

TUGAS AKHIR

**KINERJA KERUNTUHAN PADA SRPM BAJA TERHADAP GEMPA
BERULANG
(Literatur)**

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

Disusun Oleh:

ZUKRI AULIA PUTRA
1607210028



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 – EXT. 12

Website : <http://fatek.umsu.ac.id> Email : fatek@umsu.ac.id

menjawab surat ini agar disebutkan
or dan tanggalnya

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Zukri Aulia Putra

NPM : 1607210028

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Kinerja Keruntuhan Pada SRPM Baja Terhadap Gempa
Berulang

Bidang Ilmu : Struktur

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, November 2020

Dosen Pembimbing

Dr. Ade Faisal

HALAMAN PENGESAHAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Zukri Aulia Putra
NPM : 1607210092
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Kinerja Keruntuhan Pada SRPM Baja Terhadap Gempa Berulang.
Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, November 2020

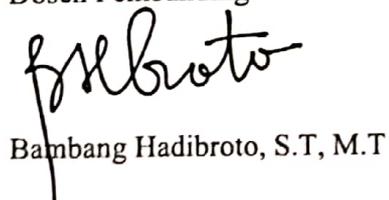
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



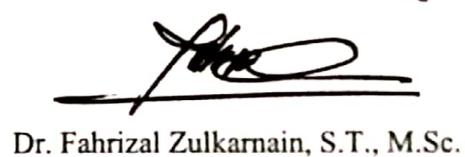
Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc.

Dosen Pembimbing I



Bambang Hadibroto, S.T, M.T

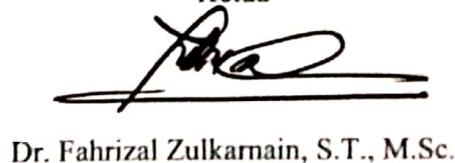
Dosen Pembimbing II



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

Program Studi Teknik Sipil

Ketua



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zukri Aulia Putra
Tempat/Tanggal Lahir : Medan/ 05 November 1998
NPM : 1607210028
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Kinerja Keruntuhan Pada SRPM Baja Akibat Gempa berulang”.

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

Bila kemudian hari diduga ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses 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, November 2020

Saya yang menyatakan,



Zukri Aulia Putra

ABSTRAK

KINERJA KERUNTUHAN PADA SRPM BAJA TERHADAP GEMPA BERULANG (STUDI LITERATUR)

Zukri Aulia Putra
1607210028
Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc.

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh adanya pelepasan energi regangan elastis batuan pada litosfir. Tidak jarang gempa datang secara berulang (gempa susulan) terkhusus wilayah Indonesia yang merupakan wilayah zona gempa. Oleh karena itu diperlukan struktur bangunan yang mampu meminimalisir resiko kerusakan akibat gempa terkhusus gempa yang datang secara berulang yang memberikan energi lebih besar dibandingkan dengan gempa tunggal. Pada tugas akhir ini direncanakan sebuah struktur dengan 4 lantai yang dimodelkan terhadap 1 jenis penskalaan rekaman gempa yaitu penskalaan MCE untuk analisis nonlinier. Dari hasil analisis yang di dapatkan dari hasil memodelkan struktur baja dengan kondisi tanah lunak (R8) terhadap gempa tunggal dan gempa berulang yang didapatkan nilai *Incremental Dynamic Analysis* nilai IDR dari gempa berulang lebih besar dari pada gempa tunggal, pada gempa tunggal memiliki nilai $RSA(T1) = 1$ mendapatkan nilai $IDR = 0,114$ dan pada gempa berulang memiliki nilai $RSA(T1) = 1$ menapatkan nilai $IDR = 0,145$. Hasil analisis juga menunjukkan nilai probabilitas (CP) = 5%, (LS) = 2,5% dan (IO) = 0.7% yang diperoleh gempa berulang selalu memerlukan nilai $RSA(T1)$ yang lebih besar dari pada gempa tunggal untuk mencapai kondisi mendekati keruntuhan. sedangkan nilai probabilitas 10% memerlukan nilai $RSA(T1)$ yang lebih besar dari pada gempa berulang untuk mencapai kondisi keruntuhan.

Kata kunci: *Incremental Dynamic Analysis, Probability of collapse, baja*

ABSTRAK

COLLABOR PERFORMANCE AT STEEL SRPM AGAINST REPEATED EARTHQUAKES (LITERATURE STUDY)

Zukri Aulia Putra
1607210028
Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc.

Earthquakes are a natural phenomenon caused by the release of elastic stretch energy of rocks in the lithosphere. It is not uncommon for earthquakes to come repeatedly (aftershocks), especially in Indonesia, which is an earthquake zone area. Therefore, a building structure is needed that is able to minimize the risk of damage due to earthquakes, especially earthquakes that come repeatedly which provide greater energy than a single earthquake. In this final project, a 4-story structure is designed to be modeled against 1 type of earthquake scaling, namely MCE scaling for nonlinear analysis. From the analysis results obtained from the results of modeling steel structures with soft ground conditions (R8) against single earthquakes and repeated earthquakes, the Incremental Dynamic Analysis value of IDR from repeated earthquakes is greater than single earthquakes, in a single earthquake it has an RSA (T1) value.) = 1 get the value of IDR = 0.114 and in repeated earthquakes it has a value of RSA (T1) = 1 getting a value of IDR = 0.145. The results of the analysis also show that the probability value (CP) = 5%, (LS) = 2.5% and (IO) = 0.7% obtained by repeated earthquakes always require an RSA (T1) value that is greater than a single earthquake to reach conditions close to while the 10% probability value requires an RSA (T1) value that is greater than repeated earthquakes to achieve a collapse condition.

Key words: Incremental Dynamic Analysis, Probability of collapse, steel.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat 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 “Kinerja Keruntuhan Pada SRPM Baja Akibat Gempa Berulang” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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

1. Bapak Dr.Ade Faisal S.T., M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Bambang Hadibroto, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing 1 dan penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Fahrizal Zurkarnain S.T., M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing 2 dan penguji serta sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ibu Hj Irma Dewi, ST, Msi sebagai Sekretaris 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. Teristimewa yang tidak terhingga kepada orang tua saya yang tercinta, Ayahanda Abdul Rahman dan Ibunda Yon Ulfah, saya sampaikan terimakasih, dan penghormatan yang sebesar-besarnya atas segala pengorbanan yang tiada terbalaskan, menyekolahkan, serta memberi didikan

yang sangat berharga sehingga saya dapat menyelesaikan perkuliahan. Permohonan saya kepada Allah SWT melalui doa yang tulus kiranya Bapak dan Ibu saya diberikan kekuatan dan kesehatan serta kesabaran dalam menjalani hidup ini.

7. Kaka saya Dewi Laili Yusrina dan abang saya Azmi Rahman atas doa dan motifasi yang terus menerus.
8. Nurul Fatiha yang telah membantu dan memberikan dukungan serta menemani disaat susah maupun senang.
9. Seluruh civitas akademika Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis.
10. Abangda Afiful Ansari, S.T yang telah membantu saya dalam mengerjakan tugas akhir ini.
11. Teman dan rekan seperjuangan tim *earthquake engineering*, Tanyo Aditya Pratama, Fahdan Alim, Kariyadi Supardi Harjo dan teman sejawat lainnya yang tidak mungkin namanya di sebutkan satu persatu.

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

Medan, November 2020

Penulis



Zukri Aulia Putra

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Umum	7
2.2. Pengertian Gempa	7
2.3. Karakteristik Teknik Gerakan Tanah (Ground Motion)	8
2.3.1. Gempa Dekat	8
2.3.2. Gempa Jauh (Far-Fild)	9
2.3.3. Gempa Pulse	10
2.4. Respon Spektrum	11
2.5. Incremental Dynamic Analysis	12
2.6. Material Baja	13
2.7. Karakteristik Bangunan Tahan Gempa	14
2.7.1. Perencanaan Berbasis Kinerja	17
2.7.2. Fragility Curves	17
2.7.3. Analisis Push Over	19

2.8.	Sistem Rangka Pemikul Momen	21
2.9.	Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012	22
2.9.1.	Perencanaan Berbasis Kinerja	22
2.9.2.	Simpangan (Drif) Akibat Gaya Gempa	23
2.9.3.	Prioda Alami Struktur	23
2.9.4.	Analisis Riwayat Waktu	24
2.9.5.	Pembebanan	24
2.9.6.	Faktor redudansi (ρ)	25
2.9.7.	Program Ruumoko	26
BAB 3 METODE PENELITIAN		27
3.1.	Umum	27
3.2.	Pemodelan Struktur 2 Dimensi	28
3.2.1.	Data Perencanaan Struktur	28
3.2.2.	Konfigurasi Bangunan	28
3.2.3.	Dimensi Kolom-Balok	29
3.3.	Analisis Struktur	30
3.3.1.	Analisa Dinamik Struktur Linier	30
3.3.2.	Pembebanan	30
3.4.	Respon Spektrum Desain Gempa	30
3.4.1.	Desain Respon Spektrum Banda Aceh	30
3.4.2.	Kombinasi Pembebanan	31
3.4.3.	Analisis Respon Spektrum Ragam	32
3.4.4.	<i>Groundmotion Records</i> (Data Rekaman Gempa)	33
3.4.5.	Analisis Respon Riwayat Waktu	35
3.5.	Analisis Dinamik Struktur Nonlinear	38
3.5.1.	Analisis Respon Riwayat Waktu	39
3.5.2.	Momen Leleh (M_y)	39
3.5.3.	Kapasitas Rotasi	39
3.5.4.	Rotasi Leleh (θ_y)	40
3.5.5.	Kurva kerapuhan	40
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		41

4.1.	Hasil Model Linier Dan Non Linier	41
4.2.	Hasil Analisa Linier	41
4.2.1	Respon Spektrum Ragam	41
4.2.2	Koreksi Gempa Dasar Nominal	41
4.2.3	Koreksi Faktor Redundansi	42
4.2.4	Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	42
4.2.5	Nilai Simpangan Gedung	43
4.2.6	Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)	43
4.2.7	Pengaruh Efek P-Delta	43
4.3.	Hasil Analisa Non Linier	44
4.3.1	<i>Incremental Dynamic Analysis (IDA)</i>	44
4.3.2	<i>Interstory drift</i>	44
4.4.	Pengaruh Gempa Tunggal dan Gempa Berulang	45
4.5.	<i>Analisis Probability of Collapse</i>	46
4.6	Perbandingan kurva fragility	49
4.7	Kondisi Keruntuhan Struktur	50
4.8	Median Kurva Kerapuhan	51
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN		
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran	52

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1: Contoh kejadian gempa yang berulang terjadi pada satu lokasi (Abdollahzadeh, 2017).	2
Tabel 3.1: Komponen struktural bangunan.	29
Tabel 3.2: Tabel 3.4: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai $\rho = 1.3$, $SDS = 0.8094$.	30
Tabel 3.2: <i>Lanjutan</i>	31
Tabel 3.3: Tabel 3.3: Rekaman getaran gempa Pulse dari PEER NGA & COSMOS.	33
Tabel 4.1: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen (V1) dan Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum output Program Analisa Struktur Vt.	41
Tabel 4.2: Nilai gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (Vt) sumbu X	42
Tabel 4.3 : Nilai perbandingan interstory drift untuk pemodelan 4 lantai faktor R=8 dengan acuan gempa tunggal dan gempa berulang yang mengandung fling, pulse dan nopulse.	44
Tabel 4.4 :Nilai persentasi perbandingan interstory drift untuk masing-masing model untuk R=8 dengan acuan gempa tunggal yang mengandung fling, pulse dan nopulse.	44
Tabel 4.5: Nilai RSA(T1) untuk kondisi keruntuhan pada gempa tunggal dan gempa berulang.	49
Tabel 4.6: Nilai RSA(T1) untuk nilai median <i>Probability of collapse</i> (50%) pada sruktur 4 lantai.	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1:	Spektrum respon percepatan rekaman gempa Chi-Chipada stasiun Chy088 yang terjadi berulang kali dalam rentang waktu dari 20-25 September 1999 (Abdollahzadeh, 2017).	2
Gambar 1.2:	<i>Displacement time-history response</i> 4 lantai metode PBPD terhadap gempa TCU113N stasiun TCU113	3
Gambar 1.3:	<i>Displacement time-history response</i> 8 lantai metode ED terhadap gempa TCU113N stasiun TCU113	3
Gambar 2.1:	Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).	9
Gambar 2.2:	Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).	10
Gambar 2.3:	Respon spektrum percepatan gempa berulang pada rekaman gempa Whittier Narrows (LA-116 St.School Station)	11
Gambar 2.4:	Kurva IDA tunggal dengan Pushover Statis	12
Gambar 2.5:	Rasio <i>drift interstory</i> puncak dengan tingkat lantai	13
Gambar 2.6:	Perilaku struktur akibat pembebanan horisontal berulang, (a). Perilaku struktur yang buruk, (b). Perilaku struktur yang baik	15 15 15
Gambar 2.7:	Diagram tegangan (f_c) – regangan (ϵ) baja tertarik : (a) Diagram f_c - ϵ baja sebenarnya. (b) Diagram f_c - ϵ baja yang diidealisasikan	16 16 16
Gambar 2.8:	Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja	17
Gambar 2.9:	Perbandingan kurva kerapuhan Baker, (2015)	18
Gambar 2.10:	Kurva Pushover	19
Gambar 2.11:	Histeresis di sendi plastis yang stabil (Pawirodikromo, 2012).	21
Gambar 3.1:	Bagan alir penelitian	25
Gambar 3.2:	Denah struktur Model	28
Gambar 3.3:	Gambar proyeksi struktur Model lantai 4	28
Gambar 3.4:	Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Banda Aceh dengan jenis tanah lunak.	30

Gambar 3.5: Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (Main-shock) sebelum diubah menjadi respon spektrum	35
Gambar 3.6: Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (Main-shock) setelah diubah menjadi respon spectrum	35
Gambar 3.7: Respon spektrum dengan 10 daerah gempa setelah diskalakan terhadap respon spektrum diindonesia (Banda aceh).	36
Gambar 3.8: Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (Main-shock) setelah diskalakan (gambar bawah) ini termasuk gempa tunggal.	36
Gambar 3.9: Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (Main-shock) dan Kalamata Greece-02 (after-shock) setelah digabungkan (Repeated), ini termasuk gempa berulang.	37

DAFTAR NOTASI

A	= Percepatan
V	= Kecepatan
IDA	= <i>Incremental Dynamic Ratio</i>
SDOF	= <i>Single Degree Of Freedom</i>
MDOF	= <i>Multi Degree Of Freedom</i>
f_y	= Tegangan leleh
f_u	= Tegangan ultimate
SRPM	= Sistem Rangka Pemikul Momen
S_1	= Percepatan batuan dasar pada perioda pendek
S_s	= Percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik
MCE_R	= <i>Maximum Considered Eartquake Ratio</i>
F_a	= Faktor amplikasi getaran pada perioda pendek
F_v	= Faktor amplikasi getaran pada perioda 1 detik
S_{MS}	= Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek
S_{M1}	= 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 redudansi
PGA	= <i>Peak Ground Acceleration</i>
DBE	= <i>Desain Basis Earthquake</i>
MCE	= <i>Maximum Considered Earthquake</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 I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia berada pada kondisi geografis pertemuan 2 lempeng tektonik yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Australia yang mengakibatkan seringnya terjadi gempa dengan intensitas kecil maupun besar akibat dari pergeseran dari kedua lempeng tersebut. Akibat daripada itu diperlukan bangunan-bangunan gedung yang fleksibel yang sangat dibutuhkan di wilayah area rawan gempa. Dengan kondisi geografis yang seperti itu letak suatu gedung bisa saja berada tepat dilokasi patahan dan bisa saja berjauhan dari lokasi patahan yang mengakibatkan berbedanya respon gempa yang diterima oleh suatu gedung. Disamping itu gedung tersebut bisa saja mengalami kegempaan yang lebih dari sekali (gempa berulang) pada rentang umur layannya (50 tahun). Dengan kondisi seperti ini bangunan gedung dengan material baja lebih sesuai dibandingkan dengan material beton.

