

## **TUGAS AKHIR**

### **PENGARUH KINERJA KERUNTUHAN SRPM BAJA AKIBAT GEMPA *PULSE* DAN *FLING* (*LITERATUR*)**

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

**Disusun oleh:**

**FAHMI  
1607210092**



# **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](mailto:fatek@umsu.ac.id)

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

### **LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Fahmi  
NPM : 1607210092  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Pengaruh Kinerja Keruntuhan SRPM baja akibat gempa *Pulse* Dan *Fling* (*Literatur*)  
Bidang Ilmu : Struktur

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA  
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 2020

Dosen Pembimbing

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Dr. Ade Faisal

## LEMBAR PENGESAHAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

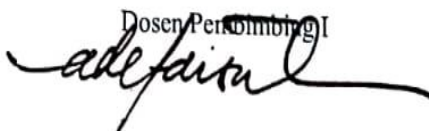
Nama Lengkap : Fahmi  
NPM : 1607210092  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Pengaruh Kinerja Keruntuhan SRPM Baja Akibat Gempa  
*Pulse dan Fling.*  
Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, .....

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I



(Dr. Ade Faisal)

Dosen Pembanding I



(Dr. Fahrizal Zurkarnain)

Dosen Pembanding II



(Bambang Hadibroto, S.T, M.T)

Program Studi Teknik Sipil

Ketua



(Dr. Fahrizal Zulkarnain)

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Fahmi  
Tempat / Tanggal Lahir : Medan / 12 Agustus 1998  
NPM : 1607210092  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Pengaruh Kinerja Keruntuhan SRPM Baja Akibat Gempa *Pulse* Dan *Fling*”

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

Bila kemudian hari diduga kuat 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/kesarjanaan saya.

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

Medan, 18 November 2020

Saya yang menyatakan,



## ABSTRAK

### PENGARUH KINERJA KERUNTUHAN SRPM BAJA AKIBAT GEMPA *PULSE* DAN *FLING* (LITERATUR)

Fahmi  
160721092  
Dr.Ade Faisal

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh adanya pelepasan energi regangan elastis batuan pada litosfir. Gempa itu sendiri terdiri dari gempa tunggal yang mana terdiri dari gempa regular, *pulse*, *fling*. Oleh karena itu diperlukan struktur bangunan yang mampu meminimalisir resiko kerusakan akibat gempa *regular*, *pulse* dan *fling*. Dalam hal tersebut struktur baja sangat direkomendasikan karena struktur baja lebih elastis dibandingkan dengan struktur beton bertulang. Pada tugas akhir ini direncanakan sebuah struktur dengan 4 lantai yang dimodelkan terhadap penskalaan rekaman gempa yaitu penskalaan MCE yang disandingkan dengan 20 groundmotion untuk masing masing jenis gempa *regular*, *pulse*, *fling* untuk analisis linier dan analisis non linier. Dari hasil analisis yang didapatkan dari hasil memodelkan struktur baja dengan kondisi tanah lunak terhadap gempa tunggal didapatkan nilai *incremental displacement analysis* dimana hasil kurva IDA tersebut menunjukkan gempa regular lebih besar daripada gempa *pulse* dan *fling* dimana gempa regular lebih dominan untuk mendapatkan kinerja keruntuhan lebih cepat dibandingkan gempa *pulse* dan *fling*. Hasil analisis didapatkan bahwa *interstory drift* pada gempa regular memiliki nilai *drift* sebesar 0.539, gempa *pulse* 0.442, dan gempa *fling* 0.726 dan analisis kemungkinan keruntuhan di buat dengan kategori 10% collapse, 5% CP (collapse prevention), 2.5% LS (life safety) dan 0.7% IO (immediate occupancy)

Kata kunci: gempa, kinerja struktur, baja.



## **ABSTRACT**

### ***THE EFFECT OF PERFORMANCE LEVEL OF STEEL SPECIAL MOMMENT FRAME DUE TO PULSE AND FLING EARTHQUAKES (LITERATURE)***

*Fahmi  
160721092  
Dr.Ade Faisal*

*Earthquakes are a natural phenomenon caused by the release of elastic stretch energy of rocks in the lithosphere. The earthquake itself consists of a single earthquake which consists of an ordinary earthquake, pulse, swing. Therefore we need a building structure that is able to minimize the damage caused by earthquakes on a regular basis, pulse and fling. In this regard, steel structures are highly valued because steel structures are more elastic than reinforced concrete structures. In this final project, a 4-story structure is designed to be modeled against the earthquake recording scaling, namely the MCE scaling coupled with 20 groundmotion for each type of earthquake, pulse, fling for linear analysis and non-linear analysis. From the analysis results obtained from the results of modeling steel structures with soft ground conditions against earthquakes obtained from the value displacement analysis where the results of the IDA curve show earthquakes that are bigger than earthquakes and earthquakes where the earthquake is more dominant to get faster collapse performance than pulse and fling earthquakes. . The results of the analysis showed that interstory drift in the earthquake had a drift value of 0.539, earthquake 0.442 earthquake, earthquake 0.442 earthquake, and earthquake 0.726 earthquake and the analysis of the probability of collapse was made with the category of 10% collapse, CP 5% (collapse prevention), 2.5% LS ( life safety) and 0.7% IO (direct occupancy).*

*Keyword: earthquake, structural performance, 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 “Pengaruh Kinerja Keruntuhan SRPM Baja Akibat Gempa *Pulse* Dan *Fling*” 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. Selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zurkarnain selaku Dosen Pembimbing 1 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.
3. Bapak Bambang Hadibroto, S.T, M.T Selaku Dosen Pembimbing 2 dan penguji 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. Teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Ir.Fauzil dan Ibunda tercinta Herlita, S.E serta Adik Tercinta Syafina Ramadhani yang telah memberikan kasih sayang yang tidak ternilai kepada penulis.
6. Seluruh civitas akademika Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis.

7. Teman dan rekan seperjuangan Abangda Afiful Ansari, S.T dan tim *earthquake engineering* serta teman teman saya Muhammad Ardiansyah, Narwan Hidayat, Tanyo Adhitya, Rizky Ananda, Rizky Arami dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut 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

Fahmi



## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR NOTASI	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Ruang Lingkup	3
1.4. Tujuan	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Umum	7
2.2. Pengertian Gempa	7
2.2.1 Jalur Gempa Bumi Indonesia	8
2.2.2 Parameter Gempa Bumi	8
2.3. <i>Ground motion</i>	9
2.3.1 Gempa Dekat	10
2.4. Material Baja	12
2.4.1 Kelebihan Material Baja	12
2.5. Karakteristik Bangunan Tahan Gempa	13
2.6. Analisa Struktur Terhadap Beban Gempa	16
2.6.1. Pengaruh Beban Gempa Horizontal	17

2.6.2. Pengaruh Beban Gempa Vertikal	17
2.6.3 Pengaruh Beban Gravitasi Vertikal	18
2.6.4 Beban Gempa Statik Ekuivalen	18
2.7. Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa	19
2.7.1 Perilaku Sistem Struktur yang Diharapkan	21
2.7.2 Perencanaan Berbasis Kinerja	21
2.7.3 Analisa Pushover	22
2.7.4 Waktu Getar Alami Efektif (Perioda Alami)	24
2.7.5 Target Perpindahan	25
2.8. Sistem Pemikul Momen	26
2.9. Sistem Portal (Moment-Frame System)	27
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>	
3.1. Umum	29
3.2. Pemodelan Struktur	30
3.2.1. Data Perencanaan Struktur	30
3.2.2. Konfigurasi Bangunan	31
3.2.3. Dimensi Kolom Balok	32
3.3. Analisa Struktur	32
3.3.1. Analisis Dinamik Struktur Linear	32
3.3.1.1. Pembebanan	32
3.3.1.2. Respon Spektrum Desain Gempa Bandar Lampung (Tanah Lunak)	33
3.3.1.3. Kombinasi Pembebanan	34
3.3.1.4. <i>Groundmotion Records</i> (Data Rekaman Gempa)	35
3.3.1.5. Analisis Respon Riwayat Waktu	39
3.3.1.6. Analisa Momen Leleh ( $M_y$ )	42
3.3.1.7. Kapasitas Rotasi ( $\theta_p$ )	42
3.3.1.8. Rotasi Leleh ( $\theta_y$ )	42
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Hasil Model Linear Dan Model Non Linear	43
4.2. Hasil Analisa Linier	43
4.2.1. Respon Spektrum Ragam	43

4.2.2. Koreksi Gempa Dasar Nominal	44
4.2.3. Koreksi Faktor Redundansi	44
4.2.4. Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	45
4.2.5. Cek Kekuatan Kolom	45
4.2.7. Pengaruh Efek P-Delta	46
4.3. Hasil Analisa Non Linier	46
4.3.1. <i>Incremental Dynamic Analysis (IDA)</i>	46
4.3.2. Interstory drift	46
4.4. Pengaruh Gempa Tunggal	48
4.5. Analisis Probability of Collapse	49
4.6. Kinerja Keruntuhan	52
4.7. Kondisi Keruntuhan Struktur	54
<b>BAB5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	56
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Komponen Struktural Bangunan.	32
Tabel 3.2	Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012.	35
Tabel 3.3	Data Gempa <i>No Pulse</i> (Gempa Biasa).	36
Tabel 3.4	Data Gempa Dengan <i>Pulse</i> .	37
Tabel 3.5	Data Gempa <i>Fling</i> .	38
Tabel 4.1	Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekivalen ( $V_1$ ).	44
Tabel 4.2	Nilai $V_t$ sb.	45
Tabel 4.3	Nilai perbandingan <i>interstory drift</i> untuk masing- masing gempa dengan acuan gempa tunggal.	47
Tabel 4.4	Nilai persentasi perbandingan <i>interstory drift</i> dengan acuan gempa tunggal <i>no pulse, pulse, fling</i> .	47
Tabel 4.5	Nilai RSA(T1) Untuk Kondisi Keruntuhan.	53

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Tipe kecepatan dan perpindahan dari (a) gempa jauh, (b) gempa dekat ( <i>forward-directivity</i> ), and (c) gempa dekat ( <i>fling-step ground motions</i> ) (Kalkan dan Kunnath, 2006).	1
Gambar 1.2	Perbandingan respon dari (a) 4-lantai, (b) 6-lantai, and (c) 13-lantai bangunan yang diberi gempa biasa dan di beri <i>fling</i> (Kalkan dan Kunnath, 2006).	2
Gambar 2.1	Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).	10
Gambar 2.2	Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).	11
Gambar 2.3	Perilaku struktur akibat pembebanan horisontal berulang, (a). Perilaku struktur yang buruk, (b). Perilaku struktur yang baik (Siswanto, 2018).	15
Gambar 2.4	Diagram tegangan ( $f_c$ ) – regangan ( $\epsilon$ ) baja tertarik : (a) Diagram $f_c$ - $\epsilon$ baja sebenarnya.(b) Diagram $f_c$ - $\epsilon$ baja yang diidealisasikan (Siswanto, 2018).	16
Gambar 2.5	Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Dewobroto, 2005).	22
Gambar 2.6	Kurva Pushover (Hizkiah dkk, 2014).	23
Gambar 3.1	Bagan alir penelitian.	29
Gambar 3.2	: Denah Struktur Model 4 lantai.	31
Gambar 3.3	Gambar Proyeksi Struktur Model Lantai \$	31
Gambar 3.4	Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Bandar Lampung dengan jenis tanah lunak..	33
Gambar 3.5	Rekaman gempa Mammoth Lakes California sebelum diubah menjadi respon spektrum	40
Gambar 3.6	Rekaman gempa Mammoth Lakes California setelah diubah menjadi respon spektrum	40
Gambar 3.7	: Respon spektrum Mammoth Lakes setelah diskalakan terhadap respon spektrum diindonesia (Bandar Lampung).	41

Gambar 3.8	Respon spektrum dengan 20 daerah gempa setelah diskalakan terhadap respon spektrum diindonesia (Bandar Lampung).	41
Gambar 4.1	Grafik IDA perbandingan gempa tunggal regular, <i>pulse</i> , <i>fling</i> terhadap lantai 4	48
Gambar 4.2	Grafik kurva kerapuhan ( <i>collapse</i> ) gempa tunggal regular, <i>pulse</i> , <i>fling</i> terhadap lantai 4	49
Gambar 4.3	Grafik kurva kerapuhan ( <i>collapse prevention</i> ) gempa tunggal regular, <i>pulse</i> , <i>fling</i> terhadap lantai 4	50
Gambar 4.4	Grafik kurva kerapuhan ( <i>Life Safety</i> ) gempa tunggal regular, <i>pulse</i> , <i>fling</i> terhadap lantai 4	50
Gambar 4.5	Grafik kurva kerapuhan ( <i>immediate occupancy</i> ) gempa tunggal regular, <i>pulse</i> , <i>fling</i> terhadap lantai 4	51
Gambar 4.6	Grafik perbandingan kurva kerapuhan pada struktur dengan kategori CP, LS dan IO pada gempa reguler	52
Gambar 4.7	Grafik perbandingan kurva kerapuhan pada struktur dengan kategori CP, LS dan IO pada gempa <i>pulse</i>	52
Gambar 4.8	Grafik perbandingan kurva kerapuhan pada struktur dengan kategori CP, LS dan IO pada gempa <i>fling</i>	53

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

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
$M_y$	= <i>Momen Yield</i>
$M_u$	= <i>Momen Ultimit</i>
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
$\rho$	= 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>
IDA	= <i>incremental displacement analysis</i>
IDR	= <i>incremental dynamic ratio</i>
CO	= <i>collapse prevention</i>
LS	= <i>Life Safety</i>
IO	= <i>Immadiate Occupancy</i>
RSA	= <i>Respon Spectra Analisys</i>

# BAB 1

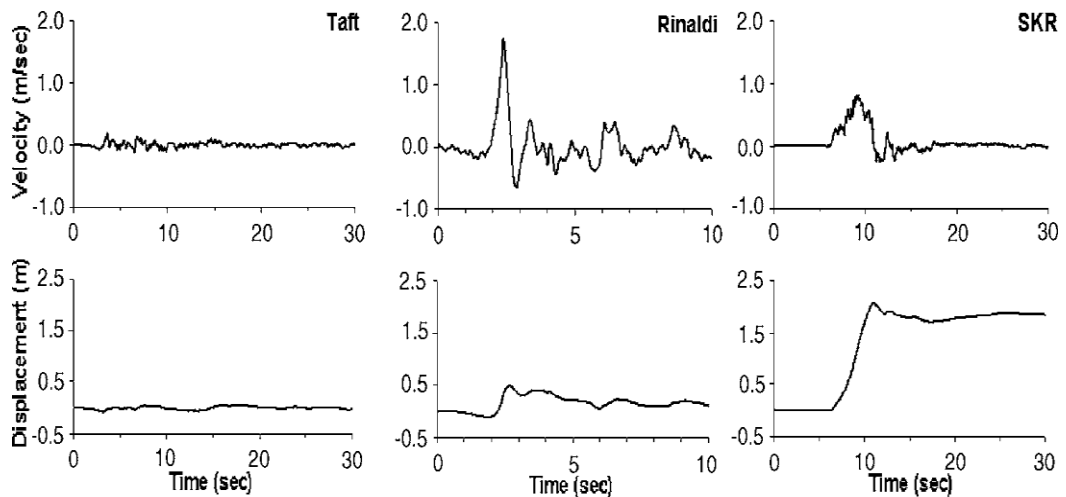
## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

