahan Gempa." *Badan Standarisasi Nasional 1727:2020* (8): 1–336.

Sunarto, Amira. 2018. Perbandingan Respons Struktur Gedung Tidak Beraturan Horisontal Akibat Gempa Dengan Analisis Statik Dan Dinamik.

Syafara, Annisa, Novi Rahmayanti, dan Elvis Saputra. 2023. "Analisis Respons Ketidakberaturan Horizontal Dan Vertikal Pada Gedung Perkuliahan Di Yogyakarta Dengan Menggunakan Sni 1726-2019." *Proceeding Civil Engineering Research Forum ISSN* 2(2): 22–33.

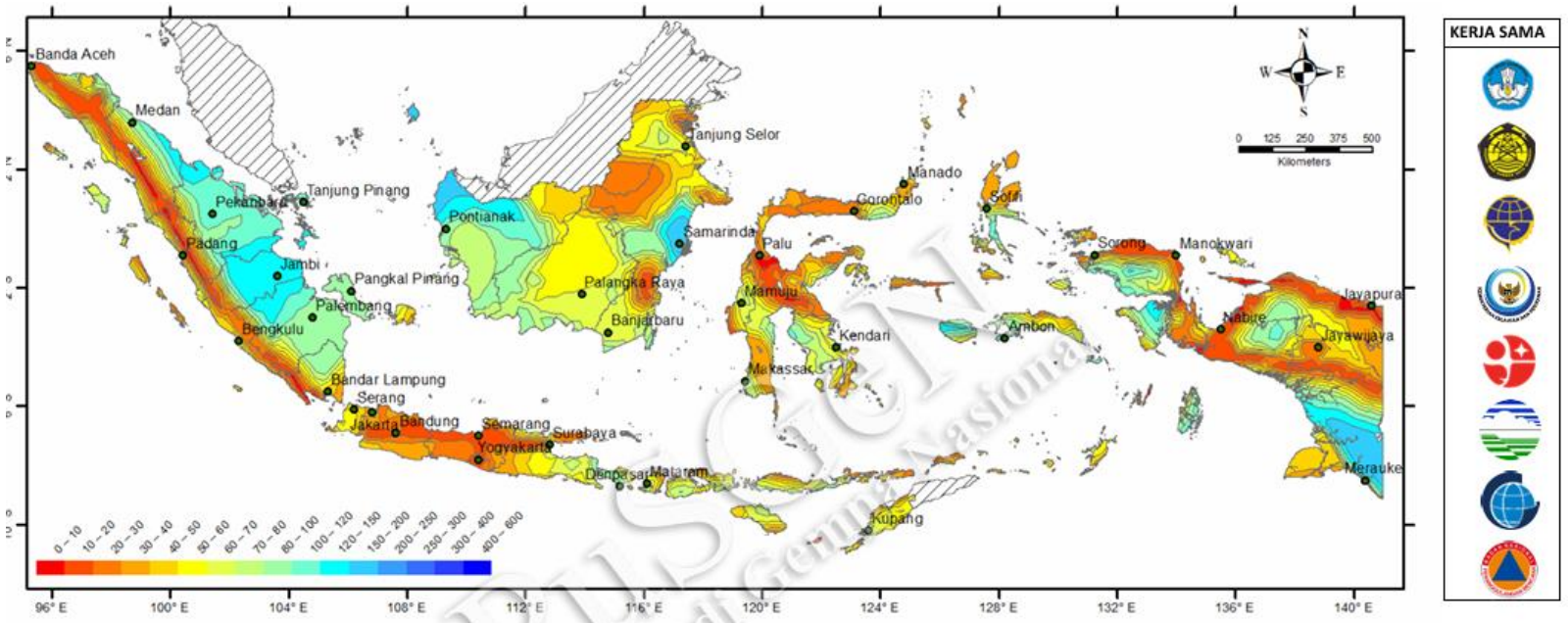
Syahrizal, Hasan, dan M Syahran Jailani. 2023. "Jenis-Jenis Penelitian Dalam Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif." 1: 13–23.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Jadwa Tugas Akkhir