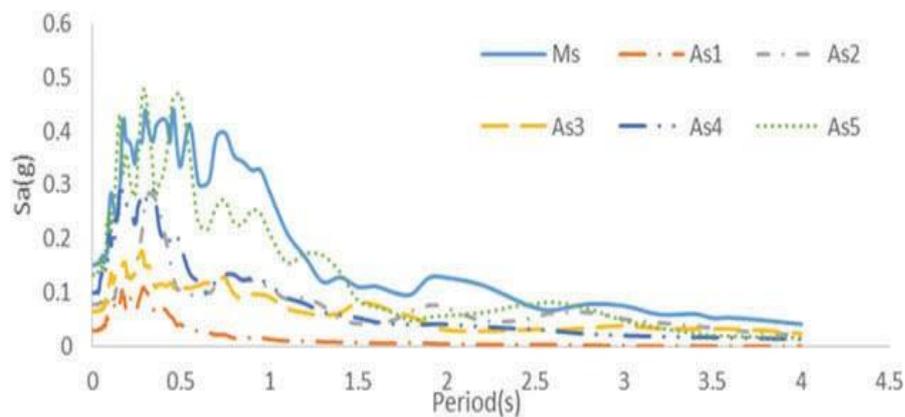
Gempa berulang bisa saja terjadi tak lama setelah gempa awal berlangsung yang dapat memberikan kerusakan lebih lanjut bahkan dapat mengakibatkan keruntuhan pada struktur bangunan. Pada beberapa kasus intensitas gempa berulang sering kali lebih besar daripada gempa awal yang mengakibatkan kemungkinan runtuhnya suatu struktur semakin besar. Tabel 1 menunjukkan sejumlah kejadian-kejadian gempa yang berulang pada 1 lokasi. Tampak bahwa magnituda antara dua (atau lebih) gempa tidak terlalu jauh perbedaannya.

Tabel 1.1: Contoh kejadian gempa yang berulang terjadi pada satu lokasi (Abdollahzadeh, 2017)

Earthquake name	Date	Time	M_w	Number of selected records
Hollister	4/9/61	7:23	5.6	1
	4/9/61	7:25	5.5	
Whittier Narrows	10/01/87	14:42	6.0	2
	10/04/87	10:59	5.3	
Irpinia, Italy	11/23/80	19.34	6.9	1
	11/23/80	19.35	6.2	
Livermore	1/27/80	19:00	5.8	1
	1/29/80	02:33	5.4	
Chi-Chi, Taiwan	9/20/99	9:20	7.6	28
	9/20/99	17:57	5.9	
	9/20/99	18:03	6.2	
	9/22/99	00:14	6.2	
	9/25/99	23:52	6.3	

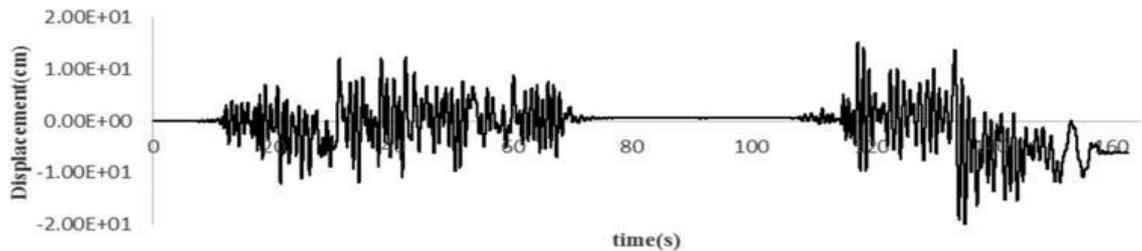
Gambar 1.1 menjelaskan respon spektrum rekaman percepatan gempa yang terjadi berulang kali pada satu lokasi, yaitu Gempa Chi-Chi (Taiwan) yang terekam.

pada stasiun Chy088.



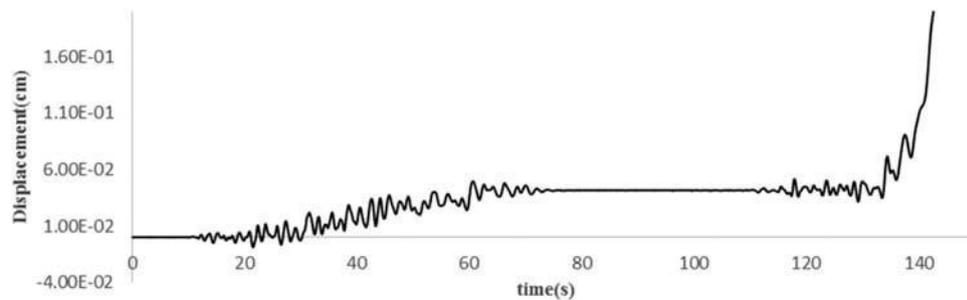
Gambar 1.1: Spektrum respon percepatan rekaman gempa Chi-Chi pada stasiun Chy088 yang terjadi berulang kali dalam rentang waktu dari 20-25 September 1999 (Abdollahzadeh, 2017).

Gambar 1.2 menjelaskan respon struktur baja 4 lantai terhadap dua gempa yang terjadi berulang pada kasus Gempa Chi-Chi pada tahun 1999. Tampak bahwa pada getaran simpangan mengalami perubahan garis baseline akibat gempa yang kedua. Hal ini menunjukkan struktur baja tersebut mengalami sendi plastis yang cukup signifikan akibat getaran gempa yang kedua.



Gambar 1.2: *Displacement time-history response* 4 lantai metode PBPD terhadap gempa TCU113N stasiun TCU113 (Abdollahzadeh, 2017).

Pada Gambar 1.3 tampak jelas struktur baja 8 lantai mengalami keruntuhan akibat gempa yang kedua. Hal ini ditunjukkan oleh grafik simpangan yang secara drastis naik ke atas dan terputus.



Gambar 1.3: *Displacement time-history response* 8 lantai metode ED terhadap gempa TCU113N stasiun TCU113 (Abdollahzadeh, 2017).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh gempa berulang terhadap Kurva IDA (Incremental Dynamic Analysis) pada SRPM baja?
2. Bagaimana pengaruh gempa berulang terhadap kinerja struktur pada SRPM baja?

1.3 Tujuan Penulisan

1. Untuk mengetahui Kurva IDA (Incremental Dynamic Analysis) pada SRPM baja akibat gempa berulang.
2. Untuk mengetahui kinerja struktur pada SRPM baja akibat gempa berulang .

1.4 Ruang Lingkup

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

1. Struktur bangunan yang direncanakan merupakan:
 - Struktur Baja Pemikul Momen (SRPM) 2 Dimensi pada 4 lantai yang difungsikan sebagai perkantoran yang terdapat di daerah Banda Aceh 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 1729:2015.
 - Beban gravitasi menggunakan SNI 1727:2013 dan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987.
 - Beban gempa dan gedung direncanakan menggunakan Standar Perencanaan Tahan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726:2012.
3. Analisis menggunakan alat bantu berupa program yaitu:
 - Program Analisa Struktur, untuk menganalisa tahap desain pada analisa respon spectrum linier dan analisa riwayat waktu.
4. Parameter yang ditinjau:
 - Linear adalah semua aspek yang harus di kontrol sesuai dengan SNI 1726:2012

- Nonlinear : - Simpangan antar tingkat
- Simpangan atap

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil perencanaan pada pemodelan Struktur Baja dengan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) maka diharapkan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat untuk mengetahui bagaimana cara merencanakan struktur gedung baja dengan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) bila mengalami gempa berulang.

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III PEMODELAN STRUKTUR

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

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

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

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

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

2.2 Pengertian Gempa

Gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena energi secara tiba-tiba akibat dari pecah/slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. pengertian tersebut mengapa permukaan tanah menjadi bergetar, yaitu akibat energi gempa yang merambat dari pusat gempa kesegala arah. sebagai mana di ketahui bahwa sesuatu kekuatan akan terkandung dalam suatu energi, artinya energi gempa akan menghasilkan sesuatu kekuatan dalam hal ini adalah getaran tanah (Tavio, 2014).

Berdasarkan waktunya gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu:

1. Gempa bumi utama (*Main Shock*)

Gempa bumi utaman yaitu gempa bui yang terjadi pada guncangan awal akibat deformasi yang di akbiatkan oleh adanya interaksi antara lempeng.

2. Gempa bumi susulan (*After Shock*)

Gempa bui susulan merupakan gempa bumi yang terjadi setelah datangnya gempa bumi yang terjadi setelah gempa bumi utama. susulan berarti yang kedua, ketiga, dan seterusnya

3. Gempa bumi *swarm*

Gempa bumi ini terjadi di zona labil seperti buatan kapur dengan magnitudo

2.3 Karakteristik Teknik Gerakan Tanah (*Ground Motion*)

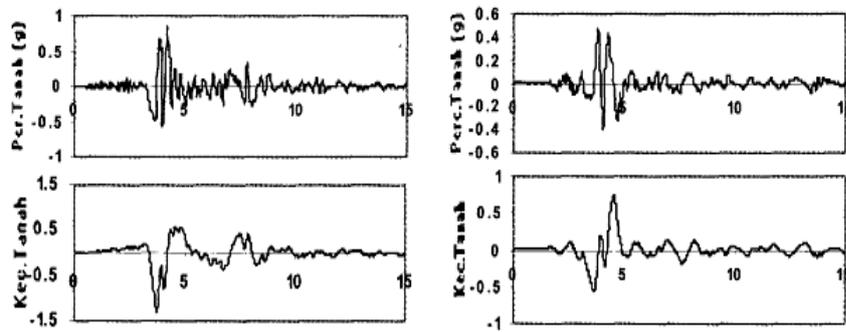
Pada umumnya, pengertian gerakan tanah akibat gempa lebih banyak ditinjau pada percepatan tanah, sekaligus menjadi parameter utama. Gerakan tanah dengan seperti itu dimaksudkan sebagai terjemahan dari *ground motion* yaitu suatu istilah yang populer dalam teknik gempa. Selain percepatan tanah (*ground acceleration*), maka kecepatan gerakan (*ground velocity*) dan simpangan tanah (*ground displacement*) sangat umum di pakai sebagai sebutan tentang *ground motion* (Tavio, 2014).

Respon gempa sensitif terhadap karakteristik getaran tanah, besar frekuensi gempa, pola *pulse*, durasi getaran, mekanisme *fault-rupture*, dan lainnya. Berdasarkan pola *pulse* nya, gempa dibagi menjadi 3, yaitu *near field* (gempa dekat, yaitu gempa dengan *pulse*), *far field* (gempa jauh, yaitu gempa tanpa *pulse/no-pulse*), dan gempa berulang

2.3.1 Gempa Dekat

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

Kalkan, dkk.(2004) memberikan batasan bahwa rekaman gempa *near-fault* adalah gempa yang direkam ≤ 15 km dari patahan (*fault rupture*). Contoh rekaman gempa dekat dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1: Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).

Gambar 2.1 menunjukkan data rekaman gempa yang terjadi di Northridge pada tahun 1994 dan Parkfield pada tahun 1997. Pada gambar tersebut tampak jelas bahwa terdapat 2 kali *acceleration strong pulse* yang sangat berbeda dengan sebelum dan sesudahnya. Secara umum gempa dekat ini ditandai dengan munculnya kandungan *pulse* yang kuat pada rekaman gempanya.

2.3.2 Gempa Jauh (*Far-field*)

Rekaman gempa pada *far-field* pada prinsipnya berbeda dengan gempa *near-field* dikarenakan energi gempa yang merambat pada jarak yang jauh maka terdapat waktu yang cukup bagi media tanah untuk menyerap sebagian energi gempa. Semakin jauh gelombang merambat maka semakin besar energi gelombang gempa yang diserap oleh media tanah. Perubahan respon tanah (percepatan, kecepatan dan perpindahan) setelah gelombang gempa merambat pada jarak atau durasi tertentu disebut atenuasi.

Pada umumnya gempa jauh (*far-field*) memiliki percepatan yang lebih kecil, frekuensi yang lebih rendah, impulsif, fluktuatif, respons tanah/batuan dan redaman yang kecil. Karena *ground motion acceleration history*, A mempunyai frekuensi getaran yang lebih tinggi daripada *velocity* maka *ground acceleration* beratenuasi lebih cepat daripada *ground velocity*, V . Dengan kondisi seperti ini maka gempa jarak jauh mempunyai A/V rasio yang lebih rendah daripada gempa jarak-jarak dekat.

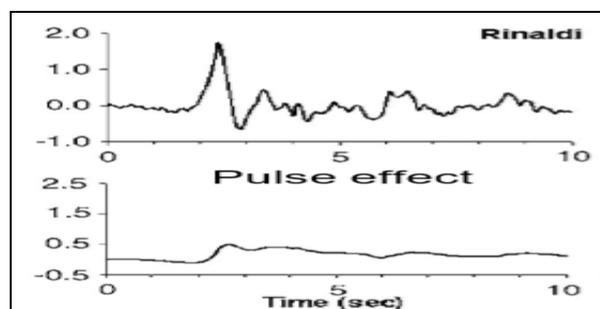
Menurut Song et al. (2016) kegiatan kegempaan tidak jarang terjadi gempa susulan, pada umumnya intensitas gempa susulan tidak sebesar gempa awal namun dapat merusak struktural yang tampak tidak rusak akibat guncangan pertama. Gempa susulan (after shock) memiliki kemungkinan percepatan tanah puncak (Peak Ground Acceleration) yang lebih tinggi, durasi yang lebih lama dan pelepasan energi yang berbeda dengan gempa awal (main shock).

Kapasitas struktur untuk tetap kokoh ketika menghadapi gempa susulan ialah bergantung pada kekuatan residual dan kapasitas perpindahan (Di Trapani, 2018). Metode Incremental Dynamic Analysis (IDA) telah banyak digunakan sebagai referensi untuk penilaian probabilistic kinerja seismik pada struktur bangunan.

Jarak waktu gempa susulan (aftershock) dengan gempa utama (mainshock) tidak dapat diprediksi datangnya, interval waktu antara mainshock dengan aftershock dapat dalam hitungan jam bahkan tahun. Gempa berulang tidak hanya berakibat dari aktivitas patahan saja namun juga dapat berasal dari penggabungan antara gempa dekat (near fault) dan gempa jauh (far field) (Faisal, 2013).

2.3.3 Gempa *Pulse*

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.

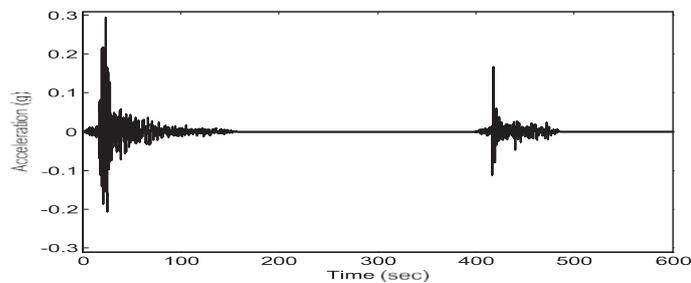


Gambar 2.2: Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).

Gambar 2.2 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 .

2.4 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 spectrum. 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 spectrum yang ada yaitu Respon Spektrum elastik dan Respon Spektrum inelastik. Respons 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.

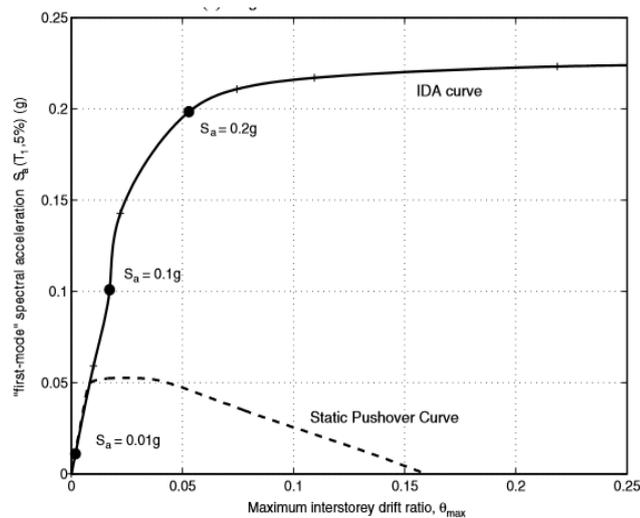


Gambar 2.3 Respon spektrum percepatan gempa berulang pada rekaman gempa *Whittier Narrows* (LA-116 St.School Station) (Amiri, 2019).