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

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

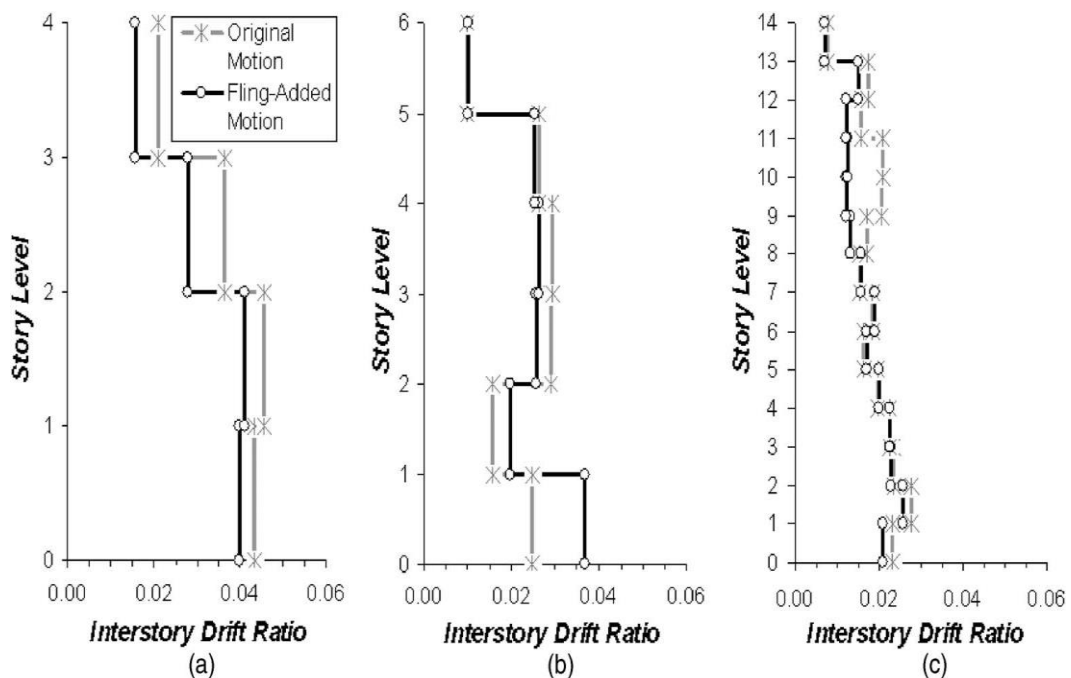
Gempa sendiri terbagi atas 2 yaitu gempa jauh dan gempa dekat, gempa jauh sendiri terbagi atas gempa yang regular dan yang mengandung *pulse* sedangkan gempa dekat adalah gempa yang mengandung regular, *pulse* dan *fling*



Gambar 1.1 Tipe kecepatan dan perpindahan dari (a) gempa jauh, (b) gempa dekat (*forward-directivity*), and (c) gempa dekat (*fling-step*) ground motions (Kalkan dan Kunnath, 2006).

Dari gambar dapat dilihat bahwa gempa jauh (a) memiliki kecepatan dan *displacement* yang sangat kecil dan grafik nya cenderung stabil, untuk gempa dekat (b) memiliki kecepatan yang tiba tiba naik kemudian turun dan disusul oleh kecepatan lainnya yang lebih kecil dan dilihat dari grafik nya gempa dekat memiliki *displacement* yang besar di bandingkan gempa jauh, untuk gempa dekat *fling* (c) memiliki kecepatan yang tinggi untuk waktu yang lama dan setelah turun kecepatannya cenderung stabil, gempa fling sama sama memiliki *displacement* yang tinggi disbanding kan dengan gempa jauh.

Untuk bangunan yang mengalami gempa dekat, tentu mengalami kehancuran yang lebih besar daripada gempa jauh hal itu karna letak titik pusat gempa itu sendiri mempengaruhi nilai kerusakan bangunan itu sendiri. Akan tetapi, bukan berarti gempa jauh tidak memiliki nilai kerusakan sama sekali karna gempa jauh sendiri juga memiliki gempa yang mengandung *pulse*. Oleh karena itu, kita perlu untuk mengetahui kinerja struktur yang terjadi pada suatu bangunan yang mengalami gempa regular, gempa *pulse* dan gempa *fling* agar kita dapat merencanakan ketahanan bangunan dengan sebaiknya-baiknya.



Gambar 1.2. Perbandingan respon dari (a) 4-lantai, (b) 6-lantai, and (c) 13-lantai bangunan yang diberi gempa biasa dan di beri *fling* (Kalkan dan Kunnath, 2006).

Dari penelitian yang pernah dilakukan dapat dilihat bahwa bangunan yang diberi pergerakan *fling* lebih kuat berdeformasi dari pada bangunan yang hanya diberi pergerakan biasa hal itu jelas karna *fling* sendiri memiliki simpangan yang lebih besar sehingga membuat getaran yang lebih kuat dari pada *original motions* itu sendiri.

Bila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non struktural maupun pada komponen strukturalnya. Bila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non strukturalnya, akan tetapi komponen strukturalnya tidak boleh mengalami kerusakan. Bila terjadi gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi penghuni bangunan dapat menyelamatkan diri. Lalu bagaimana akibat jika bangunan berada di gempa zona tinggi atau tepat di patahan (*Caesar*) aktif ataupun agak berjauhan diberi getaran gempa jauh maupun gempa dekat ?

## **1.2. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana pengaruh gempa biasa dan yang mengandung pulse dan fling terhadap kurva IDA (Incremental Dynamic Analysis) pada SRPM baja ?
2. Bagaimana pengaruh gempa biasa dan yang mengandung pulse dan fling terhadap kinerja struktur SRPM baja ?

## **1.3. 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 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 Spesifikasi Untuk Bangunan Baja Struktural 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 (Analisa Respon Spektrum Linear ).
  - PEER NGA, COSMOS untuk mendapatkan rekaman gempa.
  - Program Analisa Struktur, untuk menganalisa tahap evaluasi (Analisa Riwayat Waktu Nonlinear ) yang hanya ditinjau secara 2 dimensi.
4. Parameter yang ditinjau:
  - Linear adalah semua aspek yang harus di kontrol sesuai dengan SNI 1726:2012
  - Nonlinear : - Simpangan antar tingkat

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui perbedaan kurva IDA pada SRPM baja akibat gempa biasa dan yang mengandung pulse dan fling.
2. Untuk mengetahui perbedaan kinerja struktur pada SRPM baja akibat gempa biasa dan yang mengandung pulse dan fling.

## **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 *Pulse* di daerah Banda Aceh dengan jenis tanah lunak.

## **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 beton 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.

#### 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, sistem pemikul rangka momen (SRPM), teori gempa, system struktur penahan gempa, tata cara 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 peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempabumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (Rofika dkk, 2018).

Pembangkit utama gempa bumi adalah pergerakan lempeng tektonik. Akibat pergerakan lempeng maka disekitar perbatasan lempeng akan terakumulasi energi. Jika lapisan batuan telah tidak mampu menahannya maka energi akan terlepas yang menyebabkan terjadinya deformasi pada lapisan kerak bumi yang disebut gempa tektonik.

Bentuk energi yang dilepaskan saat terjadi gempa bumi antara lain adalah energi deformasi gelombang. Energi deformasi dapat dilihat pada perubahan bentuk volume sesudah terjadinya gempa bumi, seperti misalnya tanah naik, tanah

turun, pergeseran batuan, dan lain-lain. Sedangkan energy gelombang akan menggetarkan medium elastis disekitarnya dan akan menjalar ke segala arah.

### **2.2.1 Jalur Gempa Bumi Indonesia**

Indonesia merupakan Negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik aktif dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng pasifik yang tetap bergerak satu sama lainnya. Kondisi ini menjadikan Indonesia sebagai daerah tektonik aktif dengan tingkat seismisitas atau kegempaan yang tinggi (Syafitri dkk, 2018). Lokasi tektonik aktif di Indonesia secara sepintas sudah dapat dipastikan berada di perbatasan lempeng tektonik. Namun efeknya bias dirasakan pada jarak tertentu tergantung pada peluruhan energy dan geologi setempat.

Tektonik Indo-Australia dan Eurasia berada di laut merupakan sumber gempa dangkal dan menyusup ke arah utara sehingga di bagian barat berturut-turut ke utara dan di sekitar Jawa-Nusa Tenggara merupakan sumber gempa menengah dan dalam

Gempa-gempa dangkal di bagian timur Indonesia selain berasosiasi dengan pertemuan lempeng juga disebabkan oleh patahan-patahan aktif. Seperti patahan palu-koro, patahan Gorontalo, patahan Sorong dan patahan Seram. Beberapa tempat di pulau Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Maluku, Sulawesi dan Papua rentan terhadap bencana gempa bumi baik yang bersifat langsung maupun tidak langsung seperti tsunami dan longsor

### **2.2.2 Parameter Gempa Bumi**

Setiap kejadian gempa bumi akan menghasilkan informasi seismik berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang yang setelah melalui proses manual atau non manual akan menjadi data bacaan fase (*phase reading data*) Informasi seismik selanjutnya mengalami proses pengumpulan, pengolahan dan analisis

sehingga menjadi parameter gempa bumi. Parameter-parameter dasar gempa bumi tersebut meliputi:

1. *Origin Time* (OT)

Waktu kejadian gempa bumi (*Origin Time*) adalah waktu terlepasnya akumulasi tegangan (stress) yang berbentuk penjalaran gelombang seismic.

2. Kedalaman Sumber Gempa (h)

Kedalaman sumber gempa adalah jarak hiposenter dihitung tegak lurus dari permukaan bumi. Kedalamannya dinyatakan oleh besaran jarak dalam satuan km.

3. Jarak Episenter ( $\Delta$ )

Jarak episenter ( $\Delta$ ) dihitung dengan selisih S-P dalam tabel waktu jarak IASPEI 91 untuk kedalaman pusat gempa diasumsikan Brustle (1986) memperkirakan  $\Delta$  (km)  $\sim 8$  (ts-tp) detik.

4. Magnitude Gempa

Ukuran kekuatan gempa bumi berdasarkan energy yang dilepaskan di pusat gempa bumi atau hiposenter disebut magnitude. Magnitude dinyatakan dalam Skala Richter (SR) dan dilambangkan dengan M. Kekuatan gempa bumi dinyatakan dengan besaran magnitude dalam skala logaritma basis 10. Suatu harga magnitude diperoleh sebagai hasil analisis tipe gelombang seismic tertentu (berupa rekaman getaran tanah yang tercatat paling besar) dengan memperhitungkan jarak stasiun pencatat ke episenter

### **2.3 Ground Motion**

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

Khususnya untuk keperluan teknik, percepatan tanah akibat gempa merupakan data yang sangat penting (Pawirodikromo, 2012).

Respon gempa sensitif terhadap karakteristik getaran tanah, besar frekuensi gempa, pola *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

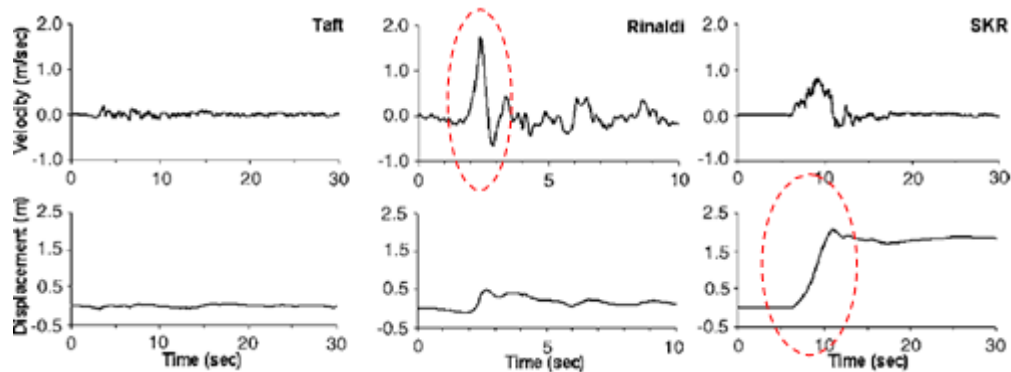
Gempa dekat adalah suatu respon tanah akibat dari aktivitas gempa pada suatu daerah yang tercatat dan terhitung pada stasiun gempa yang dekat dengan *epicenter*/pusat gempa tersebut (Pawirodikromo, 2012). Pawirodikromo menyatakan bahwa Kalkan dkk. (2004) memberikan batasan bahwa rekaman gempa *near-fault* adalah gempa yang direkam  $\leq 15$  km dari patahan (*fault rupture*), Stewart dkk. (2001) membuat definisi bahwa gempa *near-fault* umumnya adalah gempa-gempa antara 20-60 km dari pusat gempa, Wang dkk. (2006) memaknai *near fault earthquake* adalah gempa-gempa yang direkam pada jarak  $\leq 90$  km, Martinez-Pereira dan Bomber (1998) dalam Meniatakis dkk (2008) mengatakan bahwa *near fault* dimaknai sebagai suatu daerah dari pusat gempa sampai daerah yang intensitas gempa  $I_{MM} \geq VIII$ . Untuk daerah yang intensitas  $I_{MM} < VIII$  maka gempa *near fault* kurang memberikan efek yang signifikan.

Pawirdikromo (2012) menyatakan juga bahwa Stewart dkk. (2001) mengatakan bahwa gerakan tanah (*grounds motion*) akibat gempa *near fault* utamanya akan dipengaruhi 3 hal pokok yaitu :

- a. Mekanisme gempa (gempa titik, gempa garis/*fault*)
- b. Arah rambatan patahan (*rupture direction*) relative terhadap *site*/pencatat.
- c. Kemungkinan terjadinya *permanent displacement* akibat patahan.

Gempa *near fault* dapat dibedakan berdasarkan data rekamannya yaitu gempa mengandung *pulse* dan gempa tanpa mengandung *pulse*. Gempa mengandung

*pulse* dengan gempa tanpa mengandung *pulse* dapat dibedakan pada grafik *respons spektrum displacement*. Dimana gempa tanpa mengandung *pulse* dapat mengakibatkan perpindahan pada permukaan tanah sedangkan gempa mengandung *pulse* getaran tanah tidak memberikan efek perpindahan yang signifikan pada permukaan tanah.



Gambar 2.2: Ciri khas riwayat waktu kecepatan dan perpindahan dari gerakan tanah (a) gempa jauh, (b) gempa dekat (*forward-directivity*), and (c) gempa dekat (*fling-step*) (Kalkan dan Kunnath, 2006).

