

TUGAS AKHIR

**EVALUASI STUKTUR BAJA BERBRESING
KONSENTRIS TERHADAP RASIO BATAS
KERUNTUHAN AKIBAT GEMPA**

(STUDI LITERATUR)

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

Disusun oleh:

DIAN SASMITA ANGGELIA
1807210153



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

LEMBAR PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa skripsi yang berjudul di bawah ini:

“EVALUASI STRUKTUR BAJA BERBERSING KONSENTRIS TERHADAP RASIO BATAS KERUNTUHAN AKIBAT GEMPA”

Ditulis oleh Mahasiswa/i yang bernama:

Dian Sasmita Anggelia (NPM: 1807210153)

untuk kemudian disebut sebagai Pihak ke-1,

adalah benar merupakan sebagian hasil dari penelitian Dosen yang melibatkan Mahasiswa/i (Pihak ke-1) di bawah ini:

Judul penelitian : Perilaku Keruntuhan Struktur Bangunan Gedung Baja di Indonesia Akibat Gempa

Nama dosen : Ade Faisal, ST, MSc, PhD (NIDN: 0123097203)

Jenis penelitian : ~~Dikti, UMSU; Mandiri; Hibah lainnya~~ (coret yang tidak perlu)

Nomor kontrak : (tidak diisi untuk Penelitian Mandiri)

untuk kemudian disebut sebagai Pihak ke-2.

Untuk itu Pihak ke-2 berhak mempublikasikan isi Skripsi seluruhnya tanpa harus meminta izin dari Pihak ke-1. Sedangkan Pihak ke-1 wajib meminta izin terlebih dahulu kepada Pihak ke-2 bila ingin mempublikasikan isi Skripsi ini.

Demikian Surat Pernyataan dan Persetujuan ini dibuat dengan sebenarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Medan, 22 Oktober 2022

Yang membuat pernyataan dan persetujuan:

Pihak ke-2 (Dosen)



(Ade Faisal, ST, MSc, PhD)
NIDN: 0123097203

Pihak ke-1 (Mahasiswa/i)



(Dian Sasmita Anggelia)
NPM: 1807210153

Diketahui oleh:

Ketua Program Studi Teknik Sipil



(Assoc. Prof. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc, PhD)
NIDN: 0127047505

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Dian Sasmita Anggelia
NPM : 1807210153
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Evaluasi Stuktur Baja Berbresing Konsentris Terhadap
Rasio Batas Keruntuhan Akibat Gempa (Studi Literatur)
Bidang Ilmu : Struktur

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 10 Oktober 2022

Dosen Pembimbing



Ade Faisal, S.T., M.Sc., PhD

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Dian Sasmita Anggelia
NPM : 1807210153
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Evaluasi Stuktur Baja Berbresing Konsentris Terhadap Rasio Batas Keruntuhan Akibat Gempa (Studi Literatur)
Bidang Ilmu : Struktur

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

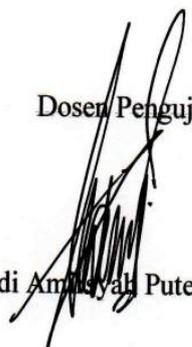
Medan, 10 Oktober 2022

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing


Ade Faisal, S.T., M.Sc., PhD

Dosen Penguji I


Tondi Amulyah Putera, S.T., M.T

Dosen Penguji II


Rizki Efrida, S.T., M.T

Ketua Prodi Teknik Sipil


Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Dian Sasmita Anggelia
Tempat, Tanggal Lahir : Stabat, 22 Juni 2000
NPM : 1807210153
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul “Evaluasi Stuktur Baja Berbresing Konsentri Terhadap Rasio Batas Keruntuhan Akibat Gempa (Studi Literatur)”.

Bukan merupakan plagiatisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial, atau pun segala kemungkinan lain yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis. Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kerjasama 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, 10 Oktober 2022
Saya yang menyatakan,



Dian Sasmita Anggelia

ABSTRAK

EVALUASI STUKTUR BAJA BERBRESING KONSENTRIS TERHADAP RASIO BATAS KERUNTUHAN AKIBAT GEMPA (STUDI LITERATUR)

Dian Sasmita Anggelia

1807210153

Ade Faisal, S.T., M.Sc, PhD

Gempa bumi merupakan fenomena alam berupa getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat adanya pelepasan energi dari kerak bumi secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Ini terjadi karena beban gempa bekerja melalui lapisan tanah yang bergerak siklis baik dalam arah horizontal maupun arah vertikal. Gerakan siklis ini akan menyebabkan bagian bawah suatu bangunan menjadi ikut bergerak mengikuti gerakan lapisan tanah dimana bangunan tersebut berdiri. Selama ini material yang dikenal dalam dunia konstruksi berupa baja, beton bertulang serta kayu. Material baja sebagai bahan konstruksi telah lama digunakan mengingat baja memiliki keunggulan dibandingkan material lain yaitu baja memiliki daktilitas yang cukup tinggi, karena suatu batang baja yang menerima tegangan tarik yang tinggi akan mengalami regangan tarik cukup besar sebelum terjadi keruntuhan. Pada tugas akhir ini dilakukan analisis nonlinier pada 3 model struktur baja bresing konsentris 2 dimensi (4, 8, dan 16 lantai). Tujuan dari analisis nonlinier ini adalah untuk memperoleh nilai Analisis Dinamis Tambahan (IDA) dan Rasio Batas Keruntuhan (CMR) untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Berdasarkan kurva IDR max nilai RSA yang diperoleh pada 4 lantai yaitu 8.68 g, nilai ini 3 kali lebih besar dibandingkan 8 dan 16 lantai yaitu 2.67g dan 2.54 g. Sedangkan hasil CMR yang diperoleh yaitu untuk gedung 4 lantai memiliki nilai 17,83, untuk 8 lantai dengan nilai 5,26, dan 16 lantai memiliki nilai 9,04 dimana nilai-nilai tersebut telah memenuhi syarat $ACMR > 1,52$.

Kata kunci: gempa pulse, bresing konsentris, Rasio Batas Keruntuhan (CMR), Analisis Dinamis Inkremental (IDA)

ABSTRACT

EVALUATION OF CONCENTRIC STEEL STRUCTURE TO EARTHQUAKE COLLABORATION LIMITS (STUDY OF LITERATURE)

Dian Sasmita Anggelia
1807210153
Ade Faisal, S.T., M.Sc, PhD

Earthquakes are natural phenomena in the form of vibrations or shocks that occur on the earth's surface due to the sudden release of energy from the earth's crust that creates seismic waves. This happens because the earthquake load acts through the soil layer which moves cyclically in both the horizontal and vertical directions. This cyclical movement will cause the bottom of a building to move along with the movement of the soil layer where the building stands. So far, the materials known in the construction world are steel, reinforced concrete and wood. Steel material as a construction material has long been used considering that steel has advantages over other materials, namely steel has a high enough ductility, because a steel bar that receives a high tensile stress will experience a large enough tensile strain before failure occurs. In this final project, nonlinear analysis was carried out on 3 models of 2-dimensional concentric braced steel structures (4, 8, and 16 floors). The purpose of this nonlinear analysis is to obtain the value of Incremental Dynamic Analysis (IDA) and the Collapse Margin Ratio (CMR) to determine the collapse behavior of a building against earthquakes. Based on the IDR max curve, the RSA value obtained on 4 floors is 8.68 g, this value is 3 times greater than 8 and 16 floors, namely 2.67g and 2.54 g. While the CMR results obtained are for a 4-story building with a value of 17.83, for 8 floors with a value of 5.26, and for 16 floors it has a value of 9.04 where these values have met the ACMR requirements > 1.52.

Keywords: pulse earthquake, concentric braces, Collapse Margin Ratio (CMR), Incremental Dynamic Analysis (IDA).

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran 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 “Evaluasi Stuktur Baja Berbresing Konsentri Terhadap Rasio Batas Keruntuhan Akibat Gempa (Studi Literatur)”, 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 menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Ade Faisal, S.T., M.Sc., PhD selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T selaku Dosen Penguji I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukkan kepada penulis dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T selaku Dosen Penguji II dan Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan koreksi dan masukkan kepada penulis dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Assoc.Prof.Dr.Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan dan mengajarkan ilmunya kepada penulis.
7. Orang tua penulis Suriadi, Sri Suyanti, saudara/i kandung Dimas Prabowo, Dedek Suhendra, dan Kakak ipar serta keponakan penulis atas dukungan moril maupun materil dan kasih sayang tulus selama ini kepada penulis.

8. Terimakasih kepada teman-teman Earthquake Engineering Research Group yang telah banyak memberikan pemikiran dan inovasi kepada penulis dan Abangda Afiful Anshari, S.T yang banyak memberikan saran dan masukan, membantu dan mengarahkan disetiap masalah yang ditemukan selama riset dan memberikan banyak ilmu dan pengalaman dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

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

Medan, 10 Oktober 2022

Dian Sasmita Anggelia

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	I
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	II
ABSTRAK	III
<i>ABSTRACT</i>	IV
KATAPENGANTAR	V
DAFTAR ISI	VII
DAFTAR GAMBAR	X
DAFTAR TABEL	XII
DAFTAR NOTASI	XIII
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penulisan	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Pembahasan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Umum	6
2.2 Pengerian Gempa Bumi	6
2.3 Ground motion (Getaran tanah)	7
2.4 Respon Spektrum	8
2.5 Prosedur Analisis	9
2.5.1 Analisis Statik Ekuivalen	9
2.5.2 Analisis Ragam <i>Spectrum Respons</i>	9
2.5.3 Analisis Riwayat Waktu	9
2.6 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019	10
2.6.1 Parameter Percepatan Gempa	10
2.6.2 Simpangan Lantai (<i>Drift</i>) Akibat Gempa	11
2.6.3 Karakteristik Bangunan Tahan Gempa	11

2.6.4	<i>Gempa Pulse</i>	13
2.7	Material Baja	13
2.8	Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK)	14
2.9	Pembebanan Struktur	16
2.10	Evaluasi kinerja seismik menurut metodologi FEMA P695	18
2.11	Periode Fundamental Struktur	19
2.12	<i>Incremental Dynamic Analysis (IDA)</i>	20
2.13	<i>Collapse Margin Ratio (CMR)</i>	21
2.14	Daktilitas Struktur Bangunan	23
2.15	Program RUAUMOKO2D	23
2.16	Kekakuan Struktur	24
BAB 3 METODE PENELITIAN		25
3.1	Umum	25
3.2	Permodelan Struktur	26
3.2.1	Data Perencanaan Struktur	26
3.2.2	Dimensi Kolom-Balok	30
3.3	Analisa Struktur	31
3.3.1	Analisis Dinamik Struktur Linear	31
3.3.2	Analisis Dinamik Struktur Non Linier	33
3.4	Desain Baja	40
3.4.2	Kekakuan Tekan	41
3.4.3	Luas Neto Efektif	41
3.5	Selubung Siklik (<i>Cyclic Envelope</i>)	42
3.6	Pemodelan Sendi Plastis Balok	42
3.6.1	Momen leleh (M_y)	42
3.6.2	Kekakuan Elastis (K_e)	43
3.6.3	Momen Puncak (M_u^*)	43
3.6.4	Kapasitas Rotasi (θ_p)	43
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Hasil Model Linier Dan Nonlinier	45
4.2	Hasil Analisa Linier	45
4.2.1	Respon Spektrum Ragam	45

4.2.2 Koreksi Gempa Dasar Nominal	45
4.2.3 Koreksi Faktor Redundansi	46
4.2.4 Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	46
4.2.5 Nilai Simpangan Gedung	47
4.3 Hasil Analisa Nonlinier	47
4.3.1 <i>Incremental Dynamic Analysis (IDA)</i>	47
4.3.2 <i>Analisis Probability of Exceedance</i>	49
4.3.3 <i>Analisis Probability of Collapse</i>	53
4.3.4 <i>Collapse Margin Ratio (CMR)</i>	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 a) Skema urutan kejadian gempa bumi, b) Penyebrangan Gelombang Energi Gempa (Pawirodikromo, 2013).	7
Gambar 2.2 Rekaman Gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).	8
Gambar 2.3 Smoothed Response Spectrum dari beberapa Gempa (Chopra, 1995).	9
Gambar 2.4 Rekaman Gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).	13
Gambar 2.5 Diagram baja (Salim & Siswanto, 2018).	14
Gambar 2.6 a) Rangka bresing konsentris model Zahrai and Vosooq (Kachooee & Kafi, 2018), b) Perubahab respon bresing konsentris apabila dikenakan gempa (Wang et al., 2021).	15
Gambar 2.7 model rangka dengan bresing konsentris.	16
Gambar 2.8 Faktor kinerja seismik sebagaimana didefinisikan oleh Metodologi FEMA P695 (Heshmati et al., 2021).	19
Gambar 2.9 a) Incremental dynamic analysis (IDA), b) penentuan Collapse Prevention pada kurva IDA (Heshmati et al., 2021).	21
Gambar 2.10 Ilustrasi kurva kerapuhan dan rasio margin runtuh untuk dua sistem penahan gaya gempa hipotetis – median yang sama tingkat runtuh.	22
Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian.	25
Gambar 3.2 Denah bangunan untuk model 4 lantai, 8 lantai, dan 16 Lantai.	27
Gambar 3.3 a) Tampilan elevasi model gedung 4 lantai, b) tampilan elevasi model gedung 8 lantai, c) tampilan elevasi model gedung 16 lantai.	29
Gambar 3.4 Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2019 Kota Gunungsitoli dengan jenis tanah sedang.	32
Gambar 3.5 Rekaman gempa Imperial Vally sebelum diubah menjadi respon spektrum.	35

Gambar 3.6 Rekaman gempa Imperial Vally setelah diubah menjadi respon spektrum.	36
Gambar 3.7 Rekaman gempa Imperial Vally sebelum (gambar atas) dan setelah diskalakan (gambar bawah), ini merupakan gempa tunggal.	36
Gambar 3. 8 (a) Nilai collapse dan (b) collapse prevention gedung 4 lantai.	38
Gambar 3. 9 Nilai drift Gedung 4 lantai.	39
Gambar 3.10 Grafik IDA gedung 4 lantai	40
Gambar 3.11 Kurva backbone monotonik dan siklik yang ideal untuk balok baja (Council, 2009).	42
Gambar 4.1 Nilai rata-rata IDA (Incremental Dynamic Analysis) untuk struktur baja dengan bresing konsentris pada: (a) 4 lantai, (b) 8 lantai, (c) 16 lantai dan (d) Nilai rata-rata IDA untuk lantai 4, 8 dan 16 lantai.	49
Gambar 4.2 (a) Grafik probabilitas collapse keruntuhan 4 lantai, b) Grafik probabilitas collapse prevention keruntuhan 4 lantai, c) Grafik probabilitas collapse keruntuhan 8 lantai, d) Grafik probabilitas collapse prevention keruntuhan 8 lantai, e) Grafik probabilitas collapse keruntuhan 16 lantai, f) Grafik probabilitas collapse prevention keruntuhan 16 lantai.	50
Gambar 4.3 Grafik perbandingan kurva kerapuhan saat collapse dan collapse prevention untuk bangunan: (a) 4 lantai, (b) 8 lantai, dan (c) 16 lantai.	52
Gambar 4. 4 Grafik Probability of Collapse untuk model 4, 8 dan 16 lantai.	53

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kombinasi Pembebanan Berdasarkan Sni 1726:2019 Dengan Nilai $P=1.0$, $Sds = 1,0$.	32
Tabel 3.2 Data Rekaman Gempa Tunggal.	34
Tabel 4.1 Nilai Gaya Geser Dasar Nominal Analisa Statik Ekvivalen (V) Dan Nilai Gaya Geser Dasar Nominal Analisa Respon Spektrum <i>Output</i> Program Analisa Struktur Vt	46
Tabel 4. 2 Nilai Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	46
Tabel 4.3 Nilai $Rsa(T1)$ Untuk Kondisi Collapse (4%) Dan Kondisi CollapsePrevention (2%).	52
Tabel 4.4 Diagram Batang <i>Collapse Margin Ratio</i> Nilai Perbandingan 4, 8 Dan 16 Lantai.	54
Tabel 4.5 Nilai Perbandingan Rasio Collapse Margin Ratio Untuk Masing-Masing Lantai.	54

DAFTAR NOTASI

SDOF	= <i>Single Degree Of Freedom</i>
MDOF	= <i>Multi Degree Of Freedom</i>
F_y	= Tegangan leleh
F_u	= Tegangan ultimate
MRF	= <i>Moment Resisting Frames</i>
CBF	= <i>Concentric Braced Frames</i>
S_I	= Percepatan batuan dasar pada perioda pendek
S_S	= Percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik
MCER	= <i>Maximum Considered Earthquake Ratio</i>
F_a	= Faktor amplifikasi getaran pada perioda pendek
F_v	= Faktor amplifikasi getaran pada perioda 1 detik
SMS	= Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek
SMI	= Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik
T_e	= Waktu getar efektif
K_e	= Kekakuan lateral efektif
V_y	= Kuat leleh bangunan
ρ	= Faktor redundansi
PGA	= <i>Peak Ground Acceleration</i>
RSA T1	= <i>Response Spectra Acceleration T1</i>
DL	= <i>Dead load</i>
LL	= <i>Live load</i>
EX	= <i>Earthquake-X</i>
EY	= <i>Earthquake-Y</i>
CQC	= <i>Complete Quadratic Combination</i>
SRSS	= <i>Square Root of the Sum of Square</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara geografis Indonesia terletak pada rangkaian cincin api yang membentang sepanjang lempeng pasifik yang merupakan lempeng tektonik paling aktif di dunia. Pada zona ini memberikan kontribusi sebesar hampir 90% dari kejadian gempa di bumi dan hampir semuanya merupakan gempa besar di dunia. Gempa bumi merupakan fenomena alam berupa getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat adanya pelepasan energi dari kerak bumi secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Ini terjadi karena beban gempa bekerja melalui lapisan tanah yang bergerak siklis baik dalam arah horizontal maupun arah vertikal. Gerakan siklis ini akan menyebabkan bagian bawah suatu bangunan menjadi ikut bergerak mengikuti gerakan lapisan tanah dimana bangunan tersebut berdiri.

Dalam perencanaan suatu struktur bangunan salah satu tahapan penting yaitu pemilihan jenis material yang akan digunakan. Selama ini material yang dikenal dalam dunia konstruksi berupa baja, beton bertulang serta kayu. Material baja sebagai bahan konstruksi telah lama digunakan mengingat baja memiliki keunggulan dibandingkan material lain yaitu baja memiliki daktilitas yang cukup tinggi, karena suatu batang baja yang menerima tegangan tarik yang tinggi akan mengalami regangan tarik cukup besar sebelum terjadi keruntuhan.

Konfigurasi Struktur Bangunan Baja Tahan Gempa yang dikenal dalam SNI 1729-2015 dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen (*Moment Resisting Frames*)
2. Sistem Rangka Bresing Konsentrik (*Concentrically Braced Frames*)
3. Sistem Rangka Bresing Eksentrik (*Eccentrically Braced Frames*)

Struktur rangka baja berpengaku konsentrik merupakan sistem struktur rangka baja pemikul beban gempa yang banyak digunakan di Indonesia. Maka, kita perlu mengetahui kinerja struktur yang terjadi pada suatu

bangunan yang mengalami gempa tunggal dengan periode ulang gempa tertentu agar ketahanan bangunan dapat kita rencanakan sebaik mungkin. Bagaimana jadinya jika bangunan ini terkena gempa lainnya merupakan gempa jauh dan gempa dekat.

Tujuan utama dari ketentuan desain seismik dalam kode untuk bangunan adalah untuk menghindari runtuhnya struktur dan menjamin keselamatan hidup penghuni di gedung-gedung di bawah gerakan tanah yang parah. Untuk mencapai ini, resistensi anti-runtuhnya tujuan seismik struktur harus diterima kuat. Dalam kode desain saat ini, perlawanan anti-runtuhnya seismik struktur terutama dipastikan dengan konsep desain tahan gempa dan persyaratan merinci tahan gempa, tapi itu tidak bisa diukur. Rasio runtuh margin (CMR) diperkenalkan pada ATC-63 (2010), yang didasarkan pada analisis dinamis inkremental (IDA) adalah indeks yang wajar untuk mengevaluasi ketahanan anti-runtuhnya seismik global struktur. Namun, beberapa isu yang terkait dengan penentuan CMR masih ada, misalnya pemilihan gerakan tanah, kriteria keruntuhan, parameter seismik, beberapa Eksitasi dukungan, dll. (X.Y.Ou, dkk.2017). Berdasarkan latar belakang masalah diatas maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “EVALUASI STRUKTUR BAJA RANGKA BERBRESING KONSENTRIS TERHADAP RASIO BATAS KERUNTUHAN AKIBAT GEMPA”.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kinerja struktur baja berbresing konsentris akibat gempa dekat yang mengandung *pulse* terhadap simpangan atap?
2. Bagaimana penerapan rasio batas keruntuhan (CMR) didalam evaluasi struktur tahan gempa ?

1.3 Ruang Lingkup

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

1. Struktur bangunan yang direncanakan merupakan:
 - Struktur baja berbresing konsentris 2 Dimensi pada 4, 8, 16 lantai yang difungsikan sebagai perkantoran yang terdapat di daerah Gunungsitoli dengan jenis tanah lunak.
 - Struktur dengan dimensi kolom dan balok yang hanya dianalisa pada batas aman saja, tidak dianalisa sampai ekonomis.
2. Perencanaan struktur baja, pembebanan serta gedung direncanakan berdasarkan:
 - Tata cara perencanaan struktur baja menggunakan Persyaratan Baja Struktural untuk bangunan Gedung SNI 1729:2020.
 - Beban gempa dan Gedung direncanakan menggunakan Standar Perencanaan Tahan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726:2019
3. Analisis menggunakan alat bantu berupa program yaitu:
 - Program Analisa Struktur, untuk menganalisa tahap desain pada analisa respon spektrum linear dan analisa riwayat waktu.
 - PEERNGA, COSMOS untuk mendapatkan rekaman gempa.
 - SEISMOSIGNAL, untuk mengubah *groundmotion* menjadi respon spektrum.
 - Aplikasi komputasi numerik, untuk menskalakan *Ground Motion*.
 - Aplikasi analisis riwayat waktu Nonlinear untuk menganalisis tahap evaluasi (Analisis Riwayat Waktu Nonlinear) yang hanya ditinjau secara 2 dimensi.
4. Parameter yang ditinjau:
 - Linier adalah semua aspek yang harus di kontrol sesuai SNI 1726:2019.
 - Nonlinier :
 - IDA (*Incremental Dynamic Analysis*)
 - CMR (*Collapse Margin Ratio*)

1.4 Tujuan Penulisan

1. Untuk mengetahui kinerja struktur baja berbresing konsentris akibat gempa dekat yang mengandung *pulse* terhadap simpangan atap.
2. Untuk mengetahui penerapan rasio batas keruntuhan (CMR) didalam evaluasi struktur tahan gempa.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil perencanaan pada evaluasi kinerja struktur baja berbresing konsentris terhadap rekaman gempa mengandung *pulse* maka diharapkan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat untuk mengetahui bagaimana cara merencanakan struktur gedung baja dengan Sistem Rangka Berpengaku Konsentrik.