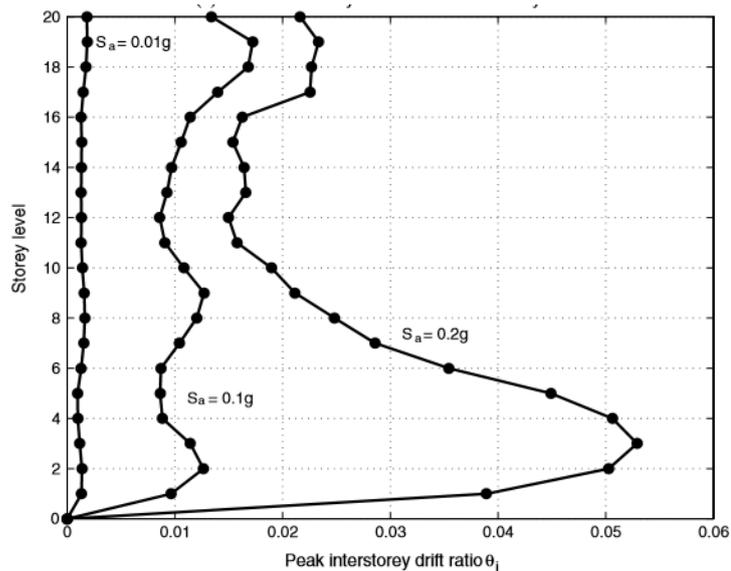
Gambar2.3. Merupakan respon spektrum percepatan (Respons Spectrum Acceleration) pada rekaman gempa *Whittier Narrows* yang direkam oleh stasiun LA-116 St.School Station. Data tersebut merupakan data asli dari gempa tersebut sebelum di olah menjadi respon spektrum desain untuk melakukan desain perencanaan suatu bangunan (Amiri, 2019).

2.5. Incremental Dynamic Analysis

Incremental Dynamic Analysis (IDA) adalah metode analisis parametrik yang dikembangkan oleh Vamvatsikos dan Cornell (2000) muncul dalam beberapa bentuk berbeda untuk memperkirakan kinerja struktural yang lebih menyeluruh di bawah beban seismik Baker, (2015).



Gambar 2.4: Kurva IDA tunggal dengan Pushover Statis



Gambar 2.5: Rasio *drift interstorey* puncak dengan tingkat lantai

Contoh informasi yang diekstraksi dari studi IDA *single-record* dari $T_1 = 4s$, kerangka penahan momen baja 20-lantai dengan anggota elastis dan sambungan, termasuk global non-linear geometris ($P - \Delta$) yang menjadi sasaran El Centro, rekaman 1940 (komponen paralel).

2.6. Material Baja

Bahan material baja unggul jika ditinjau dari segi kekuatan, kekakuan dan daktilitasnya. Jadi tidaklah mengherankan jika di setiap proyek-proyek konstruksi, baik jembatan atau gedung, maka baja selalu dibutuhkan, meskipun tentu saja volume yang digunakan tidak selalu harus mendominasi atau mayoritas.

Tinjauan dari segi kekuatan, kekakuan dan daktilitas, sangat cocok dipakai untuk mengevaluasi struktur yang memikul pembebanan. Tetapi perlu diingat bahwa selain kondisi tersebut, akan ada juga pengaruh lingkungan yang mempengaruhi kelangsungan hidup struktur bangunannya. Jadi pada suatu kondisi tertentu, bisa saja suatu bangunan mengalami kerusakan meskipun belum diberi beban (belum berfungsi). Itu berarti perilaku ketahanan material terhadap kondisi lingkungan sekitarnya adalah penting untuk diketahui juga dan diantisipasi dengan baik sebelumnya.

2.7. 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 diketahui secara pasti. Berikut yang termasuk bangunan tahan gempa adalah:

1. Apabila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural (dinding retak, genting dan langit-langit jatuh, kaca pecah dan sebagainya) maupun pada komponen strukturalnya (kolom dan balok retak, pondasi amblas, dan lainnya).

Apabila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-strukturalnya akan tetapi komponen struktural tidak boleh rusak.

2. Apabila terjadi gempa kuat, bangunan boleh mengalami kerusakan baik komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi jiwa penghuni bangunan tetap selamat, artinya sebelum bangunan runtuh masih cukup waktu bagi penghuni bangunan untuk keluar/mengungsi 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.

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

1. Kemampuan layan (*serviceability*)

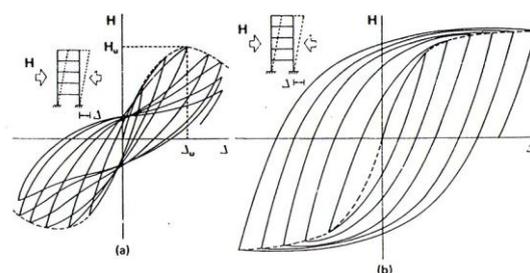
Jika gempa dengan intensitas (*intensity*) percepatan tanah yang kecil dalam waktu ulang yang besar mengenai suatu struktur, disyaratkan tidak mengganggu fungsi bangunan, seperti aktivitas normal di dalam bangunan dan perlengkapan yang ada. Artinya tidak dibenarkan terjadi kerusakan pada struktur baik 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 non-struktur, dan diharapkan struktur masih dalam batas elastis.

3. Ketahanan (*survival*)

Jika gempa kuat yang mungkin terjadi pada umur (masa) bangunan yang direncanakan membebani struktur, maka struktur direncanakan untuk dapat bertahan dengan tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami keruntuhan (*collapse*). Tujuan utama dari keadaan batas ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.



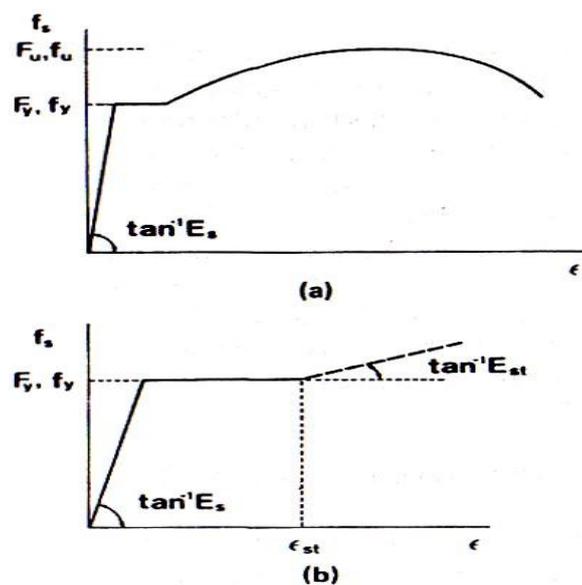
Gambar 2.6: Perilaku struktur akibat pembebanan horisontal berulang, (a). Perilaku struktur yang buruk, (b). Perilaku struktur yang baik (Siswanto, 2018).

Dari gambar 2.5.a dapat dilihat bahwasannya perilaku struktur tersebut setelah tercapainya batas ultimate dari pada struktur maka struktur kehilangan kekuatan yang signifikan dengan efek semakin besarnya deformasi yang

mengakibatkan keruntuhan akibat dari beban gempa. Struktur tersebut memiliki disipasi energi yang kecil dan terbatas sehingga struktur tersebut bersifat getas (*brittle*) yang tidak memiliki daya dukung yang baik dalam menahan beban gempa. Pada gambar 2.5.b merupakan perilaku struktur yang baik dimana pada saat beban gempa bekerja struktur mampu menahannya dengan baik dan struktur tersebut bersifat daktil.

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.

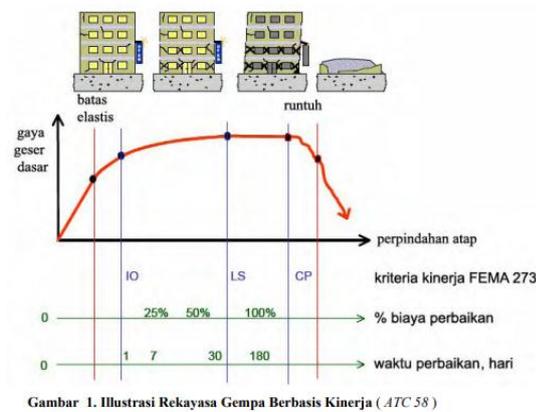


Gambar 2.7: Diagram tegangan (f_c) – regangan (ϵ) baja tertarik : (a) Diagram f_c - ϵ baja sebenarnya.(b) Diagram f_c - ϵ baja yang diidealisasikan (Siswanto, 2018).

Dari gambar 2.7 dapat dilihat bahwasannya pada saat baja ditarik setelah sampai batas ultimate baja akan mengalami fase *hardening* yaitu masa baja akan berhenti meleleh hingga akhirnya putus. Pada gambar 2.7.a merupakan hasil uji tarik material baja murni tanpa pengolahan data. Pada gambar 2.7.b merupakan hasil diagram yang sudah disempurnakan hasilnya.

2.7.1. Perencanaan Berbasis Kinerja

Peraturan perencanaan bangunan (*building codes*) digunakan sebagai acuan prosedur desain bangunan tahan gempa. Dengan mengacu pada *building codes* maka keselamatan penghuni dapat terjamin, kerusakan dapat dikurangi pada saat gempa besar. Namun, dengan prosedur tidak dapat menunjukkan kinerja bangunan secara langsung. Runtuhnya material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi.



Gambar 2.8: Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Dewobroto, 2016).

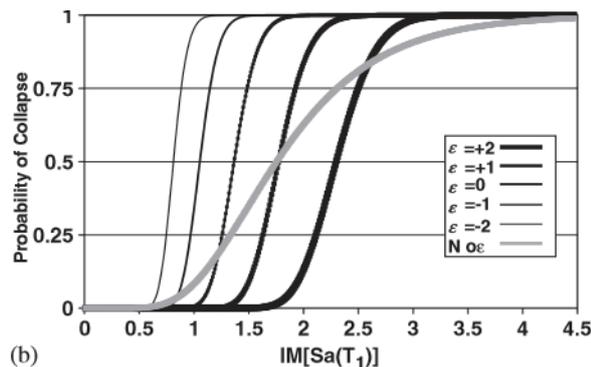
Gambar 2.7 menunjukkan kurva rekayasa gempa berbasis kinerja yang di hasilkan dari analisis pushover dan di gambarkan secara kualitatif kerusakan tiap kinerja yang telah di kasi gaya geser dan terjadi perpindahan yang sangat signifikan. Dengan kurva hubungan gaya perpindahan makin terlihat secara kualitatif level kinerjanya secara menyeluruh.

2.7.2 Fragility Curves

Fragility Curves atau kurva kerentanan adalah analisis kerapuhan menggunakan analisis struktural dinamis. Analisis struktural dinamis adalah proses analisis dalam sejumlah prosedur penilaian seismik. penerapan konsep inferensi statistik untuk estimasi fungsi kerapuhan, menjelaskan pendekatan pemasangan yang tepat untuk digunakan dengan berbagai struktur Baker, (2015).

Dalam menganalisis dan menyesuaikan fungsi kerapuhan sambil meminimalkan diperlukan sejumlah analisis struktural. banyak hal dalam analisis garis menghasilkan estimasi kerapuhan yang lebih efisien daripada inkremental analisis dinamis untuk sejumlah analisis struktural tertentu, asalkan beberapa pengetahuan tentang kapasitas bangunan tersedia sebelum analisis dilakukan bahwa bagian-bagian yang relevan dari kurva kerapuhan dapat kira-kira diidentifikasi.

Temuan ini memiliki manfaat lain, mengingat pendekatan analisis berganda memungkinkan gerakan tanah yang berbeda digunakan untuk analisis pada intensitas yang berbeda-beda ketinggian, untuk mewakili perbedaan karakteristik intensitas rendah dan intensitas tinggi beragam. Pendekatan penilaian yang diusulkan juga menyediakan kerangka kerja untuk mengevaluasi prosedur analisis alternatif yang mungkin muncul di masa depan.



Gambar 2.9: Perbandingan kurva kerapuhan Baker, (2015)

Fungsi kerapuhan secara umum diturunkan menggunakan berbagai pendekatan, seperti pengamatan lapangan terhadap kerusakan, analisis struktural statis, atau penilaian, tetapi dalam hal ini fokusnya adalah pada apa yang disebut fungsi kerapuhan analitis yang dikembangkan dari analisis struktural dinamis. Tidak seperti beberapa metode lain. Dalam hal fungsi kerapuhan analitis, analisis memiliki kendali atas data yang dikumpulkan, dengan cara memilih nilai intensitas tingkat pada setiap tingkat. Fungsi distribusi kumulatif lognormal sering digunakan untuk mendefinisikan fungsi kerapuhan:

$$P(C|IM = x) = \Phi\left(\frac{\ln(x/\theta)}{\beta}\right) \quad (2.19)$$

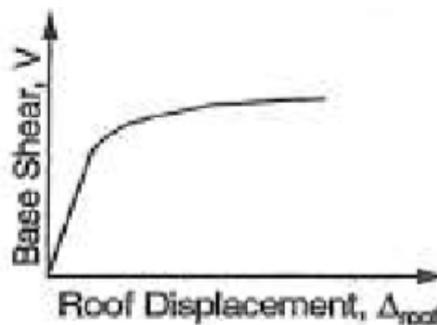
Dimana:

$P(C|IM - x)$ adalah kemungkinan getaran tanah dengan IM-x akan menyebabkan kehancuran struktur Φ adalah fungsi standar distribusi kumulatif, θ adalah median dari fungsi kerentanan (nilai intensitas memiliki tingkatan 50% dari kemungkinan keruntuhan), dan β adalah nilai standart deviasi.

2.7.3 Analisis Pushover

Analisa statik nonlinier (*Static Pushover Analysis*) merupakan analisis perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa *pushover* atau analisa beban dorong statik (Dewobroto, 2005: 3). dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan elastoplastis yang besar sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan

Analisis *Pushover* menghasilkan kurva *Pushover*, kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) dengan perpindahan titik acuan pada atap (D) terlihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10: Kurva Pushover (Hizkiah dkk, 2014).

Kurva pushover dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai gaya dorong.

Prosedur analisis *pushover*, struktur didorong sampai leleh dan berperilaku non linear- atau plastis. Kurva kapasitas akan memperlihatkan kondisi elastis sampai kondisi plastis. Tujuan analisis *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat didefinisikan bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Analisis *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu perencanaan tahan gempa, asalkan menyesuaikan dengan keterbatasan yang ada misalnya hasil analisis *pushover* masih berupa suatu pendekatan karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik melalui siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisis *pushover* adalah static monotonik.

Tahapan utama dalam analisa *pushover* adalah

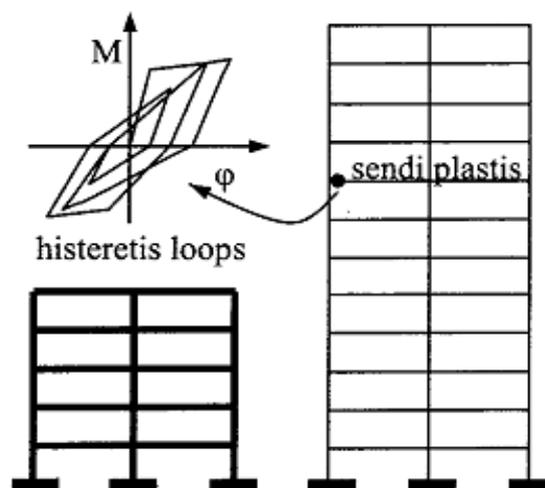
1. Menentukan titik control untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser digunakan untuk menyusun kurva *pushover*.
2. Membuat kurva *pushover* berdasarkan berbagai macam pola distribusi gaya lateral terutama yang ekuivalen dengan distribusi gaya inersia, sehingga deformasi yang terjadi hamper sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa. Oleh karena sifat gempa adalah tidak pasti, maka perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral yang berbeda untuk mendapatkan kondisi yang paling menentukan
3. Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan). Titik kontrol didorong sampai taraf perpindahan tersebut, yang mencerminkan perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan
4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan : merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja. Komponen struktur dan aksi perilakunya dapat dianggap memuaskan jika memenuhi kriteria yang dari awal sudah ditetapkan, baik terhadap persyaratan deformasi maupun kekuatan. Karena yang dievaluasi adalah komponen maka jumlahnya relative sangat banyak, oleh karena itu proses ini sepenuhnya harus dikerjakan oleh computer.

2.8. Sistem Rangka Pemikul Momen

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

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

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



Gambar 2.11: Histeresis di sendi plastis yang stabil (Pawirodikromo, 2012).