Di sisi lain, *fling step* menjadi hasil dari evolusi perpindahan sisa tanah akibat deformasi tektonik yang berkaitan dengan mekanisme kehancuran, umumnya ditandai dengan pulse kecepatan dengan amplitudo besar searah dan langkah monoton dalam perpindahan riwayat waktu. Bentuk riwayat waktu dari gempa jauh, gempa dekat (*forward-directivity*), dan gempa dekat (*fling-step*) dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Bhagat dkk. (2018) menyatakan bahwa secara umum gempa dengan karakteristik *fling-step* memiliki grafik kecepatan yang hanya dominan pada 1 sisi yang berefek pada grafik perpindahan berdasarkan *time history* sedangkan gempa dengan karakteristik *forward-directivity* memiliki grafik kecepatan yang relatif seimbang untuk kedua sisi. Akibat daripada ini sebuah bangunan diperlukan alat disipasi energi guna meredam getaran tersebut. Gempa dekat dapat menyebabkan daktilitas yang besar pada bangunan yang menggunakan alat isolasi dasar

terutama pada lantai bagian bawah yang menunjukkan bahwa perioda gerakan tanah mempengaruhi respon bangunan (Mazza dan Vulcano,2014).

## **2.4 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, aka nada 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.

### **2.4.1 Kelebihan Material Baja**

Kelebihan material baja dibanding beton atau kayu adalah karena material tersebut buatan pabrik, yang tentunya mempunyai kontrol produksi yang baik, dan sebagai akibatnya mutu produknya terjaga . oleh karena itu dapat dipahami mengapa kualitas material baja yang dihasilkannya relative homogen dan konsisten dibanding material material lain, yang berarti juga lebih dapat diandalkan mutunya.

Pada sisi lain, karena material baja adalah produk industri, maka agar hasilnya menguntungkan maka produknya harus diusahakan mencapai kondisi optimum. Untuk itu biasanya perlu mencapai suatu kuantitas tertentu, yang tidak

mudah diubah-ubah sesuai dengan jenis dan kapasitas mesin produksinya. Sebagai akibatnya akan tersisa betapa pentingnya ada standarisasi bentuk profil.

## **2.5 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).
2. Apabila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-strukturalnya akan tetapi komponen struktural tidak boleh rusak.
3. Apabila terjadi gempa kuat, bangunan boleh mengalami kerusakan baik komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi jiwa penghuni bangunan tetap selamat, artinya sebelum bangunan runtuh masih cukup waktu bagi penghuni bangunan untuk keluar/mengungsi ke tempat aman.

Sulit untuk menghindari kerusakan bangunan akibat gempa, bila digunakan perencanaan konvensional, karena hanya bergantung pada kekuatan komponen struktur itu sendiri, serta perilaku respon pasca elastisnya. Seiring dengan perkembangan teknologi dalam perencanaan bangunan tahan gempa telah dikembangkan suatu pendekatan desain alternatif untuk mengurangi resiko kerusakan bangunan saat terjadi gempa, dan mampu mempertahankan integritas komponen struktural dan non-struktural terhadap gempa kuat.



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*)

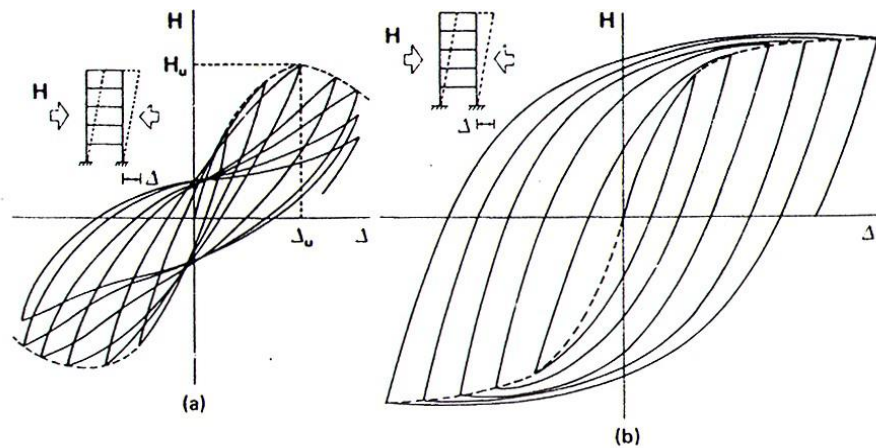
Jika gempa dengan intensitas (*intensity*) percepatan tanah yang kecil dalam waktu ulang yang besar mengenai suatu struktur, disyaratkan tidak mengganggu fungsi bangunan, seperti aktivitas normal di dalam bangunan dan perlengkapan yang ada. Artinya tidak dibenarkan terjadi kerusakan pada struktur baik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

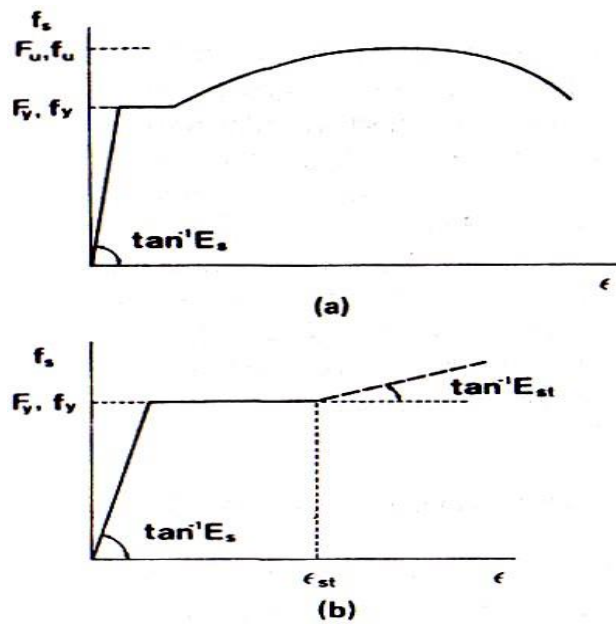
Jika gempa kuat yang mungkin terjadi pada umur (masa) bangunan yang direncanakan membebani struktur, maka struktur direncanakan untuk dapat bertahan dengan tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami keruntuhan (*collapse*). Tujuan utama dari keadaan batas ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.



Gambar 2.3 Perilaku struktur akibat pembebanan horisontal berulang, (a). Perilaku struktur yang buruk, (b). Perilaku struktur yang baik (Siswanto, 2018)

Dari gambar 2.4.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 2.4.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 2.4: Diagram tegangan ( $f_c$ ) – regangan ( $\epsilon$ ) baja tertarik : (a) Diagram  $f_c$ - $\epsilon$  baja sebenarnya.(b) Diagram  $f_c$ - $\epsilon$  baja yang diidealisasikan (Siswanto, 2018)

Dari gambar 2.4 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 2.5.a merupakan hasil uji tarik material baja murni tanpa pengolahan data. Pada gambar 2.5.b merupakan hasil diagram yang sudah disempurnakan hasilnya.

## 2.6 Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Prosedur analisis yang paling sederhana dan yang langsung dapat digunakan untuk menentukan pengaruh dari beban gempa terhadap struktur bangunan adalah prosedur analisis statik. Analisis statik hanya boleh dilakukan untuk struktur-struktur bangunan dengan bentuk yang sederhana dan beraturan atau simetris, yang tidak menunjukkan perbandingan yang menyolok dalam perbandingan antara berat dan kekakuan pada tingkat-tingkatnya (Agus Bambang Siswanto, 2018). Prosedur analisis statik ini hanyalah suatu cara pendekatan yang menirukan pengaruh dinamik dari beban gempa yang sesungguhnya. Untuk struktur-struktur bangunan gedung lainnya yang tidak begitu mudah untuk diperkirakan

perilakunya terhadap pengaruh gempa (struktur dengan bentuk yang tidak beraturan), harus di analisis dengan prosedur analisis dinamik. Struktur-struktur bangunan yang beraturan, dapat juga dianalisis dengan prosedur analisis dinamik jika diinginkan.

### **2.6.1 Pengaruh Beban Gempa Horisontal**

Pengaruh beban gempa horisontal dapat bekerja pada masing-masing arah dari sumbu utama bangunan, atau pada kedua arah sumbu utama dari struktur bangunan secara bersamaan. Pengaruh bekerjanya beban gempa secara bersamaan pada kedua arah sumbu utama, dapat sangat membahayakan kekuatan struktur. Kombinasi pembebanan yang perlu ditinjau untuk merencanakan kekuatan dari kolom-kolom struktur adalah :

- Beban gravitasi + 100% beban gempa arah X + 30% beban gempa arah Y
- Beban gravitasi + 30% beban gempa arah X + 100% beban gempa arah Y

Kombinasi pembebanan yang menghasilkan keadaan yang paling berbahaya bagi kolom-kolom struktur dan elemen-elemen vertikal struktur penahan gempa seperti dinding geser (shear wall), dinding inti (core wall), yang digunakan untuk perencanaan.

### **2.6.2 Pengaruh Beban Gempa Vertikal**

Selain percepatan gerakan tanah pada arah horisontal, pada saat terjadi gempa terdapat juga percepatan gerakan tanah berarah vertikal. Gerakan tanah kearah vertical ini dapat mengakibatkan pengaruh beban gempa berarah vertikal yang bekerja pada struktur bangunan. Meskipun dari beberapa pengalaman gempa menunjukkan mekanisme ini, tapi sampai saat ini respon dari struktur bangunan terhadap gerakan tersebut belum banyak diketahui. Pada umumnya, tinjauan perencanaan struktur terhadap pengaruh beban gempa arah vertikal ini dapat

diabaikan, dengan anggapan bahwa elemen-elemen dari struktur telah direncanakan berdasarkan beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) yang arahnya vertikal ke bawah.

Analisis respon dinamik yang sesungguhnya dari unsur-unsur struktur tersebut terhadap gerakan vertikal tanah akibat gempa sangat rumit, karena terjadi interaksi antara respon elemen dengan respon struktur secara keseluruhan. Analisis terhadap unsur-unsur dari struktur bangunan ini dapat dilakukan secara sederhana dengan meninjau pengaruh dari percepatan vertikal tanah akibat gempa.

### **2.6.3 Pengaruh Beban Gravitasi Vertikal.**

Beban gravitasi vertikal pada struktur bangunan dapat terdiri dari kombinasi antara beban mati dan beban hidup. Beban-beban hidup yang bekerja pada struktur bangunan pada umumnya dapat direduksi pada saat dilakukan analisis beban gempa pada struktur tersebut, tujuan mereduksi beban hidup ini adalah untuk mendapatkan desain struktur yang cukup ekonomis.

### **2.6.4 Beban Gempa Statik Ekuivalen**

Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statik, pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horisontal yang bekerja pada struktur bangunan akibat pengaruh pergerakan tanah yang diakibatkan gempa, dengan gaya-gaya statik yang ekuivalen.

Pada struktur gedung beraturan akan berperilaku sebagai struktur 2D, respons dinamik ragam fundamentalnya adalah sangat dominan, sehingga respons dinamik ragam-ragam lainnya dianggap dapat diabaikan. Kemudian, berhubung struktur gedung tidak terlalu tinggi yaitu kurang dari 10 tingkat atau 40 m, maka bentuk ragam fundamental dapat dianggap mengikuti garis lurus. Dengan dua anggapan penyederhanaan ini, respons dinamik dari struktur bangunan gedung beraturan dapat ditampilkan seolah-olah sebagai akibat dari suatu beban gempa statik

ekuivalen. Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statik, adalah menggantikan beban-beban horisontal yang bekerja pada struktur bangunan akibat pengaruh dinamik pergerakan tanah yang diakibatkan gempa, dengan beban- beban statik yang ekuivalen, tujuannya untuk menyederhanaan prosedur perhitungan.

Prosedur analisis statik yang sering digunakan pada praktek perencanaan struktur bangunan gedung, adalah Analisis Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen. Pada metode ini diasumsikan bahwa gaya horisontal akibat gempa yang bekerja pada suatu elemen struktur, besarnya ditentukan berdasarkan perkalian antara suatu koefisien atau konstanta, dengan berat atau massa dari elemen-elemen struktur tersebut.

Analisis Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen merupakan metode pendekatan dari sifatsifat dinamik yang sebenarnya dari beban gempa yang bekerja pada struktur. Struktur- struktur yang tidak begitu mudah untuk diperkirakan perilakunya terhadap beban gempa, strukturstruktur dengan tinggi tingkat lebih dari 40 meter, atau struktur-struktur gedung yang tidak beraturan dengan ketinggian tingkat kurang dari 40 meter, harus dianalisis dengan prosedur analisis dinamik.

Besarnya beban Gempa Nominal statik ekuivalen yang digunakan untuk perencanaan struktur ditentukan oleh tiga hal, yaitu oleh besarnya Gempa Rencana, oleh tingkat daktilitas yang dimiliki struktur, dan oleh nilai faktor tahanan lebih yang terkandung di dalam struktur. Berdasarkan pedoman gempa yang berlaku di Indonesia yaitu Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2002).,

## **2.7 Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa**

Gempa merupakan salah satu bencana alam yang waktu dan tempat nya tidak dapat diprediksi serta banyak memakan korban jiwa. Diperlukan perencanaan bangunan tahan gempa yang baik agar korban jiwa dapat dihindari. Salah satu

perencanaan terbaru untuk bangunan tahan gempa adalah Perencanaan Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*). Tujuan dari perencanaan bangunan berbasis kinerja adalah agar perencana dapat menetapkan kondisi apa yang terjadi pada bangunan saat gempa maksimum terjadi. Dengan menggunakan program computer ETABS 16.2 maka akan didapatkan kinerja bangunan yang ditunjukkan dengan titik kinerja. Titik kinerja didapatkan dari perpotongan kurva *demand* dan kapasitas. Kurva *demand* menggunakan respon spectrum, kurva kapasitas di dapatkan dari kurva *pushover*.

Indonesia adalah negara yang berpotensi terkena gempa karena wilayahnya yang berada di *ring of fire* atau cincin api pasifik. Karena Indonesia masuk dalam wilayah cincin api pasifik, berarti risiko terjadi gempa cukup besar. Gempa pasti akan terjadi, hanya waktunya yang belum dapat dipastikan. Sebagai professional yang bertanggung jawab pada perencanaan bangunan yang kuat, kaku dan aman maka mempelajari strategi perencanaan struktur tahan gempa adalah kewajiban. Baja secara alamiah mempunyai risiko kuat dibanding berat-volume yang tinggi, sehingga dapat dihasilkan bangunan yang relatif ringan, sehingga dapat dihasilkan suatu bangunan tahan gempa. Selain material baja itu sendiri yang berkekuatan tinggi, relatif kaku dan daktail. Karakter terakhir ini adalah syarat ideal untukantisipasi beban tak terduga, gempa.

Keunggulan lain konstruksi baja adalah mutunya relatif seragam dikarenakan produk pabrik yang terkontrol. Karena itu pula ukuran dan bentuknya juga tertentu, terpisah dan baru disatukan dilapangan. Pada satu sisi, konsep seperti itu suatu kelemahan atau sulit dihasilkan konstruksi monolit, perlu detail sambungan yang baik. Tapi jika dapat diantisipasi ternyata dapat dibuat suatu detail sedemikian rupa sehingga bila terjadi kerusakan (akibat gempa) maka bagian itu saja yang akan diperbaiki. Itu sangat memungkinkan karena dari awal memang tidak monolit.