1.6 Sistematika Pembahasan

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

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menguraikan penjelasan mengenai mekanisme gempa, konsep perencanaan struktur bangunan baja, analisa struktur baja berbresing Konsentris dan konsep tentang kekuatan bangunan baja terhadap gempa yang terjadi.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini akan menampilkan bagaimana metodologi penelitian yang digunakan dari awal sampai akhir penelitian dan penjelasan mengenai cara memodelkan dan mendesain struktur bangunan baja dengan sistem rangka berbresing konsentris terhadap gempa yang terjadi dengan menggunakan Program Analisa Struktur dan RUAOMOKO2D versi 04.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB 5 KESIMPULAN

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

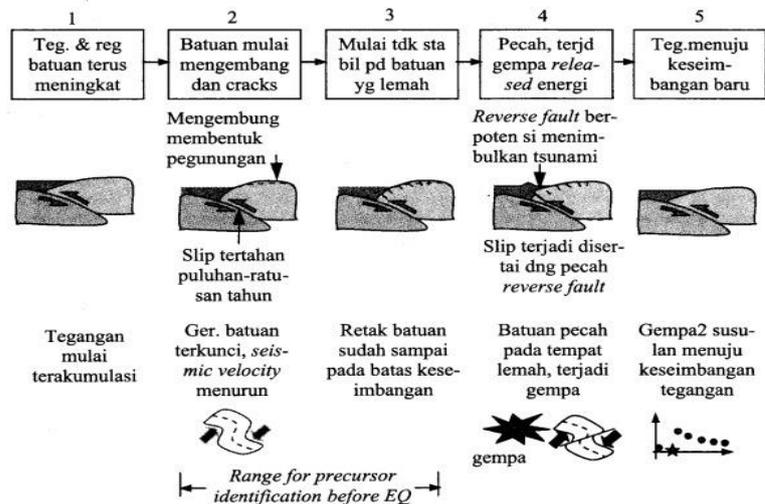
Pada Bab ini akan dibahas mengenai teori-teori dasar dan syarat-syarat/ketentuan yang berhubungan dalam perencanaan struktur bangunan yang akan dianalisa, seperti struktur baja, teori gempa, sistem struktur penahan gempa, tata cara perencanaan bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726:2019 dan teori-teori terkait lainnya yang berhubungan dengan perhitungan atau analisa data yang diperlukan dalam Tugas Akhir ini.

2.2 Pengerian Gempa Bumi

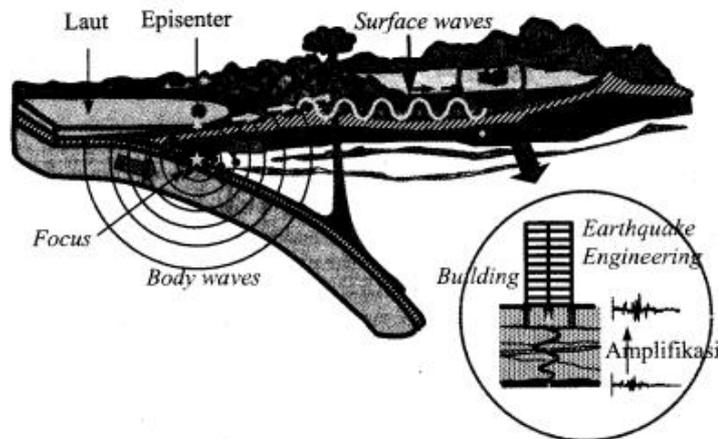
Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Gerakan atau getaran tanah yang terjadi akibat gempa disebabkan oleh terlepasnya timbunan energi yang tersimpan didalam bumi secara tiba-tiba. Energi yang terlepas ini dapat berbentuk energi potensial, energi kinetik, energi kimia, atau energi regangan elastis. Pada umumnya gempa-gempa yang merusak lebih banyak diakibatkan oleh terlepasnya energi regangan elastis di dalam batuan (*rock*) dibawah permukaan bumi. Energi gempa ini merambat kesegala arah dan juga kepermukaan tanah sebagai gelombang gempa (*seismic wave*), sehingga akan menyebabkan permukaan bumi bergetar. (Siswanto 2018).

Pada buku, (Pawirodikromo, 2012) dijelaskan bahwa kerusakan-kerusakan yang timbul akibat gempa bumi dapat dikategorikan menjadi dua bagian pokok, yaitu kerusakan pada bangunan-bangunan di atas tanah dan kerusakan lingkungan fisik pada permukaan/dalam tanah itu sendiri. Kerusakan pada bangunan-bangunan di atas tanah sering mendapat pemberitaan yang lebih dominan daripada kerusakan lingkungan tanah secara fisik. Kerusakan-kerusakan tanah secara fisik tersebut misalnya adalah terjadinya penurunan tanah (*settlement*), salju longsor/tanah longsor atau problem-problem lain pada keseimbangan lereng (*landslides and slope stability problems*), batu longsor (*rock slides*), batu jatuh

(*rockfalls*) dan likuifaksi (*liquefactions*). Pawirodikromo menggambarkan skema urutan kejadian gempa bumi dan penyebaran gelombang energi gempa seperti pada Gambar 2.1 berikut ini.



(a)



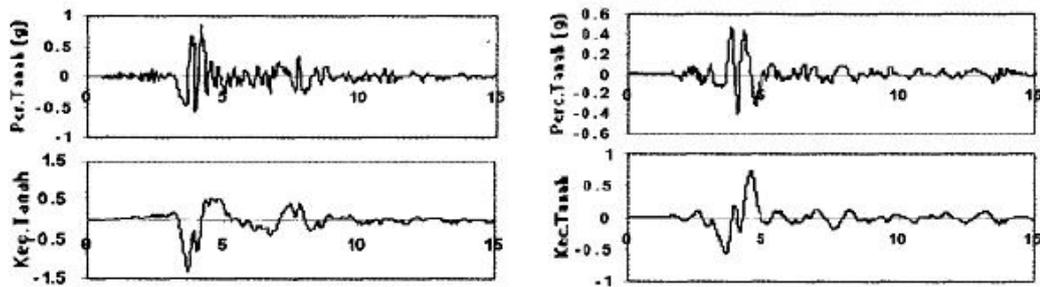
(b)

Gambar 2.1: a) Skema urutan kejadian gempa bumi, b) Penyebrangan Gelombang Energi Gempa (Pawirodikromo, 2013).

2.3 Ground motion (Getaran tanah)

Ground motion adalah suatu 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. Khususny untuk keperluan Teknik, percepatan tanah akibat gempa merupakan data yang sangat penting (Pawirodikromo 2012). Gambar 2.1 menunjukkan contoh dari 21 rekaman ground motions serta respons spektrum desain rata-rata.

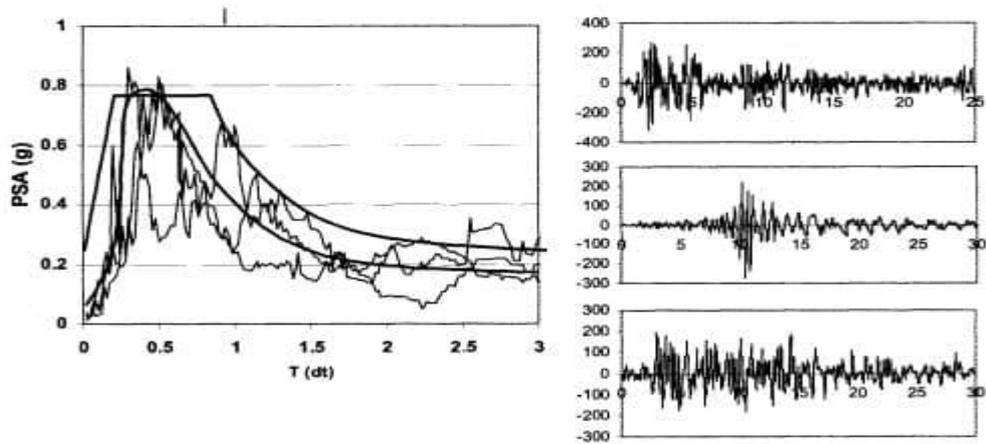


Gambar 2.2: Rekaman Gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997)
(Pawirodikromo, 2012).

2.4 Respon Spektrum

Menurut teori dinamika struktur (*structural dynamics*) salah satu cara untuk menentukan/menghitung simpangan, gaya-gaya dinamik pada struktur derajat kebebasan banyak (*Multi Degree of Freedom, MDOF*) adalah dengan menggunakan metode respons spektrum. Respon spektrum adalah suatu spectrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T , lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu.(Pawirodikromo 2012).

Respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral Displacement, SD*), kecepatan maksimum (*Spectral Velocity, SV*) atau percepatan maksimum (*Spectral Acceleration, SA*) suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*Single Degree of Freedom, SDOF*). Terdapat 2 macam respon spektrum yang ada yaitu Respon Spektrum elastik dan Respon Spektrum inelastik. Respon spektrum elastik adalah suatu spectrum yang didasarkan atas respons elastik struktur dengan derajat kebebasan tunggal (SDOF) berdasarkan rasio redaman dan beban gempa tertentu. Inelastik Respons Spektrum juga disebut desain Respons Spektrum, yaitu spectrum yang diturunkan berdasarkan elastic respons spectrum dengan tingkat daktilitas tertentu (Pawirodikromo,2012)



Gambar 2.3: *Smoothed Response Spectrum* dari beberapa Gempa (Chopra, 1995).

2.5 Prosedur Analisis

2.5.1 Analisis Statik Eivalen

Analisis beban statik eivalen adalah suatu cara analisis statik struktur, dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban-beban statik horizontal untuk menirukan pengaruh gempa yang sesungguhnya akibat gerakan tanah. Untuk struktur bangunan gedung beraturan, pengaruh gempa rencana pada analisis beban statik eivalen ragam getar 1 dianggap dominan.

2.5.2 Analisis Ragam *Spectrum Respons*

Analisis ragam spectrum respons yaitu suatu cara analisis untuk menentukan respons dinamik struktur gedung yang berperilaku elastik penuh terhadap pengaruh suatu gempa melalui suatu metoda analisis yang dikenal dengan analisis ragam spektrum respon, dimana respon dinamik total struktur gedung tersebut didapat sebagai superposisi dari respon dinamik maksimum masing-masing ragamnya yang didapat melalui spektrum respon gempa rencana (Akbar dkk, 2017).

2.5.3 Analisis Riwayat Waktu

Metode analisis riwayat waktu memerlukan data gempa besar tipikal yang umumnya terjadi di luar lokasi bangunan. Gerakan gempa masukan berupa gelombang akselerasi dengan amplitudo yang dimodifikasi berdasarkan wilayah frekuensi (Frequency Zone), sehingga sesuai akselerasi standar respon spektra.

Dalam metode analisis riwayat waktu dilakukan dengan menganalisis potensi gempa lokasi struktur bangunan berdasarkan data respon spektra lokasi dan data gempa yang sudah terjadi (Abidin dkk, 2018). Prosedur dalam analisa respon riwayat waktu dibagi menjadi dua yaitu prosedur riwayat waktu linear dan prosedur riwayat waktu Nonlinear.

Menurut Pangestu (2017), 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. Sedangkan, Analisis riwayat waktu nonlinier adalah analisis yang mereproduksi perilaku sebenarnya dari suatu struktur di bawah gaya rekaman Ground Motion.

2.6 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

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 digunakan pada penelitian ini ialah SNI 1726:2019 yang merupakan revisi dari SNI 03-1726-2012.

2.6.1 Parameter Percepatan Gempa

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 SNI 1726:2019 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2% dalam 50 tahun) dan dinyatakan dalam bilangan decimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0,04g$ dan $S_s \leq 0,15g$, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A dan cukup memenuhi persyaratan.

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplikasi meliputi faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

2.6.2 Simpangan Lantai (*Drift*) Akibat 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, antara lain:

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.

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya.

2.6.3 Karakteristik 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 diprediksi secara tepat (Budiono & Supriatna, 2011). Berikut yang termasuk bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut :

1. Apabila gempa ringan terjadi, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan, baik komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya.

2. Apabila gempa sedang terjadi, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-struktural, akan tetapi komponen struktural tidak boleh rusak.
3. Apabila gempa kuat terjadi, bangunan boleh mengalami kerusakan, baik komponen non-struktural maupun struktural, akan tetapi penghuni bangunan harus tetap selamat, artinya sebelum bangunan runtuh masih cukup waktu bagi penghuni bangunan untuk keluar ketempat 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.

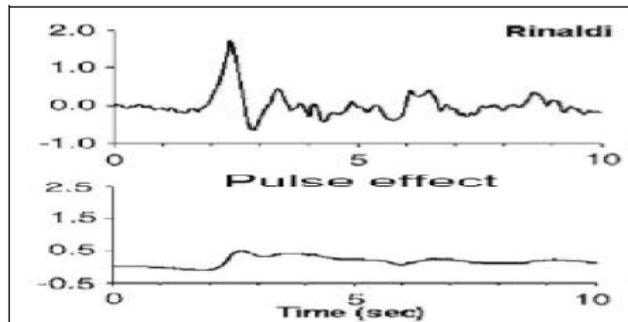
Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa dengan tingkat keamanan memadai, struktur harus dirancang dapat memikul gaya horizontal atau gaya gempa. Struktur harus dapat memberikan layanan yang sesuai dengan perencanaan. Menurut (Budiono & Supriatna, 2011) tingkat layanan dari struktur akibat gaya 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 kontrol 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 nonstruktur, dan diharapkan struktur masih dalam batas elastis.

3. Katahanan (survival) 15 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. Gempa Pulse

2.6.4 Gempa *Pulse*

Pada Pawirodikromo (2012) menyebutkan bahwa getaran gempa dekat yang mengandung efek *pulse* dapat menyebabkan bangunan yang tidak direncanakan secara baik akan mengalami kerusakan. Bangunan yang tidak simetris sebidang termasuk yang memiliki resiko rusak bila mengalami gempa dekat.



Gambar 2.4: Rekaman Gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997)
(Pawirodikromo, 2012).

Gambar 2.5 menunjukkan data rekaman gempa yang mengandung *pulse*, pada gambar bagian atas merupakan waktu dengan kecepatan, dapat dilihat bahwa pada waktu ± 2.5 detik terjadi kenaikan yang drastis pada kecepatan rekaman gempa dan pada gambar bagian bawah merupakan waktu dengan perpindahan, dimana pada saat kenaikan kecepatan pada waktu ± 2.5 detik, seketika terjadi juga kenaikan nilai pada perpindahan.

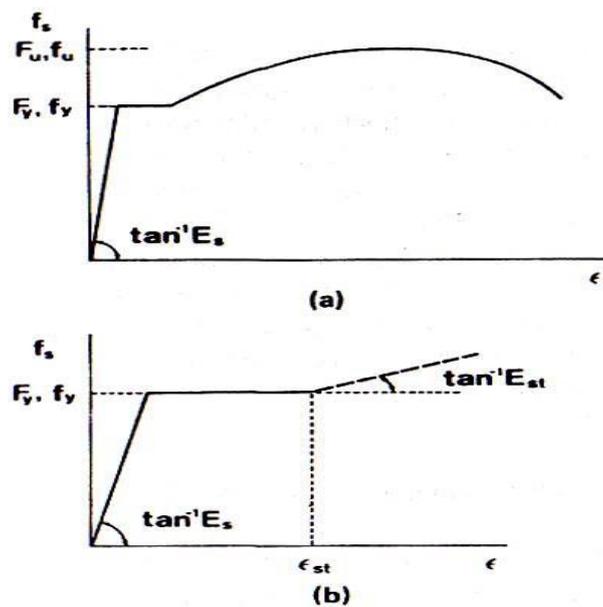
2.7 Material Baja

Material konstruksi paling populer saat ini adalah baja, material ini merupakan komponen utama dari bangunan-bangunan di dunia, khususnya bangunan tinggi (Lukmansa, 2015). Dikarenakan sifatnya yang daktail pemilihan

material baja sangat tepat untuk struktur bangunan tahan gempa. Keunggulan konstruksi baja adalah sebagai berikut:

1. Mempunyai kekuatan yang tinggi.
2. Keawetan yang tinggi, sifat elastis, daktilitas baja yang tinggi.
3. Pemakaian baja sebagai material konstruksi adalah kemudahan penyambungan antarelemen yang satu dan yang lainnya menggunakan alat sambung las atau baut.

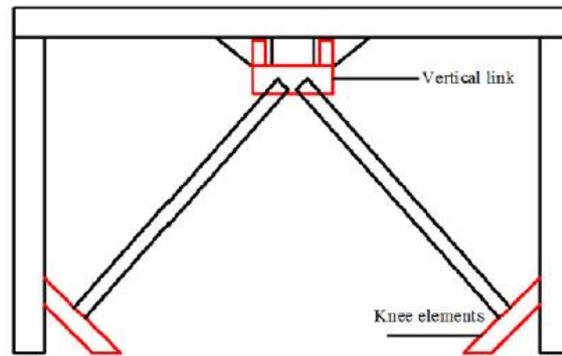
Sifat daktil sangat identik dengan material baja yang dapat ditunjukkan oleh besarnya perbandingan atau rasio antara tegangan leleh (f_y) dengan tegangan batasnya (f_u). Semakin besar nilai rasio antara (f_y) dan (f_u) maka akan semakin tinggi sifat daktilitas dari suatu material.



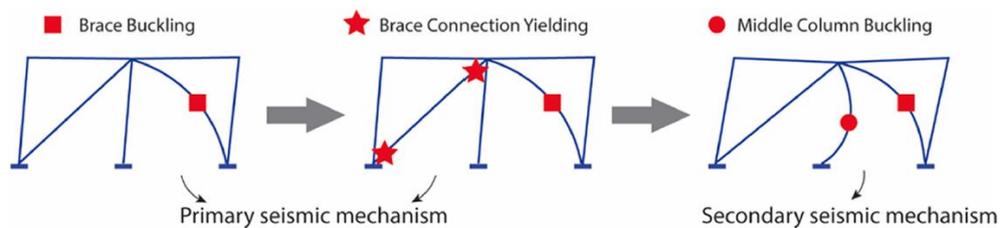
Gambar 2.5: Diagram baja (Salim & Siswanto, 2018).

2.8 Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK)

Kekakuan sistem ini terjadi akibat adanya elemen pengaku yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral yang terjadi pada struktur. Penyerapan energi pada sistem ini dilakukan melalui pelelehan yang dirancang terjadi pada pelat buhul. Sistem ini daktilitasnya kurang begitu baik sehingga kegagalannya ditentukan oleh tekuk bracing. (Hutahaean dan Aswandy, 2016)



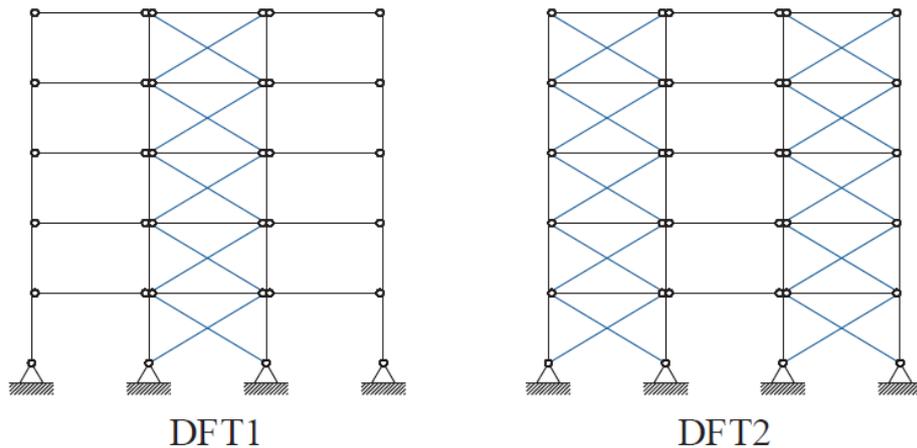
(a)



(b)

Gambar 2.6: a) Rangka bresing konsentris model Zahrai and Vosooq (Kachooee & Kafi, 2018), b) Perubahab respon bresing konsentris apabila dikenakan gempa (Wang et al., 2021).

Sistem Rangka Bresing Konsentrik adalah sistem struktur yang dapat menahan beban lateral melalui sistem truss konsentris vertikal, sumbu dari anggota menyelaraskan konsentris pada sendi. Rangka bresing konsentrik cenderung efisien dalam menahan gaya lateral karena dapat memberikan kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Karakteristik ini juga dapat menghasilkan respon seismik yang kurang menguntungkan, seperti kapasitas drift rendah dan percepatan tinggi. Rangka bresing konsentrik adalah baja struktural umum atau sistem komposit di daerah kegempaan apapun. Sistem rangka bresing konsentrik khusus adalah kelas khusus dari sistem rangka bresing konsentrik yang proporsional dan rinci untuk memaksimalkan kapasitas drift inelastis. Jenis sistem CBF didefinisikan hanya untuk baja struktural dan komposit struktur. (Sabelli, Roeder, dan Hajjar 2013)



Gambar 2.7: model rangka dengan bresing konsentris.

Perilaku duktail sangat diharapkan ketika struktur digunakan untuk menyerap energi seperti ketika mengalami gerakan tanah yang kuat. Kapasitas baja tanpa fraktur dikombinasikan dengan kekuatan tinggi membuat bahan yang ideal untuk digunakan dalam sistem bresing konsentris. (Taranath.1997).

2.9 Pembebanan Struktur

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.

Faktor redundansi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya seismik masing-masing dalam kedua arah ortogonal untuk semua struktur. Kondisi dimana nilai ρ diizinkan 1 sebagai berikut:

1. Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C.
2. Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta; desain komponen non struktural.
3. Desain struktural non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung.
4. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 pada SNI 1726:2019 yang digunakan.
5. Desain elemen struktur atau sambungan dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 disyaratkan untuk didesain.
6. Struktur bagian sistem peredaman.
7. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkutnya.

Untuk struktur yang dirancang bagi kategori desain seismik D, E, dan F faktor redundansi (ρ) harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi dimana ρ diizinkan diambil sebesar 1. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau.

2.10 Evaluasi kinerja seismik menurut metodologi FEMA P695

Proses yang diperkenalkan di FEMA P695 untuk mendapatkan seismik faktor kinerja melibatkan tiga tahap utama. Tahapan termasuk mengkarakterisasi perilaku sistem dan menentukan arketipe indeks, mengembangkan model numerik sampel dan menjalankan statis dan dinamis nonlinier menganalisis kemudian mengevaluasi nilai asumsi kinerja seismik faktor tahap desain awal sesuai dengan hasil tahap sebelumnya.