Adapun kekurangan dari SRPM adalah:

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

Hal paling penting, struktur rangka harus didesain berperilaku *strong-column-weak-beam* untuk memastikan tidak terjadi sendi plastis di kolom, yang dapat menyebablam *story mechanism*. Jenis sambungan kolom-balok yang dapat dipakai di rangka SMF harus didukung data empiris hasil uji laboratorium, yang membuktikan bahwa jenis sambungan tadi mempunyai kemampuan daktilitas yang cukup, yaitu dapat bertahan sampai perputaran sudut *interstory-drift* minimum sebesar 0.04 radian (AISC 2005)

2.9. Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012

2.9.1. Parameter Percepatan Gempa

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

Untuk penentuan respons spectral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismic pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan factor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spectrum respons percepatan pada perioda pendek (SMS) dan perioda 1 detik (SMI) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs

2.9.2. Simpangan (*Drift*) Akibat Gaya Gempa

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

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

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

Sementara itu Richard N. White (1987) berpendapat bahwa dalam perencanaan bangunan tinggi selalu dipengaruhi oleh pertimbangan lenturan (*deflection*), bukannya oleh kekuatan (*strength*).

Simpangan antar tingkat dari suatu titik pada suatu lantai harus ditentukan sebagai simpangan horizontal titik itu, relatif terhadap titik yang sesuai pada lantai yang berada dibawahnya. Untuk menjamin agar kenyamanan para penghuni gedung tidak terganggu maka dilakukan pembatasan-pembatasan terhadap simpangan antar tingkat pada bangunan. Pembatasan ini juga bertujuan untuk mengurangi momen-momen sekunder yang terjadi akibat penyimpangan garis kerja gaya aksial di dalam kolom-kolom (yang lebih dikenal dengan P-delta).

2.9.3. Periode Alami Struktur

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

Analisa *eigen-value* pada umumnya digunakan untuk mengetahui waktu getar alami bangunan, dimana informasi tersebut sangat penting untuk mendapatkan estimasi besarnya gaya gempa yang akan diterima oleh bangunan tersebut.

Analisa *eigen-value* dilaksanakan menggunakan data-data yang masih dalam kondisi elastis linier, padahal pada saat gempa kondisi bangunan mengalami keadaan yang berbeda, yaitu berperilaku in-elastis. Oleh karena itu waktu getar alami bangunan pada saat gempa maksimum berbeda dengan hasil analisa *eigen-value*. Waktu getar alami yang memperhitungkan kondisi in-elastis atau waktu getar efektif, T_e , dapat diperoleh dengan bantuan kurva hasil analisa *pushover*.

Untuk itu, kurva *pushover* diubah menjadi kurva bilinear untuk mengestimasi kekakuan lateral efektif bangunan, K_e , dan kuat leleh bangunan, V_y , kekuatan lateral efektif dapat diambil dari kekakuan secant yang dihitung dari gaya geser dasar sebesar 60% dari kuat leleh. Karena kuat leleh diperoleh dari titik potong kekakuan lateral efektif pada kondisi elastis (K_e) dan kondisi in-elastis (αK_e), maka prosesnya dilakukan secara *trial-error*.

2.9.4. Analisa Riwayat Waktu

Analisa riwayat waktu terbagi menjadi 2 jenis metode, yaitu:

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

2.9.5. Pembebanan

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

1. Beban mati, yaitu berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu seperti pipa-pipa, saluran listrik, AC, lampu-lampu, penutup lantai/atap, plafon, dan sebagainya.
 2. Beban hidup, yaitu semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.
 3. Beban angin, yaitu semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.
 4. Beban gempa, yaitu semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu.
 5. Beban khusus, yaitu semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan pondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.
- Kombinasi beban untuk metode ultimit struktur, komponen-komponen struktur dan elemen-elemen pondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor.

2.9.5 Faktor redudansi (ρ)

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

- Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C
- Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta; desain komponen nonstruktural

- Desain struktural non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung
 - Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 pada SNI 1726:2012 yang digunakan
 - Desain elemen struktur atau sambungan dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 disyaratkan untuk didesain
1. Struktur bagian sistem peredaman
 2. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkutnya

Untuk struktur yang dirancang bagi kategori desain seismik D, E, dan F faktor redudansi (ρ) harus sama dengan 1,3; kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi dimana ρ diizinkan diambil sebesar 1.

2.9.7 Program Ruaumoko

Program Ruaumoko dirancang oleh Prof. Athol J Carr, yang berasal dari University of Canterbury, New Zealand. Program ini dirancang untuk melakukan analisa struktur, seperti bangunan dan/atau jembatan, yang mengalami gempa dan eksitasi dinamis lainnya. Program ini digunakan untuk studi eksitasi gempa termasuk pemodelan sistem base-isolation. Program ini juga dapat digunakan untuk menganalisa push over, baik statis maupun dinamis.

Dalam pengembangan berkelanjutan, banyak kemajuan yang telah dibuat dalam beberapa tahun terakhir yang didukung upaya kerja sama dengan universitas luar negeri dan kelompok penelitian, diantaranya:

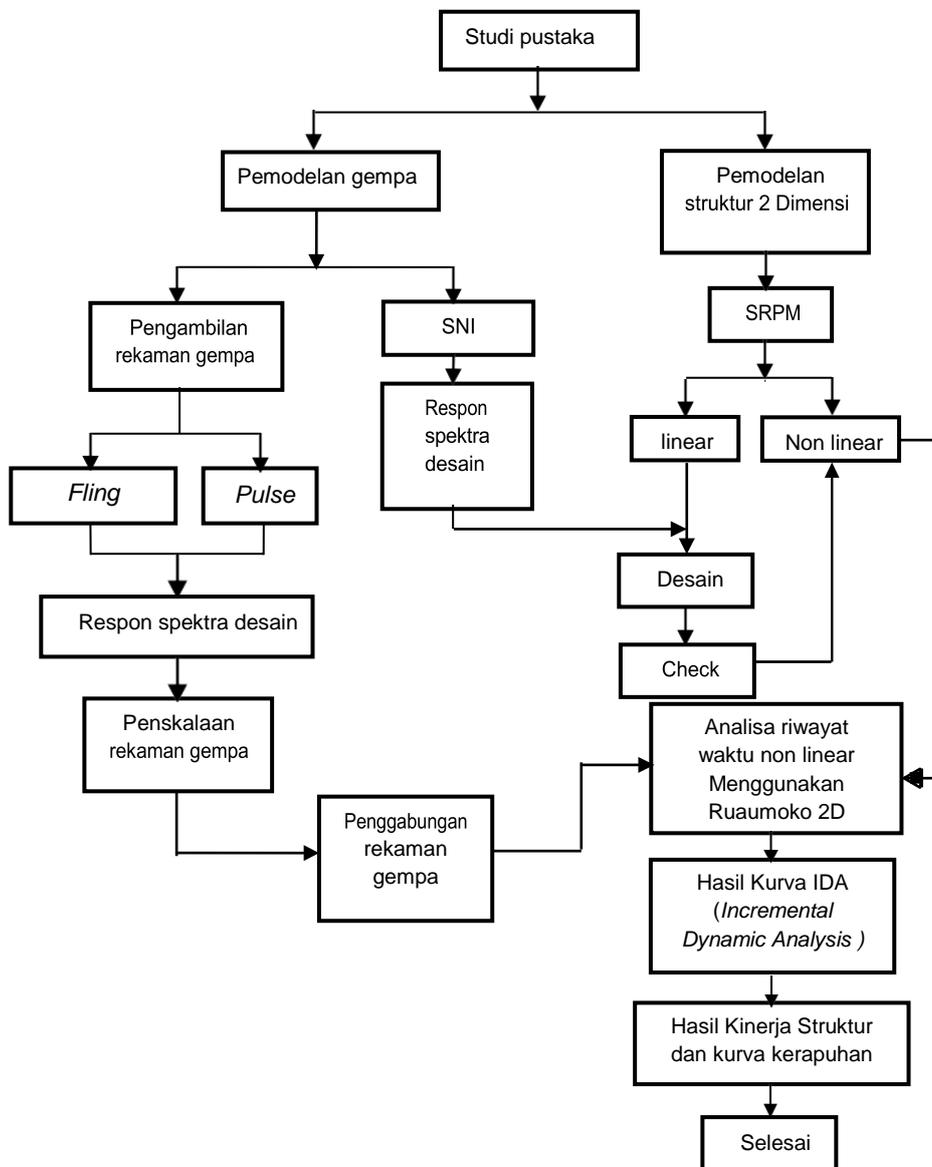
- a. Pemodelan komponen untuk memungkinkan efek geser elastis pada balok dan kolom.
- b. Model histeresis untuk menstimulasikan non-linear geser balok untuk koneksi kolom di struktur baja.
- c. Model histeresis pemodelan kontrol menggabungkan semi-aktif.
- d. Aturan degradasi kekuatan baru untuk pengurangan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

BAB 3

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 versi 04. Secara umum, metode penelitian dalam Tugas Akhir ini dibuat dalam suatu diagram alir seperti yang tampak pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.

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

3.2 Pemodelan Struktur 2 Dimensi

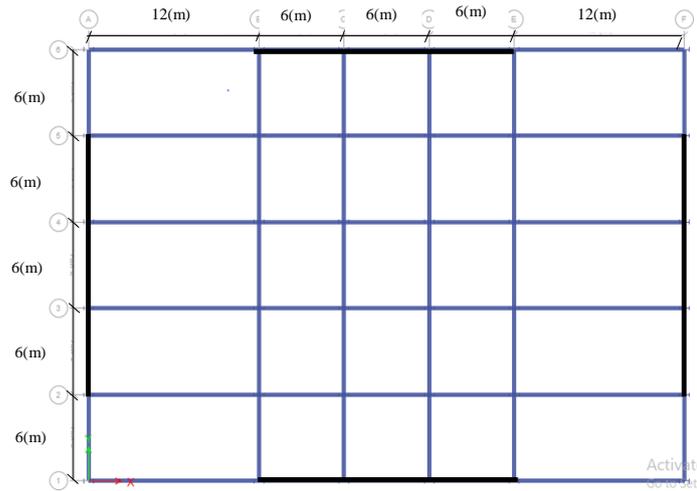
3.2.1. Data Perencanaan Struktur

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

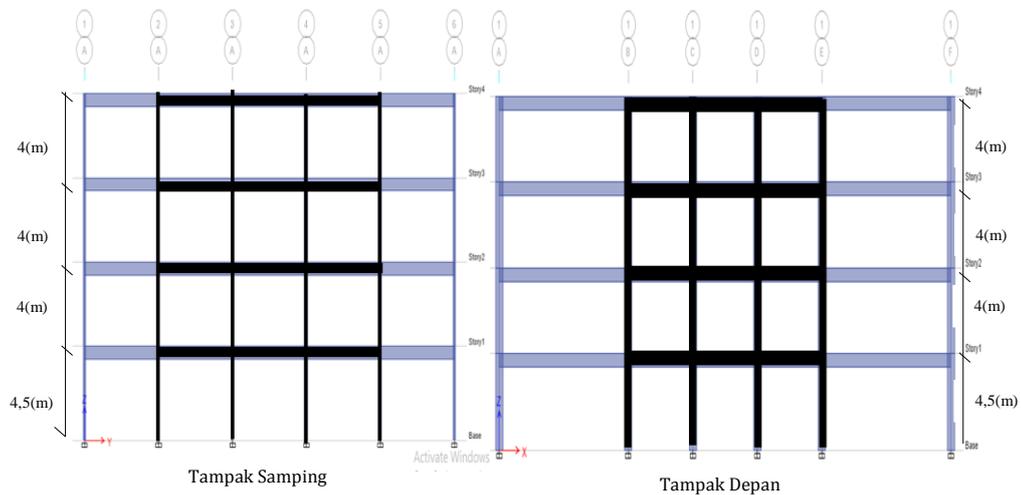
1. Jenis pemanfaatan gedung perkantoran.
2. Gedung terletak di Banda Aceh.
3. Klasifikasi situs tanah lunak (*SE*).
4. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (*SRPMK*).
5. Jenis portal struktur gedung adalah baja..
6. Mutu baja yang di gunakan adalah ASTM A992
 - Kuat leleh minimum (*f_y*) = 50 ksi (345 Mpa)
 - Kuat tarik minimum (*f_u*) = 65 ksi (450 Mpa)

3.2.2. Konfigurasi Bangunan

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



Gambar 3.2: Denah struktur Model



Gambar 3.3: Gambar proyeksi struktur Model lantai 4

Gambar 3.2: merupakan pemodelan Struktur 2 dimensi untuk SRPMK lantai 4 di mana pemodelan ini memiliki tinggi antara base ke lantai 1 setinggi 4,5 meter dan dari lantai 1 sampai seterusnya 4 meter. Sedangkan jarak antar kolom yang di modelkan sejarak 6 meter perkolom

3.2.3. Dimensi Kolom-Balok

Bangunan yang direncanakan adalah struktur beraturan, Struktur gedung direncanakan dengan dimensi penampang yang berbeda. Ukuran balok dan kolom terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Komponen struktural bangunan.

Model Bangunan	Ukuran Balok (in)	Keterangan	Ukuran Kolom (in)	Keterangan
4 Lantai	W21X73	Balok lantai 1-3	W24X103	Balok lantai 1-2
	W21X54	Balok lanai 4	W24X62	Balok lanai 3-2

3.3. Analisis Struktur

3.3.1. Analisis Dinamik Struktur Linier

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

3.3.2. Pembebanan

Pembebanan yang bekerja pada strukturu bangunan diambil dari jurnal *F. Zareian* (2010) Beban-beban tersebut adalah beban hidup dan beban mati yang berhubungan dengan struktur bangunan. berikut merupakan pembebanan yang digunakan

1. Beban Mati = 4,309 kn/m² untuk semua lantai.
2. Beban Mati Tambahan = 1,197 kn/m² untuk lantai tipikal.
3. Beban Hidup = 2,394 kn/m² untuk atap.
4. Beban pada atap = 0.957 kn/m² untuk semua lantai.

3.4. Respon Spektrum Desain Gempa

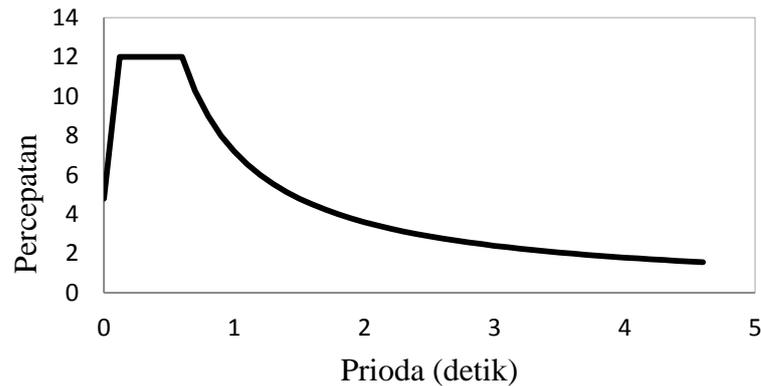
3.4.1 Desain Respon Spektrum Banda Aceh (Tanah Lunak)

Berdasarkan SNI 1726:2012, respon spektrum gempa didesain pada kondisi tanah lunak yang terletak di Kota Banda Aceh, kemudian dianalisis dengan data-data $PGA = 4.8 \text{ m/det}^2$, $S_s = 1.5 \text{ g}$ dan $S_l = 0.6 \text{ g}$.

- Nilai F_a = 1.174
- Nilai F_v = 2.689
- S_{MS} = 1.761
- S_{MI} = 1.6134
- S_{DS} = 1.5
- S_{DI} = 0.9

- T_0 = 0.12
- T_s = 0.6
- Nilai S_a = 0.6

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



Gambar 3.4: Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Banda Aceh dengan jenis tanah lunak.

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

3.4.2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dihitung berdasarkan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2012 tentang standar perencanaan bangunan tahan gempa, maka didapatkan untuk Faktor $R=8$ nilai $\rho = 1.3$ yang diperoleh dari kategori desain seismik D dan nilai $S_{DS} = 1.5$ Tabel 3.2 untuk faktor $R=8$.

Tabel 3.2: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai $\rho = 1.3$, $S_{DS} = 0.8094$.

Kombinasi	Koefisien (DL)	Koefisien (LL)	Koefisien (EX)	Koefisien (EY)
Kombinasi 1	1,4	0	0	0
Kombinasi 2	1.2	1.6	0	0

Lanjutan Tabel 3.2:

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

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

3.4.3. Analisis Respon Spektrum Ragam

Analisis ini merupakan tahap desain yang harus memenuhi syarat-syarat batas berdasarkan SNI 1726:2012. Analisis telah memenuhi syarat jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi yaitu sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Nilai untuk masing-masing

parameter terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar lantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing respon ragam telah dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan respon spektrum dibagi dengan kuantitas (R/I_e). Nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar lantai harus dikalikan dengan kuantitas (C_d/I_e) yang nilainya telah tertera pada Tabel 2.5 untuk nilai I_e dan Tabel 2.10 untuk nilai R dan C_d .

