

TUGAS AKHIR

**RESPON SRPM BETON BERTULANG TERHADAP GETARAN
GEMPA BERULANG YANG MENGANDUNG *FLING***

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

Disusun Oleh:

RIDHO ELFAYED

1507210123



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ridho Elfayed

NPM : 1507210123

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Respons SRPM Beton Bertulang Terhadap Getaran Gempa
Berulang Yang Mengandung *Fling*

Bidang Ilmu : Struktur.


Disetujui Untuk Disampaikan Kepada
Panitia Ujian

Medan, Maret 2019

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ade Faisal, ST,MSc


Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST,MSc

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ridho Elfayed

NPM : 1507210123

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Respons SRPM Beton Bertulang Terhadap Getaran Gempa Berulang Yang Mengandung *Fling*.

Bidang ilmu : Struktur.

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

Medan, Maret 2019

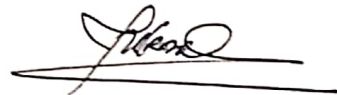
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



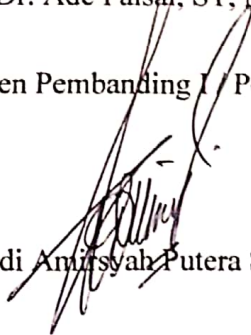
Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Dosen Pembimbing II / Penguji



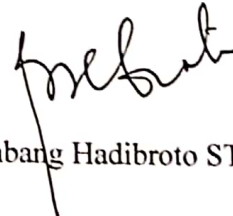
Dr. Fahrizal zulkarnain, ST, MSc

Dosen Pembimbing I / Penguji

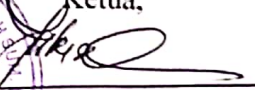



Tondi Amirsyah Putera ST,MT

Dosen Pembimbing II / Penguji



Bambang Hadibroto ST,MT

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,

Dr. Fahrizal zulkarnain, ST, MSc



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ridho Elfayed

Tempat /Tanggal Lahir: Duri / 29 Juni 1997

NPM : 1507210123

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Respons SRPM Beton Bertulang Terhadap Getaran Gempa Berulang Yang Mengandung Fling”.

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

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

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

Medan, Maret 2019



Saya yang menyatakan,

Ridho Elfayed

ABSTRAK

RESPON SRPM BETON BERTULANG TERHADAP GETARAN GEMPA BERULANG YANG MENGANDUNG FLING (STUDI LITERATUR)

Ridho Elfayed

1507210123

Dr. Ade Faisal, M.Sc.

Dr. Fahrizal Zulkarnain

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh adanya pelepasan energi regangan elastis batuan pada litosfir. Semakin besar energi yang dilepas semakin kuat gempa yang terjadi. Indonesia khususnya Kota Banda Aceh merupakan wilayah yang rawan gempa, sehingga bangunan bertingkat dapat mengalami kehancuran baik dalam kategori ringan, kecil, sedang, parah bahkan hancur total. Bangunan mengalami kehancuran karena jenis gempa yang bisa saja terjadi secara ringan, sedang maupun besar dan terjadi secara berulang. Untuk bangunan yang bila mengalami gempa berulang, tentunya kehancuran struktur akan semakin tinggi. Oleh karena itu perlu adanya perencanaan struktur beton bertulang dengan sistem yang tahan terhadap gempa berulang. Dalam tugas akhir ini terdapat 5 model struktur dengan jumlah lantai yang berbeda dan sistem struktur yang berbeda yaitu SRPMK, SRPMM, SRPMB dengan faktor $R=8$, $R=5$ dan $R=3$. Semua input beban, dan spesifikasi material adalah sama dan dimensi struktur masing-masing berbeda. Untuk gedung yang pertama memiliki tinggi 18.5 m (5 lantai), yang kedua memiliki tinggi 36 m (10 lantai), yang ketiga memiliki tinggi 53.5 m (15 lantai), yang keempat memiliki tinggi 71 m (20 lantai) dan yang kelima memiliki tinggi 106 m (30 lantai). Analisis yang digunakan adalah Respon Spektrum sebagai tahap desain dan Nonlinear sebagai tahap evaluasi, dengan alat bantu software Program Analisa Struktur, dan RUAUMOKO2D versi 04. Berdasarkan hasil analisis dari kelima model gedung, didapat simpangan antar tingkat maksimum terjadi pada faktor $R=8$ pada model lima dengan gempa berulang *fling* sebesar 47,4 kali lebih besar dari gempa minimum tanpa *fling*. Hasilnya menunjukkan bahwa struktur dengan SRPMK (Model 5) memiliki simpangan terbesar baik analisis secara linier dan non linier dikarenakan bangunan memiliki perioda yang terbesar dan berada pada jenis tanah lunak.

Kata kunci: Gempa bumi, gempa berulang, sistem struktur.

ABSTRACT

REINFORCED CONCRETE SRPM RESPONSE ON REPEATED EARTHQUAKE VIBRATION THAT CONTAINS FLING (STUDY OF LITERATURE)

Ridho Elfayed

1507210123

Dr. Ade Faisal, M.Sc.

Dr. Fahrizal Zulkarnain

Earthquakes are natural phenomena caused by the release of elastic rock energy in the lithosphere. The greater the energy released the stronger the earthquake that occurs. Indonesia, especially the city of Banda Aceh is an earthquake prone area, so that multi-storey buildings can be damaged both in the category of light, small, medium, severe and even totally destroyed. The building was destroyed because the type of earthquake that could have happened lightly, medium and large and occurred repeatedly. For buildings that experience repeated earthquakes, the destruction of the structure will increase. Therefore it is necessary to plan reinforced concrete structures with systems that are resistant to recurring earthquakes. In this final project there are 5 structural models with different number of floors and different structural systems namely SRPMK, SRPMM, SRPMB with factors $R = 8$, $R = 5$ and $R = 3$. All input loads, and material specifications are the same and the dimensions of each structure are different. The first building has a height of 18.5 m (5 floors), the second has a height of 36 m (10 floors), the third has a height of 53.5 m (15 floors), the fourth has a height of 71 m (20 floors) and the fifth has a height 106 m (30 floors). The analysis used is the Spectrum Response as the design and nonlinear stage as the evaluation stage, with the Structural Analysis Program software tool, and RUAUMOKO2D version 04. Based on the analysis of the five building models, the intersection between the maximum levels occurs in the $R = 8$ factor in the model five with a repeated pulse-fling earthquake of 47.4 greater than the minimum earthquake without fling. The results show that the structure with SRPMK (Model 5) has the largest deviation both linear and non-linear analysis because the building has the largest period and is in the type of soft soil.

Keywords: Earthquake, recurrent earthquake, system structure.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Respon SRPM Beton Bertulang Terhadap Getaran Gempa Berulang Yang Mengandung Fling” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis mengucapkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Dr. Ade Faisal selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji sekaligus sebagai Wakil Dekan I Fakultas Teknik yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Tondi Amirsyah Putera P, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Bambang Hadibroto, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

7. Orang tua penulis: Sadaruddin dan Eti Rusirawati, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis serta abang Meretsariauzi, abang Ibnu Maulidi Gusdi, abang Eri Satria dan adik Faza Andira, adik Hafi Abda Azahri.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Kepada Ratu Irmu Balqis, yang telah banyak membantu dan memberi semangat untuk penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Sahabat-sahabat sekaligus rekan-rekan juang penulis: Afiful Anshari, Khairatul Husna, Aji Persada Lubis, Alfi Syahrin, Andi Pratama, Ahlun Darmawan, Riki Wahyuni Rahmat, Fitra, Ihsan Azizi, Sulaiman Sirait, khairudin, Wahyu dan semua anak A2 siang serta teman-teman stambuk 2015 lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

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

Medan, Maret 2019

Ridho Elfayed

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	3
1.3. Ruang lingkup	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 STUDI PUSTAKA	
2.1 Umum	6
2.2. Teori Gempa	6
2.2.1. Mekanisme Gempa Bumi	7
2.2.2. <i>Ground Motion</i> (Getaran Tanah)	8
2.2.3. Gempa Dekat	8
2.2.4. Karakteristik Rekaman Gempa Dekat (Mengandung fling)	9
2.3. Filosofi Bangunan Tahan Gempa	11
2.4. Sistem Rangka Pemikul Momen	13
2.4.1. SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)	14

2.4.2.	SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah)	14
2.4.3.	SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa)	15
2.4.4.	Faktor Modifikasi Respon (R)	15
2.4.5.	Definisi Faktor Modifikasi Respon (R)	16
2.5.	Peraturan Pembebanan Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012	17
2.5.1.	Gempa Rencana dan Faktor Keutamaan	18
2.5.2.	Klasifikasi Situs dan Parameter	19
2.5.3.	Parameter Percepatan Gempa	20
2.5.4.	Parameter Percepatan Spektral Desain	22
2.5.5.	Struktur Penahan Beban Gempa	24
2.5.6.	Perioda Alami Struktur	25
2.5.7.	Simpangan (<i>Drift</i>) Akibat Gaya Gempa	27
2.5.8.	Metode Analisa	28
2.5.9.	Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan	30
2.6.	Program Ruaomok	32
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		
3.1.	Umum	34
3.2.	Pemodelan Struktur	35
3.2.1.	Data Perencanaan Struktur	35
3.2.2.	Konfigurasi Bangunan	36
3.2.3.	Dimensi Kolom - Balok	39
3.3.	Analisa Struktur	39
3.3.1.	Analisis Dinamik Struktur Linear	39
3.3.2.	Analisis Dinamik Struktur Nonlinear	53
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1.	Hasil Model Linier Dan Non Linier	56
4.2.	Hasil Analisa Linier	56
4.2.1.	Respon Spektrum Ragam	56
4.2.2.	Koreksi Gempa Dasar Nominal	57
4.2.3.	Koreksi Faktor Redundansi	58
4.2.4.	Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	58

4.2.5.	Nilai Simpangan Gedung	59
4.2.6.	Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)	60
4.2.7.	Pengaruh Efek P-Delta	60
4.3.	Hasil Analisa Non Linier	60
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1.	Kesimpulan	79
5.2.	Saran	79
	DAFTAR PUSTAKA	81
	LAMPIRAN	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012.	18
Tabel 2.2	Faktor keutaman gempa (SNI 03-1726-2012).	19
Tabel 2.3	Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2012.	19
Tabel 2.4	Koefisien perioda pendek (F_a) berdasarkan SNI 1726:2012.	21
Tabel 2.5	Koefisien perioda 1,0 detik (F_v) berdasarkan SNI 1726:2012.	21
Tabel 2.6	Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa.	25
Tabel 2.7	Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x berdasarkan SNI 1726:2012.	26
Tabel 2.8	Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2012.	26
Tabel 2.9	Prosedur analisa yang boleh digunakan.	28
Tabel 3.1	Komponen Struktural bangunan	39
Tabel 3.2	Berat material konstruksi berdasarkan PPURG 1987	40
Tabel 3.3	Beban hidup pada lantai dan atap struktur berdasarkan SNI 1727:2013	40
Tabel 3.4	Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai $\rho = 1$, $S_{DS} = 0.8094$.	45
Tabel 3.5	Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai $\rho = 1$, $S_{DS} = 0.2096$.	45
Tabel 3.6	Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai $\rho = 1.3$, $S_{DS} = 0.17467$.	46
Tabel 3.7	<i>No Pulse/Fling Records</i> (PEER NGA).	48
Tabel 3.8	<i>Fling Records</i> (PEER NGA, Cosmos, ERD, CSMIP).	48
Tabel 4.1	Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen (V_1) dan Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum output Program Analisa Struktur V_t	57
Tabel 4.2	nilai V_t sb. X	59
Tabel 4.3	Nilai perbandingan interstory drift untuk masing- masing	61

	model untuk R=8 dengan acuan gempa tanpa <i>fling</i> . .	
Tabel 4.4	Nilai perbandingan interstory drift untuk masing- masing model untuk R=5 dengan acuan gempa tanpa <i>fling</i> .	62
Tabel 4.5	Nilai perbandingan interstory drift untuk masing- masing model untuk R=3 dengan acuan gempa tanpa <i>fling</i> .	62
Tabel 4.6	Nilai perbandingan <i>top displacement</i> untuk masing- masing model untuk R=8 dengan acuan gempa tanpa <i>fling</i>	75
Tabel 4.7	Nilai perbandingan <i>top displacement</i> untuk masing- masing model untuk R=5 dengan acuan gempa tanpa <i>fling</i> .	75
Tabel 4.8	Nilai perbandingan <i>top displacement</i> untuk masing- masing model untuk R=3 dengan acuan gempa tanpa <i>fling</i> .	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta zonasi gempa berdasarkan SNI 1726:2012 di Indonesia	2
Gambar 2.1	Jenis-jenis pertemuan dua lempeng tektonik, a) pertemuan <i>divergen</i> ; b) pertemuan <i>konvergen</i> ; c) pertemuan saling bergeser horizontal	7
Gambar 2.2	Ciri khas riwayat waktu kecepatan dan perpindahan dari gerakan tanah (a) gempa jauh, (b) gempa dekat (<i>forward-directivity</i>), and (c) gempa dekat (<i>fling-step</i>)	10
Gambar 2.3	Kebutuhan siklik pada kolom akibat a) far-fault TAFT, b) near-fault (<i>forward directivity</i>) Olive V., dan c) near-fault (<i>fling-step</i>) SKR. (Kalkan dan Kunnath, 2006)	10
Gambar 2.4	Histeresis di sendi plastis yang stabil (Pawirodikromo, 2012).	13
Gambar 2.5	Respon gaya-perpindahan struktur kondisi elastis dan inelastis (Zafar, 2009)	16
Gambar 2.6	Hubungan antara faktor modifikasi respon (R), faktor kuat lebih struktur (Ω), dan faktor reduksi daktilitas ($R\mu$) (FEMA, 2007)	
Gambar 2.7	Spektrum respons desain.	24
Gambar 3.1	Bagan alir penelitian	34
Gambar 3.2	a) Denah struktur Model 1, b) Proyeksi bangunan Model 1, c) Denah struktur Model 2, d) Proyeksi bangunan Model 2, e) Denah struktur Model 3, f) Proyeksi bangunan Model 3, g) Denah struktur Model 4; h) Proyeksi bangunan Model 4., i) Denah struktur Model 5, j) Proyeksi bangunan Model 5	36
Gambar 3.3	Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Banda Aceh dengan jenis tanah lunak.	41
Gambar 3.4	Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota	43

	Palembang dengan jenis tanah keras.	
Gambar 3.5	Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Palembang dengan jenis tanah batuan.	44
Gambar 3.6	Perbedaan respon spektrum respon gempa TCU052 yang mengandung <i>fling</i> dan respon spektrum respon gempa san fernando yang tidak mengandung <i>fling</i>	49
Gambar 3.7	Rekaman gempa asli chi chi TCU052 yang mengandung <i>fling</i> .	49
Gambar 3.8	Rekaman gempa chichi TCU052 yang dirubah menjadi spektra desain.	50
Gambar 3.9	Variasi respon spektrum gempa tanpa <i>fling</i> dan desain (Aceh)	51
Gambar 3.10	Respon spektrum gempa dengan <i>fling</i> dan desain (Aceh)	51
Gambar 3.11	Rekaman gempa chichi TCU052 sebelum dan sesudah diskalakan.	52
Gambar 3.12	Rekaman gempa berulang 2 kali chichi TCU052 dan kocaeli sakarya.	52
Gambar 3.13	Rekaman gempa berulang 3 kali chichi TCU052 dan kocaeli sakarya.	53
Gambar 4.1	Nilai rata-rata Interstory Drift untuk struktur beton SRPM 30 lantai dengan jenis gempa No Pulse tunggal, Pulse tunggal, Pulse berulang 2 kali, dan Pulse berulang 3 kali : a) Faktor R=8, b) Faktor R=5, c) Faktor R=3	63
Gambar 4.2	Nilai rata-rata Interstory Drift untuk struktur beton SRPM 30 lantai dengan R=8, R=5,dan R=3: a) Gempa No Pulse tunggal, b) Gempa Pulse tunggal, c) Gempa Pulse berulang 2 kali, d) Gempa Pulse berulang 3 kali.	64
Gambar 4.3	Nilai rata-rata Interstory Drift untuk struktur beton SRPM 20 lantai dengan jenis gempa No Pulse tunggal, Pulse tunggal, Pulse berulang 2 kali, dan Pulse berulang 3 kali : a) Faktor R=8, b) Faktor R=5, c) Faktor R=3	65
Gambar 4.4	Nilai rata-rata Interstory Drift untuk struktur beton SRPM	66

	20 lantai dengan faktor R=8, R=5,dan R=3: a) Gempa No Pulse tunggal, b) Gempa Pulse tunggal, c) Gempa Pulse berulang 2 kali, d) Gempa Pulse berulang 3 kali	
Gambar 4.5	Nilai rata-rata Interstory Drift untuk struktur beton SRPM 15 lantai dengan jenis gempa No Pulse tunggal, Pulse tunggal, Pulse berulang 2 kali, dan Pulse berulang 3 kali : a) Faktor R=8, b) Faktor R=5, c) Faktor R=3	68
Gambar 4.6	Nilai rata-rata Interstory Drift untuk struktur beton SRPM 15 lantai dengan faktor R=8, R=5,dan R=3: a) Gempa No Pulse tunggal, b) Gempa Pulse tunggal, c) Gempa Pulse berulang 2 kali, d) Gempa Pulse berulang 3 kali	69
Gambar 4.7	Nilai rata-rata Interstory Drift untuk struktur beton SRPM 10 lantai dengan jenis gempa No Pulse tunggal, Pulse tunggal, Pulse berulang 2 kali, dan Pulse berulang 3 kali : a) Faktor R=8, b) Faktor R=5, c) Faktor R=3	70
Gambar 4.8	Nilai rata-rata Interstory Drift untuk struktur beton SRPM 10 lantai dengan faktor R=8, R=5,dan R=3: a) Gempa No Pulse tunggal, b) Gempa Pulse tunggal, c) Gempa Pulse berulang 2 kali, d) Gempa Pulse berulang 3 kali	71
Gambar 4.9	Nilai rata-rata Interstory Drift untuk struktur beton SRPM 5 lantai dengan jenis gempa No Pulse tunggal, Pulse tunggal, Pulse berulang 2 kali, dan Pulse berulang 3 kali : a) Faktor R=8, b) Faktor R=5, c) Faktor R=3	72
Gambar 4.10	Nilai rata-rata Interstory Drift untuk struktur beton SRPM 5 lantai dengan faktor R=8, R=5,dan R=3: a) Gempa No Pulse tunggal, b) Gempa Pulse tunggal, c) Gempa Pulse berulang 2 kali, d) Gempa Pulse berulang 3 kali	73
Gambar 4.11	Nilai rata-rata Top Displacement untuk struktur beton SRPM dengan jenis gempa No Pulse tunggal, Pulse tunggal, Pulse berulang 2 kali, dan Pulse berulang 3 kali terhadap prioda: a) Faktor R=8, b) Faktor R=5, c) Faktor R=3	76

Gambar 4.12 Nilai rata-rata Top Displacement untuk struktur beton SRPM dengan jenis gempa No Pulse tunggal, Pulse tunggal, Pulse berulang 2 kali, dan Pulse berulang 3 kali terhadap Faktor R: a) gedung 30 lantai , b) gedung 20 lantai, c) gedung 15 lantai, d) gedung 10 lantai, e) gedung 5 lantai

77

DAFTAR NOTASI

C_d	=	Faktor kuat lebih sistem
DL	=	Beban mati, termasuk SIDL
E	=	Modulus elastisitas
E_x	=	Beban gempa arah x
E_y	=	Beban gempa arah y
F	=	Frekuensi Struktur
F_a	=	Koefisien perioda pendek
F_v	=	Koefisien perioda 1,0 detik
F_{PGA}	=	Nilai koefisien situs untuk PGA
h_n	=	Ketinggian struktur dalam m di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (meter)
I	=	Momen Inersia kolom/balok
I_e	=	Faktor keutamaan gempa
Ω	=	Kecepatan sudut
K	=	Kekakuan struktur
L	=	Panjang kolom/balok
LL	=	Beban hidup
M_{column}	=	Momen kapasitas 2 kolom yang bertemu di <i>joint</i>
M_{beam}	=	Momen kapasitas 2 balok yang menumpu di kolom
M_c	=	Momen puncak
M_y	=	Momen leleh
M_u	=	Momen ultimit
PGA	=	Nilai PGA dibatuan dasar (S_B) mengacu pada peta Gempa SNI 1726:2012
PGA_M	=	Nilai percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs
Q_E	=	Pengaruh gaya seismik horizontal dari V, yaitu gaya geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau. Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu

		sama lain
R	=	Faktor koefisien modifikasi respon
S_S	=	Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda pendek 0,2 detik di batuan dasar (S_B) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2016
S_I	=	Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda 1,0 detik di batuan dasar (S_B) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2016
S_{DS}	=	Respon spektrum percepatan respon desain untuk perioda pendek
S_{DI}	=	Respon spektrum percepatan desain untuk perioda 1,0 detik
$T_{a\ minimum}$	=	Nilai batas bawah perioda bangunan
$T_{a\ maksimum}$	=	Nilai batas atas perioda bangunan
V_t	=	Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respon yang telah dilakukan
V_I	=	Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekivalen
θ_y	=	Rotasi pada saat leleh
ϵ	=	Total tegangan yang terjadi
ϵ_y	=	Tegangan pada saat leleh
μ_p	=	Lendutan pada titik plastis
μ_y	=	Lendutan pada titik leleh
ϕ_m	=	Lengkungan maksimum yang akan timbul
ϕ_y	=	Lengkungan pada saat leleh
θ_u	=	Rotasi pada batas ultimit
θ_y	=	Rotasi pada batas leleh
θ_{pc}	=	Koefisien rotasi <i>post-capping</i>
θ_p	=	Koefisien rotasi plastis
Ω_0	=	Faktor pembesaran defleksi
ρ	=	Faktor redudansi

DAFTAR SINGKATAN

CQC	= <i>Complete Quadratic Combination</i>
PEER	= <i>Pacific Earthquake Engineering Research</i>
PPURG	= Pedomian Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung
SRPMK	= Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
SRSS	= <i>Square Root of the Sum of Square</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

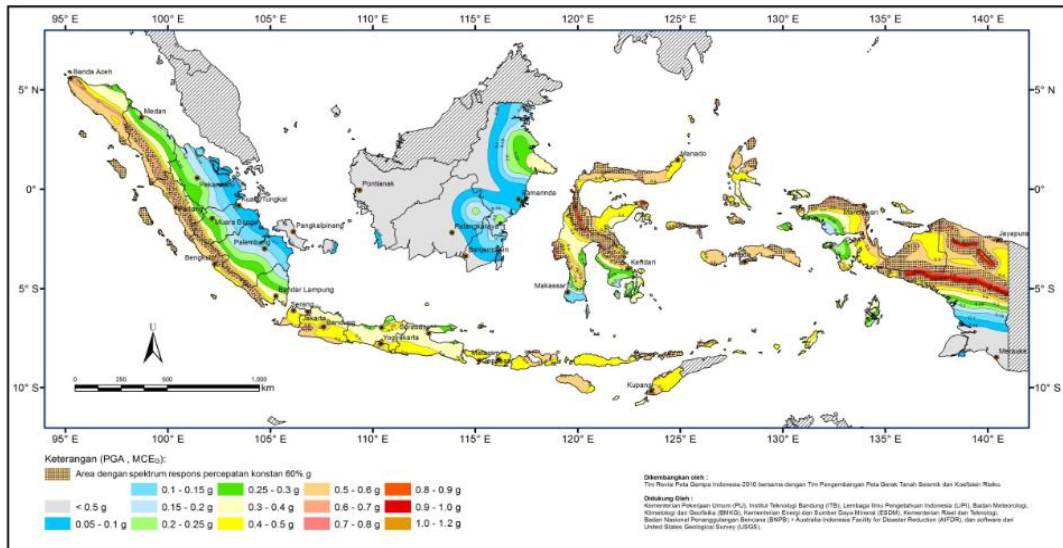
Indonesia merupakan negara yang mempunyai potensi gempa yang besar. Peristiwa gempa dapat menyebabkan semua yang ada di atas bumi termasuk infrastruktur bergerak ke segala arah. Pergerakan ini akan menyebabkan kerusakan bagi struktur dan membahayakan manusia yang berada di dalamnya.

Perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa sangat penting di Indonesia, mengingat sebagian besar wilayahnya terletak dalam wilayah gempa dengan intensitas sedang hingga tinggi.

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh adanya pelepasan energi regangan elastis batuan pada litosfer. Semakin besar energi yang dilepas semakin kuat gempa yang terjadi. Gempa bumi juga didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu dan sifatnya tidak berkelanjutan. Getaran pada bumi terjadi akibat adanya proses pergeseran secara tiba-tiba (*sudden slip*) pada kerak bumi. Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber gaya (*force*), baik yang bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia (*artificial earthquakes*). Terdapat beberapa pendekatan untuk mengantisipasi terjadinya gempa agar tidak menimbulkan dampak yang besar. Pertama, pendekatan struktural yakni desain mengikuti kaidah-kaidah konstruksi yang benar dan memasukkan parameter kegempaan dalam mendirikan bangunan sesuai dengan standar yang ada. Kedua, intensif melakukan sosialisasi kepada masyarakat mengenai pemahaman dan pelatihan penyelamatan dampak gempa (Budiono, 2011).

Indonesia merupakan negara yang terletak di wilayah rawan bencana gempa bumi. Hal ini disebabkan letak geografis yang menempati zona tektonik sangat aktif. Indonesia terletak di pertemuan 4 lempeng besar dunia. Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Eurasia pada bagian pantai barat Sumatera, pantai Selatan Jawa (dikenal sebagai kawasan Busur Sunda atau *Sunda Arc*, dan terus melintasi Nusa Tenggara Timur dan Kepulauan Maluku. Lempeng Pasifik dan Lempeng Filipina di bagian Timur Kepulauan Maluku dan bagian Utara daerah kepala

burung Papua. Di bagian terakhir ini adalah kawasan pusat pertemuan 4 lempeng besar dunia tersebut. Zonasi gempa yang terdapat di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1: Peta zonasi gempa di Indonesia.

Untuk bangunan yang mengalami gempa tunggal, tentunya kehancuran yang terjadi pada bangunan tersebut akan meningkat seiring dengan berlangsungnya gempa berikutnya dengan periode ulang tertentu. Oleh karena itu, kita perlu untuk mengetahui kinerja struktur yang terjadi pada suatu bangunan yang mengalami gempa tunggal dan gempa berulang dengan periode ulang gempa tertentu agar ketahanan bangunan dapat kita rencanakan sebaik mungkin. Bila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non struktural maupun pada komponen strukturalnya. Bila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non strukturalnya, akan tetapi komponen strukturalnya tidak boleh mengalami kerusakan. Bila terjadi gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi penghuni bangunan dapat menyelamatkan diri. Lalu bagaimana jadinya jika bangunan ini terkena gempa lainnya dan merupakan gempa dekat?

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana kondisi struktur bila terkena gempa dekat yang mengandung *fling* ?
2. Bagaimana kondisi struktur bila terkena gempa dekat yang mengandung *fling* lebih dari sekali ?
3. Bagaimana pengaruh nilai R terhadap simpangan yang terjadi ?
4. Bagaimana pengaruh ketinggian bangunan bila terkena gempa mengandung *fling*

4.1. Ruang Lingkup

Adapun batasan-batasan masalah yang ditetapkan pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Struktur bangunan yang direncanakan merupakan:
 - Struktur Beton Bertulang Pemikul Momen (SRPM) 2 Dimensi diantaranya Struktur Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus (SRPMK), Struktur Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah (SRPMM), Struktur Beton Bertulang Pemikul Momen Biasa (SRPMB) pada 5, 10, 15, 20, dan 30 lantai yang difungsikan sebagai perkantoran yang terdapat di daerah Banda Aceh dengan jenis tanah lunak, Palembang dengan jenis tanah keras, dan Palembang dengan jenis tanah batuan.
 - Struktur dengan dimensi kolom dan balok serta penulangan yang hanya dianalisa pada batas aman saja, tidak dianalisa sampai ekonomis.
2. Perencanaan struktur beton bertulang, pembebanan serta gedung direncanakan berdasarkan:
 - Tata cara perencanaan struktur beton bertulang menggunakan Persyaratan Beton Struktural untuk bangunan Gedung SNI 2847:2013.
 - Beban gravitasi menggunakan SNI 1727:2013 dan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987.
 - Beban gempa dan gedung direncanakan menggunakan Standar Perencanaan Tahan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726:2012.
3. Analisis menggunakan alat bantu berupa program yaitu:

- Program Analisa Struktur, untuk menganalisa tahap desain (Analisa Respon Spektrum Linear).
 - PEER NGA, COSMOS untuk mendapatkan rekaman gempa.
 - SEISMOSIGNAL, untuk mengubah *groundmotion* menjadi Respon Spektrum.
 - MATLAB versi 10, untuk menskalakan *groundmotion*.
 - RUAOMOKO2D versi 04, untuk menganalisa tahap evaluasi (Analisa Riwayat Waktu Nonlinear) yang hanya ditinjau secara 2 dimensi.
4. Parameter yang ditinjau:
- Linear adalah semua aspek yang harus di kontrol sesuai dengan SNI 1726:2012
 - Nonlinear : - Simpangan antar tingkat
- Simpangan atap

4.2. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui kondisi struktur bila terkena gempa dekat yang mengandung *fling*.
2. Untuk mengetahui kondisi struktur bila terkena gempa dekat yang mengandung *fling* lebih dari sekali.
3. Untuk mengetahui pengaruh nilai R terhadap simpangan yang terjadi
4. Untuk mengetahui pengaruh ketinggian bangunan bila terkena gempa mengandung *fling*

1.5. Manfaat Penelitian

Dari hasil perencanaan pada pemodelan Struktur Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) maka diharapkan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat untuk mengetahui bagaimana cara merencanakan struktur gedung beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) bila mengalami gempa berulang yang mengandung *fling* di daerah Banda Aceh dengan jenis tanah lunak, Palembang dengan jenis tanah keras, dan Palembang dengan jenis tanah batuan.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan pada Tugas Akhir ini sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Didalam Bab ini akan menguraikan penjelasan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, ruang lingkup permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menguraikan penjelasan mengenai mekanisme gempa, konsep perencanaan struktur bangunan beton bertulang, analisa struktur beton bertulang sistem rangka pemikul momen (SRPM), dan konsep tentang kekuatan bangunan beton bertulang terhadap gempa yang terjadi.

BAB III PEMODELAN STRUKTUR

Bab ini akan menampilkan bagaimana metodologi penelitian yang digunakan dari awal sampai akhir penelitian dan penjelasan mengenai cara memodelkan dan mendesain struktur bangunan beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen (SRPM) terhadap gempa yang terjadi dengan menggunakan Program Analisa Struktur dan RUAOMOKO2D versi 04.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai perhitungan, analisis pemodelan bentuk gambar, grafik atau tabel serta pembahasannya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan penulisan Tugas Akhir ini dan saran-saran yang dapat diterima penulis agar lebih baik lagi kedepannya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pada Bab ini akan dibahas mengenai teori-teori dasar dan syarat-syarat/ketentuan yang berhubungan dalam perencanaan struktur bangunan yang akan dianalisa, seperti struktur beton bertulang, teori gempa, sistem struktur penahan gempa, tata cara perencanaan bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726:2012, dan teori-teori terkait lainnya yang berhubungan dengan perhitungan atau analisa data yang diperlukan dalam Tugas Akhir ini.

2.2. Teori Gempa

Gempa bumi adalah suatu gerakan tiba-tiba atau suatu rentetan gerakan tiba-tiba dari tanah dan bersifat transient yang berasal dari suatu daerah terbatas dan menyebar dari titik tersebut ke segala arah. Gempa bumi merupakan guncangan dan getaran yang terjadi di permukaan bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng bumi, tanah longsor, maupun akibat patahan aktif aktifitas gunung api. Berdasarkan proses terjadinya, gempa bumi digolongkan menjadi tiga, antara lain:

1. Gempa Reruntuhan : gempa yang disebabkan antara lain oleh reruntuhan yang terjadi baik di atas maupun dibawah permukaan tanah. Contoh: tanah longsor, salju longsor, batu jatuhan.
2. Gempa Vulkanik : gempa yang disebabkan oleh kegiatan gunung berapi baik sebelum maupun pada saat meletusnya gunung berapi tersebut.
3. Gempa Tektonik : gempa yang disebabkan oleh terjadinya pergeseran kulit bumi (*lithosphere*) yang umumnya terjadi di daerah patahan kulit bumi. Gempa tektonik merupakan gempa yang paling menimbulkan kerusakan yang paling luas. Maka dari itu gempa bumi tektonik yang ditinjau sebagai beban siklisnya.

Pergerakan dari patahan atau sesar dapat dibedakan berdasarkan 2 (dua) arah pergerakan yaitu *strike* dan *dip*.

1. *Dip Slip Movement*

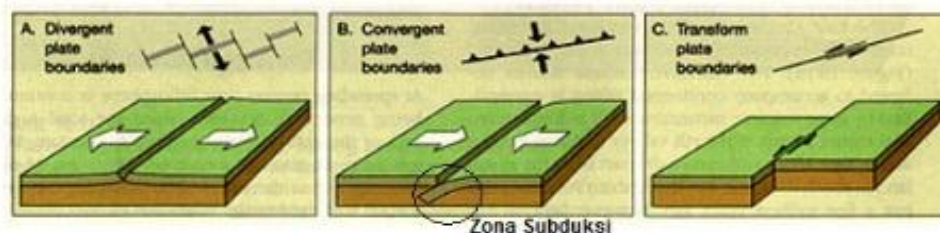
Pergerakan patahan mempunyai arah yang sejajar dengan kemiringan (slope) dip, atau tegak lurus dengan strike. Jenis patahan ini dibagi dua yaitu normal fault dan reverse fault.

2. *Strike Slip Movement*

Pergerakan patahan yang terjadi mempunyai arah sejajar dengan garis *strike*. Bidang patahan mendekati vertikal dan menyebabkan pergerakan besar.

2.2.1. Mekanisme Gempa Bumi

Gempa bumi tektonik lebih sering terjadi dibandingkan semua jenis gempa lainnya. Gempa bumi ini disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi (kerak bumi). Walaupun kelihatannya diam, akan tetapi lapisan-lapisan bagian permukaan bumi (*litosfer*) yang materialnya bersifat padat, keras dan dingin selalu bergerak. Ini diakibatkan oleh sejumlah energi yang menekan dan menarik lapisan tersebut sebagai hasil dari proses konveksi yang terjadi pada lapisan di bawahnya (*astenosfer*) yang sifat materialnya lebih cair, lemah dan jauh lebih panas. Lapisan terluar bumi ini bergerak melalui lempeng-lempengnya, sehingga menimbulkan tekanan, tarikan dan geseran pada lempeng-lempeng itu sendiri. Artinya lempeng-lempeng itu dapat saling bertubrukan (*konvergen*), saling menjauh (*divergen*), dan saling bergeser horizontal (*transform*) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Jenis-jenis pertemuan dua lempeng tektonik, a) pertemuan *divergen*; b) pertemuan *konvergen*; c) pertemuan saling bergeser horizontal.

Secara geologis, Indonesia terletak di antara tiga lempeng utama dunia yaitu Australia, Eurasia, dan Pasifik sehingga menyebabkan Indonesia menjadi salah

satu Negara yang rawan gempa bumi. Selain itu, gempa bumi tektonik biasanya jauh lebih kuat getarannya dibandingkan dengan gempa bumi vulkanik, gempa bumi runtuh, maupun gempa bumi buatan. Oleh karena itu, getaran gempa bumi tektonik merupakan gempa yang paling banyak menimbulkan kerusakan terhadap benda atau bangunan di permukaan bumi dan mengakibatkan banyaknya korban jiwa.

2.2.2. *Ground Motion* (Getaran Tanah)

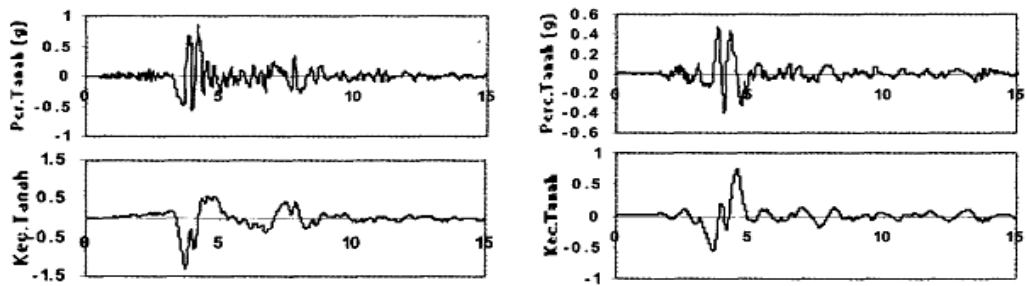
Ground motion adalah pergerakan permukaan bumi yang diakibatkan adanya gempa atau ledakan. Di dalam ilmu teknik gempa, *ground motion* juga populer dengan sebutan *strong motion* untuk lebih menekankan pada percepatan tanah akibat gempa daripada respon-respon tanah yang lain. Pada umumnya, pengertian pergerakan tanah akibat gempa lebih banyak ditujukan pada percepatan tanah. Khususnya untuk keperluan teknik, percepatan tanah akibat gempa merupakan data yang sangat penting (Pawirodikromo, 2012).

Respon gempa sensitif terhadap karakteristik getaran tanah, besar frekuensi gempa, pola *fling*, durasi getaran, mekanisme *fault-rupture*, dan lainnya.