No.	Uraia Pekerjaan	Jam Kerja	I				II				III				IV				V				VI				Ket
			M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	
A	Studi Literatur																										1
	Pengumpulan literatur terkait	24	1	2	5	7	9																				2
	penyusunan peraturan SNI	24	1	3	5	5	5	5																			3
B	Pengumpulan Data																										4
	Data struktur	12				1	3	3	5																		5
	data tanah	12					1	1	3	3	4																6
	Modeling struktur dengan sap	72						2	4	8	10	12	12	12	12												7
	pembuatan kombinasi pembebanan	24							1	5	5	6	7														8
	Input beban mati dan beban hidup	24								2	5	5	6	6													9
	Input beban gempa statik ekivalen	24									1	5	5	6	7												10
	input beban gempa respon spektrum	24										1	5	5	6	7											11
	input beban gempa time history	24											1	5	5	6	7										12
C	Analaisi dan Pembahasan																										13
	Analisis metode statik ekivalken	12												2	5	5											14
	Analisis metode respons spektrum	12														2	5	5									15
	Analisis metode time history	12															2	5	5								16
	Cek tidak beraturan	12																5	5	2							17
	Cek gaya geser dasar tiap metode analisis	12																	5	5	2						18
	Cek hasil displacement tiap metode analisis	12																		1	5	5	1				19
	Cek hasil gaya dalam tiap metode analisis	12																			1	5	5	1			20
	Rekap hasil tiap parameter analisis	12																				5	5	2			21
	Pembahasan dan kesimpulan	12																					5	5	2		22
D	Penyusunan Laporan																										23
	Laporan Sementara	72																	4	6	10	10	12	12	18		24
	laporan Akhir	48																	6	6	6	6	6	6	6	6	25
	Rencana mingguan (jam)	492	2	5	10	13	18	11	13	18	25	29	36	36	35	20	14	15	25	20	24	31	34	26	26	6	
	Jam kerja kumulatif (jam)		2	7	17	30	48	59	72	90	115	144	180	216	251	271	285	300	325	345	369	400	434	460	486	492	

Lampiran 2 Peta Deagregasi Jarak (R)



PETA DEAGREGASI BAHAYA GEMPA INDONESIA UNTUK PERENCANAAN DAN EVALUASI INFRASTRUKTUR TAHAN GEMPA

PuSGeN

Tim Penyusun :

1. Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE., Ph.D. (Penasehat)
2. Prof. Ir. Sri Widyantoro, M.Sc., Ph.D. (Ketua)
3. Ir. Lutfi Faizal (Wakil Ketua)
4. Dr. Ir. M. Asrurifak, MT. (Ketua Pokja PSHA merangkap ketua tim)
5. Dr. Mohamad Ridwan (Anggota Pokja Geofisika Gempa)
6. Jeremy Sean Kadarman, S.T. (Anggota Pokja PSHA)
7. Arifan Jaya Syahbana, S.T., M.Eng (Anggota Pokja PSHA)
8. Dr. Bambang Setiadi (Anggota Pokja PSHA)