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

3.4.4. Groundmotion Records (Data Rekaman Gempa)

Data rekaman gempa diperoleh dari *website* resmi *Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Next Generation Attenuation (NGA)*, *COSMOS Strongmotion 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 sebanyak 28 rekaman gempa yaitu gempa *main-shock* mengandung *Fling* 1 rekaman gempa, *Pulse* 3 rekaman gempa, dan *Regular* 4 rekaman gempa. Sedangkan *after-shock* mengandung *Regular* 11 rekaman gempa dan *pulse* 6 rekaman gempa yang diperoleh dari PEER NGA dan COSMOS seperti terlihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.3: Rekaman getaran gempa *Pulse* dari PEER NGA & COSMOS.

Nama Gempa MainShock	Magnitude	Nama Gempa Aftershock	Magnitude	Nama Stasiun	Tahun
Northridge-01	6.7	Northridge-06 (Aftershock)	5.3	Cedar Hill	199,411,997
NorthwestChina-02	6.1	NorthwestChina-01 (Aftershock)	5.8	Jiashi	1997
		NorthwestChina-03	5.9		
Nama Gempa MainShock	Magnitude	Nama Gempa Aftershock	Magnitude	Nama Stasiun	Tahun
NorthwestChina-02	6.1	NorthwestChina-04	5.9	Jiashi	1997
Coalinga-05		Coalinga-07	5.2	Coalinga-14th & Elm (Old CHP)	1983
		Coalinga-06	5.8		
		Coalinga-09	5.3		
Coalinga-08	5.8	Coalinga-09	5.3	Coalinga-14th & Elm (Old CHP)	1983
Umbria Marche	5.7	Umbria Marche-01	6	Nocera Umbra	1997
		Umbria Marche (Aftershock)	5.6		
Umbria Marche-01	6	Umbria Marche (Aftershock)	5.6	Nocera Umbra	1997
Livermore-01	5.8	Livermore-02	5.42	APEEL 3E Hayward CSUH	1980
Mammoth Lakes-01	6.06	Mammoth Lakes-03	5.91	Convict Creek	1980
		Mammoth Lakes-04	5.7		
		Mammoth Lakes-05	5.7		
		Mammoth Lakes-02	5.69		
		Mammoth Lakes-06	5.94		
Mammoth Lakes-04	5.7	Mammoth Lakes-05	5.7	Convict Creek	1980
Coalinga-08	5.2	Coalinga-07	5.2	Coalinga-14th & Elm (Old CHP)	1983
Kalamata Greece-01	6.2	Kalamata Greece-02 (Aftershock)	5.4	Kalamata	1986

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).

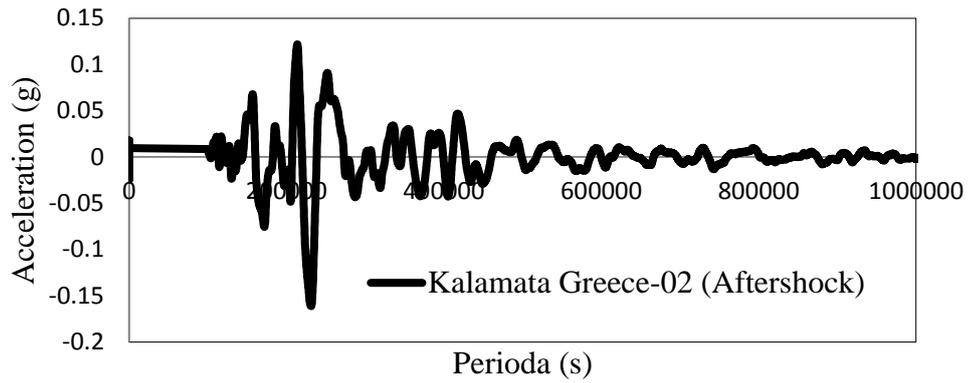
Selanjutnya data rekaman gempa yang diperoleh tersebut diskalakan terhadap respon spektrum desain. Pada proses penskalaan dibutuhkan data respon spektrum desain agar data rekaman gempa original disesuaikan dengan kondisi geologis pada Kota Banda Aceh (tanah lunak). Selain itu, rentang perioda alami (T) 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 Non Linier Inelastis dengan Metode Analisa Riwayat Waktu.

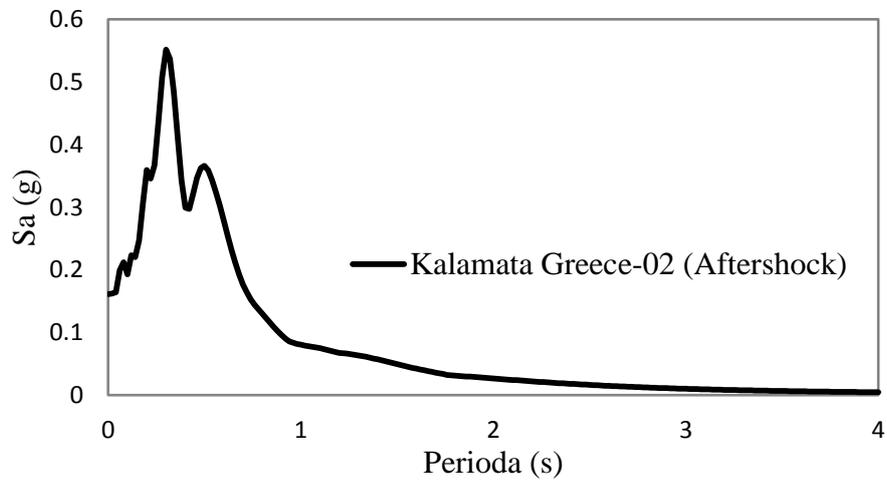
3.4.5. Analisis Respon Riwayat Waktu

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

- a. pengambilan rekaman gempa dari PEER NGA dan COSMOS. Daerah-daerah rekaman yang diambil tertera pada tabel 3.7 dan 3.8.
- b. mengubah rekaman gempa menjadi respon spektrum dengan bantuan *software Seismosignal*. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses penskalaan.

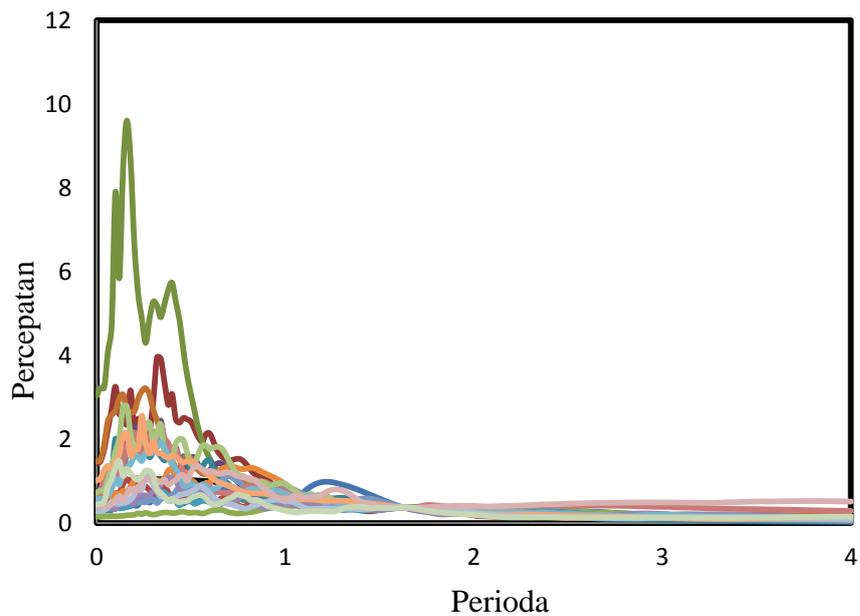


Gambar 3.5: Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (*main-shock*) sebelum diubah menjadi respon spektrum



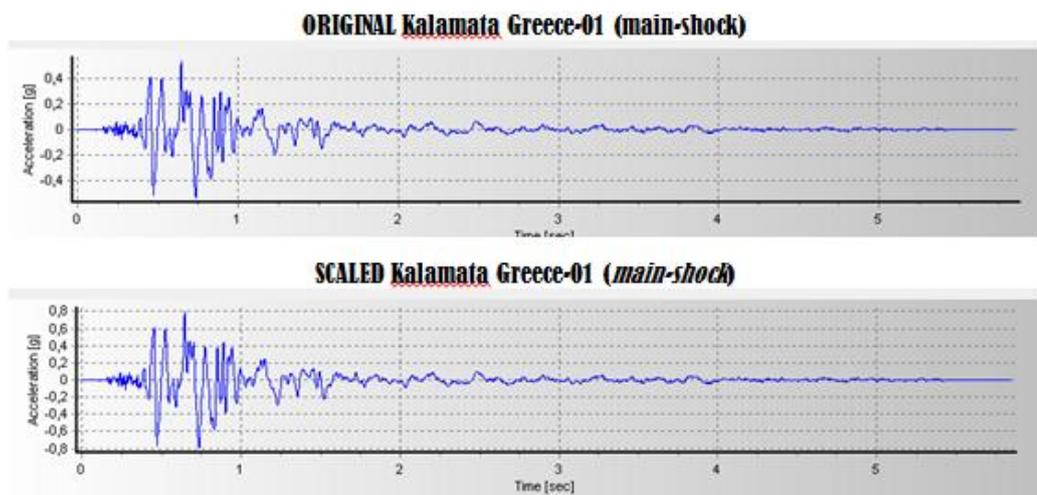
Gambar 3.6: Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (*main-shock*) setelah diubah menjadi respon spektrum

- c. kemudian respon spektrum diskalakan dengan respon spektrum yang direncanakan untuk wilayah Indonesia.

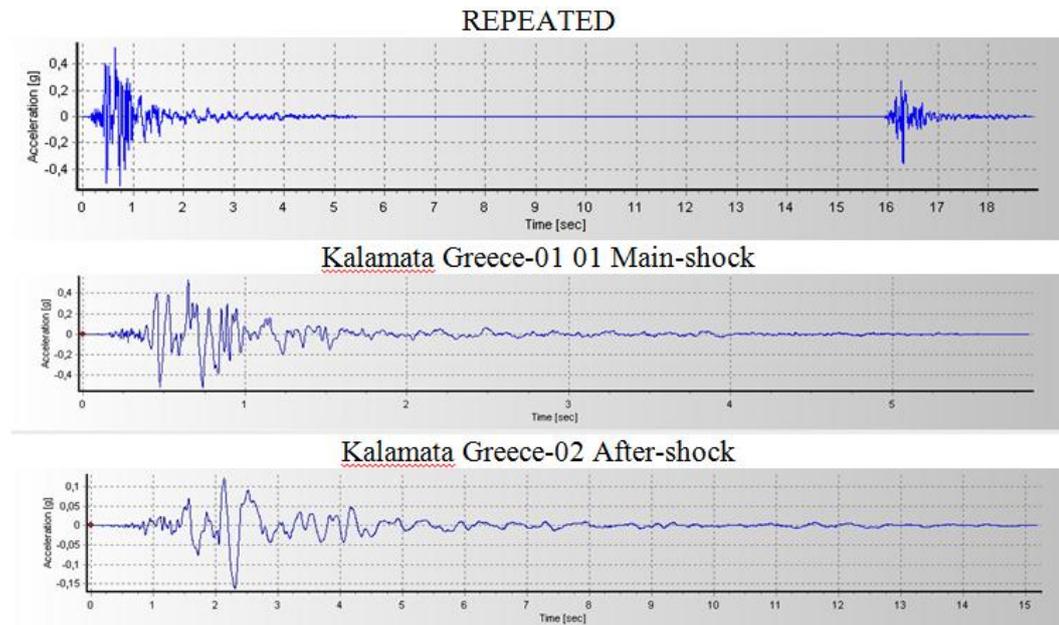


Gambar 3.7: Respon spektrum dengan 10 daerah gempa setelah diskalakan terhadap respon spektrum diindonesia (Banda aceh).

- d. Menskalakan rekaman gempa dengan menggunakan *software* MATLAB, rekaman gempa akan dijadikan gempa tunggal dan gempa berulang.



Gambar 3.8: Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (*main-shock*) setelah diskalakan (gambar bawah) ini termasuk gempa tunggal.



Gambar 3.9: Rekaman gempa Kalamata Greece-01 (*Main-shock*) dan Kalamata Greece-02 (*after-shock*) setelah digabungkan (*Repeated*), ini termasuk gempa berulang.

Kemudian data rekaman gempa yang telah digabung digunakan sebagai *input* pada *software* RUAUMOKO versi 04. untuk Analisis Dinamik NonLinear Inelastis dengan Metode Analisa Riwayat Waktu. Untuk langkah langkah pengerjaannya lihat Lampiran A11.

3.5. Analisis Dinamik Struktur Nonlinear

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

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

1. Analisis modal (cek perioda; partisipasi massa $> 90\%$; kekakuan tidak direduksi)
2. Analisis linear statik ekuivalen
3. Analisis linear dinamik respon spektrum
4. Analisis linear dinamik respon riwayat waktu

3.5.1. Analisis Respon Riwayat Waktu

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

- I : Momen inersia penampang
- E : Modulus elastisitas penampang
- M_y : Momen leleh
- M_c : Momen puncak
- Ko : 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*

3.5.2. Momen Leleh (M_y)

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

3.5.3. Kapasitas Rotasi

- Kapasitas rotasi plastis (θ_p)
Menurut Zareian dan Krawinkler (2009), terdapat 3 kategori kapasitas rotasi plastis yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Dalam tugas akhir ini nilai θ_p yang digunakan adalah kapasitas rendah yaitu 0,04.
- Rotasi pasca-puncak (θ_{pc})

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

3.5.4. Rotasi Leleh (θ_y)

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

3.5.5. Kurva kerapuhan

Fragility Curves atau kurva kerapuhan didapatkan hasilnya setelah mendapatkan nilai *Incremental Analysis Dynamics* (IDA). Dalam pengerjaan kurva keruntuhan analisis dan jumlah analisis dilakukan pada setiap tingkat struktur. Fungsi distribusi kumulatif lognormal sering digunakan untuk mendefinisikan fungsi keruntuhan:

$$P(C|IM = x) = \Phi\left(\frac{\ln(x/\theta)}{\beta}\right) \quad (3.1)$$

Pers. 3.1 di atas digunakan untuk menghitung probabilitas keruntuhan yang diinput dengan bantuan *software* Microsoft *Excel*. Untuk Perhitungan lengkapnya lihat Lampiran A13.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Model Linier Dan Non Linier

Pada Bab ini akan membahas beberapa hasil analisa linier dan non linier oleh Program Analisa Struktur diantaranya, perioda getar, nilai simpangan dan gaya-gaya dalam struktur gedung, berdasarkan struktur 4 lantai dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Serta melakukan analisa respon spektrum ragam dan analisa respon riwayat waktu.

4.2. Hasil Analisa Linier

4.2.1. Respon Spektrum Ragam

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

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

Analisa menggunakan metode *CQC* (*Complete Quadratic Combination*), hasil persentase perioda rata-rata yang didapat lebih kecil dari 15% dan *SRSS* (*Square Root of the Sum of Square*) lebih besar dari 15%. Pada hasil analisa diperoleh hasil model struktur 4 lantai didapat 12 mode dan hasil persentase nilai prioda lebih banyak di bawah 15%

Untuk perhitungan tertera pada lampiran A3

4.2.2. Koreksi Gempa Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, kombinasi respon untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V_1)

menggunakan prosedur gaya lateral ekivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala yaitu:

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

dimana:

V_1 = Gaya geser dasar nominal statik ekivalen

V_t = Gaya geser dasar kombinasi ragam

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

Struktur	Arah Gempa	V_1 (KN)	V_t (KN)
Model 1	Gempa X (R=8)	3289,28	2876,54

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

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

Untuk perhitungan tertera pada Lampiran A5

4.2.3. Koreksi Faktor Redundansi

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

4.2.4. Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Nilai V_1 dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (V_t) dapat dilihat pada Tabel 4.2. Kontrol Koreksi skala simpangan antar tingkat, yaitu:

Syarat : $V_t \geq 0,85 C_s W$

Berdasarkan Tabel 4.1 nilai V_t sb. x diperoleh :

Tabel 4.2: Nilai gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (V_t) sumbu X.