Adanya faktor-faktor seperti itu maka pada konstruksi baja akan banyak dijumpai berbagai macam variasi system struktur tahan gempa dibanding konstruksi dari material lain. Itu semua membuat struktur baja menjadi tujuan awal untuk dipelajari jika akan dibuat bangunan tahan gempa yang handal



### 2.7.1 Perilaku Sistem Struktur yang Diharapkan

Untuk pembebanan gravitasi (akibat beban sendiri, beban mati tambahan dan beban hidup), beban angin dan beban gempa sedang (gempa yang sering terjadi) maka diharapkan struktur dapat berperilaku elastis (beban hilang deformasi hilang). Tetapi pada gempa besar, yaitu suatu kondisi gempa sedemikian sehingga jika struktur didesain secara elastis akan sangat tidak praktis dan mahal, maka diijinkan mengalami kondisi inelastic.

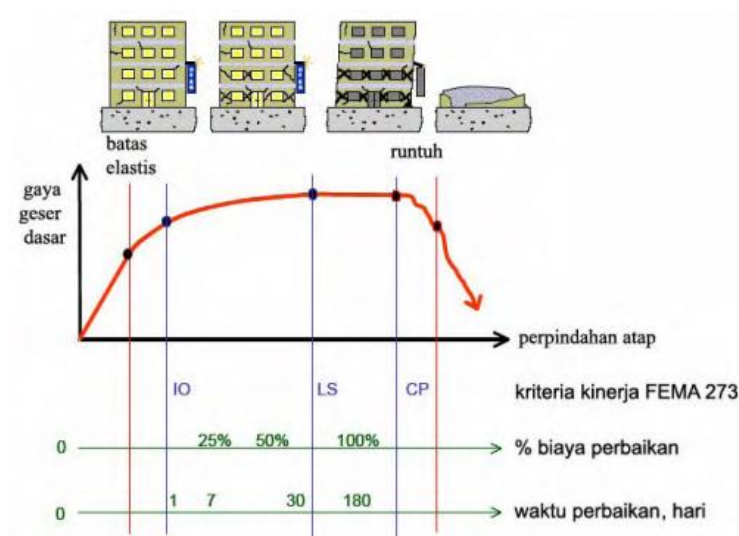
Oleh karena itu, dan juga karena tidak adanya jaminan bahwa gempa yang akan terjadi pasti selalu di bawah gempa rencana yang ditetapkan *code*, maka cara perencanaan struktur tahan gempa adalah didasarkan pada metodologi *capacity design*. dengan cara tersebut, struktur direncanakan sedemikian sehingga bila terjadi kondisi inelastis, hanya terjadi pada tempat yang ditentukan yang memang telah terencana. Kondisi inelastic yang terjadi juga terkontrol, sebagai tempat disipasi energy. Sedangkan bagian struktur yang lainnya tetap diusahakan berperilaku elastis. Jadi cara kerjanya seperti alat sekering (*fuse*) pada peralatan listrik disaat menerima *overload*. Jika rusak bangunan tersebut diperbaiki.

Adanya bagian yang terpisah-pisah, ada yang bekerja elastis dan bagian lain ada yang sampai inelastis, dapat dengan mudah diterapkan pada konstruksi baja, yang memang dari awalnya bersifat modul atau segmen terpisah yang tidak monolit.

### 2.7.2 Perencanaan Berbasis Kinerja

Perencanaan bangunan tahan gempa berbasis kinerja (*performance-based seismic design*) merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada (bangunan eksisting), dengan pemahaman yang realistis terhadap resiko keselamatan, kesiapan pakai dan kerugian harta benda yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang (Pangemanan, 2017).

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 1. Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (ATC 58)

Gambar 2.5: Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Dewobroto, 2005).

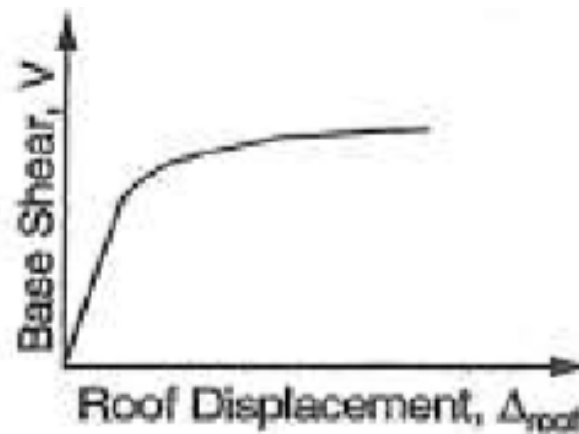
Dengan kurva hubungan gaya perpindahan makin terlihat secara kualitatif level kinerjanya secara menyeluruh. Kurva tersebut dihasilkan dari analisis pushover. Pada kurva pushover digambarkan secara kualitatif kerusakan tiap kinerja, agar orang awam tahu seberapa besar kerusakan yang terjadi.

### 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). 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 ( $V$ ) versus perpindahan titik acuan pada atap ( $D$ )



Gambar 2.6: 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 didefenisikan 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 hampir 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.

#### **2.7.4 Waktu Getar Alami Efektif (Periode Alami)**

Periode adalah besarnya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu getaran. Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat

dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan di mana frekuensi alami pada struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur (Rizkiani 2019).

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*.

#### **2.7.5 Target Perpindahan**

Gaya dan deformasi setiap komponen/elemen dihitung terhadap “perpindahan tertentu” di titik kontrol yang disebut sebagai “target perpindahan” dengan notasi  $\delta_t$  dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana (Dewobroto, 2005).

Untuk mendapatkan perilaku struktur pasca keruntuhan maka perlu dibuat analisa *pushover* untuk membuat kurva hubungan gaya geser dasar dan perpindahan lateral titik kontrol sampai minimal 150% dari target perpindahan,  $\delta_t$ .

Permintaan membuat kurva *pushover* sampai minimal 150% target perpindahan adalah agar dapat dilihat perilaku bangunan yang melebihi kondisi rencananya. Perencana harus memahami bahwa target perpindahan hanya merupakan rata-rata nilai dari beban gempa rencana. Perkiraan target perpindahan menjadi kurang benar untuk bangunan yang mempunyai kekuatan lebih rendah dari spektrum elastis rencana. Meskipun tidak didukung oleh data pada saat dokumen FEMA 356 ditulis tetapi diharapkan bahwa 150% target perpindahan

adalah perkiraan nilai rata-rata ditambah satu standar deviasi perpindahan dari bangunan dengan kekuatan lateral melebihi 25% dari kekuatan spectrum elastis.

Analisa *pushover* dilakukan dengan memberikan beban lateral pada pola tertentu sebagai simulasi beban gempa, dan harus diberikan bersama-sama dengan pengaruh kombinasi beban mati dan tidak kurang 25% dari beban hidup yang diisyaratkan. Beban lateral harus diberikan pada pusat massa untuk setiap tingkat. FEMA 273 mensyaratkan minimal harus diberikan dua pola beban yang berbeda sebagai simulasi beban gempa yang bersifat random, sehingga dapat memberikan gambaran pola mana yang pengaruhnya paling jelek. Selanjutnya beban tersebut harus diberikan secara bertahap dalam satu arah (monotonic).

Kriteria evaluasi level kinerja kondisi bangunan didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi ketika perpindahan titik kontrol sama dengan target perpindahan  $\delta_t$ . jadi parameter target perpindahan sangat penting peranannya bagi perencanaan berbasis kinerja.

Ada beberapa cara menentukan target perpindahan, dua yang cukup terkenal adalah *Displacement.coeficient method* atau Metoda Koefisien Perpindahan (FEMA 273/274, FEMA 356/440 dan ATC 40) dan *capacity spectrum method* atau Metoda Spektrum Kapasitas (FEMA 274/440, ATC 40). Selain itu ada persyaratan perpindahan dari SNI 1726-2002 yang dapat dijadikan sebagai kriteria kinerja, akan dibahas pula.

## **2.8 Sistem Pemikul Momen**

Dalam perencanaan konstruksi saat ini dikenal dua bahan material yang cukup populer dalam perencanaan konstruksi gedung bertingkat yaitu beton dan baja. Struktur yang dihasilkan kedua material ini cukup baik, tapi pada kesempatan ini peneliti ingin membuat perencanaan dengan menggunakan struktur baja. Itu disebabkan karena struktur baja memiliki struktur yang stabil, cukup kuat, mampu layan, awet serta memberikan kemudahan dalam pelaksanaan.

Sekarang ini juga di kawasan Indonesia sudah sangat populer dengan konstruksi bertingkat banyak. Dalam merencanakan suatu gedung bertingkat seorang perencana diharuskan memperhatikan letak geografis dari Negara Indonesia yang merupakan daerah rawan terjadinya gempa bumi.

Dengan kata lain sebagai seorang perencana juga dituntut untuk menciptakan suatu konstruksi bangunan yang daktail, yaitu bangunan yang dapat menahan respon inelastic yang diakibatkan oleh beban gempa. Di Indonesia ada 3 (tiga) macam struktur yang digunakan yaitu

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk pada zona 1 dan 2 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan rendah.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk pada zona 3 dan 4 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan sedang.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk pada zona 5 dan 6 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan tinggi.

## 2.9 Sistem Portal (Moment-Frame Systems)

Ini adalah jenis struktur rangka yang didesain untuk bekerja secara inelastis penuh. Oleh karena itu pada bagian yang akan mengalami sendi-plastis perlu disiapkan secara khusus. Sistem ini cocok dipakai untuk perencanaan gedung tinggi yang masih memungkinkan dengan sistem portal. Umumnya ketinggian bangunan akan dibatasi oleh persyaratan deformasi lateral.

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)

Kecuali dua jenis sambungan yang ditampilkan pada gambar atas, masih ada beberapa lagi. Variasi jenis sambungan, umumnya berkaitan dengan metode pelaksanaan, misalnya sambungan jenis *reduced beam* perlu pekerjaan las di lapangan. Persyaratan tentu terkait dengan harus tersedia s.d.m yang berkompeten disertai pengawasan ketat. Berbeda jika digunakan jenis *Extended End-Plate* dengan baut mutu tinggi. Hanya pada jenis sambungan itu memerlukan tingkat presisi pekerjaan pabrikasi yang tinggi, jika didukung mesin CNC tentu bukan masalah .

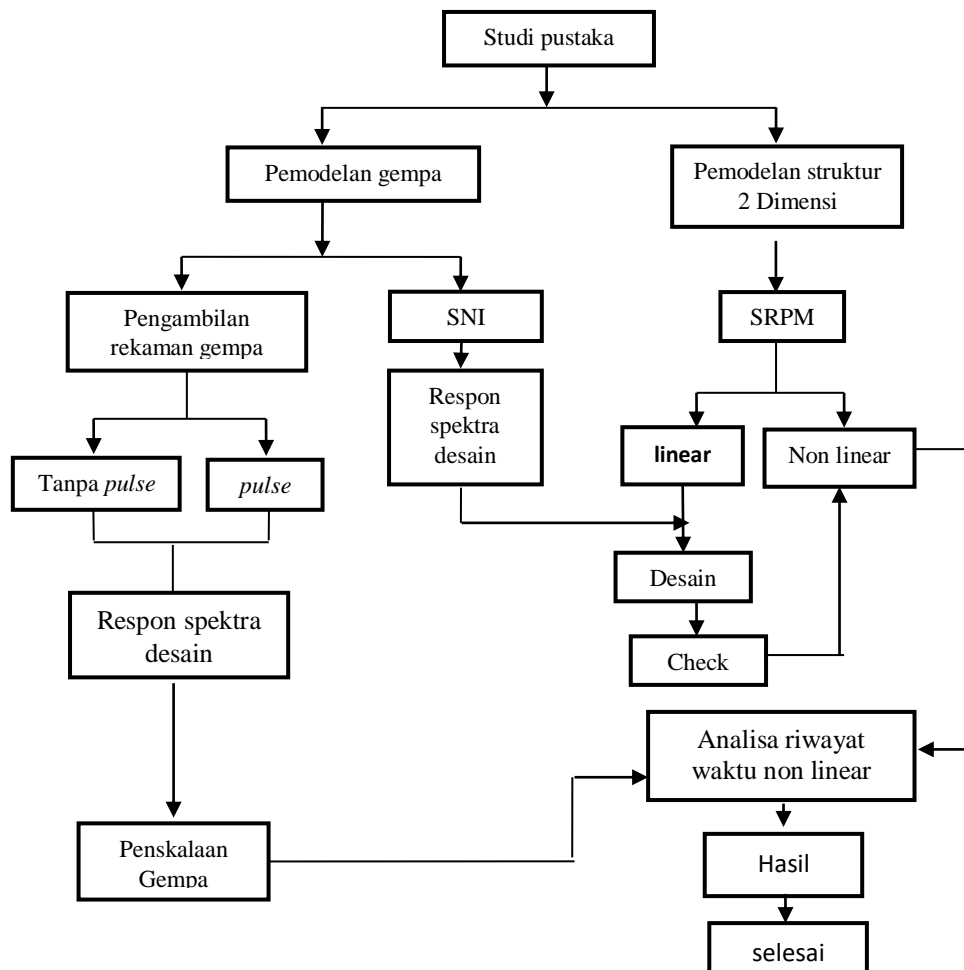


## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Umum

Bab ini berisi tentang pemodelan struktur yang direncanakan. Struktur dianalisis menggunakan 2 *software* bantuan, yaitu Program Analisa Struktur, dan Program Analisa Struktur Non Linear. 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 1 model dengan sistem rangka pemikul momen khusus pada bagian luar dan sistem rangka pemikul gravitasi pada bagian dalam. Model bangunan tersebut dianalisis secara Linear dan Non-Linear dengan menggunakan Metode Analisis Respon Spektrum (*Response Spectrum Analysis*) dengan menggunakan Program Analisa Struktur serta Analisis Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) dengan menggunakan *software* Analisa Struktur Non Linear, untuk mendapatkan nilai simpangan yang ada ketika bangunan telah dikenakan gempa tunggal berupa pulse dan fling. Kemudian nilai simpangan tersebut akan dibandingkan dengan dengan gempa di hasilkan.

## **3.2 Pemodelan Struktur**

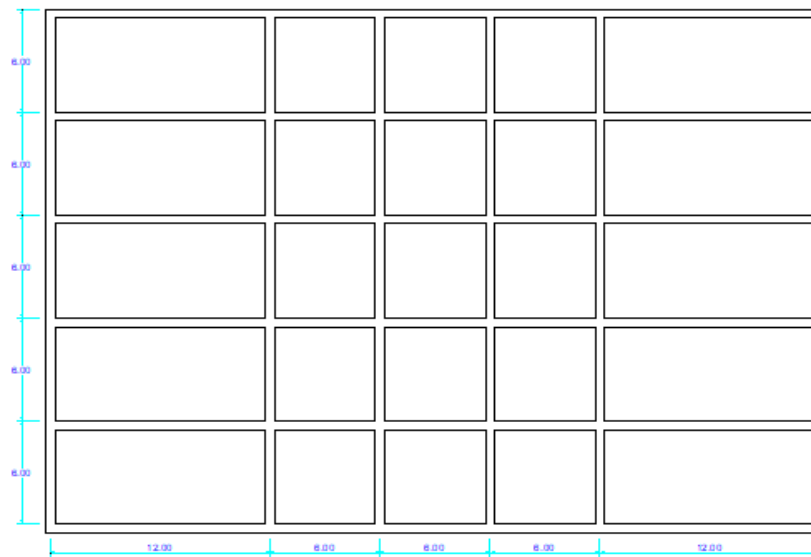
### **3.2.1 Data Perencanaan Struktur**

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

1. Jenis pemanfaatan gedung perkantoran.
2. Gedung terletak di Banda Aceh.
3. Klasifikasi situs tanah lunak (*SE*).
4. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
5. Jenis portal struktur gedung adalah struktur baja.
6. Mutu baja yang digunakan 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

Pada tugas akhir ini, direncanakan struktur bangunan dengan material baja dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dan berbentuk simetris. Adapun bentuk pemodelan yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada bagian luar dan Sistem Rangka Pemikul Gravitasi pada bagian luar (4 Lantai).