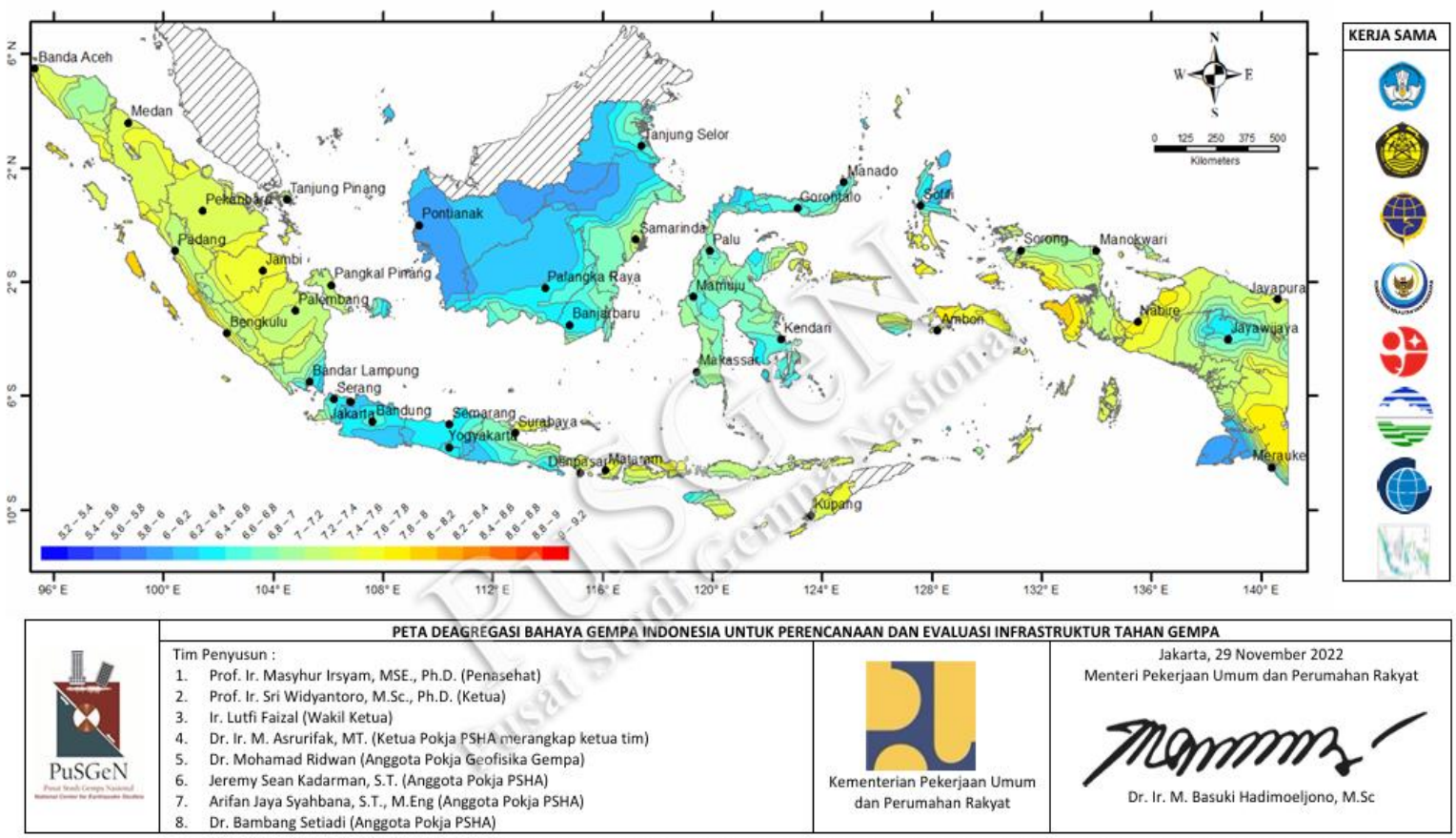
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Jakarta, 29 November 2022
Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Dr. Ir. M. Basuki Hadimoeljono, M.Sc

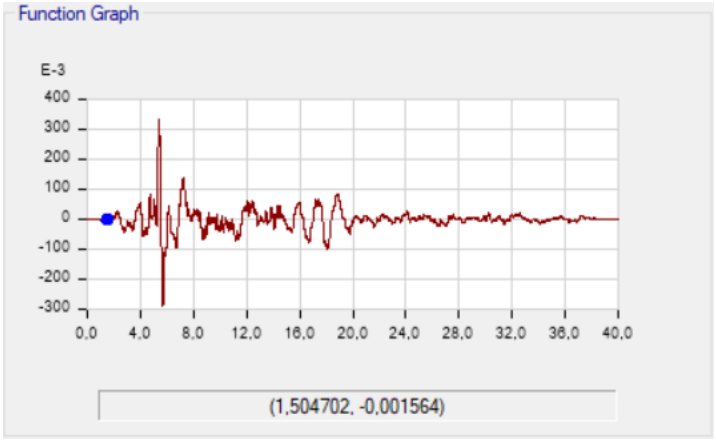
Gambar L2.48 Peta deagregasi Jarak (*R*) sumber gempa Sesar Dangkal pada percepatan spektrum respon 3-detik dengan redaman 5% untuk periode ulang 2500 tahun

Lampiran 3 Peta Deagregasi Maginitudo (M)

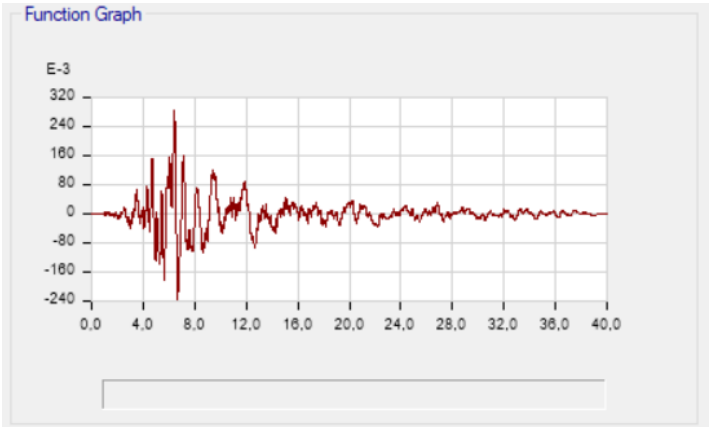


Gambar L2.66 Peta deagregasi Magnitudo (*M*) sumber gempa Sesar Dangkal pada percepatan spektrum respon 3-detik dengan redaman 5% untuk periode ulang 2500 tahun

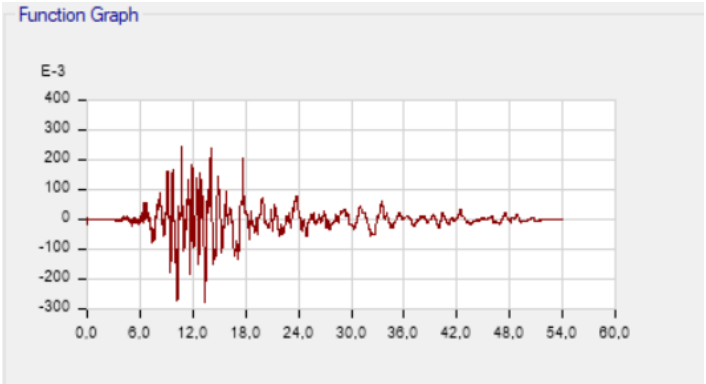
Lampiran 4 *Function Time History*



Imperial Valey X

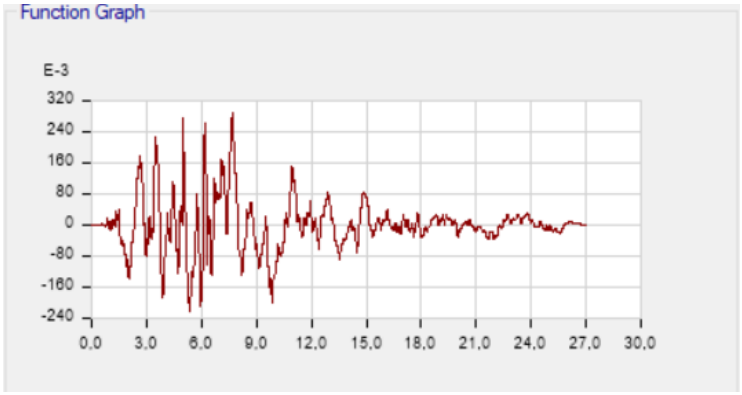


TH Imperial Valey Y

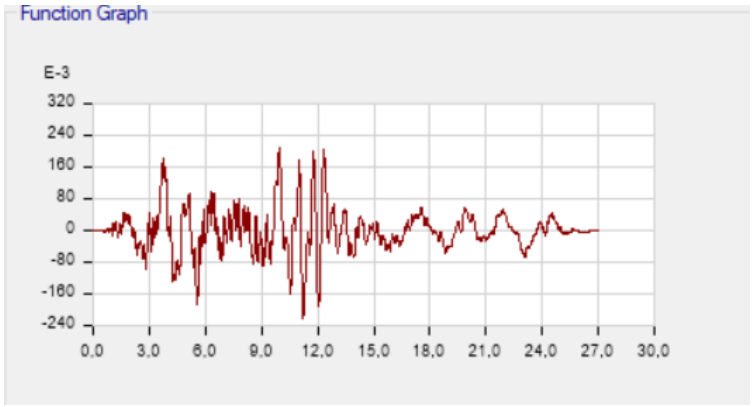


TH Kobe X

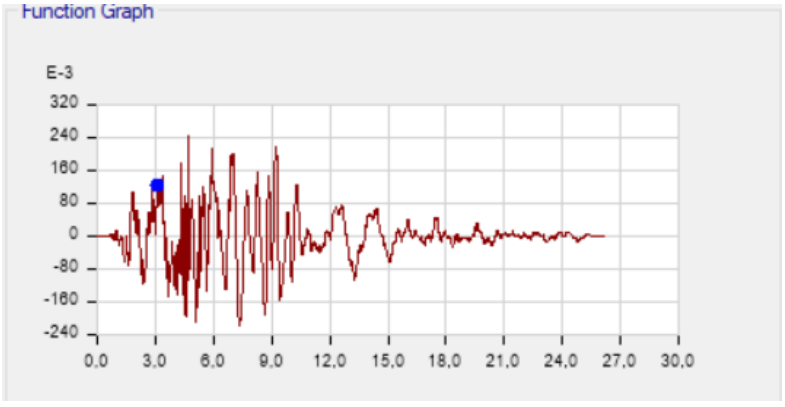
TH Kobe Y



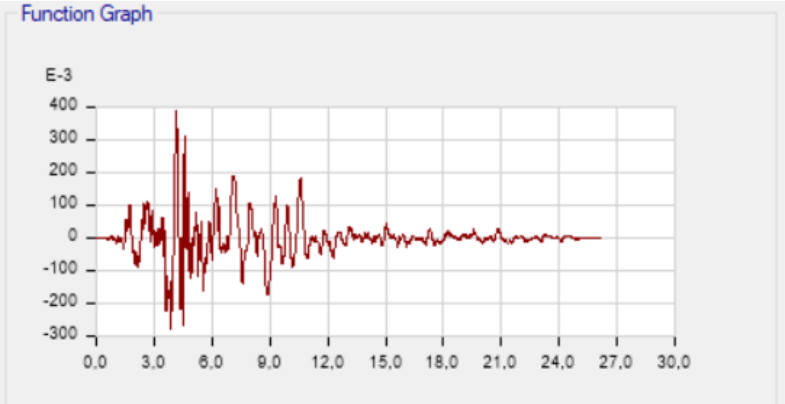
TH Victoria X



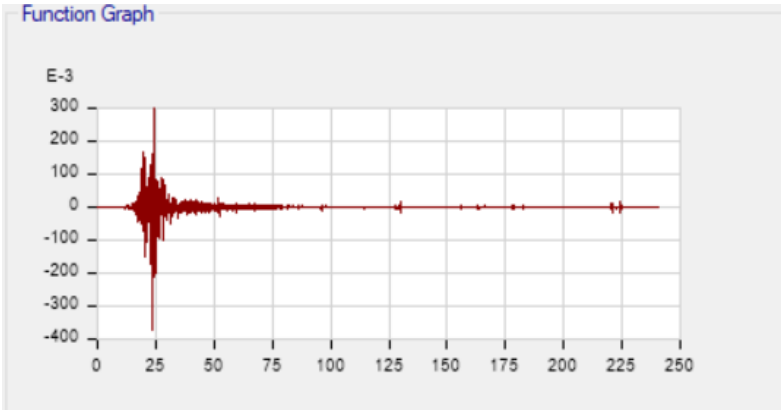
TH Victoria Y



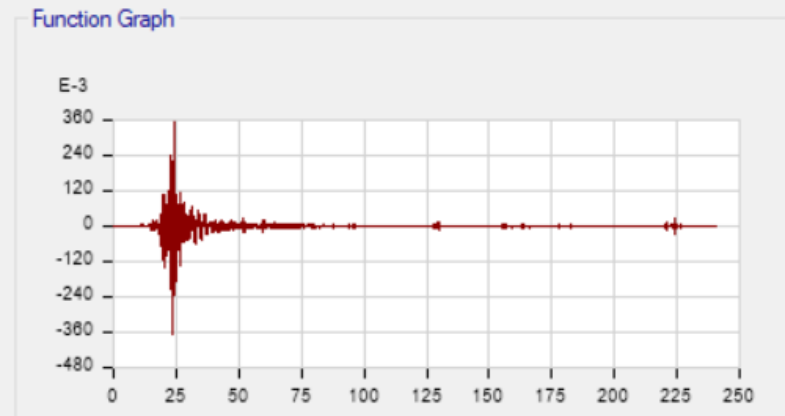
TH Parkfield X



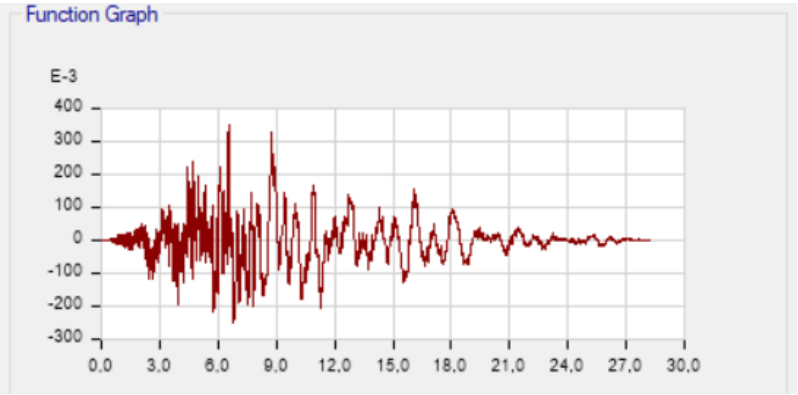
TH Parkfield Y



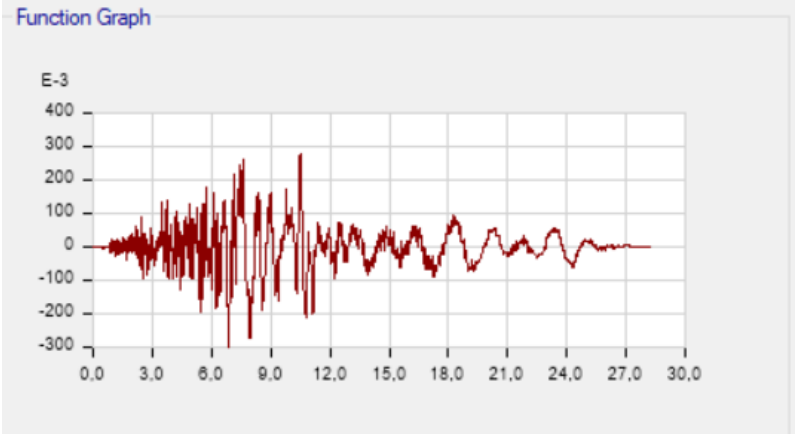
TH Tototri X



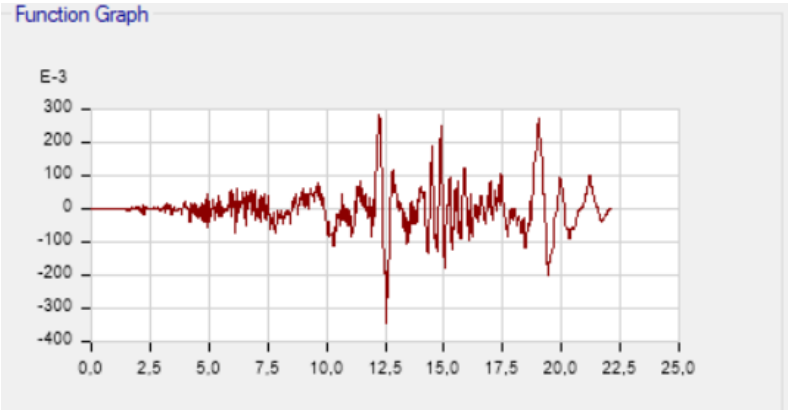
TH Totori Y



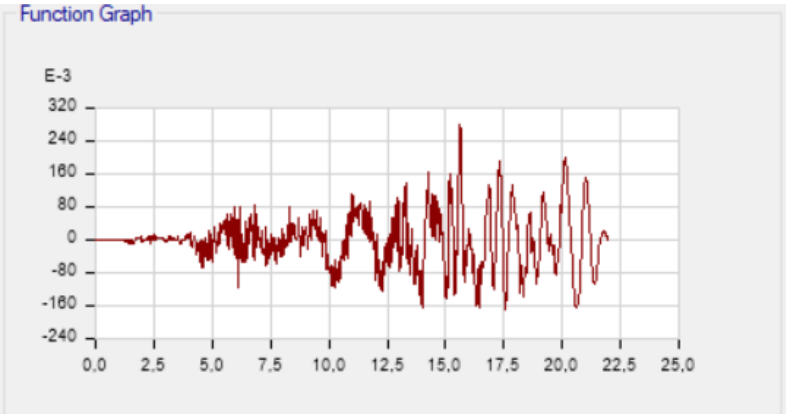
TH Joshua X



TH Joshua Y



TH Supersition Hills X



TH Supersition Hills Y

Lampiran 5 Cek Ketidakberaturan *Time History*

Tabel Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a Dan 1b Arah X TH. Imperial Valley

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Rasio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Imperial x	54,382	54,271	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Imperial x	524,022	522,94	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Imperial x	48,691	48,644	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Imperial x	50,175	50,173	1	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Imperial x	47,341	47,304	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Imperial x	43,575	43,508	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Imperial x	38,821	38,732	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Imperial x	33,1	32,995	1,003	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Imperial x	26,509	26,399	1,004	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Imperial x	19,224	19,119	1,005	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Imperial x	11,551	11,465	1,007	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Imperial x	4,247	4,201	1,011	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah X TH. Joshua

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Ratio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Joshua x	49,093	49,028	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Joshua x	47,257	47,231	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Joshua x	44,235	44,228	1	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Joshua x	40,115	40,085	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Joshua x	36,053	36,022	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Joshua x	39,252	39,222	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Joshua x	29,937	29,935	1	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Joshua x	30,293	30,271	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Joshua x	21,134	21,102	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Joshua x	15,465	15,425	1,003	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Joshua x	10,948	10,889	1,005	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Joshua x	4,069	4,032	1,009	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah X TH. Kobe

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Rasio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Kobe x	53,554	53,387	1,003	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Kobe x	52,944	52,822	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Kobe x	51,023	50,93	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Kobe x	47,621	47,569	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Kobe x	44,539	44,5	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Kobe x	40,017	39,995	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Kobe x	34,788	34,777	1	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Kobe x	29,016	29,014	1	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Kobe x	22,864	22,855	1	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Kobe x	16,923	16,859	1,004	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Kobe x	10,628	10,566	1,006	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Kobe x	4,015	3,977	1,01	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah X TH. Parkfield

1a dan 1b Arah X TH. Parkfield

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Rasio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Parkfield x	40,174	40,059	1,003	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Parkfield x	39,382	39,294	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Parkfield x	38,053	37,991	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Parkfield x	35,853	35,832	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Parkfield x	33,495	33,478	1	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Parkfield x	30,246	30,246	1	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Parkfield x	25,535	25,525	1	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Parkfield x	22,272	22,221	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Parkfield x	18,113	18,049	1,004	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Parkfield x	13,341	13,27	1,005	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Parkfield x	8,041	7,975	1,008	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Parkfield x	2,896	2,86	1,012	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel 5.36 Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah X TH. Supersition Hills

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Rasio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Supersition x	58,734	58,531	1,003	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Supersition x	57,109	56,946	1,003	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Supersition x	54,426	54,297	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Supersition x	50,679	50,583	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Supersition x	46,021	45,959	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Supersition x	40,644	40,616	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Supersition x	34,745	34,741	1	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Supersition x	28,534	28,504	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Supersition x	22,918	22,852	1,003	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Supersition x	17,488	17,411	1,004	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Supersition x	10,952	10,88	1,007	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Parkfield x	3,55	3,516	1,01	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah X TH. Totori

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Rasio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Totori x	45,334	45,211	1,003	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Totori x	44,018	43,937	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Totori x	55,727	55,693	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Totori x	51,383	51,379	1	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Totori x	45,803	45,768	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Totori x	39,793	39,776	1	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Totori x	27,069	26,993	1,003	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Totori x	291,55	290,992	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Totori x	21,928	21,843	1,004	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Totori x	16,043	15,968	1,005	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Totori x	9,696	9,628	1,007	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Totori x	3,59	3,548	1,012	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah X TH. Victoria

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Rasio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Victoria x	55,868	55,783	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Victoria x	56,669	56,611	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Victoria x	55,379	55,35	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Victoria x	53,398	53,393	1	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Victoria x	50,585	50,576	1	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Victoria x	46,768	46,753	1	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Victoria x	41,862	41,847	1	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Victoria x	35,893	35,872	1,001	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Victoria x	28,441	28,393	1,002	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Victoria x	21,18	21,126	1,003	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Victoria x	12,827	12,766	1,005	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Victoria x	4,741	4,701	1,009	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah Y TH. Imperial

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Rasio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Imperial y	76,37	67,903	1,125	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Imperial y	74,707	66,221	1,128	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Imperial y	72,068	63,485	1,135	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Imperial y	68,289	59,612	1,146	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Imperial y	63,344	54,672	1,159	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Imperial y	57,248	48,781	1,174	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Imperial y	43,475	37,08	1,172	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Imperial y	41,917	34,769	1,206	Ada	Tidak Ada
4	Imperial y	32,959	27	1,221	Ada	Tidak Ada
3	Imperial y	20,409	16,514	1,236	Ada	Tidak Ada
2	Imperial y	11,978	9,575	1,251	Ada	Tidak Ada
1	Imperial y	4,23	3,376	1,253	Ada	Tidak Ada

Tabel Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah Y TH. Joshua

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Rasio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Joshua y	62,033	55,155	1,125	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Joshua y	59,16	53,006	1,116	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Joshua y	56,243	50,377	1,116	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Joshua y	52,908	47,064	1,124	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Joshua y	48,652	42,856	1,135	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Joshua y	43,562	38,348	1,136	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Joshua y	37,744	33,283	1,134	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Joshua y	31,314	27,672	1,132	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Joshua y	24,407	21,636	1,128	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Joshua y	17,374	15,405	1,128	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Joshua y	10,202	9,095	1,122	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Joshua y	3,594	3,241	1,109	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah Y TH. Kobe

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Rasio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Kobe y	60,199	53,155	1,133	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Kobe y	58,703	51,871	1,132	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Kobe y	70,123	60,061	1,168	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Kobe y	65,591	56	1,171	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Kobe y	48,84	42,187	1,158	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Kobe y	52,688	44,906	1,173	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Kobe y	38,116	32,297	1,18	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Kobe y	32,732	27,438	1,193	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Kobe y	26,373	21,904	1,204	Ada	Tidak Ada
3	Kobe y	19,153	15,806	1,212	Ada	Tidak Ada
2	Kobe y	11,416	9,483	1,204	Ada	Tidak Ada

Tabel Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a dan Arah Y TH. Parkfield

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Rasio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
1	Kobe y	4,082	3,436	1,188	Tidak Ada	Tidak Ada
12	Parkfield y	57,752	48,749	1,185	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Parkfield y	572,764	475,27	1,205	Ada	Tidak Ada
10	Parkfield y	54,889	45,434	1,208	Ada	Tidak Ada
9	Parkfield y	52,243	42,684	1,224	Ada	Tidak Ada
8	Parkfield y	48,624	39,349	1,236	Ada	Tidak Ada
7	Parkfield y	44,454	35,442	1,254	Ada	Tidak Ada
6	Parkfield y	39,404	31,023	1,27	Ada	Tidak Ada
5	Parkfield y	33,298	26,334	1,264	Ada	Tidak Ada
4	Parkfield y	26,256	20,888	1,257	Ada	Tidak Ada
3	Parkfield y	18,576	14,93	1,244	Ada	Tidak Ada
2	Parkfield y	10,759	8,789	1,224	Ada	Tidak Ada
1	Parkfield y	3,732	3,124	1,195	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a dan Arah Y TH.Supersition Hills

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Rasio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Supersition y	64,285	57,908	1,11	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Supersition y	62,705	56,552	1,109	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Supersition y	64,157	58,213	1,102	Tidak Ada	Tidak Ada
9	Supersition y	60,656	54,993	1,103	Tidak Ada	Tidak Ada
8	Supersition y	56,125	50,803	1,105	Tidak Ada	Tidak Ada
12	Supersition y	64,285	57,908	1,11	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Supersition y	50,65	45,727	1,108	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Supersition y	44,357	39,989	1,109	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Supersition y	37,279	33,54	1,111	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Supersition y	29,448	26,453	1,113	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Supersition y	21,018	18,92	1,111	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Supersition y	12,329	11,19	1,102	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Supersition y	4,325	3,997	1,082	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a dan Arah Y TH. Totori

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Rasio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Totori y	71,84	60,584	1,186	Tidak Ada	Tidak Ada
11	Totori y	70,018	58,814	1,19	Tidak Ada	Tidak Ada
10	Totori y	67,14	55,915	1,201	Ada	Tidak Ada
9	Totori y	63,112	52,468	1,203	Ada	Tidak Ada
8	Totori y	57,997	48,554	1,194	Tidak Ada	Tidak Ada
7	Totori y	53,492	45,432	1,177	Tidak Ada	Tidak Ada
6	Totori y	46,381	39,467	1,175	Tidak Ada	Tidak Ada
5	Totori y	37,272	33,4	1,116	Tidak Ada	Tidak Ada
4	Totori y	30,06	25,775	1,166	Tidak Ada	Tidak Ada
3	Totori y	21,214	18,207	1,165	Tidak Ada	Tidak Ada
2	Totori y	12,341	10,633	1,161	Tidak Ada	Tidak Ada
1	Totori y	4,325	3,742	1,156	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel Cek Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah Y TH. Victoria

Tingkat	Output Case	Maximum (Δx)mm	Average (Δx)mm	Rasio	Cek 1a >1,2	Cek 1b >1,4
12	Victoria y	74,497	58,366	1,276	Ada	Tidak Ada
11	Victoria y	72,681	56,965	1,276	Ada	Tidak Ada
10	Victoria y	69,785	54,581	1,279	Ada	Tidak Ada
9	Victoria y	65,653	51,209	1,282	Ada	Tidak Ada
8	Victoria y	60,3	46,9	1,286	Ada	Tidak Ada
7	Victoria y	53,836	41,955	1,283	Ada	Tidak Ada
6	Victoria y	50,074	39,067	1,282	Ada	Tidak Ada
5	Victoria y	41,472	32,213	1,287	Ada	Tidak Ada
4	Victoria y	32,262	25,131	1,284	Ada	Tidak Ada
3	Victoria y	21,362	16,855	1,267	Ada	Tidak Ada
2	Victoria y	12,484	9,984	1,25	Ada	Tidak Ada
1	Victoria y	4,399	3,596	1,223	Ada	Tidak Ada