Struktur	Arah Gempa	V_t (KN)	$0,85 C_s W$	Cek
Model 1	Gempa X (R=8)	2876,54	2795,89	Ok

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

4.2.5. Nilai Simpangan Gedung

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

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

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

4.2.7. Pengaruh Efek P-Delta

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

4.3. Hasil Analisa Non Linier

Pada tahap ini merupakan bagian dari evaluasi struktur baja yang telah didesain terhadap beban gempa yang telah direncanakan, dalam hal ini respon struktur akan ditinjau terhadap perbedaan jenis gempa, faktor R pada gedung, dan perioda struktur bangunan. Jenis gempa yang akan diberikan pada struktur baja yaitu gempa tunggal yang mengandung gempa *pulse*, gempa *no pulse*, gempa *fling*, dan gempa berulang 2 kali. Faktor R pada gedung merupakan faktor reduksi gedung yang telah didesain dengan perbedaan sistem struktur baja. Setiap model struktur akan diambil data *interstory drift* dan dianalisa.

4.3.1. Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Incremental Dynamic Analysis yang di lakukan pada satu mode struktur menghasilkan gambaran respon dan kapasitas dari struktur yang selanjutnya dapat digunakan untuk membentuk kurva kerapuhan struktur sebagai metode dalam asamen kerapuhan seismik. Hasil IDA menggunakan 28 set rekaman gempa untuk model 4 lantai. Grafik IDA adalah hasil dari *interstory drift Ratio*.

4.3.2 *interstory drift*

Jika masing-masing *node* mengalami perpindahan akibat gaya gempa, maka perpindahan tersebut dapat menghasilkan simpangan antar tingkat. Besarnya simpangan antar tingkat dipengaruhi oleh kekakuan dari struktur tersebut. Tabel 4.3 dan 4.4 menunjukkan perbedaan nilai simpangan antar tingkat gempa tunggal dan gempa berulang untuk pemodelan lantai 4. Secara keseluruhan, nilai simpangan antar tingkat pada gempa tunggal lebih kecil dari nilai simpangan antar tingkat yang terjadi pada gempa berulang. Hal ini dapat kita pahami dikarenakan gempa berulang mengandung percepatan yang lebih besar dari pada gempa tunggal. Dan juga untuk gempa berulang akan memberikan dampak yang lebih terhadap struktur dibandingkan gempa tunggal.

Tabel 4.3 : Nilai perbandingan *interstory drift* untuk pemodelan 4 lantai faktor R=8 dengan acuan gempa tunggal dan gempa berulang yang mengandung *fling*, *pulse* dan *nopulse*.

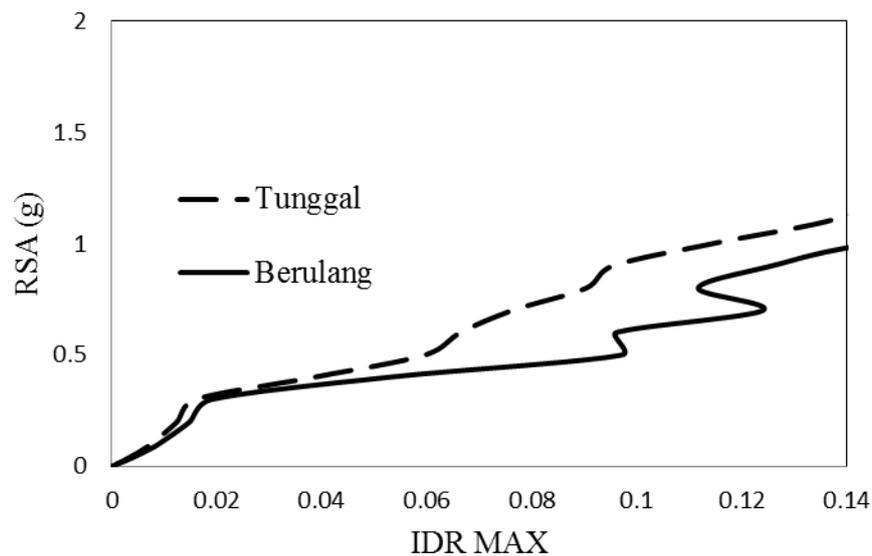
Struktur	T (s)	Gempa tunggal (m)	Gempa berulang (m)
4 Lantai	1.62	0.1219	0.1632

Tabel 4.4 : Nilai persentasi perbandingan *interstory drift* untuk masing- masing model untuk R=8 dengan acuan gempa tunggal yang mengandung *fling*, *pulse* dan *nopulse*.

Struktur	T (s)	Gempa tunggal (%)	Gempa berulang (%)
4 Lantai	1.62	100%	133.66

4.4. Pengaruh Gempa Tunggal dan Gempa Berulang

Nilai rata-rata grafik IDA pada gempa tunggal dan gempa berulang yang mengandung *fling*, *pulse*, dan *regular* terhadap pemodelan struktur 4 lantai memiliki nilai IDR dari gempa berulang lebih besar dari pada gempa tunggal, pada gempa tunggal memiliki nilai $RSA(T1) = 1$ mendapatkan nilai IDR = 0,114 dan pada gempa berulang memiliki nilai $RSA(T1) = 1$ menapatkan nilai IDR = 0,145 lihat pada gambar 4.1.

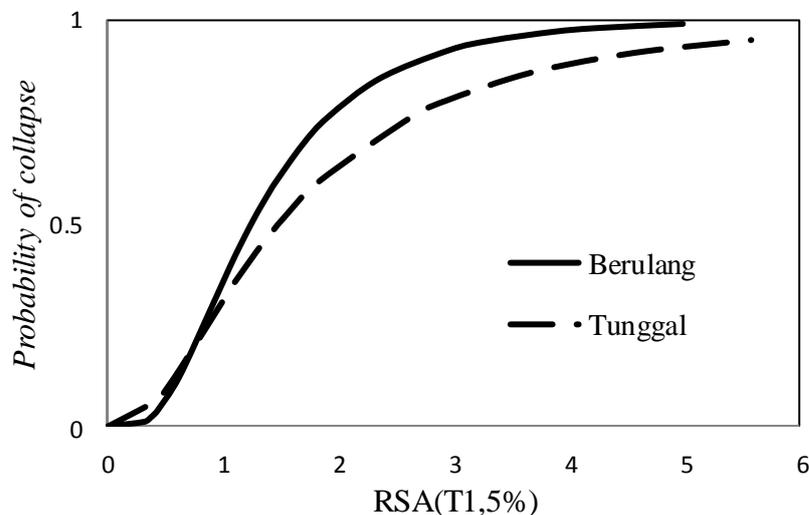


Gambar 4.1: Grafik IDA perbandingan gempa tunggal dan gempa berulang terhadap model struktur 4 lantai dengan faktor R=8.

Dari gambar 4.1 dapat dilihat pada gempa berulang memiliki nilai RSA(T1) lebih kecil dari pada gempa tunggal tetapi gempa berulang memiliki IDR lebih besar dari pada IDR gempa tunggal hal ini di akibatkan oleh perbedaan nilai percepatan gempa akibat jumlah dari rekaman gempa berulang adalah pengabungan 2 gempa tunggal menjadi satu dalam satu rekaman gempa.

4.5 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. Kurva kerapuhan dari gempa tunggal dan gempa berulang terhadap model struktur 4 menunjukkan bahwa semakin tinggi grafik yang di dapat maka semakin kecil nilai RSA(T1) yang di butuh kan untuk mencapai nilai *Probability of collapse* = 10% atau 0,1. Lihat Gambar 4.2.

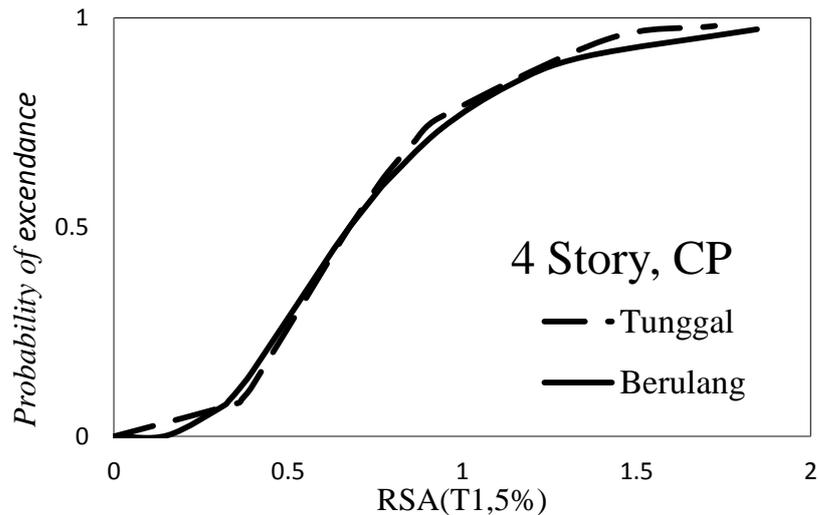


Gambar 4.2 Grafik kurva kerapuhan 10% (*Collapse*) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai dengan faktor R=8

Dari grafik 4.2 dapat dilihat pada gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai untuk mencapai nilai *Probability of collapse* = 0,1 atau 10 % memiliki RSA(T1.5%) yang tidak sama, dimana gempa tunggal memiliki nilai

RSA(T1.5%) yang lebih besar di dibandingkan dengan gempa berulang untuk mencapai *Probability of collapse* = 10%

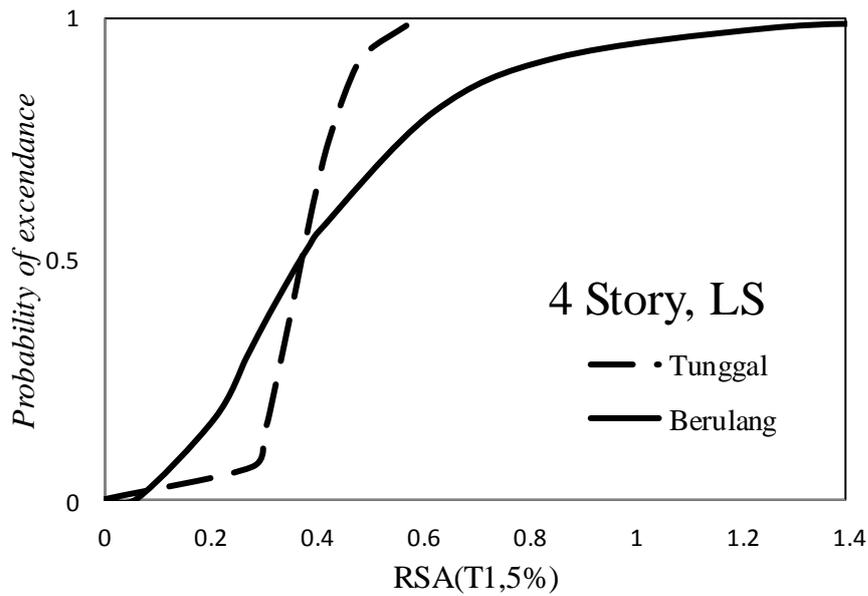
Nilai pada *Probability of excendance* = 5% atau 0.05 (*collapse prevention*) pada gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai. Lihat gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik kurva kerapuhan 5% (*collapse prevention*) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai dengan faktor R=8

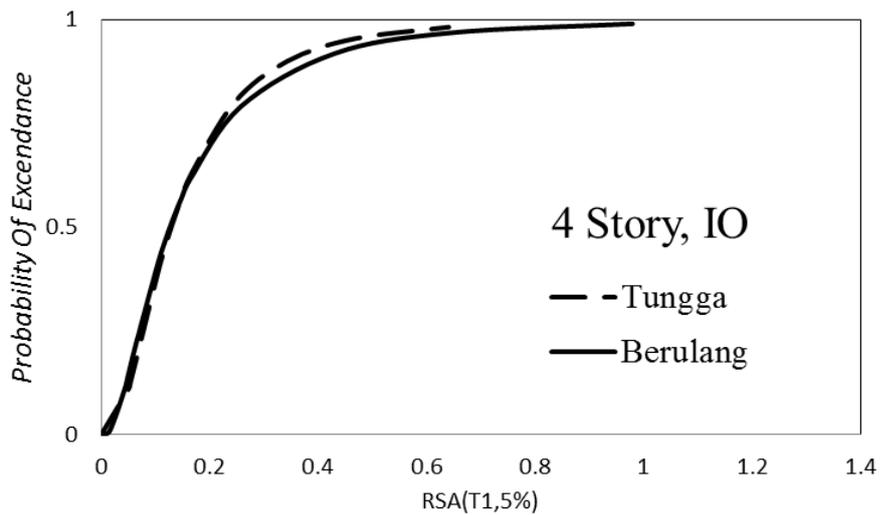
Dari grafik 4.3 dapat di lihat nilai dari RSA(T1.5%) dari kedua gempa yaitu tunggal dan gempa berulang yang di butuhkan untuk *Probability of excendance* = 5% atau 0.05 tidak jauh berbeda dimana gempa berulang memiliki RSA(T1.5%) yang lebih besar di dibandingkan gempa tunggal, artinya pada gempa berulang membutuhkan RSA(T1.5%) yang lebih besar untuk mencapai nilai *Probability of excendance* = 5% atau 0.05.

Nilai pada grafik kurva kerapuhan pada gempa tunggal dan gempa berulang yang di butuhkan untuk mencapai *Probability of excendance* = 2,5% atau 0.025 (*life safety*) pada gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai memiliki perbedaan yang jauh pada RSA(T1.5%) dimana gempa tunggal memiliki RSA(T1.5%) yang lebih kecil untuk mencapai *Probability of excendance* = 2,5% atau 0.025 dibandingkan dengan gempa berulang Lihat gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik kurva kerapuhan 2,5% (*life safety*) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai dengan faktor R=8

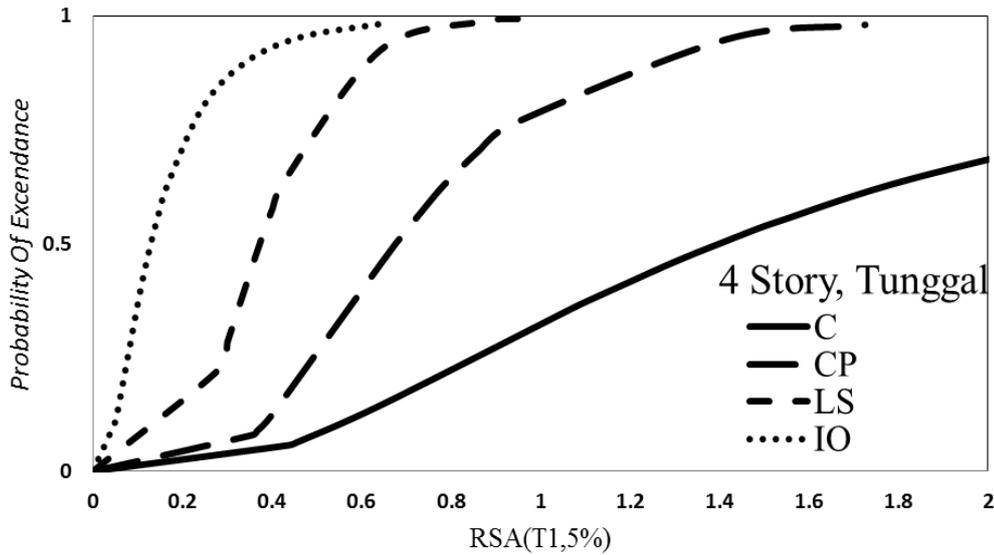
Nilai pada *Probability of exceedance* = 0,7% atau 0.007 (*immediately occupancy*) pada gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai. Lihat gambar 4.3.