Gambar 3.2: Denah struktur Model



Gambar 3.3: Gambar proyeksi struktur Model lantai 4

### 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	Lantai	Kolom Interior (mm)	Kolom Eksterior (mm)	Balok
Lantai 4	1	W24X103	W24X103	W21X73
	2	W24X103	W24X103	W21X73
	3	W24X62	W24X62	W21X57
	4	W24X62	W24X62	W21X57

### 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.

##### 3.3.1.1. Pembebanan

Berdasarkan Zareian dan Krawinkler (2010) nilai beban gravitasi yang bekerja pada struktur bangunan adalah sebagai berikut

- Beban Mati = 4,309 KN/m<sup>2</sup> untuk semua lantai.
- Beban Hidup = 2,394 KN/m<sup>2</sup> untuk lantai tipikal.  
= 0,957 KN/m<sup>2</sup> pada atap.
- Beban Mati Tambahan = 1,197 KN/m<sup>2</sup> untuk semua lantai.

### 3.3.1.2. Respon Spektrum Desain Gempa 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 4 model yaitu Linear MCE dan DBE serta Non Linear MCE dan DBE.

data-data respon spectrum linear yaitu

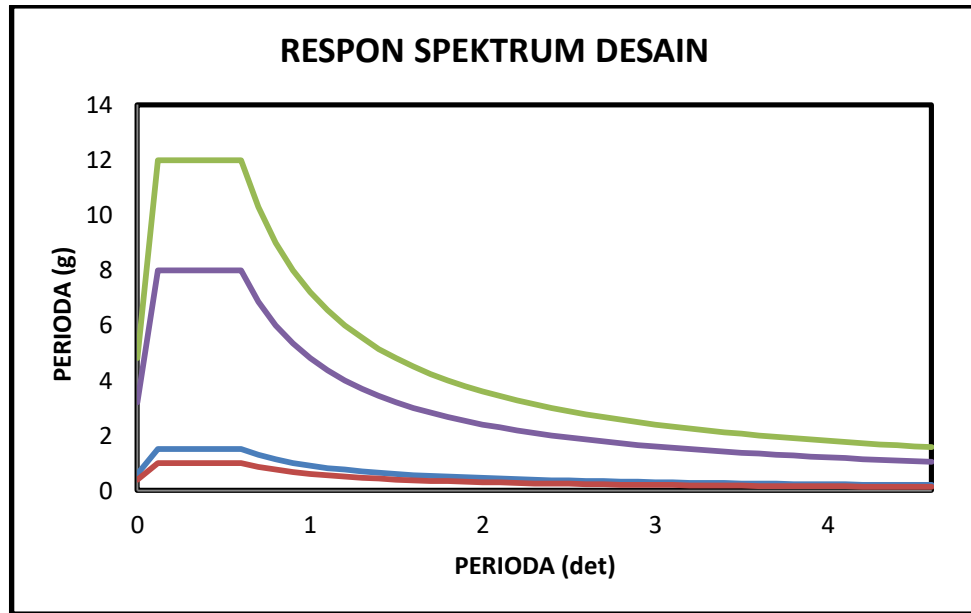
$$PGA = 0.6 \text{ g}, 0.4 \text{ m/det}^2 \text{ (Linear MCE\&DBE)}$$

$$PGA = 4.8 \text{ g}, 3.2 \text{ m/det}^2 \text{ (Non Linear MCE\&DBE)}$$

$S_s = 1.5 \text{ m/det}^2$  dan  $S_l = 0.6 \text{ m/det}^2$ . Adapun nilai-nilai tersebut yaitu:

- Nilai  $F_a$  = 1.174
- Nilai  $F_v$  = 2.689
- $S_{MS}$  = 1.761
- $S_{MI}$  = 1.6134
- $S_{DS}$  (MCE) = 1.5
- $S_{DS}$  (DCE) = 1
- $S_{DI}$  (MCE) = 0.9
- $S_{DI}$  (DCE) = 0.6
- $T_0$  = 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 Progam Analisa Struktur.

### 3.3.1.3. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dihitung berdasarkan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2012 tentang standar perencanaan bangunan tahan gempa, maka didapatkan untuk Faktor  $R=8$  nilai  $\rho = 1.3$  yang diperoleh dari kategori desain seismik D dan nilai  $S_{DS} = 1$ , maka kombinasi pembebanannya dapat dilihat pada Tabel 3.2 untuk faktor  $R=8$ .

Tabel 3.2: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai  $\rho = 1.3$ ,  $S_{DS} = 1$ .

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

#### 3.3.1.4. *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 60 rekaman gempa diantaranya rekaman gempa reguler (gempa biasa) dengan jarak *epicentral* diatas 20 km diambil sebanyak 20 data rekaman gempa, rekaman gempa yang mengandung *Pulse* diambil sebanyak 20 rekaman dan rekaman gempa *fling* diambil sebanyak

20 rekaman. Untuk tipe tanpa *Pulse* (gempa biasa) dan untuk tipe *pulse* data rekaman gempa diperoleh dari PEER NGA dan COSMOS seperti terlihat pada Tabel.

Tabel 3.3: data gempa *no pulse* (gempa biasa)

No	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun	Magnitude
1	Coalinga-05	1983	Coalinga-14th & Elm (Old CHP)	5.8
2	Coalinga-06	1983	Coalinga-14th & Elm (Old CHP)	5.8
3	Coalinga-07	1983	Coalinga-14th & Elm (Old CHP)	5.2
4	Coalinga-08	1983	Coalinga-14th & Elm (Old CHP)	5.2
5	Coalinga-09	1983	Coalinga-14th & Elm (Old CHP)	5.3
6	Livermore-01	1980	APEEL 3E Hayward CSUH	5.8
7	Livermore-02	1980	APEEL 3E Hayward CSUH	5.42
8	Mammoth Lakes-02	1980	Convict Creek	5.69
9	Mammoth Lakes-03	1980	Convict Creek	5.91
10	Mammoth Lakes-04	1980	Convict Creek	5.7
11	Mammoth Lakes-05	1980	Convict Creek	5.7
12	Mammoth Lakes-06	1980	Convict Creek	5.94
13	Umbria Marche	1997	Nocera Umbra	5.7
14	Umbria Marche-01	1997	Nocera Umbra	6
15	Umbria Marche (Aftershock)	1997	Nocera Umbra	5.6
16	Kalamata Greece-02 (Aftershock)	1986	Managua ESSO	5.4
17	Northridge-06 (Aftershock)	1997	Cedar Hill	5.3
18	NorthwestChina-01 (Aftershock)	1997	Jiashi	5.8
19	NorthwestChina-03	1997	Jiashi	5.9
20	NorthwestChina-04	1997	Jiashi	5.9



Tabel 3.4: Data gempa dengan *pulse*

No	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun	Magnitude
1	Chi-Chi Taiwan	1999	CHY047	7.62
2	Chi-Chi Taiwan	1999	CHY052	7.62
3	Chi-Chi Taiwan	1999	HWA002	7.62
4	Chi-Chi Taiwan	1999	CHY088	7.62
5	Chi-Chi Taiwan	1999	CHY036	7.62
6	Chi-Chi Taiwan	1999	HWA019	7.62
7	Chichi-01	1999	CHY080	6.2
8	Erzican Turkey	1992	Erzincan	6.69
9	Kocaeli Turkey	1999	Duzce	7.51
10	Mammoth Lakes-01	1980	Convict Creek	6.06
11	Landers	1992	North Palm Springs	7.28
12	Borrego	1942	El Centro Array#9	6.5
13	Chalfant Valley-02	1942	Benton	6.19
14	Christchurch	2011	Christchurch Hospital	6.2
15	Morgan Hill-Gilroy	1984	Gliroy Array#1	6.19
16	Kalamata Greece-01	1986	Kalamata	6.2
17	Niigata	1979	Niigata Nishi Kaba District	6.6
18	Chuetsu-oki	2007	Nagano Togakushi	6.6
19	NorthwestChina-02	1997	Jiashi	6.1
20	Gazli	1976	Karakyr	6.8

Tabel 3.5: Data gempa *fling*

No	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun	Magnitude
1	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU049	7.6
2	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU052	7.6
3	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU067	7.6
4	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU071	7.6
5	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU072	7.6
6	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU074	7.6
7	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU076	7.6
8	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU078	7.6
9	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU082	7.6
10	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU089	7.6
11	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU129	7.6
12	Kocaeli Turkey	1999	Izmit	7.4
13	Kocaeli Turkey	1997	Yarimca	7.4
14	Managua Nicaragua-01	1972	Managua ESSO	6.24
15	Fruili Italy-02	1976	Forgaria Cornino	5.5
16	Duzce Turkey	1999	Sakarya	7.4
17	Kobe Japan	1995	Kobe University	6.9
18	Northridge-01	1994	Cedar Hill	6.7
19	Cape Mendocino	1992	Cape Mendocino	7.01
20	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU065	7.62

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* Program analisa struktur. untuk Analisis Dinamik Non Linier Inelastis dengan Metode Analisa Riwayat Waktu.

Data- data rekaman yang telah diskalakan dan digabungkan akan digunakan sebagai input data pada analisis menggunakan Program analisa struktur.

Adapun data-data yang dibutuhkan dalam analisis respon riwayat waktu nonlinier menggunakan *software* analisa struktur antara lain:

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

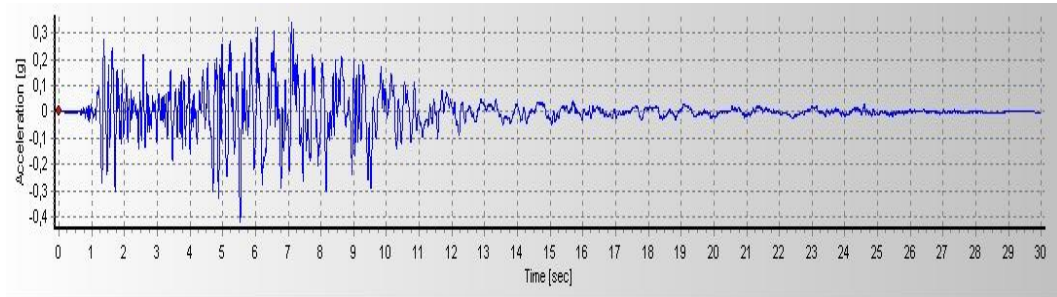
### 3.3.1.5. Analisis Respon Riwayat Waktu

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 Program analisa struktur. Sebelum dianalisis dengan Program analisa struktur terdapat beberapa tahapan sebagai berikut :

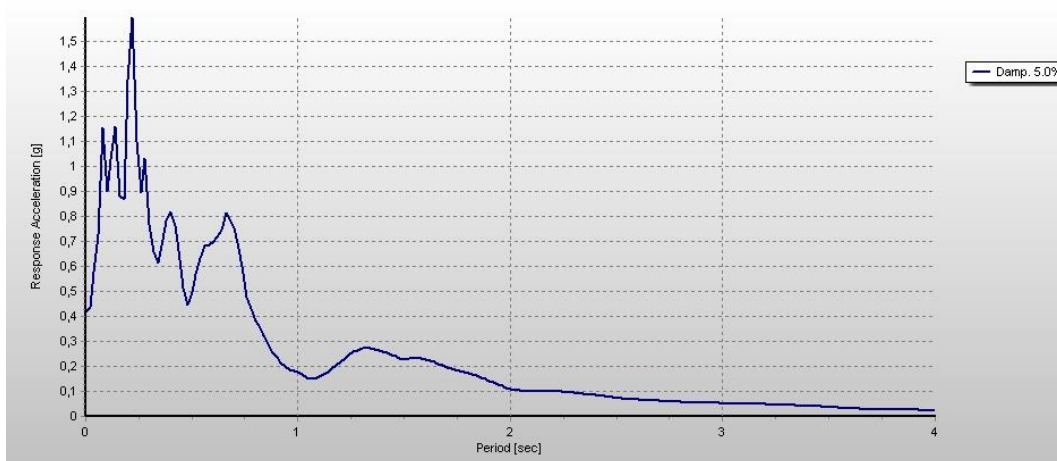
a. pengambilan rekaman gempa dari PEER NGA dan COSMOS. Daerah- daerah rekaman yang diambil tertera pada tabel 3.7 dan 3.8.

b. mengubah rekaman gempa menjadi respon spektrum dengan bantuan *software*.

Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses penskalaan.

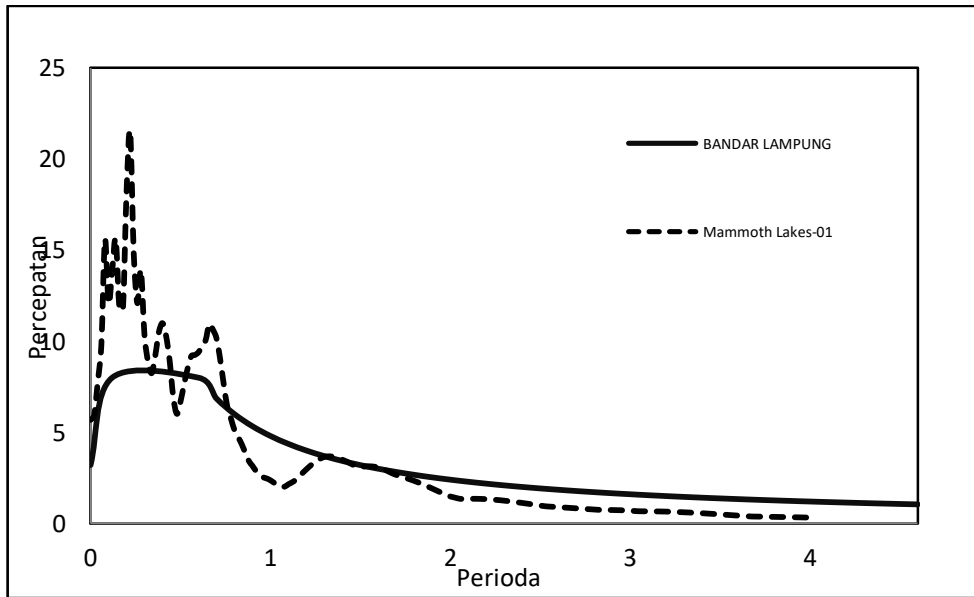


Gambar 3.5: Rekaman gempa Mammoth Lakes California sebelum diubah menjadi respon spektrum

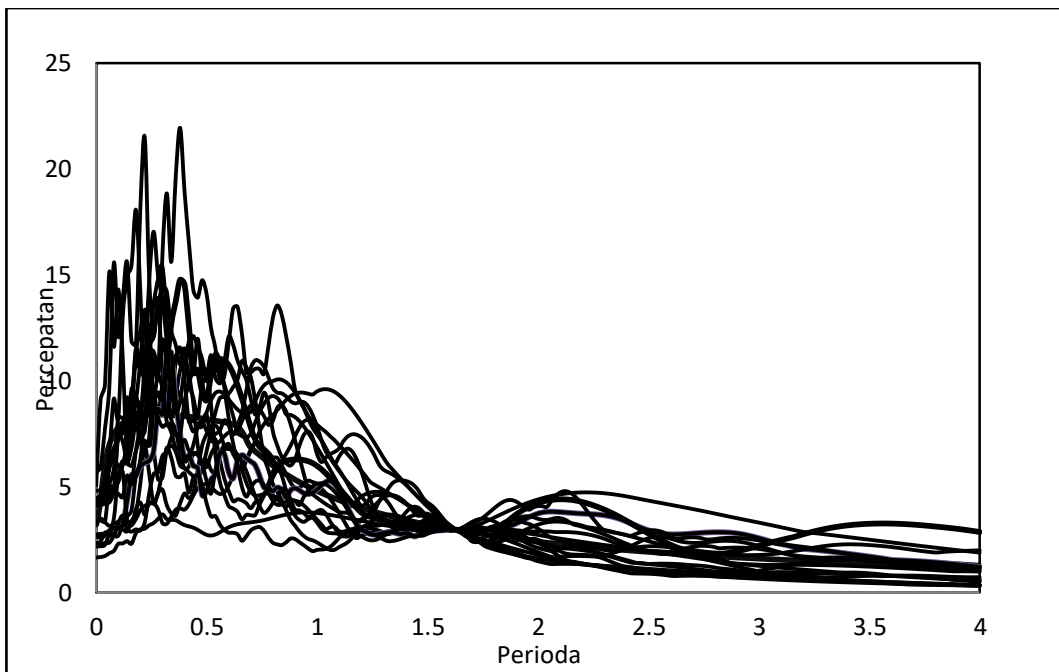


Gambar 3.6: Rekaman gempa Mammoth Lakes California setelah diubah menjadi respon spektrum

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



Gambar 3.7: Respon spektrum Mammoth Lakes setelah diskalakan (garis putus-putus) terhadap respon spektrum diindonesia (Banda Aceh).



Gambar 3.8: Respon spektrum dengan 20 daerah gempa setelah diskalakan terhadap respon spektrum diindonesia (Banda Aceh).

### 3.3.1.6 Momen leleh ( $M_y$ )

Berdasarkan Metode FEMA, momen leleh yang digunakan sebagai *input* analisis nonlinear pada program Analisa struktur adalah momen maksimum pada analisis linier respon riwayat waktu menggunakan Program Analisa Struktur. Nilai tersebut sebelumnya diambil dari Program Analisa Struktur dan disesuaikan dengan sistem bangunan yang direncanakan. Pengambilan momen leleh diambil setelah menyesuaikan kurva kapasitas pada analisa beban dorong (*push over*), Dimana untuk melihat perilaku dari struktur yang direncanakan.

### 3.3.1.7 Kapasitas Rotasi ( $\theta_p$ )

- Kapasitas rotasi plastis ( $\theta_p$ )  
Menurut Zareian dan Krawinkler (2009), terdapat 3 kategori kapasitas rotasi plastis yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Dalam tugas akhir ini nilai  $\theta_p$  yang digunakan adalah kapasitas rendah yaitu 0,04.
- Rotasi pasca-puncak ( $\theta_{pc}$ )  
Pada pemodelan nonlinear ini memilih  $\theta_{pc} = 0,06$  berdasarkan rata-rata Zareian dan studi Krawinkler (2009), sedangkan  $M_c/M_y = 1,13$  berdasarkan nilai rata-rata Haselton, dkk., (2007).

### 3.3.1.8. Rotasi Leleh ( $\theta_y$ )

Rotasi pada saat leleh digunakan untuk mendapatkan nilai daktilitas yang dibutuhkan sebagai *input* dalam *software* Analisa struktur. Nilai rotasi sendi plastis tersebut dihitung untuk semua *frame* (balok-kolom) pada struktur gedung yang direncanakan. Nilai  $\theta_y$  untuk semua *frame* dapat dilihat pada pembahasan selanjutnya.

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Hasil Model Linier Dan Non Linier**

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

#### **4.2. Hasil Analisa Linier**

##### **4.2.1. Respon Spektrum Ragam**

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

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

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

Untuk perhitungan tertera pada lampiran A3.

#### 4.2.2. Koreksi Gempa Dasar Nominal

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

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

dimana:

$V_1$  = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

$V_t$  = Gaya geser dasar kombinasi ragam

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

Struktur	Arah Gempa	$V_1$ (KN)	$V_t$ (KN)
Lantai 4	Gempa X	3289,28	141,16

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

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

Untuk perhitungan tertera pada Lampiran A5.

#### 4.2.3. Koreksi Faktor Redundansi

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 4.1. Kontrol Koreksi skala simpangan antar tingkat, yaitu:

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

Berdasarkan Tabel 4.2 nilai  $V_t$  sb. x diperoleh :

Struktur	Arah Gempa	$V_t$ (KN)	$0.85 \cdot C_s \cdot w$	Cek
Lantai 4	Gempa X	2876.54	2795.89	Oke

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 diatasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat diatasnya. Pada hasil kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x untuk semua model, diperoleh nilai persentase kekakuan di atas batas yang ditentukan atau struktur yang direncanakan tidak mengalami *Soft Story*.

#### **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. Jenis gempa yang akan diberikan pada struktur baja yaitu gempa Reguler, gempa *pulse*, dan gempa *fling*. Faktor R pada gedung merupakan faktor reduksi gedung yang telah didesain pada sistem struktur baja. Model struktur akan diambil data *interstory drift* dan dianalisa.

##### **4.3.1. Incremental Dynamic Analysis (IDA)**

*Incremental Dynamic Analysis* yang di lakukan pada model 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 20 set rekaman gempa. 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 menunjukkan perbedaan nilai simpangan antar tingkat gempa reguler, *pulse* dan *fling*. Secara keseluruhan, nilai simpangan antar tingkat pada gempa tanpa *fling* lebih kecil

dari nilai simpangan antar tingkat yang terjadi pada gempa dengan *fling*. Hal ini dapat kita pahami dikarenakan gempa *fling* mengandung percepatan yang lebih besar dari pada gempa yang tidak mengandung *fling*.

Tabel 4.3 : Nilai perbandingan *interstory drift* untuk masing- masing gempa dengan acuan gempa tunggal.

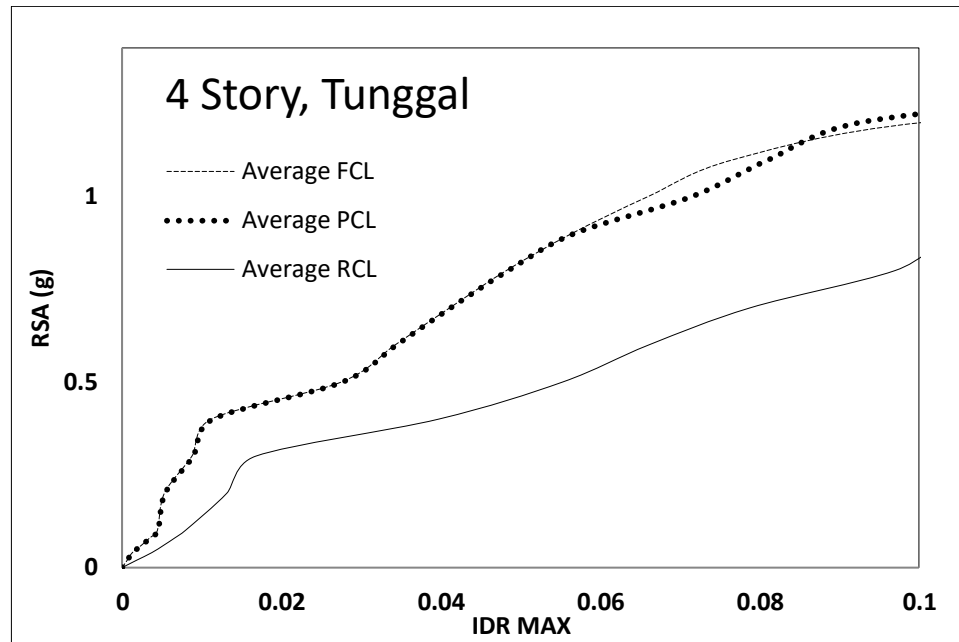
Struktur	T (s)	Reguler (m)	<i>Pulse</i> (m)	<i>Fling</i> (m)
Lantai4	1.62	0.539	0,442	0,726

Tabel 4.4 : Nilai persentasi perbandingan *interstory drift* dengan acuan gempa tunggal *no pulse, pulse, fling*.

Struktur	T (s)	Reguler (%)	<i>Pulse</i> (%)	<i>Fling</i> (%)
Lantai 4	1.62	100	82	134.69

#### 4.4. Pengaruh Gempa Tunggal

Nilai rata-rata grafik IDA pada gempa tunggal reguler, *pulse*, *fling*. Nilai IDR dari lantai 4 lebih besar pada gempa reguler daripada 2 gempa lainnya. Pada nilai  $RSA(T1) = 1$  gempa reguler memiliki nilai  $IDR = 0.132$ , gempa *pulse* dengan nilai  $IDR = 0.071$ , gempa *fling* dengan nilai  $IDR = 0.065$ .



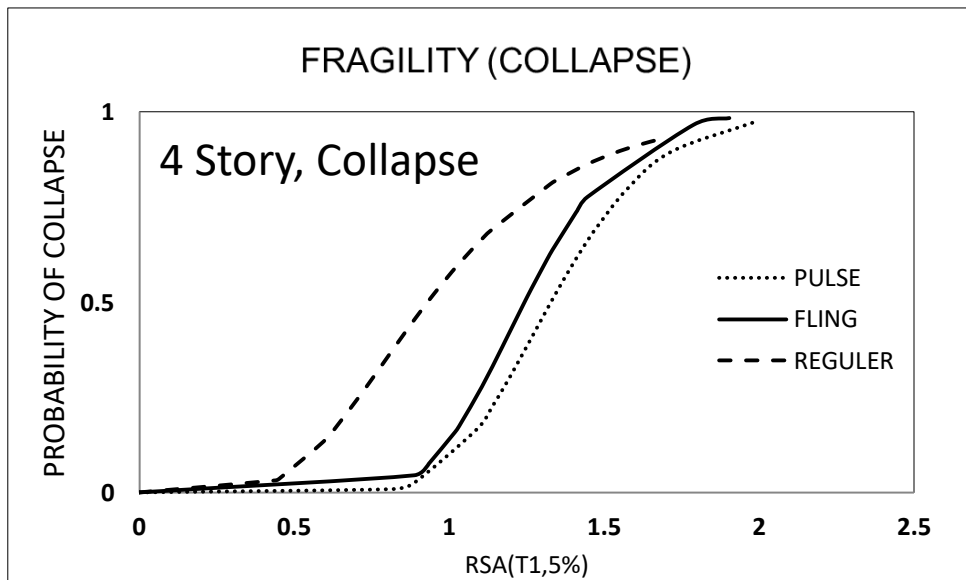
Gambar 4.1: Grafik IDA perbandingan gempa tunggal reguler, *pulse*, *fling* terhadap lantai 4

Dari gambar grafik 4.1 dapat dilihat bahwa pada  $RSA(T1) = 1$  gempa reguler mempunyai IDR lebih besar daripada gempa *pulse* dan *fling*. hal ini diakibatkan oleh perbedaan nilai prioda alami struktur dari setiap Model dimana prioda alami struktur mempengaruhi lamanya waktu gempa yang bekerja terhadap struktur.

#### 4.5 Analisis *Probability of Collapse*

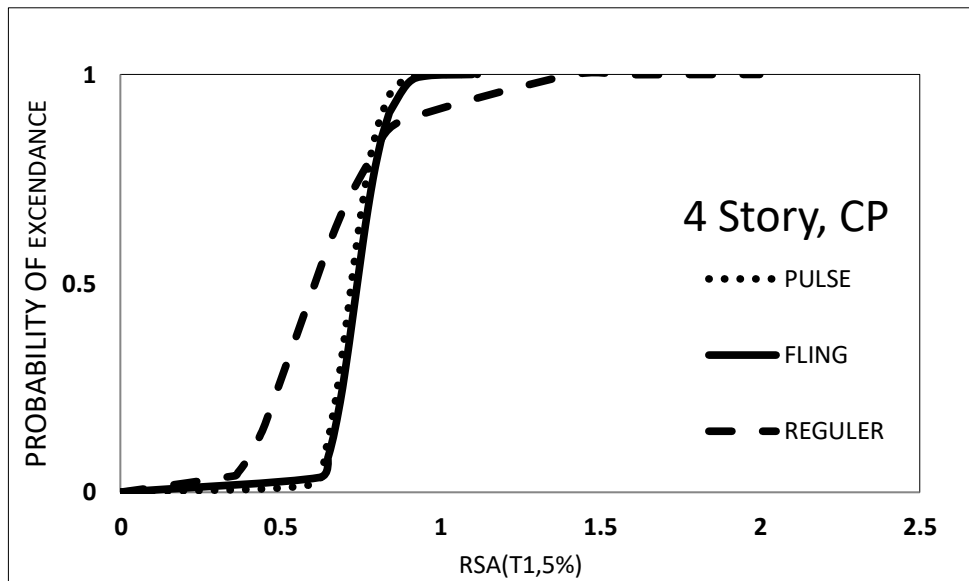
Dari proses *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) didapatkan nilai IDR ratio pada RSA tertentu yang kemudian akan digunakan dalam menganalisa probabilitas keruntuhan struktur gedung terhadap nilai RSA.

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

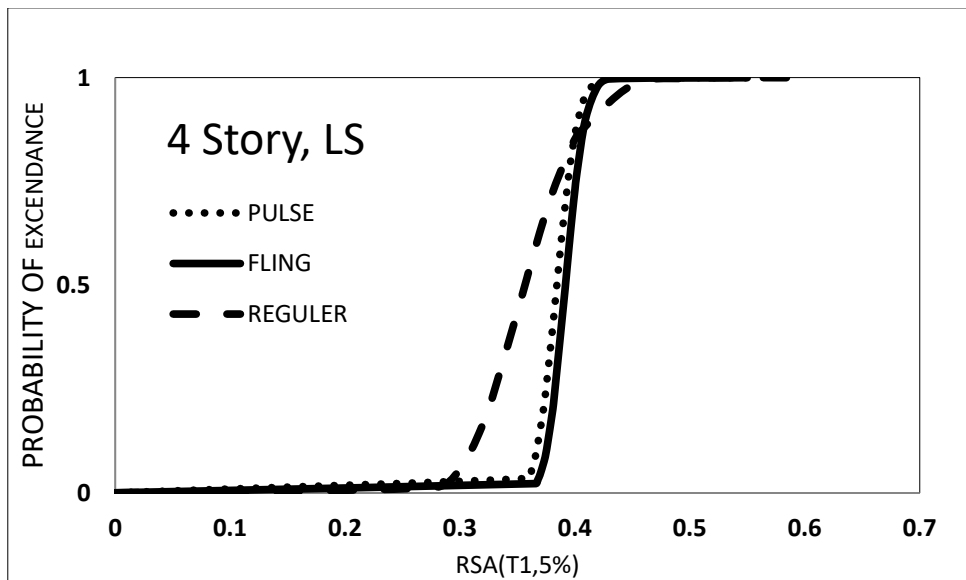


Gambar 4.2: Grafik kurva kerapuhan (*collapse*) gempa tunggal regular, *pulse*, *fling* terhadap lantai 4

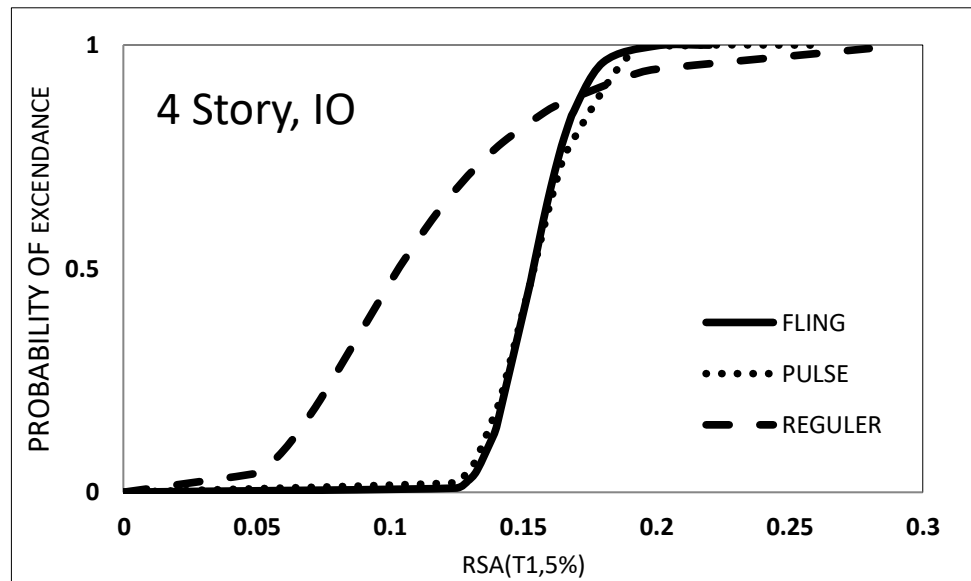
Nilai keruntuhan struktur menurut FEMA (273) untuk kategori resiko adalah Collapse 10%, CP (Collapse Prevention) 5%, LS (Life Safety) 2.5%, IO (Immadiate Occupancy) 0.7%.



Gambar 4.3: Grafik kurva kerapuhan (*collapse prevention*) gempa tunggal regular, *pulse*, *fling* terhadap lantai 4



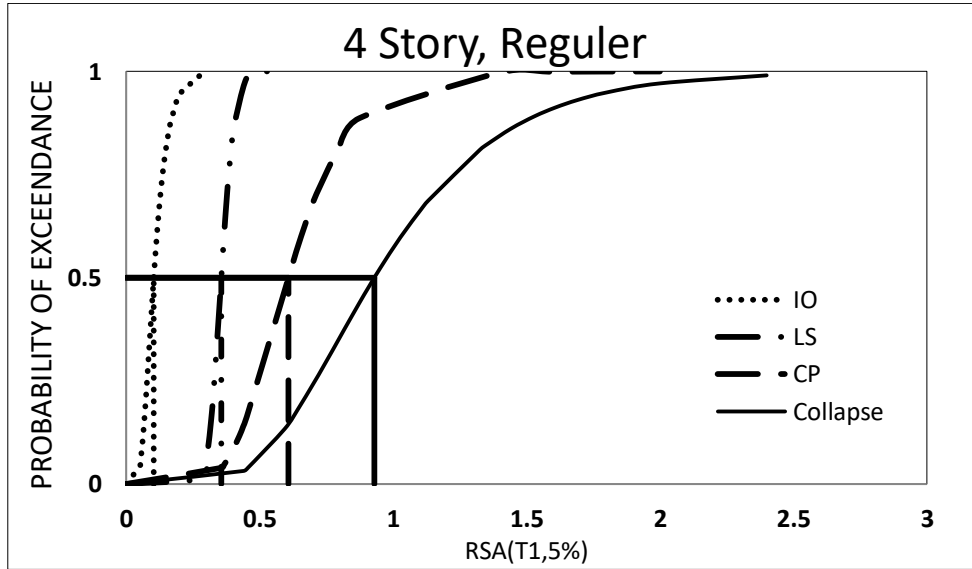
Gambar 4.4: Grafik kurva kerapuhan (*Life Safety*) gempa tunggal regular, *pulse*, *fling* terhadap lantai 4



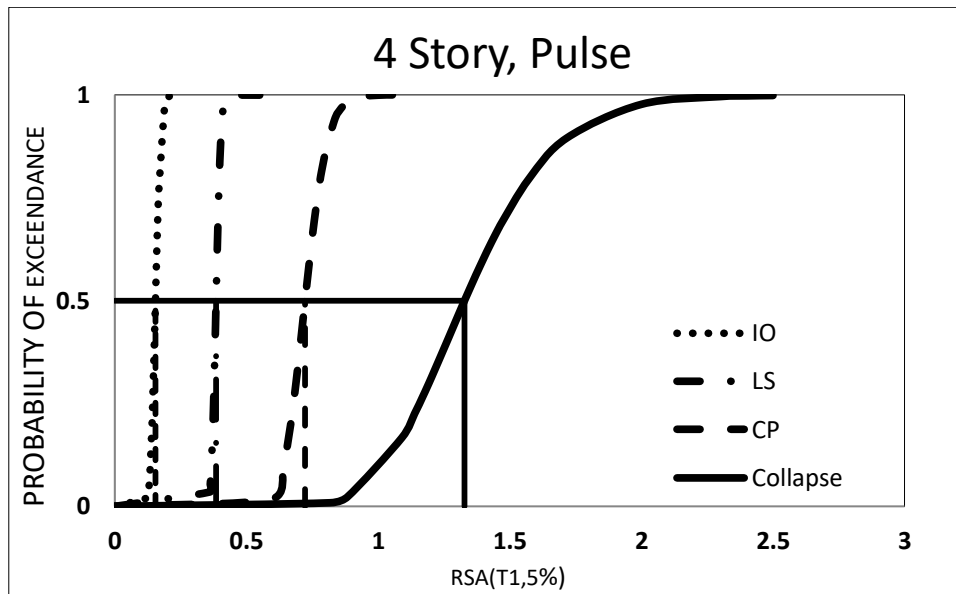
Gambar 4.5: Grafik kurva kerapuhan (*immediate occupancy*) gempa tunggal regular, *pulse*, *fling* terhadap lantai 4

Pada gambar 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 dapat dilihat ketiga gempa yaitu gempa tunggal regular, *pulse*, *fling* mengalami tingkat kerapuhan dengan nilai RSA(T1) pada gempa regular lebih kecil dari pada gempa *pulse* dan gempa *fling*, artinya pada gempa regular membutuhkan nilai RSA(T1) yang lebih kecil untuk mencapai nilai kerapuhan dengan kategori *collapse*, *collapse prevention* (CP), *Life Safety* (LS), *Immadiate Occupancy* (IO)

#### 4.6 Perbandingan Median kurva *fragility*

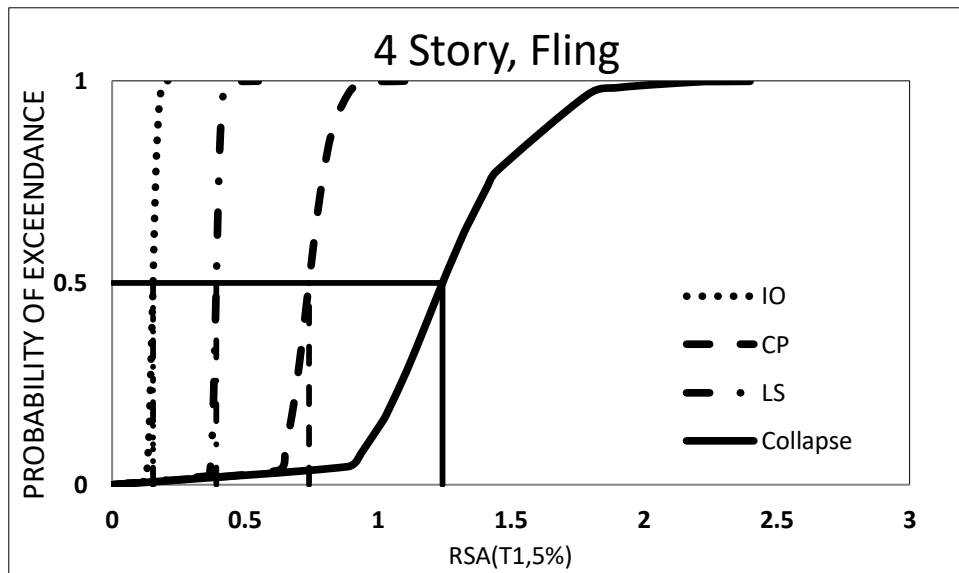


Gambar 4.6: Grafik perbandingan median kurva kerapuhan pada struktur dengan kategori CP, LS dan IO pada gempa reguler



Gambar 4.7: Grafik perbandingan median kurva kerapuhan pada struktur dengan kategori CP, LS dan IO pada gempa *pulse*





Gambar 4.8: Grafik perbandingan median kurva kerapuhan pada struktur dengan kategori CP, LS dan IO pada gempa *fling*

Dari tabel 4.6, 4.7, 4.8 dapat dilihat nilai median 50% keruntuhan untuk kategori resiko collapse, CP (Collapse Prevention), LS (Life Safety) dan IO (Immadiate Occupancy) pada gempa regular, gempa *pulse* dan *fling*.

#### 4.7. Kondisi Keruntuhan Struktur

Nilai keruntuhan struktur Collapse, CP (Collapse Prevention), LS (Life Safety) , IO (Immadiate Occupancy) pada nilai 50% *probability of collapse*. Lihat tabel 4.5.

Tabel 4.5: Nilai RSA(T1) untuk kondisi keruntuhan.50%

Kondisi Keruntuhan	REGULER	PULSE	FLING
	RSA(T1)	RSA(T1)	RSA(T1)
Collapse	0.93	1.328	1.242
CP	0.608	0.722	0.74
LS	0.356	0.384	0.39
IO	0.103	0.154	0.153

Dari tabel 4.5 dapat dilihat nilai keruntuhan untuk kategori resiko collapse, CP, LS dan IO pada gempa regular memiliki RSA(T1) yang lebih kecil dari pada gempa *pulse* dan *fling*. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai RSA, maka semakin tinggi pula probabilitas keruntuhan pada struktur.

## 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 terlihat pada RSA(T1) yang diperoleh masing masing gempa, gempa regular selalu memberikan nilai IDR atau simpangan yang lebih besar daripada gempa *pulse* dan gempa *fling*.
2. Menurut hasil analisis, diperoleh probabilitas keruntuhan struktur gedung SRPMK struktur baja bila terkena gempa tunggal:
  - a. Probabilitas keruntuhan struktur gedung SRPMK baja menunjukkan bahwa pada model struktur gempa regular memiliki RSA(T1) yang lebih kecil dari pada gempa *pulse* dan *fling*, maka semakin kecil nilai RSA(T1) semakin cepat mencapai kondisi keruntuhan tersebut.
  - b. Untuk kondisi keruntuhan menurut kategori resiko FEMA 2000 yaitu *Collapse*, (CO) *Collapse Prevention*, LS (*Life Safety*), IO (*Immediate Occupancy*) pada nilai probability 50% nilai RSA(T<sub>1</sub>) yang didapat pada gempa regular adalah Collapse = 0.93, CP = 0.608, LS = 0.356, IO = 0.103. Pada gempa pulse memiliki RSA (T1) Collapse = 1.328, CP = 0.722, LS = 0.384, IO = 0.154. Pada gempa pulse memiliki RSA (T1) Collapse = 1.328, CP = 0.722, LS = 0.384, IO = 0.154.

## 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. (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.
- Davoodi, M., Sadjadi, M., Goljahani, P., & Kamalian, M. (2012, September). Effects of near-field and far-field earthquakes on seismic response of sdf system considering soil structure interaction. In *15th World Conference on Earthquake Engineering. Lisbon, Portugal.*
- Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. *Universitas Pelita Harapan.*
- 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.
- Eftekhar, G., & Nouri, G. (2018). Seismic Performance Assessment of High-Rise Buildings with Different Lateral Load Resisting Systems Under Near-Field Earthquakes with Fling Step. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 42(4), 361-370.
- Elkady, A., & Lignos, D. G. (2015). Effect of gravity framing on the overstrength and collapse capacity of steel frame buildings with perimeter special moment frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 44(8), 1289-1307.

- Faisal, A. (2019). (Turnitin) Pengaruh Getaran Gempa Yang Mengandung Efek Pulse Dan Tanpa Pulse Pada Struktur Tidak Simetris Sebidang. *Kumpulan Jurnal Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- 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.
- Febriana, A., & Wibowo, A. (2016). Analisis Pushover Untuk Performance Based Design (Studi Kasus n Gedung B Program Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(2), PP-676.
- 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://strongmotionscenter.org>.
- Kalkan, E., & Kunnath, S. 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.
- Kojima, K., & Takewaki, I. (2015). Critical earthquake response of elastic–plastic structures under near-fault ground motions (part 1: fling-step input). *Frontiers in Built Environment*, 1, 12.
- Kristianto, A., Imran, I., & Suarjana, M. (2010). Pengembangan Sistem Elemen Pengikat untuk Meningkatkan Efektifitas Kekangan Kolom Bangunan Tahan Gempa. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 63-77.
- Mamesah, H. Y., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). Analisis Pushover pada Bangunan dengan Soft First Story. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4).
- Pangemanan, S., & Mantiri, H. G. (2017). Analisis Pushover Perilaku Seismik Struktur Bangunan Bertingkat: Studi Kasus Bangunan Ruko. *Symposium II UNIID 2017*, 2(1), 365-373.
- Pawirodikromo, W., 2012, *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar., Yogyakarta
- Siswanto, B., & Salim, M., (2018) *Rekayasa Gempa*, K-Media, Yogyakarta.

- Sinaga, R., & Lesmana, C. (2018). Kajian Evaluasi Kinerja Bangunan terhadap Siaga Bencana Gempa. *Jurnal Teknik Sipil*, 14(1), 77-103.
- Syafitri, Y., Bahtiar, B., & Didik, L. A. (2019). Analisis Pergeseran Lempeng Bumi Yang Meningkatkan Potensi Terjadinya Gempa Bumi Di Pulau Lombok. *Konstan-Jurnal Fisika Dan Pendidikan Fisika*, 4(2), 139-146.
- 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
- 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
- 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. In *Structures Congress 2010* (pp. 1275-1286).

## 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/m<sup>2</sup>
- Beban hidup
  - Pada lantai tipikal = 50 psf = 2,394 KN/m<sup>2</sup>
  - Pada atap = 20 psf = 0,957 KN/m<sup>2</sup>
- Beban mati tambahan = 25 psf = 1,197 KN/m<sup>2</sup>



## 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 (Model 1).

<i>Modal Participating Mass Ratios</i>				
<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	UX	Sum UX
Modal	1	1,633858	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 (KN)</i>
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

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Maksimum} &= \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,2}{\left(\frac{8,0}{1}\right)} = 0,0625 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Cs Hitungan} &= \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,5}{1,3538 \left(\frac{8,0}{1,0}\right)} = 0,01846 \end{aligned}$$

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)	$W_x \cdot h_x^k$	$\frac{Force}{(\sum W_x \cdot h_x^k)} \times V$	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 <sub>x</sub>	35% V <sub>x</sub> <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 ( $\delta_{xe}$ - m)	Simpangan antar tingkat (( $\delta \cdot Cd$ )/Ie)	Syarat ( $\Delta a$ ) 0.02*hi	Cek (Sb.X,Y) Story drift < $\Delta a$
		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  $\Delta a$  (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).

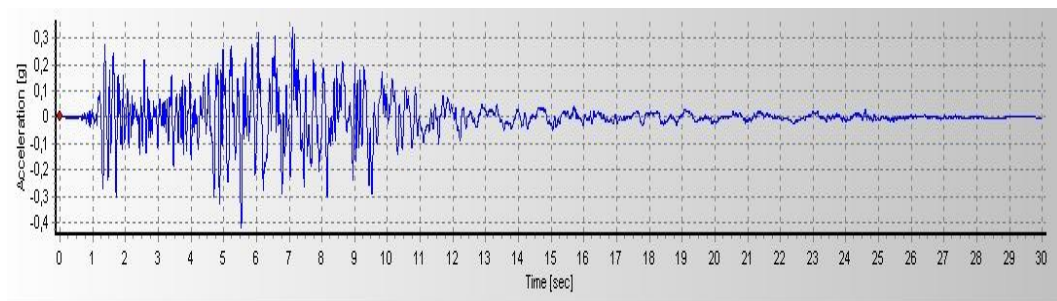
ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	V <sub>u</sub>	P <sub>u</sub>	I <sub>e</sub>	C <sub>d</sub>	STABILITY RATIO	CEK < 1
4	16,5	0,038	1375,43	2524,78	1	5.5	0,0317	OK
3	12,5	0,0126	2381,6	5075,44	1	5.5	0,0122	OK
2	8,5	0,0094	3004,02	7626,1	1	5.5	0,0109	OK
1	4,5	0,0165	3289,27	10176,8	1	5.5	0,0233	OK

### A.10. *Groundmotion* (Rekaman gempa)

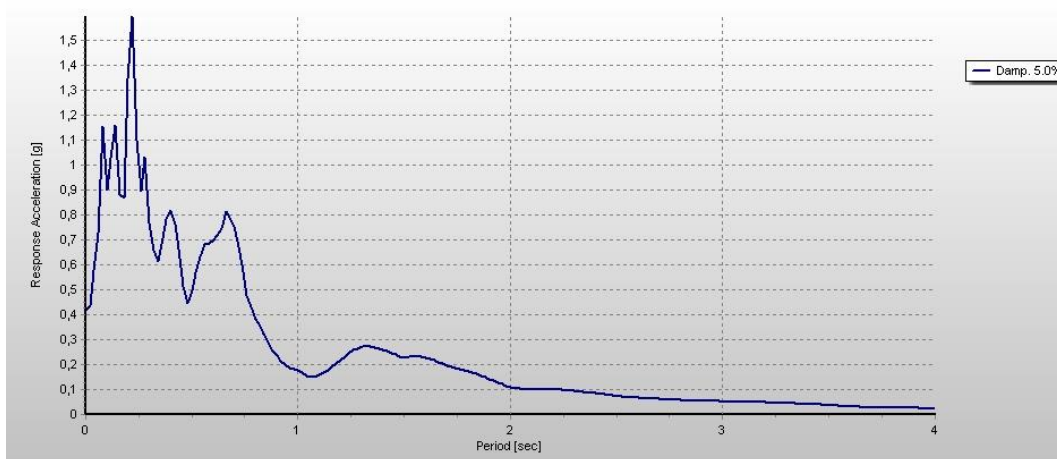
Terdapat 1 tipe *groundmotion* yang akan digunakan dalam tugas akhir ini yaitu tipe *groundmotion* tunggal.

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.

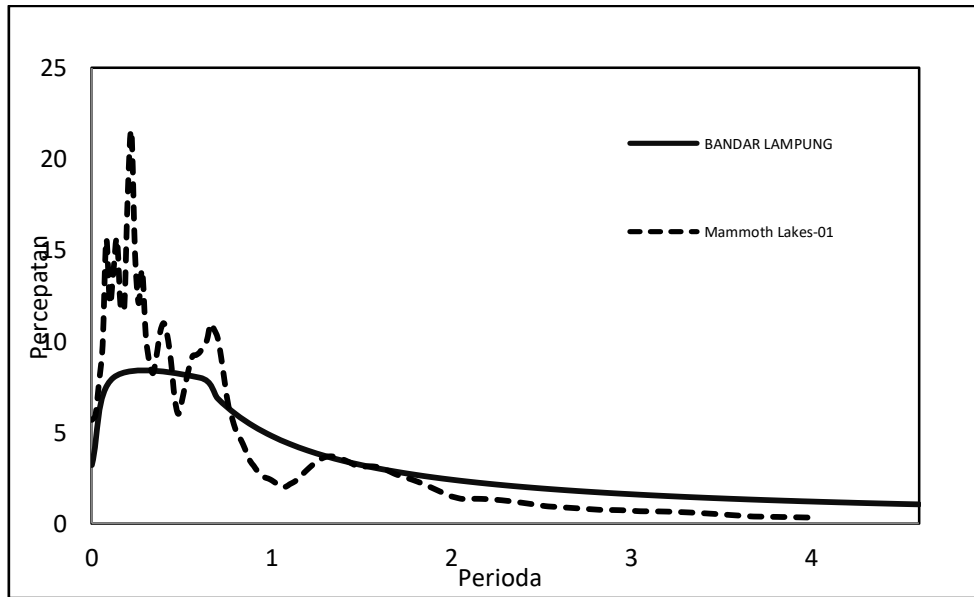


Gambar L.1: Rekaman gempa Mammoth Lakes California sebelum diubah menjadi respon spektrum

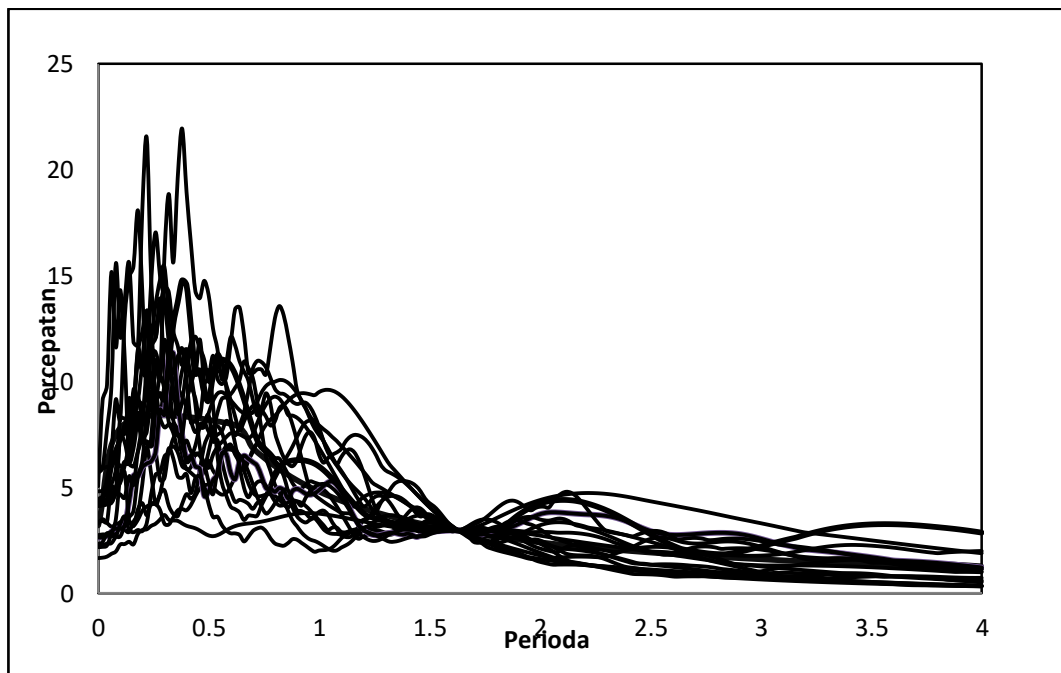


Gambar L.2: Rekaman gempa Mammoth Lakes California setelah diubah menjadi respon spektrum.

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



Gambar L.3: Respon spektrum Mammoth Lakes setelah diskalakan (garis putus-putus) terhadap respon spektrum diindonesia (Bandar Lampung).



Gambar L.4: Respon spektrum dengan 20 daerah gempa setelah diskalakan terhadap respon spektrum diindonesia (Bandar Lampung).

## LAMPIRAN

### A.11. Cek Profil

- **Balok (W21 X 73)**

#### Data

A	138,71	cm <sup>2</sup>	13871	mm <sup>2</sup>
I <sub>x</sub>	66600	cm <sup>4</sup>	666000000	mm <sup>4</sup>
I <sub>y</sub>	2939	cm <sup>4</sup>	29390000	mm <sup>4</sup>
r <sub>x</sub>	460,305	Cm	46,0305	mm
r <sub>y</sub>	219,1	Cm	21,91	mm
S <sub>x</sub>	6235	cm <sup>3</sup>	6235000	mm <sup>3</sup>
S <sub>y</sub>	6600	cm <sup>3</sup>	6600000	mm <sup>3</sup>

#### Dimensi Profil

d	538	Mm	h	500
bf	211	Mm	ho	519
tw	11,9	Mm		
tf	19	Mm		

Mutu Baja = F<sub>y</sub> 345 MPa

F<sub>u</sub> 450 MPa

#### Sayap

λ<sub>f</sub> 5,5526316

#### Batasan

λ<sub>p</sub> 9,149325 Kompak  
λ<sub>r</sub> 24,07717

#### Badan

λ<sub>w</sub> 42,016807

#### Batasan

λ<sub>p</sub> 90,53016 Kompak  
λ<sub>r</sub> 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 <sup>2</sup>	19548	mm <sup>2</sup>
Ix	=	124900	cm <sup>4</sup>	1249000000	mm <sup>4</sup>
Iy	=	4953	cm <sup>4</sup>	49530000	mm <sup>4</sup>
rx	=	25.27	cm	252.7	mm
ry	=	5.034	cm	50.34	mm
Sx	=	8700	cm <sup>3</sup>	8700000	mm <sup>3</sup>
Sy	=	9480	cm <sup>3</sup>	9480000	mm <sup>3</sup>
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  $\phi P_n$  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)**

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

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

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

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

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

$$C = 1$$

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

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

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

$$P_r/P_c = 1.038429569 > 0.2$$

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

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



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : FAHMI  
NPM : 1607210092  
JUDUL : "PENGARUH KINERJA KERUNTUHAN SRPM BAJA  
AKIBAT GEMPA PULSE DAN FLING"

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
		- Tugasan, masalah diperbaiki	Mh 02/02/20
		- lanjut ke bab 2	
		- perbaiki bab 2	Mh 10/03/20
		- buat model linear!	
		- perbaiki model linear	Mh 15/04/20
		- perbaiki bab 2	
		- lanjut ke bab 3	
		- Analisis hasil THA model linear	Mh 23/05/20
		- buat model non-linear	
		- perbaiki model non-linear	Mh 19/06/20
		- buat grafik DBR & IDA	
		- tambahkan model non-linear	
		- cek hasil analisis	Mh 21/07/20
		- buat bab 4	
		- perbaiki grafik DBR & IDA	Mh 18/08/20
		- perbaiki bab 4	
		- buat Grafik Propulity	Mh 25/09/20
		- perbaiki bab 4	
		- perbaiki grafik & bab 4	Mh 17/10/20

all with seminar  
Mentor,  
Pembimbing Tugas Akhir

*ade faisal*  
(Dr. Ade Faisal, S.T, MSc, PhD)

**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2020 – 2021**

Peserta seminar  
 Nama : FAHMI  
 NPM : 1607210092  
 Judul Tugas Akhir : PENGARUH KINERJA KERUNTUHAN SRPM BAJA  
 AKIBAT GEMPA PULSE DAN FLING

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Dr. Ade Faisal S.T, M.Sc	: 
Pemanding – I : Dr. Fahrizal Zulkarnain S.T, M.Sc	: 
Pemanding – II : Bambang Hadibroto S.T, MT	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 20 Rab.Awal 1442 H  
06 November 2020 M

Ketua Prodi. T.Sipil



DR.Fahrizal Z.S.T.M.Sc

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : FAHMI  
NPM : 1607210092  
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Kinerja Keruntuhan Srpm Baja Akibat Gempa Pulse  
Dan Fling

Dosen Pembimbing – I : Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc  
Dosen Pembimbing - I : Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc  
Dosen Pembimbing - II : Bambang Hadibroto, S.T, M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)  
Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

*lanjut ke Sidg Sarjana*

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

.....  
.....  
.....  
.....

Medan 20 Rab.Awal1442H  
06 Nopember 2020 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain S.T, M.Sc

Dosen Pembimbing- I



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T,



DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : FAHMI  
NPM : 1607210092  
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Kinerja Keruntuhan Srpm Baja Akibat Gempa Pulse  
Dan Fling

Dosen Pembimbing - I : Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc  
Dosen Pembanding - I : Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc  
Dosen Pembanding - II : Bambang Hadibroto, S.T, M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :  
..... Acc untuk disidangnya fml 09/11/20  
.....  
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :  
.....  
.....  
.....

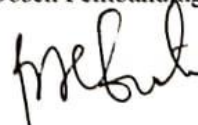
Medan 20 Rab.Awal1442H  
06 Nopember 2020 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Sipil



DR. Fahrizal Z.S.T, M.Sc

Dosen Pembanding- II



Bambang Hadibroto, S.T, M.T

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Fahmi  
Panggilan : Fahmi  
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 12 Agustus 1998  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Alamat Sekarang : Jl. HOS. Cokroaminoto No. 197  
Medan  
HP/ Telp.Seluler : 081237472925

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1607210092  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA, No.3 Medan20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	Sekolah Dasar	SD Madrasah Ibtidaiyah Negri Medan	2010
2	SMP	SMP Swasta Eria	2013
3	SMA	SMA Swasta Husni Thamrin	2016
4	S1	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2020