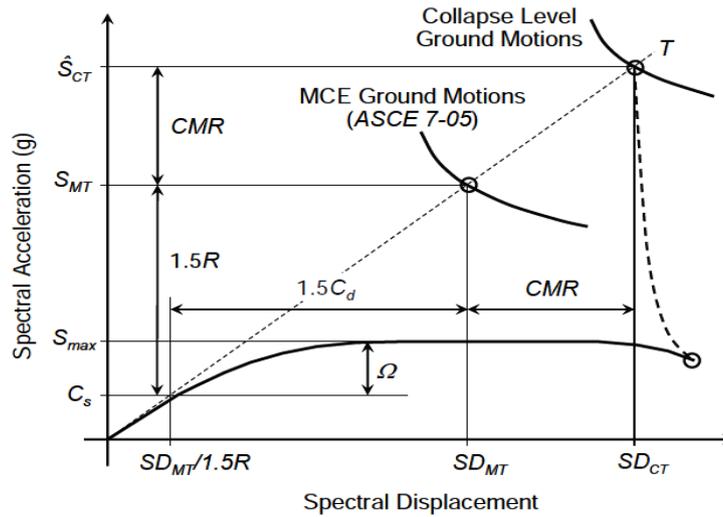
Kurva analisis statis nonlinier pada Gambar 2.7 mewakili faktor kinerja seismik yang dipertimbangkan dalam FEMA Pendekatan P695 menggunakan koordinat spektral. Berdasarkan angka ini, 100% dari berat seismik efektif bangunan, W , berpartisipasi dalam mode dasar struktur pada periode T . Faktor modifikasi respon, R , ditentukan sebagai rasio percepatan spektral MCE S_{MT} , dengan koefisien geser dasar, C_s sebagai berikut:

$$1.5R = \frac{S_{MT}}{C_s} \quad (2.1)$$

Faktor kekuatan lebih, untuk setiap struktur didefinisikan sebagai rasio kapasitas maksimum dari hasil penuh sistem, S_{max} , dengan koefisien geser dasar, C_s , sebagai berikut:

$$\Omega = \frac{S_{max}}{C_s} \quad (2.2)$$

Analisis dinamis tambahan (IDA) digunakan untuk mengevaluasi kapasitas keruntuhan median S_{CT} , dari sistem struktural untuk faktor modifikasi respon yang diduga. Menurut untuk Gambar 2.7, rasio margin runtuh, CMR, didefinisikan sebagai "the" rasio akselerasi spektral teredam 5% median dari kapasitas keruntuhan median S_{CT} , ke 5% teredam percepatan spektral dari gerakan tanah M_{CE} , S_{MT} ,



Gambar 2.8: Faktor kinerja seismik sebagaimana didefinisikan oleh Metodologi FEMA P695 (Heshmati et al., 2021).

2.11 Periode Fundamental Struktur

Spektral Shape Factor (SSF) digunakan untuk memperhitungkan efek dari catatan gerakan tanah yang berbeda pada margin keruntuhan rasio dan untuk menghitung rasio margin runtuh yang disesuaikan, ACMR, untuk setiap model struktural. Kinerja yang dapat diterima didefinisikan oleh dua pencegahan keruntuhan dasar berikut:

- a. Rata-rata margin keruntuhan yang disesuaikan rasio (ACMR_i) untuk setiap kelompok kinerja harus lebih besar dari rasio margin runtuh disesuaikan yang dapat diterima dengan menerima 10% dari kemungkinan runtuh (ACMR 10%).
- b. Rasio margin runtuh yang disesuaikan (ACMR_i) untuk setiap indeks pola dasar harus lebih besar dari penyesuaian yang dapat diterima rasio margin runtuh dengan menerima 20% dari probabilitas runtuh (ACMR 20%).

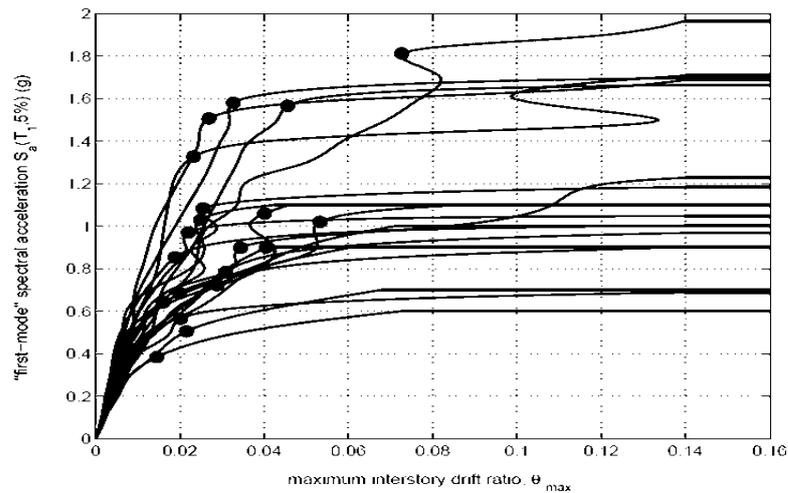
Untuk validitas modifikasi respons yang diduga faktor, ACMR yang dihitung harus lebih besar daripada tujuan pencegahan keruntuhan yang disebutkan di atas. Jika tidak, sistem struktural harus dipertimbangkan kembali dengan menyesuaikan persyaratan desain sistem struktur, mengkarakterisasi ulang perilaku, atau mendesain ulang dengan percobaan yang lebih rendah nilai faktor kinerja seismik.

2.12 Incremental Dynamic Analysis (IDA)

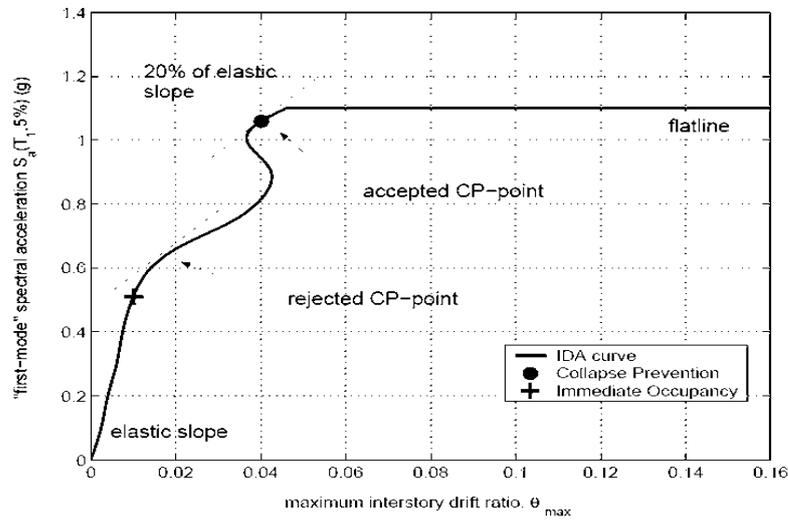
IDA melibatkan beberapa analisis riwayat waktu nonlinier pada model struktural di bawah rangkaian catatan gerak tanah berdasarkan tingkat intensitas seismik yang berbeda. Tingkat penskalaan dipilih untuk memaksa struktur melewati keseluruhan kerentanan rentang perilaku dari elastis hingga inelastic dan akhirnya sampai ke pada kondisi ketidakstabilan global, dimana kondisi struktur mengalami keruntuhan.

Dalam metode analisis IDA, serangkaian nonlinier analisis dinamis dilakukan untuk setiap rekaman seismik secara akurat memperkirakan rentang respons lengkap (dari fase elastis ke keadaan leleh dan kemudian fase nonlinier dan akhirnya ke struktur keseluruhan ketidakstabilan). Dalam hal pemilihan gerakan tanah untuk analisis dinamis nonlinier, Iervolino dan Monfaredi meninjau parameter input seismik yang mempengaruhi penilaian probabilistik (misalnya jumlah catatan dan intensitasnya) dan mendiskusikan keuntungan dan kerugiannya prosedur yang diperkenalkan untuk pemilihan catatan gerakan tanah yang sesuai. Namun, dalam penelitian ini catatan gerakan tanah dipilih berdasarkan FEMA Metodologi P695 yang harus memenuhi sejumlah konflik tujuan dan konsisten dengan kinerja tujuan FEMA P695 dan persyaratan gerakan tanah dari ASCE 7. Juga catatan gerakan tanah ini digunakan dalam sejumlah tugas investigasi dengan tujuan penilaian keruntuhan struktur. Maka, Catatan diskalakan dalam dua langkah sebelum mereka digunakan di IDA.

Pada langkah pertama, setiap catatan diskalakan sehingga kecepatan puncak mereka mencapai satu. Selanjutnya, mereka seluruhnya ditingkatkan ke atas atau ke bawah pada fundamental periode arketipe untuk mencocokkan spektral MCE percepatan. Kemudian langkah selanjutnya dalam pendekatan ini adalah memproses hasil analisis, yang menghasilkan plot kurva IDA. Dalam plot ini, sumbu vertikal mewakili intensitas spektral dari gerakan tanah sebagai intensitas ukur (IM) dan sumbu horizontal mewakili maksimum rasio drift antar lantai sebagai parameter permintaan teknik dicatat dalam setiap analisis riwayat waktu.



a)

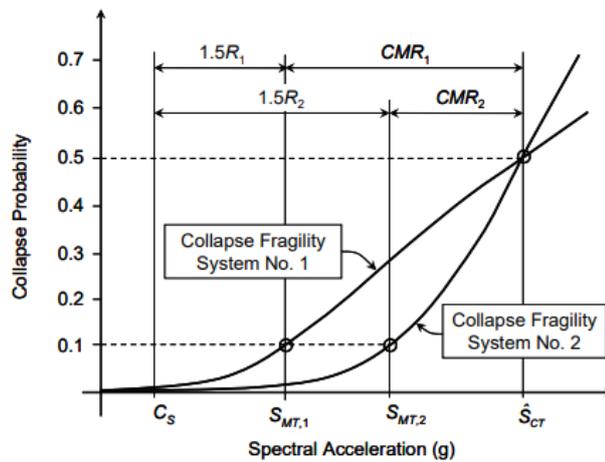


b)

Gambar 2.9: a) *Incremental dynamic analysis (IDA)*, b) penentuan *Collapse Prevention* pada kurva IDA (Heshmati et al., 2021).

2.13 Collapse Margin Ratio (CMR)

Collapse Margin Ratio (CMR) diperkenalkan pada ATC-63 laporan (2010), yang didasarkan pada *Incremental Dynamic Analysis (IDA)*, adalah indeks yang wajar untuk mengevaluasi ketahanan anti-runtuhnya seismik global struktur. Namun, beberapa isu yang terkait dengan penentuan CMR masih ada, misalnya pemilihan gerakan tanah, kriteria keruntuhan, parameter seismik, beberapa Eksitasi dukungan, dll.



Gambar 2. 10: Ilustrasi kurva kerapuhan dan rasio margin runtuh untuk dua sistem penahan gaya gempa hipotetis – median yang sama tingkat runtuh.

Kurva kerapuhan mewakili kemungkinan keruntuhan struktur dalam hal karakteristik gempa dan parameter desain lainnya, sehingga memungkinkan penyelidikan pada kerentanan seismik struktur. Dari IDA kurva yang disebutkan di bagian sebelumnya percepatan spektral nilai yang sesuai dengan titik runtuh dari struktur yang diselidiki diekstraksi dan kemudian kerapuhannya kurva dapat diplot dalam grafik melalui distribusi kumulatif fungsi dalam hal percepatan spektral ke kemungkinan runtuh.

Ini dapat ditemukan dari kurva kerapuhan dengan mempertimbangkan semua ketidakpastian bahwa di bawah gempa maksimum yang dipertimbangkan intensitas (S_{MT}). Dengan membagi nilai median *collapse capacity* (S_{CT}) untuk percepatan spektral maksimum (S_{MT}), runtuhnya rasio margin (CMR) untuk setiap struktur diperoleh sesuai ke Persamaan dibawah.

$$CMR = \frac{S_{CT}}{S_{MT}} \quad (2.3)$$

Nilai kapasitas runtuh (S_{CT}) dan keruntuhan rasio margin (CMR) dari struktur tergantung pada frekuensi kandungan gempa. Untuk memperhitungkan ini efeknya, nilai SSF akan dikalikan dengan nilai CMR untuk mendapatkan parameter rasio margin runtuh yang disesuaikan (ACMR). Koefisien SSF adalah fungsi dari periode, daktilitas dan grup seismik. Nilai ACMR untuk masing-masing arketipe diperoleh dari persamaan berikut:

$$ACMR = SSF \times CMR \quad (2.4)$$

Faktor bentuk spektral (SSF) mempertimbangkan frekuensi isi rekaman gerakan tanah yang bergantung pada periode dasar struktur, T , berdasarkan periode daktilitas, T , dan kategori desain seismik. SSF adalah ditentukan sebagai berikut:

$$SSF = \exp[\beta_1(\varepsilon_0(T) - \varepsilon_0(T)_{rec})] \quad (2.5)$$

Dimana:

$$\beta_1 = 0.14 * (\mu T - 1)^{0.42}$$

$$\varepsilon_0(T)_{rec} = 0.9 - 0.6T$$

$$\varepsilon_0(T) = SDC = D = 1.5$$

Untuk mengevaluasi faktor modifikasi respons diperkenalkan dalam kode praktik Iran untuk seismik desain ketahanan bangunan (Standar No. 2800), nilai rasio margin runtuh yang disesuaikan untuk setiap kinerja grup (ACMRi) dan untuk setiap arketipe ACMRi harus lebih besar dari ACMR10% dan ACMR20%, masing-masing.

2.14 Daktilitas Struktur Bangunan

Menurut SNI-1726-2019, faktor daktilitas struktur gedung μ adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan δ_m dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama δ_y .

2.15 Program RUAUMOKO2D

Program RUAUMOKO2D 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.

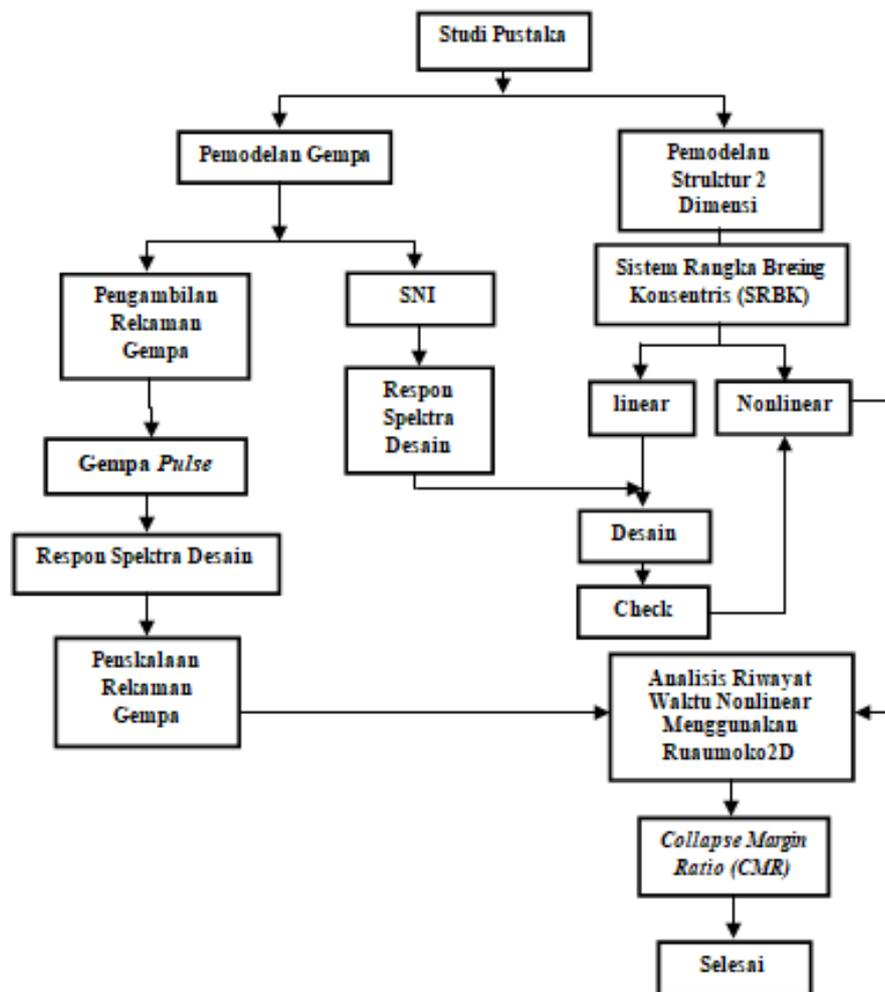
2.16 Kekakuan Struktur

Kekakuan (*stiffness*) adalah ukuran tegangan yang diperlukan untuk mengubah bentuk suatu satuan bahan. Besarnya kekakuan suatu bahan adalah modulus elastisitasnya, yang diperoleh dengan membagi tegangan satuan yang dialami bahan dengan satuan perubahan bentuk bahan.

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Umum

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



Gambar 3.1: Bagan Alur Penelitian.

Berdasarkan Gambar 3.1, dapat dijelaskan bahwa dalam Tugas Akhir ini analisis dilakukan terhadap 3 model dengan system rangka pemikul momen khusus pada bagian luar dan sistem rangka pemikul gravitasi pada bagian dalam. 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 antar tingkat (*interstory drift*) dan simpangan atap (*top displacement*) ketika bangunan telah dikenakan gempa tunggal dan gempa berulang. Kemudian nilai simpangan tersebut akan dibandingkan dengan dengan gempa di hasilkan.

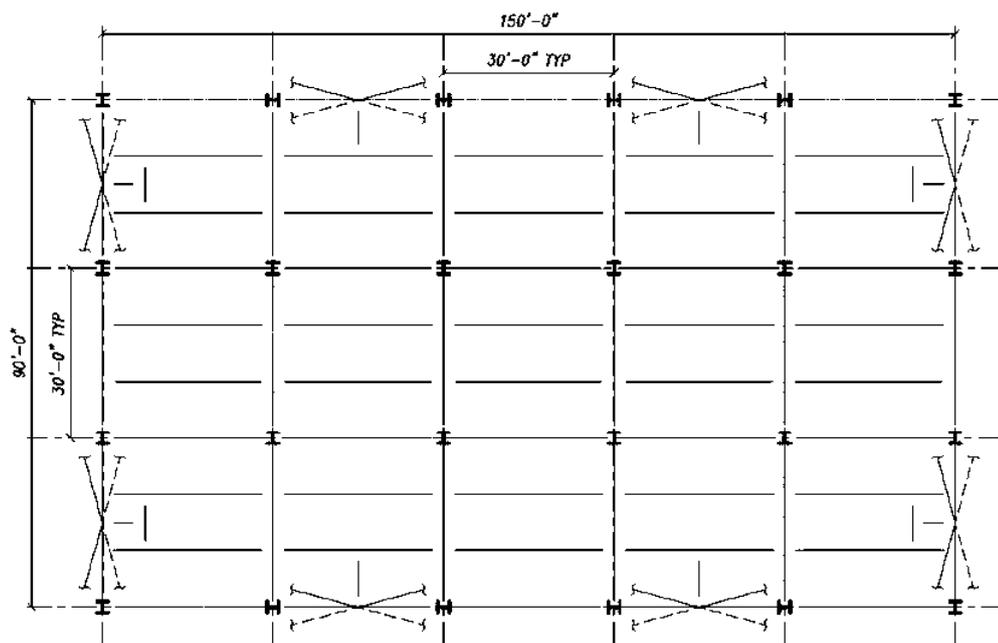
3.2 Permodelan Struktur

3.2.1 Data Perencanaan Struktur

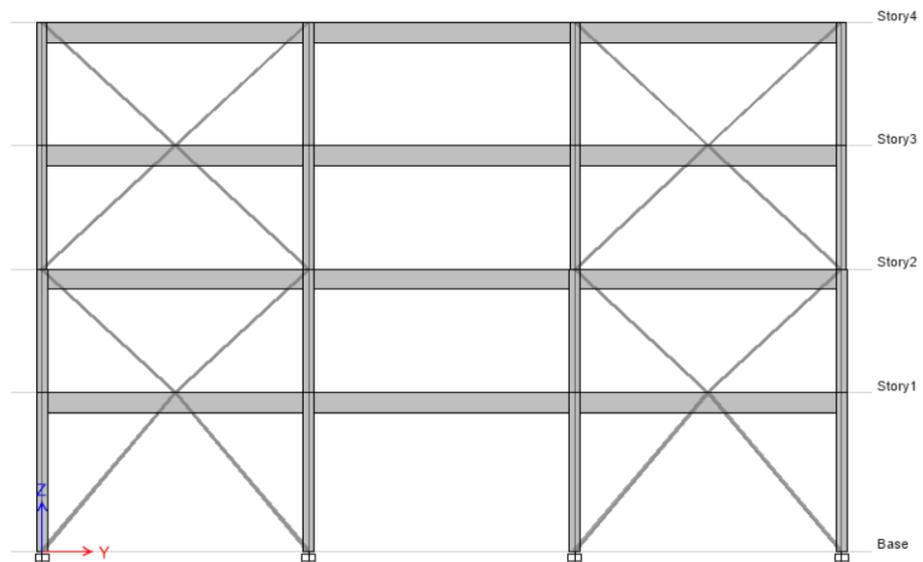
Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada keempat pemodelan dalam Program Analisa Struktur, yaitu:

1. Jenis pemanfaatan gedung perkantoran.
2. Gedung terletak di Gunungsitoli.
3. Klasifikasi situs tanah sedang (*SD*).
4. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Berbresing Konsentris.
5. Jenis portal struktur gedung adalah struktur baja.
6. Mutu baja yang digunakan adalah:
 - a. Untuk profil IWF ASTM 992 Grade 50
 - Kuat leleh minimum (f_y) : 345 MPa
 - Kuat tarik minimum (f_u) : 450 Mpa
 - b. Untuk profil HSS ASTM 500 Grade B:
 - Kuat leleh minimum (f_y) : 317 Mpa
 - Kuat tarik minimum (f_u) : 450 Mpa

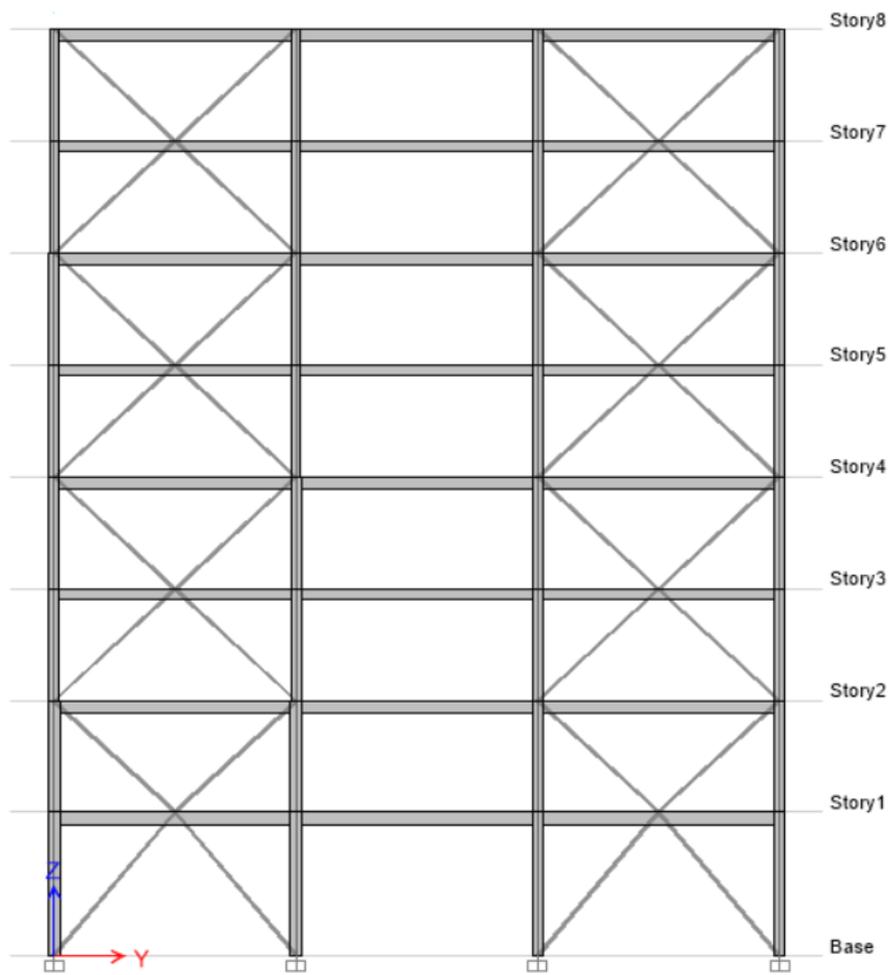
Adapun pemodelan yang digunakan adalah gedung 4 lantai, 8 lantai, dan 16 lantai seperti pada Gambar 3.2 dan 3.3 berikut.



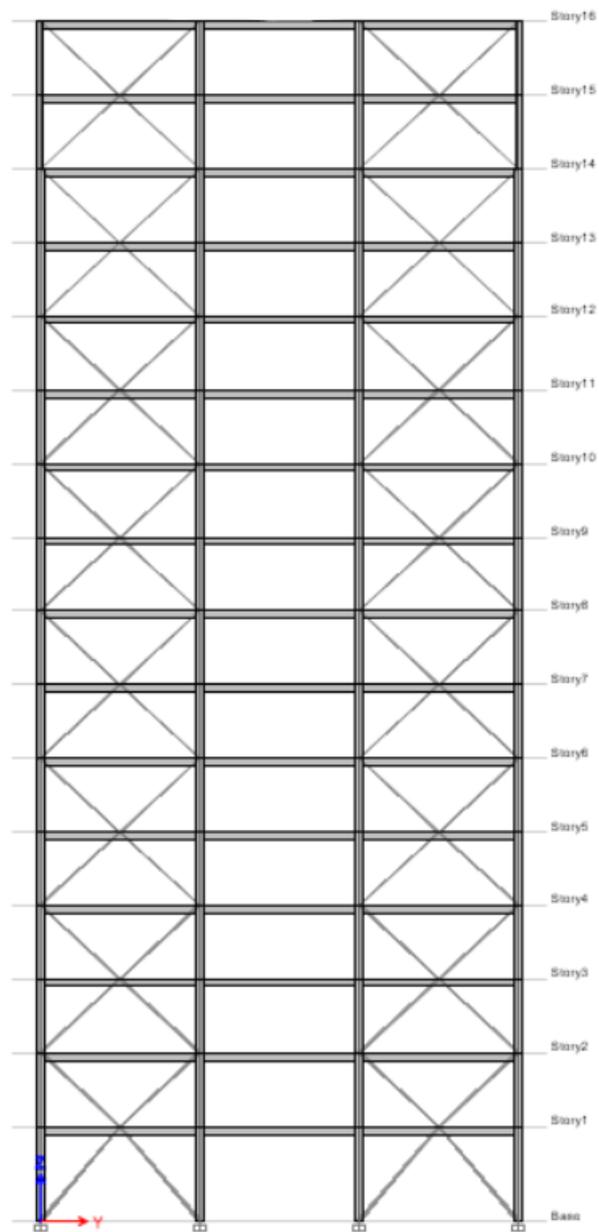
Gambar 3.2: Denah bangunan untuk model 4 lantai, 8 lantai, dan 16 Lantai.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.3: a) Tampilan elevasi model gedung 4 lantai, b) tampilan elevasi model gedung 8 lantai, c) tampilan elevasi model gedung 16 lantai.

3.2.2 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

Tabel 3.1: Komponen struktural bangunan.

Model Bangunan	Lantai	Bracing	Kolom Interior	Kolom Eksterior	Balok (Inchi)
			(Inchi)	(Inchi)	
Lantai 4	1	HSS 6x6x1/2	W14x132	W14x132	W 27x161
	2	HSS 5.5x5x3/8	W14x132	W14x132	W 27x114
	3	HSS 5x5x3/8	W14x53	W14x53	W 27x102
	4	HSS 4x4x3/8	W14x53	W14x53	W 27x102
Lantai 8	1	HSS 7x7x1/2	W14x283	W14x283	W18x60
	2	HSS 7x7x1/2	W14x283	W14x283	W18x46
	3	HSS 6x6x1/2	W14x159	W14x159	W16x31
	4	HSS 6x6x1/2	W14x159	W14x159	W18x46
	5	HSS 5.5x5.5x3/8	W14x132	W14x132	W16x31
	6	HSS 5.5x5.5x3/8	W14x132	W14x132	W18x46
	7	HSS 5x5x3/8	W14x68	W14x68	W16x31
	8	HSS 5x5x3/8	W14x68	W14x68	W18x46
Lantai 16	1	HSS 8x8x5/8	W14x550	W14x159	W18x97
	2	HSS 8 x8x5/8	W14x550	W14x159	W18x55
	3	HSS 7x7x1/2	W14x426	W14x132	W16x45
	4	HSS 7x7x1/2	W14x426	W14x132	W18x55
	5	HSS 6x6x5/8	W14x342	W14x132	W18x55
	6	HSS 6x6x5/8	W14x342	W14x132	W16x45
	7	HSS 6x6x1/2	W14x283	W14x132	W18x55
	8	HSS 6x6x1/2	W14x283	W14x132	W16x45
	9	HSS 6x6x1/2	W14x211	W14x132	W18x55
	10	HSS 6x6x1/2	W14x211	W14x132	W16x45
	11	HSS 6x6x1/2	W14x145	W14x82	W18x55
	12	HSS 6x6x1/2	W14x145	W14x82	W16x45
	13	HSS 5.5x5.5x3/8	W14x132	W14x68	W18x55
	14	HSS 5.5x5.5x3/8	W14x132	W14x68	W16x45
	15	HSS 5x5x3/8	W14x53	W14x48	W18x55

3.3 Analisa Struktur

3.3.1 Analisis Dinamik Struktur Linear

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

3.3.1.1 Pembebanan

Pembebanan yang bekerja pada struktur bangunan diambil dari buku FEMA p-2139-4, Beban-beban tersebut adalah beban hidup dan beban mati yang berhubungan dengan struktur bangunan. Berikut merupakan pembebanan yang digunakan:

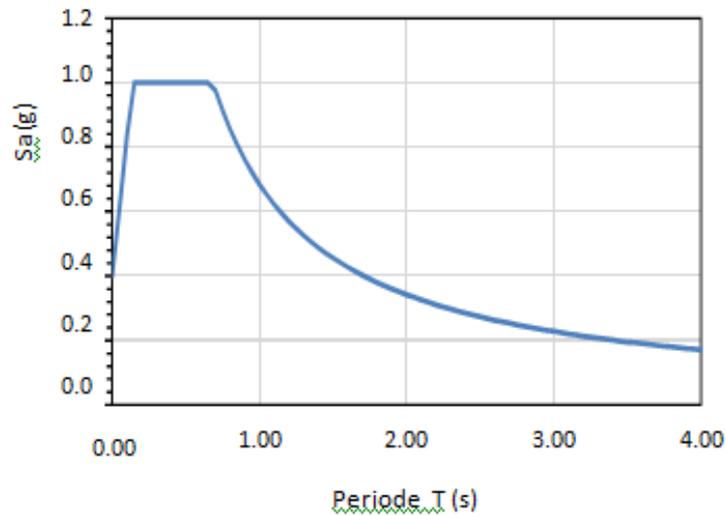
- Beban mati = 31,33 psf = 1,5 kN/m²
- Beban mati tambahan (SDL)
 - Lantai tipikal = 80 psf = 3,83 kN/m²
 - Lantai atap = 25 psf = 1,2 kN/m²
 - Beban dinding = 10 psf = 0,479 kN/m²
- Beban Hidup (Live) = 50 psf = 2,39 kN/m²

3.3.1.2 Respon Spektrum Desain Gempa

Respon spektrum gempa didesain pada kondisi tanah sedang (*SD*) yang terletak di Kota Gunungsitoli, kemudian dianalisis dengan data - data PGA = 0.60 g, $S_s = 1.50$ g dan $S_1 = 0.603$ g. Nilai - nilai yang diperlukan dalam pembuatan respon spektrum desain diperoleh dari *Website* Puskim 2019, yaitu:

- Nilai $F_a = 1$
- Nilai $F_v = 1.70$
- $S_{MS} = 1.5$
- $S_{MI} = 1.026$
- $S_{DS} = 1$
- $S_{DI} = 0.684$
- $T_0 = 0.137$
- $T_S = 0.684$
- $T_L = 20$
- Nilai S_a

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



Gambar 3.4: Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2019 Kota Gunungsitoli dengan jenis tanah sedang.

3.3.1.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dihitung berdasarkan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019 tentang standar perencanaan bangunan tahan gempa, maka didapatkan untuk Faktor $R=6$ nilai $\rho=1.0$ yang diperoleh dari kategori desain seismik D dan nilai $SDS=1$, maka kombinasi pembebanannya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai $\rho=1.0$, $SDS = 1.0$.

Kombinasi	Koefisien (DL)	Koefisien (LL)	Koefisien (E _x)	Koefisien (E _y)
Kombinasi 1	1.4	0	0	0
Kombinasi 2	1.2	1.6	0	0
	(1.2 + 0.2 S _{DS})DL + 1.0 LL + ρ ($\pm 30\%$ QEx $\pm 100\%$ QEy)			
Kombinasi 3	1.40	1	1.00	0.30
Kombinasi 4	1.40	1	1.00	-0.30

Tabel 3.2 *Lanjutan*

Kombinasi	Koefisien (DL)	Koefisien (LL)	Koefisien (E _x)	Koefisien (E _y)
Kombinasi 5	1.40	1	-1.00	-0.30
Kombinasi 6	1.40	1	-1.00	0.30
	(1.2 + 0.2 S _{DS})DL + 1.0 LL + ρ (± 100% QEx ± 30% QEy)			
Kombinasi 7	1.40	1	0.30	1.00
Kombinasi 8	1.40	1	0.30	-1.00
Kombinasi 9	1.40	1	-0.30	-1.00
Kombinasi 10	1.40	1	-0.30	1.00
	(0.9-0.2 S _{DS})DL + ρ (± 30% QEx ± 100% QEy)			
Kombinasi 11	0.70	0	1.00	0.30
Kombinasi 12	0.70	0	1.00	-0.30
Kombinasi 13	0.70	0	-1.00	-0.30
Kombinasi 14	0.70	0	-1.00	0.30
	(0.9-0.2 S _{DS})DL + ρ (± 100% QEx ± 30% QEy)			
Kombinasi 15	0.70	0	0.30	1.00
Kombinasi 16	0.70	0	0.30	-1.00
Kombinasi 17	0.70	0	-0.30	-1.00
Kombinasi 18	0.70	0	-0.30	1.00
Kombinasi Envelope	Nilai absolute dari seluruh kombinasi			

3.3.2 Analisis Dinamik Struktur Non Linier

3.3.2.1 Pemodelan Struktur Pada Program RUAUMOKO2D

Sebelum memasukkan data rekaman gempa di RUAUMOKO2D, terlebih dahulu kita harus menyiapkan pemodelan struktur dengan komponen elemen seperti balok, kolom, bresing, dan balok link. Untuk elemen apa saja yang akan digunakan dalam analisis di RUAUMOKO2D.

3.3.2.2 *Ground Motion Records*

Data rekaman gempa diperoleh dari *website* resmi *Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Next Generation Attenuation (NGA)*, *COSMOS Strong Motion Data Center*.

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 adalah gempa tunggal dengan jarak *epicentral* diatas 20 km sebanyak 20 rekaman gempa yang mengandung *pulse* seperti terlihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.2: Data Rekaman Gempa Tunggal.

No	Nama Groundmotion	Tahun	Nama Stasiun	Magnitude
1	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU049	7.6
2	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU049	7.6
3	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU049	7.6
4	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU049	7.6
5	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU049	7.6
6	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU049	7.6
7	Chi-Chi Aftershock	1999	CHY080	6.2
8	Erzican Turkey	1992	Erzincan	6.69
9	Kocaeli Turkey	1999	Duzce	7.51
10	Mammoth Lakes-01	1980	Convict Creek	6.06
11	Erzican Turkey	1992	Erzincan	6.69
12	Borrego	1942	El Centro Array#9	6.5
13	Chalfant Valley-02	1942	Benton	6.19
14	Christchurch New Zealand	2011	Christchurch Hospital	6.2
15	Morgan Hill-Gilroy	1984	Gilroy Array#1	6.19
16	Kalamata Greece-01	1986	Kalamata	6.2
17	Imperial Valley-06	1979	Imperial	6.6
18	Chuetsu-oki	2007	Nagano Togakushi	6.6
19	Jiashi Earthquake	1997	Jiashi	6.1
20	Gazli USSR	1976	Karakyr	6.8

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).

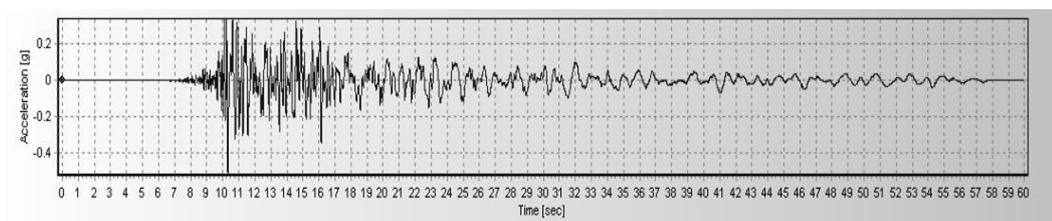
Selanjutnya data rekaman gempa yang diperoleh tersebut diskalakan terhadap respon spektrum desain. Pada proses penskalaan dibutuhkan data respon spektrum desain agar data rekaman gempa original disesuaikan dengan kondisi geologis pada daerah Gunungsitoli (tanah sedang). Selain itu, rentang perioda

alami (T) juga dibutuhkan dalam proses penskalaan agar hasil skala lebih detail. Kemudian data rekaman gempa yang telah diskalakan digunakan sebagai input pada software RUAUMOKO versi 04. untuk Analisis Dinamik Nonlinear Inelastis dengan Metode Analisis Riwayat Waktu.

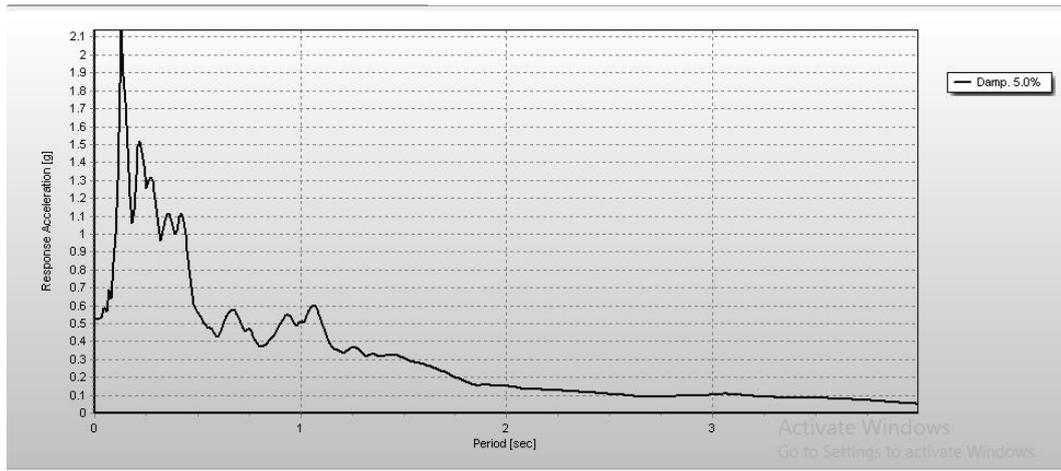
3.3.2.3 Analisis Respon Riwayat Waktu

Analisis ini merupakan tahap evaluasi yang dijadikan sebagai perbandingan terhadap analisis linear sebelumnya, sehingga tidak perlu seluruhnya memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2019. Karena model yang digunakan merupakan model yang seluruhnya telah memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2019 pada analisis linear sebelumnya yaitu dengan Metode Respon Spektrum. Pada Metode Respon Riwayat Waktu ini dianalisis secara dua dimensi. Alat bantu *software* yang digunakan adalah RUAUMOKO2D versi 04. Sebelum dianalisis dengan RUAUMOKO2D terdapat beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Pengambilan rekaman gempa dari PEER NGA dan COSMOS. Daerah-daerah rekaman yang diambil tertera pada Tabel 3.3.
2. Mengubah rekaman gempa menjadi respon spektrum dengan bantuan software Seismosignal seperti pada Gambar 3.6. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses penskalaan dan untuk mencari nilai percepatan pada masing-masing groundmotion.

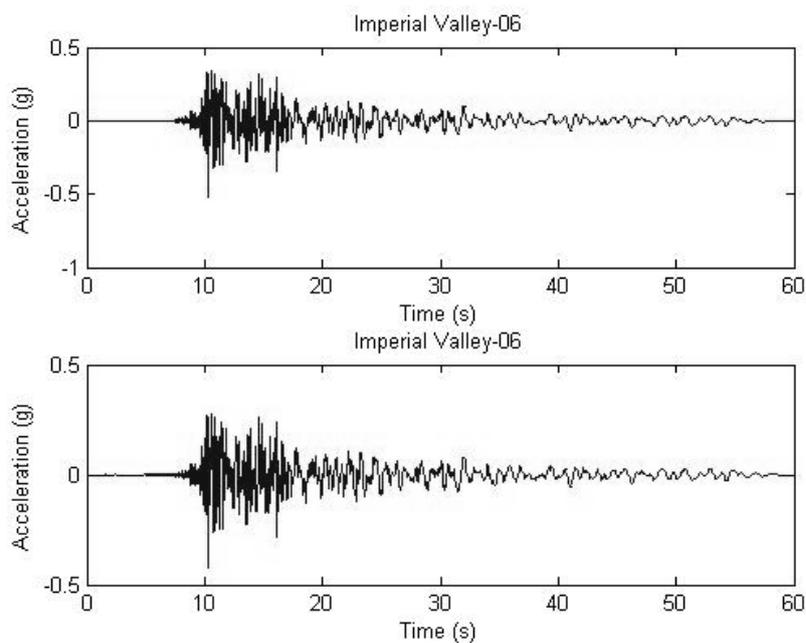


Gambar 3.5: Rekaman gempa Imperial Vally sebelum diubah menjadi respon spektrum.



Gambar 3.6: Rekaman gempa Imperial Vally setelah diubah menjadi respon spektrum.

3. Mengubah rekaman gempa menjadi respon spektrum dengan bantuan *software* Seismosignal.
4. Menskalakan rekaman gempa dengan menggunakan software MATLAB.



Gambar 3.7: Rekaman gempa Imperial Vally sebelum (gambar atas) dan setelah diskalakan (gambar bawah), ini merupakan gempa tunggal.

Data-data rekaman yang telah diskalakan dan digabungkan dengan MATLAB akan digunakan sebagai input data pada analisis menggunakan RUAUMOKO2D. Adapun 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*

3.3.2.4 Prosedur Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Adapun prosedur dalam pengerjaan IDA dijabarkan sebagai berikut:

1. Data untuk IDA diperoleh dari hasil *run* program RUAUMOKO2D yang berupa *output* data perilaku gedung saat dikenakan gempa.
2. Dari *output* tersebut diambil nilai *drift* maksimumnya dari 20 jenis gempa *pulse* terhadap 15 input dengan skala yang berbeda yang kemudian diplot dalam satu grafik IDA. Dapat dilihat pada gambar 3.9 dan 3.10.
3. Berdasarkan nilai IDA tersebut didapatkan nilai IDR ratio pada RSA tertentu yang kemudian akan digunakan dalam menganalisis probabilitas keruntuhan struktur gedung terhadap nilai RSA.
4. Hasil Probabilitas keruntuhan berupa nilai median dan standar deviasi yang menunjukkan seberapa besar perbandingan nilai dari ketiga gedung pada saat mengalami *collapse* dan *collapse prevention*.

Collapse 4%				
RSA	MEDIAN	LN (Logaritma Natural)	St. Dev	Probability
0				0
4,3837		1,4779		0,018017
4,5192		1,50834		0,022467
5,3807		1,68283		0,069149
5,7853		1,75532		0,102967
6,2768		1,83686		0,153775
7,1896		1,97264		0,269835
7,981		2,07706		0,381992
8,517		2,14207		0,458047
8,6218		2,15429		0,472607
8,6789		2,16089		0,480491
8,7723		2,1716		0,493289
8,7791		2,17237		0,494215
8,7871		2,17328		0,495302
8,8161	8,82166011	2,17657	0,3335565	0,49924
8,8273		2,17785		0,50076
8,8291		2,17805		0,501005
8,8312		2,17829		0,501297
8,8447		2,17982		0,503116
8,9045		2,18655		0,511172
8,9573		2,19247		0,518244
9,0000		2,19722		0,523924
10,0000		2,30259		0,646495
11,0000		2,3979		0,74589
12,0000		2,48491		0,821859
13,0000		2,56495		0,877472
14,0000		2,63906		0,916915
15,0000		2,70805		0,944246
16,0000		2,77259		0,962865
17,0000		2,83321		0,975391

(a)

Collapse Prevention 2%				
RSA	MEDIAN	LN (Logaritma Natural)	St. Dev	Probability
0				0
3,477890325		1,246426		0,018577
3,90877193		1,363223		0,036309
4,081219201		1,406396		0,045661
4,110958853		1,413656		0,047409
4,35672148		1,47172		0,06339
4,81303077		1,571327		0,100166
5,208827176		1,650355		0,138922
5,632066305		1,728476		0,1862
5,696879557		1,739919		0,193879
6,089455199		1,806559		0,242309
7,198424023		1,973862		0,387758
7,657056146	8,07826941	2,035628	0,40437982	0,447324
8,499482674		2,140005		0,550012
8,521124161		2,142548		0,5525
8,527872297		2,14334		0,553275
8,539606592		2,144715		0,554619
8,577508543		2,149143		0,558943
8,582283977		2,1497		0,559486
8,610293112		2,152958		0,562663
10,3011677		2,332257		0,726119
11,0000000		2,397895		0,777398
12,0000000		2,484907		0,836113
13,0000000		2,564949		0,880312
14,0000000		2,639057		0,913055
15,0000000		2,70805		0,937044

(b)

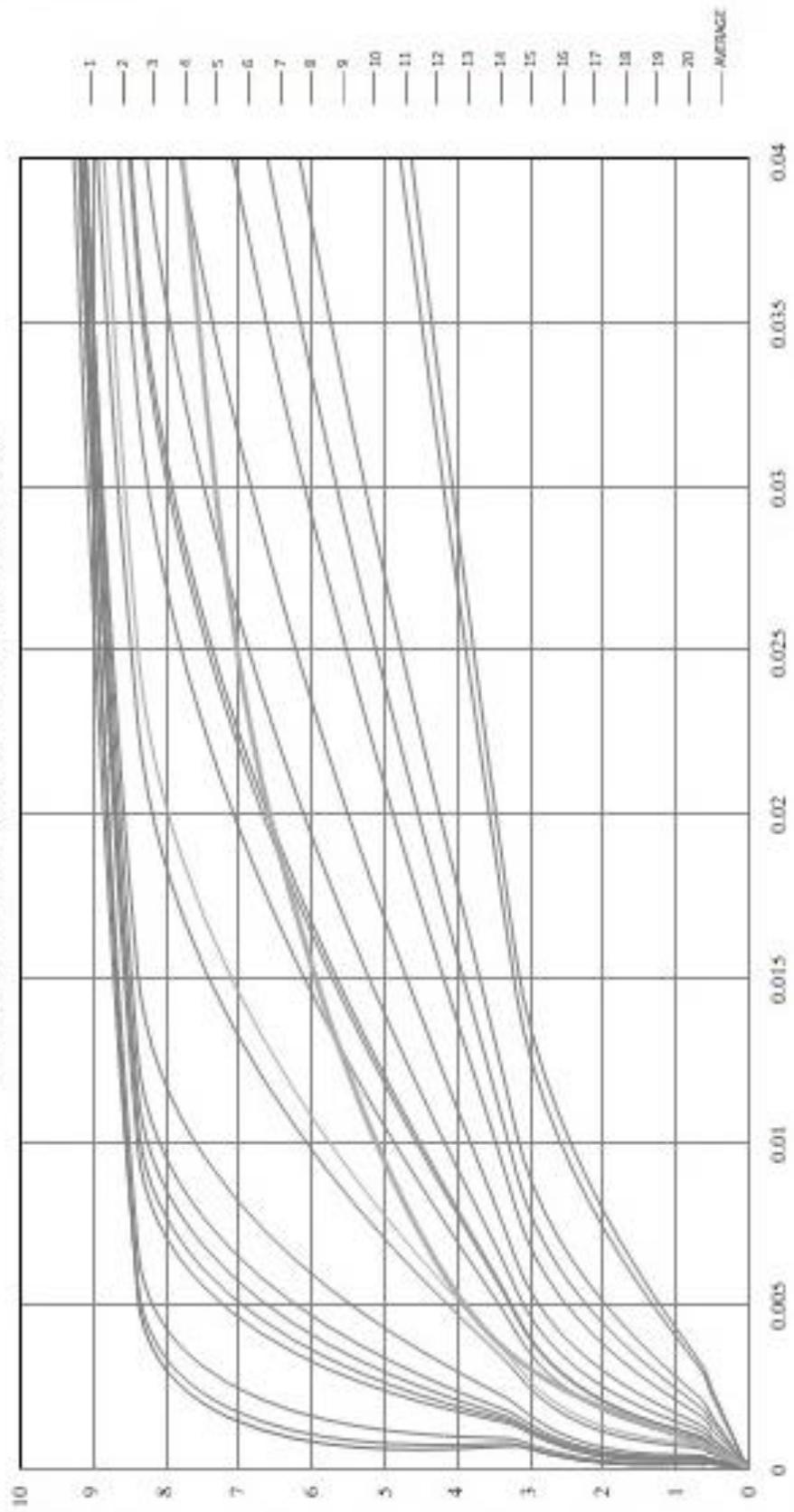
Gambar 3. 8: (a) Nilai collapse dan (b) Collapse prevention gedung 4 lantai.

5. Dari nilai collapse dapat ditentukan nilai S_{CT} dan selanjutnya digunakan untuk analisis CMR.

RSA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,01	5E-05	2E-05	4E-05	0,0002	2E-04	1E-04	2E-04	7E-05	1E-04	5E-04	3E-04	3E-04	5E-04	2E-05	2E-04	3E-05	5E-05	1E-04	5E-05	3E-04
0,015	5E-05	2E-05	4E-05	0,0002	2E-04	1E-04	2E-04	7E-05	1E-04	5E-04	3E-04	3E-04	6E-04	3E-05	2E-04	3E-05	5E-05	1E-04	6E-05	4E-04
0,02	5E-05	3E-05	5E-05	0,0002	2E-04	2E-04	2E-04	7E-05	1E-04	5E-04	3E-04	3E-04	6E-04	3E-05	2E-04	3E-05	5E-05	1E-04	6E-05	4E-04
0,025	6E-05	3E-05	5E-05	0,0003	2E-04	2E-04	2E-04	8E-05	1E-04	6E-04	3E-04	4E-04	6E-04	3E-05	2E-04	3E-05	5E-05	1E-04	6E-05	4E-04
0,03	6E-05	3E-05	5E-05	0,0003	2E-04	2E-04	2E-04	8E-05	1E-04	6E-04	3E-04	4E-04	7E-04	3E-05	2E-04	4E-05	6E-05	1E-04	7E-05	4E-04
0,035	7E-05	3E-05	6E-05	0,0003	2E-04	2E-04	2E-04	9E-05	1E-04	7E-04	4E-04	4E-04	7E-04	3E-05	2E-04	4E-05	6E-05	1E-04	7E-05	5E-04
0,04	7E-05	3E-05	6E-05	0,0003	2E-04	2E-04	2E-04	9E-05	2E-04	7E-04	4E-04	4E-04	8E-04	4E-05	3E-04	4E-05	7E-05	1E-04	8E-05	5E-04
0,045	8E-05	4E-05	7E-05	0,0003	2E-04	2E-04	2E-04	1E-04	2E-04	8E-04	4E-04	5E-04	8E-04	4E-05	3E-04	4E-05	7E-05	2E-04	8E-05	5E-04
0,05	8E-05	4E-05	7E-05	0,0004	3E-04	2E-04	3E-04	1E-04	2E-04	8E-04	4E-04	5E-04	9E-04	4E-05	3E-04	5E-05	8E-05	2E-04	9E-05	6E-04
0,5	0,001	0,0005	0,0009	0,0043	0,003	0,003	0,003	0,001	0,002	0,01	0,005	0,006	0,01	5E-04	0,004	6E-04	0,0009	0,002	0,0011	0,007
0,55	0,0011	0,0005	0,0009	0,0047	0,003	0,003	0,004	0,001	0,002	0,011	0,006	0,007	0,012	5E-04	0,004	6E-04	0,001	0,002	0,0012	0,008
0,6	0,0012	0,0006	0,001	0,0052	0,004	0,003	0,004	0,002	0,003	0,012	0,006	0,007	0,013	6E-04	0,004	7E-04	0,0011	0,002	0,0013	0,008
3,2	0,0063	0,0029	0,0054	0,0276	0,02	0,018	0,021	0,008	0,014	0,063	0,034	0,039	0,067	0,003	0,024	0,004	0,0058	0,003	0,007	0,045
8,4	0,0495	0,023	0,0426	0,2158	0,157	0,14	0,161	0,065	0,108	0,493	0,267	0,306	0,527	0,025	0,185	0,029	0,0456	0,098	0,0546	0,348
11	0,198	0,1842	0,2129	0,4316	0,315	0,281	0,321	0,196	0,215	0,985	0,534	0,613	1,054	0,196	0,37	0,173	0,1825	0,196	0,2186	0,637
INTERPOLAS	10,545	10,803	10,376	7,8723	8,643	8,985	8,586	10,53	9,952	6,708	7,474	7,26	6,649	10,63	8,217	10,98	10,801	10,35	10,261	7,084

Gambar 3. 9: Nilai drift Gedung 4 lantai.

Incremental Dynamic Analysis (IDA)



Gambar 3. 10: Grafik IDA gedung 4 lantai

3.4 Desain Baja

Desain yang sesuai dengan ketentuan untuk Desain Faktor Beban dan Ketahanan

(DFBT) memenuhi persyaratan : $R_u \leq R_n$

dengan

R_u = kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBT

R_n = kekuatan nominal

ϕ = faktor ketahanan

ϕR_n = kekuatan desain

3.4.1 Kekuatan Tarik

Untuk leleh tarik pada penampang bruto : $P_n = F_y A_g$ (3.1a)

Untuk keruntuhan tarik pada penampang neto : $P_n = F_u A_e$ (3.1b)

3.4.2 Kekakuan Tekan

Kekuatan tekan nominal, $P_n = F_{cr} A_g$ (3.2)

Dimana, Tegangan kritis, F_{cr} ditentukan pada Bab E SNI 1729:2020

Momen lentur nominal, M_n , harus diperoleh dari nilai terendah keadaan batas:

- 1) Lelah (momen plastis)

$$M_n = M_p \quad (3.3a)$$

$$M_{nx} = F_y Z_x \text{ dan } M_{ny} = F_y Z_y \quad (3.3b)$$

- 2) Tekuk torsi lateral (mengikuti pasal F SNI 1729:2020).

3.4.3 Luas Neto Efektif

$A_e = A_n U$ dengan U = faktor lag geser (3.4)

Keterangan :

A_e = luas neto efektif, in.2 (mm²)

A_g = luas bruto dari komponen struktur, in.2 (mm²)

A_n = luas neto dari komponen struktur, in.2 (mm²)

F_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi, ksi (MPa)

F_u = kekuatan tarik minimum terspesifikasi, ksi (MPa)

M_n = kuat lentur nominal

$$M_y = \beta M_{p,exp} = \beta Z R_y F_y \quad (3.5)$$

Keterangan:

R_y : penyesuaian dari kekuatan leleh baja nominal yang diharapkan. Untuk sambungan balok standar, $\beta = 1,2$ dan untuk sambungan penampang balok tereduksi (RBS), $\beta = 1,1$.

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 Analisis Struktur.

3.6.2 Kekakuan Elastis (Ke)

Sendi balok bisa dimodelkan sebagai plastis kaku di mana sendi dimodelkan dengan kekakuan elastis terbatas tetapi besar. Apabila sendi panjang-nol dimodelkan dengan kekakuan elastik terbatas, direkomendasikan untuk membuat kekakuan sendi awal, K_e , relatif besar terhadap keseluruhan balok. Ini dapat dinyatakan sebagai:

$$K_e = \alpha_e EI / L \quad (3.6)$$

dimana EI dan L adalah kekakuan penampang dan panjang balok, dan α_e adalah koefisien kekakuan.

3.6.3 Momen Puncak (M_u^*)

Momen Puncak (M_u^*) Kekuatan puncak meningkat di atas momen luluh efektif karena pengerasan siklik sebagai berikut:

$$(M_u^*) = 1.15M_y \quad (3.7)$$

3.6.4 Kapasitas Rotasi (θ_p)

- Rotasi plastis (θ_p)

Rotasi plastis siklik pra-puncak (θ_p^*) (rad), dapat ditentukan sebagai berikut:

untuk balok standar (non-RBS):

$$\theta_p^* = 0.3 \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-0.3} \left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^{-1.7} \left(\frac{L_b}{r_y}\right)^{-0.2} \left(\frac{L}{d}\right)^{1.1} \quad (\text{COV} = 0.34) \quad (3.8a)$$

untuk balok RBS (*Reduced Beam Section*/penampang balok direduksi):

$$\theta_p^* = 0.55 \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-0.5} \left(\frac{bf}{2t_f}\right)^{-0.7} \left(\frac{L_b}{r_y}\right)^{-0.5} \left(\frac{L}{d}\right)^{0.8} \quad (\text{COV} = 0.42) \quad (3.8b)$$

dimana L_b/r_y adalah panjang yang tidak terikat secara lateral dibagi dengan yang lemah-radius sumbu rotasi.

- Rotasi pasca-puncak (θ_{pc})

Rotasi plastis pra-puncak siklik, θ_p^* (rad), dapat ditentukan sebagai berikut:

untuk balok standar (non-RBS):

$$\theta_{pc}^* = 24.0 \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-0.9} \left(\frac{bf}{2t_f}\right)^{-0.2} \left(\frac{L_b}{r_y}\right)^{-0.5} \quad (\text{COV} = 0.45) \quad (3.9a)$$

Untuk balok RBS:

$$\theta_{pc}^* = 20.0 \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-0.8} \left(\frac{bf}{2t_f}\right)^{-0.1} \left(\frac{L_b}{r_y}\right)^{-0.6} \quad (\text{COV} = 0.31) \quad (3.9b)$$

a. Gaya Residu (M_r^*)

Gaya Residu siklik untuk balok RBS dan non-RBS dapat diasumsikan sebagai: $(M_r^*) = 0.3 M_y$.

b. Rotasi Ultimate (θ_{ult}^*)

Kapasitas rotasi plastis ultimit kemungkinan besar akan dikendalikan oleh fraktur daktail. Berdasarkan data uji siklik yang tersedia, rotasi ultimit di bawah pembebanan siklik sama dengan $(\theta_{ult}^*) = 0.08$ (radian) dengan $\text{COV} = 0,3$.

c. Batasan Penggunaan Persamaan

Berdasarkan data yang tersedia yang digunakan dalam kalibrasi, kisaran penerapan yang disarankan dari persamaan di atas adalah sebagai berikut:

$$20 \leq h / t_w \leq 55$$

$$4 \leq bf / 2t_f \leq 8$$

$$20 \leq L_b / r_y \leq 65$$

$$2.5 \leq L / d \leq 7$$

$$4 \leq d \leq 36 \text{ untuk balok standar; } 21 \leq d \leq 36 \text{ untuk balok RBS.}$$

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Model Linier Dan Nonlinier

Pada bab ini akan membahas hasil analisa linier dan nonlinier oleh Program Analisa Struktur diantaranya, perioda getar, nilai simpangan dan gaya-gaya dalam struktur gedung, berdasarkan model dengan Sistem Rangka Bresing Konsentris (SRBK) pada 3 model yaitu 4, 8, dan 16 lantai. 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 1726:2019, analisa yang dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 100% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC (*Complete Quadratic Combination*) atau SRSS (*Square Root of the Sum of Square*), dengan syarat:

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

Untuk perhitungan tertera pada Lampiran 7.3.

4.2.2 Koreksi Gempa Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.4.1, Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , dimana V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung sesuai pasal ini dan 7.8, dan V_t adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam.

$$\frac{V}{V_t} \geq 1 \quad (4.1)$$

Dimana:

V = Gaya geser dasar statik ekuivalen

V_t = Gaya geser hasil kombinasi ragam

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

Model Struktur	Arah Gempa	V (Statik Ekuivalen) KN	V _t (Kombinasi Ragam) KN
4 Lantai	Y	6066.43	5463.49
8 Lantai	Y	8177.90	7177.72
16 Lantai	Y	5216.63	5208.72

Untuk perhitungan tertera pada Lampiran 7.5.

4.2.3 Koreksi Faktor Redundansi

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.3.4.2, untuk kategori desain seismik D maka nilai faktor redundansi yang digunakan adalah ρ 1,3. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau. Hasil koreksi untuk setiap gaya geser diperoleh 1 lantai pada model 1 yang tidak memenuhi syarat 35% gaya geser dasar. Untuk perhitungan terdapat pada Lampiran 7.6.

4.2.4 Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Nilai V dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (V_t) dapat dilihat pada tabel 4.1. kontrol koreksi skala simpangan antar tingkat yaitu:

Syarat : $V_t \geq C_s \cdot W$

Tabel 4. 2 Nilai koreksi skala simpangan antar tingkat

Model Struktur	Arah Gempa	V _t (kN)	C _s . W (kN)	Kontrol
4 Lantai	Y	5463.49	6066.43	NOT OK
8 Lantai	Y	7177.72	8177.90	NOT OK
16 Lantai	Y	5208.72	5216.63	NOT OK

Dikarenakan syarat skala simpangan antar tingkat belum terpenuhi, yaitu gaya geser dasar respon spektrum (V_t) lebih besar dari nilai $C_s.W$, maka sesuai SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.4.1 maka simpangan harus dikali dengan $C_s.W/V_t$. Untuk perhitungan dapat dilihat pada lampiran 7.10.

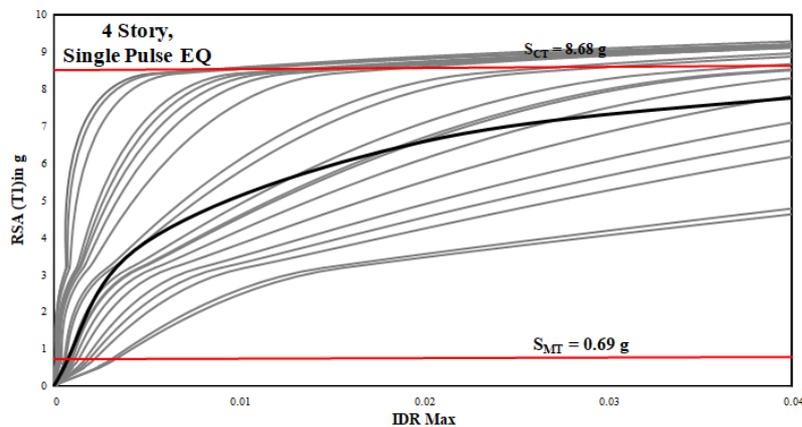
4.2.5 Nilai Simpangan Gedung

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2019, Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan pada pasal 7.12.1 dari Tabel 20 SNI 1726:2019 untuk semua tingkat. Simpangan antar lantai yang diizinkan yaitu 0,02 dikali tinggi lantai (h_{sx}), nilai simpangan tidak boleh melebihi ketentuan tersebut. Pada hasil yang diperoleh, nilai simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin atau memenuhi syarat. Untuk perhitungan terdapat pada lampiran 7.7.

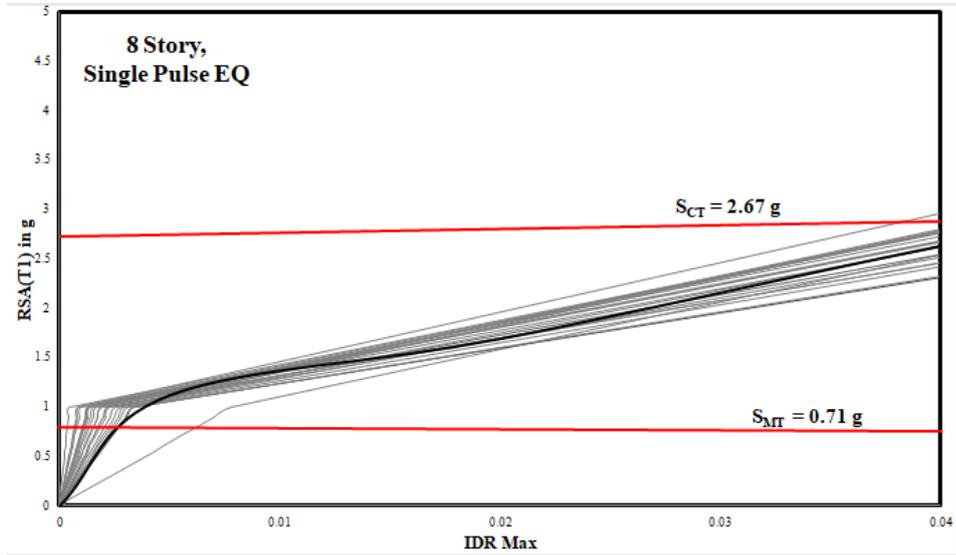
4.3 Hasil Analisa Nonlinier

4.3.1 Incremental Dynamic Analysis (IDA)

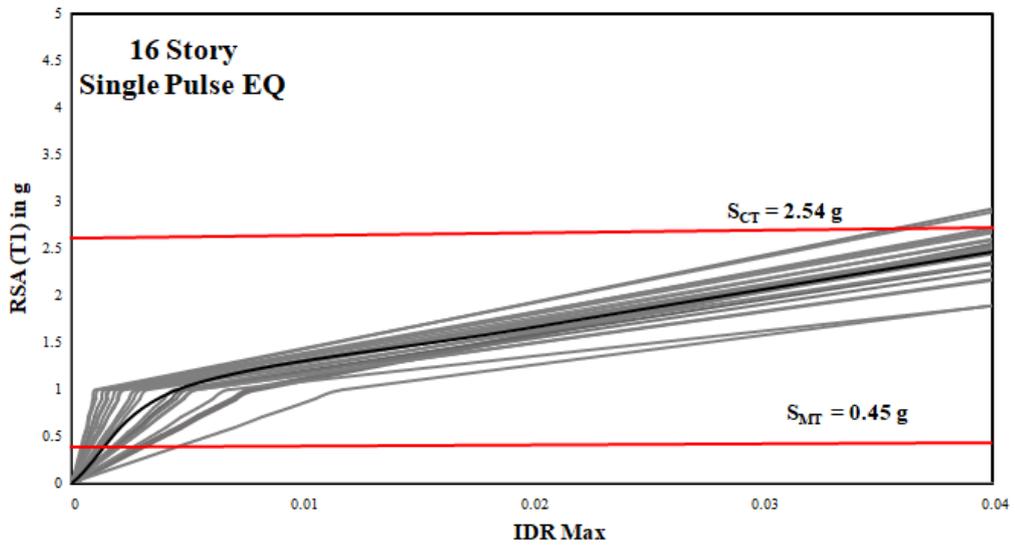
Incremental Dynamic Analysis (IDA) yang dilakukan pada model struktur menghasilkan gambaran respon dan kapasitas dari struktur yang selanjutnya dapat digunakan untuk membentuk kurva keruntuhan struktur. Analisis IDA menggunakan 20 bentuk rekaman gempa dapat dilihat pada Gambar 4.1 dibawah ini.



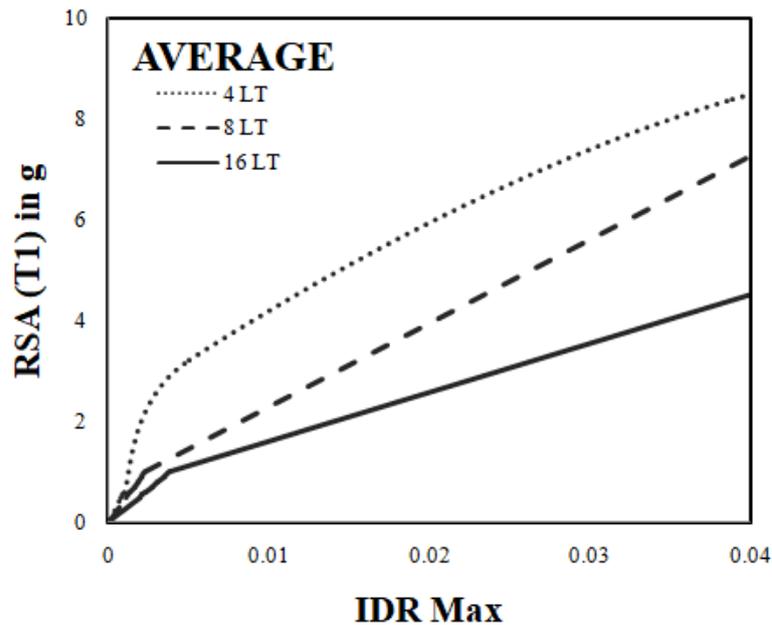
(a)



(b)



(c)



(d)

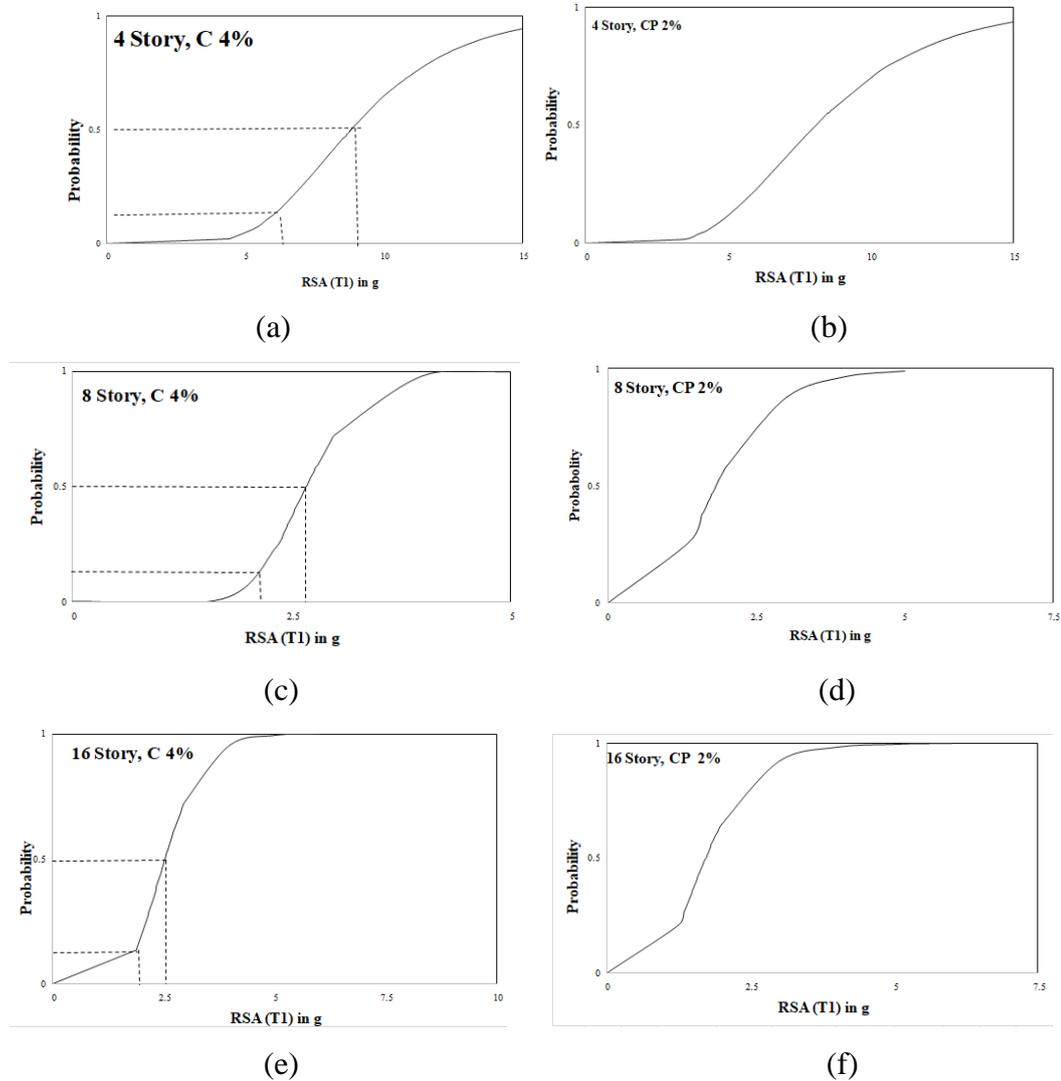
Gambar 4.1 Nilai rata-rata IDA (*Incremental Dynamic Analysis*) untuk struktur baja dengan bresing konsentris pada: (a) 4 lantai, (b) 8 lantai, (c) 16 lantai dan (d) Nilai rata-rata IDA untuk lantai 4, 8 dan 16 lantai.

Pada gambar a, b, dan c menunjukkan nilai IDR yang dianalisis berdasarkan 20 rekaman gempa *pulse* terhadap 3 jenis tingkat (4, 8, dan 16 lantai). Nilai rata-rata untuk setiap tingkat yang terdapat pada garis hitam tebal untuk setiap grafiknya, dan besaran nilai S_{CT} dan S_{MT} (yang bergaris merah). Dapat dilihat bahwa rentang nilai S_{CT} dan S_{MT} bervariasi pada ketiga jenis model struktur, dimana diperoleh nilai rentang 80% untuk 4 lantai, kemudian untuk lantai 8 dan 16 diperoleh rentang nilai berturut-turut 40% dan 35%. Sementara, nilai rata-rata IDR max untuk setiap tingkat dilakukan perbandingan yang dapat dilihat pada gambar d, dimana nilai RSA yang diperoleh pada 4 lantai yaitu 8.68 g untuk kategori *collapse* (4%), nilai ini 3 kali lebih besar dibandingkan 8 dan 16 lantai yaitu 2.67g dan 2.54 g untuk *collapse*.

4.3.2 Analisis *Probability of Exceedance*

Dari proses *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) didapatkan nilai IDR ratio pada RSA tertentu yang kemudian akan digunakan dalam menganalisa probabilitas keruntuhan struktur gedung terhadap nilai RSA. Hasil Probabilitas

keruntuhan struktur untuk ketiga model dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah ini.

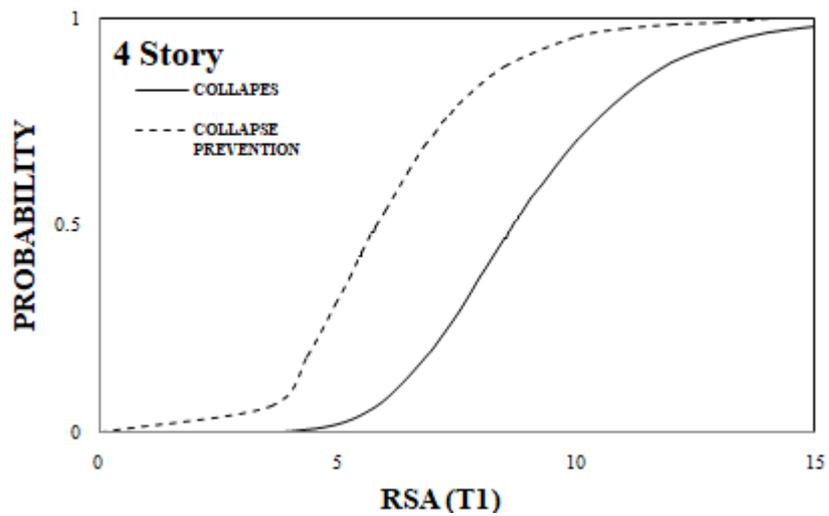


Gambar 4.2: (a) Grafik probabilitas collapse keruntuhan 4 lantai, b) Grafik probabilitas collapse prevention keruntuhan 4 lantai, c) Grafik probabilitas collapse keruntuhan 8 lantai, d) Grafik probabilitas collapse prevention keruntuhan 8 lantai, e) Grafik probabilitas collapse keruntuhan 16 lantai, f) Grafik probabilitas collapse prevention keruntuhan 16 lantai.

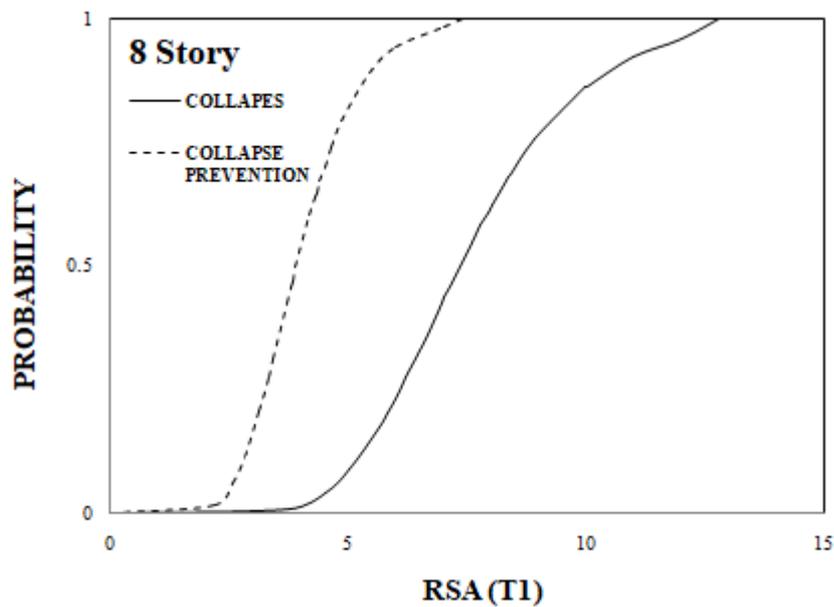
Pada gambar diatas menunjukkan nilai probabilitas dan sebaran data untuk *collapse* dan *collapse prevention* dimana disetiap titik sebaran menunjukkan besarnya persentase untuk ketiga jensi kategori pada RSA tertentu dari 20 gempa yang dianalisis.

4.3.2.1 Perbandingan Kurva kerapuhan C/CP

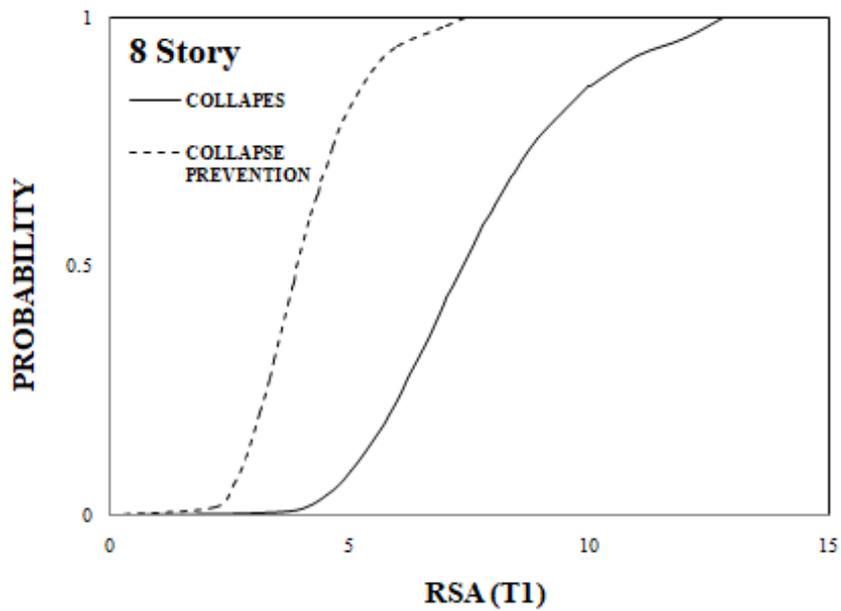
Dari kurva kerapuhan diatas sangat jelas bahwasannya secara garis besar pemodelan gedung 4 lantai membutuhkan RSA yang lebih besar dibandingkan dengan model gedung yang lain, artinya semakin kaku gedung maka membutuhkan RSA yang lebih besar. Nilai perbandingan kurva kerapuhan Collapse dengan Collapse Prevention dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 3: Grafik perbandingan kurva kerapuhan saat collapse dan collapse prevention untuk bangunan: (a) 4 lantai, (b) 8 lantai, dan (c) 16 lantai.

Pada gambar a, b dan c merupakan perbandingan kurva kerapuhan saat *collapse* dan *collapse prevention* untuk 3 jenis tingkat (4, 8 dan 16 lantai). Nilai RSA *collapse* lebih kecil dibandingkan dengan *collapse prevention* dari ketiga jenis tingkat.

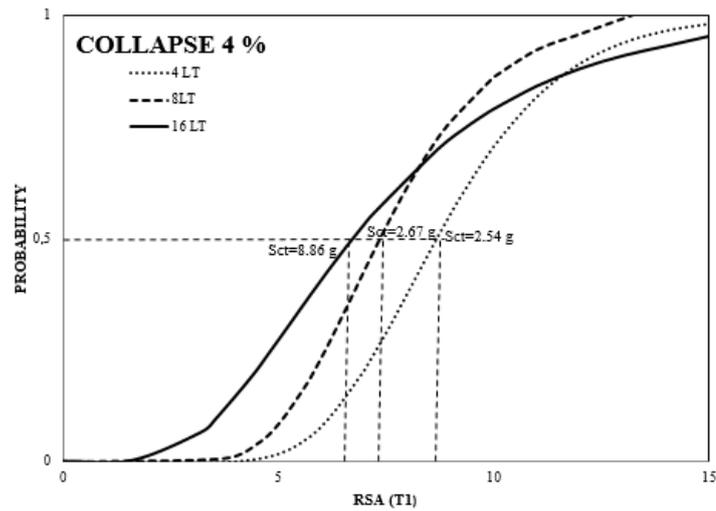
Tabel 4.3: Nilai RSA (T1) untuk kondisi collapse (4%) dan kondisi collapse prevention (2%).

<i>Collapse</i>			<i>Collapse Prevention</i>		
4 Story	8 Story	16 Story	4 Story	8 Story	16 Story
8.8216601	2.670562	2.536488	8.07826	1.80423	1.70725911

Dari Tabel 4.3 di atas menunjukkan 4 *Story* memiliki RSA terbesar yaitu 8,23 untuk terjadi *collapse* dan 8,08 untuk terjadi *collapse prevention*, kemudian 8 *Story* dengan RSA sebesar 2,67 untuk *collapse* dan 1,804 untuk *collapse prevention*, dan 16 *Story* memiliki RSA terkecil pada saat *collapse* yaitu 2,54 dan 1,71 untuk *collapse prevention*.

4.3.3 Analisis *Probability of Collapse*

Dari proses *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) didapatkan nilai IDR ratio pada RSA tertentu yang kemudian akan digunakan dalam menganalisa probabilitas keruntuhan struktur gedung terhadap nilai RSA. Hasil Probabilitas keruntuhan struktur dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini.

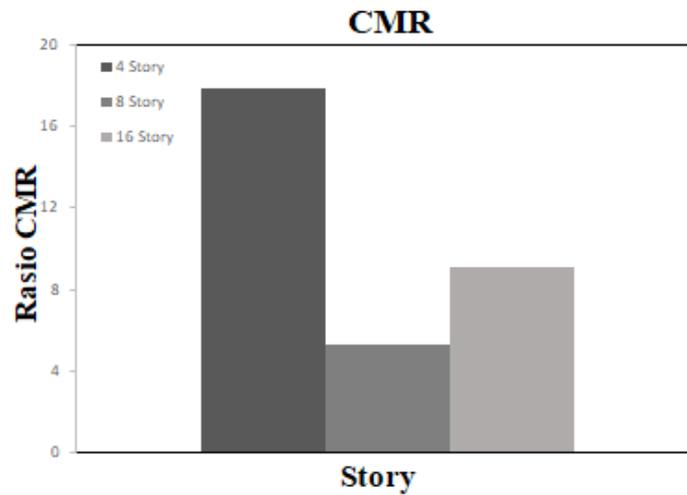


Gambar 4. 4: Grafik *Probability of Collapse* untuk model 4, 8 dan 16 lantai.

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa nilai *probability of collapse* pada 4 lantai adalah 8,68 g, untuk 8 lantai adalah 2,67 g dan 16 lantai adalah 2.54 g.

4.3.4 *Collapse Margin Ratio (CMR)*

Setelah diperoleh nilai *probability of collapse* disetiap mode pada nilai mediannya, maka selanjutnya dilakukan analisa *collapse margin ratio* dengan membandingkan nilai median pada *probability of collapse* dengan percepatan *spektra MCE*. Perbandingan hasil *collapse margin ratio* dapat dilihat pada grafik dibawah ini. Maka dapat dilakukan perbandingan nilai *collapse margin ratio* pada setiap model.



Tabel 4.4: Diagram batang *Collapse Margin Ratio* nilai perbandingan 4, 8 dan 16 lantai.

Pada gambar diagram batang diatas dapat dilihat bahwa nilai CMR paling tinggi terdapat pada model bangunan 4 lantai berturut-turut dengan 16 lantai dan 8 lantai.

Tabel 4.5: Nilai perbandingan rasio collapse margin ratio untuk masing-masing lantai.

Story	Results					CEK
	Ω_0	μ_T	CMR	SSF	ACMR	
4	2	8.00	12.52	1.44	17.83	OK
8	2	4.23	3.76	1.41	5.26	OK
16	2	4.23	5.63	1.61	9.04	OK

Berdasarkan tabel 4.4 terdapat nilai perbandingan *collapse margin ratio* untuk ketiga model bangunan, dimana nilai CMR terbesar ada pada 4 lantai kemudian 16 lantai dan 8 lantai. Dapat dilihat bahwa hasil rsa yg diperoleh pada 8 lt tidak berada di antara 4 dan 16 seperti yang diprediksi sebelumnya, hal itu bisa saja terjadi disebabkan adanya distribusi respon yang berbeda dari struktur 8 lantai ketika mengalami gaya gempa dan menghasilkan nilai rsa c atau cp yang diperoleh lebih kecil dibandingkan yang 4 lantai dan 16 lantai atau nilainya tidak berada di antara dua struktur lain yang dianalisis.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis linear dan nonlinear yaitu pembahasan mengenai perbandingan simpangan antar tingkat dan simpangan atap Sistem Rangka Berbresing Konsentris (SRBK) terhadap berbagai metode modifikasi penskalaan rekaman gempa, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari kurva IDA kita dapat melihat bahwa gedung 4 lantai memiliki kinerja keruntuhan yang paling baik dari ketiga model, dimana gedung 4 lantai tersebut membutuhkan RSA yang besar untuk mengalami keruntuhan. Sedangkan, gedung 8 lantai dan 16 lantai memiliki kinerja keruntuhan yang hampir sama sekitar 3 kali lebih kecil dibandingkan gedung 4 lantai. Dapat dikatakan bahwa gedung 8 lantai dan 16 lantai masih rentan mengalami keruntuhan.
2. Hasil CMR menunjukkan bahwa ketiga model telah memenuhi parameter syarat ACMR yang mana untuk gedung 4 lantai memiliki nilai 17,83, untuk 8 lantai dengan nilai 5,26, dan 16 lantai memiliki nilai 9,04 dimana nilai-nilai tersebut telah melebihi nilai 1,52.

5.2 Saran

1. Dalam Tugas Akhir ini, jika terdapat hasil yang kurang sesuai pada analisa linier dan nonlinier diharapkan agar dapat diskusi dengan penulis. Apabila nilai yang didapatkan jauh dari hasil yang ada.
2. Diharapkan Tugas Akhir ini dapat diteruskan atau dievaluasi kembali dalam rangka mendapatkan hasil yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- ATC. 2009. "Quantification of building seismic performance factors." *Fema P695*, no. June: 421.
- Dewi, Shanty Kusuma, dan Dyah Maslahatul Ummah. 2019. "Perbaikan Kualitas Pada Produk Genteng Dengan Metode Six Sigma." *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri* 14 (2): 87. <https://doi.org/10.14710/jati.14.2.87-92>.
- Han, Sang Whan, Tae O. Kim, dan Seong Jin Baek. 2018. "Seismic performance evaluation of steel ordinary moment frames." *Earthquake Spectra* 34 (1): 55–76. <https://doi.org/10.1193/011117EQS010M>.
- Hutahaean, Santi Gloria, dan Aswandy Aswandy. 2016. "Kajian Pemakaian Shear Wall dan Bracing pada Gedung Bertingkat." *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil* 2 (4): 100.
- Pawirodikromo, Widodo. 2012. "Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan." *Yogyakarta: Pustaka Pelajar*.
- Pudjisuryadi, Pamuda, Debby Kurnia Dewi, Adi Susanto, dan Benjamin Lumantarna. 2006. "Studi Tentang Daktilitas Struktur pada Sistem Shearwall Frame dengan Belt Truss." *Civil Engineering Dimension* 8 (1): 41–46.
- Sabelli, Rafael, Charles W Roeder, dan Jerome F Hajjar. 2013. "Seismic design of steel special concentrically braced frame systems." *NEHRP, Gaithersburg, USA, Seismic Design Technical Brief* 8.
- Sepasdar, R., Mo R. Banan, dan Ma R. Banan. 2020. "A Numerical Investigation on the Effect of Panel Zones on Cyclic Lateral Capacity of Steel Moment Frames." *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering* 44 (2): 439–48. <https://doi.org/10.1007/s40996-019-00274-y>.
- Siswanto, Agus Bambang. 2018. "Kriteria Dasar Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa." *Jurnal Teknik Sipil* 11: 59–72.
- Ün, Elif Müge, Musab Aied Qissab Al-Janabi, dan Cem Topkaya. 2022. "Seismic performance evaluation of eccentrically braced frames with long links using FEMA P695 methodology." *Engineering Structures* 258 (March): 114104. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114104>.
- Zhang, Yantai, dan Zheng He. 2020. "Acceptable values of collapse margin ratio with different confidence levels." *Structural Safety* 84 (April 2017): 101938. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2020.101938>.
- Sni 1726:2019. (2019). Sni 1726:2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan*

Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung, 8, 254.

Suswanto, B., Rafael, J., & Sutrisno, W. (2018). *Sistem Struktur Eccentrically Braced Frames*. Surabaya.

LAMPIRAN

7.1 Perhitungan Pembebanan Struktur

Dalam Tugas Akhir ini, tipe beban yang digunakan untuk tiga model (4 lantai, 8 lantai, dan 16 lantai) adalah beban gravitasi. Adapun beban gravitasi yang bekerja pada struktur adalah sebagai berikut.

- Beban mati = 31,33 psf = 1,5 kN/m²
- Beban mati tambahan (SDL)
 - Lantai tipikal = 80 psf = 3,83 kN/m²
 - Lantai atap = 25 psf = 1,2 kN/m²
 - Beban dinding = 10 psf = 0,479 kN/m²
- Beban Hidup (Live) = 50 psf = 2,39 kN/m²

7.2 Syarat Perioda Struktur

Penentuan perioda yang digunakan untuk perhitungan gaya geser dasar dan gaya lateral statik ekuivalen adalah sebagai berikut dengan menggunakan acuan SNI 1726:2019.

- 4 Lantai

Data struktur adalah sebagai berikut:

- Tinggi lantai bawah : 5,486 m
- Tinggi lantai tipikal : 4,267 m
- H_n : 18,288 m
- C_u : 1,4
- C_t : 0,0731
- x : 0,75

Table 7.1: Kontrol perioda getar alami struktur 4 Lantai.

Arah X				
$T_{a \min} = C_t \cdot h_n^x$	$T_{a \max} = C_u \cdot T_a$	T (Etabs)	T pakai	Kontrol
0,614 s	0,859 s	0,578 s	0,614 s	Ok

Berdasarkan tabel 7.1, perioda alami struktur yang digunakan adalah harus dikontrol menggunakan $T_{a \text{ min}}$ dan $T_{a \text{ max}}$ sehingga digunakan perioda yaitu 0,614 detik pada 4 Lantai.

- 8 Lantai

Data struktur adalah sebagai berikut.

- Tinggi lantai bawah : 5,486 m
- Tinggi lantai tipikal : 4,267 m
- H_n : 35,355 m
- C_u : 1,4
- C_t : 0,0731
- x : 0,75

Table 7. 2: Kontrol perioda getar alami struktur 8 Lantai.

Arah X				
$T_{a \text{ min}} = C_t \cdot h_n^x$	$T_{a \text{ max}} = C_u \cdot T_a$	T (Etabs)	T pakai	Kontrol
1,032 s	1,445 s	1,455 s	1,445 s	Ok

Berdasarkan tabel 7.2, perioda alami struktur yang digunakan adalah harus dikontrol menggunakan $T_{a \text{ min}}$ dan $T_{a \text{ max}}$ sehingga digunakan perioda yaitu 1,445 detik pada 8 Lantai.

- 16 Lantai

Data struktur adalah sebagai berikut.

- Tinggi lantai bawah : 5,486 m
- Tinggi lantai tipikal : 4,267 m
- H_n : 69,491 m
- C_u : 1,4
- C_t : 0,0731
- x : 0,75

Table 7.3: Kontrol perioda getar alami struktur 16 Lantai.

Arah X				
$T_{a \min} = C_t \cdot h_n^x$	$T_{a \max} = C_u \cdot T_a$	T (Etabs)	T pakai	Kontrol
1,736 s	2,431 s	2,274 s	2,274 s	Ok

Berdasarkan tabel 7.3, perioda alami struktur yang digunakan adalah harus dikontrol menggunakan $T_{a \min}$ dan $T_{a \max}$ sehingga digunakan perioda yaitu 2,274 detik pada 16 Lantai.

7.3 Modal Participating Mass Ratios

- 4 Lantai

Table 7.4: Hasil output Modal Participating Mass Ratios struktur pemodelan dengan program analisa struktur (4 Lantai).

Modal Participating Mass Ratios						
Case	Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.578	0.8044	0	80%	0%
Modal	2	0.567	0	0.8041	80%	80%
Modal	3	0.35	0	0	80%	80%
Modal	4	0.219	0.1349	0	94%	80%
Modal	5	0.212	0	0.1353	94%	94%
Modal	6	0.152	0.0302	0	97%	94%
Modal	7	0.146	0	0.0305	97%	97%
Modal	8	0.13	0	0	97%	97%
Modal	9	0.121	0.0305	0	100%	97%
Modal	10	0.115	0	0.03	100%	100%
Modal	11	0.09	0	0	100%	100%
Modal	12	0.072	0	0	100%	100%

Table 7.5: Hasil selisih persentasi nilai perioda (4 Lantai).

Mode	Persentase	CQC < 15%	SRSS > 15%
1 & 2	1.903	OK	Not OK
2 & 3	38.272	Not OK	OK
3 & 4	37.429	Not OK	OK
4 & 5	3.196	OK	Not OK
5 & 6	28.302	Not OK	OK
6 & 7	3.947	OK	Not OK

Tabel 7.5: Lanjutan

Mode	Persentase	CQC < 15%	SRSS >15%
7 & 8	10.959	OK	Not OK
9 & 10	8.61	OK	Not OK
10 & 11	5.74	OK	Not OK
11 & 12	22.61	Not OK	OK

- 8 Lantai

Table 7.6: Hasil output Modal Participating Mass Ratios struktur pemodelan dengan program analisa struktur (8 Lantai).

<i>Modal Participating Mass Ratios</i>						
Case	Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY
Modal	1	1.455	0	0.7323	0%	73%
Modal	2	1.446	0.7358	0	74%	73%
Modal	3	0.919	0	0	74%	73%
Modal	4	0.491	0.1698	0	91%	73%
Modal	5	0.49	0	0.1709	91%	90%
Modal	6	0.312	0	0	91%	90%
Modal	7	0.278	0.043	0	95%	90%
Modal	8	0.275	0	0.0431	95%	95%
Modal	9	0.202	0.0256	0	97%	95%
Modal	10	0.199	0	0.0257	97%	97%
Modal	11	0.175	0	0	97%	97%
Modal	12	0.164	0.0078	0	98%	97%

Table 7.7: Hasil selisih persentasi nilai perioda (8 Lantai).

Mode	Presentasi	CQC < 15%	SRSS >15%
1 & 2	0.619	OK	Not OK
2 & 3	36.445	Not OK	OK
3 & 4	46.572	Not OK	OK
4 & 5	0.204	OK	Not OK
5 & 6	36.327	Not OK	OK
6 & 7	10.897	OK	Not OK
7 & 8	1.079	OK	Not OK
9 & 10	26.545	Not OK	OK
10 & 11	1.485	OK	Not OK
11 & 12	12.060	OK	Not OK

- 16 Lantai

Table 7.8: Hasil output Modal Participating Mass Ratios struktur pemodelan dengan program analisa struktur (16 Lantai).

<i>Modal Participating Mass Ratios</i>						
Case	Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY
Modal	1	2.274	0	0.6742	0%	67%
Modal	2	2.214	0.6794	0	68%	67%
Modal	3	1.387	0	0	68%	67%
Modal	4	0.712	0	0.1806	68%	85%
Modal	5	0.705	0.1755	0	85%	85%
Modal	6	0.435	0	0	85%	85%
Modal	7	0.381	0	0.0591	85%	91%
Modal	8	0.381	0.0585	0	91%	91%
Modal	9	0.256	0.0264	0	94%	91%
Modal	10	0.255	0	0.0267	94%	94%
Modal	11	0.233	0	0	94%	94%
Modal	12	0.198	0.0168	0	96%	94%

Table 7.9: Hasil selisih persentasi nilai perioda (16 Lantai).

Mode	Persentasi	CQC < 15%	SRSS >15%
1 & 2	2.639	OK	Not OK
2 & 3	37.353	Not OK	OK
3 & 4	48.666	Not OK	OK
4 & 5	0.983	OK	Not OK
5 & 6	38.298	Not OK	OK
6 & 7	12.414	OK	Not OK
7 & 8	0.000	OK	Not OK
9 & 10	32.808	Not OK	OK
10 & 11	0.391	OK	Not OK
11 & 12	8.627	OK	Not OK

7.4 Berat Sendiri Struktur

- 4 Lantai

Table 7.10: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Etabs).

TABLE: Mass Summary by Story	
Story	UX
	Kg
Story4	485678.89
Story3	1061483.71
Story2	1067842.77
Story1	1099133.42
Total	3714138.79

Dari hasil perhitungan Etabs diatas, total dari berat keseluruhan gedung dan termasuk beban yang ada pada 4 Lantai adalah 3.714.138.79Kg

- 8 Lantai

Table 7.11: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Etabs).

TABLE: Mass Summary by Story	
Story	UX
	Kg
Story8	567750.94
Story7	1410310.39
Story6	1422968.01
Story5	1420524.2
Story4	1431055.87
Story3	1426426.82
Story2	1444030.71
Story1	1461094.96
Total	10584161.9

Dari hasil perhitungan Etabs diatas, total dari berat keseluruhan gedung dan termasuk beban yang ada pada 8 Lantai adalah 10.584.161.9Kg

- 16 Lantai

Table 7.12: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Etabs).

TABLE: Mass Summary by Story	
Story	UX
	Kg
Story16	439791.76
Story15	644593.99
Story14	645589.5
Story13	656931.11
Story12	653727.48
Story11	660627.84
Story10	660640.06
Story9	670757.78
Story8	671298.98
Story7	681929.78
Story6	682065.34
Story5	692263.93
Story4	698702.72
Story3	700212.18
Story2	715929.39
Story1	747767.61
Total	10622829

Dari hasil perhitungan Etabs diatas, total dari berat keseluruhan gedung dan termasuk beban yang ada pada 16 Lantai adalah 10.622.829Kg

7.5 Perhitungan Gaya Geser Dasar dan Gaya Lateral Statik Ekuivalen

Menghitung gaya geser dasar untuk mendapatkan hasil gaya lateral statik ekuivalen, dimana mengacu pada peraturan SNI 1726:2019.

- 4 Lantai

Data Struktur :

- S_{D1} : 0,684 g
- S_{Ds} : 1,0 g
- R : 6
- I_e : 1

– S_1 : 0,6033 g

❖ Cs Hitung : $C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$
: 0,167

❖ Cs Max : $C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$
: 0,186

❖ Cs Min : $C_{s \min} = \frac{0.5 \times S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$
: 0,044

Table 7.13: Nilai Cs untuk 4 Lantai (R=6).

Arah X				
Arah X	Cs Hitung	Cs Minimum	Cs Maksimum	Cs Pakai
	0,167 s	0,044 s	0,186 s	0.167 s

Pada SNI 1726:2019, penentuan nilai C_s yaitu C_s hitung harus berada diantara $C_s \min$ dan $C_s \max$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung 4 Lantai adalah :

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,167 \times 36398,56 \text{ KN}$$

$$V = 6066,43 \text{ KN}$$

Ket : $W_t = 3714138.79 \text{ Kg} \times 0,0098$

$$W_t = 36398,56 \text{ KN}$$

❖ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2019 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.

Table 7.14: Penentuan nilai k

Distribusi Beban Gempa	
Periode	K
0.5	1
2.5	2
0,5-2,5	Interpolasi

Hasil interpolasi dari kedua periode adalah 1.073, maka nilai k yang digunakan adalah 1.073.

Table 7.15: Nilai story shear untuk gaya lateral statik ekuivalen 4 Lantai.

Arah X					
Lantai	Berat (kg) W_x	Tinggi Lantai h_x	$W_x \cdot h_x^k$	Force	Story Shear (F_x)
Story 4	4759.65	18.288	107678.27	1383.51	1383.51
Story 3	10402.54	14.02	176949.32	2273.54	3657.05
Story 2	10464.86	9.753	120585.02	1549.34	5206.40
Story 1	10771.51	5.486	66935.79	860.03	6066.43
Hasil	36398.56		472148.41		

Berdasarkan Tabel 7.15 diatas, dapat dilihat bahwasanya nilai gaya geser pada lantai 1 untuk struktur 4 Lantai adalah 6066.43 KN.

- 8 Lantai

Data Struktur :

- S_{D1} : 0,684 g
- S_{DS} : 1,0 g
- R : 6
- I_e : 1
- S_1 : 0,6033 g

$$\begin{aligned} \text{❖ Cs Hitung} : C_s &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &: 0,167 \\ \text{❖ Cs Max} : C_{S \max} &= \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &: 0,079 \\ \text{❖ Cs Min} : C_{S \min} &= \frac{0,5 \times S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &: 0,044 \end{aligned}$$

Table 7.16: Nilai Cs untuk 8 Lantai (R=6).

Arah X				
Arah X	Cs Hitung	Cs Minimum	Cs Maksimum	Cs Pakai
	0,167 s	0,044 s	0,079 s	0.079 s

Pada SNI 1726:2019, penentuan nilai C_s yaitu C_s hitung harus berada diantara $C_s \min$ dan $C_s \max$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung 8 Lantai adalah :

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,079 \times 103724,79 \text{ KN}$$

$$V = 8123,33 \text{ KN}$$

$$\text{Ket : } W_t = 10584161,9 \text{ Kg} \times 0,0098$$

$$W_t = 103724,79 \text{ KN}$$

❖ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2019 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.

Table 7.17: Penentuan nilai k .

Distribusi Beban Gempa	
Periode	K
0.5	1
2.5	2
0,5-2,5	Interpolasi

Hasil interpolasi dari kedua periode adalah 1.478, maka nilai k yang digunakan adalah 1.478.

Table 7.18: Nilai story shear untuk gaya lateral statik ekuivalen 8 Lantai.

Arah X					
Lantai	Berat (kg) W_x	Tinggi Lantai h_x	$W_x \cdot h_x^k$	Force	Story Shear (F_x)
Story 8	5563.96	35.355	1079493.56	997.47	997.47
Story 7	13821.04	31.088	2217413.15	2048.94	3046.41
Story 6	13945.09	26.821	1798841.82	1662.17	4708.58
Story 5	13921.14	22.554	1390152.82	1284.53	5993.11
Story 4	14024.35	18.287	1027302.06	949.25	6942.35
Story 3	13978.98	14.02	691505.70	638.97	7581.32
Story 2	14151.50	9.753	409500.31	378.39	7959.71
Story 1	14318.73	5.486	177074.07	163.62	8123.33
Hasil	103724.79		8791283.48		

Berdasarkan Tabel 7.18 diatas, dapat dilihat bahwasanya nilai gaya geser pada lantai 1 untuk struktur 8 Lantai adalah 8123.33KN.

- 16 Lantai

Data Struktur :

- S_{D1} : 0,684 g
- S_{Ds} : 1,0 g
- R : 6
- I_e : 1
- S_1 : 0,6033 g

$$\begin{aligned} \text{❖ Cs Hitung : } C_s &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &: 0,167 \\ \text{❖ Cs Max : } C_{s \max} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &: 0,050 \\ \text{❖ Cs Min : } C_{s \min} &= \frac{0,5 \times S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &: 0,044 \end{aligned}$$

Table 7.19: Nilai Cs untuk 16 Lantai (R=6).

Arah X				
Arah X	Cs Hitung	Cs Minimum	Cs Maksimum	Cs Pakai
	0,167 s	0,044 s	0,050 s	0.050 s

Pada SNI 1726:2019, penentuan nilai C_s yaitu C_s hitung harus berada diantara $C_s \min$ dan $C_s \max$.

Maka gaya geser dasar struktur gedung 16 Lantai adalah :

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,050 \times 104103,73 \text{ KN}$$

$$V = 5216,63 \text{ KN}$$

$$\text{Ket : } W_t = 10622829,45 \text{ Kg} \times 0,0098$$

$$W_t = 104103,73 \text{ KN}$$

❖ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2019 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.

Table 7.20: Penentuan nilai k .

Distribusi Beban Gempa	
Periode	K
0.5	1
2.5	2
0,5-2,5	Interpolasi

Hasil interpolasi dari kedua periode adalah 1.887, maka nilai k yang digunakan adalah 1.887.

Table 7.21: Nilai story shear untuk gaya lateral statik ekuivalen 16 Lantai.

Arah X					
Lantai	Berat (kg) W_x	Tinggi Lantai h_x	$W_x \cdot h_x^k$	Force	Story Shear (F_x)
Story 16	4309.96	69.491	12888202.74	598.21	598.21
Story 15	6317.02	65.224	16760969.92	777.97	1376.18
Story 14	6326.78	60.957	14774814.57	685.78	2061.96
Story 13	6437.92	56.69	13110298.77	608.52	2670.48
Story 12	6406.53	52.423	11255391.01	522.42	3192.90
Story 11	6474.15	48.156	9690457.10	449.79	3642.68
Story 10	6474.27	43.889	8134224.59	377.55	4020.24
Story 9	6573.43	39.622	6809226.32	316.05	4336.29
Story 8	6578.73	35.355	5496279.39	255.11	4591.40
Story 7	6682.91	31.088	4380143.25	203.31	4794.71
Story 6	6684.24	26.821	3315769.39	153.90	4948.61
Story 5	6784.19	22.554	2426781.45	112.64	5061.25
Story 4	6847.29	18.287	1648850.73	76.53	5137.78
Story 3	6862.08	14.02	1000850.56	46.45	5184.24
Story 2	7016.11	9.753	515941.07	23.95	5208.19
Story 1	7328.12	5.486	181956.86	8.45	5216.63
Hasil	104103.73		112390157.72		

Berdasarkan Tabel 7.21 diatas, dapat dilihat bahwasanya nilai gaya geser pada lantai 1 untuk struktur 16 Lantai adalah 5216.63KN.

7.6 Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear*

Table 7.22: Hasil analisa koreksi *story shear* dengan 35% *base shaer* dengan redundansi 1,3, dan nilai R=6, untuk 4 Lantai.

Story	V _x	35% Base Shear	Kontrol
4	1292.44	1912.22	OK
3	3387.46	1912.22	OK
2	4770.57	1912.22	OK
1	5463.49	1912.22	OK
Base	0	0	OK

Table 7.23: Hasil analisa koreksi *story shear* dengan 35% *base shaer* dengan redundansi 1,3, dan nilai R=8, Untuk 8 Lantai.

Story	V _x	35% Base Shear	Kontrol
8	910.44	2.512,20	TIDAK OK
7	2768.17	2.512,20	OK
6	4261.82	2.512,20	OK
5	5401.72	2.512,20	OK
4	6228.37	2.512,20	OK
3	6767.72	2.512,20	OK
2	7068.20	2.512,20	OK
1	7177.72	2.512,20	OK
Base	0	0	OK

Table 7.24: Hasil analisa koreksi *story shear* dengan 35% *base shaer* dengan redundansi 1,3, dan nilai R=6, Untuk 16 Lantai.

Story	V _x	35% Base Shear	Kontrol
16	601.66	1823,05	TIDAK OK
15	1383.89	1823,05	TIDAK OK
14	2073.11	1823,05	OK
13	2684.27	1823,05	OK
12	3208.45	1823,05	OK
11	3659.12	1823,05	OK

Tabel 7.24: Lanjutan

Story	V _x	35% Base Shear	Kontrol
10	4036.70	1823,05	OK
9	4351.93	1823,05	OK
8	4605.43	1823,05	OK
7	4806.39	1823,05	OK
6	4957.35	1823,05	OK
5	5066.57	1823,05	OK
4	5139.40	1823,05	OK
3	5182.18	1823,05	OK
2	5202.78	1823,05	OK
1	5208.72	1823,05	OK
Base	0	0	OK

7.7 Nilai Simpangan Gedung

Table 7.25: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk 4 Lantai.

Story	Combo	Dir ecti on	δ_{ex}	$\delta_{xe} = (\delta_{ex} - \delta_{ex-1})$	$\Delta_x = \delta_{xe} \frac{C_{dx}}{I_e}$	h_{sx}	$\Delta_{ijin} =$ 0.020 h_{sx}	Cek
			(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	
Lantai 4	Envelope	Y	22.768	4.087	20.435	4267	85.4	OK
Lantai 3	Envelope	Y	18.681	6.790	33.95	4267	85.4	OK
Lantai 2	Envelope	Y	11.891	7.087	35.435	4267	85.4	OK
Lantai 1	Envelope	Y	4.804	4.804	24.02	5486	109.7	OK

Berdasarkan Tabel 7.25 diatas, seluruh simpangan antar tingkat sudah memenuhi syarat aman, dengan angka izin $\Delta_{ijin} = 0.020 h_{sx}$.

Table 7.26: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk 8 Lantai.

Story	Combo	Direction	δ_{ex}	$\delta_{xe} = (\delta_{ex} - \delta_{ex-1})$	$\Delta_x = \delta_{xe} \frac{C_{dx}}{I_e}$	h_{sx}	$\Delta_{ijin} = 0.020 h_{sx}$	Cek
			(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	
Lantai 8	Envelope	Y	75.296	7.305	36.525	85.4	75.296	OK
Lantai 7	Envelope	Y	67.991	10.252	51.26	85.4	67.991	OK
Lantai 6	Envelope	Y	57.739	11.659	58.295	85.4	57.739	OK
Lantai 5	Envelope	Y	46.080	12.370	61.85	85.4	46.080	OK
Lantai 4	Envelope	Y	33.710	10.953	54.765	85.4	33.710	OK
Lantai 3	Envelope	Y	22.757	9.447	47.235	85.4	22.757	OK
Lantai 2	Envelope	Y	13.310	8.153	40.765	85.4	13.310	OK
Lantai 1	Envelope	Y	5.157	5.157	25.785	109.72	5.157	OK

Berdasarkan Tabel 7.26 diatas, seluruh simpangan antar tingkat sudah memenuhi syarat aman, dengan angka izin $\Delta_{ijin} = 0.020 h_{sx}$.

Table 7.27: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk 16 Lantai.

Story	Combo	Direction	δ_{ex}	$\delta_{xe} = (\delta_{ex} - \delta_{ex-1})$	$\Delta_x = \delta_{xe} \frac{C_{dx}}{I_e}$	h_{sx}	$\Delta_{ijin} = 0.020 h_{sx}$	Cek
			(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	
Lantai 16	Envelope	Y	155.56	9.996	49.98	4267.2	85.4	OK
Lantai 15	Envelope	Y	145.57	11.641	58.21	4267.2	85.4	OK
Lantai 14	Envelope	Y	133.93	12.009	60.05	4267.2	85.4	OK
Lantai 13	Envelope	Y	121.92	12.605	63.03	4267.2	85.4	OK
Lantai 12	Envelope	Y	109.31	12.345	61.73	4267.2	85.4	OK
Lantai 11	Envelope	Y	96.968	11.977	59.89	4267.2	85.4	OK
Lantai 10	Envelope	Y	84.991	12.138	60.69	4267.2	85.4	OK
Lantai 9	Envelope	Y	72.853	11.457	57.29	4267.2	85.4	OK

Tabel 7.27 Lanjutan

Story	Combo	Direction	δ_{ex}	$\delta_{xe} = (\delta_{ex} - \delta_{ex-1})$	$\Delta_x = \delta_{xe} \frac{C_{dx}}{I_e}$	h_{sx}	$\Delta_{ijin} = 0.020 h_{sx}$	Cek
Lantai 8	Envelope	Y	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	OK
Lantai 16	Envelope	Y	155.56	9.996	49.98	4267.2	85.4	OK
Lantai 6	Envelope	Y	39.627	9.558	47.79	4267.2	85.4	OK
Lantai 5	Envelope	Y	30.069	8.138	40.69	4267.2	85.4	OK
Lantai 4	Envelope	Y	21.931	7.820	39.1	4267.2	85.4	OK
Lantai 3	Envelope	Y	14.111	6.423	32.12	4267.2	85.4	OK
Lantai 2	Envelope	Y	7.688	4.854	24.27	4267.2	85.4	OK
Lantai 1	Envelope	Y	2.834	2.834	14.17	5486.4	109.72	OK

Berdasarkan Tabel 7.27 diatas, seluruh simpangan antar tingkat sudah memenuhi syarat aman, dengan angka izin $\Delta_{ijin} = 0.020 h_{sx}$.

7.8 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (*Soft Story*)

Table 7.28: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah X 4 lantai.

Story	Kekakuan total	Ki/Ki+1 (%)	Rata-rata Kek. 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr (%)
4	343588.9			
3	532814.9	155%	535086.90	
2	728856.9	137%	824093.68	136%
1	1210609	166%		147%

Table 7.29: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah X 8 lantai.

Story	Kekakuan total	Ki/Ki+1 (%)	Rata-rata Kek. 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr (%)
8	172098.3			
7	315780.1	183%	294339.42	
6	395139.8	125%	386331.87	134%
5	448075.7	113%	476367.18	116%
4	585886.1	131%	592338.15	123%
3	743052.7	127%	748416.45	125%
2	916310.5	123%	1010444.72	122%

Tabel 7.29 Lanjutan

Story	Kekakuan total	Ki/Ki+1 (%)	Rata-rata Kek. 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr (%)
1	1371971	150%		136%

Table 7.30: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah X 16 lantai.

Story	Kekakuan total	Ki/Ki+1 (%)	Rata-rata Kek. 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr (%)
16	111099.3			
15	190397	171%	184024.77	
14	250578.1	132%	240316.30	136%
13	279973.9	112%	283382.25	117%
12	319594.8	114%	318650.33	113%
11	356382.3	112%	349649.45	112%
10	372971.2	105%	383314.96	107%
9	420591.3	113%	413463.03	110%
8	446826.5	106%	462309.64	108%
7	519511	116%	521360.81	112%
6	597744.9	115%	614683.11	115%
5	726793.4	122%	698631.22	118%
4	771355.4	106%	807445.08	110%
3	924186.4	120%	976911.96	114%
2	1235194	134%	1374589.18	126%
1	1964387	159%		143%

7.9 Pengaruh Efek P-Delta

Table 7.31: Hasil Analisa P-Delta struktur 4 lantai (R=6).

Perhitungan P-Δ arah X Akibat Envelope Max								
Story	Px	Δ _x	I _e	V _x	h _{sx}	C _{dx}	$\theta = \frac{P_x \Delta_x I_e}{V_x h_{sx} C_{dx}}$	Cek
	kN	mm		kN	mm			
Lantai 4	4497.3	22.76 8	1	1432.5	4270	5	0.0033	P-Δ Diabaikan
Lantai 3	12631.9	18.68 1	1	3758.2	4270	5	0.0029	P-Δ Diabaikan
Lantai 2	21411.0	11.89 1	1	5296.8	4270	5	0.0023	P-Δ Diabaikan
Lantai 1	30623.6	4.804	1	6070.5	5486	5	0.0009	P-Δ Diabaikan

Table 7.32: Hasil analisa P-Delta struktur 8 lantai (R=6).

Story	Px	Δ_x	Ie	Vx	hsx	Cdx	$\theta_x = \frac{P_x \cdot \Delta_x \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_{dx}}$	Cek
	kN	mm		kN	mm			
Lantai 8	5597.5	75.296	1	906.7	4270	5	0.0218	P- Δ Diabaikan
Lantai 7	23179.9	67.991	1	2755.7	4270	5	0.0268	P- Δ Diabaikan
Lantai 6	40865.2	57.739	1	4241.3	4270	5	0.0261	P- Δ Diabaikan
Lantai 5	58587.9	46.080	1	5374.2	4270	5	0.0235	P- Δ Diabaikan
Lantai 4	76414.4	33.710	1	6195.0	4270	5	0.0195	P- Δ Diabaikan
Lantai 3	94218.1	22.757	1	6729.9	4270	5	0.0149	P- Δ Diabaikan
Lantai 2	112124.9	13.310	1	7027.4	4270	5	0.0099	P- Δ Diabaikan
Lantai 1	130404.5	5.157	1	7135.5	5486	5	0.0034	P- Δ Diabaikan

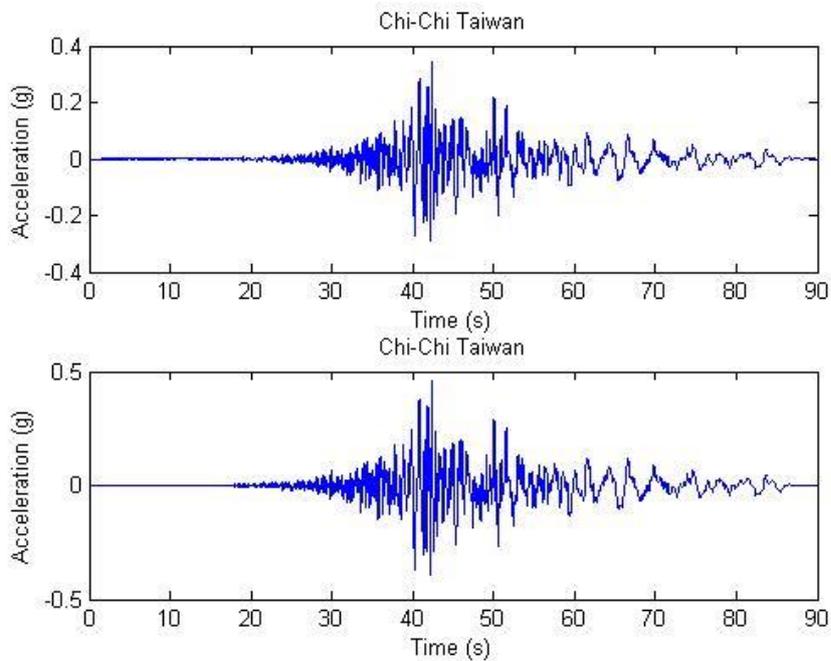
Table 7.33: Hasil analisa P-Delta struktur 16 lantai (R=6).

Story	Py	Δ_y	Ie	Vy	hsy	Cdy	$\theta_x = \frac{P_x \cdot \Delta_x \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_{dx}}$	Cek
	kN	mm		kN	mm			
Lantai 16	3856.3	155.564	1	607.8	4270	5	0.0462	P- Δ Diabaikan
Lantai 15	11636.0	145.568	1	1396.5	4270	5	0.0568	P- Δ Diabaikan
Lantai 14	19904.1	133.927	1	2090.1	4270	5	0.0597	P- Δ Diabaikan
Lantai 13	28379.9	121.918	1	2703.7	4270	5	0.0599	P- Δ Diabaikan
Lantai 12	36796.0	109.313	1	3228.7	4270	5	0.0584	P- Δ Diabaikan
Lantai 11	45315.2	96.968	1	3679.0	4270	5	0.0559	P- Δ Diabaikan
Lantai 10	53774.7	84.991	1	4055.1	4270	5	0.0528	P- Δ Diabaikan
Lantai 9	62413.1	72.853	1	4368.2	4270	5	0.0488	P- Δ Diabaikan
Lantai 8	70991.9	61.396	1	4619.1	4270	5	0.0442	P- Δ Diabaikan
Lantai 7	79761.8	49.992	1	4817.2	4270	5	0.0388	P- Δ Diabaikan

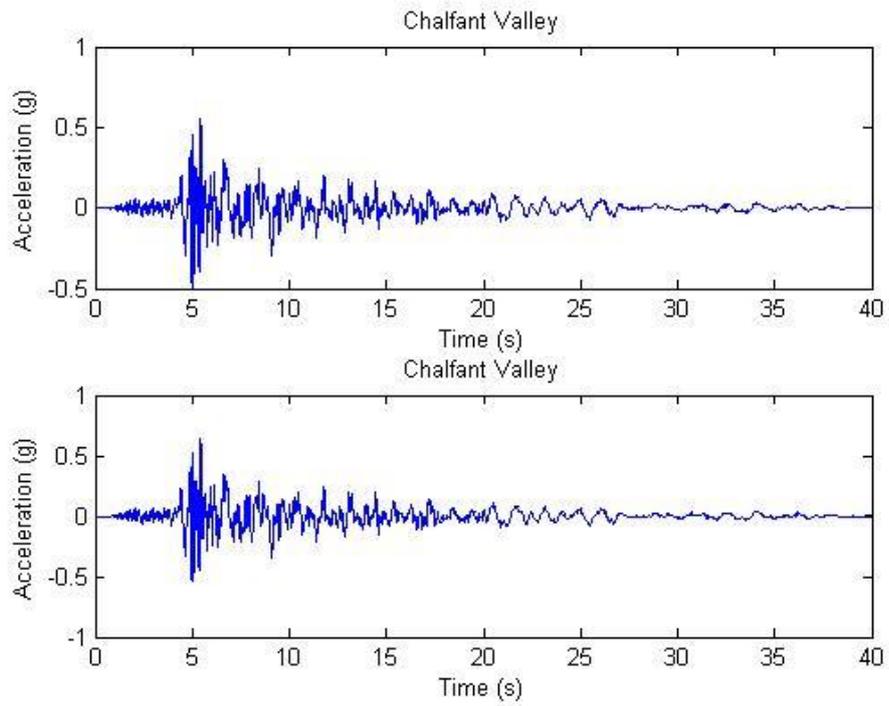
Tabel 7.33 Lanjutan

Story	Py	Δy	Ie	Vy	hsy	Cdy	$\theta_x = \frac{P_x \cdot \Delta_x \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_{dx}}$	Cek
	kN	mm		kN	mm			
Lantai 6	88472.3	39.627	1	4965.3	4270	5	0.0331	P-Δ Diabaikan
Lantai 5	97363.8	30.069	1	5071.9	4270	5	0.0270	P-Δ Diabaikan
Lantai 4	106254.5	21.931	1	5142.5	4270	5	0.0212	P-Δ Diabaikan
Lantai 3	115239.6	14.111	1	5183.6	4270	5	0.0147	P-Δ Diabaikan
Lantai 2	124282.4	7.688	1	5203.2	4270	5	0.0086	P-Δ Diabaikan
Lantai 1	133827.2	2.834	1	5208.7	5486	5	0.0027	P-Δ Diabaikan

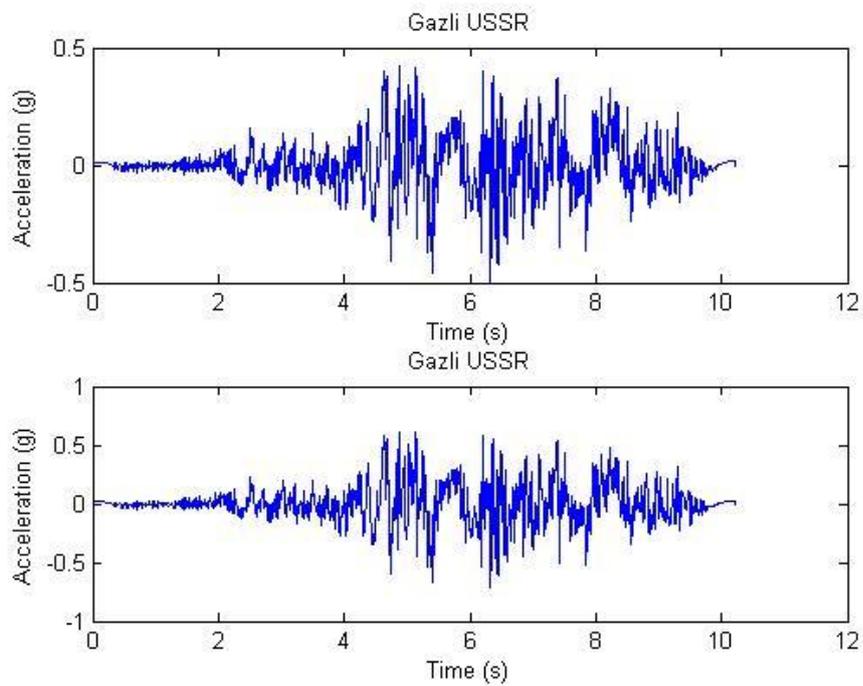
7.10 GroundMotion (Rekaman gempa)



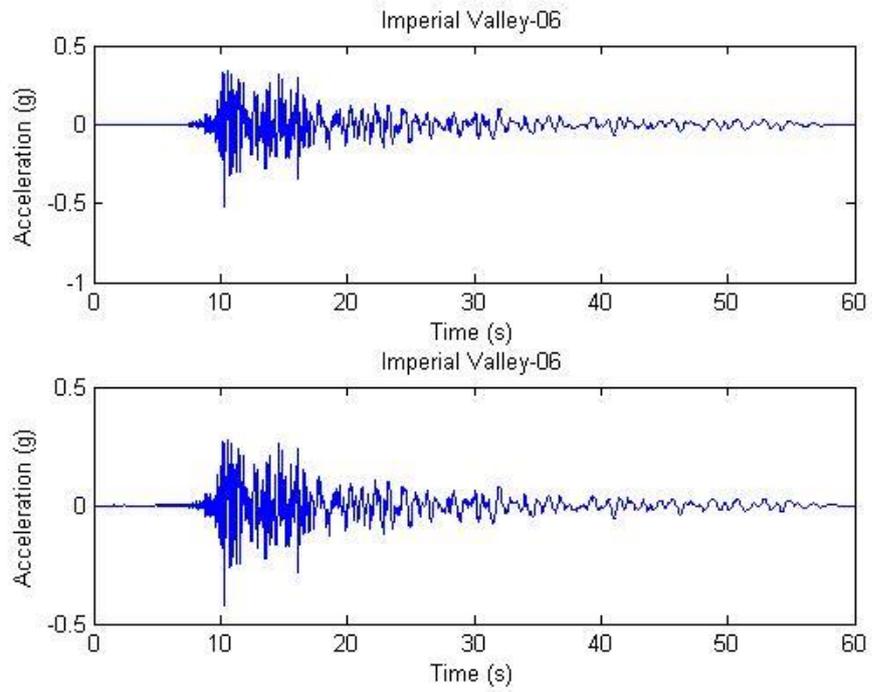
Gambar 7.1: Chi-Chi Taiwan.



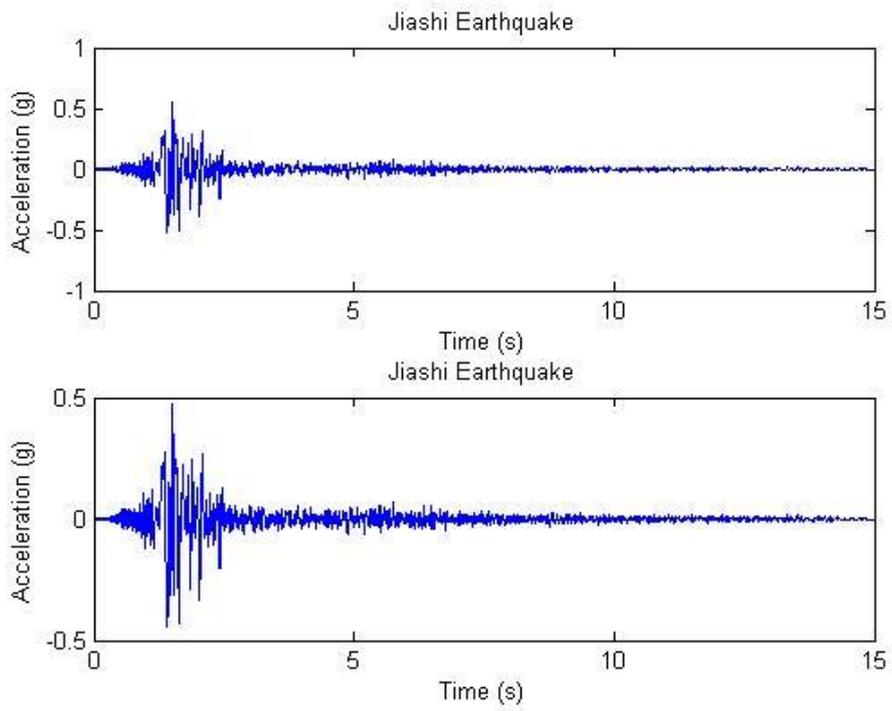
Gambar 7.2: Chalfant Valley.



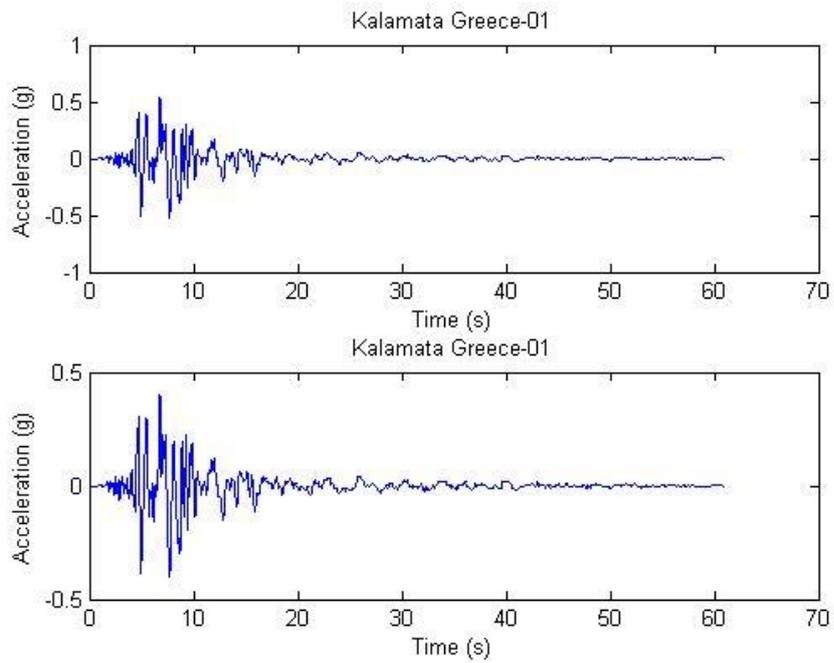
Gambar 7.3: Gazli USSR.



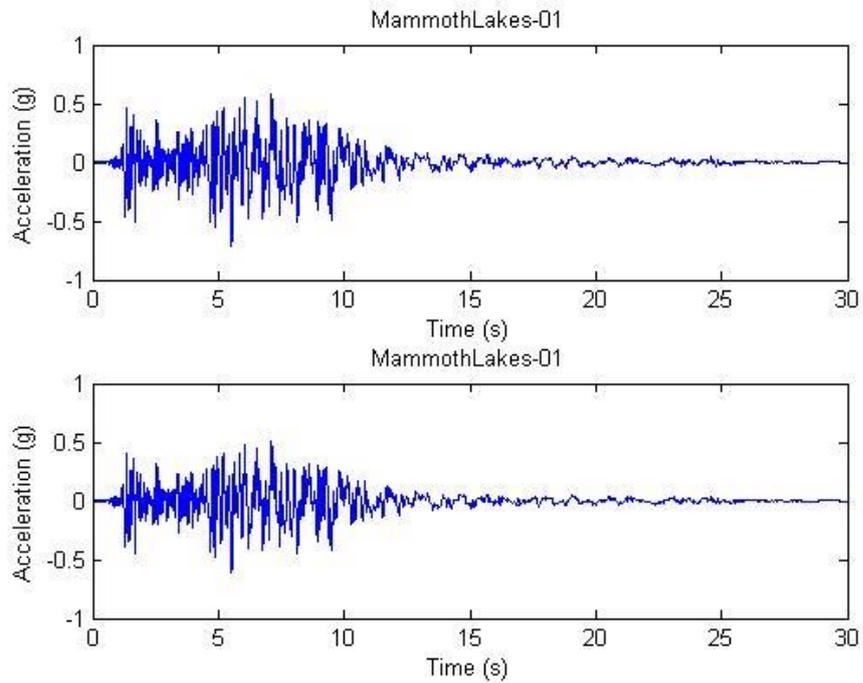
Gambar 7.4: Imperial Valley.



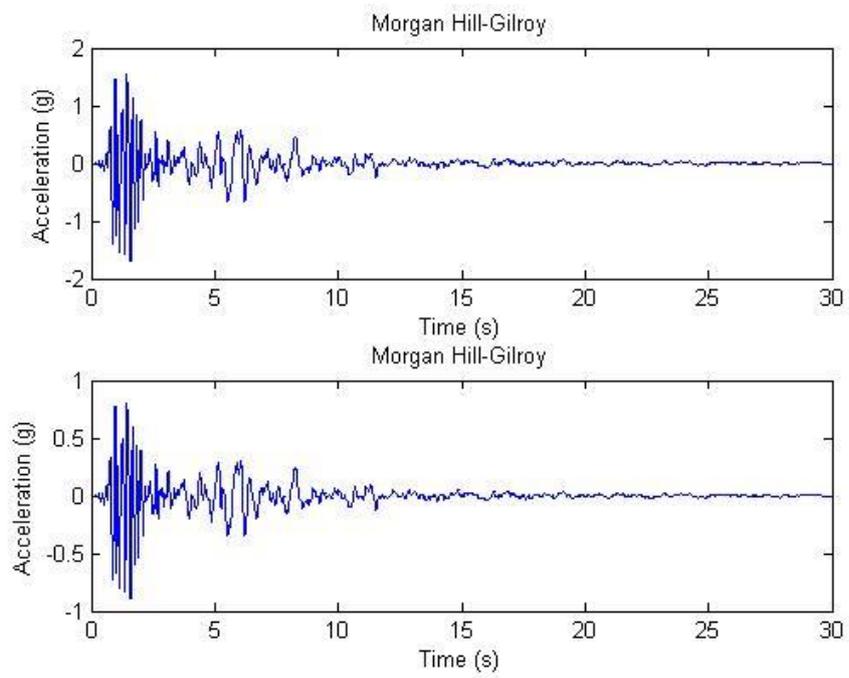
Gambar 7.5: Jiashi Earthquake.



Gambar 7.6: Kalamata Greece.



Gambar 7.7: MammothLakes-01.



Gambar 7.8: Morgan Hill-Gilroy.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI

Nama : Dian Sasmita Anggelia
Tempat, Tanggal Lahir : Stabat, 22 Juni 2000
Alamat : Dusun Kedondong Tengah
Agama : Islam
No.Hp : 082275557206
Email : diansasmitaanggelia1@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa :1807210153
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan 2023

NO.	TINGKAT	NAMA SEKOLAH	TAHUN LULUS
1.	SD	SD NEGERI 005 UJUNG BATU	2012
2.	SMP	SMP NEGERI 3 HINAI	2015
3.	SMA	SMA NEGERI 1 STABAT	2018