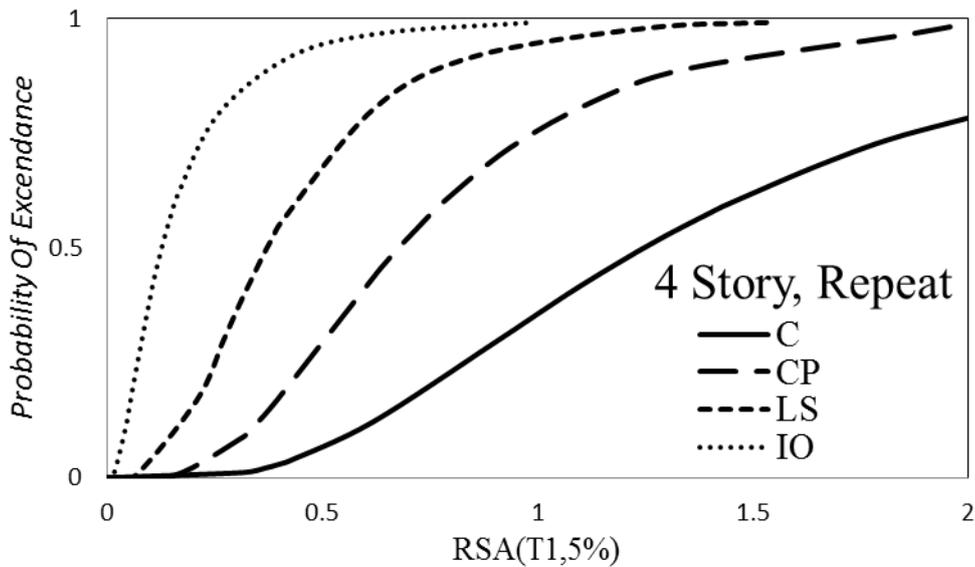
Gambar 4.5 Grafik kurva kerapuhan 0,7% (*immediately occupancy*) gempa tunggal dan gempa berulang terhadap struktur 4 lantai dengan faktor R=8

4.6 Perbandingan kurva fragility

Pada perbandingan kurva fragility ini melihatkan perbedaan pada *collapse* (C), *collapse prevention* ,(CP),*life safety* (LS), dan *immediately ocupancy* (IO) dalam tiap gempa tunggal dan gempa berulang.



Gambar 4.6 Grafik kurva kerapuhan dengan *collapse* (C), *collapse prevention* (CP), *life safety* (LS), dan *immediately ocupancy* (IO) pada gempa tunggal dan terhadap struktur 4 lantai dengan faktor R=8



Gambar 4.7 Grafik kurva kerapuhan dengan *collapse* (C), *collapse prevention* (CP), *life safety* (LS), dan *immediately ocupancy* (IO) pada gempa berulang terhadap struktur 4 lantai dengan faktor R=8

4.7. Kondisi Keruntuhan Struktur

Nilai keruntuhan struktur menurut FEMA 2000 untuk *collapse* (C) = 10%, *collapse prevention* (CP) = 5%, *life safety* (LS) = 2,5% dan *immediately occupancy* (IO) = 0.7%. Lihat tabel 4.5

SNI (1726 : 2012) untuk kategori resiko I dan II adalah 10 %, dan kondisi mendekati keruntuhan adalah 2 %. Lihat tabel 4.5 dan tabel 4.6.

Tabel 4.5: Nilai RSA(T1) untuk kondisi keruntuhan pada gempa tunggal dan gempa berulang.

Kondisi Keruntuhan	TUNGGAL	BERULANG 2 KALI
	RSA(T1)	RSA(T1)
10%	0.924	1.056
5%	0.454	0.669
2,5%	0.34	0.372
0.7%	0.092	0.128

Dari tabel 4.5 dapat di lihat nilai keruntuhan menurut FEMA 2000 dengan keruntuhan 10%, 5%, 2,5% dan 0.7% pada gempa berulang memiliki nilai RSA(T1) yang paling besar dari gempa tunggal. Pada gempa tunggal 5% mengalami penurunan yang besar dari pada gempa berulang, tetapi gempa tunggal di kondisi keruntuhan 10%, 2,5%, 0,7% memiliki nilai RSA(T1) yang tidak terlalu jauh beda.

4.8. Median Kurva Kerapuhan

Nilai median yang telah diperoleh dari analisi kurva kerapuhan *collapse* (C) = 10%, *collapse prevention* (CP) = 5%, *life safety* (LS) = 2,5% dan *immediately occupancy* (IO) = 0.7% lihat padagempa tunggal dan gempa berulang. Lihat tabel 4.6:

Tabel 4.6: Nilai RSA(T1) untuk nilai median *Probability of collapse* (50%) pada sruktur 4 lantai.

Kondisi Keruntuhan	TUNGGAL RSA(T1,5%)	BERULANG RSA(T1,5%)
10%	1.487	1.247
5%	0.675	0.676
2,5%	0.373	0.371
0.7%	0.129	0.127

Pada table 4.7 terlihat bahwa nilai median pada kondisi keruntuhan pada gempa tunggal memiliki nilai RSA(T1,5%) yang lebih tinggi di dibandingkan dengan gempa berulang untuk mencapai *Probability of collapse* = 0,5. Kondisi keruntuhan 10% memiliki nilai yang signifikan lebih tinggi dengan nilai yang lain selisih nilai RSA(T1,5%) sebesar 0.2 dibandingkan dengan kondisi keruntuhan 5%, 2,5%, 0,7% selisih nilai RSA(T1,5%) sebesar 0.02

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari studi ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Menurut hasil analisis *Incremental Dynamic Analysis* perilaku struktur bila terkena gempa tunggal dan gempa sebagai berikut:
 - a. Gempa berulang memberikan nilai IDR yang lebih besar dari pada gempa gempa tunggal.
 - b. Nilai $RSA(T_1)$ pada gempa berulang lebih kecil dari pada Nilai $RSA(T_1)$ pada gempa tunggal, tetapi nilai IDR pada gempa berulang lebih besar dari pada nilai IDR pada gempa tunggal.
2. Menurut hasil analisis, diperoleh probabilitas keruntuhan struktur gedung SRPMK baja bila terkena gempa tunggal dan gempa berulang
 - a. Untuk kondisi keruntuhan ($IDR = 10\%$) menurut FEMA 2000, nilai $RSA(T_1)$ yang didapat pada gempa tunggal memerlukan nilai $RSA(T_1)$ yang lebih besar dari pada gempa berulang untuk mencapai kondisi keruntuhan.
 - b. Untuk kondisi mendekati keruntuhan ($IDR = collapse\ prevention\ (CP) = 5\%$, $life\ safety\ (LS) = 2,5\%$ dan $immediately\ occupancy\ (IO) = 0.7\%$) menurut FEMA 2000, nilai $RSA(T_1)$ yang didapat gempa berulang selalu memerlukan nilai $RSA(T_1)$ yang lebih besar dari pada gempa tunggal untuk mencapai kondisi mendekati keruntuhan.

5.2 Saran

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

2. Dalam Tugas Akhir ini, analisa riwayat waktu non linier struktur gedung hanya ditinjau secara 2 dimensi. Disarankan agar struktur gedung ditinjau secara 3 dimensi.
3. Diharapkan tugas akhir ini dapat diteruskan atau dievaluasi kembali dalam rangka mendapatkan hasil yang optimal dan dapat dilakukan perbandingan terhadap hasil yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdollahzadeh, G., Mohammadgholipour, A., & Omranian, E. (2018). Seismic evaluation of steel moment frames under Mainshock–aftershock sequence designed by elastic design and PBPD methods. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-24.
- Amiri, S., & Bojórquez, E. (2019). Residual displacement ratios of structures under mainshock-aftershock sequences. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 121, 179-193.
- ANSI, A. (2012). AISC Seismic Design Manual. *American Institute of Steel Construction Inc., Chicago*.
- ANSI, A. (2005). AISC 358–05 prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications. *American Institute of Steel Construction Inc., Chicago*.
- Badan Standarisasi Nasional (2012) Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Bhagat, S., Wijeyewickrema, A. C., & Subedi, N. (2018). Influence of Near-Fault Ground Motions with Fling-Step and Forward-Directivity Characteristics on Seismic Response of Base-Isolated Buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-20.
- Budiono, B. dan Supriatna, L (2011) Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726:2002 dan SNI 1726:2012. Bandung: ITB.
- Departemen Pekerjaan Umum (1987) *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. *Universitas Pelita Harapan*.
- Dewobroto, W. (2016). Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain–AISC 2010 Edisi ke-2. *Tanggerang: Penerbit Jurusan Teknik Sipil UPH*.
- Di Trapani, F., & Malavisi, M. (2019). Seismic fragility assessment of infilled frames subject to mainshock/aftershock sequences using a double incremental dynamic analysis approach. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(1), 211-235.
- Faisal, A., Denny, M. H., & Johannes, T. (2015). Pengaruh getaran gempa yang mengandung efek *pulse* dan tanpa mengandung *pulse* pada struktur tidak

simetris sebidang. *Jurnal Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.

Faisal, A., Majid, T. A., & Hatzigeorgiou, G. D. (2013). Investigation of story ductility demands of inelastic concrete frames subjected to repeated earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 44, 42-53.

Faisal, A. (2019). Perilaku Nonlinear Struktur Gedung Baja Dengan Bentuk Denah L, T Dan U Akibat Gempa. *Progress In Civil Engineering Journal*, 1(1), 63-73.

Flores, F. X., Charney, F. A., & Lopez-Garcia, D. (2014). Influence of the gravity framing system on the collapse performance of special steel moment frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 101, 351-362.

Goda, K., & Taylor, C. A. (2012). Effects of aftershocks on peak ductility demand due to strong ground motion records from shallow crustal earthquakes. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 41(15), 2311-2330.

<http://peer.berkeley.edu>.

<http://puskim.pu.go.id>.

<http://strongmotioncenter.org>.

Kalkan, E., dan Kunnath, K. (2006). Effects of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings. *Earthquake Spectra*, 22(2), 367–390.

Khatami, M., Gerami, M., Kheyroddin, A., & Siahpolo, N. (2020). The effect of the mainshock–aftershock on the estimation of the separation gap of regular and irregular adjacent structures with the soft story. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 14(02), 2050008.

Mazza, F., & Vulcano, A. (2014). Design of hysteretic damped braces to improve the seismic performance of steel and rc framed structures. *Ingegneria Sismica*, 31(1), 5-16.

Mamesah, H. Y., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). Analisis Pushover pada Bangunan dengan Soft First Story. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4).

Pawirodikromo, W., (2012), *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar., Yogyakarta.

Ruiz-García, J., & Aguilar, J. D. (2017). Influence of modeling assumptions and aftershock hazard level in the seismic response of post-mainshock steel framed buildings. *Engineering Structures*, 140, 437-446.

Rizkiani, R. E. (2019). Studi Perbandingan Struktur Gedung Dispenda Kota Samarinda Berdasarkan Sni 03-1726-2002 Dan Sni 03-1726-2012. *Kurva S Jurnal Mahasiswa*, 1(1), 341-353.

Siswanto, B., & Salim, M., (2018), *Rekayasa Gempa*, K-Media, Yogyakarta.

- Song, R., Li, Y., & Van de Lindt, J. W. (2016). Loss estimation of steel buildings to earthquake mainshock–aftershock sequences. *Structural safety*, *61*, 1-11.
- Sharif, V., & Behnamfar, F. (2012). Evaluating the effects of near-field earthquakes on the behavior of moment resisting frames. *Computational Methods in Civil Engineering*, *3*(2), 79-91.
- Wen, W., Ji, D., & Zhai, C. (2020). Cumulative Damage of Structures under the Mainshock-aftershock Sequences in the Near-fault Region. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-15.
- Wijaya U. (2018) *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design)* Edisi 2, Yogyakarta: Andi.
- Zareian, F., Lignos, D. G., & Krawinkler, H. (2010). Evaluation of seismic collapse performance of steel special moment resisting frames using FEMA P695 (ATC-63) methodology

LAMPIRAN

A.1. Perhitungan Pembebanan Struktur

Dalam Tugas Akhir ini, jenis pembebanan yang digunakan adalah beban gravitasi. Adapun beban gravitasi yang bekerja pada struktur tersebut adalah:

- Beban mati = 90 psf = 4,309 KN/m²
- Beban hidup
 - Pada lantai tipikal = 50 psf = 2,394 KN/m²
 - Pada atap = 20 psf = 0,957 KN/m²
- Beban mati tambahan = 25 psf = 1,197 KN/m²

A.2. Syarat Periode Struktur

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

Data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 4,5 m
- Tinggi lantai tipikal : 4 m
- Hn : 16,5 m
- Cu : 1,5
- Ct : 0.0724
- x : 0,8

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

SYARAT PERIODA					
Arah	$T_{a_{min}}$ ($C_t \times h_n^x$)	$T_{a_{max}}$ ($C_u \times T_{a_{min}}$)	$T_{sap2000}$	$T_{dipakai}$	KONTROL
X	0,9025	1,3538	1,6338	1,3538	OK

Berdasarkan Tabel L.1, periode alami struktur yang digunakan adalah batas periode maksimum yaitu 0,64 karena nilai periode pada Program Analisa Struktur lebih besar dari batas maksimum pada model tersebut.

A.3. Modal Participating Mass Ratios

Tabel L.2: Hasil output *Modal Participating Mass Ratios* struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur 4 Lantai.

Modal Participating Mass Ratios				
Case	Mode	Period	UX	Sum UX
Modal	1	1,633,858	0,82008	0,82008
Modal	2	0,527713	0,12741	0,94749
Modal	3	0,288361	0,03442	0,98191
Modal	4	0,200648	0,00	0,98191
Modal	5	0,191159	0,00115	0,98307
Modal	6	0,190829	0,01691	0,99998
Modal	7	0,14183	0,00	0,99998
Modal	8	0,141465	1,23E-07	0,99998
Modal	9	0,105218	0,00	0,99998
Modal	10	0,100106	0,00	0,99998
Modal	11	0,091562	0,00	0,99998
Modal	12	0,083336	1,13E-19	0,99998

Tabel L.3: Hasil selisih persentase nilai perioda

Mode	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	67,09	Not ok	Ok
T2-T3	46,37	Not ok	Ok
T3-T4	30,41	Not ok	Ok
T4-T5	4,73	Ok	Not ok
T5-T6	0,17	Ok	Not ok
T6-T7	25,68	Not ok	Ok
T7-T8	0,26	Ok	Not ok
T8-T9	25,62	Not ok	Ok
T9-T10	4,86	Ok	Not ok
T10-T12	8,53	Ok	Not ok
T11-T12	8,98	Ok	Not ok

A.4. Berat Sendiri Struktur

Tabel L.5: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur.

<i>Story</i>	<i>Self weight</i> (KN)
4	2492,94
3	2500,17
2	2513,56
1	2519,87
TOTAL	10026,54

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa berat total struktur untuk tersebut adalah 10026,54 KN.

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

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

❖ Untuk faktor R=8, Data struktur:

- S_{D1} : 0,2
- S_{DS} : 0,5
- R : 8,00
- I_e : 1,00
- S_1 : 0,642

$$\begin{aligned}\checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,5}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,0625\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,2}{1,3538\left(\frac{8,0}{1,0}\right)} = 0,01846\end{aligned}$$

Tabel L.5: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 1 (R=8).

Arah	Cs Maksimum	Cs Hitungan	Cs Minimum	Cs Digunakan
X	0,0625	0,01846	0,0401	0,01846

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

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,01846 \times 178125,46$$

$$V = 3289,28 \text{ KN}$$

✓ Penentuan nilai k

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

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

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

Tabel L.6: Nilai *story shear* untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 1 ($R=8$).

Lantai	Berat Seismik (W_x)	Tinggi Lantai (hx)	$W_x \cdot hx^k$	$\frac{(W_x \cdot hx^k)}{(\sum W_x \cdot hx^k)} \times V$	Story Shear (F_x)
4	2522,008	16,5	74483,92	1375,43	1375,43
3	2579,852	12,5	54487,594	1006,17	2381,6
2	2542,6275	8,5	33706,37	622,42	3004,02
1	2511,8675	4,5	15447,58	285,26	3289,28
TOTAL			178125,46		

Berdasarkan Tabel L.6, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk struktur tersebut adalah 3289,28 KN.

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

Tabel L.7: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1 untuk faktor R=8.

<i>Story</i>	V_x	35% V_x <i>base shear</i>	Kontrol
4	1375,43	78,50	Oke
3	2381,6	78,50	Oke
2	3004,02	78,50	Oke
1	3289,28	78,50	Oke
<i>Base</i>	0	0	Oke

A.7. Nilai Simpangan Gedung

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

Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Simpangan (δ_{xe} - m)	Simpangan antar tingkat (($\delta \cdot Cd$)/Ie))	Syarat (Δa) 0.02*hi	Cek (Sb.X,Y) Story drift
		X	X		X
16,5	4	0,01048117	0,037963503	0.08	OK
12,5	3	0,003578715	0,012564134	0.08	OK
8,5	2	0,001294327	0,009427787	0.08	OK
4.5	1	0,00300847	0,016546585	0.09	OK

Berdasarkan Tabel L.7: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari Δa (simpangan antar tingkat izin).

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

Tabel L.9: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x.