2.2.3. Gempa Dekat

Pawirodikromo (2012) mengatakan bahwa percepatan tanah gempa dekat umumnya mempunyai 1-2 kali siklus getaran kuat (*strong-vibration cycles/pulse*). Siklus getaran kuat tersebut disebabkan oleh adanya kecepatan rambat patah V_r (*fault rupture velocity*) yang relatif dekat dengan kecepatan gelombang geser V_s . Berapa batasan jarak gempa dekat tersebut tidaklah dapat ditentukan secara pasti. Namun, beberapa peneliti mengindikasikan hanya beberapa sampai belasan kilometer saja.

Kalkan, dkk.(2004) memberikan batasan bahwa rekaman gempa *near-fault* adalah gempa yang direkam ≤ 15 km dari patahan (*fault rupture*). Contoh rekaman gempa dekat dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2: Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).

Gambar 2.2 menunjukkan data rekaman gempa yang terjadi di Northridge pada tahun 1994 dan Parkfield pada tahun 1997.

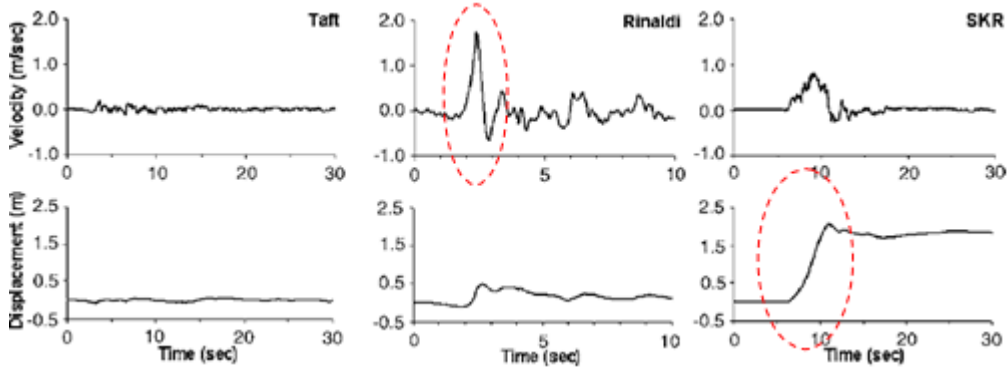
2.2.4. Karakteristik Rekaman Gempa Dekat (Mengandung *fling*)

Dalam bukunya, PawirodikromoA (2012) menyebutkan bahwa gempa dekat mengakibatkan kerusakan yang sangat besar contohnya gempa Northridge (1994), gempa Kobe (1995) dan gempa Taiwan (1999). Gerakan tanah akibat gempa- gempa dekat utamanya akan dipengaruhi tiga hal pokok:

1. Mekanisme gempa.
2. Arah rambatan patahan relatif terhadap site.
3. Kemungkinan terjadinya permanent displacement akibat patahan.

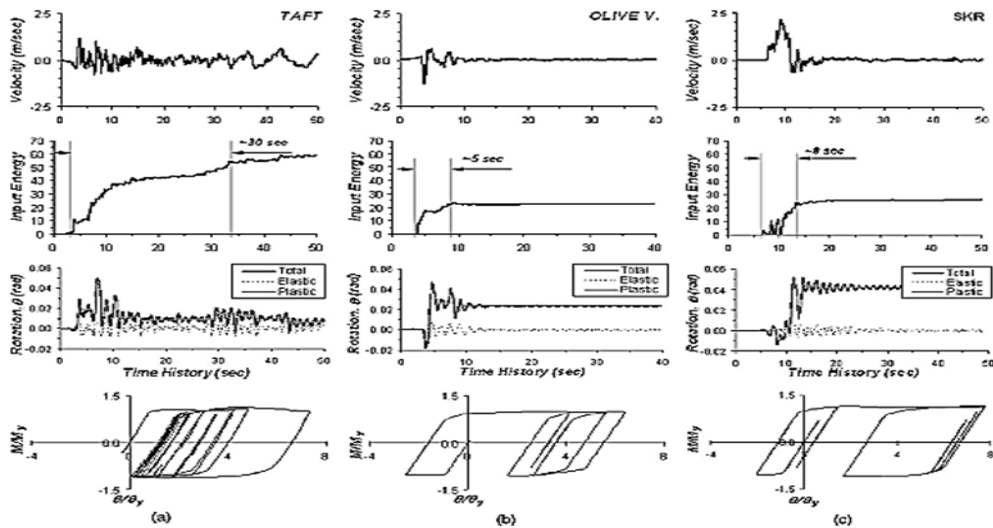
Hal-hal tersebut di atas selanjutnya dikenal oleh pemerhati gempa sebagai *rupture directivity* dan *fling step*.

Menurut Kalkan dan Kunnath (2006), respon struktur terhadap gerakan tanah akibat gempa dekat dapat dikategorikan kedalam dua perbedaan pola riwayat perpindahan yang bergantung pada proses kehancuran dan efek *directivity* yang sesuai dengan proses kehancuran batuan seperti yang ditunjukkan Gambar 2.3. Efek *directivity* terbagi kedalam *forward directivity* dan *backward directivity*.



Gambar 2.3 Ciri khas riwayat waktu kecepatan dan perpindahan dari gerakan tanah (a) gempa jauh, (b) gempa dekat (forward-directivity), and (c) gempa dekat (fling-step)

Di sisi lain, *fling step*, menjadi hasil dari evolusi perpindahan sisa tanah akibat deformasi tektonik yang berkaitan dengan mekanisme kehancuran, umumnya ditandai dengan *pulse* kecepatan dengan amplitudo besar searah dan langkah monoton dalam perpindahan riwayat waktu. Bentuk riwayat waktu dari gempa jauh, gempa dekat (*forward-directivity*), and gempa dekat (*fling-step*) dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Kebutuhan siklik pada kolom akibat a) far-fault TAFT, b) near-fault (forward directivity) Olive V., dan c) near-fault (fling-step) SKR. (Kalkan dan Kunnath, 2006)

Dalam penelitiannya, Kalkan dan Kunnath (2006) membuat pemodelan struktur yang terbuat dari kolom baja mendapatkan hasil model histerisis dan kurva rotasi kolom seperti pada Gambar 2.4 di atas. Gambar 2.4 menunjukkan

hasil perilaku siklik yang berbeda akibat jenis getaran gempa yang berbeda juga. Perilaku siklik yang ditunjukkan pada Gambar 2.4a merupakan akibat gempa jauh dengan pola perpindahan yang teratur, namun akibat gempa forward directivity dan gempa dekat (Gambar 2.4b & Gambar 2.4c) menunjukkan perilaku siklik yang sangat signifikan lonjakan perpindahannya. Hal ini dapat berakibat fatal bagi struktur.

2.3. Filosofi Desain Bangunan Tahan Gempa

Suatu bangunan yang baik pada daerah yang terletak berdekatan dengan daerah pertemuan lempengan benua seperti di Indonesia hendaknya didesain terhadap kemungkinan beban gempa yang akan terjadi di masa yang akan datang yang waktunya tidak dapat diketahui secara pasti. Berikut yang termasuk bangunan tahan gempa adalah:

1. Apabila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen *non-struktural* (dinding retak, genteng dan langit-langit jatuh, kaca pecah dan sebagainya) maupun pada komponen strukturalnya (kolom dan balok retak, pondasi amblas, dan lainnya).
2. Apabila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-strukturalnya akan tetapi komponen structural tidak boleh rusak.
3. Apabila terjadi gempa kuat, bangunan boleh mengalami kerusakan baik komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi jiwa penghuni bangunan tetap selamat, artinya sebelum bangunan runtuh masih cukup waktu bagi penghuni bangunan untuk keluar/mengungsi ke tempat aman.

Sulit untuk menghindari kerusakan bangunan akibat gempa, bila digunakan perencanaan konvensional, karena hanya bergantung pada kekuatan komponen struktur itu sendiri, serta perilaku respon pasca elastisnya. Seiring dengan perkembangan teknologi dalam perencanaan bangunan tahan gempa, telah dikembangkan suatu pendekatan desain alternatif untuk mengurangi resiko

kerusakan bangunan saat terjadi gempa, dan mampu mempertahankan integritas komponen struktural dan *non-struktural* terhadap gempa kuat.

Pendekatan disain ini bukan dengan cara memperkuat struktur bangunan tetapi adalah dengan mereduksi gaya gempa yang akan bekerja pada bangunan atau menambah suatu sistem pada struktur yang dikhususkan untuk menyerap sebagian besar energi gempa yang masuk ke bangunan dan hanya sebagian kecil (sisanya) akan dipikul oleh komponen struktur bangunan itu sendiri.

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa dengan tingkat keamanan memadai, struktur harus dirancang dapat memikul gaya horizontal atau gaya gempa. Struktur harus dapat memberikan layanan yang sesuai dengan perencanaan.

Tingkat layanan dari struktur akibat gaya gempa terdiri dari tiga, yaitu:

1. Kemampuan layan (*serviceability*)

Jika gempa dengan intensitas (*intensity*) percepatan tanah yang kecil dalam waktu ulang yang besar mengenai suatu struktur, disyaratkan tidak mengganggu fungsi bangunan, seperti aktivitas normal di dalam bangunan dan perlengkapan yang ada. Artinya tidak dibenarkan terjadi kerusakan pada struktur baik pada komponen struktur maupun elemen non-struktur yang ada. Dalam perencanaan harus diperhatikan control dan batas simpangan yang dapat terjadi semasa gempa, serta menjamin kekuatan yang cukup bagi komponen struktur untuk menahan gaya gempa yang terjadi dan diharapkan struktur masih berperilaku elastis.

2. Kontrol kerusakan (*damage control*)

Jika struktur dikenai gempa dengan waktu ulang sesuai dengan umur (masa) rencana bangunan, maka struktur direncanakan untuk dapat menahan gempa ringan (kecil) tanpa terjadi kerusakan pada komponen struktur ataupun komponen non-struktur, dan diharapkan struktur masih dalam batas elastis.

3. Ketahanan (*survival*)

Jika gempa kuat yang mungkin terjadi pada umur (masa) bangunan yang direncanakan membebani struktur, maka struktur direncanakan untuk dapat bertahan dengan tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami keruntuhan

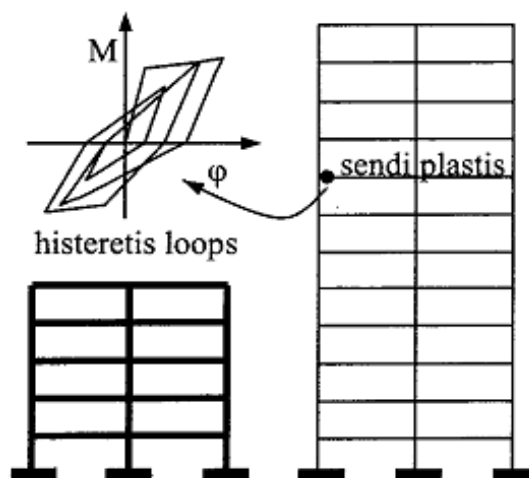
(collapse). Tujuan utama dari keadaan batas ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.

2.4. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah salah satu sistem struktur utama dalam menahan gaya-gaya lateral, baik itu gaya lateral akibat gempa maupun angin. SRPM ini dikenal cukup baik dalam memberikan sistem yang daktail namun sayangnya kurang baik dalam memberikan kekuatan lateral, khususnya untuk bangunan-bangunan yang tinggi. Umumnya SRPM cukup efektif dipakai sampai < 25 tingkat (Faisal, 2015).

Menurut Pawirodikromo (2012), penggunaan SRPM untuk bangunan bertingkat akan mempunyai kelebihan dan kelemahan. Beberapa kelebihan diantaranya:

1. Apabila didesain secara baik maka struktur portal dapat menjadi struktur yang daktail dengan *hysteresis loops* di sendi plastis yang stabil, seperti Gambar 2.4 dan dapat memberikan sistem pengekangan/kekakuan yang cukup.
2. Karena fleksibilitasnya tinggi, SRPM akan mempunyai perioda getar T yang relatif besar.
3. Secara arsitektural SRPM memberi keleluasaan untuk menata ruangan yang diinginkan.



Gambar 2.5: Histeresis di sendi plastis yang stabil (Pawirodikromo, 2012).

Adapun kekurangan dari SRPM adalah:

1. Kerusakan secara total pada *frame* dapat saja terjadi terutama apabila tidak adanya penerapan pola mekanisme yang jelas.
2. Desain tulangan lateral tidak layak baik pada lokasi sendi plastis maupun pada *joint*.
3. Distribusi kekakuan struktur portal yang secara vertikal yang tidak merata akan menyebabkan timbulnya tingkat yang relatif lemah (*soft storey*).
4. Struktur portal yang terlalu fleksibel dapat menyebabkan simpangan antar tingkat yang relatif besar terutama pada tingkat-tingkat bawah.

2.4.1. SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus adalah komponen struktur yang mampu memikul gaya akibat beban gempa dan direncanakan untuk memikul lentur. Komponen struktur tersebut juga harus memenuhi syarat-syarat di bawah ini :

1. Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi $0.1.A_g.f_c'$.
2. Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
3. Perbandingan antara lebar dan tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.
4. Lebar nya tidak boleh kurang dari 250 mm dan lebih dari lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi tiga perempat tinggi komponen struktur lentur.

Faktor Reduksi Gempa (R) = 8,0.

4.2.2. SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah)

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah adalah suatu metode perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen yang menitik beratkan kewaspadaannya

terhadap kegagalan struktur akibat keruntuhan geser. Pada SNI 03-2847-2002 (Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung), SRPMM dijelaskan secara tersendiri pada pasal 23.10. Pada pasal tersebut, dijelaskan tata cara perhitungan beban geser batas berikut pemasangan tulangan gesernya. Kemampuan penampang dalam mengantisipasi perbalikan momen juga disyaratkan pada peraturan tersebut.

Faktor Reduksi Gempa (R) = 5,0.

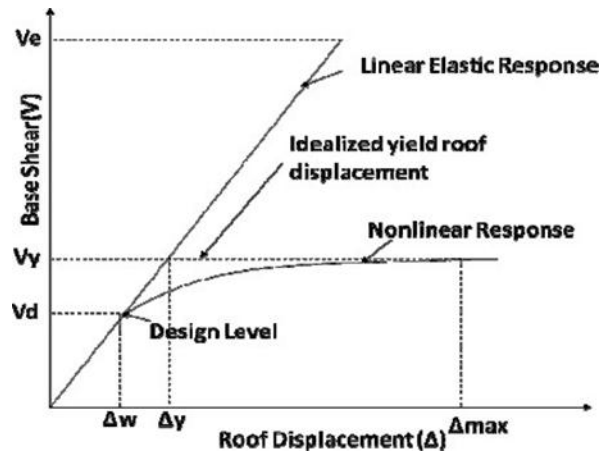
4.2.3. SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa)

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa merupakan sistem yang memiliki deformasi inelastik dan tingkat daktilitas yang paling kecil tapi memiliki kekuatan yang besar, oleh karena itu desain SRPMB dapat mengabaikan persyaratan “Strong Column Weak Beam” yang dipakai untuk mendesain struktur yang mengandalkan daktilitas yang tinggi. Sistem ini masih jarang digunakan untuk wilayah gempa yang besar namun efektif untuk wilayah gempa yang kecil.

Faktor Reduksi Gempa (R) = 3,0.

2.4.4. Faktor Modifikasi Respon (R)

Persyaratan desain bangunan untuk beban-beban gravitasi akan selalu berbeda dengan beban yang bersifat lateral seperti beban angin dan gempa bumi. Beban lateral seperti angin dapat digolongkan kedalam pembebanan primer karena biasanya dirancang dengan kisaran 1% sampai 3% dari berat struktur sehingga bisa dilakukan dengan konsep desain elastisitas. Hal tersebut tidak berlaku terhadap beban gempa, beban lateral gempa biasanya dirancang dengan kisaran 30% sampai 40% dari berat struktur sehingga jika didesain dengan konsep elastisitas, struktur akan sangat berat dan tidak ekonomis. Oleh karena itu desain beban gempa lebih difokuskan kepada konsep pengendalian dan pencegahan keruntuhan. Hal ini dapat digambarkan pada gambar 2.6 di bawah untuk respon elastis dan inelastis pada struktur dengan kondisi linier elastis dan nonlinier.

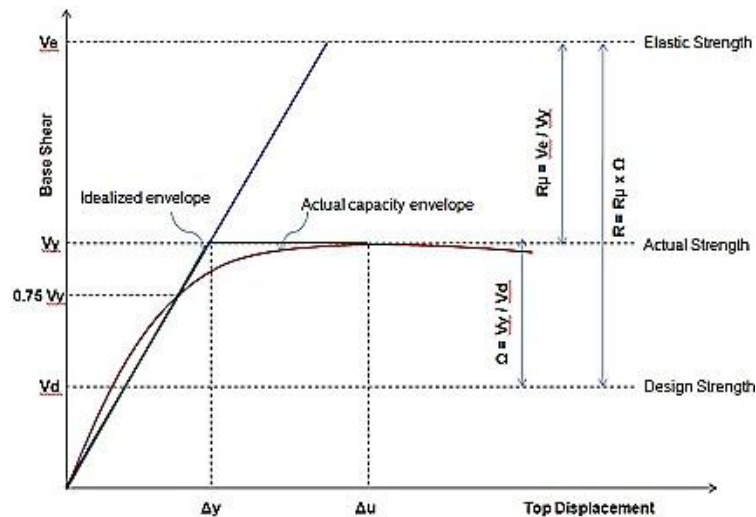


Gambar 2.6. Respon gaya-perpindahan struktur kondisi elastis dan inelastis

2.4.5. Definisi Faktor Modifikasi Respon (R)

Faktor R merupakan parameter desain seismik yang penting dalam mendefinisikan tingkat kekakuan struktur selama terjadi gempa. Faktor R merupakan faktor yang digunakan untuk memperhitungkan nilai redaman dan daktilitas pada suatu sistem struktur sehingga struktur mampu berdeformasi cukup besar mendekati deformasi maksimumnya. Faktor R mencerminkan kemampuan struktur dalam mendisipasi energi melalui perilaku inelastis.

Sesuai dengan konsep desain bangunan tahan gempa, struktur dirancang untuk beban geser dasar yang lebih kecil dari yang diperlukan agar struktur berperilaku elastis selama terjadi gempa. Hubungan antara faktor modifikasi respon (R), faktor kuat lebih struktur (Ω), dan faktor reduksi daktilitas (R_μ) dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Hubungan antara faktor modifikasi respon (R), faktor kuat lebih struktur (Ω), dan faktor reduksi daktilitas ($R\mu$)

Reduksi yang besar ini terutama disebabkan oleh dua faktor utama (Gambar 2.7), yaitu:

1. Faktor reduksi daktilitas ($R\mu$), mengurangi kekuatan elastis yang dibutuhkan ke tingkat kuat leleh maksimum struktur.
2. Faktor kuat lebih (Ω), yang dimasukkan kedalam perhitungan sebagai kekuatan lebih seperti yang dimuat di dalam peraturan.

2.5. Peraturan Pembebanan Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012

Perencanaan suatu konstruksi gedung harus memperhatikan aspek kegempaan, terutama di Indonesia karena merupakan salah satu daerah dengan zona gempa yang tinggi. Aspek kegempaan tersebut dianalisis berdasarkan peraturan yang berlaku di negara tersebut dan Indonesia memiliki peraturan sendiri dan peta gempanya. Peraturan yang berlaku saat ini ialah SNI 03-1726-2012 yang merupakan revisi dari SNI 03-1726-2002 dimana parameter wilayah gempanya sudah tidak digunakan lagi dan diganti berdasarkan dari nilai S_s (parameter respons spectral percepatan gempa pada periode pendek) dan nilai S_1 (parameter respons spectral percepatan gempa pada periode 1 detik) pada setiap daerah yang ditinjau. Dalam hal ini, tata cara perencanaan bangunan gedung tahan gempa menjadi lebih rasional dan akurat.

2.5.1. Gempa Rencana dan Faktor Keutamaan

Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat sebesar 2 persen selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

Tabel 2.1: Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012.

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dan struktur lainnya yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none">- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan- Fasilitas sementara- Gudang penyimpanan- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none">- Perumahan- Rumah toko dan rumah kantor- Pasar- Gedung perkantoran- Gedung apartemen/ Rumah susun- Pusat perbelanjaan/ Mall- Bangunan industri- Fasilitas manufaktur- Pabrik	II

Untuk berbagai kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 2.2 khusus untuk struktur bangunan dengan kategori resiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori resiko IV.

Tabel 2.2: Faktor keutamaan gempa (SNI 03-1726-2012).

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

2.5.2. Klasifikasi Situs dan Parameter

Prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria seismik adalah berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasi terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, berikut disajikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2012.

Kelas Situs	\tilde{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{cR}	\bar{S}_w (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

Tabel 2.3: *Lanjutan.*

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $W \geq 40 \%$, dan 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa.		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respon spesifik situs yang mengikuti Pasal 6.10.1 tentang Analisa Respon Situs berdasarkan SNI 1726:2012	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: – Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah. – Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) – Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ dengan Indeks Plastisitas $PI > 7,5$)		

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

2.5.3. Parameter Percepatan Gempa

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_I (percepatan batuandasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismic pada Bab 14 yang tertera dalam SNI 03-1726-2012 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

Untuk penentuan respons spectral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismic pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait

percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan factor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spectrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{MI}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan menggunakan Pers. (2.1) dan (2.2).

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

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

dimana:

S_s = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda pendek 0,2 detik di batuan dasar (S_B) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2012

S_1 = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda 1,0 detik di batuan dasar (S_B) mengacu pada peta Gempa SNI 1726:2012

F_a = Koefisien perioda pendek

F_v = Koefisien perioda 1,0 detik

Tabel 2.4: Koefisien perioda pendek (F_a) berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi situs (sesuai Tabel 2.3)	PGA				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 0,4$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	Memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respon situs-spesifik				

Tabel 2.5: Koefisien perioda 1,0 detik (F_v) berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi situs (sesuai Tabel 2.3)	PGA				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5

Tabel 2.5: *Lanjutan.*

Klasifikasi situs (sesuai Tabel 2.3)	PGA				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	Memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respon situs-spesifik				

2.5.4. Parameter Percepatan Spektral Desain

Spektrum respons adalah salah satu cara penyelesaian problem persamaan diferensial gerakan struktur MDOF. Walaupun memakai prinsip dinamik, tetapi metode ini bukanlah kategori analisis riwayat waktu. Penggunaan metode ini hanya terbatas pada pencarian respons-respons maksimum. Dengan memakai spektrum respons yang telah disiapkan (tiap-tiap daerah gempa), maka respons-respons maksimum dapat dicari dalam waktu yang relatif singkat dibanding dengan cara analisis riwayat waktu. Namun demikian penyelesaian problem dengan cara ini hanya bersifat pendekatan artinya spektrum respons akan diperoleh dengan asumsi-asumsi tertentu.

Pada kenyataannya perlu diketahui prinsip dasar pada analisis dan desain struktur bangunan tahan gempa yaitu antara suplai (*supply*) dan kebutuhan (*demand*). Kebutuhan yang dimaksud dalam hal ini adalah kebutuhan kekuatan struktur sedemikian sehingga dengan tercukupinya kebutuhan kekuatan struktur mampu menahan beban dengan aman. Spektrum respons akan berfungsi sebagai alat untuk mengestimasi dalam menentukan *strenght demand*. Di lain pihak, suplai kekuatan dapat dilakukan setelah melakukan desain elemen struktur. Desain elemen dapat dilakukan dengan berdasar pada kekuatan bahan hasil uji elemen di laboratorium. Dengan demikian desain kekuatan harus didasarkan atas kekuatan yang nyata/riil atas bahan yang dipakai. Estimasi kebutuhan kekuatan struktur (*strenght demand*) akibat beban gempa pada prinsipnya adalah menentukan seberapa besar beban horisontal yang akan bekerja pada tiap-tiap massa. Hal ini terjadi karena beban gempa akan mengakibatkan struktur menjadi bergetar dan pengaruhnya dapat diekivalenkan/seolah-olah terdapat gaya

horizontal yang bekerja pada tiap-tiap massa. Spektrum respons dapat dipakai untuk menentukan gaya horizontal maupun simpangan struktur MDOF tersebut.

Spektrum respons merupakan suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara perioda getar struktur, T , lawan respons-respons maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respons-respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (spektrum perpindahan, S_d) kecepatan maksimum (spektrum kecepatan, S_v) atau percepatan maksimum (spektrum percepatan, S_a) massa struktur. Terdapat dua macam spektrum yaitu spektrum elastik dan spektrum inelastik. Spektrum elastik adalah spektrum yang didasarkan atas respons elastik struktur, sedangkan spektrum inelastik (juga disebut desain spektrum respons) adalah spektrum yang direduksi dari spektrum elastik dengan nilai daktilitas tertentu. Nilai spektrum dipengaruhi oleh perioda getar, rasio redaman, tingkat daktilitas dan jenis tanah. Umumnya beban gempa, rasio redaman, daktilitas dan jenis tanah sudah dijadikan suatu variabel kontrol sehingga grafik yang ada tinggal diplot antara periode getar, T , lawan nilai spektrum, apakah simpangan, kecepatan atau percepatan maksimum. Secara umum yang dipakai adalah spektrum akselerasi.

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spectrum respons desain harus mengikuti ketentuan berikut:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus ditentukan berdasarkan Pers. (2.3).

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.3)$$

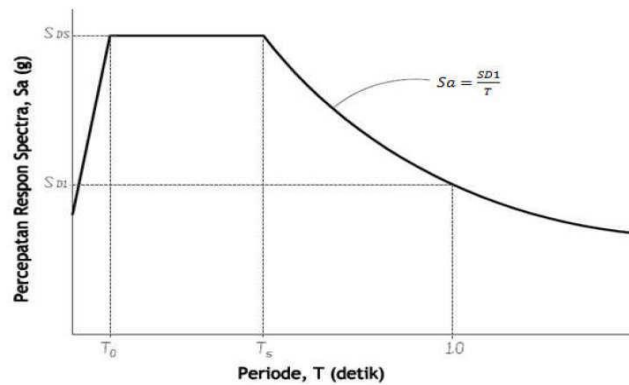
2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan SDS .
3. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spectrum respons percepatan desain, S_a , dihitung berdasarkan Pers. (2.4).

$$S_a = \frac{SD_1}{T} \quad (2.4)$$

dimana:

SDS = parameter respons spectral percepatan desain pada perioda pendek

SDI = parameter respons spectral percepatan desain pada perioda 1 detik
 T = perioda getar fundamental struktur



Gambar 2.8: Spektrum respons desain.

2.5.5. Struktur Penahan Beban Gempa

Sistem penahan gaya seismik lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang telah ditetapkan pada SNI 1726:2012 Pasal 7.2 Struktur Penahan Beban Gempa tentang, setiap tipe dibagi-bagi berdasarkan tipe elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya seismik lateral. Setiap sistem penahan gaya seismik yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang telah ditetapkan.

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.2 tentang Struktur Penahan Beban Gempa, sistem struktur penahan gaya seismik ditentukan oleh parameter berikut:

- Faktor koefisien modifikasi respon (R)
- Faktor kuat lebih sistem (C_d)
- Faktor pembesaran defleksi (Ω_0)
- Faktor batasan tinggi sistem struktur

Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6: Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa.

Sistem penahan gaya gempa seismik	Koef. Modifikasi respon, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 1/2	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 1/2	TB	TB	TI	TI	TI
3. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 1/2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5 1/2	TB	TB	TB	TB	TB

2.5.6. Perioda Alami Struktur

Perioda adalah besarnya waktu yang diperlukan untuk mencapai satu getaran. Perioda alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan dimana frekuensi alami struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur (Budiono dan Supriatna, 2011).

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2 tentang Penentuan Perioda, perioda struktur fundamental (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisa yang teruji. Perioda struktur fundamental memiliki nilai batas minimum dan batas maksimum. Nilai-nilai tersebut ditentukan dalam Pers. 2.3 dan Pers. 2.4.

- Perioda fundamental pendekatan minimum ($T_{a \text{ minimum}}$):

$$T_{a \text{ minimum}} = C_t h_n^x \quad (2.5)$$

- Periode fundamental pendekatan maksimum ($T_{a \text{ maksimum}}$):

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u T_{a \text{ minimum}} \quad (2.6)$$

dimana:

$T_{a \text{ minimum}}$ = Nilai batas bawah periode bangunan

$T_{a \text{ maksimum}}$ = Nilai batas atas periode bangunan

h_n = Ketinggian struktur dalam m di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (m)

x = Ditentukan dari Tabel 2.7

C_t = Ditentukan dari Tabel 2.7

C_u = Ditentukan dari Tabel 2.8

Tabel 2.7: Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x berdasarkan SNI 1726:2012.

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100% seismik yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Tabel 2.8: Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2012.

Parameter Percepatan Respon Spektrum Desain pada 1 Detik S_{D1}	Koefisien (CU)
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

2.5.7. Simpangan (*Drift*) Akibat Gaya Gempa

Simpangan (*drift*) adalah sebagai perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau dapat dikatakan simpangan mendatar tiap-tiap tingkat bangunan (*horizontal story to story deflection*).

Simpangan lateral dari suatu sistem struktur akibat beban gempa adalah sangat penting yang dilihat dari tiga pandangan yang berbeda, menurut Farzat Naeim (1989):

1. Kestabilan struktur (*structural stability*)
2. Kesempurnaan arsitektural (*architectural integrity*) dan potensi kerusakan bermacam-macam komponen non-struktur
3. Kenyamanan manusia (*human comfort*), sewaktu terjadi gempa bumi dan sesudah bangunan mengalami gerakan gempa.

Simpangan antar tingkat dari suatu titik pada suatu lantai harus ditentukan sebagai simpangan horizontal titik itu, relatif terhadap titik yang sesuai pada lantai yang berada dibawahnya. Untuk menjamin agar kenyamanan para penghuni gedung tidak terganggu maka dilakukan pembatasan-pembatasan terhadap simpangan antar tingkat pada bangunan. Pembatasan ini juga bertujuan untuk mengurangi momen-momen sekunder yang terjadi akibat penyimpangan garis kerja gaya aksial di dalam kolom-kolom (yang lebih dikenal dengan P-delta). Menurut SK SNI-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung pasal 8.1.2 bahwa untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung menurut Pasal 8.1.1 tidak boleh melampaui $0,03/R$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung yang mana yang nilainya terkecil. Sementara Berdasarkan UBC 1997 bahwa batasan *story drift* atau simpangan antar tingkat adalah sebagai berikut:

Untuk periode bangunan yang pendek $T < 0,7$ detik, maka simpangan antar tingkat $\cdot m \cdot 0,0025I_h$ atau 2,5% dari tinggi bangunan. Untuk periode bangunan yang pendek $T > 0,7$ detik, maka simpangan antar tingkat $\cdot m \cdot 0,002I_h$ atau 2,0% dari tinggi bangunan.

2.5.8. Metode Analisa

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7, analisa struktur yang disyaratkan harus terdiri dari salah satu tipe yang diijinkan dalam Tabel 2.9, berdasarkan pada kategori desain seismik struktur, sistem struktur, properti dinamis, dan keteraturan, atau dengan persetujuan pemberi ijin yang mempunyai kuasa hukum, sebuah prosedur alternatif yang diterima secara umum diijinkan digunakan.

Tabel 2.9: Prosedur analisa yang boleh digunakan.

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisa gaya lateral ekivalen Pasal 7.8	Analisa spektrum respon ragam Pasal 7.9	Prosedur riwayat respon seismik Pasal 11
B, C	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat.	I	I	I
B, C	Bangunan lainnya dengan Kategori I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat.	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat.	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat.	I	I	I
	Struktur beraturan dengan $T < 3,5 T_s$ dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan. Struktur tidak beraturan dengan $T < 3,5 T_s$ dan mempunyai hanya	I	I	I
	ketidakberaturan horizontal Tipe 2, 3, 4, atau 5 dari Tabel 10 atau ketidakberaturan vertikal Tipe 4, 5a, atau 5b dari			
	Tabel 11.			
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Catatan: Diijinkan, TI: Tidak diijinkan

2.5.8.1. Metode Analisa Respon Spektrum Ragam

Parameter respon terkombinasi respon masing-masing ragam yang ditentukan melalui spektrum respon rencana gempa merupakan respon maksimum. Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan ragam respon menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%.

Untuk penjumlahan respon ragam yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Waktu getar alami dianggap berdekatan apabila selisihnya kurang dari 15%. Sedangkan untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respon ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode yang dikenal dengan Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*).

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 85% nilai respon ragam yang pertama. Bila respon dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser V_t , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dalam Pers. 2.7.

$$V_t \geq 0,85 V_1 \quad (2.7)$$

Maka, apabila nilai akhir respon dinamik lebih kecil dari nilai respon ragam pertama, gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisa spektrum respon ragam dalam suatu arah tertentu harus dikalikan nilainya dengan suatu faktor skala yang ditentukan dengan Pers. 2.8.

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,85V_1}{V_t} \geq 1 \quad (2.8)$$

dimana:

V_t = Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisa ragam spektrum respon yang telah dilakukan

V_1 = Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekuivalen

2.5.8.2. Metode Analisa Riwayat Waktu

Analisa riwayat waktu terbagi menjadi 2 jenis metode, yaitu:

1. Analisa respon dinamik riwayat waktu linear

Adalah suatu cara analisa untuk menentukan riwayat waktu respon dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal sebagai data maksimum, dimana respon dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi langsung atau dapat juga dengan metode analisa ragam.

2. Analisa respon dinamik riwayat waktu nonlinear

Adalah suatu cara analisa untuk menentukan riwayat waktu respon dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh (linear) maupun elasto-plastis (nonlinear) terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal sebagai data maksimum, dimana respon dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi langsung.

2.5.9. Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan

Beban kerja pada struktur atau komponen struktur ditetapkan berdasarkan peraturan pembebanan yang berlaku. Berdasarkan PPPURG (1987), beban pada struktur atau komponen struktur dikelompokkan menjadi 5 jenis beban, yaitu:

1. Beban mati, yaitu berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu seperti pipa-pipa, saluran listrik, AC, lampu-lampu, penutup lantai/atap, plafon, dan sebagainya.
2. Beban hidup, yaitu semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari

gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

3. Beban angin, yaitu semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.
4. Beban gempa, yaitu semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu.
5. Beban khusus, yaitu semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan pondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

Kombinasi beban untuk metode ultimit struktur, komponen-komponen struktur dan elemen-elemen pondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor.

Menurut Budiono dan Supriatna (2011), faktor-faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal adalah:

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3. $1,2 DL + 1 LL \pm 0,3 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL) \pm 1 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL)$
4. $1,2 DL + 1 LL \pm 1 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL) \pm 0,3 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL)$
5. $0,9 DL \pm 0,3 (\rho Q_E - 0,2 S_{DS} DL) \pm 1 (\rho Q_E - 0,2 S_{DS} DL)$
6. $0,9 DL \pm 1 (\rho Q_E - 0,2 S_{DS} DL) \pm 0,3 (\rho Q_E - 0,2 S_{DS} DL)$

dimana:

DL = Beban mati, termasuk SIDL

LL = Beban hidup

Ex = Beban gempa arah-x

Ey = Beban gempa arah-y

ρ = Faktor redudansi

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektrum desain pada perioda pendek

Q_E = Pengaruh gaya seismik horizontal dari V , yaitu gaya geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau. Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain

Faktor redudansi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya seismik masing-masing dalam kedua arah orthogonal untuk semua struktur.

2.6. Program Ruaumoko

Program Ruaumoko dirancang oleh Prof. Athol J Carr, yang berasal dari University of Canterbury, New Zealand. Program ini dirancang untuk melakukan analisa struktur, seperti bangunan dan/atau jembatan, yang mengalami gempa dan eksitasi dinamis lainnya. Program ini digunakan untuk studi eksitasi gempa termasuk pemodelan sistem base-isolation. Program ini juga dapat digunakan untuk menganalisa push over, baik statis maupun dinamis. Pada awalnya program ini dirancang untuk analisa 2D (2 dimensi), namun sekarang analisa 3D sudah bisa dilakukan dengan kemampuan pemodelan penuh struktur tiga dimensi. Beberapa jenis analisis yang bisa dilakukan dengan program Ruaumoko, diantaranya yaitu:

- a. Analisis statis.
- b. Modal atau analisis eigen value untuk menemukan frekuensi dan bentuk mode getaran bebas. Program juga menghitung fraksi redaman kritis terkait dengan setiap mode natural dari getaran bebas sebagai hasil pemilihan model redaman.
- c. Analisis gempa dinamis dengan input gempa horizontal dan /atau vertikal serta beban statis awal.
- d. Respon dinamis dengan riwayat gaya dinamis serta beban statis awal.
- e. Analisis secara elastis.
- f. Analisis secara inelastis atau nonlinear analisis.
- g. Analisis elastis respon spectra dan riwayat waktu.

Program Ruaumoko-3D dirilis pada Januari 2001 setelah 20 bulan pengujian intensif di University of Canterbury. Dalam pengembangan berkelanjutan, banyak kemajuan yang telah dibuat dalam beberapa tahun terakhir yang didukung upaya kerja sama dengan universitas luar negeri dan kelompok penelitian, diantaranya:

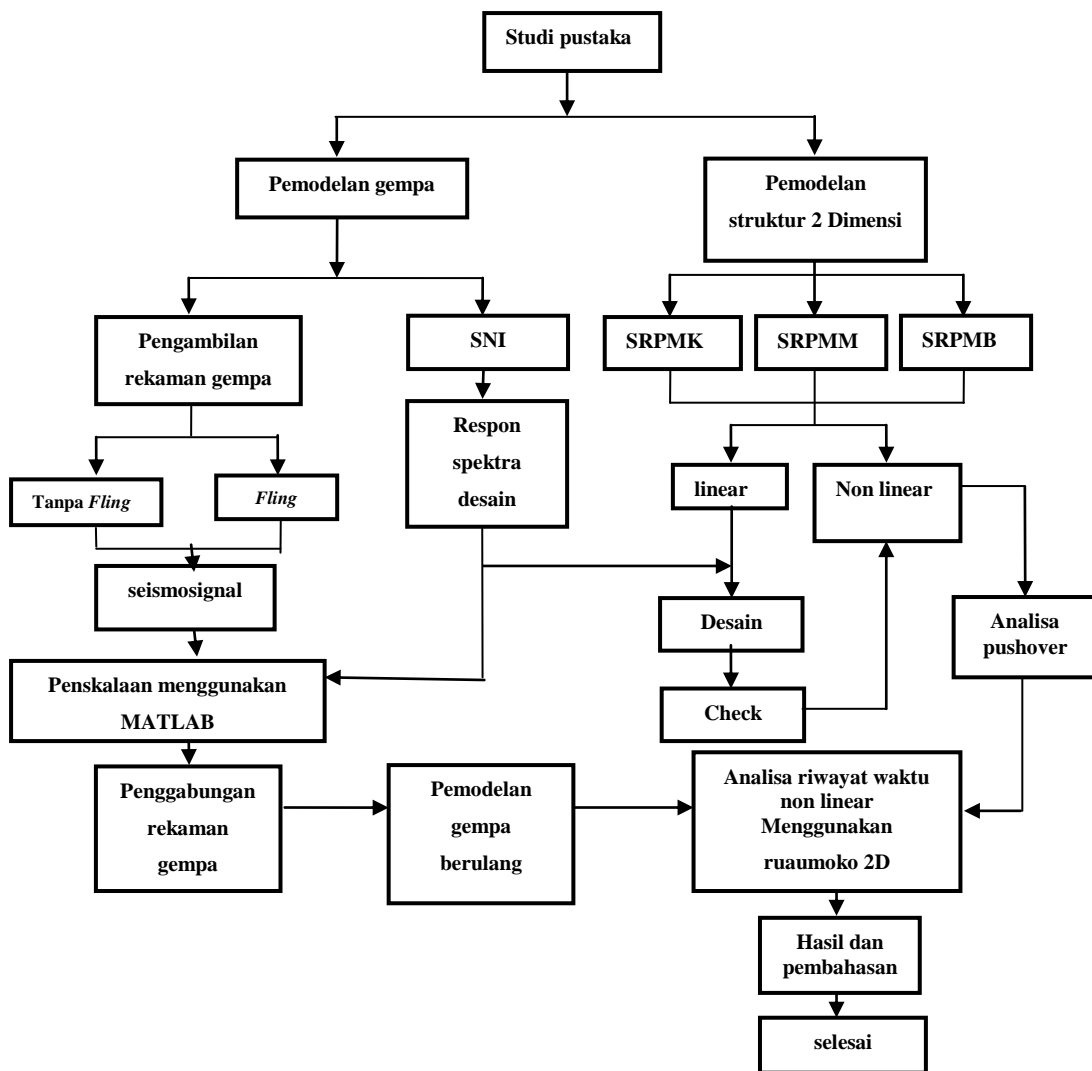
- a. Pemodelan komponen untuk memungkinkan efek geser elastis pada balok dan kolom.
- b. Model histeresis untuk menstimulasikan non-linear geser balok untuk koneksi kolom di struktur baja.
- c. Model histeresis pemodelan kontrol menggabungkan semi-aktif.
- d. Aturan degradasi kekuatan baru untuk pengurangan kekuatan beton bertulang pada sambungan balok-kolom.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Bab ini berisi tentang pemodelan struktur yang direncanakan. Struktur dianalisis menggunakan 2 *software* bantuan, yaitu Program Analisa Struktur, dan RUAUMOKO2D versi 04. Secara umum, metode penelitian dalam Tugas Akhir ini dibuat dalam suatu diagram alir seperti yang tampak pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.

Berdasarkan Gambar 3.1, dapat dijelaskan bahwa dalam Tugas Akhir ini analisis dilakukan terhadap 5 model, setiap modelnya memiliki 3 sistem rangka pemikul momen yaitu sistem rangka pemikul momen khusus, sistem rangka pemikul momen menengah, dan sistem rangka pemikul momen biasa. Kelima model bangunan tersebut dianalisis secara Linear dan Non-Linear dengan menggunakan Metode Analisis Respon Spektrum (*Response Spectrum Analysis*) dengan menggunakan Program Analisa Struktur serta Analisis Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) dengan menggunakan *software* RUAUMOKO versi 04, untuk mendapatkan nilai simpangan yang ada ketika bangunan telah dikenakan gempa tunggal dan berulang (gabungan). Kemudian nilai simpangan tersebut akan dibandingkan untuk setiap model bangunan serta metode yang digunakan.

3.2. Pemodelan Struktur

3.2.1. Data Perencanaan Struktur

Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada keempat pemodelan dalam Program Analisa Struktur, yaitu:

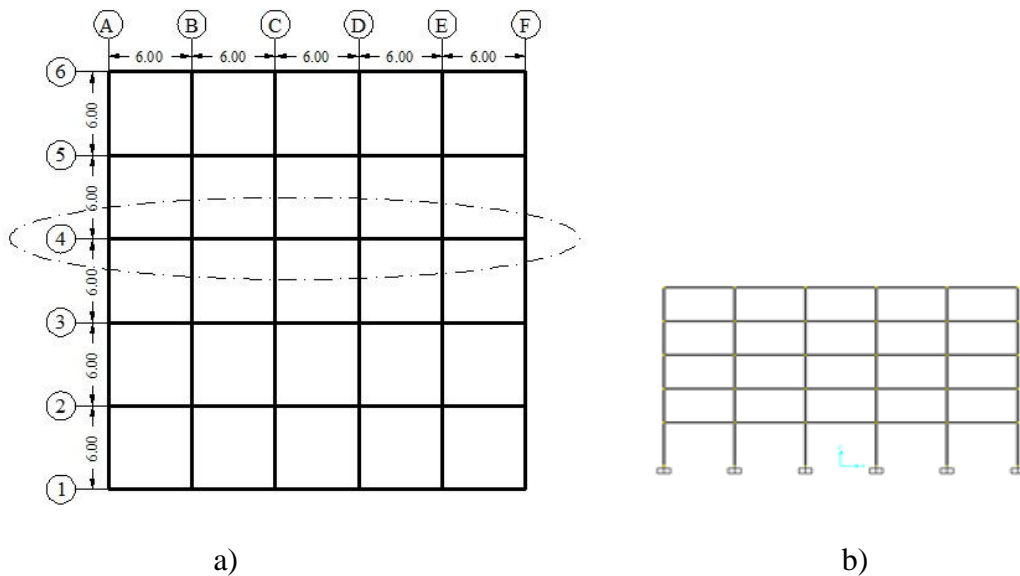
1. Jenis pemanfaatan gedung perkantoran.
2. Gedung terletak di Banda Aceh dan Palembang.
3. Klasifikasi situs tanah lunak (SE), tanah keras (SC), dan tanah batuan (SB).
4. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB).
5. Jenis portal struktur gedung adalah beton bertulang.
6. Kuat tekan beton ($f'c$) yang digunakan:
 - Kolom : 50 MPa
 - Balok : 40 MPa
7. Mutu baja tulangan yang digunakan adalah BJTS 41:
 - Kuat leleh minimum (f_y) : 410 MPa
 - Kuat tarik minimum (f_u) : 550 Mpa

3.2.2. Konfigurasi Bangunan

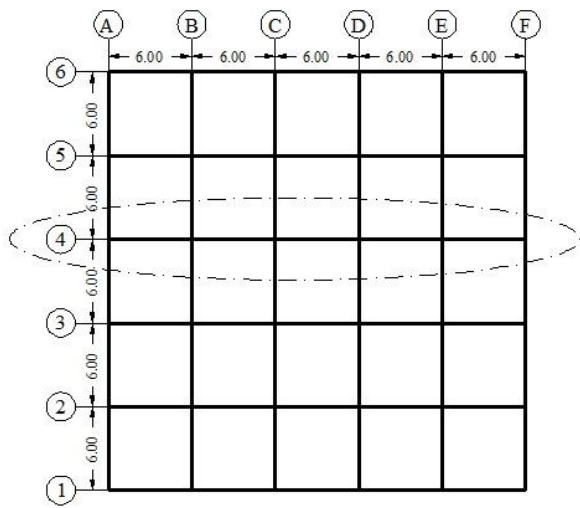
Dalam Tugas Akhir ini, struktur bangunan yang direncanakan adalah struktur beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen khusus. Bangunan berbentuk persegi yang simetri (*regular building*) seperti yang terlihat pada Gambar 3.2.

Adapun jenis pemodelan struktur yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah:

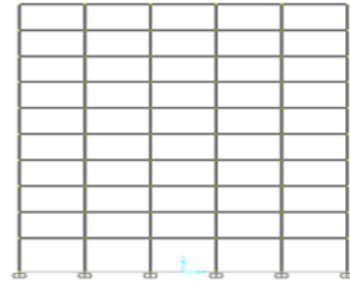
1. Model 1 = SRPMK, SRPMM, dan SRPMB (5 Lantai)
2. Model 2 = SRPMK, SRPMM, dan SRPMB (10 Lantai)
3. Model 3 = SRPMK, SRPMM, dan SRPMB (15 Lantai)
4. Model 4 = SRPMK, SRPMM, dan SRPMB (20 Lantai)
5. Model 4 = SRPMK, SRPMM, dan SRPMB (30 Lantai)



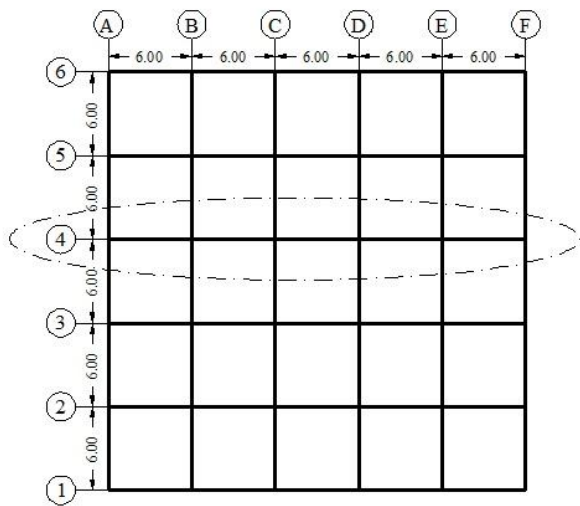
Gambar 3.2: a) Denah struktur Model 1, b) Proyeksi bangunan Model 1, c) Denah struktur Model 2, d) Proyeksi bangunan Model 2, e) Denah struktur Model 3, f) Proyeksi bangunan Model 3, g) Denah struktur Model 4; h) Proyeksi bangunan Model 4., i) Denah struktur Model 5, j) Proyeksi bangunan Model 5.



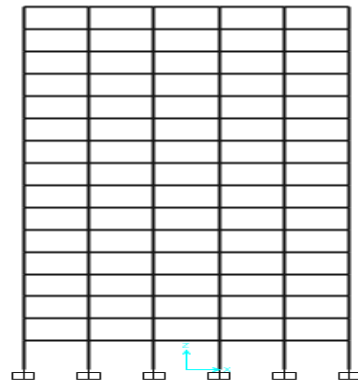
c)



d)

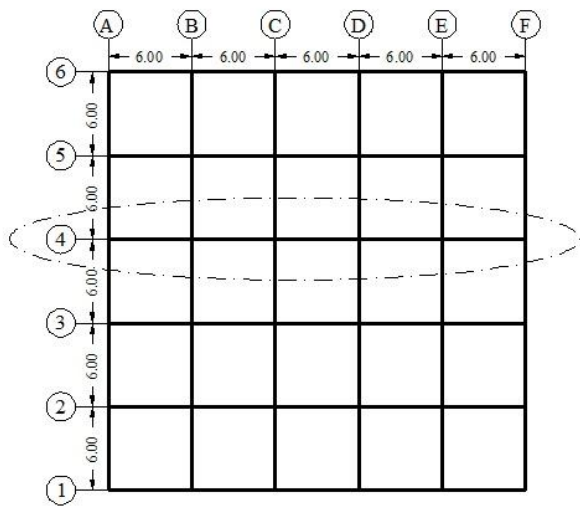


e)

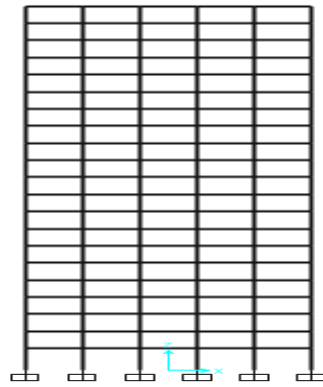


f)

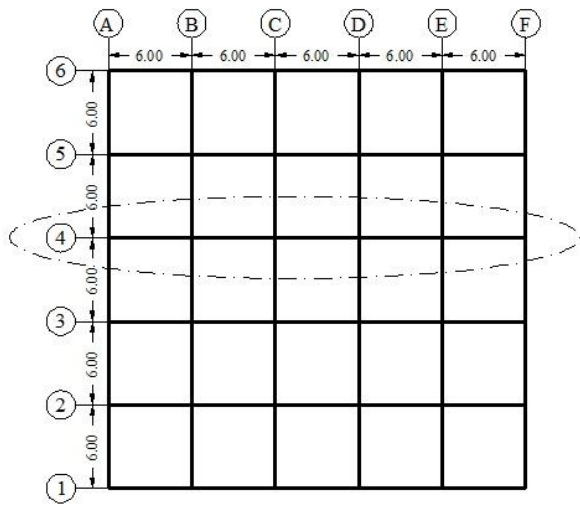
Gambar 3.2: Lanjutan.



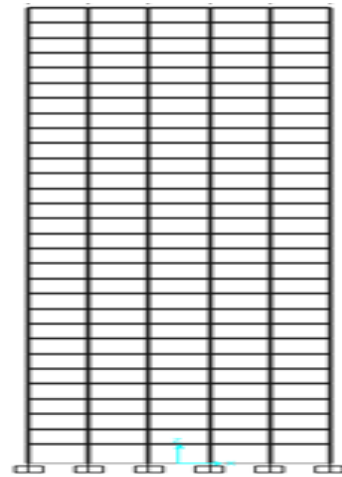
g)



h)



i)



j)

Gambar 3.2: Lanjutan.

3.2.3. Dimensi Kolom-Balok

Bangunan yang direncanakan adalah struktur beraturan, Struktur gedung direncanakan dengan dimensi penampang yang berbeda.

Ukuran balok dan kolom terdapat pada Tabel 3.1, sedangkan letak dan posisi dari masing-masing ukuran kolom dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Tabel 3.1: Komponen struktural bangunan.

Model bangunan	Ukuran Kolom (cm)	Keterangan	Ukuran Balok (cm)	Keterangan
Model 1	80 x 80	kolom lantai 1-2	40 x 70	sama untuk semua lantai
	60 x 60	kolom lantai 3-5		
Model 2	100 x 100	kolom lantai 1-5	40 x 70	sama untuk semua lantai
	80 x 80	kolom lantai 6-10		
Model 3	100 x 100	kolom lantai 1-5	40 x 70	sama untuk semua lantai
	80 x 80	kolom lantai 6-10		
	60 x 60	kolom lantai 11-15		
Model 4	140 x 140	kolom lantai 1-5	40 x 70	sama untuk semua lantai
	120 x 120	kolom lantai 6-10		
	100 x 100	kolom lantai 11-15		
	80 x 80	kolom lantai 16-20		
Model 5	160 x 160	kolom lantai 1-5	40 x 70	sama untuk semua lantai
	140 x 140	kolom lantai 6-10		
	120 x 120	kolom lantai 11-15		
	100 x 100	kolom lantai 16-20		
	80 x 80	kolom lantai 21-25		
	60 x 60	kolom lantai 26-30		

3.3. Analisis Struktur

3.3.1. Analisis Dinamik Struktur Linear

Analisis ini menggunakan Metode Respon Spektrum. Pada analisis ini, alat bantu *software* yang digunakan adalah Program Analisa Struktur.

3.3.1.1. Pembebanan

Beban gravitasi yang bekerja pada struktur bangunan diambil dari PPPURG (1987) dan SNI 1727:2013 yang telah disesuaikan dengan jenis dan fungsi bangunan. Beban-beban tersebut adalah beban hidup dan beban mati yang berhubungan dengan komponen material bangunan. Nilai beban hidup dan beban mati yang digunakan dalam perencanaan dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3.2: Berat material konstruksi berdasarkan PPPURG 1987.

Beban Mati	Besarnya Beban
Beton bertulang	2400 kg/m ³
Plafon dan penggantung	18 kg/m ²
Adukan /cm dari semen	21 kg/m ²
Pasangan bata setengah batu	250 kg/m ²
Penutup lantai dari keramik	24 kg/m ²

Tabel 3.3: Beban hidup pada lantai dan atap struktur berdasarkan SNI 1727:2013.

Beban Hidup	Besarnya Beban
Lantai sekolah, perkantoran, apartemen, hotel, asrama, pasar, rumah sakit	240 kg/m ²
Beban hidup pada atap gedung	100 kg/m ²

Selanjutnya nilai-nilai tersebut dihitung dan diakumulasikan sesuai dengan luas bangunan pada masing-masing tingkat/lantai yang kemudian digunakan sebagai *input* dalam pemodelan Program Analisa Struktur.

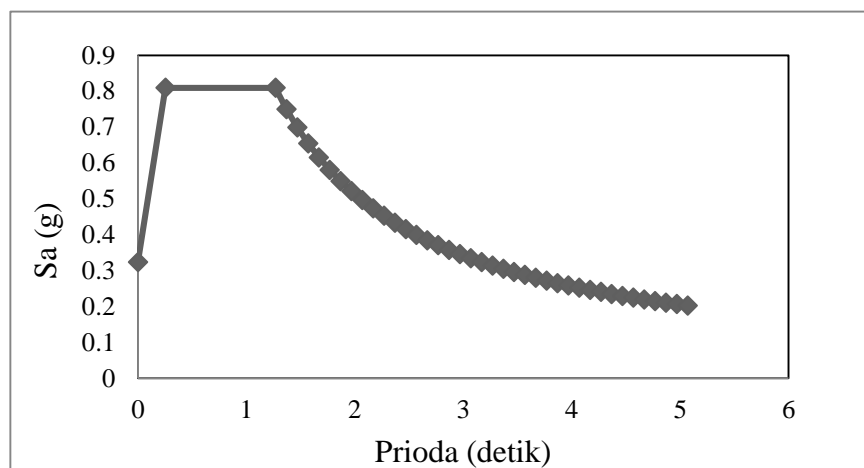
3.3.1.2. Respon Spektrum Desain Gempa

3.3.1.2.1 Desain Respon Spektrum Banda Aceh

Berdasarkan SNI 1726:2012, respon spektrum gempa didesain pada kondisi tanah lunak yang terletak di Kota Banda Aceh, kemudian dianalisis dengan data-data $PGA = 0.75$ g, $S_s = 1.349$ g dan $S_l = 0.642$ g. Berdasarkan tahap-tahap yang telah dibahas dalam sub Bab 2.5.3 dan 2.5.4, maka akan didapatkan koefisien atau nilai-nilai yang diperlukan dalam pembuatan respon spektrum desain. Nilai-nilai tersebut yaitu:

- Nilai $F_a = 0.9$
- Nilai $F_v = 2.4$
- $S_{MS} = 1.2141$
- $S_{MI} = 1.5408$
- $S_{DS} = 0.8094$
- $S_{DI} = 1.0272$
- $T_0 = 0.25382$
- $T_s = 1.26909$
- Nilai S_a

Respon spektrum diplot ke dalam grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3: Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Banda Aceh dengan jenis tanah lunak.

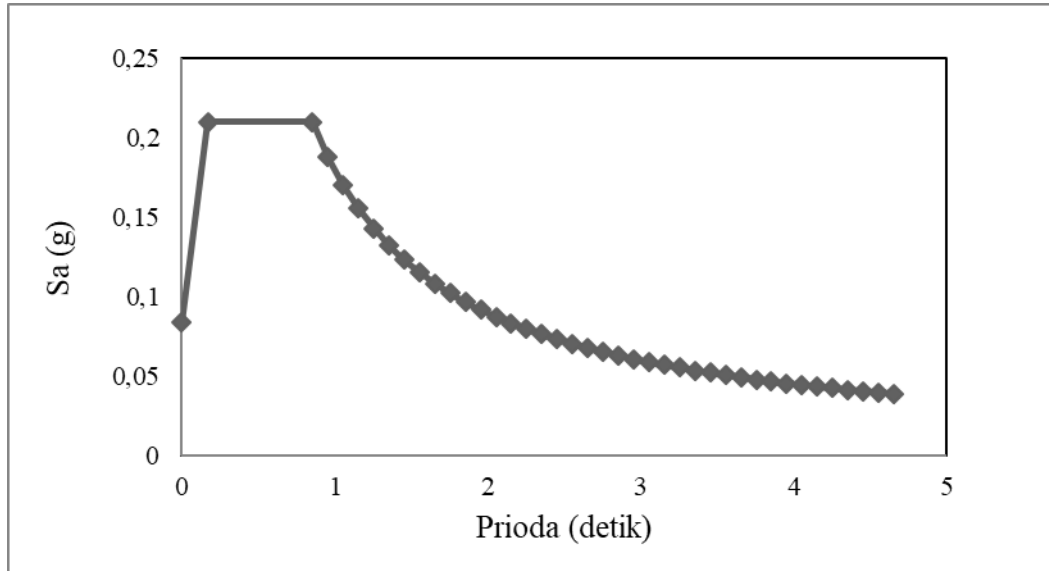
Selanjutnya nilai respon spektrum desain yang didapatkan tersebut digunakan dalam Analisis Dinamik Struktur Linear dengan Metode Respon Spektrum pada pemodelan menggunakan Program Analisa Struktur.

3.3.1.2.2 Desain Respon Spektrum Palembang (Tanah keras)

Berdasarkan SNI 1726:2012, respon spektrum gempa didesain pada kondisi tanah keras yang terletak di Kota Palembang, kemudian dianalisis dengan data-data $PGA = 0.147$ g, $S_s = 0.262$ g dan $S_1 = 0.164$ g Berdasarkan tahap-tahap yang telah dibahas dalam sub bab 2.6, maka akan didapatkan koefisien atau nilai-nilai yang diperlukan dalam pembuatan respon spektrum desain. Nilai-nilai tersebut yaitu:

- Nilai $F_a = 1.2$
- Nilai $F_v = 1.636$
- $S_{MS} = 0.3144$
- $S_{M1} = 0.2683$
- $S_{DS} = 0.2096$
- $S_{D1} = 0.17887$
- $T_0 = 0.17068$
- $T_s = 0.85338$
- Nilai S_a

Respon spektrum diplot ke dalam grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4: Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Palembang dengan jenis tanah keras.

Selanjutnya nilai respon spektrum desain yang didapatkan tersebut digunakan dalam Analisis Dinamik Struktur Linear dengan Metode Respon Spektrum pada pemodelan menggunakan Program Analisa Struktur.

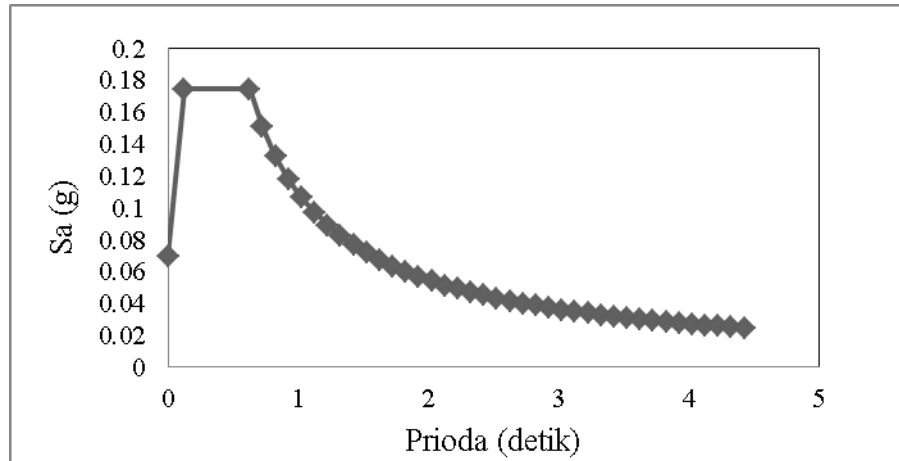
3.3.1.2.3 Desain Respon Spektrum Palembang (Tanah Batuan)

Berdasarkan SNI 1726:2012, respon spektrum gempa didesain pada kondisi tanah batuan yang terletak di Kota Palembang, kemudian dianalisis dengan data-data $PGA = 0.147$ g, $S_s = 0.262$ g dan $S_1 = 0.164$ g Berdasarkan tahap-tahap yang telah dibahas dalam sub bab 2.6, maka akan didapatkan koefisien atau nilai-nilai yang diperlukan dalam pembuatan respon spektrum desain. Nilai-nilai tersebut yaitu:

- Nilai $F_a = 1$
- Nilai $F_v = 1$
- $S_{MS} = 0.262$
- $S_{MI} = 0.164$
- $S_{DS} = 0.17467$
- $S_{DI} = 0.10933$
- $T_0 = 0.12519$
- $T_s = 0.62595$

- Nilai S_a

Respon spektrum diplot ke dalam grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5: Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Palembang dengan jenis tanah batuan.

Selanjutnya nilai respon spektrum desain yang didapatkan tersebut digunakan dalam Analisis Dinamik Struktur Linear dengan Metode Respon Spektrum pada pemodelan menggunakan Program Analisa Struktur.

3.3.1.3. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dihitung berdasarkan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2012 tentang standar perencanaan bangunan tahan gempa. Berdasarkan sub Bab 2.8.13, maka didapatkan untuk Faktor $R=8$ nilai $\rho = 1.3$ yang diperoleh dari kategori desain seismik D dan nilai $S_{DS} = 0.8094$, untuk Faktor $R = 5$ nilai $\rho = 1.0$ yang diperoleh dari kategori desain seismik C dan nilai $S_{DS} = 0.2096$, untuk Faktor $R=3$ nilai $\rho = 1.3$ yang diperoleh dari kategori desain seismik B dan nilai $S_{DS} = 0.17467$, maka kombinasi pembebanannya dapat dilihat pada Tabel 3.4 untuk faktor $R=8$, Tabel 3.5 untuk faktor $R=5$ dan Tabel 3.6 untuk faktor $R=3$.

Tabel 3.4: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai $\rho = 1$, $S_{DS} = 0.8094$.

Kombinasi	Koefisien (DL)	Koefisien (LL)	Koefisien (EX)	Koefisien (EY)
Kombinasi 1	1,4	0	0	0
Kombinasi 2	1.2	1.6	0	0
Kombinasi 3	1.248	1	0.39	0
Kombinasi 4	1.151	1	-0.39	0
Kombinasi 5	1.361	1	1.3	0
Kombinasi 6	1.038	1	-1.3	0
Kombinasi 7	0.85	0	0.39	0
Kombinasi 8	0.948	0	-0.39	0
Kombinasi 9	0.738	0	1.3	0
Kombinasi 10	1.0618	0	-1.3	0
Kombinasi Maximum <i>Envelope</i>	Nilai <i>absolute</i> dari seluruh kombinasi			

Tabel 3.5: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai $\rho = 1$, $S_{DS} = 0.2096$.

Kombinasi	Koefisien (DL)	Koefisien (LL)	Koefisien (EX)	Koefisien (EY)
Kombinasi 1	1,4	0	0	0
Kombinasi 2	1.2	1.6	0	0
Kombinasi 3	1.2125	1	0.3	0
Kombinasi 4	1.1874	1	-0.3	0
Kombinasi 5	1.2419	1	1	0
Kombinasi 6	1.1581	1	-1	0
Kombinasi 7	0.8874	0	0.3	0
Kombinasi 8	0.9125	0	-0.3	0
Kombinasi 9	0.858	0	1	0
Kombinasi 10	0.9419	0	-1	0
Kombinasi Maximum <i>Envelope</i>	Nilai <i>absolute</i> dari seluruh kombinasi			

Tabel 3.6: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai $\rho = 1.3$, $S_{DS} = 0.17467$.

Kombinasi	Koefisien (DL)	Koefisien (LL)	Koefisien (EX)	Koefisien (EY)
Kombinasi 1	1,4	0	0	0
Kombinasi 2	1.2	1.6	0	0
Kombinasi 3	1.2104	1	0.3	0
Kombinasi 4	1.1895	1	-0.3	0
Kombinasi 5	1.2349	1	1	0
Kombinasi 6	1.165	1	-1	0
Kombinasi 7	0.8895	0	0.3	0
Kombinasi 8	0.91	0	-0.3	0
Kombinasi 9	0.865	0	1	0
Kombinasi 10	0.9349	0	-1	0
Kombinasi Maximum <i>Envelope</i>	Nilai <i>absolute</i> dari seluruh kombinasi			

Kombinasi Maximum memiliki tipe kombinasi yang lain dari Kombinasi 1 sampai 10 yaitu kombinasi dengan tipe *linear add*, sementara Kombinasi Maximum adalah kombinasi dengan tipe *envelope*. Tipe kombinasi ini tidak bersifat menjumlahkan beban seperti halnya tipe kombinasi *linear add*, namun tipe ini berfungsi untuk mencari nilai gaya maksimum dan minimum dari beban yang bergerak (dimana pada beban bergerak, beban maksimum dan minimum pada suatu batang maupun *joint* tergantung dari posisi bebannya).

3.3.1.4. Analisis Respon Spektrum Ragam

Analisis ini merupakan tahap desain yang harus memenuhi syarat-syarat batas berdasarkan SNI 1726:2012. Analisis telah memenuhi syarat jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi yaitu sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Nilai untuk masing-masing parameter terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar lantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing respon ragam telah dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan respon spektrum dibagi dengan kuantitas (R/I_e). Nilai untuk perpindahan dan kuantitas

simpangan antar lantai harus dikalikan dengan kuantitas (C_d/I_e) yang nilainya telah tertera pada Tabel 2.5 untuk nilai I_e dan Tabel 2.10 untuk nilai R dan C_d .

Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, telah dikombinasikan menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) atau metode kombinasi kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Metode akar kuadrat jumlah kuadrat diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang lebih dari 15%, sementara metode kombinasi kuadrat lengkap diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang kurang dari 15%. Sehingga metode yang digunakan dalam analisis respon spektrum ragam adalah *CQC* pada Model 1, *CQC* pada Model 2, *CQC* pada Model 3, *SRSS* pada Model 4 dan *SRSS* pada Model 5.

3.3.1.5. Ground Motion Records (Data Rekaman Gempa)

Data rekaman gempa diperoleh dari *website* resmi *Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Next Generation Attenuation (NGA)*, *COSMOS Strongmotion Data Center*, *ERD* dan *CSMIP* .

Dalam pengambilan data rekaman gempa melalui *PEER NGA*, diperlukan data *Station*, *Date*, dan *Magnitude* agar terdapat korelasi antara data gempa yang diambil dari *website* tersebut dengan data gempa dari bangunan yang direncanakan.

Data rekaman gempa yang diambil sebanyak 20 rekaman gempa diantaranya rekaman gempa *No fling* (gempa biasa) dengan jarak *epicentral* diatas 20 km diambil sebanyak 10 data rekaman gempa dan rekaman gempa yang mengandung *Fling* diambil sebanyak 10 rekaman. Untuk tipe tanpa *fling* (gempa biasa) data rekaman gempa diperoleh dari *PEER NGA* dan *COSMOS* dan untuk tipe *Fling* data rekaman gempa diperoleh dari *PEER NGA*, *Cosmos*, *ERD* dan *CSMIP* .

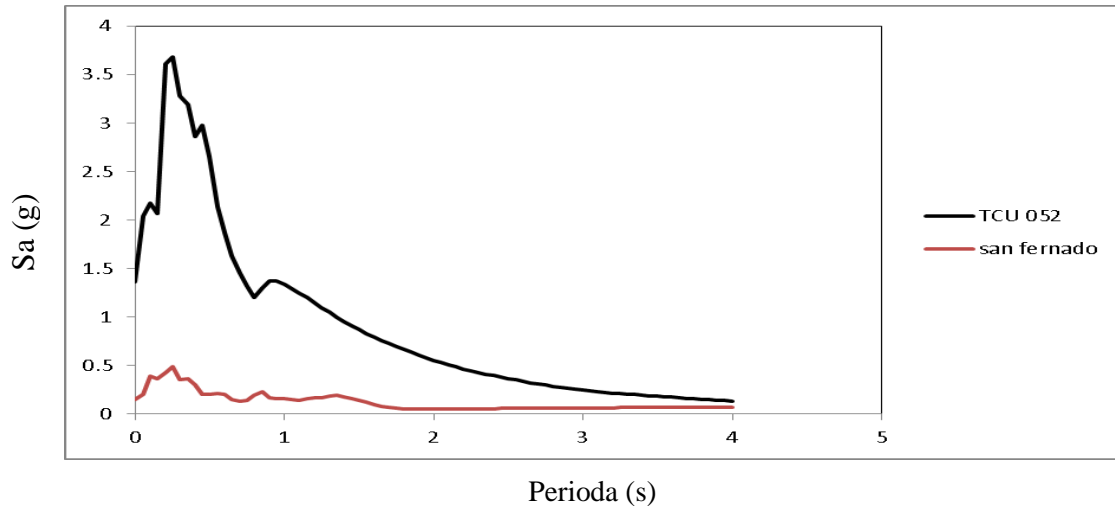
Tabel 3.11: *No Fling Records* (PEER NGA).

Gempa	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun Gempa	Mag
1	"San Fernando"	2011	"LA - Hollywood Stor FF"	6.61
2	"San Fernando"	1999	"Palmdale Fire Station"	6.61
3	"Santa Barbara"	2004	"Cachuma Dam Toe"	5.92
4	"Imperial Valley-06"	1999	"Calipatria Fire Station"	6.53
5	"Irpinia_ Italy-01"	1997	"Brienza"	6.9
6	"Taiwan SMART1(5)"	1992	"SMART1 M07"	5.9
7	"Coalinga-02"	1997	"ALP (temp)"	5.09
8	"Whittier Narrows-01"	1997	"Burbank - N Buena Vista"	5.99
9	"Northridge-01"	2004	"LA - Baldwin Hills"	6.69
10	"Chi-Chi_ Taiwan"	2011	"CHY046"	7.62

Tabel 3.14: *Fling Records* (PEER NGA, Cosmos, ERD, CSMIP).

Gempa	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun Gempa	Mag
1	"CHI CHI TCU052"	1999	"TCU052"	7.6
2	"CHI CHI TCU065"	1999	"TCU065"	7.6
3	"CHI CHI TCU068"	1999	"TCU068"	7.6
4	"CHI CHI TCU071"	1999	"TCU071"	7.6
5	"CHI CHI TCU072"	1999	"TCU072"	7.6
6	"CHI CHI TCU074 "	1999	" TCU074"	7.6
7	"CHI CHI TCU084"	1999	"TCU084"	7.6
8	"Kocaeli Izmit"	1999	"Izmit"	7.4
9	"Kocaeli Sakarya"	1999	"Sakarya"	7.4
10	"Kocaeli Yarimca"	1999	"Yamrica"	7.4

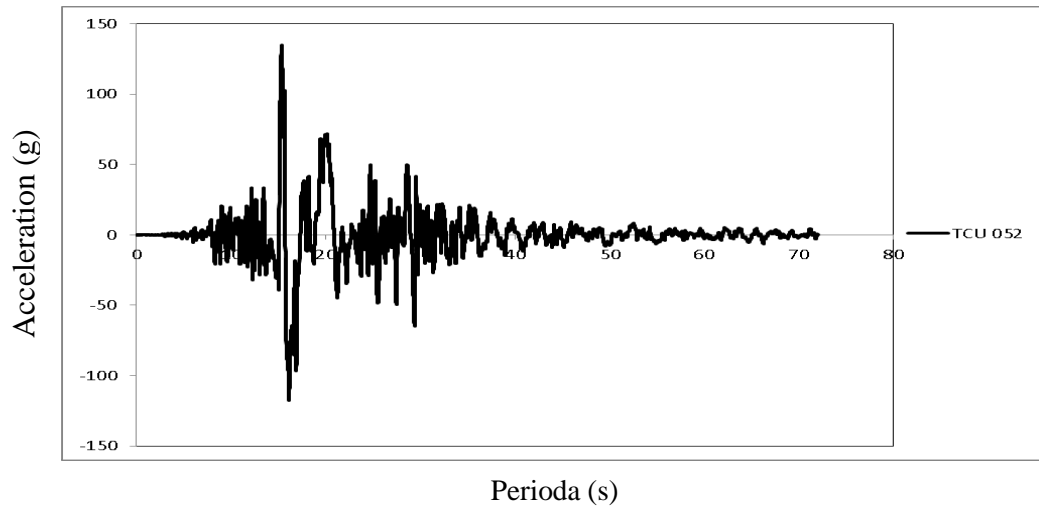
Untuk melihat secara jelas perbedaan gempa yang mengandung *fling* dan tidak mengandung *fling* dapat kita lihat dari respon spektrum TCU052 dan san fernando di bawah ini:



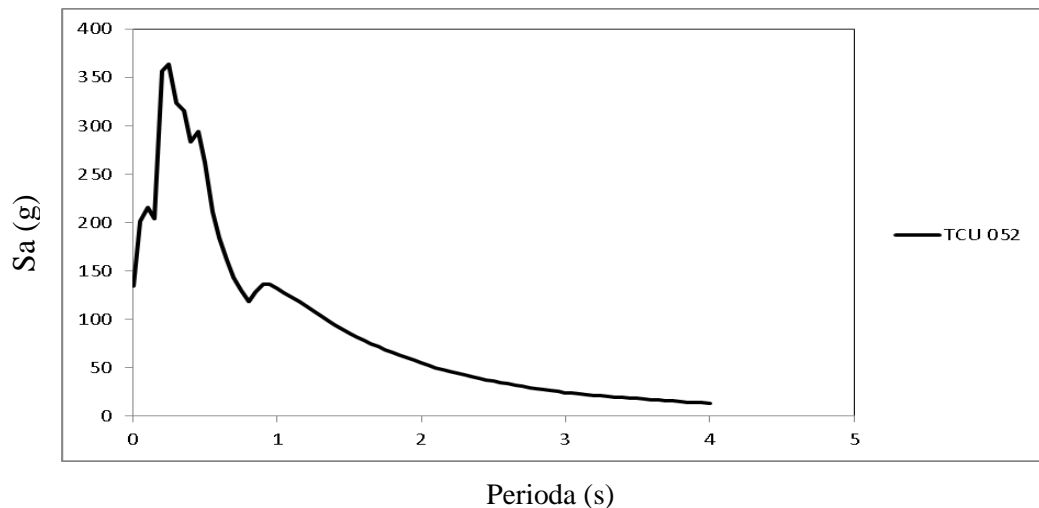
Gambar 3.6. Perbedaan respon spektrum respon gempa TCU052 yang mengandung *fling* dan respon spektrum respon gempa San Fernando yang tidak mengandung *fling*

Setiap data rekaman gempa terdiri dari 2 data gempa horizontal (arah X dan Y) dan 1 data gempa vertikal (arah Z), namun dalam Tugas Akhir ini data rekaman gempa yang digunakan hanya gempa horizontal arah X, sementara gempa horizontal arah Y tidak digunakan karena bangunan yang direncanakan dalam bentuk 2 dimensi (2D) pada sumbu X dan gempa vertikal arah Z karena dalam analisis karena data relatif sangat kecil (atau dianggap sama dengan 0).

Selanjutnya data rekaman gempa yang diperoleh di ubah menjadi spektra desain menggunakan aplikasi seismosignal seperti yang terlihat pada gambar 3.7 dan 3.8.



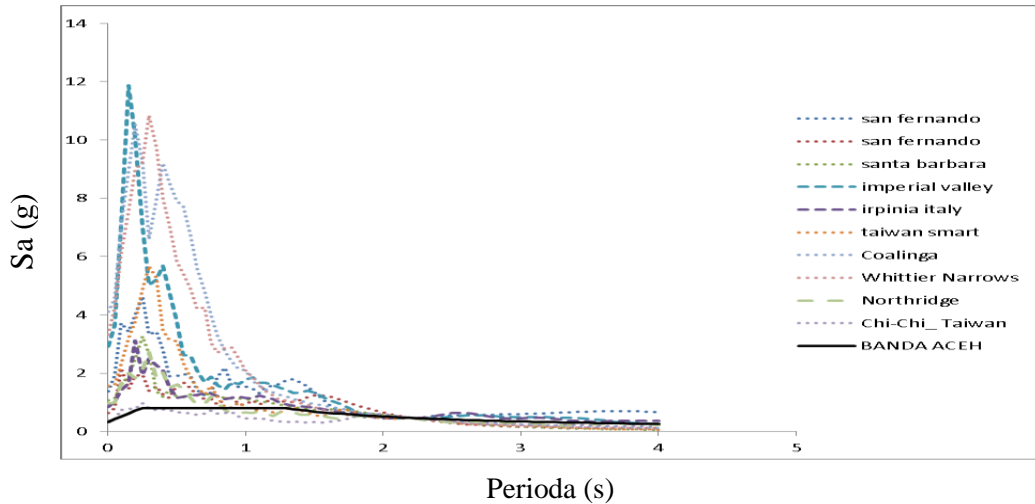
Gambar 3.7. Rekaman gempa asli chi chi TCU052 yang mengandung *fling*.



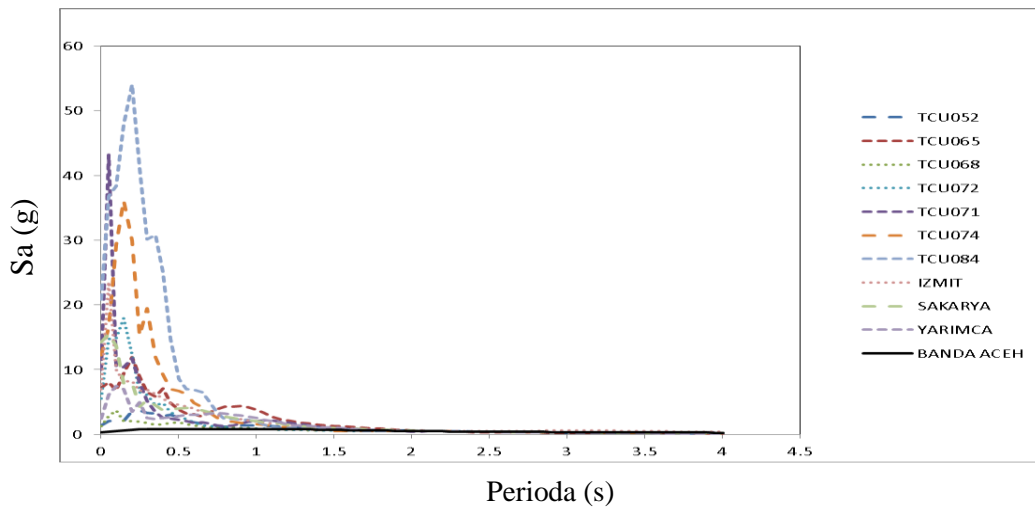
Gambar 3.8. Rekaman gempa chichi TCU052 yang dirubah menjadi spektra desain.

Selanjutnya data rekaman gempa yang sudah dirubah menjadi spektra desain diskalakan terhadap respon spektrum desain rencana. Pada proses penskalaan dibutuhkan data respon spektrum desain agar data rekaman gempa original disesuaikan dengan kondisi geologis pada Kota Banda Aceh (tanah lunak), Palembang (tanah keras), dan Palembang (tanah batuan). Selain itu, rentang perioda alami (T) juga dibutuhkan dalam proses penskalaan agar hasil skala lebih detail.

Spektra desain tanpa *fling* dan dengan *fling* yang diskalakan ke respons spektrum desain (Banda Aceh, Palembang tanah keras, Palembang bebatuan) berdasarkan nilai perioda alami gedung, seperti pada gambar 3.6 dan 3.7.

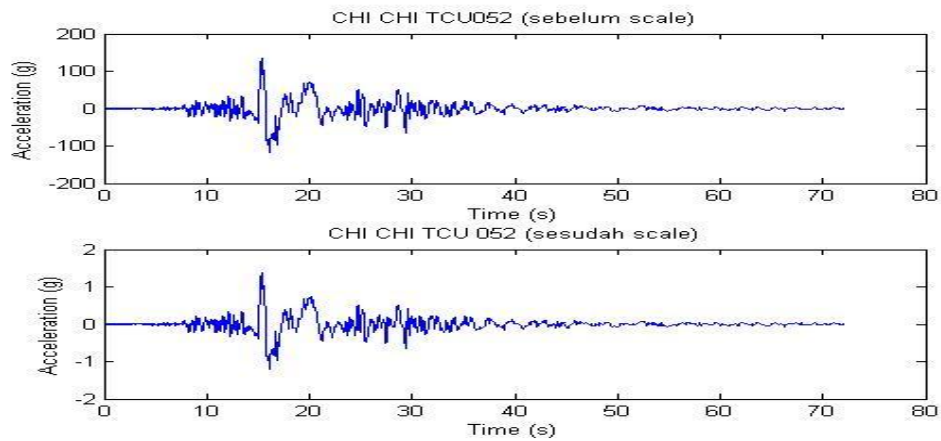


Gambar 3.9. Variasi respon spektrum gempa tanpa *fling* dan desain (Aceh)



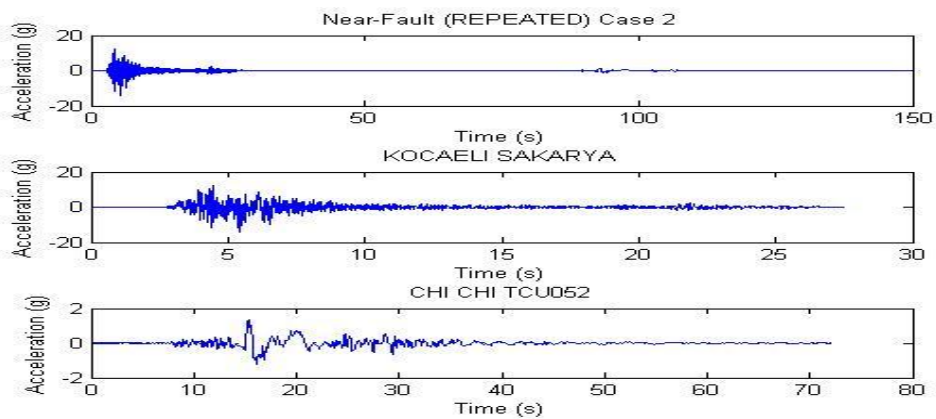
Gambar 3.10. Variasi respon spektrum gempa dengan *fling* dan desain (Aceh)

Setelah gempa diskalakan terhadap respons spektrum desain, kemudian nilai skala diambil dan nilai skala tersebut digunakan untuk menskalakan gempa asli menggunakan aplikasi MATLAB.

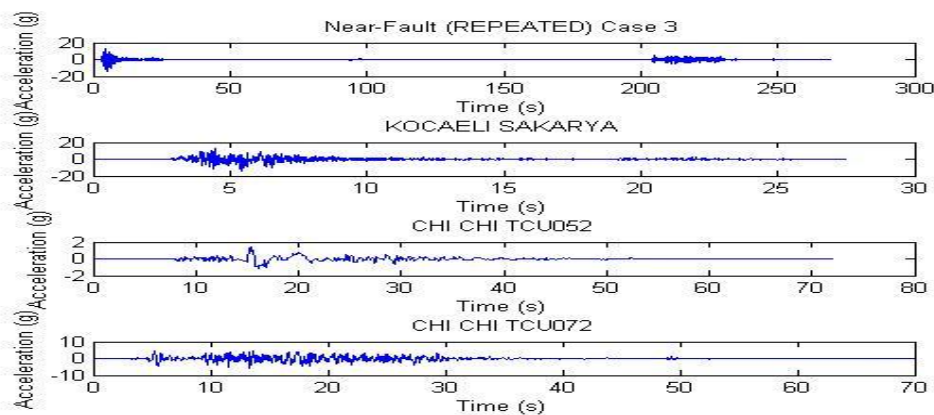


Gambar 3.11. Rekaman gempa chichi TCU052 sebelum dan sesudah diskalakan.

Selanjutnya rekaman gempa yang sudah diskalakan digunakan sebagai gempa tunggal untuk *input* pada *software* RUAUMOKO versi 04, sedangkan untuk gempa berulang, gempa tunggal yang sudah diskalakan kemudian digabungkan secara acak menggunakan aplikasi MATLAB. Penggabungan gempa dilakukan dengan 2 jenis gempa dan 3 jenis gempa dengan penambahan *free vibration* (50 detik) disetiap penggabungan gempa.



Gambar 3.12. Rekaman gempa berulang 2 kali chichi TCU052 dan kocaeli sakarya.



Gambar 3.13. Rekaman gempa berulang 3 kali chichi TCU052 dan kocaeli sakarya.

Kemudian data rekaman gempa yang telah digabu digunakan sebagai *input* pada *software* RUAUMOKO versi 04. untuk Analisis *Dinamik NonLinear Inelastis* dengan Metode Analisa Riwayat Waktu.

3.3.1.6. Analisis Respon Riwayat Waktu

Analisis ini merupakan tahap evaluasi yang dijadikan sebagai perbandingan terhadap analisis linear sebelumnya, sehingga tidak perlu seluruhnya memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2012. Karena model yang digunakan merupakan model yang seluruhnya telah memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2012 pada analisis linear sebelumnya yaitu dengan Metode Respon Spektrum.

3.3.2. Analisis Dinamik Struktur Nonlinear

Analisis ini menggunakan Metode Respon Riwayat Waktu dan dianalisis secara dua dimensi. Alat bantu *software* yang digunakan adalah RUAUMOKO2D versi 04.

Menurut Faisal (2013), analisis nonlinear dapat dikerjakan setelah analisis linear selesai dikerjakan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan tahapan sebagai berikut:

1. Analisis modal (cek perioda; partisipasi massa > 90%; kekakuan tidak direduksi)
2. Analisis linear statik ekuivalen

3. Analisis linear dinamik respon spektrum
4. Analisis linear dinamik respon riwayat waktu

3.3.2.1. Analisis Respon Riwayat Waktu

Data-data yang dibutuhkan dalam analisis respon riwayat waktu nonlinear menggunakan *software* RUAUMOKO2D versi 04 antara lain:

- I : Momen inersia penampang
- E : Modulus elastisitas penampang
- M_y : Momen leleh
- M_c : Momen puncak
- K_o : Kekakuan rotasi elastis
- θ_p : Koefisien rotasi plastis
- θ_y : Koefisien rotasi leleh
- θ_c : Koefisien rotasi kapasitas plastis
- θ_{pc} : Koefisien rotasi *post-capping*
- θ_u : Koefisien rotasi ultimit
- $\mu\theta_c$: Daktilitas rotasi kapasitas plastis
- r : Rasio kekakuan *post-yield*

3.3.2.2. Momen leleh (M_y)

Berdasarkan Metode FEMA, momen leleh yang digunakan sebagai *input* analisis nonlinear pada program RUAUMOKO2D versi 04 adalah momen maksimum pada analisis linear respon riwayat waktu menggunakan Program Analisa Struktur. Nilai tersebut sebelumnya diambil dari Program Analisa Struktur dan di sesuaikan dengan sistem bangunan yang direncanakan.

3.3.2.3. Kapasitas Rotasi

- Kapasitas rotasi plastis (θ_p)
Terdapat 3 kategori kapasitas rotasi plastis yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Dalam tugas akhir ini nilai θ_p yang digunakan adalah kapasitas rendah yaitu 0,04.

- Rotasi pasca-puncak (θ_{pc})

Pada pemodelan nonlinear ini memilih $\theta_{pc} = 0,06$ berdasarkan rata-rata Zareian dan studi Krawinkler (2009), sedangkan $M_c/M_y = 1,13$ berdasarkan nilai rata-rata Haselton, dkk., (2007).

3.3.2.4. Rotasi Leleh (θ_y)

Rotasi pada saat leleh digunakan untuk mendapatkan nilai daktilitas yang dibutuhkan sebagai *input* dalam *software* RUAUMOKO2D versi 04. Nilai rotasi sendi plastis tersebut dihitung berdasarkan Pers. 2.6 dan dihitung untuk semua *frame* (balok-kolom) pada struktur gedung yang direncanakan. Nilai θ_y untuk semua *frame* dapat dilihat pada pembahasan selanjutnya.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. HASIL MODEL LINIER DAN NON LINIER

Pada Bab ini akan membahas beberapa hasil analisa linier dan non linier oleh Program Analisa Struktur diantaranya, perioda getar, nilai simpangan dan gaya-gaya dalam struktur gedung, berdasarkan lima jenis model dan tiga jenis sistem rangka pemikul momen setiap modelnya, yaitu dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMM), dan sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB). Semua *input* pembebanan serta kombinasi, zona gempa dan konfigurasi bangunan adalah sama. Serta perbandingan metode analisa pada tiap pemodelan, yaitu analisa respon spektrum ragam dan analisa respon riwayat waktu.

4.2. Hasil Analisa Linier

4.2.1. Respon Spektrum Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2012, analisa harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisa harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC atau SRSS.

Syarat : $SRSS > 15\%$, $CQC < 15\%$

Analisa menggunakan metode *CQC* (*Complete Quadratic Combination*), hasil persentase perioda rata-rata yang didapat lebih kecil dari 15% dan *SRSS* (*Square Root of the Sum of Square*) lebih besar dari 15%. Pada hasil analisa diperoleh hasil :

- a. Model 1 untuk ketiga jenis nilai R, didapat 12 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak dibawah 15 %.
- b. Model 2 untuk ketiga jenis nilai R, didapat 12 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak diatas 15 %.

c. Model 3 untuk ketiga jenis nilai R, didapat 12 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak dibawah 15 %.

b. Model 4 untuk ketiga jenis nilai R, didapat 12 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak diatas 15 %.

c. Model 5 untuk ketiga jenis nilai R, didapat 12 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak diatas 15 %.

Untuk perhitungan tertera pada lampiran A3.

4.2.2. Koreksi Gempa Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, kombinasi respon untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V_1) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala yaitu:

$$0,85 \frac{V_1}{V_t} \geq 1 \quad (4.1)$$

dimana:

V_1 = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

V_t = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Tabel 4.1: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen (V_1) dan Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum *output* Program Analisa Struktur V_t .

Struktur	Arah Gempa	V_1 (KN)	V_t (KN)
MODEL 1	Gempa X (R=8)	358.35	415.389
	Gempa X (R=5)	197.985	132.832
	Gempa X (R=3)	201.689	184.996
MODEL 2	Gempa X (R=8)	642.37	985.667
	Gempa X (R=5)	234.86	407.461
	Gempa X (R=3)	182.27	405.261
MODEL 3	Gempa X (R=8)	940.438	1325.466
	Gempa X (R=5)	262.019	314.264
	Gempa X (R=3)	266.921	328.346

Tabel 4.1 :*lanjutan*

Struktur	Arah Gempa	V ₁ (KN)	V _t (KN)
MODEL 4	Gempa X (R=8)	1318.003	1890.163
	Gempa X (R=5)	365.42	543.48
	Gempa X (R=3)	373.981	577.44
MODEL 5	Gempa X (R=8)	1461.642	1970.466
	Gempa X (R=5)	407.233	454.416
	Gempa X (R=3)	401.47	476.61

Untuk memenuhi syarat berdasarkan SNI 1726:2012, maka nilai faktor skala harus lebih kecil atau sama dengan 1.

$$\text{Syarat} \quad : 0,85 \frac{V_1}{V_t} \leq 1$$

Untuk perhitungan tertera pada Lampiran A5.

4.2.3. Koreksi Faktor Redundansi

Berdasarkan sub Bab 2.5.11, nilai gaya geser dengan redundansi 1 per lantainya harus dikoreksi dengan 35 persen gaya geser dasar dengan redundansi 1. Jika persyaratan tersebut tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1 harus diganti dengan redundansi 1,3. Dari hasil koreksi untuk setiap gaya geser diperoleh beberapa lantai yang tidak memenuhi syarat 35 persen gaya geser dasar. Untuk perhitungan terdapat pada lampiran A6.

4.2.4. Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Nilai V₁ dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (V_t) dapat dilihat pada Tabel 4.2. Kontrol Koreksi skala simpangan antar tingkat,yaitu:

$$\text{Syarat} \quad : V_t \geq 0,85 C_s W$$

Berdasarkan Tabel 4.2 nilai V_t sb. x diperoleh :

Struktur	Arah Gempa	V_t (KN)	$0,85 C_s.W$	Cek
MODEL 1	Gempa X (R=8)	415.389	304.59	Ok
	Gempa X (R=5)	132.832	168.28	Ok
	Gempa X (R=3)	184.996	171.435	Ok
MODEL 2	Gempa X (R=8)	985.667	546.016	Ok
	Gempa X (R=5)	407.461	199.637	Ok
	Gempa X (R=3)	405.261	154.931	Ok
MODEL 3	Gempa X (R=8)	1325.466	799.372	Ok
	Gempa X (R=5)	314.264	222.71	Ok
	Gempa X (R=3)	328.346	226.88	Ok
MODEL 4	Gempa X (R=8)	1890.163	1120.303	Ok
	Gempa X (R=5)	543.48	310.613	Ok
	Gempa X (R=3)	577.44	317.884	Ok
MODEL 5	Gempa X (R=8)	1970.466	1242.39	Ok
	Gempa X (R=5)	454.416	346.148	Ok
	Gempa X (R=3)	476.61	341.249	Ok

Dengan demikian syarat skala simpangan antar lantai telah terpenuhi, yaitu gaya geser dasar respon spektrum (V_t) lebih besar dari nilai $C_s.W$, sehingga simpangan antar lantai tidak perlu dikalikan dengan faktor skala.

4.2.5. Nilai Simpangan Gedung

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai yang diizinkan yaitu 0,02 dikali tinggi lantai, nilai simpangan tidak boleh melebihi ketentuan tersebut. Pada hasil yang diperoleh, nilai simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin atau memenuhi syarat. Untuk hasil perhitungan terdapat pada lampiran A7.

4.2.6. Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (*Soft Story*)

Berdasarkan SNI 1726:2012, kekakuan tingkat lunak (*soft story*) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat diatasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat diatasnya. Pada hasil kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x untuk semua model, diperoleh nilai persentase kekakuan di atas batas yang ditentukan atau struktur yang direncanakan tidak mengalami *Soft Story*. Untuk hasil perhitungan terdapat pada lampiran A8.

4.2.7. Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai *stability ratio* lebih kecil dari 1. Pada hasil perhitungan, nilai *stability ratio* dibawah nilai 1 untuk semua model atau dapat dikatakan kontrolnya memenuhi syarat yang ditentukan. Pada dasarnya efek p-delta dapat diabaikan jika syarat *stability ratio* sudah terpenuhi. Untuk hasil perhitungan terdapat pada lampiran A9.

4.3. Hasil Analisa Non Linier

Pada tahap ini merupakan bagian dari evaluasi struktur beton bertulang yang telah di desain terhadap beban gempa yang telah direncanakan, dalam hal ini respon struktur akan ditinjau terhadap perbedaan jenis gempa, faktor R pada gedung, dan perioda struktur bangunan. Jenis gempa yang akan diberikan pada struktur beton bertulang yaitu gempa Tanpa *fling* (gempa biasa), gempa *fling* tunggal, gempa *fling* berulang 2 kali, dan gempa *fling* berulang 3 kali. Faktor R pada gedung merupakan faktor reduksi gedung yang telah didesain dengan perbedaan sistem struktur beton bertulang. Perbedaan nilai perioda didapat dari kelima jenis model yang telah didesain. Setiap model struktur akan diambil data *interstory drift* dan *top displacement* setelah dianalisis, kemudian nilai tersebut dibandingkan terhadap faktor-faktor yang telah disebutkan diatas. Pada gambar 4.1, 4.3, 4.5, 4.7, dan 4.9 (a,b, dan c) menunjukkan bahwa nilai *interstory drift* terbesar terdapat pada gempa *fling* berulang 3 kali dan nilai *interstory drift* terbesar untuk ketiga gambar terdapat pada gambar (a) yaitu dengan faktor R=8. Pada gambar 4.2, 4.4, 4.6, 4.8, dan 4.10 (a,b,c, dan d) menunjukkan bahwa nilai

interstory drift terbesar terdapat pada faktor R=8 dan nilai *interstory drift* terbesar untuk keempat gambar terdapat pada gambar (d) yaitu gempa *fling* berulang 3 kali. Pada gambar 4.11 (a,b, dan c) menunjukkan bahwa nilai *top displacement* terbesar terdapat pada gempa *fling* berulang 3 kali dan nilai *top displacement* terbesar untuk ketiga gambar terdapat pada gambar (a) yaitu dengan faktor R=8. Pada gambar 4.12 (a,b,c,d dan e) menunjukkan bahwa nilai *top displacement* terbesar terdapat pada gedung 30 lantai dan nilai *top displacement* terbesar untuk ketiga gambar terdapat pada gambar (a) yaitu pada gedung 30 lantai.

4.3.1. Interstory Drift

Jika masing-masing node mengalami perpindahan akibat gaya gempa, maka perpindahan tersebut dapat menghasilkan simpangan antar tingkat. Besarnya simpangan antar tingkat dipengaruhi oleh kekakuan dari struktur tersebut. Tabel 4.3, 4.4, dan 4.5 menunjukkan perbedaan nilai simpangan antar tingkat gempa mengandung *fling* dan tanpa *fling* serta gempa berulang mengandung *fling* untuk tiap-tiap model. Secara keseluruhan, nilai simpangan antar tingkat pada gempa tanpa *fling* lebih kecil dari nilai simpangan antar tingkat yang terjadi pada gempa dengan *fling*. Hal ini dapat kita pahami dikarenakan gempa *fling* mengandung percepatan yang lebih besar dari pada gempa yang tidak mengandung *fling*. Dan untuk gempa berulang akan memberikan dampak yang lebih terhadap struktur dibandingkan gempa yang mengandung *fling* tunggal.

Tabel 4.3: Nilai perbandingan *interstory drift* untuk masing- masing model untuk R=8 dengan acuan gempa tanpa *fling*.

Struktur	T(s)	Tanpa <i>Fling</i>	<i>Fling</i>	<i>Fling</i> berulang 2 kali	<i>Fling</i> berulang 3 kali
Model 1	0.41	1	8.2	12.7	15.1
Model 2	0.8	1	13.8	18.5	21.3
Model 3	1.16	1	13.7	19.1	22.0
Model 4	1.58	1	18.0	18.3	25.9
Model 5	2.23	1	22.7	27.0	45.0

Tabel 4.4: Nilai perbandingan *interstory drift* untuk masing- masing model untuk R=5 dengan acuan gempa tanpa *fling*.

Struktur	T(s)	Tanpa Fling	Fling	Fling berulang 2 kali	Fling berulang 3 kali
Model 1	0.41	1	1.4	2.8	3.7
Model 2	0.8	1	9.5	12.9	21.6
Model 3	1.16	1	8.8	15.6	19.6
Model 4	1.58	1	6.2	8.7	9.7
Model 5	2.23	1	14.0	22.6	25.7

Tabel 4.5: Nilai perbandingan *interstory drift* untuk masing- masing model untuk R=3 dengan acuan gempa tanpa *fling*.

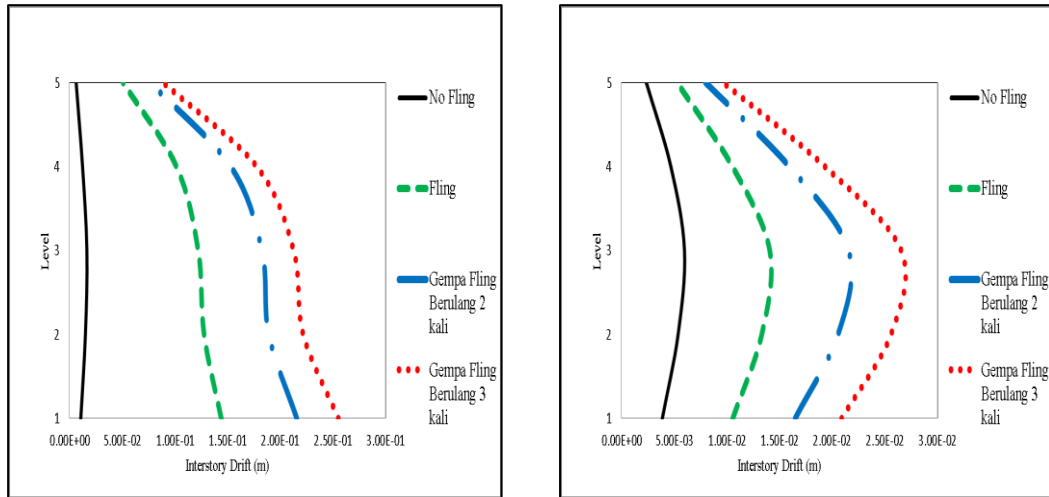
Struktur	T(s)	Tanpa Fling	Fling	Fling berulang 2 kali	Fling berulang 3 kali
Model 1	0.41	1	1.9	3.4	4.4
Model 2	0.8	1	5.3	5.3	5.3
Model 3	1.16	1	6.7	12.4	16.3
Model 4	1.58	1	3.8	6.2	7.3
Model 5	2.23	1	7.1	12.4	16.1

Nilai simpangan antar tingkat terbesar terjadi pada model 5, dengan nilai simpangan antar tingkatnya sebesar 45 kali nilai simpangan antar tingkat gempa tanpa *fling*. Hal ini dikarenakan model 5 merupakan model yang memiliki ketinggian yang paling tinggi dibandingkan dengan model model yang lain. Nilai simpangan antar tingkat terbesar juga terjadi pada gempa berulang 3 kali yang mengandung *fling*, hal ini dikarenakan pada saat model terkena gempa pertama model sudah melewati batas story drift izin, sehingga model sudah berperilaku non linear.

Untuk nilai terkecil dari gempa mengandung *fling* terjadi pada model 1 yaitu dengan nilai simpangan antar tingkat sebesar 1.4 kali dari gempa tanpa pulse, hal ini sangat wajar karena model 1 merupakan model dengan ketinggian paling rendah dibandingkan model lain. Nilai R juga berpengaruh terhadap besarnya nilai simpangan antar tingkat, terlihat nilai R=8 memberikan perbandingan

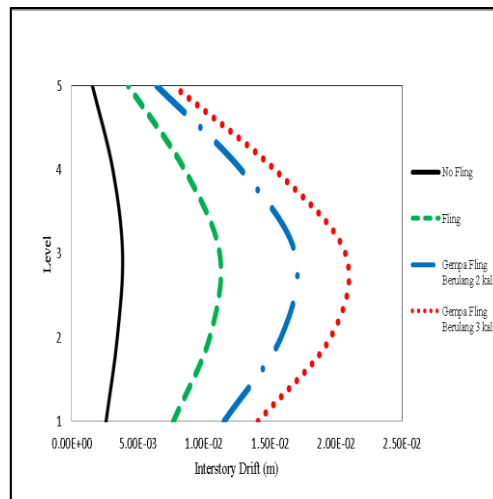
yang besar dibandingkan dengan nilai $r=3$. Untuk melihat perbandingan antara nilai R dapat dilihat pada gambar 4.1.

4.3.1.1. Model 1



a)

b)



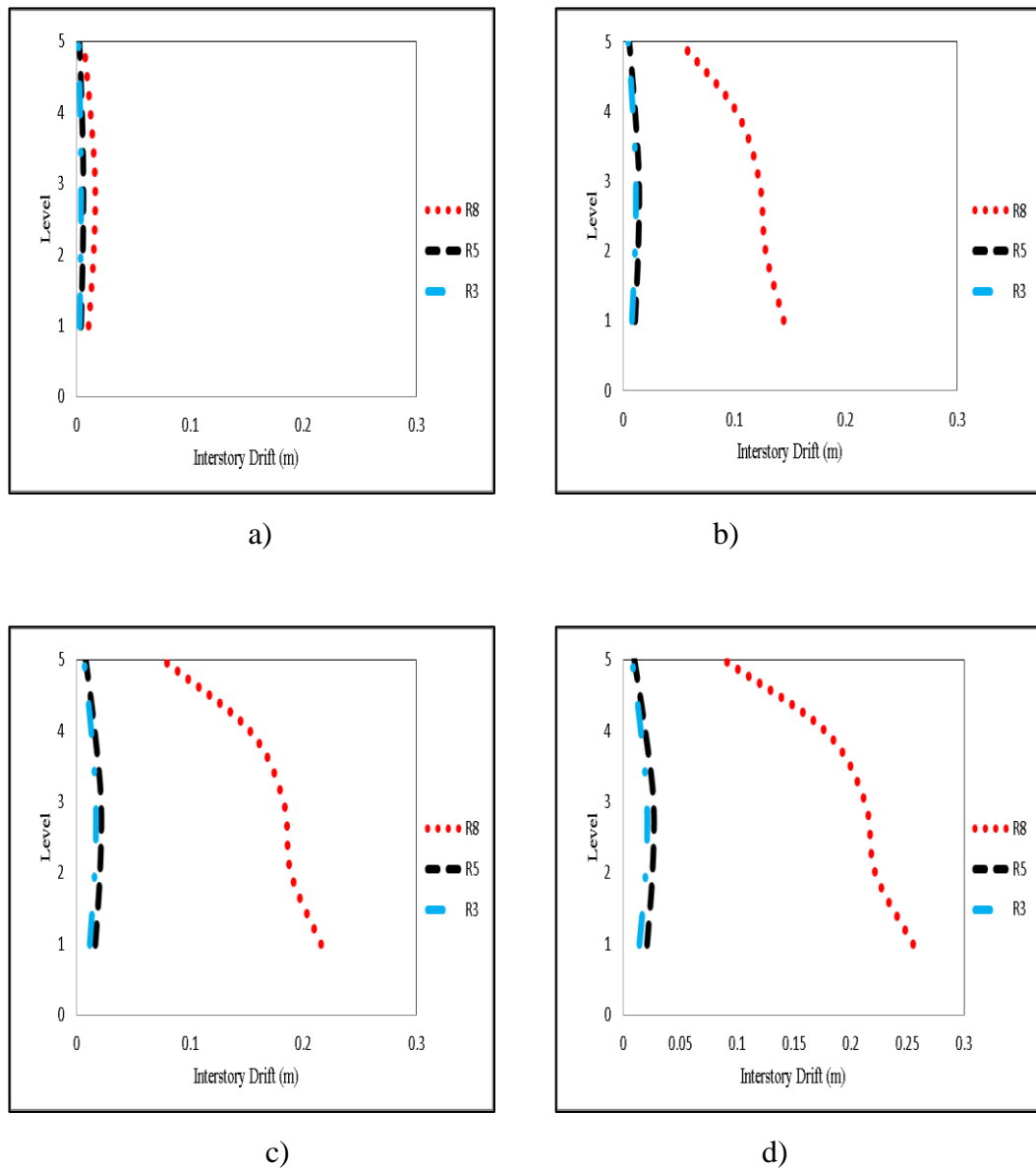
c)

Gambar 4.1: Nilai rata-rata *Interstory Drift* untuk struktur beton SRPM 5 lantai dengan jenis gempa *No fling* tunggal, *fling* tunggal, *fling* berulang 2 kali, dan *fling* berulang 3 kali : a) Faktor $R=8$, b) Faktor $R=5$, c) Faktor $R=3$.

Pada gambar terlihat bahwa struktur 5 tingkat dengan nilai $R=8$ memiliki simpangan antar tingkat yang sangat besar dibandingkan nilai $R=5$ dan nilai $R=3$, peningkatan yang terjadi berkisar antara 1.5 sampai 2 kali. Hal ini disebabkan

oleh nilai R semakin besar nilai R maka akan semakin besar pula simpangan antar tingkat yang di berikan dan sebaliknya semakin kecil nilai R maka semakin kecil pula simpangan antar tingkat yang terjadi.

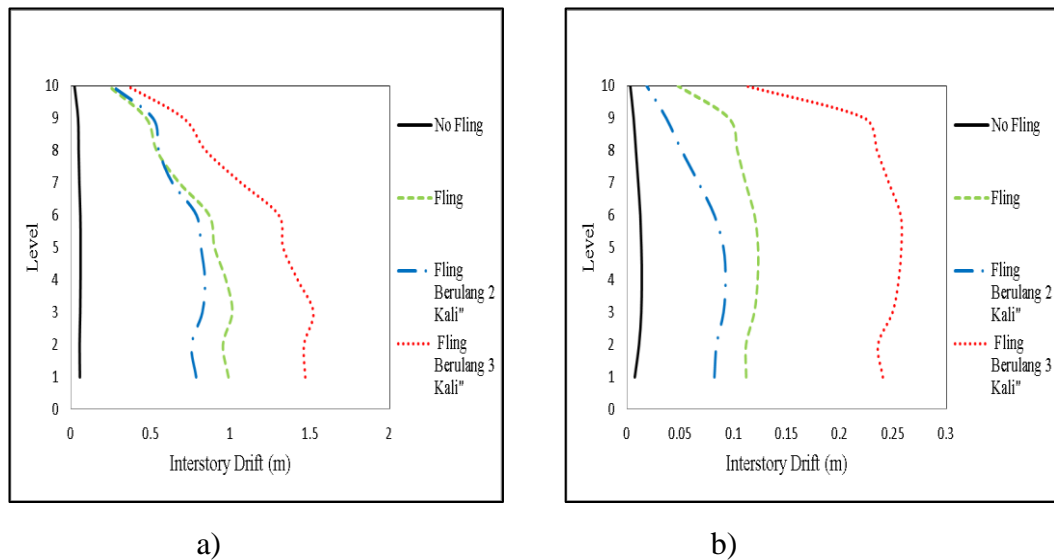
Untuk melihat perbandingan nilai simpangan antar tingkat antara gempa tanpa *fling*, gempa mengandung *fling*, gempa *fling* 2 kali, dan gempa *fling* 3 kali dapat dilihat pada gambar 4.2.



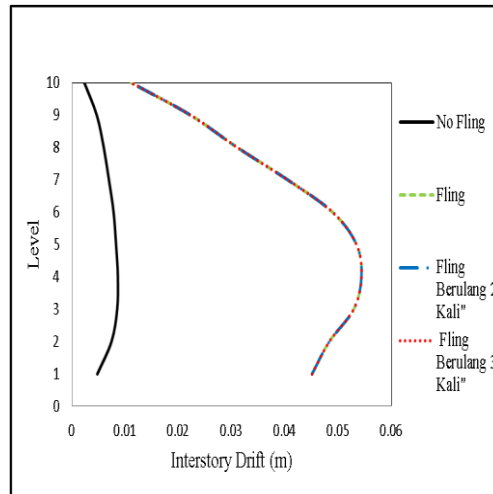
Gambar 4.2: Nilai rata-rata *Interstory Drift* untuk struktur beton SRPM 10 lantai dengan R=8, R=5, dan R=3: a) Gempa *No fling* tunggal, b) Gempa *fling* tunggal, c) Gempa *fling* berulang 2 kali, d) Gempa *fling* berulang 3 kali.

Pada gambar terlihat bahwa struktur 5 tingkat bila terkena gempa berulang 3 kali maka akan memberikan 1.5 sampai 15 kali peningkatan nilai simpangan antar tingkat. Terlihat pada gambar bahwa gempa tanpa *fling* tidak memberikan simpangan yang besar dibandingkan gempa dengan *fling* yang memberikan simpangan antar tingkat yang besar yang sampai 15 kali dari gempa tanpa *fling*. Hal ini disebabkan oleh gempa yang mengandung *fling* memiliki percepatan yang lebih besar dibandingkan gempa tanpa *fling*, dan gempa berulang mengakibatkan kerusakan yang lebih besar jika terkena struktur karena pada saat gempa pertama sudah memberikan leleh pertama sehingga struktur mengalami nonlinear.

4.3.1.2. Model 2



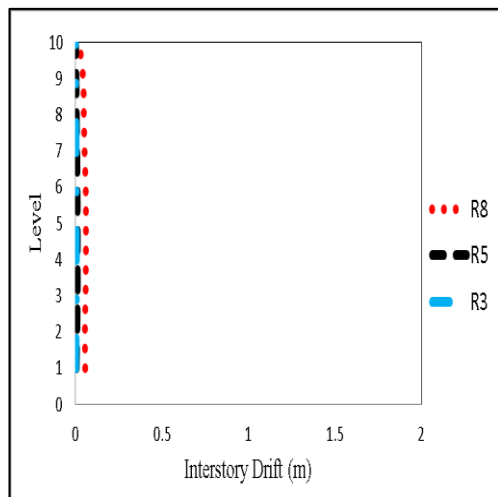
Gambar 4.3: Nilai rata-rata *Interstory Drift* untuk struktur beton SRPM 20 lantai dengan jenis gempa *No fling* tunggal, *fling* tunggal, *fling* berulang 2 kali, dan *fling* berulang 3 kali : a) Faktor R=8, b) Faktor R=5, c) Faktor R=3.



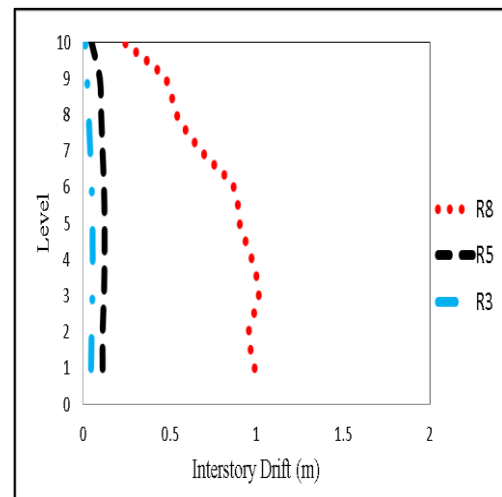
c)

Gambar 4.3: lanjutan

Pada gambar terlihat bahwa struktur 10 tingkat dengan nilai $R=8$ memiliki simpangan antar tingkat yang sangat besar dibandingkan nilai $R=5$ dan nilai $R=3$, peningkatan yang terjadi berkisar antara 5 sampai 21 kali. Hal ini disebabkan oleh nilai R semakin besar nilai R maka akan semakin besar pula simpangan antar tingkat yang di berikan dan sebaliknya semakin kecil nilai R maka semakin kecil pula simpangan antar tingkat yang terjadi.

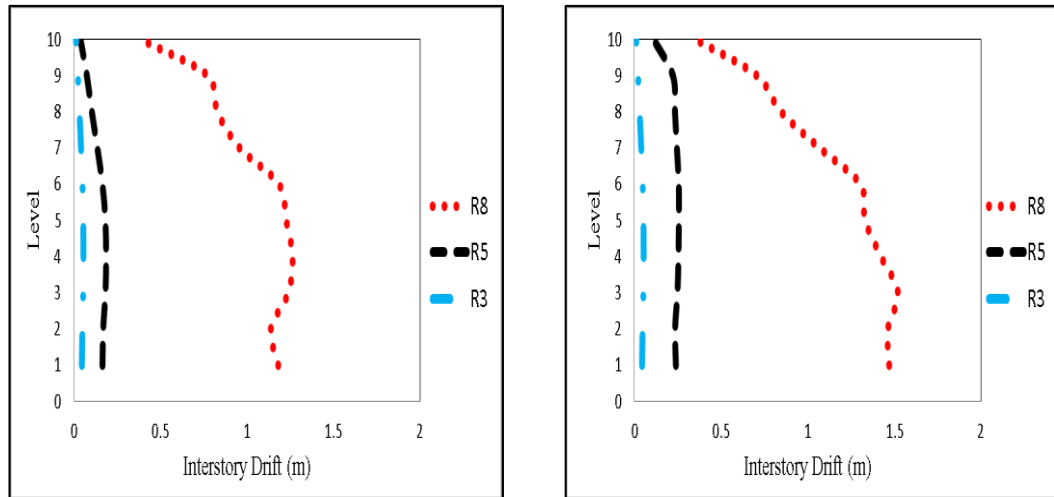


a)



b)

Gambar 4.4: Nilai rata-rata *Interstory Drift* untuk struktur beton SRPM 10 lantai dengan $R=8$, $R=5$, dan $R=3$: a) Gempa *No fling* tunggal, b) Gempa *fling* tunggal, c) Gempa *fling* berulang 2 kali, d) Gempa *fling* berulang 3 kali.



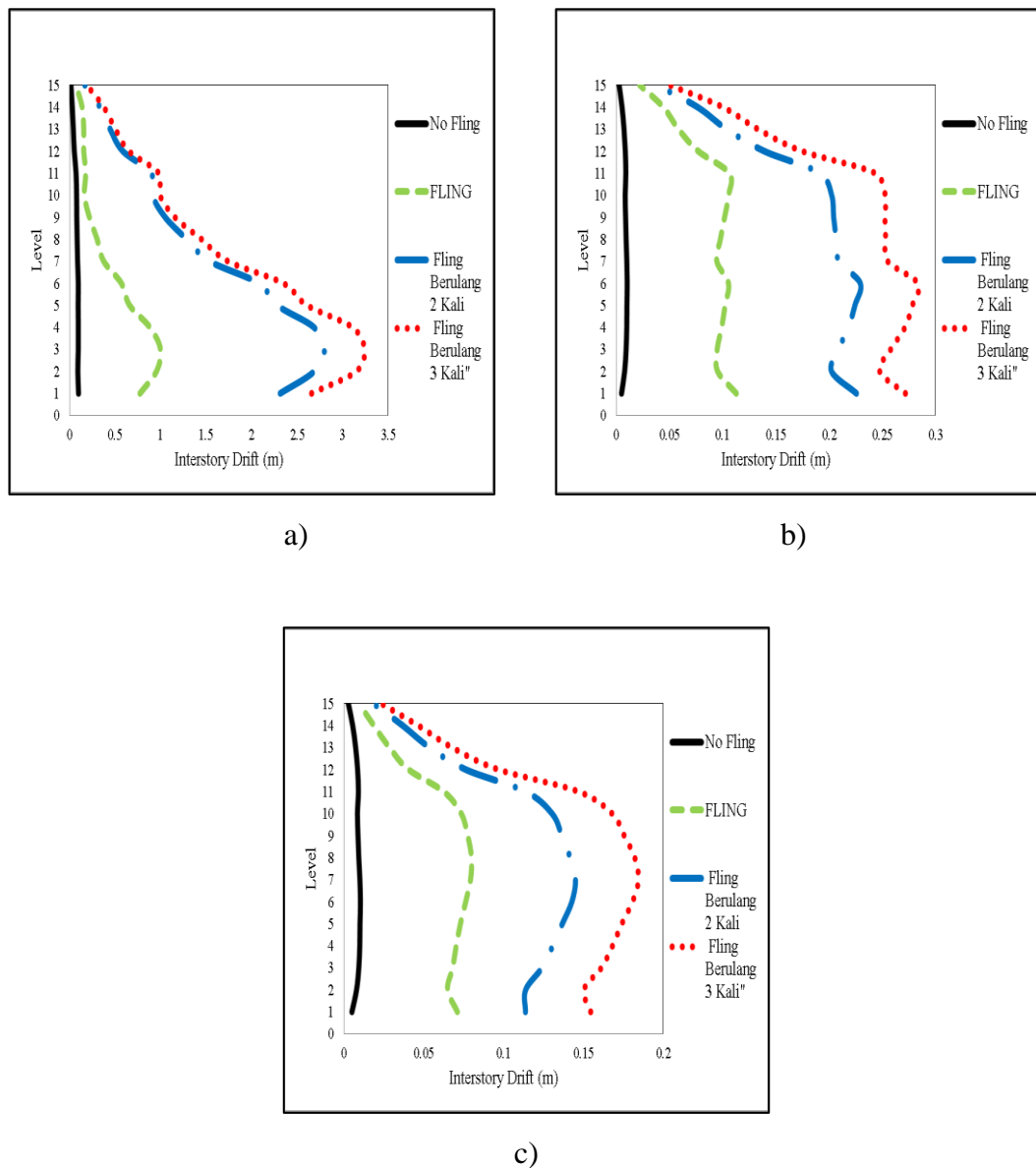
c)

d)

Gambar 4.4: *lanjutan.*

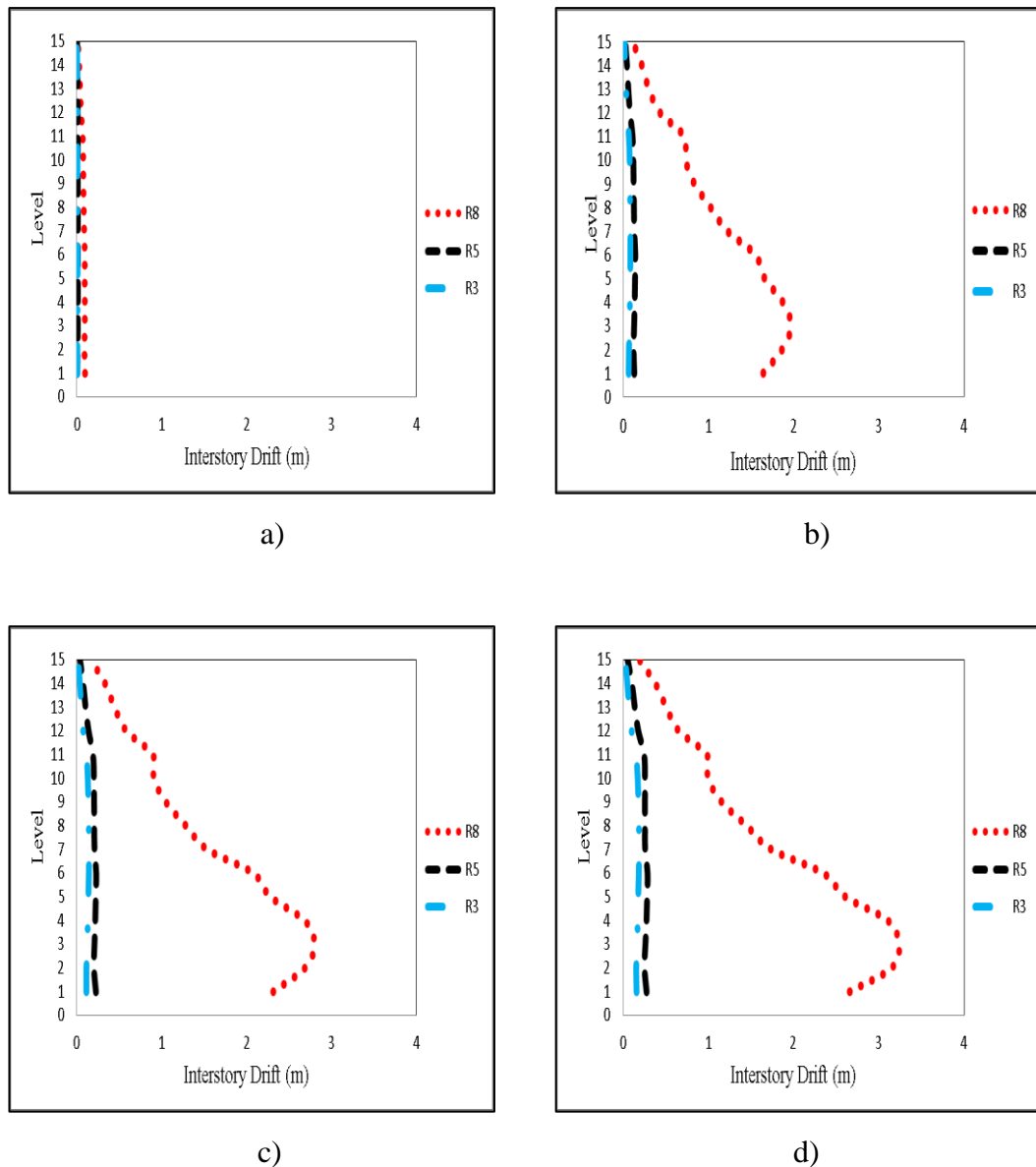
Pada gambar 4.4 terlihat bahwa struktur 10 tingkat bila terkena gempa berulang 3 kali maka akan memberikan 5 sampai 21 kali peningkatan nilai simpangan antar tingkat. Terlihat pada gambar bahwa gempa tanpa *fling* tidak memberikan simpangan yang besar dibandingkan gempa dengan *fling* yang memberikan simpangan antar tingkat yang besar yang sampai 21 kali dari gempa tanpa *fling*. Hal ini disebabkan oleh gempa yang mengandung *fling* memiliki percepatan yang lebih besar dibandingkan gempa tanpa *fling*, dan gempa berulang mengakibatkan kerusakan yang lebih besar jika terkena struktur karena pada saat gempa pertama sudah memberikan leleh pertama sehingga struktur mengalami nonlinear.

4.3.1.3. Model 3



Gambar 4.5: Nilai rata-rata *Interstory Drift* untuk struktur beton SRPM 15 lantai dengan jenis gempa *No fling* tunggal, *fling* tunggal, *fling* berulang 2 kali, dan *fling* berulang 3 kali : a) Faktor R=8, b) Faktor R=5, c) Faktor R=3.

Pada gambar terlihat bahwa struktur 15 tingkat dengan nilai R=8 memiliki simpangan antar tingkat yang sangat besar dibandingkan nilai R=5 dan nilai R=3, peningkatan yang terjadi berkisar antara 7 sampai 22 kali. Hal ini disebabkan oleh nilai R semakin besar nilai R maka akan semakin besar pula simpangan antar tingkat yang di berikan dan sebaliknya semakin kecil nilai R maka semakin kecil pula simpangan antar tingkat yang terjadi.

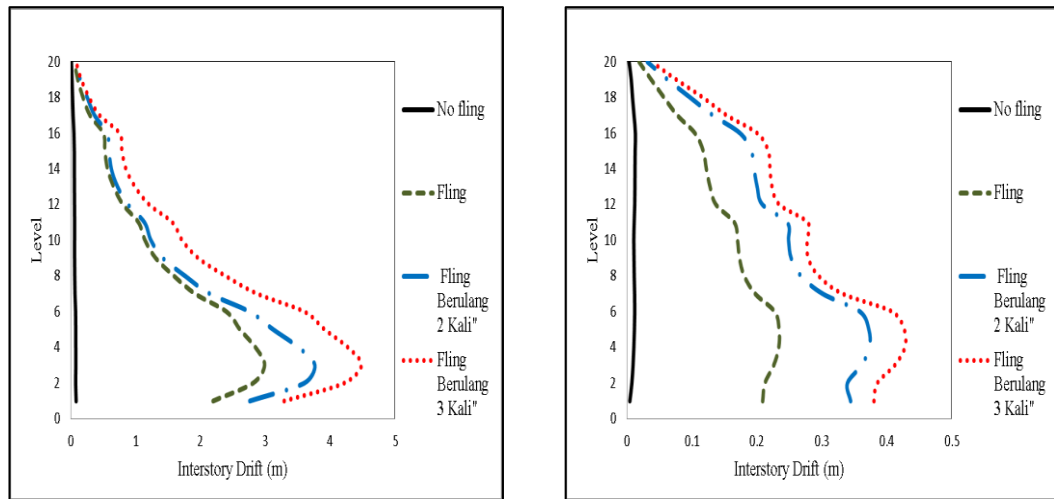


Gambar 4.6: Nilai rata-rata *Interstory Drift* untuk struktur beton SRPM 15 lantai dengan R=8, R=5, dan R=3: a) Gempa *No fling* tunggal, b) Gempa *fling* tunggal, c) Gempa *fling* berulang 2 kali, d) Gempa *fling* berulang 3 kali.

Pada gambar 4.6 terlihat bahwa struktur 15 tingkat bila terkena gempa berulang 3 kali maka akan memberikan 7 sampai 22 kali peningkatan nilai simpangan antar tingkat. Terlihat pada gambar bahwa gempa tanpa *fling* tidak memberikan simpangan yang besar dibandingkan gempa dengan *fling* yang memberikan simpangan antar tingkat yang besar yang sampai 22 kali dari gempa tanpa *fling*. Hal ini disebabkan oleh gempa yang mengandung *fling* memiliki percepatan yang lebih besar dibandingkan gempa tanpa *fling*, dan gempa berulang

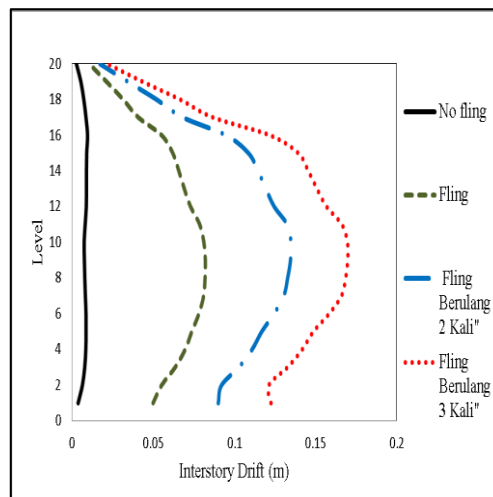
mengakibatkan kerusakan yang lebih besar jika terkena struktur karena pada saat gempa pertama sudah memberikan leleh pertama sehingga struktur mengalami nonlinear.

4.3.1.4. Model 4



a)

b)

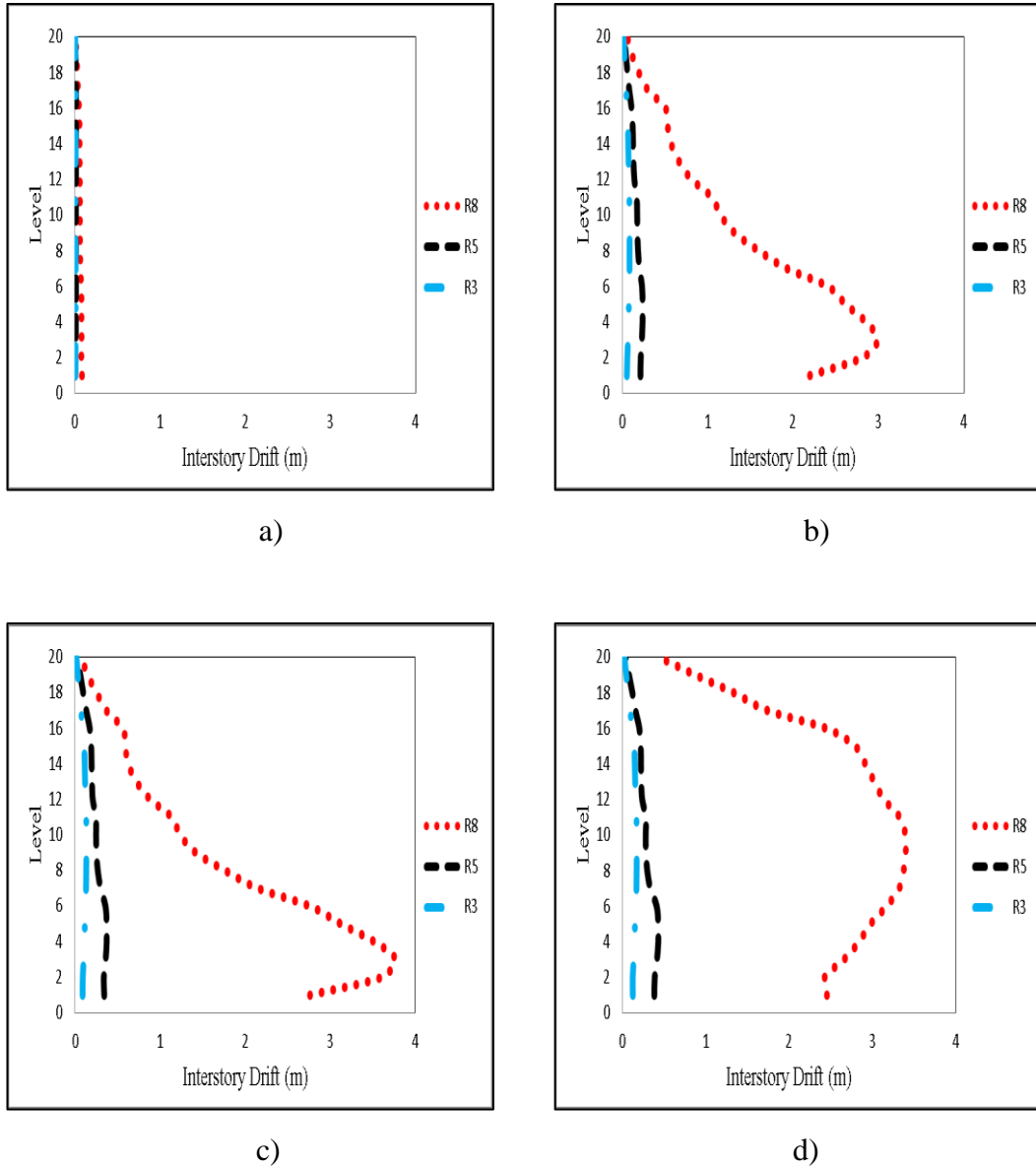


c)

Gambar 4.7: Nilai rata-rata *Interstory Drift* untuk struktur beton SRPM 20 lantai dengan jenis gempa *No fling* tunggal, *fling* tunggal, *fling* berulang 2 kali, dan *fling* berulang 3 kali : a) Faktor R=8, b) Faktor R=5, c) Faktor R=3.

Pada gambar terlihat bahwa struktur 20 tingkat dengan nilai R=8 memiliki simpangan antar tingkat yang sangat besar dibandingkan nilai R=5 dan nilai R=3,

peningkatan yang terjadi berkisar antara 4 sampai 25 kali. Hal ini disebabkan oleh nilai R semakin besar nilai R maka akan semakin besar pula simpangan antar tingkat yang di berikan dan sebaliknya semakin kecil nilai R maka semakin kecil pula simpangan antar tingkat yang terjadi.

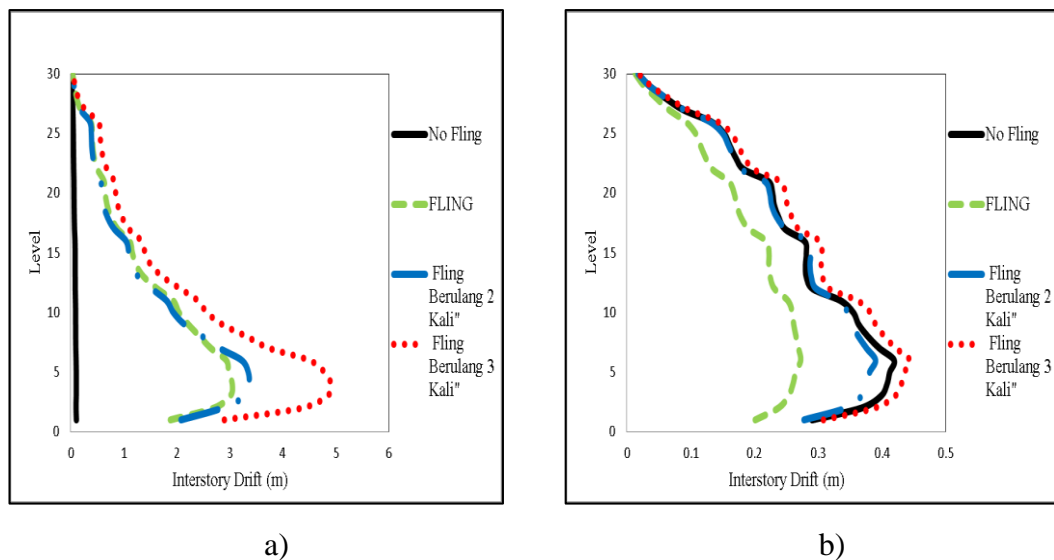


Gambar 4.8: Nilai rata-rata *Interstory Drift* untuk struktur beton SRPM 20 lantai dengan R=8, R=5, dan R=3: a) Gempa *No fling* tunggal, b) Gempa *fling* tunggal, c) Gempa *fling* berulang 2 kali, d) Gempa *fling* berulang 3 kali.

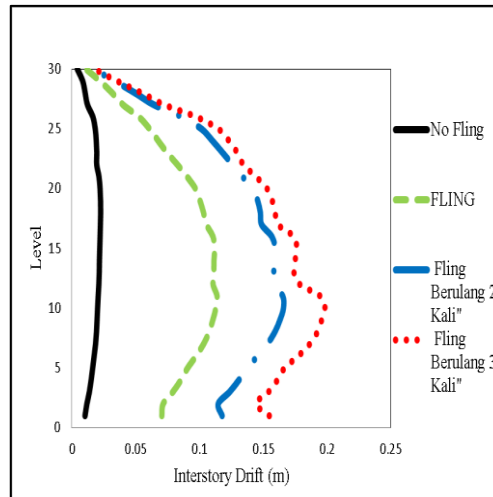
Pada gambar 4.8 terlihat bahwa struktur 20 tingkat bila terkena gempa berulang 3 kali maka akan memberikan 4 sampai 25 kali peningkatan nilai simpangan antar tingkat. Terlihat pada gambar bahwa gempa tanpa *fling* tidak

memberikan simpangan yang besar dibandingkan gempa dengan *fling* yang memberikan simpangan antar tingkat yang besar yang sampai 25 kali dari gempa tanpa *fling*. Hal ini disebabkan oleh gempa yang mengandung *fling* memiliki percepatan yang lebih besar dibandingkan gempa tanpa *fling*, dan gempa berulang mengakibatkan kerusakan yang lebih besar jika terkena struktur karena pada saat gempa pertama sudah memberikan leleh pertama sehingga struktur mengalami nonlinear.

4.3.1.5. Model 5



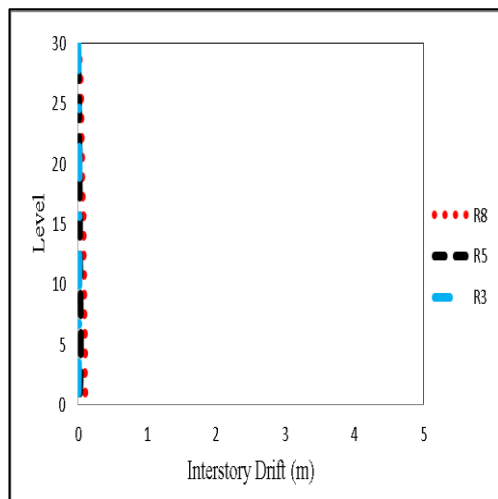
Gambar 4.9: Nilai rata-rata *Interstory Drift* untuk struktur beton SRPM 5 lantai dengan jenis gempa *No fling* tunggal, *fling* tunggal, *fling* berulang 2 kali, dan *fling* berulang 3 kali : a) Faktor R=8, b) Faktor R=5, c) Faktor R=3.



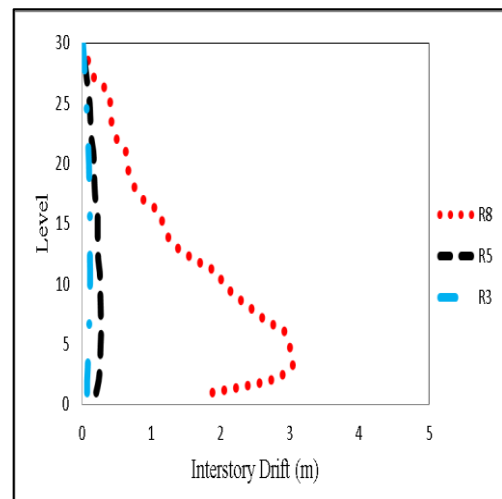
c)

Gambar 4.9: lanjutan.

Pada gambar terlihat bahwa struktur 20 tingkat dengan nilai $R=8$ memiliki simpangan antar tingkat yang sangat besar dibandingkan nilai $R=5$ dan nilai $R=3$, peningkatan yang terjadi berkisar antara 7 sampai 45 kali. Hal ini disebabkan oleh nilai R semakin besar nilai R maka akan semakin besar pula simpangan antar tingkat yang di berikan dan sebaliknya semakin kecil nilai R maka semakin kecil pula simpangan antar tingkat yang terjadi.

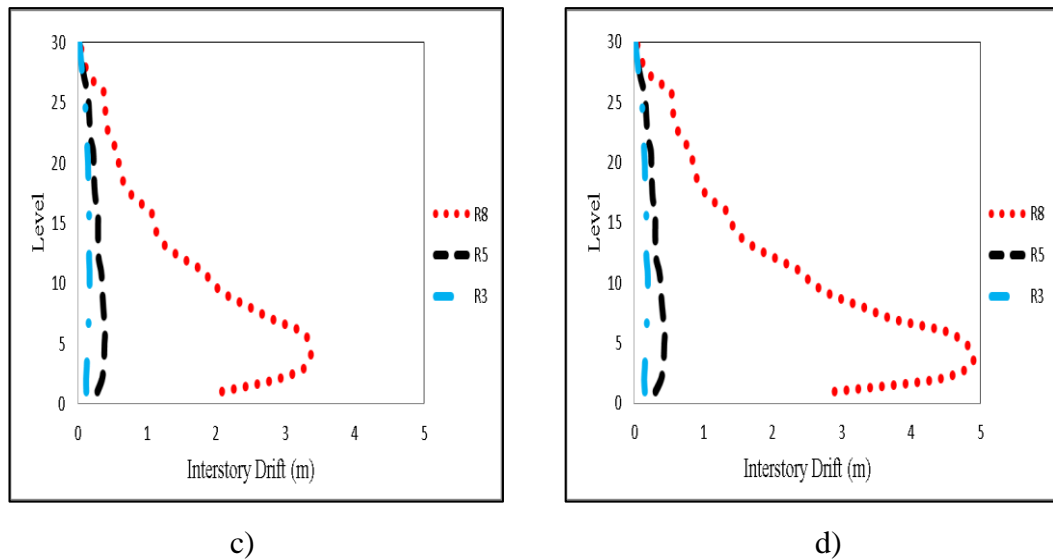


a)



b)

Gambar 4.10: Nilai rata-rata *Interstory Drift* untuk struktur beton SRPM 30 lantai dengan $R=8$, $R=5$, dan $R=3$: a) Gempa *No fling* tunggal, b) Gempa *fling* tunggal, c) Gempa *fling* berulang 2 kali, d) Gempa *fling* berulang 3 kali.



Gambar 4.10: *lanjutan.*

Pada gambar 4.10 terlihat bahwa struktur 20 tingkat bila terkena gempa berulang 3 kali maka akan memberikan 7 sampai 45 kali peningkatan nilai simpangan antar tingkat. Terlihat pada gambar bahwa gempa tanpa *fling* tidak memberikan simpangan yang besar dibandingkan gempa dengan *fling* yang memberikan simpangan antar tingkat yang besar yang sampai 45 kali dari gempa tanpa *fling*. Hal ini disebabkan oleh gempa yang mengandung *fling* memiliki percepatan yang lebih besar dibandingkan gempa tanpa *fling*, dan gempa berulang mengakibatkan kerusakan yang lebih besar jika terkena struktur karena pada saat gempa pertama sudah memberikan leleh pertama sehingga struktur mengalami nonlinear.

4.3.2. Top Displacement

Jika masing-masing node mengalami perpindahan akibat gaya gempa, maka perpindahan tersebut disebut simpangan. Besarnya simpangan dipengaruhi oleh kekakuan dari struktur tersebut. Biasanya simpangan terbesar terjadi di atap Tabel 4.6, 4.7, dan 4.8 menunjukkan perbedaan nilai simpangan gempa mengandung *fling* dan tanpa *fling* serta gempa berulang mengandung *fling* untuk tiap-tiap model. Secara keseluruhan, nilai simpangan pada gempa tanpa *fling* lebih kecil dari nilai simpangan yang terjadi pada gempa dengan *fling*. Hal ini dapat kita

pahami dikarenakan gempa *fling* mengandung percepatan yang lebih besar dari pada gempa yang tidak mengandung *fling*. Dan untuk gempa berulang akan memberikan dampak yang lebih terhadap struktur dibandingkan gempa yang mengandung *fling* tunggal.

Tabel 4.6: Nilai perbandingan *top displacement* untuk masing- masing model untuk R=8 dengan acuan gempa tanpa *fling*.

Struktur	T(s)	Tanpa <i>Fling</i>	<i>Fling</i>	<i>Fling</i> berulang 2 kali	<i>Fling</i> berulang 3 kali
Model 1	0.41	1	7.7	12.4	15.5
Model 2	0.8	1	14.8	12.9	23.7
Model 3	1.16	1	19.9	24.4	27.3
Model 4	1.58	1	19.9	24.4	27.3
Model 5	2.23	1	29.2	28.1	37.4

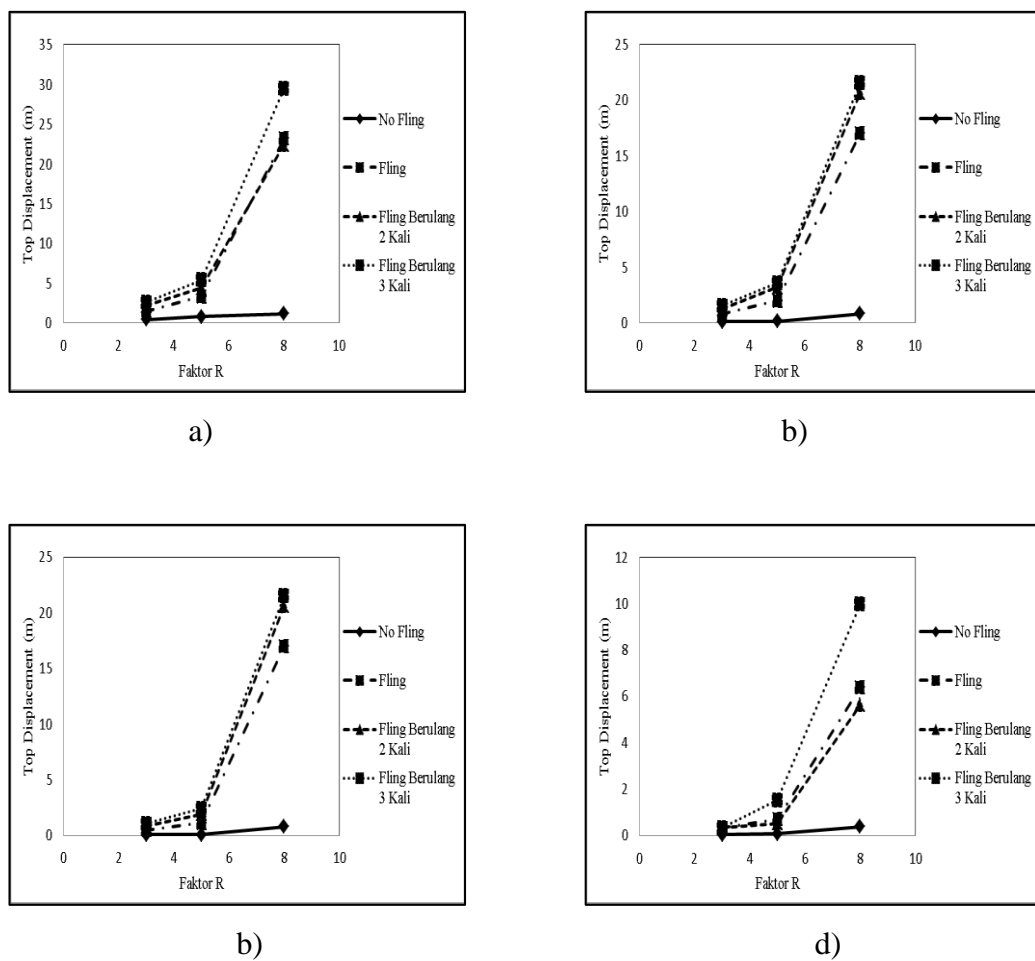
Tabel 4.7: Nilai perbandingan *top displacement* untuk masing- masing model untuk R=5 dengan acuan gempa tanpa *fling*.

Struktur	T(s)	Tanpa <i>Fling</i>	<i>Fling</i>	<i>Fling</i> berulang 2 kali	<i>Fling</i> berulang 3 kali
Model 1	0.41	1	1.4	2.7	3.6
Model 2	0.8	1	7.2	5.2	16.4
Model 3	1.16	1	8.8	15.6	19.6
Model 4	1.58	1	12.9	21.3	23.8
Model 5	2.23	1	16.2	21.7	26.9

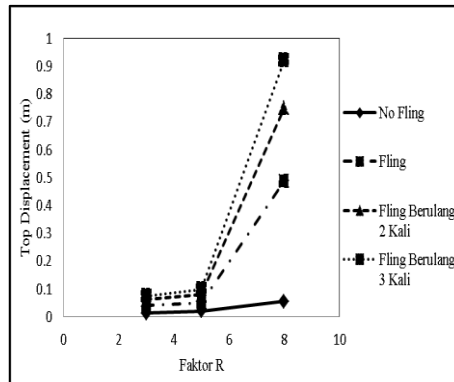
Tabel 4.8: Nilai perbandingan *top displacement* untuk masing- masing model untuk R=3 dengan acuan gempa tanpa *fling*.

Struktur	T(s)	Tanpa <i>Fling</i>	<i>Fling</i>	<i>Fling</i> berulang 2 kali	<i>Fling</i> berulang 3 kali
Model 1	0.41	1	1.9	3.4	4.4
Model 2	0.8	1	5.1	5.1	5.1
Model 3	1.16	1	4.2	7.5	9.6
Model 4	1.58	1	5.6	9.4	11.9
Model 5	2.23	1	9.6	14.9	17.9

Nilai simpangan atap terbesar terjadi pada model 5, dengan nilai simpangan antar tingkatnya sebesar 37.4 kali nilai simpangan atap gempa tanpa *fling*. Hal ini dikarenakan model 5 merupakan model yang memiliki ketinggian yang paling tinggi dibandingkan dengan model model yang lain. Nilai simpangan atap terbesar terjadi pada gempa berulang 3 kali yang mengandung *fling*, hal ini dikarenakan pada saat model terkena gempa pertama model sudah melewati batas story drift izin, sehingga model sudah berperilaku non linear. Untuk melihat perbandingan antara nilai R dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11: Nilai rata-rata *Top Displacement* untuk struktur beton SRPM dengan jenis gempa *No fling* tunggal, *fling* tunggal, *fling* berulang 2 kali, dan *fling* berulang 3 kali terhadap Faktor R: a) gedung 30 lantai, b) gedung 20 lantai, c) gedung 15 lantai, d) gedung 10 lantai, e) gedung 5 lantai.

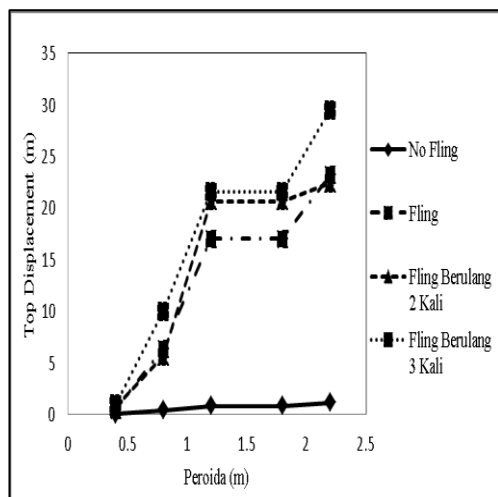


e)

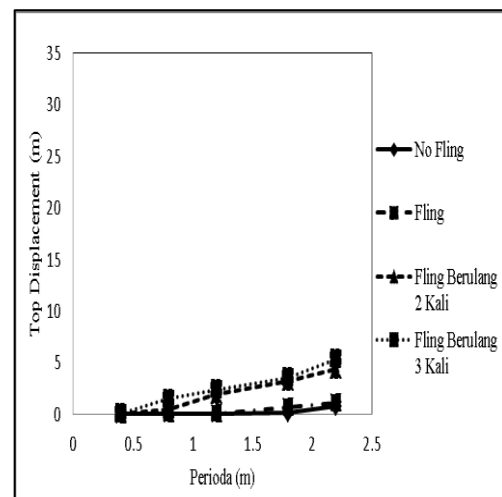
Gambar 4.11: lanjutan.

Nilai simpangan atap terkecil adalah model yang direncanakan dengan nilai $R=3$, dari gambar 4.11 dapat dilihat bahwa nilai $R=3$ selalu bernilai kecil dan sebaliknya simpangan terbesar berada pada $R=8$. Dan dapat juga diamati bahwa simpangan atap terbesar berurut dimulai dari gempa tanpa *fling*, gempa dengan *fling*, gempa *fling* berulang 2 kali, dan yang terbesar memberikan dampak ke struktur adalah gempa *fling* berulang 3 kali.

Faktor R selalu berpengaruh besar terhadap kekakuan struktur, jika kekakuan kecil maka akan berdampak besar pada struktur bangunan.

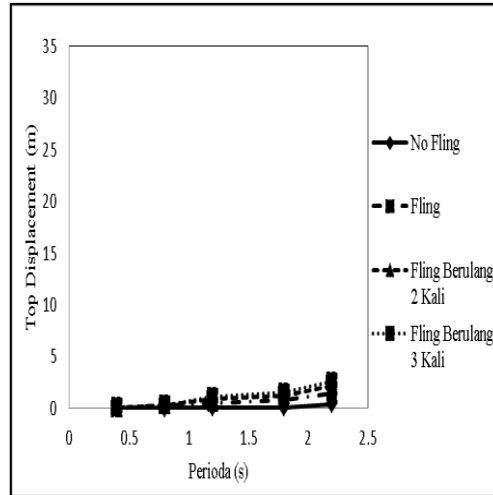


a)



b)

Gambar 4.11: Nilai rata-rata *Top Displacement* untuk struktur beton SRPM dengan jenis gempa *No fling* tunggal, *fling* tunggal, *fling* berulang 2 kali, dan *fling* berulang 3 kali terhadap prioda: a) Faktor $R=8$, b) Faktor $R=5$, c) Faktor $R=3$.



c)

Gambar 4.11: *lanjutan.*

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan mengenai perbandingan simpangan antar tingkat sistem rangka pemikul momen (SRPM) akibat gempa yang mengandung *fling*.

1. Berdasarkan hasil dan analisa, struktur yang terkena gempa tunggal yang mengandung *fling* akan memberikan nilai simpangan yang besar, hal ini dikarenakan sifat dari gempa yang mengandung *fling* akan memberikan *permanent displacement*.
2. Berdasarkan hasil dan analisa tidak linear tidak elastik dengan metode riwayat waktu, nilai simpangan terbesar adalah akibat dar gempa berulang 3 kali mengandung *fling*, karena pada saat struktur terkena gempa pertama, struktur sudah mengalami leleh pertama sehingga struktur mengalami non linier.
3. Berdasarkan hasil dan analisa linier elastik metode respon spektrum nilai simpangan antar tingkat masih dalam batas simpangan antar tingkat izin dan dengan analisa tidak linier tidak elastik metode riwayat waktu simpangan terbesar terjadi pada nilai $R=8$, semakin besar nilai R maka struktur akan semakin daktail.
4. Berdasarkan hasil dan analisa tidak linier tidak elastik metode riwayat waktu nilai simpangan terbesar terjadi pada model 5 karena model 5 adalah model dengan ketinggian paling tinggi, semakin tinggi bangunan maka semakin besar top *displacement*.

1.2. Saran

1. Dalam Tugas Akhir ini, komponen gedung seperti tangga, penulangan pelat, dimensi balok kolom yang ekonomis diabaikan. Disarankan untuk penganalisaan selanjutnya komponen tersebut direncanakan agar data yang dihasilkan lebih akurat dan sesuai data kondisi yang ada dilapangan.

2. Dalam Tugas Akhir ini, analisa riwayat waktu tidak elastis struktur bangunan hanya ditinjau secara 2 dimensi. Disarankan agar struktur bangunan ditinjau secara 3 dimensi.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (2012) *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2013) *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2013*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Budiono, B. dan Supriatna, L. (2011) *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012*. Bandung: ITB.
- Carr, A. J. (2010) *Ruaumoko Manual Volume: 1, Theory and User Guide to Associated Program*. University of Canterbury.
- Chairina, E. (2014) *Modul Praktikum Beton*. Medan: UMSU.
- Churrohman, F. (2012) *Studi Perilaku Geser Beton Bertulang dan Dinding Geser Pelat Baja dengan Analisa Statik Non-Linier Pushover*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Departemen Pekerjaan Umum (1987) *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Haselton, C. dkk. (2008) *Beam-Column Element Model Calibrated For Predicting Flexural Response Leading To Global Collapse of RC Frame Buildings*. Berkeley: University of California.
- <http://peer.berkeley.edu>.
- <http://puskim.pu.go.id>.
- <http://strongmotioncenter.org>.
- Ibarra, L. dkk. (2005) *Hysteretic Models That Incorporate Strength And Stiffness Deterioration*. USA : University of Maryland.
- Imran, I. dan Hendrik, F. (2009) *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Berdasarkan SNI 03-2847-2002*. Bandung: ITB.
- Murty, C. V. R. dkk. (2008) *Perilaku Bangunan Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Dinding Pengisi dari Bata terhadap Gempa*. Jakarta : Universitas Trisakti.
- Kalkan, E., dan Kunnath, K. (2006). Effects of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings. *Earthquake Spectra*, Volume 22, No. 2 , 367–390.
- Pawirodikromo, W. (2012) *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

Siregar, Y. A. N. (2008) *Evaluasi Daktilitas pada Struktur Ganda*. Jakarta: Fakultas Teknik, UI.

Stathopoulos, K. G., Anagnostopoulos, S. A. (2005) *Inelastic Torsion Of Multistory Buildings Under Earthquake Excitations*. Greece: University of Patras.

Syam, A. (1999) *Catatan Kuliah M. K. Struktur Beton 1*. Padang: ITP.

Zareian, F., Krawinkler, H. (2009) *Simplified performance-based earthquake engineering*. Stanford: Report No.169, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University.

LAMPIRAN

A.1. Perhitungan Pembebanan Struktur

Dalam Tugas Akhir ini, jenis pembebanan yang digunakan adalah beban gravitasi. Beban gravitasi dihitung berdasarkan beban hidup dan beban mati yang bekerja pada struktur bangunan kemudian akan dijadikan sebagai beban yang bekerja di pelat lantai pada analisis menggunakan Program Analisa Struktur.

A.1.1. Beban Gravitasi

A. Lantai Atap

) Beban Mati Tambahan:			
- <i>Finishing</i> Lantai/Spesi (t = 2 cm)	=	39	kg/m ²
- <i>Waterproof</i>	=	18	kg/m ²
- Plafon + Penggantung	=	18	kg/m ²
- Instalasi M.E.	=	25	kg/m ²
<hr/>			
Total Beban Mati Tambahan	=	100	kg/m ²
) Beban Hidup	=	100	kg/m ²

B. Lantai Tipikal

) Beban Mati Tambahan:			
- <i>Finishing</i> Lantai/Spesi (t = 3 cm)	=	53	kg/m ²
- Penutup Lantai Keramik	=	24	kg/m ²
- Plafon + Penggantung	=	18	kg/m ²
- Instalasi M.E.	=	25	kg/m ²
<hr/>			
Total Beban Mati Tambahan	=	120	kg/m ²
) Beban Hidup	=	240	kg/m ²

C. Berat Dinding

Beban dinding dijadikan sebagai beban terbagi rata yang ditumpu oleh balok-balok yang berhubungan pada masing-masing lantai. Nilai berat dinding yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Data struktur: Bs. Dinding ½ bata	=	250	kg/m ²
Tinggi Lantai <i>Basement</i>	=	4,5	m
Tinggi Lantai Tipikal	=	3,5	m

$$\begin{aligned} \text{) Berat dinding } \textit{Basement} &= (0,5 (\text{tinggi lantai 1}) + 0,5 (\text{tinggi lantai 2})) \times 250 \\ &= (0,5 (4,5) + 0,5 (3,5)) \times 250 \\ &= 1000 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{) Berat dinding lt.tipikal} &= (0,5 (\text{tinggi lantai 2}) + 0,5 (\text{tinggi lantai 3})) \times 250 \\ &= (0,5 (3,5) + 0,5 (3,5)) \times 250 \\ &= 875,0 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{) Berat dinding lt.teratas} &= (0,5 (\text{tinggi lantai 5})) \times 250 \\ &= (0,5 (3,5)) \times 250 \\ &= 437,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

A.2. Syarat Periode Struktur

Penentuan periode yang akan digunakan untuk perhitungan gaya geser dasar dan gaya lateral statik ekuivalen adalah berdasarkan SNI 1726:2012.

➤ Model 1

Data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 4,5 m
- Tinggi lantai tipikal : 3,5 m
- Hn : 18,5 m
- Cu : 1,4 untuk R=8
1,56 untuk R=5
1,7 untuk R=3
- Ct : 0,0466
- x : 0,9

Tabel L.1: Kontrol periode getar alami struktur Model 1

SYARAT PERIODA					
Arah	T_{amin} ($C_t \times h_n^x$)	T_{amax} ($C_u \times T_{amin}$)	$T_{sap2000}$	$T_{dipakai}$	KONTROL
X (R=8)	0,64	0,9	0,41	0,64	OK
X (R=5)	0,64	1,0	0,41	0,64	OK
X (R=3)	0,64	1,09	0,41	0,64	OK

Berdasarkan Tabel L.1, periode alami struktur yang digunakan adalah batas periode minimum yaitu 0,64 karena nilai periode pada Program Analisa Struktur lebih besar dari batas minimumnya untuk ketiga jenis R.

➤ Model 2

Data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 4,5 m
- Tinggi lantai tipikal : 3,5 m
- Hn : 36 m

- C_u : 1,4 untuk $R=8$
1,56 untuk $R=5$
1,7 untuk $R=3$
- C_t : 0,0466
- x : 0,9

Tabel L.2: Kontrol perioda getar alami struktur Model 2.

SYARAT PERIODA					
Arah	$T_{a_{min}}$ ($C_t \times h_n^x$)	$T_{a_{max}}$ ($C_u \times T_{a_{min}}$)	$T_{sap2000}$	$T_{dipakai}$	KONTROL
X ($R=8$)	1,17	1,64	0,8	1,17	OK
X ($R=5$)	1,17	1,83	0,8	1,17	OK
X ($R=3$)	1,17	1,99	0,8	1,17	OK

Berdasarkan Tabel L.2, perioda alami struktur yang digunakan adalah batas perioda minimum yaitu 1,17 karena nilai perioda pada Program Analisa Struktur lebih besar dari batas minimumnya untuk ketiga jenis R .

➤ Model 3

Data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 4,0 m
- Tinggi lantai tipikal : 3,5 m
- H_n : 53,5 m
- C_u : 1,4 untuk $R=8$
1,56 untuk $R=5$
1,7 untuk $R=3$
- C_t : 0,0466
- x : 0,9

Tabel L.3: Kontrol perioda getar alami struktur Model 3.

SYARAT PERIODA					
Arah	T_{amin} ($Ct \times hn^x$)	T_{amax} ($Cu \times T_{amin}$)	$T_{sap2000}$	$T_{dipakai}$	KONTROL
X (R=8)	1,67	2,34	1,16	1,67	OK
X (R=5)	1,67	2,61	1,16	1,67	OK
X (R=3)	1,67	2,85	1,16	1,67	OK

Berdasarkan Tabel L.3, perioda alami struktur yang digunakan adalah batas perioda minimum yaitu 1,67 karena nilai perioda pada Program Analisa Struktur lebih besar dari batas minimumnya untuk ketiga jenis R.

➤ Model 4

Data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 4,5 m
- Tinggi lantai tipikal : 3,5 m
- H_n : 71 m
- C_u : 1,4 untuk R=8
1,56 untuk R=5
1,7 untuk R=3
- C_t : 0,0466
- x : 0,9

Tabel L.4: Kontrol perioda getar alami struktur Model 4.

SYARAT PERIODA					
Arah	T_{amin} ($Ct \times hn^x$)	T_{amax} ($Cu \times T_{amin}$)	$T_{sap2000}$	$T_{dipakai}$	KONTROL
X (R=8)	2,16	3,02	1,58	2,16	OK
X (R=5)	2,16	3,37	1,58	2,16	OK

Tabel L.4: lanjutan

SYARAT PERIODA					
Arah	T_{amin} ($C_t \times hn^x$)	T_{amax} ($C_u \times T_{amin}$)	$T_{sap2000}$	$T_{dipakai}$	KONTROL
X (R=3)	2,16	3,67	1,58	2,16	OK

Berdasarkan Tabel L.4, perioda alami struktur yang digunakan adalah batas perioda minimum yaitu 2,16 karena nilai perioda pada Program Analisa Struktur lebih besar dari batas minimumnya untuk ketiga jenis R.

➤ Model 5

Data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 4,5 m
- Tinggi lantai tipikal : 3,5 m
- H_n : 106 m
- C_u : 1,4 untuk R=8
1,56 untuk R=5
1,7 untuk R=3
- C_t : 0,0466
- x : 0,9

Tabel L.5: Kontrol perioda getar alami struktur Model 5.

SYARAT PERIODA					
Arah	T_{amin} ($C_t \times hn^x$)	T_{amax} ($C_u \times T_{amin}$)	$T_{sap2000}$	$T_{dipakai}$	KONTROL
X (R=8)	3,1	4,34	2,23	3,1	OK
X (R=5)	3,1	4,34	2,23	3,1	OK
X (R=3)	3,1	5,27	2,23	3,1	OK

Berdasarkan Tabel L.5, perioda alami struktur yang digunakan adalah batas perioda minimum yaitu 3,1 karena nilai perioda pada Program Analisa Struktur lebih besar dari batas minimumnya untuk ketiga jenis R.

A.3. Modal Participating Mass Ratios

A.3.1. Modal Participating Mass Ratios Model 1

Tabel L.6: Hasil output *Modal Participating Mass Ratios* struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 1).

<i>Modal Participating Mass Ratios</i>				
<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	UX	Sum UX
Modal	1	0.418	0.816	0.816
Modal	2	0.139	0.126	0.942
Modal	3	0.076	0.036	0.978
Modal	4	0.049	0.012	0.990
Modal	5	0.039	0.000	0.990
Modal	6	0.038	0.000	0.990
Modal	7	0.038	0.000	0.990
Modal	8	0.037	0.000	0.990
Modal	9	0.036	0.010	1.000
Modal	10	0.035	0.000	1.000
Modal	11	0.033	0.000	1.000
Modal	12	0.031	0.000	1.000

Tabel L.7: Hasil selisih persentase nilai perioda

Mode	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	66.72	Not ok	ok
T2-T3	45.23	Not ok	ok
T3-T4	35.95	Not ok	ok
T4-T5	19.96	Not ok	ok
T5-T6	1.546	ok	Not ok
T6-T7	2.30	ok	Not ok
T7-T8	2.31	ok	Not ok
T8-T9	3.21	ok	Not ok
T9-T10	0.67	ok	Not ok
T10-T12	6.62	ok	Not ok
T11-T12	6.46	ok	Not ok

A.3.2. Modal Participating Mass Ratios Model 2

Tabel L.8: Hasil output *Modal Participating Mass Ratios* struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 2).

<i>Modal Participating Mass Ratios</i>				
<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	UX	Sum UX
Modal	1	1.62	0.72	0.72
Modal	2	0.54	0.12	0.84
Modal	3	0.30	0.05	0.89
Modal	4	0.20	0.03	0.92
Modal	5	0.14	0.02	0.94
Modal	6	0.11	0.01	0.95
Modal	7	0.09	0.00	0.95
Modal	8	0.09	0.00	0.95
Modal	9	0.08	0.01	0.96
Modal	10	0.08	0.00	0.96
Modal	11	0.07	0.00	0.96
Modal	12	0.07	0.00	0.96

Tabel L.9: Hasil selisih persentase nilai perioda

Mode	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	66.90	Not ok	Ok
T2-T3	43.34	Not ok	Ok
T3-T4	33.79	Not ok	Ok
T4-T5	28.99	Not ok	Ok
T5-T6	23.93	Not ok	Ok
T6-T7	14.36	Ok	Not ok
T7-T8	5.98	Ok	Not ok
T8-T9	3.14	Ok	Not ok
T9-T10	5.02	Ok	Not ok
T10-T12	7.66	Ok	Not ok
T11-T12	6.19	Ok	Not ok

A.3.3. Modal Participating Mass Ratios Model 3

Tabel L.10: Hasil output *Modal Participating Mass Ratios* struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 3).

<i>Modal Participating Mass Ratios</i>				
<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	UX	Sum UX
Modal	1	1.164	0.755	0.755
Modal	2	0.421	0.119	0.874
Modal	3	0.242	0.049	0.922
Modal	4	0.162	0.023	0.945
Modal	5	0.121	0.017	0.962
Modal	6	0.093	0.011	0.973
Modal	7	0.089	0.000	0.973
Modal	8	0.083	0.000	0.973
Modal	9	0.077	0.000	0.973
Modal	10	0.074	0.007	0.980
Modal	11	0.070	0.000	0.980
Modal	12	0.064	0.000	0.980

Tabel L.11: Hasil selisih persentase nilai perioda

Mode	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	63.846	Not ok	ok
T2-T3	42.406	Not ok	ok
T3-T4	33.196	Not ok	ok
T4-T5	25.384	Not ok	ok
T5-T6	23.340	Not ok	ok
T6-T7	4.152	ok	Not ok
T7-T8	6.082	ok	Not ok
T8-T9	8.223	ok	Not ok
T9-T10	2.819	ok	Not ok
T10-T12	5.667	ok	Not ok
T11-T12	8.519	ok	Not ok

A.3.4. Modal Participating Mass Ratios Model 4

Tabel L.12: Hasil output *Modal Participating Mass Ratios* struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 4).

<i>Modal Participating Mass Ratios</i>				
<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>UX</i>	<i>Sum UX</i>
Modal	1	0.78	0.78	0.78
Modal	2	0.26	0.12	0.90
Modal	3	0.14	0.05	0.94
Modal	4	0.09	0.02	0.97
Modal	5	0.06	0.01	0.98
Modal	6	0.06	0.00	0.98
Modal	7	0.06	0.00	0.98
Modal	8	0.05	0.00	0.98
Modal	9	0.05	0.00	0.98
Modal	10	0.05	0.00	0.98
Modal	11	0.05	0.00	0.98
Modal	12	0.05	0.01	0.99

Tabel L.13: Hasil persentase nilai perioda

Mode	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	66.73	Not ok	Ok
T2-T3	46.25	Not ok	Ok
T3-T4	35.54	Not ok	Ok
T4-T5	31.08	Not ok	Ok
T5-T6	4.42	Ok	Not ok
T6-T7	3.32	Ok	Not ok
T7-T8	4.42	Ok	Not ok
T8-T9	4.06	Ok	Not ok
T9-T10	11.16	Ok	Not ok
T10-T12	0.18	Ok	Not ok
T11-T12	2.13	Ok	Not ok

A.3.5. Modal Participating Mass Ratios Model 5

Tabel L.14: Hasil output *Modal Participating Mass Ratios* struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 5).

<i>Modal Participating Mass Ratios</i>				
<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	UX	Sum UX
Modal	1	2.23	0.68	0.68
Modal	2	0.84	0.13	0.81
Modal	3	0.49	0.05	0.86
Modal	4	0.34	0.03	0.89
Modal	5	0.25	0.02	0.91
Modal	6	0.19	0.01	0.68
Modal	7	0.15	0.01	0.81
Modal	8	0.13	0.00	0.86
Modal	9	0.13	0.01	0.89
Modal	10	0.12	0.00	0.91
Modal	11	0.11	0.01	0.96
Modal	12	0.10	0.00	0.96

Tabel L.15: Hasil selisih persentase nilai perioda

Mode	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	62.36	Not ok	ok
T2-T3	41.63	Not ok	ok
T3-T4	31.24	Not ok	ok
T4-T5	25.91	Not ok	ok
T5-T6	22.97	Not ok	ok
T6-T7	19.64	Not ok	ok
T7-T8	16.73	Not ok	ok
T8-T9	0.30	ok	Not ok
T9-T10	8.70	ok	Not ok
T10-T12	8.15	ok	Not ok
T11-T12	3.94	ok	Not ok

A.4. Berat Sendiri Struktur

A.4.1. Berat Sendiri Struktur Model 1

Tabel L.16: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 1).

<i>Story</i>	<i>Self weight (KN)</i>
5	586.668
4	675.634
3	675.634
2	744.8295
1	859.214
TOTAL	3541.9795

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa berat total struktur untuk Model 1 adalah 3541.9795 KN.

A.4.2. Berat Sendiri Struktur Model 2

Tabel L.17: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 2).

<i>Story</i>	<i>Self weight (KN)</i>
10	655.864
9	814.025
8	814.025
7	814.025
6	814.025
5	902.991
4	991.957
3	991.957
2	991.957
1	1062.565
TOTAL	8853.391

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa berat total struktur untuk Model 2 adalah 8853.391 KN.

A.4.3. Berat Sendiri Struktur Model 3

Tabel L.18: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 3).

<i>Story</i>	<i>Self weight</i> (KN)
15	586.668
14	675.634
13	675.634
12	675.634
11	675.634
10	744.8295
9	814.025
8	814.025
7	814.025
6	814.025
5	902.991
4	991.957
3	991.957
2	991.957
1	1062.565
TOTAL	12231.5605

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa berat total struktur untuk Model 3 adalah 12231.5605 KN.

A.4.4. Berat Sendiri Struktur Model 4

Tabel L.19: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 4).

<i>Story</i>	<i>Self weight</i> (KN)
20	655.864
19	814.025
18	814.025
17	814.025
16	814.025
15	902.991
14	991.957
13	991.957
12	991.957

Tabel L.19: *Lanjutan.*

<i>Story</i>	<i>Self weight</i> (KN)
11	991.957
10	1209.43
9	1209.43
8	1209.43
7	1209.43
6	1209.43
5	1337.936
4	1466.442
3	1466.442
2	1466.442
1	1604.834
TOTAL	22172.029

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa berat total struktur untuk Model 4 adalah 22172.029 KN.

A.4.5. Berat Sendiri Struktur Model 5

Tabel L.20: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 5).

<i>Story</i>	<i>Self weight</i> (KN)
30	586.668
29	675.634
28	675.634
27	675.634
26	675.634
25	744.8295
24	814.025
23	814.025
22	814.025
21	814.025
20	902.991
19	991.957
18	991.957
17	991.957
16	991.957
15	1100.693

Tabel L.20: *Lanjutan.*

<i>Story</i>	<i>Self weight</i> (KN)
14	1209.429
13	1209.429
12	1209.429
11	1209.429
10	1337.9355
9	1466.442
8	1466.442
7	1466.442
6	1466.442
5	1614.7185
4	1762.995
3	1762.995
2	1762.995
1	1943.7515
TOTAL	34150.52

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa berat total struktur untuk Model 5 adalah 34150.52 KN.

A.5. Perhitungan Gaya Geser Dasar dan Gaya Lateral Statik Ekuivalen

Gaya geser dasar yang digunakan untuk menghitung gaya lateral statik ekuivalen ditentukan berdasarkan SNI 1726:2012.

➤ Model 1

❖ Untuk faktor R=8, Data struktur:

- S_{D1} : 1.0272
- S_{DS} : 0.8094
- R : 8.00
- I_e : 1.00
- S_1 : 0.642

$$\checkmark \text{ Cs Maksimum} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$= \frac{0,8094}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0.101$$

$$\checkmark \text{ Cs Minimum} = \frac{0,5 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$
$$= \frac{0,5 \cdot 0,642}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0.0401$$

$$\checkmark \text{ Cs Hitungan} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$
$$= \frac{1,0272}{0,64 \left(\frac{8,0}{1,0}\right)} = 0.200$$

Tabel L.21: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 1 (R=8).

Arah	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Minimum	Cs Digunakan
X	0,101	0,200	0,0401	0,101

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai $C_{shitungan}$ berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah $C_{shitungan}$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0.101 \times 3541.97$$

$$V = 358.359 \text{ KN}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, kadalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 0,64 detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 1,07.

Tabel L.22: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 1 (R=8).

Lantai	Berat Seismik (Wx)	Tinggi Lantai (hx)	$W_x \cdot h_x^k$	$\frac{(W_x \cdot h_x^k)}{(\sum W_x \cdot h_x^k)} \times V$	Story Shear (Fx)
5	586.668	18,5	13312.70	103.78	103.78
4	675.634	15	12249.80	95.49	199.27
3	675.634	11,5	9218.45	71.86	271.14
2	744.8295	8	6892.28	53.73	324.87
1	859.214	4,5	4295.74	33.48	358.359
TOTAL			4596..99	358.35	

Berdasarkan Tabel L.22, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 1 adalah 358.35 KN.

❖ Untuk faktor R=5, Data struktur:

- S_{D1} : 0,178
- S_{DS} : 0,2096
- R : 5,00
- I_e : 1,00
- S1 : 0,164

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,2096}{\left(\frac{5,0}{1}\right)} = 0,0419 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Minimum} &= 0,044 S_{DS} I_e \\ &= 0,044 \cdot (0,2096) \cdot (1,00) = 0,0092 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,178}{0,64\left(\frac{5,0}{1,0}\right)} = 0,0558 \end{aligned}$$

Tabel L.23: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 1 (R=5).

Arah	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Minimum	Cs Digunakan
X	0,0419	0,0558	0,0092	0,0419

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai $C_{hitungan}$ berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah $C_{hitungan}$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,0419 \times 3541,97$$

$$V = 197,985 \text{ KN}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, kadalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 0,64 detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 1,07.

Tabel L.24: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 1 ($R=5$) .

Lantai	Berat Seismik (W_x)	Tinggi Lantai (hx)	$W_x \cdot hx^k$	$\frac{Force}{(\sum W_x \cdot hx^k)} \times V$	<i>Story Shear</i> (F_x)
5	586.668	18,5	13312.70	57.33	57.33
4	675.634	15	12249.80	52.75	110.09
3	675.634	11,5	9218.45	39.70	149.79
2	744.8295	8	6892.28	29.68	179.48
1	859.214	4,5	4295.74	18.5	197.985
TOTAL			45968.99	197.985	

Berdasarkan Tabel L.24, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 1 ($R=5$) adalah 197.985 kN.

❖ Untuk faktor $R=3$, Data struktur:

- S_{D1} : 0,1093
- S_{Ds} : 0,1746
- R : 3,00
- I_e : 1,00
- S_1 : 0,164

$$\begin{aligned}
\checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
&= \frac{0,1746}{\left(\frac{3,0}{1}\right)} = 0,0582 \\
\checkmark \text{ Cs Minimum} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \\
&= 0,044 \cdot (0,1746) \cdot (1,00) = 0,0076 \\
\checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
&= \frac{0,1093}{0,64 \left(\frac{3,0}{1,0}\right)} = 0,0569
\end{aligned}$$

Tabel L.25: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 1 (R=3).

Arah	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Minimum	Cs Digunakan
X	0,0582	0,0569	0,0076	0,0569

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai $C_{hitungan}$ berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah $C_{hitungan}$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$\begin{aligned}
V &= C_s \times W_t \\
V &= 0,0569 \times 3541,97 \\
V &= 201,689 \text{ KN}
\end{aligned}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, k adalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$

- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 0,64 detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 1,07.

Tabel L.26: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 1 (R=3) .

Lantai	Berat Seismik (W _x)	Tinggi Lantai (h _x)	W _x .h _x ^k	$\frac{Force}{(\sum W_x \cdot h_x^k)} \times V$	Story Shear (F _x)
5	586.668	18,5	13312.70	58.409	58.409
4	675.634	15	12249.80	53.74	112.15
3	675.634	11,5	9218.45	40.44	152.602
2	744.8295	8	6892.28	30.24	182.84
1	859.214	4,5	4295.74	18.84	201.689
TOTAL			45968.99	201.689	

Berdasarkan Tabel L.26, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 1(R=3) adalah 201.689kN.

➤ Model 2

❖ Untuk faktor R=8, Data struktur:

- S_{D1} : 1,0272
- S_{DS} : 0,8094
- R : 8,00
- I_e : 1,00
- S₁ : 0,642

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,8094}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,101
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Minimum} &= \frac{0,5.S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,5.0,642}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,0401 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{1,0272}{1,17\left(\frac{8,0}{1,0}\right)} = 0,109 \end{aligned}$$

Tabel L.27: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 2 (R=8).

Arah	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Minimum	Cs Digunakan
X	0,101	0,109	0,0401	0,101

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai $C_{shitungan}$ berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah $C_{shitungan}$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0.101 \times 5853.391$$

$$V = 642.37 \text{ KN}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, k adalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 1,17detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 1,335.

Tabel L.28: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 2 (R=8).

Lantai	Berat Seismik (Wx)	Tinggi Lantai (hx)	Wx.hx ^k	$\frac{Force}{(\sum Wx.hx^k)} \times V$	Story Shear (Fx)
10	355.86	36.00	42554.74	90.20	90.20
9	514.03	32.50	53622.68	113.66	203.86
8	514.03	29.00	46055.93	97.62	301.48
7	514.03	25.50	38789.61	82.22	383.70
6	514.03	22.00	31850.67	67.51	451.21
5	602.99	18.50	29647.30	62.84	514.05
4	691.96	15.00	25713.48	54.50	568.56
3	691.96	11.50	18034.77	38.23	606.78
2	691.96	8.00	11109.75	23.55	630.33
1	762.57	4.50	5679.57	12.04	642.37
TOTAL			303058.49	642.37	

Berdasarkan Tabel L.28, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 2 adalah 642.37 KN.

❖ Untuk faktor R=5, Data struktur:

- S_{D1} : 0,178
- S_{DS} : 0,2096
- R : 5,00
- I_e : 1,00
- S1 : 0,164

✓ Cs Maksimum =
$$\frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$= \frac{0,2096}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,0419$$

✓ Cs Minimum = $0,044 S_{D1} I_e$
= $0,044 \cdot (0,2096) \cdot (1,00) = 0,0092$

✓ Cs Hitungan = $\frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$
= $\frac{0,178}{1,17\left(\frac{5,0}{1,0}\right)} = 0,0304$

Tabel L.29: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 2 (R=5).

Arah	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Minimum	Cs Digunakan
X	0,0419	0,0304	0,0092	0,0304

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai Cs di dapat karena nilai C_{hitung} berada diantara $C_{minimum}$ dan $C_{maksimum}$. Maka yang digunakan adalah C_{hitung} .

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,0304 \times 5853,391$$

$$V = 234,86 \text{ KN}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, adalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$

- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 1,17 detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 1,335.

Tabel L.30: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 2 (R=5).

Lantai	Berat Seismik (W _x)	Tinggi Lantai (h _x)	W _x .h _x ^k	$\frac{Force}{(\sum W_x \cdot h_x^k)} \times V$	Story Shear (F _x)
10	355.864	36.00	42554.74	32.98	32.98
9	514.025	32.50	53622.68	41.56	74.54
8	514.025	29.00	46055.93	35.69	110.23
7	514.025	25.50	38789.61	30.06	140.29
6	514.025	22.00	31850.67	24.68	164.97
5	602.991	18.50	29647.30	22.98	187.95
4	691.957	15.00	25713.48	19.93	207.88
3	691.957	11.50	18034.77	13.98	221.86
2	691.957	8.00	11109.75	8.61	230.47
1	762.565	4.50	5679.57	4.40	234.87
TOTAL			303058.49	234.87	

Berdasarkan Tabel L.30, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 2 adalah 234.87 KN.

❖ Untuk faktor R=3, Data struktur:

- S_{D1} : 0,1093
- S_{DS} : 0,1746
- R : 3,00
- I_e : 1,00
- S₁ : 0,164

$$\begin{aligned}
\checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
&= \frac{0,1746}{\left(\frac{3,0}{1}\right)} = 0,0582 \\
\checkmark \text{ Cs Minimum} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \\
&= 0,044 \cdot (0,1746) \cdot (1,00) = 0,0076 \\
\checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
&= \frac{0,1093}{1,17\left(\frac{3,0}{1,0}\right)} = 0,031
\end{aligned}$$

Tabel L.31: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 2 (R=3).

Arah	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Minimum	Cs Digunakan
X	0,0582	0,031	0,0076	0,031

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai C_{hitung} berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah C_{hitung} .

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$\begin{aligned}
V &= C_s \times W_t \\
V &= 0,031 \times 5853,391 \\
V &= 182,27 \text{ KN}
\end{aligned}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, k adalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$

- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 1,17detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 1,335.

Tabel L.32: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 2 (R=3).

Lantai	Berat Seismik (W _x)	Tinggi Lantai (h _x)	W _x .h _x ^k	$\frac{Force}{(\sum W_x \cdot h_x^k)} \times V$	Story Shear (F _x)
10	355.864	36.00	42554.74	25.59	25.59
9	514.025	32.50	53622.68	32.25	57.85
8	514.025	29.00	46055.93	27.70	85.55
7	514.025	25.50	38789.61	23.33	108.87
6	514.025	22.00	31850.67	19.16	128.03
5	602.991	18.50	29647.30	17.83	145.86
4	691.957	15.00	25713.48	15.47	161.33
3	691.957	11.50	18034.77	10.85	172.17
2	691.957	8.00	11109.75	6.68	178.86
1	762.565	4.50	5679.57	3.42	182.27
TOTAL			303058.49	182.27	

Berdasarkan Tabel L.32, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 2 adalah 182.27 KN.

➤ Model 3

❖ Untuk faktor R=8, Data struktur:

- S_{D1} : 1,0272
- S_{DS} : 0,8094
- R : 8,00
- I_e : 1,00
- S₁ : 0,642

$$\begin{aligned}
\checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
&= \frac{0,8094}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,101 \\
\checkmark \text{ Cs Minimum} &= \frac{0,5 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
&= \frac{0,5 \cdot 0,642}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,0401 \\
\checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
&= \frac{1,0272}{1,67 \left(\frac{8,0}{1,0}\right)} = 0,0768
\end{aligned}$$

Tabel L.33: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 3 (R=8).

Arah	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Minimum	Cs Digunakan
X	0,101	0,0768	0,0401	0,0768

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai $C_{shitungan}$ berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah $C_{shitungan}$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,0768 \times 12231,56$$

$$V = 940,438 \text{ KN}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, kadalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 1,67detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 1,585.

Tabel L.34: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 3 (R=8).

Lantai	Berat Seismik (Wx)	Tinggi Lantai (hx)	$Wx \cdot hx^k$	$\frac{Force}{(\sum Wx \cdot hx^k)} \times V$	Story Shear (Fx)
15	586.668	53.5	321983.14	119.613	119.61
14	675.634	50	333103.31	123.74	243.358
13	675.634	46.5	296909.72	110.29	353.65
12	675.634	43	262276.26	97.43	451.09
11	675.634	39.5	229254.51	85.165	536.25
10	744.829	36	218170.65	81.048	617.304
9	814.025	32.5	202755.605	75.321	692.62
8	814.025	29	169253.85	62.876	755.502
7	814.025	25.5	138039.67	51.28	806.783
6	814.025	22	109238.99	40.581	847.364
5	902.991	18.5	92076.883	34.20	881.57
4	991.957	15	72543.330	26.949	908.519
3	991.957	11.5	47610.081	17.68	926.206
2	991.957	8	26784.927	9.95	936.15
1	1062.565	4.5	11526.496	4.281	940.43
TOTAL			2531527.478	940.43	

Berdasarkan Tabel L.34, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 3 adalah 940.43 KN.

❖ Untuk faktor R=5, Data struktur:

- S_{D1} : 0,178
- S_{DS} : 0,2096
- R : 5,00
- I_e : 1,00
- S1 : 0,164

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,2096}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,0419 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Minimum} &= 0,044.SDs.Ie \\ &= 0,044.(0,2096).(1,00) = 0,0092 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,178}{1,67\left(\frac{5,0}{1,0}\right)} = 0,0213 \end{aligned}$$

Tabel L.35: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 3 (R=5).

Arah	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Minimum	Cs Digunakan
X	0,0419	0,0213	0,0092	0,0213

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai C_{hitung} berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah C_{hitung} .

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,0213 \times 12231.56$$

$$V = 262,019 \text{ KN}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, kadalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 0,64detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 1,07.

Tabel L.36: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 3 (R=5).

Lantai	Berat Seismik (W_x)	Tinggi Lantai (hx)	$W_x \cdot h_x^k$	$\frac{Force (W_x \cdot h_x^k)}{(\sum W_x \cdot h_x^k)} \times V$	<i>Story Shear</i> (F_x)
15	586.668	53.5	321983.14	33.326	33.326
14	675.634	50	333103.31	34.47	67.802
13	675.634	46.5	296909.72	30.73	98.533
12	675.634	43	262276.26	27.146	125.68
11	675.634	39.5	229254.51	23.72	149.408
10	744.829	36	218170.65	22.58	171.98
9	814.025	32.5	202755.605	20.985	192.975
8	814.025	29	169253.85	17.518	210.49
7	814.025	25.5	138039.67	14.287	224.78
6	814.025	22	109238.99	11.306	236.087
5	902.991	18.5	92076.883	9.53	245.617
4	991.957	15	72543.330	7.508	253.125
3	991.957	11.5	47610.081	4.92	258.053

Tabel L.36: *lanjutan*

2	991.957	8	24560.235	2.77	260.826
1	1062.565	4.5	7338.843	2.77	262.019
TOTAL			2531527.478	262.019	

Berdasarkan Tabel L.36, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 3 adalah 262.019kN.

❖ Untuk faktor R=3, Data struktur:

- S_{D1} : 0,1093
- S_{DS} : 0,1746
- R : 3,00
- I_e : 1,00
- S1 : 0,164

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,1746}{\left(\frac{3,0}{1}\right)} = 0,0582
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ Cs Minimum} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \\
 &= 0,044 \cdot (0,1746) \cdot (1,00) = 0,0076
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,1093}{1,67 \left(\frac{3,0}{1,0}\right)} = 0,0218
 \end{aligned}$$

Tabel L.37: Nilai C_s yang digunakan untuk Model 1 dengan faktor $R=3$.

Arah	C_s Maksimum	C_s Hitungan	C_s Minimum	C_s Digunakan
X	0,0582	0.0218	0,0076	0.0218

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai $C_{shitungan}$ berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah $C_{shitungan}$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0.0218 \times 12231.56$$

$$V = 266,92 \text{ KN}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, kadalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 1,67detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 1,585.

Tabel L.38: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 3 ($R=3$).

Lantai	Berat Seismik (W_x)	Tinggi Lantai (hx)	$W_x \cdot h_x^k$	$\frac{Force}{(\sum W_x \cdot h_x^k)} \times V$	<i>Story Shear</i> (F_x)
15	586.668	53.5	321983.14	33.94	33.94
14	675.634	50	333103.31	35.122	69.07
13	675.634	46.5	296909.72	31.305	100.37
12	675.634	43	262276.26	27.65	128.031
11	675.634	39.5	229254.51	24.17	152.203
10	744.829	36	218170.65	23.003	175.207
9	814.025	32.5	202755.605	21.37	196.585

Tabel L.38: *lanjutan*

8	814.025	29	169253.85	17.84	214.431
7	814.025	25.5	138039.67	14.55	228.986
6	814.025	22	109238.99	11.518	240.504
5	902.991	18.5	92076.883	9.708	250.213
4	991.957	15	72543.330	7.64	257.86
3	991.957	11.5	47610.081	5.019	262.88
2	991.957	8	24560.235	2.82	265.706
1	1062.565	4.5	7338.843	1.215	266.92
TOTAL			2531527.478	266.92	

Berdasarkan Tabel L.38, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 3 adalah 266.92 KN.

➤ Model 4

❖ Untuk faktor R=8, Data struktur:

- S_{D1} : 1,0272
- S_{DS} : 0,8094
- R : 8,00
- I_e : 1,00
- S_1 : 0,642

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,8094}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,101
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ Cs Minimum} &= \frac{0,5 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,5 \cdot 0,642}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,0401
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{Ie}\right)} \\
 &= \frac{1,0272}{2,16\left(\frac{8,0}{1,0}\right)} = 0,059
 \end{aligned}$$

Tabel L.39: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 4 (R=8).

Arah	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Minimum	Cs Digunakan
X	0,101	0,059	0,0401	0,059

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai $C_{shitungan}$ berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah $C_{shitungan}$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \times W_t \\
 V &= 0,059 \times 22172.029 \\
 V &= 1318.003 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, k adalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 2,16 detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 1,83.

Tabel L.40: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 4 (R=8).

Lantai	Berat Seismik (W _x)	Tinggi Lantai (h _x)	W _x .h _x ^k	$\frac{Force (W_x \cdot h_x^k)}{(\sum W_x \cdot h_x^k)} \times V$	Story Shear (F _x)
20	655.86	71.00	1601830.55	124.10	124.10
19	814.03	67.50	1812440.04	140.41	264.51
18	814.03	64.00	1644171.42	127.38	391.89
17	814.03	60.50	1483372.01	114.92	506.81
16	814.03	57.00	1330113.58	103.05	609.85
15	902.99	53.50	1313925.81	101.79	711.64
14	991.96	50.00	1275287.06	98.80	810.44
13	991.96	46.50	1116687.75	86.51	896.95
12	991.96	43.00	967698.62	74.97	971.92
11	991.96	39.50	828448.53	64.18	1036.10
10	1209.43	36.00	852342.83	66.03	1102.14
9	1209.43	32.50	706850.04	54.76	1156.90
8	1209.43	29.00	573811.27	44.45	1201.35
7	1209.43	25.50	453470.74	35.13	1236.48
6	1209.43	22.00	346110.08	26.81	1263.30
5	1337.94	18.50	278842.91	21.60	1284.90
4	1466.44	15.00	208214.94	16.13	1301.03
3	1466.44	11.50	128038.90	9.92	1310.95
2	1466.44	8.00	65905.18	5.11	1316.05
1	1604.83	4.50	25165.70	1.95	1318.00
TOTAL			17012727.9	1318.00	

Berdasarkan Tabel L.40, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 4 adalah 1318.00 KN.

❖ Untuk faktor R=5, Data struktur:

- S_{D1} : 0,178
- S_{DS} : 0,2096
- R : 5,00
- I_e : 1,00
- S₁ : 0,164

$$\begin{aligned}
\checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{Ie}\right)} \\
&= \frac{0,2096}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,0419 \\
\checkmark \text{ Cs Minimum} &= 0,044 \cdot S_{Ds} \cdot Ie \\
&= 0,044 \cdot (0,2096) \cdot (1,00) = 0,0092 \\
\checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{Ie}\right)} \\
&= \frac{0,178}{2,16\left(\frac{5,0}{1,0}\right)} = 0,0164
\end{aligned}$$

Tabel L.41: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 4 (R=5).

Arah	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Minimum	Cs Digunakan
X	0,0419	0,0164	0,0092	0,0164

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai $C_{shitungan}$ berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah $C_{shitungan}$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$\begin{aligned}
V &= C_s \times W_t \\
V &= 0,0164 \times 22172.029 \\
V &= 365.42 \text{ KN}
\end{aligned}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, k adalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$

- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 2,16 detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 1,83.

Tabel L.42: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 4 (R=5).

Lantai	Berat Seismik (W _x)	Tinggi Lantai (h _x)	W _x .h _x ^k	$\frac{Force (W_x \cdot h_x^k)}{(\sum W_x \cdot h_x^k)} \times V$	Story Shear (F _x)
20	655.86	71.00	1601830.55	34.41	34.41
19	814.03	67.50	1812440.04	38.93	73.34
18	814.03	64.00	1644171.42	35.32	108.65
17	814.03	60.50	1483372.01	31.86	140.52
16	814.03	57.00	1330113.58	28.57	169.09
15	902.99	53.50	1313925.81	28.22	197.31
14	991.96	50.00	1275287.06	27.39	224.70
13	991.96	46.50	1116687.75	23.99	248.69
12	991.96	43.00	967698.62	20.79	269.47
11	991.96	39.50	828448.53	17.79	287.27
10	1209.43	36.00	852342.83	18.31	305.58
9	1209.43	32.50	706850.04	15.18	320.76
8	1209.43	29.00	573811.27	12.33	333.08
7	1209.43	25.50	453470.74	9.74	342.83
6	1209.43	22.00	346110.08	7.43	350.26
5	1337.94	18.50	278842.91	5.99	356.25
4	1466.44	15.00	208214.94	4.47	360.72
3	1466.44	11.50	128038.90	2.75	363.47
2	1466.44	8.00	65905.18	1.42	364.89
1	1604.83	4.50	25165.70	0.54	365.43
TOTAL			17012727.9	365.43	

Berdasarkan Tabel L.42, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 4 adalah 365,43 KN.

❖ Untuk faktor R=3, Data struktur:

- S_{D1} : 0,1093
- S_{DS} : 0,1746
- R : 3,00
- I_e : 1,00
- S1 : 0,164

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,1746}{\left(\frac{3,0}{1}\right)} = 0,0582 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Minimum} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \\ &= 0,044 \cdot (0,1746) \cdot (1,00) = 0,0076 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,1093}{1,67\left(\frac{3,0}{1,0}\right)} = 0,0218 \end{aligned}$$

Tabel L.43: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 4 (R=3).

Arah	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Minimum	Cs Digunakan
X	0,0582	0,0218	0,0076	0,0218

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai $C_{shitungan}$ berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah $C_{shitungan}$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0.0218 \times 22172.02$$

$$V = 606.03 \text{ KN}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, kadalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 2,16detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 1,83.

Tabel L.44: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 4 (R=3).

Lantai	Berat Seismik (W_x)	Tinggi Lantai (hx)	$W_x \cdot hx^k$	$\frac{Force (W_x \cdot hx^k)}{(\sum W_x \cdot hx^k)} \times V$	Story Shear (F_x)
20	655.86	71.00	1601830.55	35.21	35.21
19	814.03	67.50	1812440.04	39.84	75.05
18	814.03	64.00	1644171.42	36.14	111.20
17	814.03	60.50	1483372.01	32.61	143.81
16	814.03	57.00	1330113.58	29.24	173.04
15	902.99	53.50	1313925.81	28.88	201.93
14	991.96	50.00	1275287.06	28.03	229.96
13	991.96	46.50	1116687.75	24.55	254.51
12	991.96	43.00	967698.62	21.27	275.78
11	991.96	39.50	828448.53	18.21	293.99
10	1209.43	36.00	852342.83	18.74	312.73
9	1209.43	32.50	706850.04	15.54	328.27
8	1209.43	29.00	573811.27	12.61	340.88
7	1209.43	25.50	453470.74	9.97	350.85
6	1209.43	22.00	346110.08	7.61	358.46
5	1337.94	18.50	278842.91	6.13	364.59
4	1466.44	15.00	208214.94	4.58	369.17

Tabel L.44: *lanjutan*

3	1466.44	11.50	128038.90	2.81	371.98
2	1466.44	8.00	65905.18	1.45	373.43
1	1604.83	4.50	25165.70	0.55	373.98
TOTAL			17012727.9	373.98	

Berdasarkan Tabel L.44, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 4 adalah 373.98 KN.

➤ Model 5

❖ Untuk faktor R=8, Data struktur:

- S_{D1} : 1,0272
- S_{DS} : 0,8094
- R : 8,00
- I_e : 1,00
- S_1 : 0,642

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,8094}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,101
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ Cs Minimum} &= \frac{0,5 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,5 \cdot 0,642}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,0401
 \end{aligned}$$

$$\checkmark \text{ Cs Hitungan} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$= \frac{1,0272}{3,1 \left(\frac{8,0}{1,0} \right)} = 0.0428$$

Tabel L.45: Nilai C_s yang digunakan untuk Model 5 (R=8).

Arah	C_s Maksimum	C_s Hitungan	C_s Minimum	C_s Digunakan
X	0,101	0.0428	0,0401	0.0428

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai $C_{shitungan}$ berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah $C_{shitungan}$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah $V = C_s \times W_t$
 $V = 0.0428 \times 34150.52$
 $V = 1461,64 \text{ KN}$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, kadalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 3,1detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 2.

Tabel L.46: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 5 (R=8).

Lantai	Berat Seismik (W_x)	Tinggi Lantai (hx)	$W_x \cdot hx^k$	$\frac{Force (W_x \cdot hx^k)}{(\sum W_x \cdot hx^k)} \times V$	<i>Story Shear</i> (F_x)
30	586.668	106	6591801.64	97.12	97.12
29	675.634	102.5	7098379.71	104.58	201.71
28	675.634	99	6621888.83	97.568	299.284
27	675.634	95.5	6161950.98	90.79	390.07
26	675.634	92	5718566.17	84.25	474.33

Tabel L.46: *lanjutan*

25	744.8295	88.5	5833690.85	85.95	560.29
24	814.025	85	5881330.62	86.65	646.94
23	814.025	81.5	5406957.55	79.66	726.615
22	814.025	78	4952528.1	72.9	799.587
21	814.025	74.5	4518042.25	66.57	866.157
20	902.991	71	4551977.63	67.07	933.228
19	991.957	67.5	4519604.08	66.59	999.82
18	991.957	64	4063055.87	59.86	1059.687
17	991.957	60.5	3630810.6	53.497	1113.185
16	991.957	57	3222868.29	47.486	1160.671
15	1100.693	53.5	3150458.53	46.419	1207.091
14	1209.429	50	3023572.5	44.55	1251.64
13	1209.429	46.5	2615087.85	38.531	1290.17
12	1209.429	43	2236234.22	32.94	1323.12
11	1209.429	39.5	1887011.59	27.80	1350.92
10	1337.935	36	1733964.4	25.548	1376.47
9	1466.442	32.5	1548929.36	22.82	1399.29
8	1466.442	29	1233277.72	18.171	1417.46
7	1466.442	25.5	953553.91	14.049	1431.519
6	1466.442	22	709757.928	10.457	1441.97
5	1614.718	18.5	552637.4	8.142	1450.119
4	1762.99	15	396673.87	5.84	1455.96
3	1762.99	11.5	233156.08	3.435	1459.39
2	1762.99	8	112831.68	1.66	1461.062
1	1943.751	4.5	39360.967	0.579	1461.642
TOTAL			99199961.29	1461.64	

Berdasarkan Tabel L.46, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 4 adalah 1461.642 KN.

❖ Untuk faktor $R=5$, Data struktur:

- S_{D1} : 0,178
- S_{DS} : 0,2096
- R : 5,00
- I_e : 1,00

- S1 : 0,164

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,2096}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,0419 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Minimum} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \\ &= 0,044 \cdot (0,2096) \cdot (1,00) = 0,0092 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,178}{3,1 \left(\frac{5,0}{1,0}\right)} = 0,0119 \end{aligned}$$

Tabel L.47: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 5 (R=5).

Arah	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Minimum	Cs Digunakan
X	0,0419	0,0119	0,0092	0,0119

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai $C_{shitungan}$ berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah $C_{shitungan}$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W_t \\ V &= 0,0119 \times 34150,52 \\ V &= 407,23 \text{ KN} \end{aligned}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, kadalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 3,1 detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 2.

Tabel L.48: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 5 (R=5).

Lantai	Berat Seismik (W _x)	Tinggi Lantai (h _x)	W _x .h _x ^k	$\frac{Force}{(\sum W_x \cdot h_x^k)} \times V$	Story Shear (F _x)
30	586.668	106	6591801.64	27.06	27.06
29	675.634	102.5	7098379.71	29.140	56.20
28	675.634	99	6621888.83	27.18	83.38
27	675.634	95.5	6161950.98	25.295	108.68
26	675.634	92	5718566.17	23.47	132.15
25	744.8295	88.5	5833690.85	23.94	156.104
24	814.025	85	5881330.62	24.143	180.248
23	814.025	81.5	5406957.55	22.196	202.445
22	814.025	78	4952528.1	20.33	222.776
21	814.025	74.5	4518042.25	18.547	241.323
20	902.991	71	4551977.63	18.686	260.01
19	991.957	67.5	4519604.08	18.553	278.56
18	991.957	64	4063055.87	16.679	295.243
17	991.957	60.5	3630810.6	14.905	310.148
16	991.957	57	3222868.29	13.23	323.379
15	1100.693	53.5	3150458.53	12.933	336.312
14	1209.429	50	3023572.5	12.41	348.724
13	1209.429	46.5	2615087.85	10.73	359.46
12	1209.429	43	2236234.22	9.180	368.64
11	1209.429	39.5	1887011.59	7.746	376.38
10	1337.935	36	1733964.4	7.11	383.504
9	1466.442	32.5	1548929.36	6.358	389.863
8	1466.442	29	1233277.72	5.06	394.92
7	1466.442	25.5	953553.91	3.914	398.840
6	1466.442	22	709757.928	2.91	401.754
5	1614.718	18.5	552637.4	2.26	404.023
4	1762.99	15	396673.87	1.628	405.65

Tabel L.48: *lanjutan*

3	1762.99	11.5	233156.08	0.957	406.608
2	1762.99	8	112831.68	0.463	407.071
1	1943.751	4.5	39360.967	0.161	407.233
TOTAL			99199961.29	1461.64	

Berdasarkan Tabel L.48, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 5 adalah 407,23 KN.

❖ Untuk faktor R=3, Data struktur:

- S_{D1} : 0,1093
- S_{DS} : 0,1746
- R : 3,00
- I_e : 1,00
- S1 : 0,164

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,1746}{\left(\frac{3,0}{1}\right)} = 0,0582
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ Cs Minimum} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \\
 &= 0,044 \cdot (0,1746) \cdot (1,00) = 0,0076
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,1093}{3,1\left(\frac{3,0}{1,0}\right)} = 0,0117
 \end{aligned}$$

Tabel L.49: Nilai C_s yang digunakan untuk Model 5 ($R=3$).

Arah	C_s Maksimum	C_s Hitungan	C_s Minimum	C_s Digunakan
X	0,0582	0.0117	0,0076	0.0117

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai $C_{shitungan}$ berada diantara $C_{sminimum}$ dan $C_{smaksimum}$. Maka yang digunakan adalah $C_{shitungan}$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0.0117 \times 34150,52$$

$$V = 401,47 \text{ KN}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, k adalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
- Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Nilai perioda struktur adalah 3,1 detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 2.

Tabel L.50: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 5.

Lantai	Berat Seismik (W_x)	Tinggi Lantai (hx)	$W_x \cdot h_x^k$	$\frac{Force (W_x \cdot h_x^k)}{(\sum W_x \cdot h_x^k)} \times V$	Story Shear (F_x)
30	586.668	106	6591801.64	26.67	26.67
29	675.634	102.5	7098379.71	28.72	55.405
28	675.634	99	6621888.83	26.799	82.204
27	675.634	95.5	6161950.98	24.93	107.14
26	675.634	92	5718566.17	23.143	130.28
25	744.8295	88.5	5833690.85	23.609	153.89
24	814.025	85	5881330.62	23.80	177.697
23	814.025	81.5	5406957.55	21.88	199.58

Tabel L.50: *lanjutan*

22	814.025	78	4952528.1	20.04	219.62
21	814.025	74.5	4518042.25	18.28	237.908
20	902.991	71	4551977.63	18.42	256.33
19	991.957	67.5	4519604.08	18.29	274.62
18	991.957	64	4063055.87	16.44	291.065
17	991.957	60.5	3630810.6	14.694	305.759
16	991.957	57	3222868.29	13.04	318.8
15	1100.693	53.5	3150458.53	12.75	331.55
14	1209.429	50	3023572.5	12.23	343.789
13	1209.429	46.5	2615087.85	10.58	354.37
12	1209.429	43	2236234.22	9.05	363.423
11	1209.429	39.5	1887011.59	7.63	371.06
10	1337.935	36	1733964.4	7.017	378.077
9	1466.442	32.5	1548929.36	6.26	384.346
8	1466.442	29	1233277.72	4.99	389.33
7	1466.442	25.5	953553.91	3.859	393.196
6	1466.442	22	709757.928	2.87	396.069
5	1614.718	18.5	552637.4	2.236	398.30
4	1762.99	15	396673.87	1.605	399.91
3	1762.99	11.5	233156.08	0.943	400.85
2	1762.99	8	112831.68	0.456	401.311
1	1943.751	4.5	39360.967	0.159	401.47
TOTAL			99199961.29	401.47	

Berdasarkan Tabel L.50, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk Model 5 adalah 401.47 KN.

A.6. Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear*

A.6.1. Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* Model 1

Tabel L.51: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=8.

<i>Story</i>	V _x	35% V _x <i>base shear</i>	Kontrol
5	103.78	125.42	Tidak Oke
4	199.27	125.42	Oke
3	271.14	125.42	Oke
2	324.87	125.42	Oke
1	358.35	125.42	Oke
<i>Base</i>	0	0	Oke

Tabel L.52: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=5.

<i>Story</i>	V _x	35% V _x <i>base shear</i>	Kontrol
5	57.33	69.29	Tidak Oke
4	110.09	69.29	Oke
3	149.79	69.29	Oke
2	179.48	69.29	Oke
1	197.98	69.29	Oke
<i>Base</i>	0	0	Oke

Tabel L.53: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=3.

<i>Story</i>	V _x	35% V _x <i>base shear</i>	Kontrol
5	58.40	70.59	Tidak Oke
4	112.15	70.59	Oke
3	152.60	70.59	Oke

Tabel L.53 : *Lanjutan.*

<i>Story</i>	V _x	35% V _x <i>base shear</i>	Kontrol
2	182.84	70.59	Oke
1	201.68	70.59	Oke
<i>base</i>	0	0	Oke

A.6.2. Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* Model 2

Tabel L.54: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=8.

<i>Story</i>	V _x	35% V _x <i>base shear</i>	Kontrol
10	90.20	224.8	Tidak Oke
9	203.86	224.8	Tidak Oke
8	301.48	224.8	Oke
7	383.70	224.8	Oke
6	451.21	224.8	Oke
5	514.05	224.8	Oke
4	568.56	224.8	Oke
3	606.78	224.8	Oke
2	630.33	224.8	Oke
1	642.37	224.8	Oke
<i>base</i>	0	0	Oke

Tabel L.55: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=5.

<i>Story</i>	V _x	35% V _x <i>base shear</i>	Kontrol
10	32.98	82.2	Oke
9	74.54	82.2	Oke
8	110.23	82.2	Oke
7	140.29	82.2	Oke
6	164.97	82.2	Oke
5	187.95	82.2	Oke
4	207.88	82.2	Oke
3	221.86	82.2	Oke
2	230.47	82.2	Oke
1	234.87	82.2	Oke
<i>base</i>	0	0	Oke

Tabel L.56: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=3.

<i>Story</i>	V _x	35% V _x <i>base shear</i>	Kontrol
10	25.59	63.79	Oke
9	57.85	63.79	Oke
8	85.55	63.79	Oke
7	108.87	63.79	Oke
6	128.03	63.79	Oke
5	145.86	63.79	Oke
4	161.33	63.79	Oke
3	172.17	63.79	Oke
2	178.86	63.79	Oke
1	182.27	63.79	Oke
<i>base</i>	0	0	Oke

A.6.3. Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* Model 3

Tabel L.57: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=8.

<i>Story</i>	V _x	35% V _x <i>base shear</i>	Kontrol
15	119.61	329.15	Oke
14	243.35	329.15	Oke
13	353.65	329.15	Oke
12	451.09	329.15	Oke
11	536.25	329.15	Oke
10	617.30	329.15	Oke
9	692.62	329.15	Oke
8	755.50	329.15	Oke
7	806.78	329.15	Oke
6	847.36	329.15	Oke
5	881.57	329.15	Oke
4	908.51	329.15	Oke
3	926.20	329.15	Oke
2	936.15	329.15	Oke
1	940.43	329.15	Oke
<i>base</i>	0	0	Oke

Tabel L.58: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=5.

<i>Story</i>	V _x	35% V _x <i>base shear</i>	Kontrol
15	33.32	91.70	Oke
14	67.80	91.70	Oke
13	98.53	91.70	Oke
12	125.68	91.70	Oke

Tabel L.58: *Lanjutan.*

<i>Story</i>	V_x	35% V_x <i>base shear</i>	Kontrol
11	149.40	91.70	Oke
10	171.98	91.70	Oke
9	192.97	91.70	Oke
8	210.49	91.70	Oke
7	224.78	91.70	Oke
6	236.08	91.70	Oke
5	245.61	91.70	Oke
4	253.12	91.70	Oke
3	258.05	91.70	Oke
2	260.82	91.70	Oke
1	262.01	91.70	Oke
<i>base</i>	0	0	Oke

Tabel L.59: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor $R=3$.

<i>Story</i>	V_x	35% V_x <i>base shear</i>	Kontrol
15	33.94	93.42	Oke
14	69.07	93.42	Oke
13	100.37	93.42	Oke
12	128.03	93.42	Oke
11	152.20	93.42	Oke
10	175.20	93.42	Oke
9	196.58	93.42	Oke
8	214.43	93.42	Oke
7	228.98	93.42	Oke
6	240.50	93.42	Oke

Tabel L.59: *Lanjutan.*

5	250.21	93.42	Oke
4	257.86	93.42	Oke
3	262.88	93.42	Oke
2	265.70	93.42	Oke
1	266.92	93.42	Oke
<i>base</i>	0	0	Oke

A.6.4. Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* Model 4

Tabel L.60: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=8.

<i>Story</i>	V_x	35% V_x <i>base shear</i>	Kontrol
20	124.10	461.30	Oke
19	264.51	461.30	Oke
18	391.89	461.30	Oke
17	506.81	461.30	Oke
16	609.85	461.30	Oke
15	711.64	461.30	Oke
14	810.44	461.30	Oke
13	896.95	461.30	Oke
12	971.92	461.30	Oke
11	1036.10	461.30	Oke
10	1102.14	461.30	Oke
9	1156.90	461.30	Oke
8	1201.35	461.30	Oke
7	1236.48	461.30	Oke
6	1263.30	461.30	Oke

Tabel L.60: *Lanjutan.*

<i>Story</i>	V_x	35% V_x <i>base shear</i>	Kontrol
20	124.10	461.30	Oke
5	1284.90	461.30	Oke
4	1301.03	461.30	Oke
3	1310.95	461.30	Oke
2	1316.05	461.30	Oke
1	1318.00	461.30	Oke
<i>base</i>	0	0	Oke

Tabel L.61: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=8.

<i>Story</i>	V_x	35% V_x <i>base shear</i>	Kontrol
20	34.41	127.90	Oke
19	73.34	127.90	Oke
18	108.65	127.90	Oke
17	140.52	127.90	Oke
16	169.09	127.90	Oke
15	197.31	127.90	Oke
14	224.70	127.90	Oke
13	248.69	127.90	Oke
12	269.47	127.90	Oke
11	287.27	127.90	Oke
10	305.58	127.90	Oke
9	320.76	127.90	Oke
8	333.08	127.90	Oke
7	342.83	127.90	Oke
6	350.26	127.90	Oke

Tabel L.61: *Lanjutan.*

<i>Story</i>	V_x	35% V_x <i>base shear</i>	Kontrol
5	356.25	127.90	Oke
4	360.72	127.90	Oke
3	363.47	127.90	Oke
2	364.89	127.90	Oke
1	365.43	127.90	Oke
<i>base</i>	0	0	Oke

Tabel L.62: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=8.

<i>Story</i>	V_x	35% V_x <i>base shear</i>	Kontrol
20	35.21	130.89	Oke
19	75.05	130.89	Oke
18	111.20	130.89	Oke
17	143.81	130.89	Oke
16	173.04	130.89	Oke
15	201.93	130.89	Oke
14	229.96	130.89	Oke
13	254.51	130.89	Oke
12	275.78	130.89	Oke
11	293.99	130.89	Oke
10	312.73	130.89	Oke
9	328.27	130.89	Oke
8	340.88	130.89	Oke
7	350.85	130.89	Oke
6	358.46	130.89	Oke
5	364.59	130.89	Oke

Tabel L.62: *Lanjutan.*

<i>Story</i>	V _x	35% V _x <i>base shear</i>	Kontrol
4	369.17	130.89	Oke
3	371.98	130.89	Oke
2	373.43	130.89	Oke
1	373.98	130.89	Oke
<i>base</i>	0	0	Oke

A.6.5. Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* Model 5

Tabel L.63: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=8.

<i>Story</i>	V _x	35% V _x <i>base shear</i>	Kontrol
30	123.59	688.58	Oke
29	257.30	688.58	Oke
28	382.62	688.58	Oke
27	499.81	688.58	Oke
26	609.12	688.58	Oke
25	721.22	688.58	Oke
24	834.85	688.58	Oke
23	939.92	688.58	Oke
22	1036.74	688.58	Oke
21	1125.61	688.58	Oke
20	1215.74	688.58	Oke
19	1305.84	688.58	Oke
18	1387.43	688.58	Oke
17	1460.90	688.58	Oke
16	1526.65	688.58	Oke
15	1591.47	688.58	Oke

Tabel L.63: *Lanjutan.*

<i>Story</i>	V_x	35% V_x <i>base shear</i>	Kontrol
14	1654.26	688.58	Oke
13	1709.11	688.58	Oke
12	1756.51	688.58	Oke
11	1796.97	688.58	Oke
10	1834.62	688.58	Oke
9	1868.72	688.58	Oke
8	1896.30	688.58	Oke
7	1918	688.58	Oke
6	1934.48	688.58	Oke
5	1947.62	688.58	Oke
4	1957.32	688.58	Oke
3	1963.23	688.58	Oke
2	1966.24	688.58	Oke
1	1967.37	688.58	Oke
<i>base</i>	0	0	Oke

Tabel L.64: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor $R=5$.

<i>Story</i>	V_x	35% V_x <i>base shear</i>	Kontrol
30	27.06	142.53	Oke
29	56.20	142.53	Oke
28	83.38	142.53	Oke
27	108.68	142.53	Oke
26	132.16	142.53	Oke
25	156.10	142.53	Oke
24	180.25	142.53	Oke
23	202.45	142.53	Oke

Tabel L.64: *Lanjutan.*

<i>Story</i>	V_x	35% V_x <i>base shear</i>	Kontrol
22	222.78	142.53	Oke
21	241.32	142.53	Oke
20	260.01	142.53	Oke
19	278.56	142.53	Oke
18	295.24	142.53	Oke
17	310.15	142.53	Oke
16	323.38	142.53	Oke
15	336.31	142.53	Oke
14	348.72	142.53	Oke
13	359.46	142.53	Oke
12	368.64	142.53	Oke
11	376.39	142.53	Oke
10	383.50	142.53	Oke
9	389.86	142.53	Oke
8	394.93	142.53	Oke
7	398.84	142.53	Oke
6	401.75	142.53	Oke
5	404.02	142.53	Oke
4	405.65	142.53	Oke
3	406.61	142.53	Oke
2	407.07	142.53	Oke
1	407.23	142.53	Oke
<i>base</i>	0	0	Oke

Tabel L.65: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=3.

<i>Story</i>	V _x	35% V _x <i>base shear</i>	Kontrol
30	26.67757493	140.51	Oke
29	55.40531384	140.51	Oke
28	82.20465414	140.51	Oke
27	107.1425874	140.51	Oke
26	130.286105	140.51	Oke
25	153.8955418	140.51	Oke
24	177.6977809	140.51	Oke
23	199.5801923	140.51	Oke
22	219.6234894	140.51	Oke
21	237.9083859	140.51	Oke
20	256.3306217	140.51	Oke
19	274.6218391	140.51	Oke
18	291.0653675	140.51	Oke
17	305.759563	140.51	Oke
16	318.8027816	140.51	Oke
15	331.552952	140.51	Oke
14	343.7896038	140.51	Oke
13	354.373084	140.51	Oke
12	363.4233117	140.51	Oke
11	371.0602062	140.51	Oke
10	378.0777058	140.51	Oke
9	384.346353	140.51	Oke
8	389.3375315	140.51	Oke
7	393.1966443	140.51	Oke
6	396.0690942	140.51	Oke
5	398.3056642	140.51	Oke

Tabel L.64: *Lanjutan.*

<i>Story</i>	V_x	35% V_x <i>base shear</i>	Kontrol
4	399.9110367	140.51	Oke
3	400.854639	140.51	Oke
2	401.3112783	140.51	Oke
1	401.4705754	140.51	Oke
<i>base</i>	0	0	Oke

A.7. Nilai Simpangan Gedung

A.7.1. Nilai Simpangan Gedung Model 1

Tabel L.66: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor R=8.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
18.5	5	0.007529	0.004224	0.07	OK
15	4	0.006761	0.008041	0.07	OK
11.5	3	0.005299	0.01078	0.07	OK
8	2	0.003339	0.0093885	0.07	OK
4.5	1	0.001632	0.008976	0.09	OK

Berdasarkan Tabel L.66: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

Tabel L.67: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor R=5.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
18.5	5	0.002379	0.0009765	0.07	OK
15	4	0.002162	0.002115	0.07	OK
11.5	3	0.001692	0.0028395	0.07	OK
8	2	0.001061	0.0023625	0.07	OK
4.5	1	0.000536	0.002412	0.09	OK

Berdasarkan Tabel L.67: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

Tabel L.68: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor R=3.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
18.5	5	0.003315	0.00079	0.07	OK
15	4	0.002999	0.001625	0.07	OK
11.5	3	0.002349	0.00218	0.07	OK
8	2	0.001477	0.0018525	0.07	OK
4.5	1	0.000736	0.00184	0.09	OK

Berdasarkan Tabel L.68: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

A.7.2. Nilai Simpangan Gedung Model 2

Tabel L.69: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor R=8.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
36	10	0.011189	0.0024035	0.07	OK
32.5	9	0.010752	0.0034045	0.07	OK
29	8	0.010133	0.0048455	0.07	OK
25.5	7	0.009252	0.006182	0.07	OK
22	6	0.008128	0.0073315	0.07	OK
18.5	5	0.006795	0.007667	0.07	OK
15	4	0.005401	0.008107	0.07	OK
11.5	3	0.003927	0.008239	0.07	OK
8	2	0.002429	0.0075735	0.07	OK
4.5	1	0.001052	0.005786	0.09	OK

Berdasarkan Tabel L.69: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

Tabel L.70: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor $R=5$.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
36	10	0.011189	0.0024035	0.07	OK
32.5	9	0.010752	0.0034045	0.07	OK
29	8	0.010133	0.0048455	0.07	OK
25.5	7	0.009252	0.006182	0.07	OK
22	6	0.008128	0.0073315	0.07	OK
18.5	5	0.006795	0.007667	0.07	OK
15	4	0.005401	0.008107	0.07	OK
11.5	3	0.003927	0.008239	0.07	OK
8	2	0.002429	0.0075735	0.07	OK
4.5	1	0.001052	0.005786	0.09	OK

Berdasarkan Tabel L.70: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

Tabel L.71: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor $R=3$.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
36	10	0.018599	0.003773	0.07	OK
32.5	9	0.017913	0.005654	0.07	OK
29	8	0.016885	0.0088063	0.07	OK

Tabel L.71 : Lanjutan.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
25.5	7	0.015419	0.010307	0.07	OK
22	6	0.013545	0.012232	0.07	OK
18.5	5	0.011321	0.012771	0.07	OK
15	4	0.008999	0.013508	0.07	OK
11.5	3	0.006543	0.013739	0.07	OK
8	2	0.004045	0.012666	0.07	OK
4.5	1	0.001742	0.009581	0.09	OK

Berdasarkan Tabel L.71: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

A.7.3. Nilai Simpangan Gedung Model 3

Tabel L.72: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor $R=8$.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
53.5	15	0.060831	0.005885	0.07	OK
50	14	0.059761	0.010538	0.07	OK
46.5	13	0.057845	0.014916	0.07	OK
43	12	0.055133	0.0191235	0.07	OK
39.5	11	0.051656	0.0229075	0.07	OK
36	10	0.047491	0.021362	0.07	OK
32.5	9	0.043607	0.0238315	0.07	OK
29	8	0.039274	0.0263615	0.07	OK

Tabel L.72 : Lanjutan.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
25.5	7	0.034481	0.028556	0.07	OK
22	6	0.029289	0.03003	0.07	OK
18.5	5	0.023829	0.0287925	0.07	OK
15	4	0.018594	0.0291005	0.07	OK
11.5	3	0.013303	0.0285175	0.07	OK
8	2	0.008118	0.0257	0.07	OK
4.5	1	0.003451	0.0190	0.09	OK

Berdasarkan Tabel L.72: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

Tabel L.73: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor R=5.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
53.5	15	0.014205	0.0009225	0.07	OK
50	14	0.014	0.0020925	0.07	OK
46.5	13	0.013535	0.0028755	0.07	OK
43	12	0.012896	0.0036495	0.07	OK
39.5	11	0.012085	0.0044325	0.07	OK
36	10	0.0111	0.004014	0.07	OK
32.5	9	0.010208	0.0045405	0.07	OK
29	8	0.009199	0.005013	0.07	OK
25.5	7	0.008085	0.005427	0.07	OK
22	6	0.006879	0.0057555	0.07	OK

Tabel L.73 : Lanjutan.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
18.5	5	0.0056	0.00549	0.07	OK
15	4	0.00438	0.00558	0.07	OK
11.5	3	0.00314	0.005481	0.07	OK
8	2	0.001922	0.0049185	0.07	OK
4.5	1	0.000829	0.0037305	0.09	OK

Berdasarkan Tabel L.73: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

Tabel L.74: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor $R=3$.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
53.5	15	0.01452	0.0005425	0.07	OK
50	14	0.014303	0.00121	0.07	OK
46.5	13	0.013819	0.0016525	0.07	OK
43	12	0.013158	0.0020825	0.07	OK
39.5	11	0.012325	0.0025025	0.07	OK
36	10	0.011324	0.002255	0.07	OK
32.5	9	0.010422	0.002545	0.07	OK
29	8	0.009404	0.0028075	0.07	OK
25.5	7	0.008281	0.0030475	0.07	OK
22	6	0.007062	0.0032425	0.07	OK
18.5	5	0.005765	0.00311	0.07	OK
15	4	0.004521	0.00318	0.07	OK

Tabel L.74 : Lanjutan.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
11.5	3	0.003249	0.0031375	0.07	OK
8	2	0.001994	0.0028325	0.07	OK
4.5	1	0.000861	0.0021525	0.09	OK

Berdasarkan Tabel L.74: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin)

A.7.4. Nilai Simpangan Gedung Model 4

Tabel L.75: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor $R=8$.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
71	20	0.088075	0.0062535	0.07	OK
67.5	19	0.086938	0.0087065	0.07	OK
64	18	0.085355	0.012089	0.07	OK
60.5	17	0.083157	0.015477	0.07	OK
57	16	0.080343	0.0187935	0.07	OK
53.5	15	0.076926	0.020537	0.07	OK
50	14	0.073192	0.0228525	0.07	OK
46.5	13	0.069037	0.025465	0.07	OK
43	12	0.064407	0.027973	0.07	OK
39.5	11	0.059321	0.030195	0.07	OK

Tabel L.75 : Lanjutan.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
36	10	0.053831	0.0311795	0.07	OK
32.5	9	0.048162	0.0324995	0.07	OK
29	8	0.042253	0.033759	0.07	OK
25.5	7	0.036115	0.034551	0.07	OK
22	6	0.029833	0.034419	0.07	OK
15	4	0.023575	0.0330935	0.07	OK
11.5	3	0.017558	0.0314545	0.07	OK
8	2	0.011839	0.028314	0.07	OK
4.5	1	0.006691	0.022715	0.07	OK

Berdasarkan Tabel L.75: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

Tabel L.76: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor $R=5$.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
71	20	0.024693	0.0021175	0.07	OK
67.5	19	0.024308	0.00253	0.07	OK
64	18	0.023848	0.003465	0.07	OK
60.5	17	0.023218	0.0043835	0.07	OK
57	16	0.022421	0.0052635	0.07	OK
53.5	15	0.021464	0.005764	0.07	OK

Tabel L.76 : Lanjutan.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/le$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
50	14	0.020416	0.0063525	0.07	OK
46.5	13	0.019261	0.0070455	0.07	OK
43	12	0.01798	0.0077165	0.07	OK
39.5	11	0.016577	0.008327	0.07	OK
36	10	0.015063	0.008602	0.07	OK
32.5	9	0.013499	0.008976	0.07	OK
29	8	0.011867	0.0093555	0.07	OK
25.5	7	0.010166	0.0096085	0.07	OK
22	6	0.008419	0.009636	0.07	OK
15	4	0.006667	0.0092895	0.07	OK
11.5	3	0.004978	0.0088715	0.07	OK
8	2	0.003365	0.008008	0.07	OK
4.5	1	0.001909	0.006446	0.07	OK

Berdasarkan Tabel L.76: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

Tabel L.77: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor $R=3$.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/le$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
71	20	0.041092	0.0032285	0.07	OK
67.5	19	0.040505	0.004191	0.07	OK
64	18	0.039743	0.005764	0.07	OK

Tabel L.77 : *Lanjutan.*

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd$)/Ie))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
60.5	17	0.038695	0.007304	0.07	OK
57	16	0.037367	0.0088	0.07	OK
53.5	15	0.035767	0.009581	0.07	OK
50	14	0.034025	0.0105875	0.07	OK
46.5	13	0.0321	0.011748	0.07	OK
43	12	0.029964	0.012859	0.07	OK
39.5	11	0.027626	0.0138765	0.07	OK
36	10	0.025103	0.0143385	0.07	OK
32.5	9	0.022496	0.01496	0.07	OK
29	8	0.019776	0.015587	0.07	OK
25.5	7	0.016942	0.016016	0.07	OK
22	6	0.01403	0.016049	0.07	OK
15	4	0.011112	0.015499	0.07	OK
11.5	3	0.008294	0.014784	0.07	OK
8	2	0.005606	0.013365	0.07	OK
4.5	1	0.003176	0.010747	0.07	OK

Berdasarkan Tabel L.77: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

A.7.5. Nilai Simpangan Gedung Model 5

Tabel L.78: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor R=8.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) 0.02*hi	Cek (Sb.X,Y) Story drift < a
		X	X		X
106	30	0.134507	0.005923	0.07	OK
102.5	29	0.13343	0.009146	0.07	OK
99	28	0.131767	0.011995	0.07	OK
95.5	27	0.129586	0.014812	0.07	OK
88.5	25	0.123714	0.016533	0.07	OK
85	24	0.120708	0.018414	0.07	OK
81.5	23	0.11736	0.020416	0.07	OK
78	22	0.113648	0.02233	0.07	OK
74.5	21	0.109588	0.024068	0.07	OK
71	20	0.105212	0.023991	0.07	OK
67.5	19	0.10085	0.025311	0.07	OK
64	18	0.096248	0.026846	0.07	OK
60.5	17	0.091367	0.028342	0.07	OK
57	16	0.086214	0.029684	0.07	OK
53.5	15	0.080817	0.030019	0.07	OK
50	14	0.075359	0.031009	0.07	OK
46.5	13	0.069721	0.032142	0.07	OK
43	12	0.063877	0.033187	0.07	OK
39.5	11	0.057843	0.033985	0.07	OK
36	10	0.051664	0.034073	0.07	OK
32.5	9	0.045469	0.034381	0.07	OK
29	8	0.039218	0.034485	0.07	OK
25.5	7	0.032948	0.034078	0.07	OK

Tabel L.78: *Lanjutan.*

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
22	6	0.026752	0.032813	0.07	OK
18.5	5	0.020786	0.030767	0.07	OK
15	4	0.015192	0.028424	0.07	OK
11.5	3	0.010024	0.024739	0.07	OK
8	2	0.005526	0.019091	0.07	OK
4.5	1	0.002055	0.011303	0.09	OK

Berdasarkan Tabel L.78: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

Tabel L.79: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor $R=5$.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
106	30	0.029032	0.000837	0.07	OK
102.5	29	0.028846	0.0018045	0.07	OK
99	28	0.028445	0.0022725	0.07	OK
95.5	27	0.02794	0.0027675	0.07	OK
92	26	0.027325	0.00333	0.07	OK
88.5	25	0.026585	0.002952	0.07	OK
85	24	0.025929	0.003348	0.07	OK
81.5	23	0.025185	0.0036585	0.07	OK

Tabel L.79: Lanjutan.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan (x_e - m)	Simpangan antar tingkat (($*Cd$)/Ie))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
78	22	0.024372	0.0039465	0.07	OK
74.5	21	0.023495	0.004248	0.07	OK
71	20	0.022551	0.0041175	0.07	OK
67.5	19	0.021636	0.004347	0.07	OK
64	18	0.02067	0.004581	0.07	OK
60.5	17	0.019652	0.004815	0.07	OK
57	16	0.018582	0.0050535	0.07	OK
53.5	15	0.017459	0.0050805	0.07	OK
50	14	0.01633	0.0052605	0.07	OK
46.5	13	0.015161	0.005481	0.07	OK
43	12	0.013943	0.005697	0.07	OK
39.5	11	0.012677	0.005895	0.07	OK
36	10	0.011367	0.00594	0.07	OK
32.5	9	0.010047	0.0060435	0.07	OK
29	8	0.008704	0.00612	0.07	OK
25.5	7	0.007344	0.006102	0.07	OK
22	6	0.005988	0.0059355	0.07	OK
18.5	5	0.004669	0.0056025	0.07	OK
15	4	0.003424	0.005202	0.07	OK
11.5	3	0.002268	0.004554	0.07	OK
8	2	0.001256	0.003528	0.07	OK
4.5	1	0.000472	0.002124	0.09	OK

Berdasarkan Tabel L.79: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

Tabel L.80: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk faktor R=3.

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan ($x_e - m$)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Te$))	Syarat (a) 0.02*hi	Cek (Sb.X,Y) Story drift < a
		X	X		X
106	30	0.029607	0.00049	0.07	OK
102.5	29	0.029411	0.00104	0.07	OK
99	28	0.028995	0.0013075	0.07	OK
95.5	27	0.028472	0.0015825	0.07	OK
92	26	0.027839	0.00189	0.07	OK
88.5	25	0.027083	0.001675	0.07	OK
85	24	0.026413	0.0018925	0.07	OK
81.5	23	0.025656	0.002065	0.07	OK
78	22	0.02483	0.002225	0.07	OK
74.5	21	0.02394	0.0023975	0.07	OK
71	20	0.022981	0.00233	0.07	OK
67.5	19	0.022049	0.0024575	0.07	OK
64	18	0.021066	0.0025925	0.07	OK
60.5	17	0.020029	0.002725	0.07	OK
57	16	0.018939	0.00286	0.07	OK
53.5	15	0.017795	0.0028725	0.07	OK
50	14	0.016646	0.0029725	0.07	OK
46.5	13	0.015457	0.00309	0.07	OK
43	12	0.014221	0.0032075	0.07	OK
39.5	11	0.012938	0.0033175	0.07	OK
36	10	0.011611	0.0033425	0.07	OK
32.5	9	0.010274	0.0034025	0.07	OK
29	8	0.008913	0.00345	0.07	OK
25.5	7	0.007533	0.0034475	0.07	OK
22	6	0.006154	0.0033675	0.07	OK

Tabel L.80: *Lanjutan.*

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan (x_e - m)	Simpangan antar tingkat (($*Cd/Ie$))	Syarat (a) $0.02*hi$	Cek (Sb.X,Y) Story drift $< a$
		X	X		X
18.5	5	0.004807	0.0031875	0.07	OK
15	4	0.003532	0.0029725	0.07	OK
11.5	3	0.002343	0.0026075	0.07	OK
8	2	0.0013	0.0020275	0.07	OK
4.5	1	0.000489	0.0012225	0.09	OK

Berdasarkan Tabel L.80: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari a (simpangan antar tingkat izin).

A.8. Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (*Soft Story*)

A.8.1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 1

Tabel L.81: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x.

ARAH X				
STORY	KEKAKUAN TOTAL	Ki/Ki+1 (%)	RATA-RATA KEK. 3TINGKAT (Kr)	Ki/Kr (%)
5	85000.00	-	-	-
4	96470.59	113.49	92442.57703	-
3	95857.14	99.36	102263.7152	-
2	114463.41	119.41	-	123.82
1	168615.38	147.31	-	164.88

A.8.2. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 2

Tabel L.82: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x.

ARAH X				
STORY	KEKAKUAN TOTAL	Ki/Ki+1 (%)	RATA-RATA KEK. 3TINGKAT (Kr)	Ki/Kr (%)
10	39855.97	-	35212.51	-
9	32888.37	83%	33332.08	-
8	32893.20	100%	33857.52	97%
7	34214.66	104%	38348.90	103%
6	34464.71	101%	44553.70	137%
5	46367.35	135%	55460.10	138%
4	52829.06	114%	72580.08	151%
3	67183.91	127%	86875.16	176%
2	97727.27	145%	-	132%
1	95714.29	98%	-	97%

A.8.3. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 3

Tabel L.83: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x.

ARAH X				
STORY	KEKAKUAN TOTAL	Ki/Ki+1 (%)	RATA-RATA KEK. 3TINGKAT (Kr)	Ki/Kr (%)
15	18149.74	-	-	-
14	15648.35	86%	15995.63	-
13	14188.79	91%	14859.29	-
12	14740.74	104%	14786.03	92%

Tabel L.83: *lanjutan*

ARAH X				
STORY	KEKAKUAN TOTAL	Ki/Ki+1 (%)	RATA-RATA KEK. 3TINGKAT (Kr)	Ki/Kr (%)
11	15428.57	105%	15451.31	104%
10	16184.62	105%	16203.59	109%
9	16997.60	105%	17030.91	110%
8	17910.53	105%	18242.55	111%
7	19819.53	111%	19714.14	116%
6	21412.37	108%	22026.54	117%
5	24847.74	116%	25606.77	126%
4	30560.21	123%	31853.01	139%
3	40151.08	131%	42857.25	157%
2	57860.47	144%	-	182%
1	43323.53	75%	-	101%

A.8.4. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 4

Tabel L.84: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x.

ARAH X				
STORY	KEKAKUAN TOTAL	Ki/Ki+1 (%)	RATA-RATA KEK. 3TINGKAT (Kr)	Ki/Kr (%)
20	14684.41	-	-	-
19	11612.22	79%	12506.68	-
18	11223.42	97%	11334.10	-
17	11166.67	99%	11006.27	89%
16	10628.73	95%	11530.23	94%
15	12795.29	120%	11973.64	116%
14	12496.90	98%	12629.53	108%
13	12596.41	101%	12641.54	105%
12	12831.30	102%	12779.22	102%
11	12909.94	101%	13663.58	102%
10	15249.49	118%	14662.99	119%
9	15829.55	104%	15974.07	116%
8	16843.19	106%	16995.08	115%
7	18312.50	109%	18476.57	115%
6	20274.02	111%	21582.17	119%
5	26160.00	129%	26142.70	142%
4	31994.08	122%	33431.07	148%
3	42139.13	132%	44316.20	161%
2	58815.38	140%	-	176%
1	52666.67	90%	-	119%

A.8.5.Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 5

Tabel L.85: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x.

ARAH X				
STORY	KEKAKUAN TOTAL	Ki/Ki+1 (%)	RATA-RATA KEK. 3TINGKAT (Kr)	Ki/Kr (%)
30	697462.7689	-	-	-
29	619365.7984	89%	626390.4748	-
28	562342.8571	91%	582469.339	-
27	565699.3616	101%	562724.1835	90%
26	560130.3318	99%	563153.5246	96%
25	563630.8806	101%	567138.2812	100%
24	577653.6313	102%	574504.6037	103%
23	582229.2994	101%	586124.5814	103%
22	598490.8136	103%	598691.1246	104%
21	615353.2609	103%	606516.1	105%
20	605704.2254	98%	611921.1229	101%
19	614705.8824	101%	620459.5312	101%
18	640968.4858	104%	639317.4119	105%
17	662277.8675	103%	661657.1249	107%
16	681725.0213	103%	684661.58	107%
15	709981.8512	104%	712395.974	107%
14	745481.0496	105%	742222.3631	109%
13	771204.1885	103%	769039.3466	108%
12	790432.8018	102%	803753.6835	106%
11	849624.0602	107%	849339.2519	110%
10	907960.8939	107%	919194.9847	113%
9	1000000	110%	991278.9354	118%
8	1065875.912	107%	1075090.387	116%
7	1159395.248	109%	1174208.553	117%
6	1297354.497	112%	1367340.005	121%
5	1645270.27	127%	1646312.711	140%
4	1996313.364	121%	2049509.36	146%
3	2506944.444	126%	2508680.873	152%
2	3022784.81	121%	-	147%
1	3789285.714	125%	-	151%

A.9. Pengaruh Efek P-Delta

A.9.1. Pengaruh Efek P-Delta Model 1

Tabel L.86: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=8).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
5	18.5	0.0042	103.78	706.7	1	5.5	0.013	OK
4	15	0.0080	199.28	1502.3	1	5.5	0.028	OK
3	11.5	0.0108	271.14	2297.9	1	5.5	0.042	OK
2	8	0.0094	324.87	3162.8	1	5.5	0.042	OK
1	4.5	0.0090	358.36	4142.0	1	5.5	0.047	OK

Tabel L.87: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=5).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
5	18.5	0.0010	57.34	706.7	1	5.5	0.005	OK
4	15	0.0021	110.1	1502.3	1	5.5	0.013	OK
3	11.5	0.0028	149.8	2297.9	1	5.5	0.020	OK
2	8	0.0024	179.4	3162.8	1	5.5	0.019	OK
1	4.5	0.0024	197.9	4142.0	1	5.5	0.023	OK

Tabel L.88: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=3).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
5	18.5	0.0008	58.41	706.7	1	5.5	0.0043	OK
4	15	0.0016	112.1	1502.3	1	5.5	0.0099	OK
3	11.5	0.0022	152.6	2297.9	1	5.5	0.0149	OK
2	8	0.0019	182.8	3162.8	1	5.5	0.0146	OK
1	4.5	0.0018	201.6	4142.0	1	5.5	0.0172	OK

A.9.2. Pengaruh Efek P-Delta Model 2

Tabel L.89: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=8).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
10	36	0.0053	90.20	2845.9	1	5.5	0.07643	OK
9	32.5	0.0082	203.86	5849.9	1	5.5	0.10689	OK
8	29	0.0117	301.48	8853.9	1	5.5	0.15616	OK
7	25.5	0.0150	383.70	11857.9	1	5.5	0.21038	OK
6	22	0.0178	451.21	14862.0	1	5.5	0.26605	OK
5	18.5	0.0185	514.05	17955.0	1	5.5	0.29427	OK
4	15	0.0196	568.56	21136.9	1	5.5	0.33152	OK
3	11.5	0.0200	606.78	24318.9	1	5.5	0.36371	OK
2	8	0.0184	630.33	27500.8	1	5.5	0.36528	OK
1	4.5	0.0139	642.37	30753.4	1	5.5	0.30185	OK

Tabel L.90: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=5).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
10	36	0.0038	25.59	2845.9	1	5.5	0.1907	OK
9	32.5	0.0057	57.85	5849.9	1	5.5	0.2599	OK
8	29	0.0081	85.55	8853.9	1	5.5	0.3793	OK
7	25.5	0.0103	108.87	11857.9	1	5.5	0.5103	OK
6	22	0.0122	128.03	14862.0	1	5.5	0.6454	OK
5	18.5	0.0128	145.86	17955.0	1	5.5	0.7146	OK
4	15	0.0135	161.33	21136.9	1	5.5	0.8045	OK
3	11.5	0.0137	172.17	24318.9	1	5.5	0.8821	OK
2	8	0.0127	178.86	27500.8	1	5.5	0.8853	OK
1	4.5	0.0096	182.27	30753.4	1	5.5	0.7348	OK

Tabel L.91: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=3).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
10	36	0.0038	32.98	2845.9	1	5.5	0.0943	OK
9	32.5	0.0057	74.54	5849.9	1	5.5	0.1215	OK
8	29	0.0081	110.23	8853.9	1	5.5	0.1769	OK
7	25.5	0.0103	140.29	11857.9	1	5.5	0.2375	OK
6	22	0.0122	164.97	14862.0	1	5.5	0.3002	OK
5	18.5	0.0128	187.95	17955.0	1	5.5	0.3329	OK
4	15	0.0135	207.88	21136.9	1	5.5	0.3747	OK
3	11.5	0.0137	221.86	24318.9	1	5.5	0.4105	OK
2	8	0.0127	230.47	27500.8	1	5.5	0.4108	OK
1	4.5	0.0096	234.87	30753.4	1	5.5	0.3444	OK

A.9.3. Pengaruh Efek P-Delta Model 3

Tabel L.92: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=8).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
15	53.5	0.0059	119.6	706.7	1	5.5	0.016	OK
14	50	0.0105	243.3	1502.3	1	5.5	0.030	OK
13	46.5	0.0149	353.6	2297.9	1	5.5	0.044	OK
12	43	0.0191	451.0	3093.6	1	5.5	0.060	OK
11	39.5	0.0229	536.2	3889.2	1	5.5	0.076	OK
10	36	0.0214	617.3	4754.0	1	5.5	0.075	OK
9	32.5	0.0238	692.6	5688.1	1	5.5	0.089	OK
8	29	0.0264	755.5	6622.1	1	5.5	0.105	OK
7	25.5	0.0286	806.7	7556.1	1	5.5	0.122	OK
6	22	0.0300	847.3	8490.1	1	5.5	0.137	OK
5	18.5	0.0288	881.5	9513.1	1	5.5	0.141	OK
4	15	0.0291	908.5	10625	1	5.5	0.155	OK
3	11.5	0.0285	926.2	11737	1	5.5	0.164	OK
2	8	0.0257	936.1	12849	1	5.5	0.160	OK

Tabel L.92: *lanjutan*

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	V _u	P _u	I _e	C _d	STABILITY RATIO	CEK < 1
15	53.5	0.0059	119.6	706.7	1	5.5	0.016	OK

Tabel L.93: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=5).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	V _u	P _u	I _e	C _d	STABILITY RATIO	CEK < 1
15	53.5	0.0009	33.33	706.7	1	5.5	0.009	OK
14	50	0.0021	67.80	1502.3	1	5.5	0.021	OK
13	46.5	0.0029	98.53	2297.9	1	5.5	0.030	OK
12	43	0.0036	125.6	3093.6	1	5.5	0.041	OK
11	39.5	0.0044	149.4	3889.2	1	5.5	0.052	OK
10	36	0.0040	171.9	4754.0	1	5.5	0.050	OK
9	32.5	0.0045	192.8	5688.1	1	5.5	0.061	OK
8	29	0.0050	210.9	6622.1	1	5.5	0.072	OK
7	25.5	0.0054	224.7	7556.1	1	5.5	0.083	OK
6	22	0.0058	236.0	8490.1	1	5.5	0.094	OK
5	18.5	0.0055	245.6	9513.1	1	5.5	0.141	OK
4	15	0.0056	253.1	10625	1	5.5	0.155	OK
3	11.5	0.0055	258.5	11737	1	5.5	0.164	OK
2	8	0.0049	260.8	12849	1	5.5	0.160	OK
1	4.5	0.0037	262.0	14031	1	5.5	0.129	OK

Tabel L.94: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=3).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
15	53.5	0.0005	33.95	706.7	1	5.5	0.005	OK
14	50	0.0012	69.07	1502.3	1	5.5	0.012	OK
13	46.5	0.0017	100.3	2297.9	1	5.5	0.017	OK
12	43	0.0021	128.0	3093.6	1	5.5	0.023	OK
11	39.5	0.0025	152.2	3889.2	1	5.5	0.029	OK
10	36	0.0023	175.2	4754.0	1	5.5	0.028	OK
9	32.5	0.0025	196.5	5688.1	1	5.5	0.033	OK
8	29	0.0028	214.4	6622.1	1	5.5	0.039	OK
7	25.5	0.0030	228.9	7556.1	1	5.5	0.046	OK
6	22	0.0032	240.5	8490.1	1	5.5	0.052	OK
5	18.5	0.0031	250.2	9513.1	1	5.5	0.054	OK
4	15	0.0032	257.8	10625	1	5.5	0.060	OK
3	11.5	0.0031	262.8	11737	1	5.5	0.064	OK
2	8	0.0028	265.7	12849	1	5.5	0.062	OK
1	4.5	0.0022	266.9	14031	1	5.5	0.051	OK

A.9.4. Pengaruh Efek P-Delta Model 4

Tabel L.95: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=8).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
20	71	0.006	124	2845.8	1	5.5	0.065	OK
19	67.5	0.009	264.5	5849.8	1	5.5	0.088	OK
18	64	0.012	391.8	8853.9	1	5.5	0.124	OK
17	60.5	0.015	506.8	11857	1	5.5	0.165	OK
16	57	0.019	609.8	14861	1	5.5	0.208	OK
15	53.5	0.021	711.6	17954	1	5.5	0.236	OK
14	50	0.023	810.4	21136	1	5.5	0.271	OK
13	46.5	0.025	896.9	24318	1	5.5	0.314	OK
12	43	0.028	971.9	27500	1	5.5	0.360	OK

Tabel L.95: *lanjutan*

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
11	39.5	0.030	1036	30682	1	5.5	0.406	OK
10	36	0.031	1102	34082	1	5.5	0.438	OK
9	32.5	0.032	1156	37481	1	5.5	0.479	OK
8	29	0.034	1201	40881	1	5.5	0.522	OK
7	25.5	0.035	1236	44280	1	5.5	0.562	OK
6	22	0.034	1263	47679	1	5.5	0.590	OK
5	18.5	0.033	1284	51207	1	5.5	0.599	OK
4	15	0.031	1301	54864	1	5.5	0.603	OK
3	11.5	0.028	1310	58520	1	5.5	0.575	OK
2	8	0.023	1316	62177	1	5.5	0.488	OK
1	4.5	0.014	1318	65972	1	5.5	0.320	OK

Tabel L.96: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=5).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
20	71	0.002	34.41	2845.8	1	5.5	0.08	OK
19	67.5	0.003	73.34	5849.8	1	5.5	0.09	OK
18	64	0.003	108.6	8853.9	1	5.5	0.13	OK
17	60.5	0.004	140.5	11857	1	5.5	0.17	OK
16	57	0.005	169.0	14861	1	5.5	0.21	OK
15	53.5	0.006	197.3	17954	1	5.5	0.24	OK
14	50	0.006	224.7	21136	1	5.5	0.27	OK
13	46.5	0.007	248.6	24318	1	5.5	0.31	OK
12	43	0.008	269.4	27500	1	5.5	0.36	OK
11	39.5	0.008	287.2	30682	1	5.5	0.40	OK
10	36	0.009	305.5	34082	1	5.5	0.44	OK
9	32.5	0.009	320.7	37481	1	5.5	0.48	OK
8	29	0.009	333.0	40881	1	5.5	0.52	OK
7	25.5	0.010	342.8	44280	1	5.5	0.56	OK
6	22	0.010	350.2	47679	1	5.5	0.60	OK

Tabel L.96: *lanjutan*

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
5	18.5	0.009	356.2	51207	1	5.5	0.61	OK
4	15	0.009	360.7	54864	1	5.5	0.61	OK
3	11.5	0.008	363.4	58520	1	5.5	0.59	OK
2	8	0.006	364.8	62177	1	5.5	0.50	OK
1	4.5	0.004	365.4	65972	1	5.5	0.33	OK

Tabel L.97: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=3).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
20	71	0.003	35.21	2845.8	1	5.5	0.12	OK
19	67.5	0.004	75.05	5849.8	1	5.5	0.15	OK
18	64	0.006	111.2	8853.9	1	5.5	0.21	OK
17	60.5	0.007	143.8	11857.	1	5.5	0.27	OK
16	57	0.009	173	14861	1	5.5	0.34	OK
15	53.5	0.010	201.9	17954	1	5.5	0.39	OK
14	50	0.011	229.9	21136	1	5.5	0.44	OK
13	46.5	0.012	254.5	24318	1	5.5	0.51	OK
12	43	0.013	275.7	27500	1	5.5	0.58	OK
11	39.5	0.014	293.9	30682	1	5.5	0.66	OK
10	36	0.014	312.7	34082	1	5.5	0.71	OK
9	32.5	0.015	328.2	37481	1	5.5	0.78	OK
8	29	0.016	340.8	40881	1	5.5	0.85	OK
7	25.5	0.016	350.8	44280	1	5.5	0.92	OK
6	22	0.016	358.4	47679	1	5.5	0.97	OK
5	18.5	0.015	364.5	51207	1	5.5	0.99	OK
4	15	0.015	369.1	54864	1	5.5	1.00	OK
3	11.5	0.013	371.9	58520	1	5.5	0.96	OK
2	8	0.011	373.4	62177	1	5.5	0.81	OK
1	4.5	0.007	373.9	65972	1	5.5	0.54	OK

A.9.5. Pengaruh Efek P-Delta Model 5

Tabel L.98: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=8).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
30	106	0.0059	97.13	706.7	1	5.5	0.02	OK
29	102.5	0.0091	201.72	1502.3	1	5.5	0.03	OK
28	99	0.0120	299.28	2297.9	1	5.5	0.04	OK
27	95.5	0.0148	390.08	3093.6	1	5.5	0.05	OK
26	92	0.0175	474.34	3889.2	1	5.5	0.07	OK
25	88.5	0.0165	560.29	4754	1	5.5	0.06	OK
24	85	0.0184	646.95	5688.1	1	5.5	0.07	OK
23	81.5	0.0204	726.62	6622.1	1	5.5	0.08	OK
22	78	0.0223	799.59	7556.1	1	5.5	0.10	OK
21	74.5	0.0241	866.16	8490.1	1	5.5	0.11	OK
20	71	0.0240	933.23	9513.1	1	5.5	0.11	OK
19	67.5	0.0253	999.82	10625.1	1	5.5	0.12	OK
18	64	0.0268	1059.69	11737.0	1	5.5	0.14	OK
17	60.5	0.0283	1113.19	12849.0	1	5.5	0.15	OK
16	57	0.0297	1160.67	13961.0	1	5.5	0.16	OK
15	53.5	0.0300	1207.09	15181.6	1	5.5	0.17	OK
14	50	0.0310	1251.64	16511.1	1	5.5	0.19	OK
13	46.5	0.0321	1290.17	17840.5	1	5.5	0.20	OK
12	43	0.0332	1323.12	19169.9	1	5.5	0.22	OK
11	39.5	0.0340	1350.93	20499.4	1	5.5	0.23	OK
10	36	0.0341	1376.48	21957.3	1	5.5	0.25	OK
9	32.5	0.0344	1399.30	23543.7	1	5.5	0.26	OK
8	29	0.0345	1417.47	25130.2	1	5.5	0.28	OK
7	25.5	0.0341	1431.52	26716.6	1	5.5	0.29	OK
6	22	0.0328	1441.98	28303.1	1	5.5	0.29	OK
5	18.5	0.0308	1450.12	30037.8	1	5.5	0.29	OK

Tabel L.98: *lanjutan*

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	V _u	P _u	I _e	C _d	STABILITY RATIO	CEK < 1
4	15	0.0284	1455.96	31920.8	1	5.5	0.28	OK
3	11.5	0.0247	1459.40	33803.8	1	5.5	0.26	OK
2	8	0.0191	1461.06	35686.8	1	5.5	0.21	OK
1	4.5	0.0113	1461.64	37750.5	1	5.5	0.13	OK

Tabel L.99: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=5).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	V _u	P _u	I _e	C _d	STABILIT Y RATIO	CEK < 1
30	106	0.0008	27.06	706.7	1	5.5	0.01	OK
29	102.5	0.0018	56.20	1502.3	1	5.5	0.02	OK
28	99	0.0023	83.38	2297.9	1	5.5	0.03	OK
27	95.5	0.0028	108.68	3093.6	1	5.5	0.04	OK
26	92	0.0033	132.16	3889.2	1	5.5	0.04	OK
25	88.5	0.0030	156.10	4754	1	5.5	0.04	OK
24	85	0.0033	180.25	5688.1	1	5.5	0.05	OK
23	81.5	0.0037	202.45	6622.1	1	5.5	0.05	OK
22	78	0.0039	222.78	7556.1	1	5.5	0.06	OK
21	74.5	0.0042	241.32	8490.1	1	5.5	0.07	OK
20	71	0.0041	260.01	9513.1	1	5.5	0.07	OK
19	67.5	0.0043	278.56	10625.1	1	5.5	0.08	OK
18	64	0.0046	295.24	11737.0	1	5.5	0.08	OK
17	60.5	0.0048	310.15	12849.0	1	5.5	0.09	OK
16	57	0.0051	323.38	13961.0	1	5.5	0.10	OK
15	53.5	0.0051	336.31	15181.6	1	5.5	0.10	OK
14	50	0.0053	348.72	16511.1	1	5.5	0.11	OK
13	46.5	0.0055	359.46	17840.5	1	5.5	0.12	OK
12	43	0.0057	368.64	19169.9	1	5.5	0.13	OK
11	39.5	0.0059	376.39	20499.4	1	5.5	0.15	OK
10	36	0.0059	383.50	21957.3	1	5.5	0.15	OK
9	32.5	0.0060	389.86	23543.7	1	5.5	0.17	OK

Tabel L.99: *lanjutan*

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	V _u	P _u	I _e	C _d	STABILITY RATIO	CEK < 1
8	29	0.0061	394.9	25130	1	5.5	0.18	OK
7	25.5	0.0061	398.8	26716	1	5.5	0.19	OK
6	22	0.0059	401.7	28303	1	5.5	0.19	OK
5	18.5	0.0056	404.0	30037	1	5.5	0.19	OK
4	15	0.0052	405.6	31920	1	5.5	0.19	OK
3	11.5	0.0046	406.6	33803	1	5.5	0.17	OK
2	8	0.0035	407.0	35686	1	5.5	0.14	OK
1	4.5	0.0021	407.2	37750	1	5.5	0.09	OK

Tabel L.100: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=3).

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	V _u	P _u	I _e	C _d	STABILIT Y RATIO	CEK < 1
30	106	0.0005	26.68	706.7	1	5.5	0.006	OK
29	102.5	0.0010	55.41	1502.3	1	5.5	0.013	OK
28	99	0.0013	82.20	2297.9	1	5.5	0.017	OK
27	95.5	0.0016	107.14	3093.6	1	5.5	0.021	OK
26	92	0.0019	130.29	3889.2	1	5.5	0.026	OK
25	88.5	0.0017	153.90	4754	1	5.5	0.024	OK
24	85	0.0019	177.70	5688.1	1	5.5	0.028	OK
23	81.5	0.0021	199.58	6622.1	1	5.5	0.031	OK
22	78	0.0022	219.62	7556.1	1	5.5	0.035	OK
21	74.5	0.0024	237.91	8490.1	1	5.5	0.039	OK
20	71	0.0023	256.33	9513.1	1	5.5	0.039	OK
19	67.5	0.0025	274.62	10625.1	1	5.5	0.043	OK
18	64	0.0026	291.07	11737.0	1	5.5	0.048	OK
17	60.5	0.0027	305.76	12849.0	1	5.5	0.052	OK
16	57	0.0029	318.80	13961.0	1	5.5	0.057	OK
15	53.5	0.0029	331.55	15181.6	1	5.5	0.060	OK
14	50	0.0030	343.79	16511.1	1	5.5	0.065	OK
13	46.5	0.0031	354.37	17840.5	1	5.5	0.071	OK

Tabel L.100: *lanjutan*

ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	V _u	P _u	I _e	C _d	STABILIT Y RATIO	CEK < 1
12	43	0.0032	363.42	19169.9	1	5.5	0.077	OK
11	39.5	0.0033	371.06	20499.4	1	5.5	0.083	OK
10	36	0.0033	378.08	21957.3	1	5.5	0.088	OK
9	32.5	0.0034	384.35	23543.7	1	5.5	0.095	OK
8	29	0.0035	389.34	25130.2	1	5.5	0.101	OK
7	25.5	0.0034	393.20	26716.6	1	5.5	0.106	OK
6	22	0.0034	396.07	28303.1	1	5.5	0.109	OK
5	18.5	0.0032	398.31	30037.8	1	5.5	0.109	OK
4	15	0.0030	399.91	31920.8	1	5.5	0.108	OK
3	11.5	0.0026	400.85	33803.8	1	5.5	0.100	OK
2	8	0.0020	401.31	35686.8	1	5.5	0.082	OK
1	4.5	0.0012	401.47	37750.5	1	5.5	0.052	OK

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama lengkap : Ridho Elfayed
Tempat tanggal lahir : Duri, 29 Juni 1997
Jenis kelamin : Laki- Laki
Alamat : Jl. Sultan Syarif Kasim Gg. Duyung No.03
Kec.Mandau, Riau
Agama : Islam
Nama orang tua
Ayah : Sadaruddin
Ibu : Eti Rusirawati
No. telp : 082111748338
Email : Ridhoel97@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

- | | |
|--|------------------|
| 1. SD Negeri 74 Balai Makam | Tahun Lulus 2009 |
| 2. SMP Negeri 8 Mandau | Tahun Lulus 2012 |
| 3. SMA Negeri 3 Mandau | Tahun Lulus 2015 |
| 4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara | 2015- Selesai |