ARAH X				
STORY	KEKAKUAN TOTAL	Ki/Ki+1 (%)	RATA-RATA KEK. 3TINGKAT (Kr)	Ki/Kr (%)
4	3533,568905	-	-	-
3	4310,344828	121,98	1436,781609	-
2	6369,426752	147,77	-	-
1	13698,63014	215,07	-	953,42

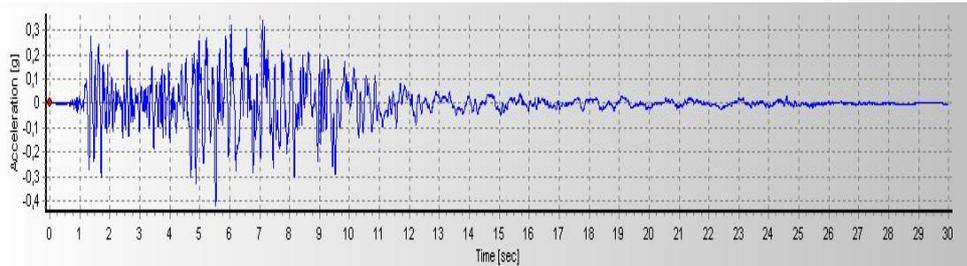
A.9. Pengaruh Efek P-Delta

Tabel L.10: Hasil analisa P-Delta struktur pemodelan (R=8).

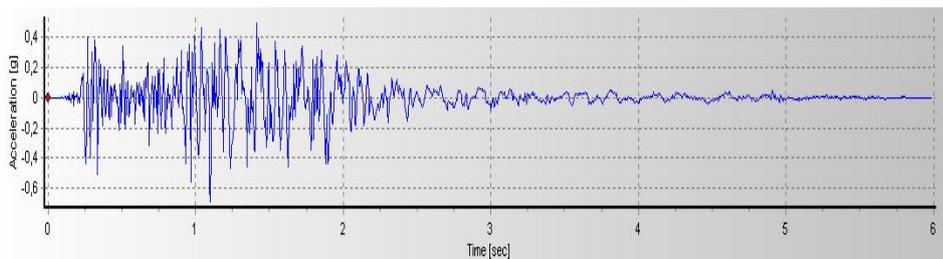
ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	Vu	Pu	Ie	Cd	STABILITY RATIO	CEK < 1
4	16,5	0,038	1375,43	2524,78	1	5.5	0,0317	OK
3	12,5	0,0126	2381,6	5075,44	1	5.5	0,0122	OK
2	8,5	0,0094	3004,02	7626,1	1	5.5	0,0109	OK
1	4,5	0,0165	3289,27	10176,8	1	5.5	0,0233	OK

A.10. *Groundmotion* (Rekaman gempa)

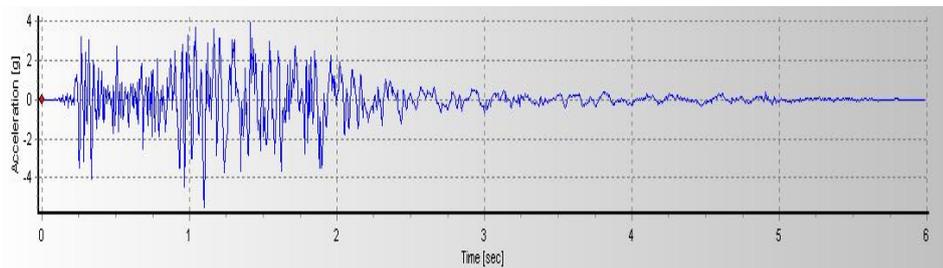
Terdapat dua tipe *groundmotion* yang akan digunakan dalam tugas akhir ini yaitu tipe *groundmotion* tunggal dan *groundmotion* berulang 2 kali yang akan diskalakan berdasarkan penskalaan DBE linier, MCE, DBE non linier dan MCE non linier.



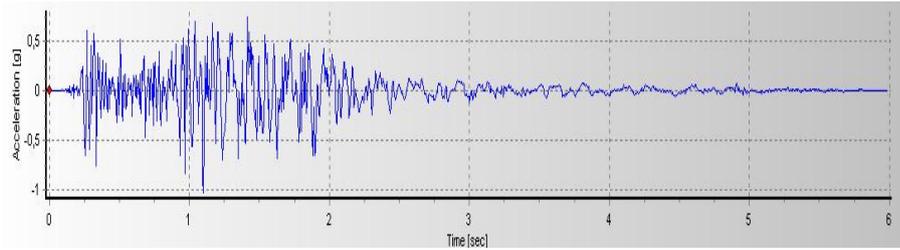
Gambar L.1: Rekaman gempa Mammoth Lakes-01 California sebelum penskalaan.



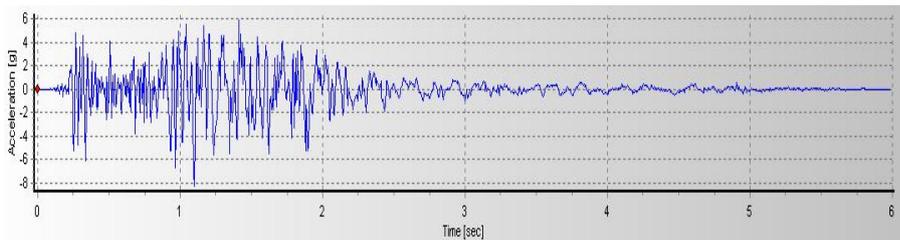
Gambar L.2: Rekaman gempa Mammoth Lakes-01 California sesudah penskalaan DBE linier.



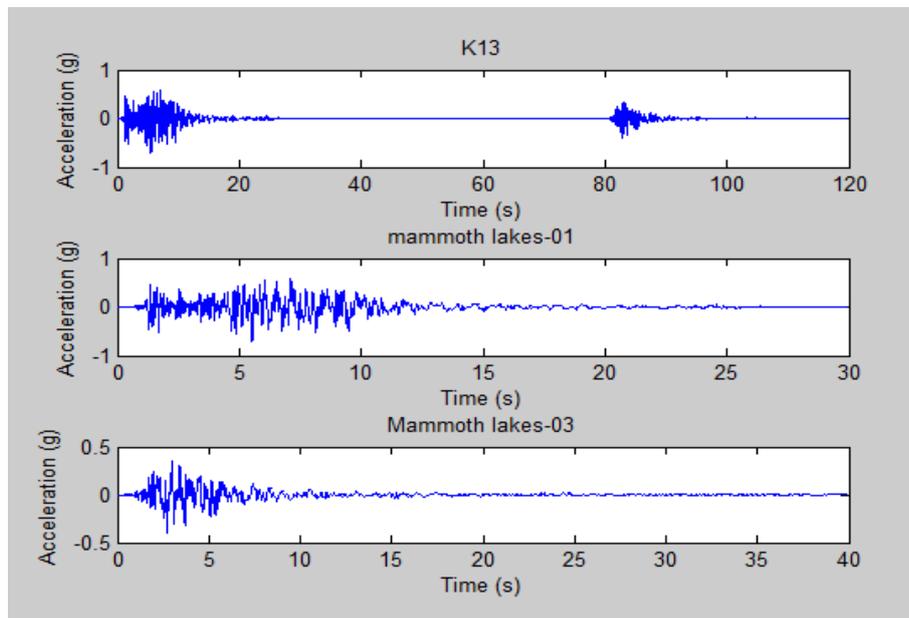
Gambar L.3: Rekaman gempa Mammoth Lakes-01 California sesudah penskalaan DBE non linier.



Gambar L.4: Rekaman gempa Mammoth Lakes-01 California sesudah penskalaan MCE linier linier.



Gambar L.5: Rekaman gempa Mammoth Lakes-01 California sesudah penskalaan MCE non linier.



Gambar L.6: Rekaman gempa Mammoth Lakes-01 California setelah digabungkan dengan rekaman gempa Mammoth Lakes California-03 untuk menjadi rekaman gempa berulang.

LAMPIRAN

A.11. Cek Profil

- Balok (W21 X 73)

Data

A	138,71	cm ²	13871	mm ²
I _x	66600	cm ⁴	666000000	mm ⁴
I _y	2939	cm ⁴	29390000	mm ⁴
r _x	460,305	Cm	46,0305	Mm
r _y	219,1	Cm	21,91	Mm
S _x	6235	cm ³	6235000	mm ³
S _y	6600	cm ³	6600000	mm ³

Dimensi Profil

d	538	Mm	H	500
bf	211	Mm	Ho	519
tw	11,9	Mm		
tf	19	Mm		

Mutu Baja = F_y 345 MPa

F_u 450 MPa

Sayap

λ_f 5,5526316

Batasan

Δ_p 9,149325 Kompak
Δ_r 24,07717

Badan

λ_w 42,016807

Batasan

Δ_p 90,53016 Kompak
Δ_r 137,2399

Analisi Lentur

Kondisi Leleh

$$Z_x = 2824421 \text{ mm}^3$$

$$M_n = M_p = 974425245 \text{ n.mm}$$

$$974,42525 \text{ kN.m}$$

Kondisi Tekuk Torsi Lateral

- Panjang batang saat plastis

$$L_p = 928,45422 \text{ mm} \quad 0,9284542$$

- Panjang Kondisi Residu

$$J = 1245692,5 \text{ mm}^4$$

$$c = 1$$

$$r_{ts} = 34,974398 \text{ mm}$$

$$L_r = 3364,24 \quad 3,364243$$

$$L_p = 0,9284542 \text{ m}$$

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

$$L_r = 3,3642432 \text{ m}$$

Dengan satu pengekang lateral di tengah

$$M_u = 1848,9719$$

$$L_b/4 = 0,75$$

$$L_b/2 = 1,5$$

$$3L_b/4 = 2,25$$

Analisa Geser

Cek Syarat

h/tw	42,016807		
$2.24*(E/Fy)^{0.5}$	53,932862	0ke	
Vn	1325255,4	N	
	1325,2554	KN	
Vu	629,223	KN	
$Vu/\phi Vn$	0,4747938	0ke	tidak perlu stifner

• Kolom (W21 X 73)

MB	=	-64.32	KN.m		
MA	=	340.55	KN.m	340550000	N.mm
Nu	=	2905.46	KN		
Pgempa	=	20.42	KN		
L	=	4.50	m	4500	mm

Section Properties

Ag	=	195.48	cm ²	19548	mm ²
Ix	=	124900	cm ⁴	1249000000	mm ⁴
Iy	=	4953	cm ⁴	49530000	mm ⁴
rx	=	25.27	cm	252.7	mm
ry	=	5.034	cm	50.34	mm
Sx	=	8700	cm ³	8700000	mm ³
Sy	=	9480	cm ³	9480000	mm ³
d	=	622	mm		
bw	=	229	mm		
tw	=	14	Mm		
tf	=	24.9	Mm		
H	=	572.2	Mm		

Mutu baja	=	Fy = 345 Mpa
		Fu = 450 MPa

1. Efek P-Δ

$$\Delta = 0.004635 \text{ m} \longrightarrow 4.635 \text{ mm}$$

$$H = 20418.75 \text{ N}$$

$$P_{mf} = P_{\text{story}} = P_u = 2905.46 \text{ KN} \longrightarrow 2905460 \text{ N}$$

$$R_m = 0.85$$

$$P_{\text{story}} = 16850420.91 \text{ N}$$

$$B_2 = 1.208351965$$

$$M_r = 411.5042615 \text{ KN.m}$$

$$P_r = 3510.818299 \text{ KN}$$

2. Analisis Kekuatan Nominal Axial Tekan

Sayap

$$\lambda_s = 4.598393574$$

Batas

$$\lambda_f = 13.48321555 \text{ (tidak langsing)}$$

Badan

$$\lambda_w = 40.87142857$$

Batas

$$\lambda_f = 35.87498422 \text{ (langsing)}$$

- Tekuk Lentur

$$k.l / r_{\min} = 89.39213349$$

Batasan :

$$4.71 \cdot (E/F_y)^{0.5} = 113.4034736$$

$$K.L/r_{\min} < 4.71 \cdot (E/F_y)^{0.5}$$

Maka

$$F_{cr} = (0.658^{f_y/f_e}) \cdot f_y$$

$$F_e = 246.7690486 \text{ Mpa}$$

Maka

$$F_{cr} = 192.1703883 \text{ Mpa}$$

$$\phi P_n = F_{cr} \cdot A_g = 3380.892075 \text{ KN}$$

- **Tekuk Torsi**

$$\begin{aligned}h_o &= 597.1 \text{ mm} \\c_w &= 4.41471E+12 \text{ mm}^6 \\K_z &= 1 \\J &= 2903053.481 \text{ mm}^4 \\G &= 77200 \text{ Mpa} \\F_e &= 503.6580086 \text{ Mpa} \\f_y/f_e &= 0.684988611 < 2.25 \\F_{cr} &= 259.0036607 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\phi P_n = F_{cr} \cdot A_g = 4556.703203 \text{ KN}$$

Ambil ϕP_n minimum

$$\phi P_n = 3380.892075 \text{ KN} \quad \text{diambil dari nilai terkecil}$$

3. Analisis Kondisi Lentur

Sayap	Batas
$\lambda_s = 4.598393574$	$\lambda_p = 9.149324835$ kompak
	$\lambda_r = 24.07717062$

Badan	Batas
$\lambda_w = 40.87142857$	$\lambda_f = 90.53016152$ kompak

- **Kondisi Leleh (Yielding)**

$$\begin{aligned}Z_x &= 4550668.85 \text{ mm}^3 \\M_n = M_p &= 1569980753 \text{ N.mm} \\ \phi M_n = M_p &= 1412.982678 \text{ KN.m}\end{aligned}$$

- **Kondisi Tekuk Torsi Lateral**

- **Kondisi Tekuk Lokal Sayap Tekan untuk Nonkompak**

$$L_b = 4500 \text{ mm} \quad M_n = -640530071.4 \text{ N.mm}$$

$$= -640.5300714 \text{ KN.m}$$

$$L_p = 2133.198793 \text{ mm} \quad \phi M_n = -576.4770642 \text{ KN.m}$$

$$C = 1$$

$$R_{ts} = 41.22712741 \text{ mm}$$

$$L_r = 4075.79627 \text{ mm}$$

Kuat Nominal dari profil rencana adalah

$$P_c = \phi P_n = 3380.892075 \text{ KN}$$

$$M_c = \phi M_n = 1412.982678 \text{ KN.m}$$

Interaksi antara Axial dan lentur pada kolom

$$P_r/P_c = 1.038429569 > 0.2$$

$$P_r/2P_c + (M_{rx}/M_{cx} + M_{ry}/M_{cy})$$

$$0.810445716 < 1 \quad \text{oke}$$



TUGAS AKHIR
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : ZUKRI AULIA PUTRA
NPM : 1607210028
JUDUL : KINERJA KERUNTUHAN PADA SRPM BAJA
TERHADAP GEMPA BERULANG

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
		- perbaiki masalah & figure) - lanjut ke bab 2	Mh 15/02/20
		- perbaiki metode penelitian) - buat model linear	Mh 09/03/20
		- perbaiki model linear) - lanjut ke bab 3	Mh 02/04/20
		- perbaiki bab 2) - cari hasil analisis linear	Mh 22/05/20
		- buat model elastis) - perbaiki bab 3	Mh 12/06/20
		- perbaiki model elastis) - analisis hasil analisis linear	Mh 17/07/20
		- buat analisis hasil analisis) - buat grafik 10A	Mh 21/08/20
		- perbaiki grafik 10A) - lanjut ke bab 4	Mh 17/09/20
		- perbaiki hasil analisis) - perbaiki keran 10A	Mh 21/10/20
		- buat fragility curve) - perbaiki fragility curve	Mh 30/10/20
		- perbaiki bab 4) - buat kesimpulan, dan	Mh 03/11/20
		- dat. in dll	

all the seminars Mh 03/11/20
ade faisal
(Dr. ADE FAISAL)



Daftar Riwayat Hidup

Nama : Zukri Aulia Putra
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat/Tgl Lahir : Medan, 5 November 1998
Alamat : Jl. Rahmadsyah No. 173 A / 199, Kecamatan Medan Area,
Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara.
Agama : Islam
No. Hanpone : 082361559898
E_mail : zukriauliaputra5@gmail.com
Nama Orang Tua
Ayah : Abdul Rahman
Ibu : Yon Ulfah

JENJANG PENDIDIKAN

1. SD Muhammadiyah 1, Medan : 2004-2010
2. SMP Muhammadiyah 01, Medan : 2010-2013
3. SMA Negeri 6, Medan : 2013-2016
4. Melanjutkan kuliah di Fakultas Teknik Program Studi Sipil di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara