

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PEMODELAN *PANEL ZONE* STRUKTUR SRPM  
BAJA TERHADAP DEFORMASI  
(*Studi Literatur*)**

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

**Disusun Oleh:**

**WAHYU SATRIA**  
**1607210096**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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



**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)

menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Wahyu Satria

NPM : 1607210096

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Pemodelan *Panel Zone* Stuktur  
SRPM Baja Terhadap Deformasi

Bidang Ilmu : Struktur

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA  
PANITIA UJIAN SKRIPSI

**UMSU**

Medan,

2020

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Dosen Pembimbing

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Wahyu Satria

NPM : 1607210096

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : " Pengaruh Pemodelan *Panel Zone* Struktur  
SRPM Baja Terhadap Deformasi"

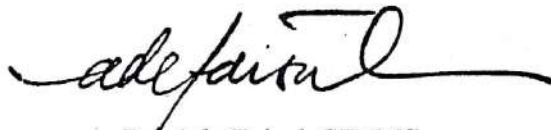
Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, November 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Dosen Pembimbing I



Dr. Fahrizal Zulkarnain

Dosen Pembimbing II



Sri Prafanti, S.T,M.T

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Wahyu Satria  
Tempat, Tanggal Lahir : Tarutung, 06 Maret 1997  
NPM : 1607210096  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Pengaruh Pemodelan Panel Zone Struktur SRPM Baja Terhadap Deformasi”

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

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

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan keadaan sadar dan tidak dalam 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,



Wahyu Satria

## **SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Wahyu Satria  
Tempat, Tanggal Lahir : Tarutung, 06 Maret 1997  
NPM : 1607210096  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Pengaruh Pemodelan Panel Zone Struktur SRPM Baja Terhadap Deformasi”

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

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

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan keadaan sadar dan tidak dalam tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun, demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, November 2020  
Saya yang menyatakan,

**Wahyu Satria**

## ABSTRAK

# PENGARUH PEMODELAN PANEL ZONE STRUKTUR SRPM BAJA TERHADAP DEFORMASI (STUDI LITERATUR)

Wahyu Satria  
1607210096  
Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Pemilihan material merupakan salah satu aspek penting yang digunakan untuk konstruksi suatu bangunan karena diketahui setiap material memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Struktur baja dipertimbangkan sebagai alternatif desain karena material baja memiliki daktilitas yang lebih baik dan bobot yang lebih rendah daripada beton, dimana hal tersebut baik untuk bangunan tahan gempa. Pada struktur baja area pertemuan antara balok dan kolom sering terjadi momen lentur dan gaya geser yang disebut dengan *panel zone*. Pada area ini terjadi pergerakan dan ketidakseimbangan pada penampangnya disebabkan desakan dari gaya-gaya yang bekerja disekitar area *panel zone* tersebut. Deformasi yang terjadi terus-menerus sampai titik kritisnya akan menyebabkan robek pada area tersebut, sehingga di perlunya melakukan pemodelan *panel zone*. Tujuan tugas akhir ini yaitu untuk mengetahui perbandingan nilai deformasi yang terjadi pada struktur bangunan terhadap gempa tunggal yang memiliki tinggi 16,5 m (4 lantai) dengan menggunakan 3 jenis pemodelan struktur, yaitu pemodelan centerline, pemodelan paralelogram dan pemodelan scissor. Dari hasil yang didapat diperoleh hasil nilai simpangan antar tingkat terbesar terdapat pada penskalaan rekaman gempa MCE non linier pada struktur pemodelan tanpa panel zone (centerline). Dan nilai rasio top displacement terbesar pada penskalaan rekaman gempa DBE pada struktur pemodelan tanpa panel zone (centerline) sebesar 2.686.

Kata kunci: Panel Zone, gempa tunggal, deformasi.

## **ABSTRACT**

### ***EFFECT OF MODELING PANEL ZONE STRUCTURE OF SRPM STEEL ON DEFORMATION (LITERATURE)***

Wahyu Satria  
1607210096  
Dr. Ade Faisal, ST, MSc

*Material selection is one of the important aspects used for the construction of a building because it is known that each material has different characteristics. Steel structure is considered as an alternative design because steel material has better ductility and lower weight than concrete, which is good for earthquake resistant buildings. In the steel structure the area where the beam and column joins is often a bending moment and a shear force called the panel zone. In this area there is movement and imbalance in the section due to the forces acting around the panel zone area. Deformation that occurs continuously until the critical point will cause tearing in the area, so it is necessary to do panel zone modeling. The purpose of this final project is to compare the value of the deformation that occurs in a building structure to a single earthquake which has a height of 16.5 m (4 floors) by using 3 types of structural modeling, namely centerline modeling, parallelogram modeling and scissor modeling. From the results obtained, the largest deviation value between levels is found in the non-linear MCE earthquake recording scaling in the modeling structure without a panel zone (centerline). And the largest top displacement ratio value on the DBE earthquake recording scaling in the modeling structure without a panel zone (centerline) of 2.686.*

Keywords: *Panel Zone*, single earthquake, deformation.

## KATA PENGANTAR

**Assalamu'alaikum Wr. Wb.**

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat merampungkan skripsi dengan judul: “*Pengaruh Pemodelan Panel Zone Struktur SRPM Baja Terhadap Deformasi*”. Ini untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata Satu pada program studi teknik sipil di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penghargaan dan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada kedua orang tua yang telah mencurahkan segenap cinta dan kasih sayang serta perhatian moril maupun materil. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan Rahmat, Kesehatan, Karunia dan keberkahan di dunia dan di akhirat atas budi baik yang telah diberikan kepada penulis.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati saya mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan pengetahuan dan bimbingan serta saran kepada saya untuk penyusunan laporan ini, terutama kepada :

1. Bapak Dr. Ade Faisal S.T, MSc selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Dosen Penguji I yang telah mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
3. Ibu Sri Frapanti S.T, M.T selaku Dosen Penguji II yang telah mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Hj. Irma Dewi S.T, M.Si selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.



7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
8. Orang tua saya Muhammad Idris, Rustiati dan saudara/i kandung saya Sri Mizaharani S.E , Andrian atas dukungan moril maupun material dan kasih sayang tulus selama ini kepada penulis.
9. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Afiful Anshari, S.T yang telah membantu saya dalam mengerjakan proposal tugas akhir ini.
11. Fahmi, Muhammad Dewangga Ramadhan, Muammar Siddiq, Ridho Al Fandi, Ega Riswanda Lubis, Dicky Hendrawan, Lady Tania, Zukri Aulia Putra, Tantyo Adhitia, Narwan Hidayat, Rizky Ananda, M. Ardiansyah dan semua teman sejawat saya lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

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 Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, November 2020



Wahyu Satria

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup	3
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Pengertian Gempa	6
2.2. <i>Ground Motion</i> (Getaran Tanah)	7
2.3. Respon Spektrum	7
2.4. Sistem Rangka Pemikul Momen	8
2.5. Panel Zone	10
2.6. Karakteristik Bangunan Tahan Gempa	12
2.7. Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa	15
2.7.1 Perilaku Sistem Struktur yang Diharapkan	16
2.7.2 Perencanaan Berbasis Kinerja	16
2.7.3 Waktu Getar Alami Efektif (Perioda Alami)	17
2.7.4 Target Perpindahan	17

2.8.	Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012	18
2.8.1	Parameter Percepatan Gempa	18
2.8.2	Simpangan Lantai ( <i>Drift</i> ) Akibat Gempa	18
2.8.3	Perioda Alami Struktur	19
2.8.4	Analisa Riwayat Waktu	20
2.8.5	Pembebanan	21
2.8.6	Deformasi	23
2.9.	Program Ruaumoko	23
BAB 3	METODE PENELITIAN	24
3.1.	Umum	24
3.2.	Pemodelan Struktur	25
3.2.1	Data Perencanaan Struktur	25
3.2.2	Dimensi Kolom-Balok	27
3.3.	Analisis Struktur	27
3.3.1	Analisis Dinamik Struktur Linier	27
3.3.1.1.	Pembebanan	27
3.3.1.2.	Respon Spektrum Desain Gempa Banda Aceh (Tanah Lunak)	27
3.3.1.3.	Kombinasi Pembebanan	29
3.3.1.4	<i>Groundmotion Records</i> (Data Rekaman Gempa)	29
3.3.1.5	Analisis Respon Riwayat Waktu	31
3.3.1.6	Momen leleh ( $M_y$ )	32
3.3.1.7	Kapasitas Rotasi ( $\theta_p$ )	33
3.3.1.8	Rotasi Leleh ( $\theta_y$ )	33
3.4.	Perencanaan Linear Berdasarkan AISC-2012	33
3.4.1	Desain Kolom	33
3.4.2	Desain Balok	34
3.5.	Pemodelan Non Linear Struktur.	35
3.5.1	Pemodelan Sendi Plastis Di Badan Kolom Panel Zone	35
3.5.2	Pemodelan Sendi Plastis Di Sayap Kolom <i>Panel Zone</i> .	36
3.5.3	Pemodelan Sendi Plastis Pada Balok	37

3.5.4	Pemodelan Sendi Plastis Pada Kolom	37
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.2.	Hasil Analisa Linier	38
4.2.1	Respon Spektrum Ragam	38
4.2.2	Koreksi Gempa Dasar Nominal	39
4.2.3	Koreksi Faktor Redundansi	39
4.2.4	Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	40
4.2.5	Nilai Simpangan Gedung	40
4.2.6	Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak ( <i>Soft Story</i> )	44
4.2.7	Pengaruh Efek P-Delta	44
4.3.	Hasil Analisa Non Linier	44
4.4.	Hasil Analisa Simpangan Inelastic	50
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	52
	DAFTAR PUSTAKA	
	LAMPIRAN	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Komponen Struktural Bangunan	27
Tabel 3.2	Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai $\rho = 1.3$ , $S_{DS} = 1$ .	29
Tabel 3.3	Data gempa tunggal	30
Tabel 4.1	Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekivalen ( $V_1$ ) dan nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum <i>output</i> Program Analisa Struktur $V_t$ .	39
Tabel 4.2	Cek nilai $V_t$	40
Tabel 4.3	Nilai ratio interstory drift berdasarkan perbedaan pemodelan panel zone pada struktur SRPM baja lantai 4 .	48
Tabel 4.4	Nilai perbandingan <i>interstory drift</i> untuk masing- masing model penskalaan <i>groundmotion</i>	49
Tabel 4.5	Nilai ratio <i>top displacement</i> berdasarkan perbedaan pemodelan panel zone pada struktur SRPM baja lantai 4	49

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Gaya momen dan gaya geser yang terjadi pada pertemuan balok dan kolom	1
Gambar 1.2	Model untuk <i>panel zone</i> (a) Model Gunting (Scissor), dan (b) Model Krawinkler.	2
Gambar 1.3	Rasio simpangan atap	3
Gambar 2.1	Respon spektrum percepatan gempa berulang pada rekaman gempa <i>Whittier Narrows</i> (LA-116 St.School Station)	8
Gambar 2.2	Histeresis di sendi plastis yang stabil (Pawirodikromo, 2012)	9
Gambar 2.3	Denah 8 lantai	10
Gambar 2.4	Sendi plastis pada panel zone yaitu akibat deformasi geser pada badan kolom dan deformasi lentur pada sayap kolom.	11
Gambar 2.5	Stuktur baja pada gedung	11
Gambar 2.6	Model untuk <i>panel zone</i> (a) Model Krawinkler, dan (b) Model Gunting (Scissor).	12
Gambar 2.7	Perilaku struktur akibat pembebanan horisontal berulang, (a). Perilaku struktur yang buruk, (b). Perilaku struktur yang baik	14
Gambar 2.8	Diagram tegangan ( $f_c$ ) – regangan ( $\epsilon$ ) baja tertarik : (a) Diagram $f_c$ - $\epsilon$ baja sebenarnya.(b) Diagram $f_c$ - $\epsilon$ baja yang diidealisasikan	15
Gambar 2.9	Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja	17
Gambar 2.10	Kurva <i>Pushover</i>	20
Gambar 3.1	Bagan alir penelitian	24
Gambar 3.2	Denah struktur Model	26
Gambar 3.3	Gambar proyeksi struktur model lantai 4	26
Gambar 3.4	Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2012 Kota Banda Aceh dengan jenis tanah lunak.	28
Gambar 3.5	Rekaman gempa Mammoth Lakes California sebelum diubah menjadi respon spectrum.	32
Gambar 3.6	Rekaman gempa Mammoth Lakes California setelah diubah menjadi respon spectrum.	32
Gambar 3.7	Kurva backbone gaya-deformasi untuk pemodelan material non linear elemen panel zone.	35
Gambar 3.8	Kurva backbone gaya-deformasi lentur pada sayap kolom panel	

	Zone.	36
Gambar 4.1	Nilai rata-rata <i>interstory drift</i> untuk struktur SRPM baja lantai 4 tanpa pemodelan panel zone terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan <i>groundmotion</i> .	41
Gambar 4.2	Nilai rata-rata <i>interstory drift</i> untuk struktur SRPM baja lantai 4 pemodelan panel zone Paralelogram terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan <i>groundmotion</i> .	41
Gambar 4.3	Nilai rata-rata <i>interstory drift</i> untuk struktur SRPM baja lantai 4 pemodelan panel zone Scissor terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan <i>groundmotion</i> .	42
Gambar 4.4	Perbandingan nilai rata-rata <i>interstory drift</i> untuk struktur SRPM baja lantai 4 tanpa panel zone dengan pemodelan panel zone paralelogram dan scissor terhadap gempa tunggal dengan nilai penskalaan DBE terhadap <i>groundmotion</i> .	43
Gambar 4.5	Perbandingan nilai rata-rata <i>interstory drift</i> untuk struktur SRPM baja lantai 4 terhadap gempa tunggal dan gempa berulang dengan nilai penskalaan MCE terhadap <i>groundmotion</i> .	43
Gambar 4.6	Nilai rata-rata <i>interstory drift</i> untuk struktur SRPM baja lantai 4 tanpa pemodelan panel zone terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan <i>groundmotion</i> .	45
Gambar 4.7	Nilai rata-rata <i>interstory drift</i> untuk struktur SRPM baja lantai 4 pemodelan panelzone paralelogram terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan <i>groundmotion</i>	45
Gambar 4.8	Nilai rata-rata <i>interstory drift</i> untuk struktur SRPM baja lantai 4 pemodelan panelzone paralelogram terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan <i>groundmotion</i> .	46
Gambar 4.9	Perbandingan nilai rata-rata <i>interstory drift</i> untuk struktur SRPM baja lantai 4 pemodelan panel zone scissor,paralelo dan tanpa panel zone terhadap gempa tunggal dan dengan nilai penskalaan DBE terhadap <i>groundmotion</i> .	47
Gambar 4.10	Nilai rata-rata <i>interstory drift</i> untuk struktur SRPM baja lantai 4 pemodelan panelzone paralelogram terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan <i>groundmotion</i> .	48
Gambar 4.11	Perbandingan nilai rasio simpangan inelastic..	50

## DAFTAR NOTASI

A	= Percepatan
V	= Kecepatan
IDA	= <i>Incremental Dynamic Ratio</i>
SDOF	= <i>Single Degree Of Freedom</i>
MDOF	= <i>Multi Degree Of Freedom</i>
$f_y$	= Tegangan leleh
$f_u$	= Tegangan ultimate
SRPM	= Sistem Rangka Pemikul Momen
$S_1$	= Percepatan batuan dasar pada perioda pendek
$S_s$	= Percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik
$MCE_R$	= <i>Maximum Considered Eartquake Ratio</i>
$F_a$	= Faktor amplikasi getaran pada perioda pendek
$F_v$	= Faktor amplikasi getaran pada perioda 1 detik
$S_{MS}$	= Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek
$S_{M1}$	= Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik
$T_e$	= Waktu getar efektif
$K_e$	= Kekakuan lateral efektif
$V_y$	= Kuat leleh bangunan
$\rho$	= Faktor redudansi
PGA	= <i>Peak Ground Acceleration</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>
IDR	= <i>Incremental Dynamic Ratio</i>



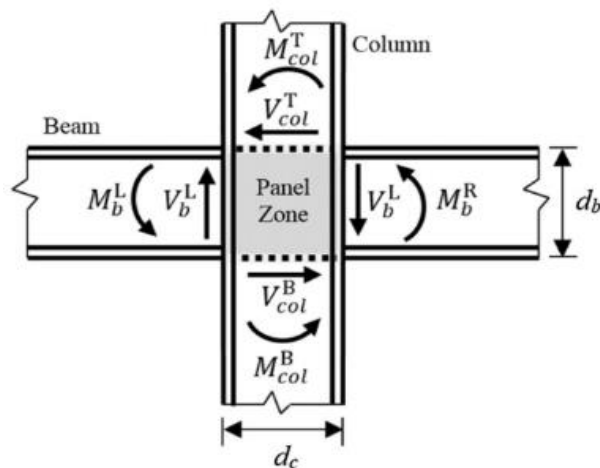
# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

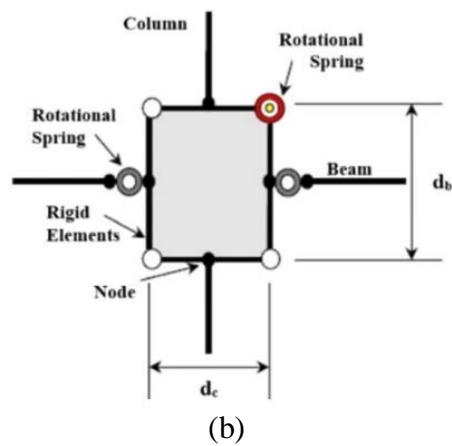
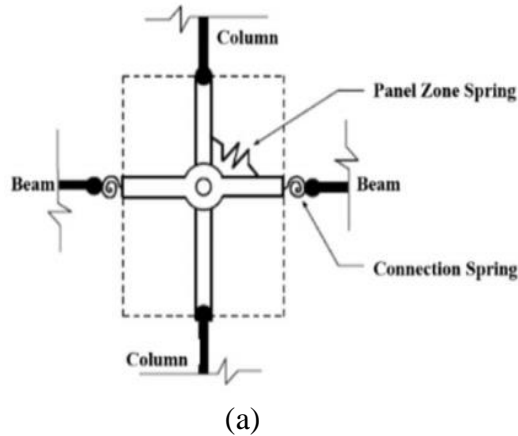
Indonesia adalah negara yang terletak di wilayah Cincin Api Pasifik (*ring of fire*) akibatnya Indonesia sering mengalami gempa tektonik ataupun letusan gunung berapi oleh karena itu kebutuhan akan bangunan tahan gempa merupakan sebuah hal yang harus terpenuhi, khususnya untuk daerah-daerah dengan tingkat kerawanan gempa tinggi. Untuk mengantisipasi bahaya gempa pada konstruksi bangunan maka diperlukan bangunan yang fleksibel dan kuat.

Penggunaan material baja untuk konstruksi bangunan bisa mengurangi risiko bangunan roboh saat diguncang gempa bumi dikarenakan tingkat fleksibilitasnya yang cukup tinggi dibandingkan material beton. Pada struktur baja area pertemuan antara balok dan kolom sering terjadi momen lentur dan gaya geser (Gambar 1.1) yang disebut dengan *panel zone*. Pada area ini terjadi pergerakan dan ketidakseimbangan pada penampangnya disebabkan desakan dari gaya-gaya yang bekerja disekitar area *panel zone* tersebut. Deformasi yang terjadi terus-menerus sampai titik kritisnya akan menyebabkan robek pada area tersebut.



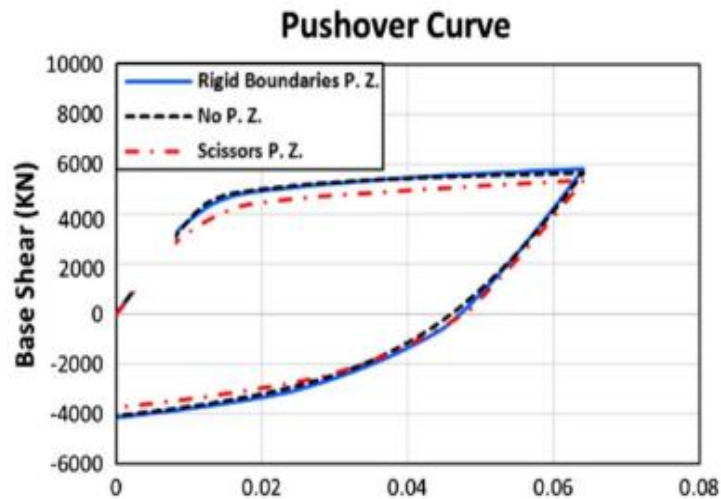
Gambar 1.1: Gaya momen dan gaya geser yang terjadi pada pertemuan balok dan kolom (Sepasdar, 2019).

Umumnya pemodelan *panel zone* dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu *panel zone* Metode Paralelogram (Krawinkler,1978) dan Metode Gunting atau Scissor (Krawinkler dan Mohasseb, 1987) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2a dan 1.2b.



Gambar 1.2 : Jenis Panel Zone (a)Panel Zone Scissor, (b) Panel Zone Paralelogram .(Krawinkler dan Mohasseb, 1987)

Perbandingan hasil tes eksperimental dengan simulasi numerik (Metode Paralelogram dan Scissor) untuk *panel zone* ditunjukkan pada Gambar 1.3. Pada gambar tersebut jelas menunjukkan kedua metode pemodelan sangat mendekati hasil tes eksperimental.



Gambar 1.3 : Rasio simpangan atap (Sepasdar, 2019)

## 1.2. Rumusan Masalah

1. Apakah perbedaan pemodelan pada *panel zone* SRPM baja akan mempengaruhi simpangan antar tingkat?
2. Apakah perbedaan pemodelan pada *panel zone* SRPM baja akan mempengaruhi simpangan atap (*top displacement*)?

## 1.3. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui perbedaan simpangan antar tingkat akibat perbedaan pemodelan *panel zone* pada struktur SRPM baja
2. Untuk mengetahui perbedaan simpangan atap (*top displacement*) akibat perbedaan pemodelan *panel zone* pada struktur SRPM baja

## 1.4. Ruang Lingkup

Untuk memperjelas masalah yang akan dibahas dan agar tidak terjadi pembahasan yang meluas atau menyimpang, maka perlu kiranya dibuat suatu batasan masalah. Adapun ruang lingkup permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan skripsi ini, yaitu:

1. Struktur bangunan yang direncanakan merupakan:

- Struktur Baja Pemikul Momen (SRPM) 2 Dimensi diantaranya Struktur Baja menggunakan *panel zone scissor*, Struktur Baja menggunakan *panel zone Paralelogram* , Struktur Baja tanpa dimodelkan *panel zone*, 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 Baja Struktural untuk bangunan Gedung SNI 1729:2015.
  - Beban gravitasi menggunakan SNI 1727:2013 dan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987.
  - Beban gempa dan gedung direncanakan menggunakan Standar Perencanaan Tahan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726:2012.
3. Analisis menggunakan alat bantu berupa program yaitu:
- Program Analisa Struktur, untuk menganalisa tahap desain (Analisa Respon Spektrum Linear ).
  - PEER NGA, COSMOS untuk mendapatkan rekaman gempa.
  - Program analisa struktur, untuk menganalisa tahap evaluasi
  - RUAOMOKO2D versi 04, untuk menganalisa tahap evaluasi (Analisa Riwayat Waktu Nonlinear ) yang hanya ditinjau secara 2 dimensi.
4. Parameter yang ditinjau:
- Linear adalah semua aspek yang harus di kontrol sesuai dengan SNI 1726:2012
  - Nonlinear : - Simpangan antar tingkat  
- Simpangan atap

## **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) dan bagaimana memodelkan *panel zone* pada struktur baja serta pengaruhnya terhadap deformasi struktur.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

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

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

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

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

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

### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

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

### **BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

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

### **BAB 5 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. 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 kesegala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi. Semakin besar energi yang dilepas semakin kuat gempa yang terjadi. Kejadian bencana alam tidak dapat dicegah dan ditentukan kapan dan dimana lokasinya, akan tetapi pencegahan jatuhnya korban akibat bencana ini dapat dilakukan bila terdapat cukup pengetahuan mengenai sifat-sifat bencana tersebut (Nugraha dan Fauzy, 2014).

Gempa bumi didefinisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Getaran pada bumi terjadi akibat dari adanya proses pergeseran secara tiba-tiba (*sudden slip*) pada kerak bumi. Pergeseran secara tiba-tiba terjadi karena adanya sumber gaya (*force*) sebagai penyebabnya, baik bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia (*artificial earth-quakes*). Selain disebabkan oleh *sudden slip*, getaran pada bumi juga bisa disebabkan oleh gejala lain yang sifatnya lebih halus atau berupa getaran kecil-kecil yang sulit dirasakan manusia (Nugraha dan Fauzy, 2014).

Getaran tersebut misalnya yang disebabkan oleh lalu-lintas, mobil, kereta api, tiupan angin pada pohon dan lain-lain. Getaran seperti ini dikelompokkan sebagai mikro-seismisitas (getaran sangat kecil). Dimana tempat biasa terjadinya gempabumi alamiah yang cukup besar, berdasarkan hasil penelitian, para peneliti kebumihan menyimpulkan bahwa hampir 95 persen lebih gempabumi terjadi di daerah batas pertemuan antar lempeng yang menyusun kerak bumi dan di daerah sesar atau fault (Nugraha dan Fauzy, 2014).

## 2.2. *Ground Motion* (Getaran Tanah)

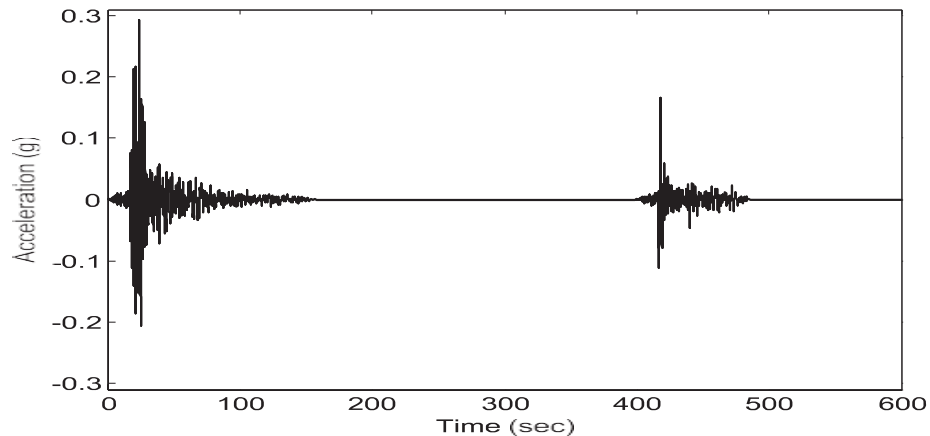
*Ground motion* adalah pergerakan permukaan bumi yang diakibatkan adanya gempa atau ledakan. Di dalam ilmu teknik gempa, *ground motion* juga populer dengan sebutan *strong motion* untuk lebih menekankan pada percepatan tanah akibat gempa daripada respon-respon tanah yang lain. Pada umumnya, pengertian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

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

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

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



Gambar 2.1: Respon spektrum percepatan gempa berulang pada rekaman gempa *Whittier Narrows* (LA-116 St.School Station) (Amiri, 2019).

Gambar 2.1 merupakan respon spektrum percepatan (Respons Spectrum Acceleration) pada rekaman gempa *Whittier Narrows* yang direkam oleh stasiun LA-116 St.School Station. Data tersebut merupakan data asli dari gempa tersebut sebelum di olah menjadi respon spektrum desain untuk melakukan desain perencanaan suatu bangunan.

#### 2.4. Sistem Rangka Pemikul Momen

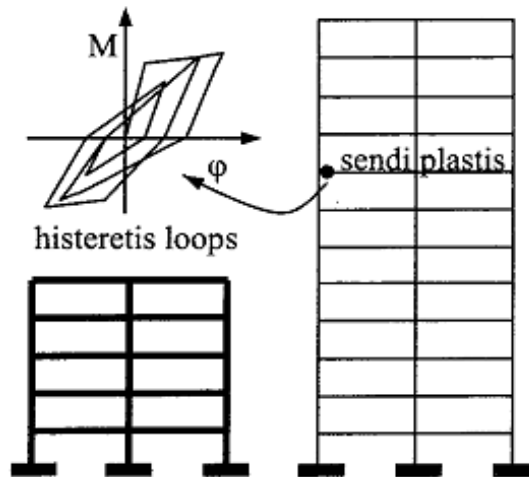
Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah salah satu sistem struktur utama dalam menahan gaya-gaya lateral, baik itu gaya lateral akibat gempa maupun angin. SRPM ini dikenal cukup baik dalam memberikan sistem yang daktail namun sayangnya kurang baik dalam memberikan kekuatan lateral, khususnya untuk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

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

1. Apabila didesain secara baik maka struktur portal dapat menjadi struktur yang daktail dengan *hysteresis loops* di sendi plastis yang stabil, seperti Gambar 2.3 dan dapat memberikan sistem pengekangan/kekakuan yang cukup.



2. Karena fleksibilitasnya tinggi, SRPM akan mempunyai perioda getar  $T$  yang relatif besar.
3. Secara arsitektural SRPM memberi keleluasaan untuk menata ruangan yang diinginkan.



Gambar 2.2: Histeresis di sendi plastis yang stabil (Pawirodikromo, 2012).

Adapun kekurangan dari SRPM adalah:

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

Menurut Sampakang dkk (2013), 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)

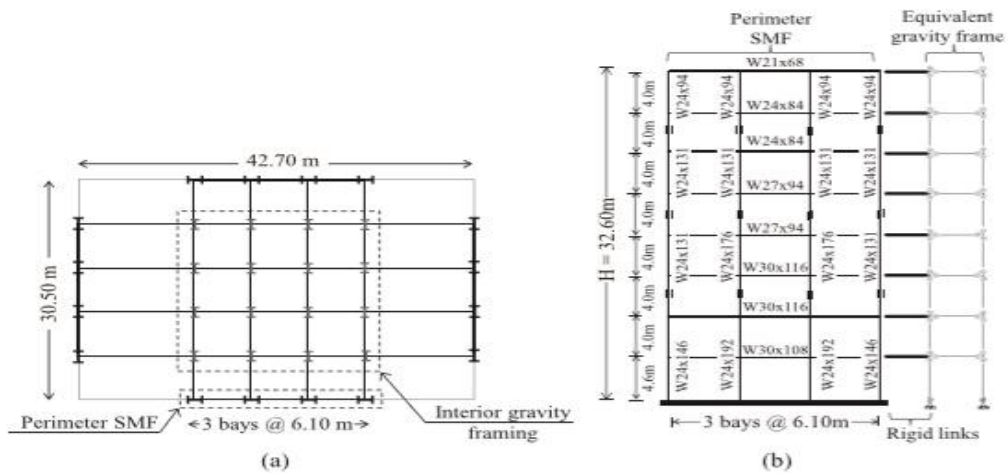
Metode ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang masuk pada zona 1 dan 2 yaitu wilayah dengan tingkat kegempaan rendah.

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.

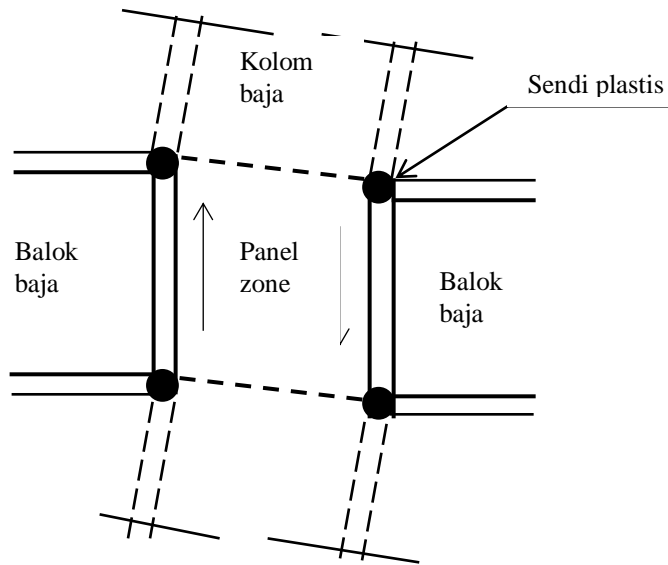
Elkady dan Lignos pernah melakukan penelitian dengan denah seperti pada gambar 2.7.



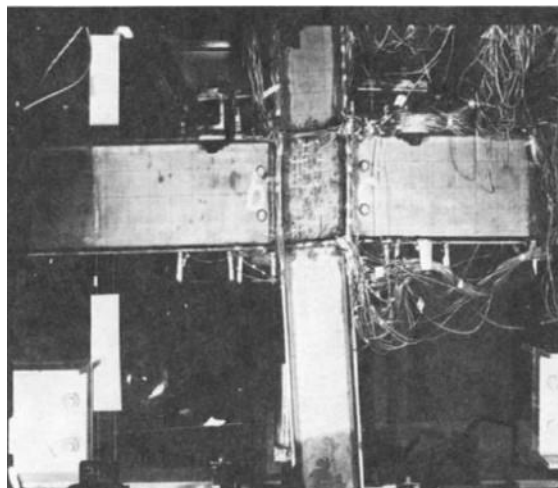
Gambar 2.3: Denah 8 lantai (Elkady dan Lignos, 2015)

## 2.5. Panel Zone

*Panel zone* adalah sebuah bagian sayap dan badan profil kolom yang letaknya tepat berada di tengah-tengah pertemuan kolom-balok struktur baja (Gambar 2.4). *Panel zone* hanya terjadi bila sambungan kolom-balok struktur baja sepenuhnya kaku (sambungan momen). Sendi plastis yang terjadi pada ketika gaya lateral bekerja, umumnya terjadi akibat deformasi geser dan deformasi lentur pada sayap profil kolom pada pertemuan sisi atas dan bawah balok, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.

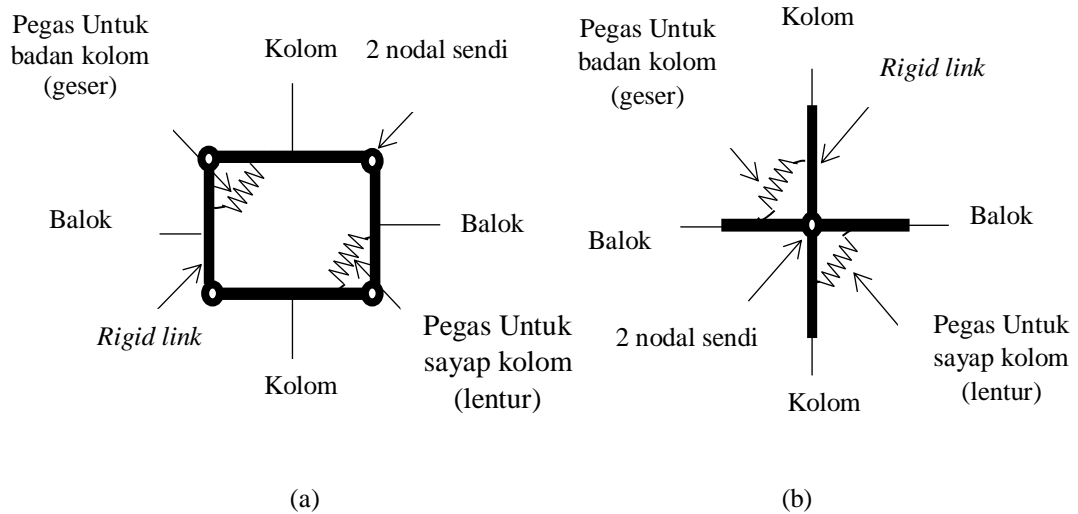


Gambar 2.4: Sendi plastis pada panel zone yaitu akibat deformasi geser pada badan kolom dan deformasi lentur pada sayap kolom.



Gambar 2.5: struktur baja pada gedung.(E.Popov, 1987)

Umumnya ada 2 metode yang dipakai untuk memodelkan *panel zone* di dalam analisa struktur SRPM baja memakai metode elemen hingga, yaitu Metode Paralelogram (Krawinkler, 1978) dan Metode Gunting atau Scissor (Krawinkler dan Mohasseb, 1987), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6: Model untuk *panel zone* (a) Model paralelogram, dan (b) Model Gunting (Scissor).

## 2.6. Karakteristik Bangunan Tahan Gempa

Menurut Budiono dan Supriatna (2011), 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.

Menurut Rizkiani (2019), 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.

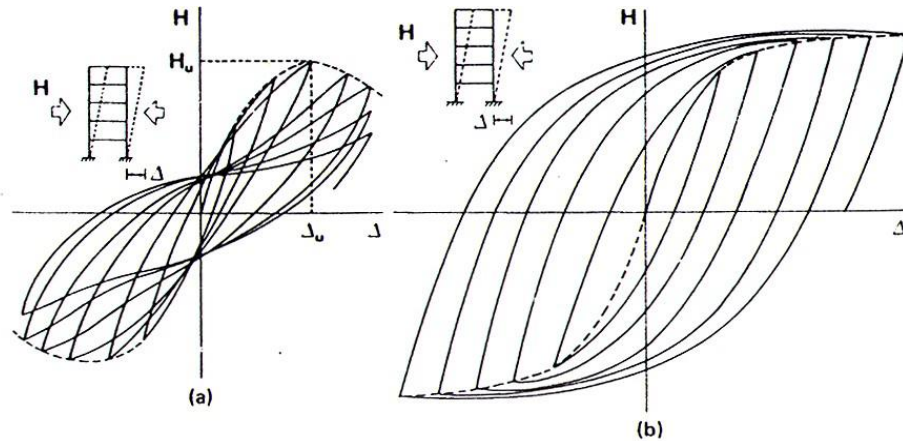
2. Kontrol kerusakan (*damage control*)

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

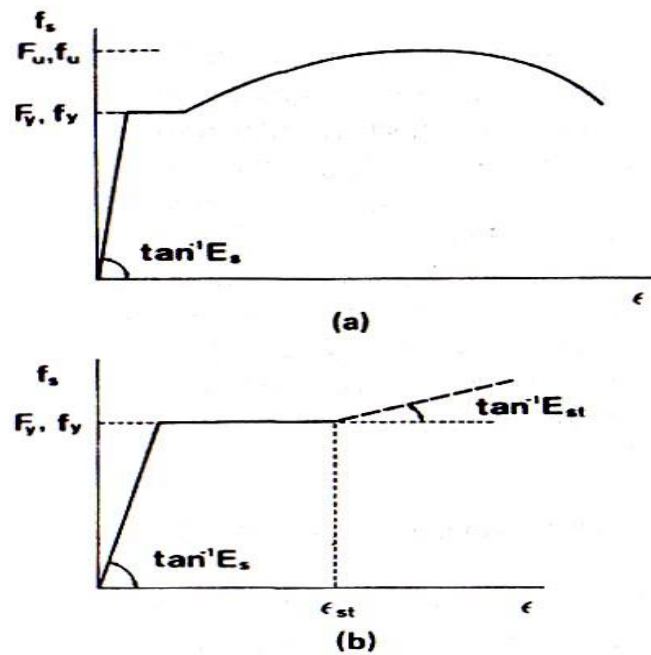
(collapse). Tujuan utama dari keadaan batas ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.



Gambar 2.7 : Perilaku struktur akibat pembebanan horisontal berulang, (a). Perilaku struktur yang buruk, (b). Perilaku struktur yang baik (Siswanto, 2018).

Dari Gambar 2.7.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 2.7.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 2.8 Diagram tegangan ( $f_c$ ) – regangan ( $\epsilon$ ) baja tertarik : (a) Diagram  $f_c$ -  $\epsilon$  baja sebenarnya.(b) Diagram  $f_c$ -  $\epsilon$  baja yang diidealisasikan (Sisawanto, 2018).

Dari Gambar 2.8 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 2.8.a merupakan hasil uji tarik material baja murni tanpa pengolahan data. Pada Gambar 2.8.b merupakan hasil diagram yang sudah disempurnakan hasilnya.

## 2.7. Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa

Prinsip dari perencanaan bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa (Sampakang dkk, 2013):

1. Pada saat gempa kecil tidak diijinkan terjadi kerusakan sama sekali
2. Pada saat gempa sedang diijinkan terjadinya kerusakan ringan tanpa kerusakan structural
3. Pada saat gempa besar diijinkan terjadi kerusakan pada structural tanpa terjadinya keruntuhan.

Sampakang dkk (2013) mengatakan ada beberapa hal-hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan suatu struktur tahan gempa yaitu dalam menghadapi gempa besar, kinerja struktur tahan gempa diupayakan dapat

menyerap energi gempa secara efektif melalui terbentuknya sendi plastis pada bagian tertentu, dengan kriteria sebagai berikut:

1. Kekuatan, kekakuan, daktilitas, disipasi energi yang dapat dipenuhi oleh struktur baja.
2. Disipasi energi melalui klasifikasi komponen struktur tertentu, tanpa menyebabkan keruntuhan struktural yang terpenuhi dengan perencanaan *Capacity Design*.

### **2.7.1 Perilaku Sistem Struktur yang Diharapkan**

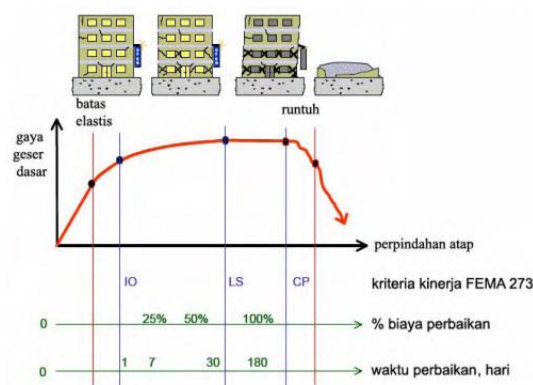
Ketika struktur harus sebuah mengalami sebuah kondisi gempa besar, maka struktur diizinkan mengalami kondisi inelastic dikarenakan sulit melakukan desain dan mahal biaya untuk melakukan desain, oleh karena itu perencanaan struktur tahan gempa harus berdasarkan pada metodologi *capacity design*.

### **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 (Dewobroto, 2005).

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 (Dewobroto, 2005).





Gambar 1. Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja ( ATC 58 )

Gambar 2.9 : 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 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).

### 2.7.4 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).

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 rando, sehingga dapat memberikan gambaran pola mana yang pengaruhnya paling jelek. Selanjutnya beban tersebut harus diberikan secara bertahap dalam satu arah (monotonic) (Dewobroto, 2005).

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 diijadikan sebagai kriteria kinerja (Dewobroto, 2005).

## **2.8. Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012**

### **2.8.1 Parameter Percepatan Gempa**

Parameter  $S_S$  (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 SNI 1726:2012 dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun ( $MCE_R$ , 2% dalam 50 tahun) dan dinyatakan dalam bilangan decimal terhadap percepatan gravitasi. Bila  $S_1 \leq 0,04g$  dan  $S_S \leq 0,15g$ , maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A dan cukup memenuhi persyaratan.

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu factor amflikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amflikasi meliputi factor amflikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan factor amflikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

### **2.8.2 Simpangan Lantai (*Drift*) Akibat Gempa**

Simpangan (*drift*) adalah sebagai perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau dapat dikatakan simpangan mendatar tiap-tiap tingkat bangunan (*horizontal story to story deflection*) (Muliadi dkk, 2018).

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

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

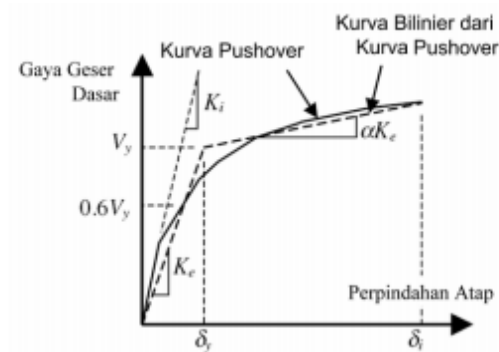
Sementara itu White dan Salmon (1987) berpendapat bahwa dalam perencanaan bangunan tinggi selalu dipengaruhi oleh pertimbangan lenturan (*deflection*), bukannya oleh kekuatan (*strength*). Simpangan antar tingkat dari suatu titik pada suatu lantai harus ditentukan sebagai simpangan horizontal titik itu, relatif terhadap titik yang sesuai pada lantai yang berada dibawahnya. Untuk menjamin agar kenyamanan para penghuni gedung tidak terganggu maka dilakukan pembatasan-pembatasan terhadap simpangan antar tingkat pada bangunan. Pembatasan ini juga bertujuan untuk mengurangi momen-momen sekunder yang terjadi akibat penyimpangan garis kerja gaya aksial di dalam kolom-kolom (yang lebih dikenal dengan P-delta).

### **2.8.3 Periode Alami Struktur**

Periode adalah besarnya waktu yang diperlukan untuk mencapai satu getaran. Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan dimana frekuensi alami struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur (Purwoko, 2018).

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*.



Gambar 2.10 Kurva *Pushover* yang disederhanakan menjadi kurva bilinear (Dewobroto, 2005).

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

#### 2.8.4 Analisa Riwayat Waktu

Analisa riwayat waktu terbagi menjadi 2 jenis metode (Darmawan dkk, 2017), yaitu:

1. Analisa respon dinamik riwayat waktu linear

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

## 2. Analisa respon dinamik riwayat waktu nonlinear

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

### 2.8.5 Pembebanan

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

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

seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

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

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

1. Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C.
2. Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta; desain komponen nonstructural.
3. Desain struktural non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung.
4. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 pada SNI 1726:2012 yang digunakan.
5. Desain elemen struktur atau sambungan dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 disyaratkan untuk didesain.
6. Struktur bagian sistem peredaman.
7. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkutnya.

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

1. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau.
2. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang permeter penahan gaya yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding struktur harus dihitung sebagai panjang dinding struktur dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat untuk konstruksi rangka ringan.

### **2.8.6 Deformasi**

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang 1996). Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif. Dikatakan titik bergerak absolut apabila dikaji dari perilaku gerakan titik itu sendiri, dan dikatakan relatif apabila gerakan itu dikaji dari titik yang lain. Perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu kepada suatu sistem kerangka referensi (absolut atau relatif). Untuk mengetahui sifat deformasi yang terjadi dibutuhkan informasi mengenai status geometrik dari materi berupa posisi, bentuk, dan dimensi yang dapat diperoleh melalui analisis geometrik menggunakan data hasil pengamatan geodetik terhadap gaya respon suatu benda terhadap gaya deformasi (Haqqi dkk. 2015).

Deformasi dapat terjadi secara perlahan, atau juga secara mendadak. Dalam beberapa kejadian, deformasi berkisar dalam beberapa sentimeter per tahun. Perubahan deformasi yang bersifat mendadak biasanya diikuti dengan perubahan fisik yang nyata dan dapat diketahui secara langsung besar dan kecepatan penurunannya. Namun untuk deformasi yang bersifat perlahan diketahui setelah kejadian yang berlangsung lama, besar penurunannya bisa ditentukan dengan mekanisme secara periodik. (Ardiansyah 2012).

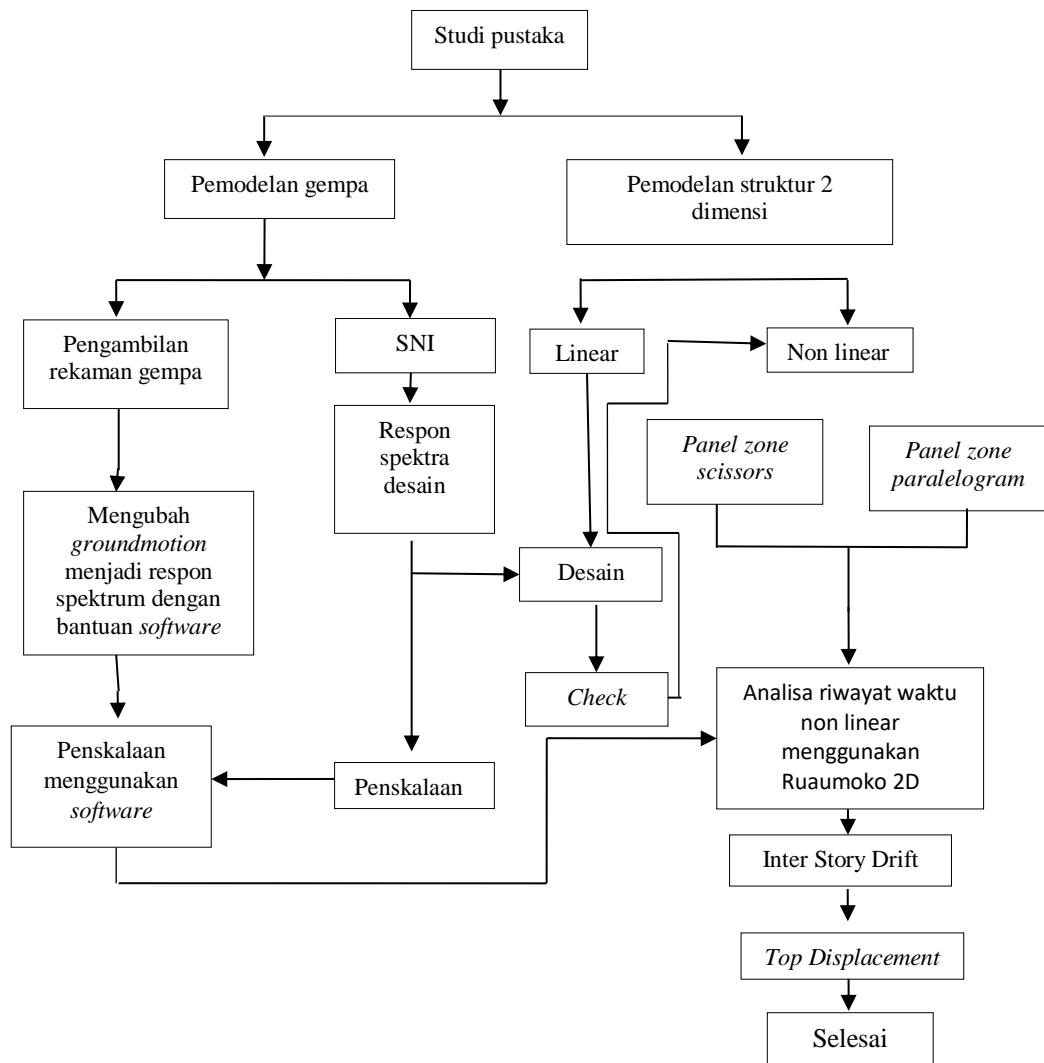
### **2.9. Program Ruaumoko**

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

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1. Umum

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



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.



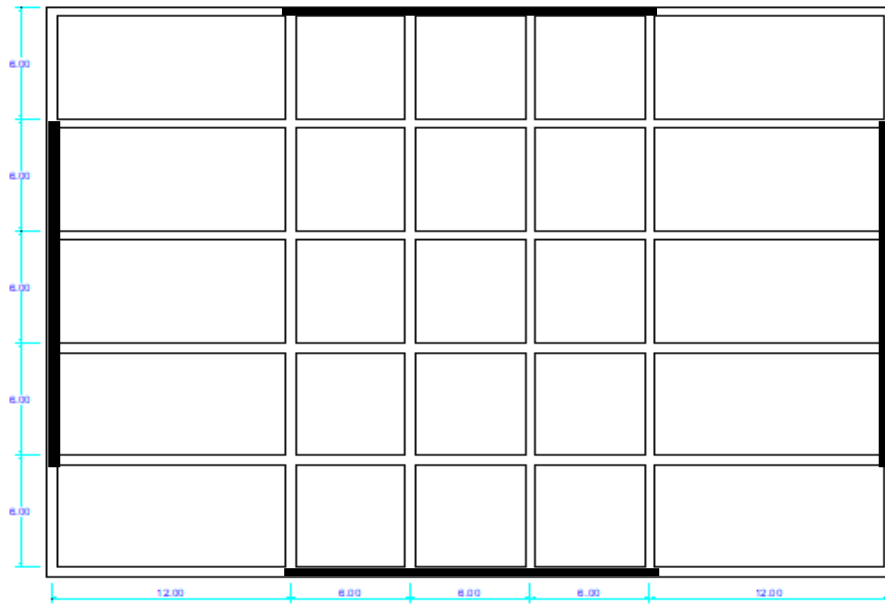
Berdasarkan Gambar 3.1, dapat dijelaskan bahwa dalam Tugas Akhir ini analisis dilakukan terhadap 2 pemodelan *panel zone* dengan sistem rangka pemikul momen. Kedua pemodelan *Panel zone* tersebut dianalisis secara Linear dan Non-Linear dengan menggunakan Metode Analisis Respon Spektrum (*Response Spectrum Analysis*) dengan menggunakan Program Analisa Struktur serta Analisis Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) dengan menggunakan *software* RUAUMOKO versi 04, untuk mendapatkan nilai deformasi yang ada ketika bangunan telah dikenakan gempa tunggal. Kemudian nilai deformasi tersebut akan dibandingkan untuk setiap modelnya.

### **3.2. Pemodelan Struktur**

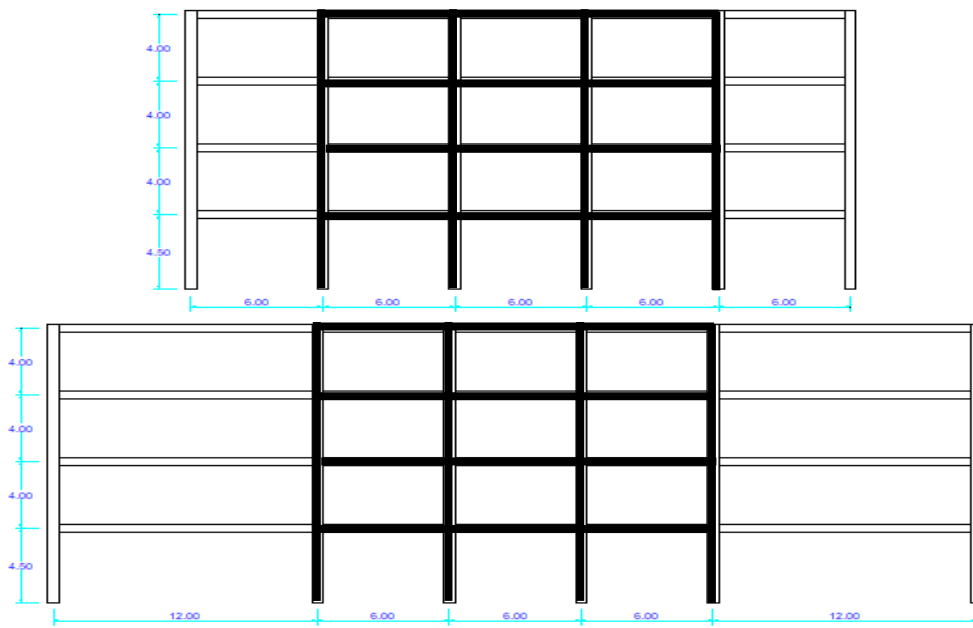
#### **3.2.1 Data Perencanaan Struktur**

Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada 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)



Gambar 3.2: Denah struktur model.



Gambar 3.3: Gambar proyeksi struktur model lantai 4.

### 3.2.2 Dimensi Kolom-Balok

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

Tabel 3.1 Komponen Struktural Bangunan

Model Bangunan	Lantai	Kolom Interior	Kolom Eksterior	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

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 = 2.39 KN/m<sup>2</sup> untuk lantai tipikal.
- Beban Hidup = 0.957 KN/m<sup>2</sup> untuk 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

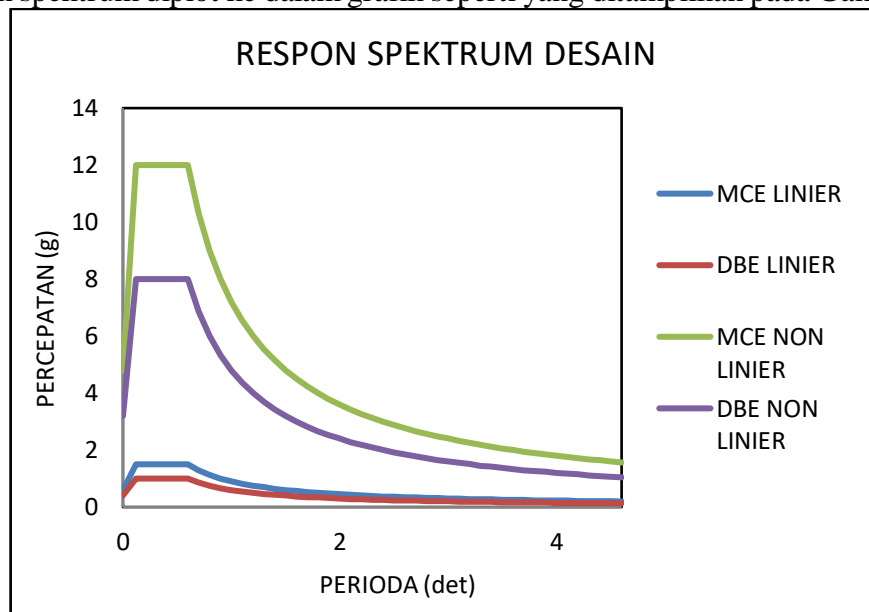
$PGA = 0.6 g, 0.4g(\text{Linear MCE\&DBE})$

$PGA = 4.8\text{ g}, 3.2\text{g(Non Linear MCE\&DBE)}$

$S_s = 1.5\text{ g}$  dan  $S_l = 0.6\text{ g}$ . 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 Program Analisa Struktur.

### 3.3.1.3. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dihitung berdasarkan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2012 tentang standar perencanaan bangunan tahan gempa, 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 merupakan gempa tunggal. Data rekaman itu sendiri diambil sebanyak 20 rekaman gempa. Untuk data rekaman gempa diperoleh dari PEER NGA dan COSMOS seperti terlihat pada Tabel.

Tabel 3.3: Data gempa tunggal

No	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun	Magnitude
1	Managua Nicaragua-01	1972	Managua ESSO	6.24
2	Fruili Italy-02	1976	Forgaria Cornino	5.5
3	Duzce Turkey	1999	Sakarya	7.4
4	Kobe Japan	1995	Kobe University	6.9
5	Northridge-01	1994	Cedar Hill	6.7
6	Cape Mendocino	1992	Cape Mendocino	7.01
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	Gilroy 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

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

Selanjutnya data rekaman gempa yang diperoleh tersebut diskalakan terhadap respon spektrum desain. Pada proses penskalaan dibutuhkan data respon spektrum desain agar data rekaman gempa original disesuaikan dengan kondisi geologis pada Kota Banda Aceh (tanah lunak). Selain itu, rentang perioda alami ( $T$ ) juga dibutuhkan dalam proses penskalaan agar hasil skala lebih detail.

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

Data - data rekaman yang telah diskalakan dan digabungkan dengan Aplikasi Analisa Struktur dan akan digunakan sebagai input data pada analisis menggunakan RUAUMOKO2D.

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

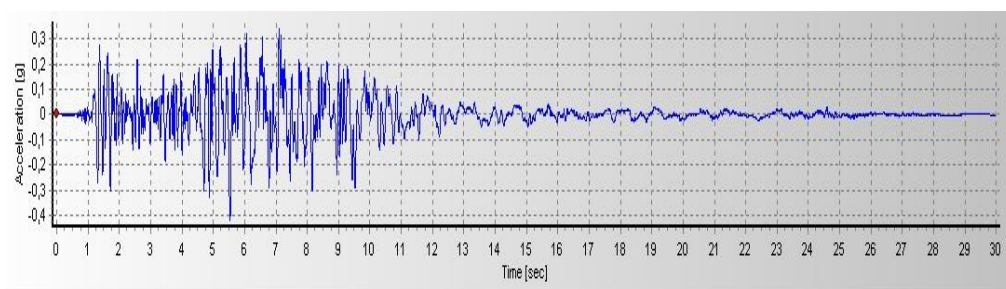
- $I$  : Momen inersia penampang
- $E$  : Modulus elastisitas penampang
- $M_y$  : Momen leleh
- $M_c$  : Momen puncak
- $K_o$  : Kekakuan rotasi elastis
- $\theta_p$  : Koefisien rotasi plastis
- $\theta_y$  : Koefisien rotasi leleh
- $\theta_c$  : Koefisien rotasi kapasitas plastis
- $\theta_{pc}$  : 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

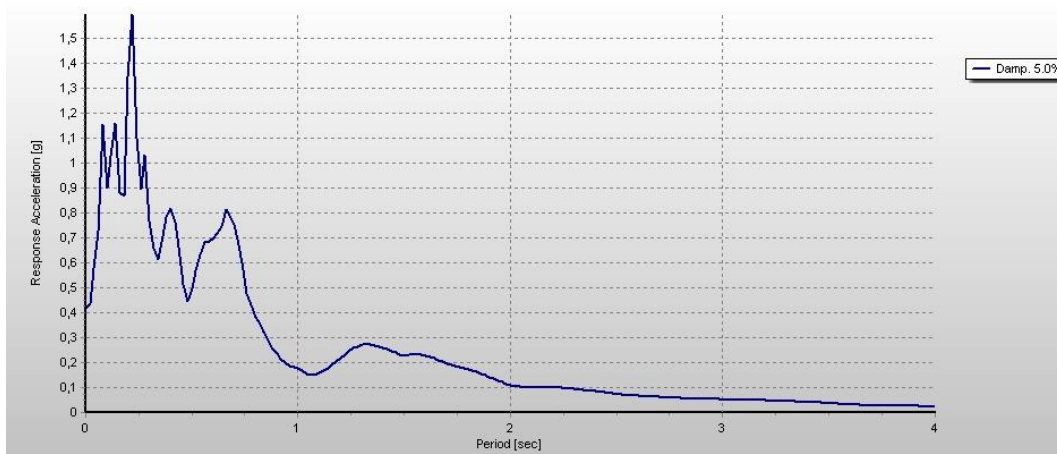
Analisis ini merupakan tahap evaluasi yang dijadikan sebagai perbandingan terhadap analisis linear sebelumnya, sehingga tidak perlu seluruhnya memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2012. Karena model yang digunakan merupakan model yang seluruhnya telah memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2012 pada analisis linier

sebelumnya yaitu dengan Metode Respon Spektrum. Pada Metode Respon Riwayat Waktu ini dianalisis secara dua dimensi. Alat bantu *software* yang digunakan adalah RUAUMOKO2D versi 04. Sebelum dianalisis dengan RUAUMOKO2D terdapat beberapa tahapan sebagai berikut :

- a. pengambilan rekaman gempa dari PEER NGA dan COSMOS. Daerah- daerah rekaman yang diambil tertera pada tabel 3.3.
- b. mengubah rekaman gempa menjadi respon spektrum dengan bantuan *software analisa struktur*. 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

### 3.3.1.6 Momen leleh (My)

Berdasarkan Metode FEMA, momen leleh yang digunakan sebagai *input* analisis nonlinear pada program RUAUMOKO2D versi 04 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 daktalitas yang dibutuhkan sebagai *input* dalam *software* RUAUMOKO2D versi 04. Nilai rotasi sendi plastis tersebut dihitung berdasarkan Persamaan dan dihitung untuk semua *frame* (balok-kolom) pada struktur gedung yang direncanakan. Nilai  $\theta_y$  untuk semua *frame* dapat dilihat pada pembahasan selanjutnya.

## 3.4. Perencanaan Linear Berdasarkan AISC-2012

### 3.4.1 Desain Kolom

Memastikan terlebih dahulu bahwa bentuk ukuran kolom dapat menahan kekuatan yang di perlukan antara tingkat dasar dan kedua. Tabel .. menunjukkan rumus yang berlaku untuk penggunaan ASCE/SEI 7 untuk perhitungan beban.

Kombinasi beban untuk LRFD

$$(1.2 + 0.2S_{DS})D + pQ_E + 0.5I + 0.2S \quad (3.1)$$

Menghitung  $C_b$  menggunakan persamaan

$$M(x) = M_{u \text{ top}} - \left( \frac{M_{u \text{ top}} - M_{u \text{ bot}}}{L} \right) x \quad (3.2)$$

$$C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3 M_a + 4 M_b + 3 M_c} \quad (3.3)$$

$$P_c = \phi_c \cdot P_n \quad (3.4)$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \geq 0,2 \quad (3.5)$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (3.6)$$

$$\phi_v V_n > V_u \dots \dots \dots (\text{ok}) \quad (3.7)$$

### 3.4.2 Desain Balok

Berikut perumusan dalam desain balok dan beban kombinasi termasuk beban gempa pada persamaan dibawah ini.

$$(1.2 + 0.2 S_{DS}) D + \rho Q_E + 0.5 L + 0.2 S \quad (3.8)$$

$$M_0 = M_{u \text{ left}} \quad (3.9)$$

$$M_1 = M_{u \text{ right}} \quad (3.10)$$

$$(M_0 + M_1)^* = M_D \quad (3.11)$$

$$C_b = 3.0 - \frac{2}{3} \left( \frac{M_1}{M_0} \right) - \frac{8}{3} \left| \frac{M_{CL}}{(M_0 + M_1)^*} \right| \quad (3.12)$$

$$F_{cr} = \frac{3.85 \pi^2 (29000 \text{ksi})}{\left| \frac{30.0 \text{ft} \left( \frac{12 \text{in}}{\text{ft}} \right)}{2.00 \text{in.}} \right|^2} \quad (3.13)$$

$$M_n \leq M_p \quad (3.14)$$

$$M_p = F_y \cdot Z_x \quad (3.15)$$

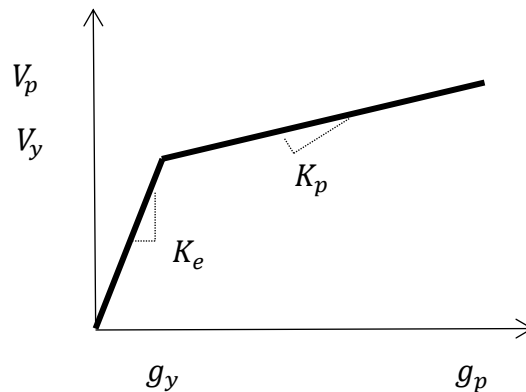
$$\phi_b M_n = M_0 \quad (3.16)$$

$$\phi_b V_n > V_u \quad (3.17)$$

### 3.5. Pemodelan Non Linear Struktur.

#### 3.5.1 Pemodelan Sendi Plastis Di Badan Kolom Panel Zone.

Kondisi geser akan terjadi pada badan kolom di *panel zone*, maka dalam pemodelan material non linear unuk elemen *panel zone* akan dipakai nilai-nilai gaya-deformasi, seperi pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7: Kurva backbone gaya-deformasi untuk pemodelan material non linear elemen panel zone.

Berdasarkan (Krawinkler dan Mohasseb, 1987), kekakuan geser kondisi *elastic* ( $K_e$ ), Deformasi geser ( $\gamma$ ) dan kuat geser ( $V$ ) yang dipikul oleh *Panel zone* di badan kolom pada persamaan 3.18 berikut ini:

$$K_e = \frac{V}{\gamma} = 0.95 h_k t_p G \quad (3.18)$$

Dimana  $h_t$  adalah tinggi profil kolom,  $t_p$  adalah tebal *panel zone*, dan  $G$  adalah modulus geser material baja. Maka kuat geser leleh pada panel zone ( $V_y$ ) dapat ditentukan oleh 55% dari kuat leleh material baja ( $F_y$ ) dikalikan tebal *panel zone* dan tinggi profil kolom dapat dilihat pada persamaan 3.19.

$$V_y = 0.55 F_y h_k t_p \quad (3.19)$$

Sedangkan deformasi leleh *panel zone* ( $\gamma_y$ ) dapat dihitung melalui persamaan 3.20 berikut:

$$\gamma_y = \frac{F_y}{\sqrt{3}G} \quad (3.20)$$

Kekakuan geser kondisi plastis ( $K_p$ ) diperoleh melalui perubahan kuat geser dan deformasi geser yang terjadi pada persamaan 3.21 yaitu:

$$K_p = \frac{\Delta V}{\Delta \gamma} = 1.095 b_k t_{sk}^2 G/h_b \quad (3.21)$$

Dimana  $b_k$  adalah lebar sayap profil kolom,  $t_{sk}$  = adalah tebal sayap profil kolom,  $h_b$  adalah balok yang menempel pada kolom. Kuat geser saat kondisi plastis ( $V_p$ ) dapat ditentukan dengan persamaan 3.22:

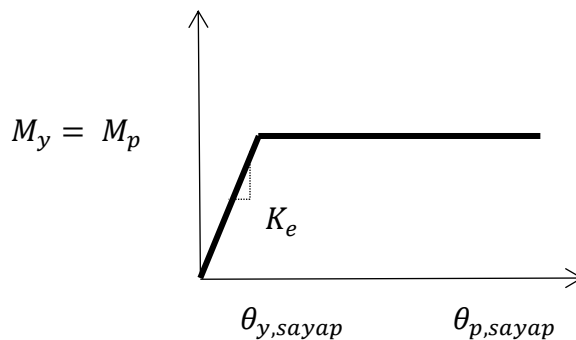
$$V_p = 0.5 F_y t_{ks} \left( 1 + \frac{3.45 b_k 1.095 b_k t_{sk}^2}{h_b h_k t} \right) \quad (3.22)$$

Dimana  $V_p$  di atas terjadi pada kondisi deformasi plastis ( $\gamma_p = 4\gamma_y$ )

### 3.5.2 Pemodelan Sendi Plastis Di Sayap Kolom *Panel Zone*.

Kurva *backbone* gaya-deformasi lentur pada sayap kolom *panel zone* ditunjukkan pada Gambar 3.8, dimana  $M_{y,sayap} = M_{p,sayap}$  dan  $\theta_{y,sayap} = \theta_{p,sayap}$ . Untuk deformasi lentur ini, kekakuan lentur ( $K_s$ ) dapat diperoleh melalui rasio momen leleh pada sayap kolom ( $M_{y,sayap}$ ) dengan rotasi leleh ( $\theta_{y,sayap}$ ), atau dengan persamaan 3.23 berikut ini (Downs, 2002):

$$K_s = 0.75 G b_{ks} t_{ks}^2 \quad (3.23)$$



Gambar 3.8: Kurva backbone gaya-deformasi lentur pada sayap kolom panel zone.

Dimana  $b_{ks}$  dan  $t_{ks}$  masing-masing adalah lebar sayap profil kolom dan tebal sayap profil kolom. Untuk momen leleh ( $M_{y,sayap}$ ) pada sayap kolom dapat di tentukan dengan persamaan 3.24 berikut ini:

$$M_s = 1.8 F_y b_{sk} t_{sk}^2 \quad (3.24)$$

### 3.5.3 Pemodelan Sendi Plastis Pada Balok

$$\theta_{pc} = 5.63 \cdot \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-0.565} \cdot \left(\frac{b_f}{2 \cdot t_w}\right)^{-0.8} \cdot \left(\frac{c^1_{unit} \cdot d}{533}\right)^{-0.280} \cdot \left(\frac{c^2_{unit} \cdot F_y}{355}\right)^{-0.43} \quad (3.25)$$

$$\theta_{pc} = 7.5 \cdot \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-0.61} \cdot \left(\frac{b_f}{2 \cdot t_w}\right)^{-0.71} \cdot \left(\frac{I_b}{r_y}\right)^{-0.11} \cdot \left(\frac{c^1_{unit} \cdot d}{533}\right)^{-0.161} \cdot \left(\frac{c^2_{unit} \cdot F_y}{355}\right)^{-0.320} \quad (3.26)$$

Untuk:  $d \geq 533$  mm

### 3.5.4 Pemodelan Sendi Plastis Pada Kolom

Untuk WF pada sumbu kuat:

$$\frac{M}{M_p} = 1.18 \left[ 1 - \left(\frac{P}{P_y}\right) \right] \leq 1.0 \quad (3.27)$$

Untuk WF pada sumbu lemah:

$$\frac{M}{M_p} = 1.19 \left[ 1 - \left(\frac{P}{P_y}\right)^2 \right] \leq 1.0 \quad (3.28)$$

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

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

Pada Bab ini akan membahas beberapa hasil analisa linier dan non linier oleh Program Analisa Struktur diantaranya, perioda getar, nilai simpangan dan gaya-gaya dalam struktur gedung, berdasarkan 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 pemodelan, yaitu analisa respon spektrum ragam dan analisa respon riwayat waktu.

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

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

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

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

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

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

#### 4.2.4 Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Nilai  $V_1$  dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum ( $V_i$ ) dapat dilihat pada Tabel 4.1. Kontrol Koreksi skala simpangan antar tingkat, yaitu:

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

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

Struktur	Arah Gempa	$V_t$ (KN)	$0,85 C_s W$	Cek
Lantai 4	Gempa X	141,16	2795,89	Not Oke

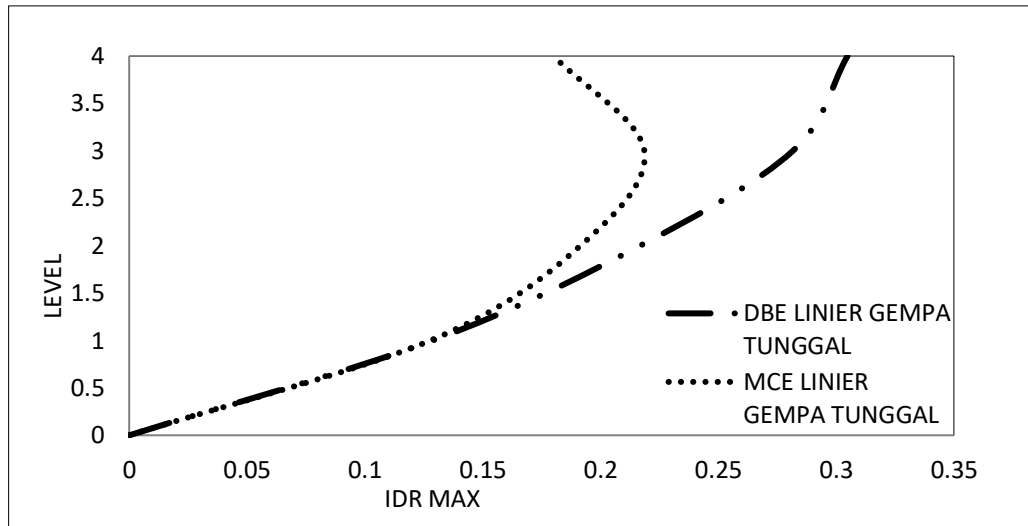
Dengan demikian syarat skala simpangan antar lantai telah terpenuhi, yaitu gaya geser dasar respon spektrum ( $V_i$ ) lebih besar dari nilai  $C_s W$ , sehingga simpangan antar lantai tidak perlu dikalikan dengan faktor skala.

#### 4.2.5 Nilai Simpangan Gedung

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

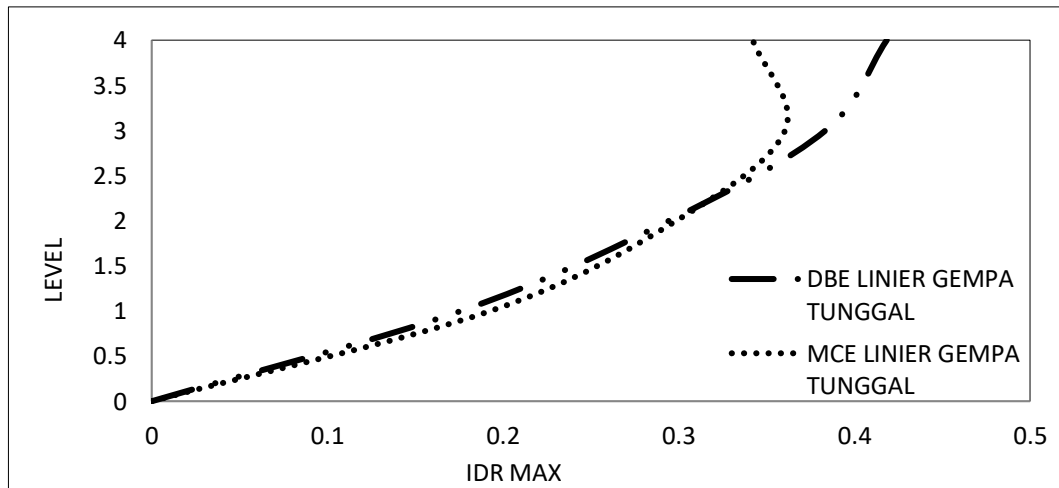
Berdasarkan analisa menggunakan aplikasi Ruaumoko 2D didapatkan nilai simpangan antar lantai dan simpangan atap berdasarkan dari *groundmotion* yang diskalakan berdasarkan respon spektrum wilayah Indonesia. Pada gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.5 menunjukkan beberapa grafik *interstory drift* dengan perbedaan skala respon gempa yang diberikan. Pada grafik *interstory drift* diambil nilai rata-rata tiap *groundmotion*.





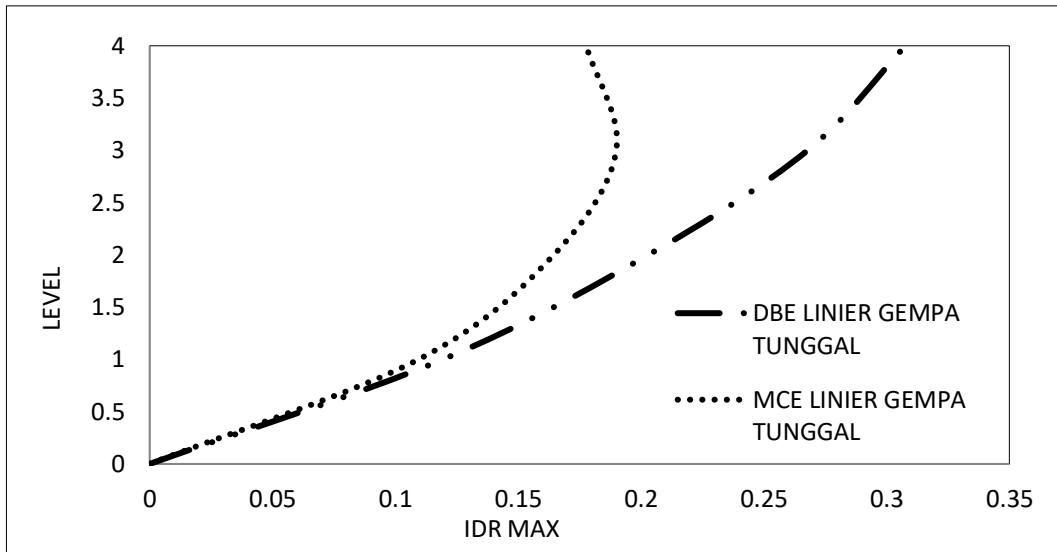
Gambar 4.1: Nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM baja lantai 4 tanpa pemodelan panel zone terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan *groundmotion*.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada penskalaan DBE dan MCE nilai *interstory drift* relative sama pada lantai rendah dan pada lantai tinggi penskalaan DBE lebih dominan dibandingkan penskalaan MCE.



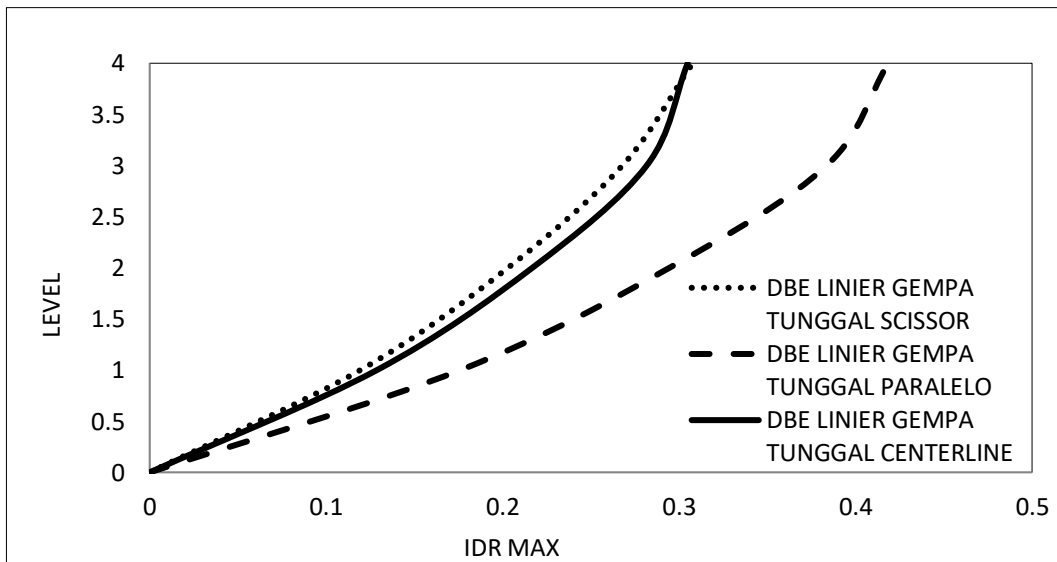
Gambar 4.2: Nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM baja lantai 4 pemodelan panel zone Paralelogram terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan *groundmotion*

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada penskalaan MCE nilai *interstory drift* akibat dari gempa tunggal lebih besar pada lantai rendah dan pada lantai tinggi penskalaan DBE lebih dominan dibandingkan penskalaan MCE.



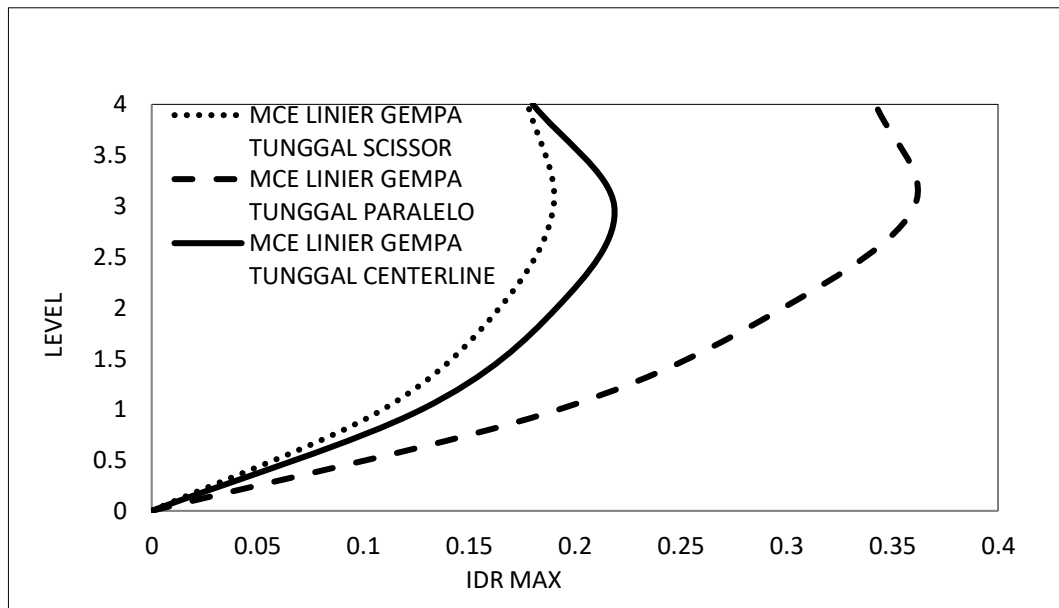
Gambar 4.3: Nilai rata-rata interstory drift untuk struktur SRPM baja lantai 4 pemodelan panel zone Scissor terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan groundmotion.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *interstory drift* dengan penskalaan DBE yang diakibatkan oleh gempa tunggal lebih dominan dari lantai rendah sampai lantai tinggi dibandingkan dengan nilai *interstory drift* dengan penskalaan MCE.



Gambar 4.4: Perbandingan nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM baja lantai 4 tanpa panel zone dengan pemodelan panel zone paralelogram dan scissor terhadap gempa tunggal dengan nilai penskalaan DBE terhadap *groundmotion*.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *interstory drift* dengan penskalaan DBE yang diakibatkan oleh gempa tunggal pada struktur srpm baja lantai 4 dengan menggunakan pemodelan panel zone paralelogram lebih dominan dari lantai rendah sampai lantai tinggi dibandingkan dengan nilai *interstory drift* dengan penskalaan DBE dengan struktuk SRPM baja lantai 4 dengan menggunakan pemodelan panel zone Scissor dan tanpa pemodelan panel zone.



Gambar 4.5: Perbandingan nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM baja lantai 4 terhadap gempa tunggal dan gempa berulang dengan nilai penskalaan MCE terhadap *groundmotion*.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *interstory drift* dengan penskalaan MCE yang diakibatkan oleh gempa tunggal pada struktur srpm baja lantai 4 dengan menggunakan pemodelan panel zone paralelogram lebih dominan dari lantai rendah sampai lantai tinggi dibandingkan dengan nilai *interstory drift* dengan penskalaan MCE dengan struktuk SRPM baja lantai 4 dengan menggunakan pemodelan panel zone Scissor dan tanpa pemodelan panel zone. Pada lantai tengah nilai rata-rata *interstory drift* dengan penskalaan MCE yang diakibatkan oleh gempa tunggal pada struktur srpm baja lantai 4 tanpa pemodelan panel zone lebih dominan daripada nilai rata-rata *interstory drift* dengan penskalaan MCE yang diakibatkan oleh gempa tunggal pada struktur srpm baja lantai 4 dengan menggunakan pemodelan panel zone Scissor. Dan nilai *interstory drift* dengan penskalaan MCE yang diakibatkan oleh gempa tunggal pada struktur SRPM baja lantai 4 dengan pemodelan panel zone

scissor relative sama dengan penskalaan DBE pada struktur SRPM baja lantai 4 tanpa panel zone pada lantai tinggi.

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

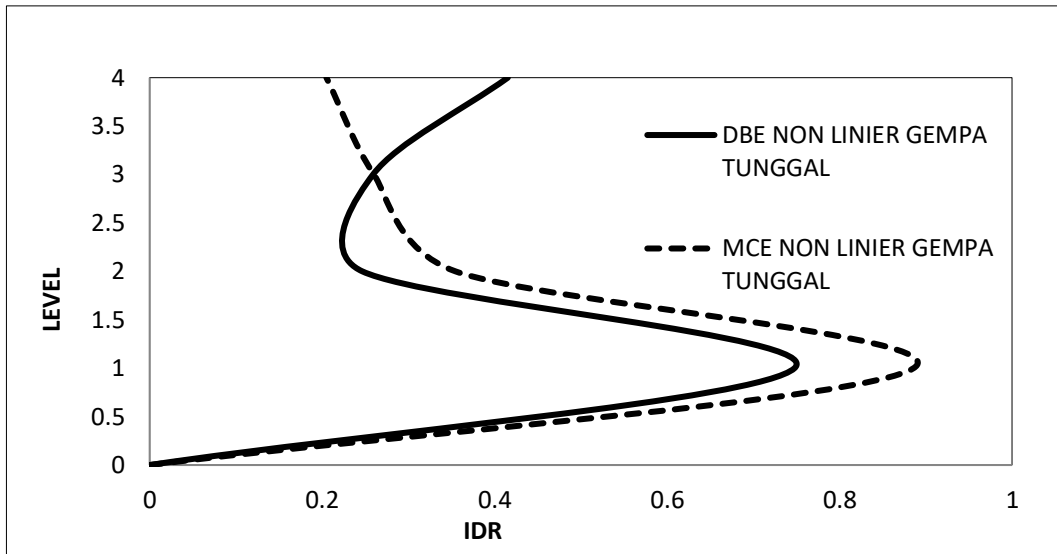
Berdasarkan SNI 1726:2012, kekakuan tingkat lunak (*soft story*) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Pada hasil kontrol ketidakberaturan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

#### **4.2.7 Pengaruh Efek P-Delta**

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

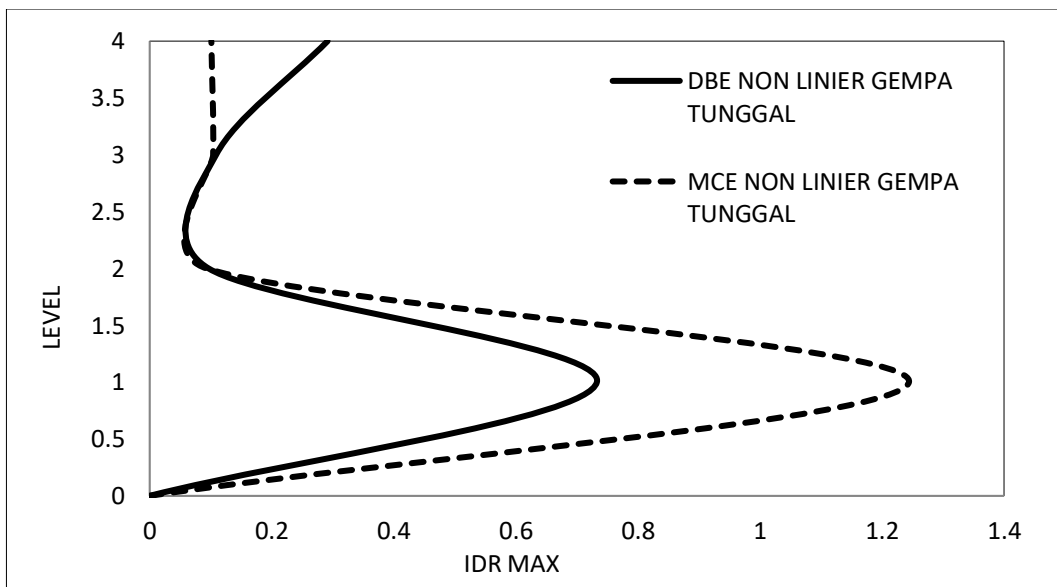
### **4.3. Hasil Analisa Non Linier**

Pada tahap ini merupakan bagian dari evaluasi struktur baja yang telah di desain terhadap beban gempa yang telah direncanakan, dalam hal ini respon struktur akan ditinjau terhadap perbedaan jenis gempa, dan penskalaan rekaman gempa. Jenis gempa yang diberikan pada struktur baja yaitu gempa tunggal dan gempa berulang 2 kali yang dibedakan menjadi 2 jenis penskalaan yaitu DBE dan MCE. Setiap model struktur akan diambil data *interstory drift* dan *top displacement* setelah dianalisis, nilai tersebut dibandingkan terhadap faktor-faktor yang telah disebutkan diatas. Pada gambar 4.6 sampai 4.10 menunjukkan beberapa grafik hasil analisis *interstory drift* dengan perbedaan jenis penskalaan rekaman gempa. Pada grafik *interstory drift* yang ditampilkan merupakan hasil rata-rata dari beberapa *groundmotion*.



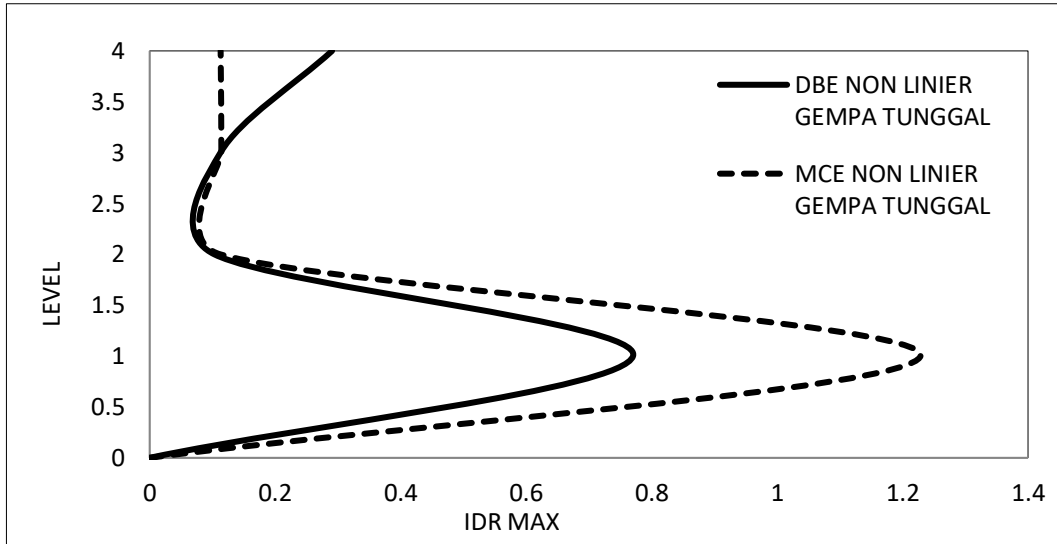
Gambar 4.6: Nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM baja lantai 4 tanpa pemodelan panel zone terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan *groundmotion*.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada penskalaan MCE nilai *interstory drift* akibat dari gempa tunggal lebih besar pada lantai rendah dan pada lantai tinggi penskalaan DBE lebih dominan dibandingkan penskalaan MCE.



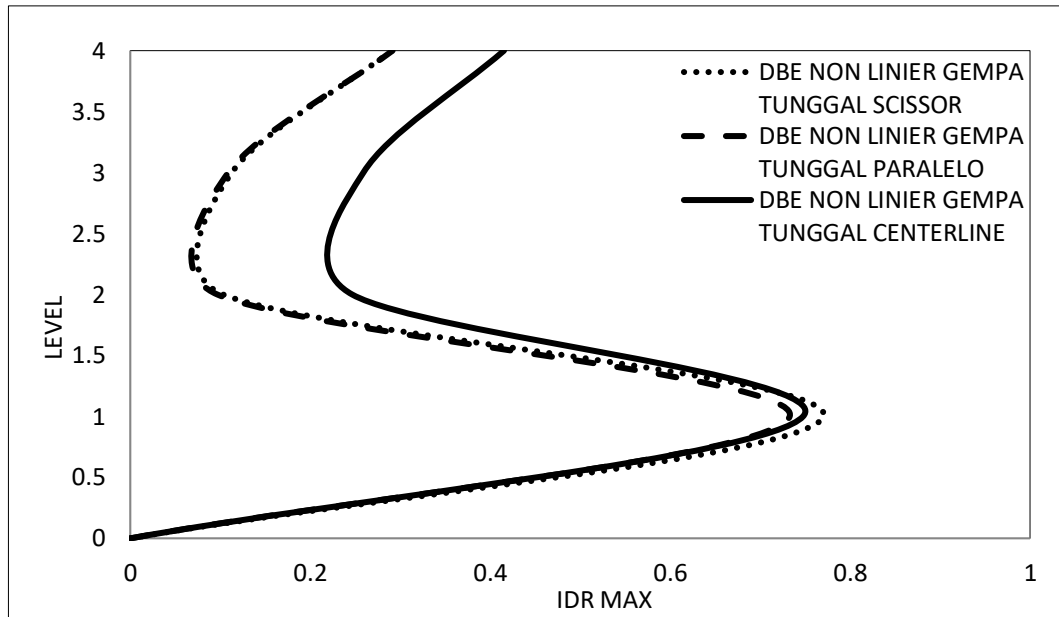
Gambar 4.7: Nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM baja lantai 4 pemodelan panelzone paralelogram terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan *groundmotion*.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada penskalaan MCE nilai *interstory drift* akibat dari gempa tunggal lebih besar pada lantai rendah dan pada lantai tinggi penskalaan DBE lebih dominan dibandingkan penskalaan MCE.



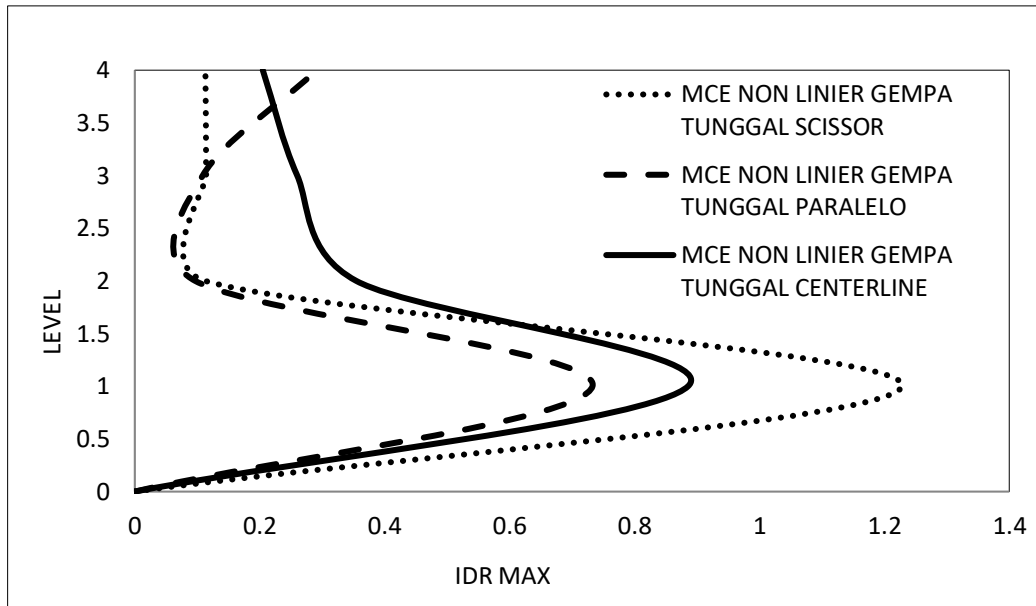
Gambar 4.8: Nilai rata-rata interstory drift untuk struktur SRPM baja lantai 4 pemodelan panelzone paralelogram terhadap gempa tunggal dengan perbedaan nilai penskalaan groundmotion.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada penskalaan MCE nilai *interstory drift* akibat dari gempa tunggal lebih besar pada lantai rendah dan pada lantai tinggi penskalaan DBE lebih dominan dibandingkan penskalaan MCE.



Gambar 4.9: Perbandingan nilai rata-rata *interstory drift* untuk struktur SRPM baja lantai 4 pemodelan panel zone scissor, paralelo dan tanpa panel zone terhadap gempa tunggal dan dengan nilai penskalaan DBE terhadap *groundmotion*.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada lantai rendah nilai *interstory drift* dengan penskalaan DBE pada struktur SRPM baja 4 lantai pemodelan scissor yang diakibatkan oleh gempa tunggal lebih besar dibandingkan dengan nilai *interstory drift* pada pemodelan parallelogram dan tanpa pemodelan panel zone. Dan pada lantai tinggi nilai *interstory drift* dengan penskalaan DBE pada struktur SRPM baja 4 lantai tanpa pemodelan panel zone yang diakibatkan oleh gempa tunggal lebih besar dibandingkan dengan nilai *interstory drift* pada pemodelan parallelogram dan pemodelan scissor.



Gambar 4.10: Perbandingan nilai rata-rata interstory drift untuk struktur SRPM baja lantai 4 pemodelan panel zone scissor, paralelo dan tanpa panel zone terhadap gempa tunggal dan dengan nilai penskalaan MCE terhadap groundmotion.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa pada lantai rendah nilai *interstory drift* dengan penskalaan DBE pada struktur SRPM baja 4 lantai pemodelan scissor yang diakibatkan oleh gempa tunggal lebih besar dibandingkan dengan nilai *interstory drift* pada pemodelan parallelogram dan tanpa pemodelan panel zone. Dan pada lantai tinggi nilai *interstory drift* dengan penskalaan DBE pada struktur SRPM baja 4 lantai pemodelan parallelogram yang diakibatkan oleh gempa tunggal lebih besar dibandingkan dengan nilai *interstory drift* pada tanpa pemodelan panel zone dan pemodelan scissor.

Tabel 4.3: Nilai ratio interstory drift berdasarkan perbedaan pemodelan panel zone pada struktur SRPM baja lantai 4 .

Model	T(s)	DBE linier	MCE linier	DBE non linier	MCE non linier
Centerline	1,62	0.233034137	0.179525214	0.417171121	0.426365278
Parallelogram	1,62	0.254529939	0.238857331	0.245994156	0.308541194
Scissor	1,62	0.224503099	0.160441569	0.319296737	0.392199715



Tabel 4.4: Nilai perbandingan *interstory drift* untuk masing- masing model penskalaan *groundmotion*.

Model	T(s)	DBE linier	MCE linier	DBE non linier	MCE non linier
Centerline	1,62	100%	77.04%	179%	183%
Parallelogram	1,62	100%	94%	97%	121%
Scissor	1,62	100%	71%	142%	175%

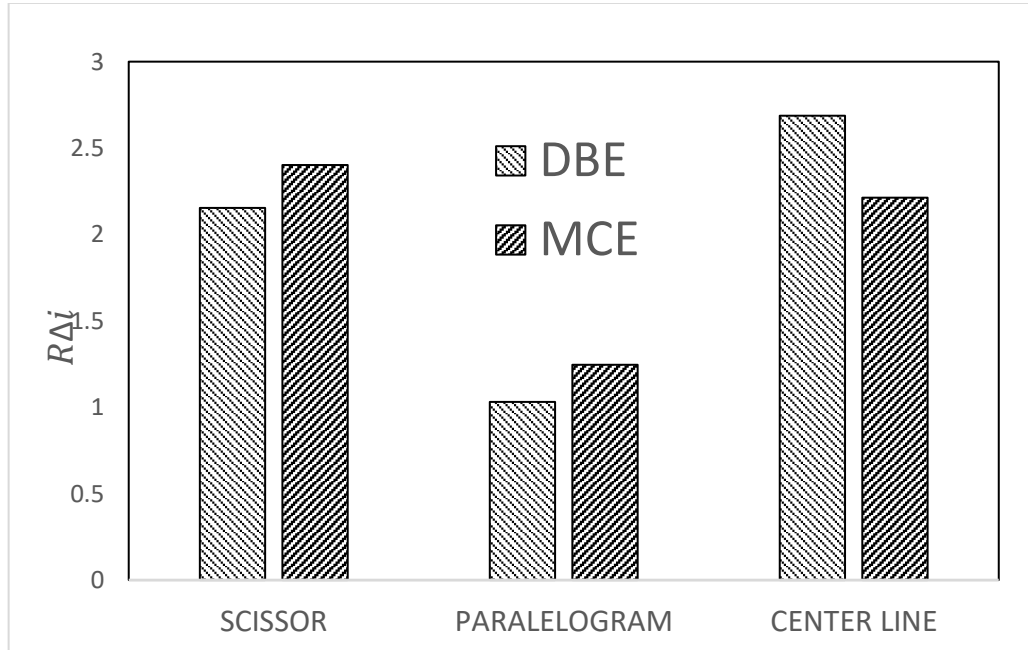
Pada tabel 4.3 terdapat beberapa nilai perbandingan *interstory drift* untuk ketiga jenis pemodelan struktur. Besarnya kenaikan yang terjadi dapat dilihat dengan nilai penskalaan DBE linier sebagai acuan (100%), dalam tabel tersebut maka pada penskalaan MCE linier nilai *interstory drift centerline* < paralelogram > scissor. Pada penskalaan DBE non linier centerline > paralelogram < scissor. Dan pada penskalaan MCE non linier nilai *interstory drift centerline* > paralelogram < scissor untuk setiap gempa yang dimodelkan terhadap struktur.

Tabel 4.5: Nilai ratio *top displacement* berdasarkan perbedaan pemodelan panel zone pada struktur SRPM baja lantai 4 .

Model	T(s)	DBE linier	MCE linier	DBE non linier	MCE non linier
Centerline	1,62	0.1085150	0.1627767	0.2915606	0.3599394
Parallelogram	1,62	0.2016983	0.2877717	0.2076561	0.3580106
Scissor	1,62	0.1035550	0.1501367	0.2229248	0.3607612

#### 4.4. Hasil Analisa Simpangan Inelastic

Ratio simpangan inelastic adalah nilai rata-rata non linier dibagi dengan linier.



Gambar 4.11: Perbandingan nilai rasio simpangan inelastic.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa berdasarkan diagram batang hasil analisis simpangan inelastic bahwa rasio simpangan untuk struktur SRPM baja lantai 4 akibat dari gempa tunggal, penskalaan DBE centerline lebih besar dibandingkan dengan penskalaan DBE pemodelan paralelogram dan scissor. Dan pada penskalaan MCE, hasil analisis simpangan inelastic pemodelan scissor lebih besar dibandingkan dengan cennterline dan paralelogram.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis linear dan non linear yaitu pembahasan mengenai perbandingan simpangan antar tingkat dan simpangan atap berdasarkan perbedaan pemodelan panel zone pada struktur SRPM baja lantai 4 terhadap gempa tunggal, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisa pada struktur SRPM baja lantai 4 berdasarkan perbedaan pemodelan panel zone terhadap rekaman gempa tunggal berdasarkan penskalaan DBE linier, MCE linier, DBE non linier dan MCE non linier, diperoleh bahwa nilai rata-rata simpangan antar tingkat terbesar terdapat pada penskalaan rekaman gempa MCE non linier dan DBE nonlinier pada struktur pemodelan tanpa panel zone (centerline) yaitu sebesar 0.426 m.
2. Pada hasil analisa pada struktur SRPM baja lantai 4 berdasarkan perbedaan pemodelan panel zone terhadap rekaman gempa tunggal berdasarkan penskalaan DBE linier, MCE linier, DBE non linier dan MCE non linier didapati bahwa nilai *top displacement* diplot menjadi diagram analisis simpangan inelastic dimana pada diagram tersebut menunjukkan bahwa rasio simpangan untuk struktur SRPM baja lantai 4 akibat dari gempa tunggal, penskalaan DBE centerline lebih besar dibandingkan dengan penskalaan DBE pemodelan paralelogram dan scissor. Dan pada penskalaan MCE, hasil analisis simpangan inelastic pemodelan scissor lebih besar dibandingkan dengan centerline dan paralelogram yang didapatkan dari nilai rata-rata simpangan atap yang dimodelkan terhadap 20 rekaman gempa tunggal.

## **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, jika terdapat hasil yang kurang sesuai pada analisa linier dan non linier diharapkan agar dapat diskusi dengan penulis. Apabila nilai yang didapatkan jauh dari hasil yang ada.
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

- 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*.
- ANSI, A. (2012). AISC Seismic Design Manual. *American Institute of Steel Construction Inc., Chicago*.
- Ardiansyah, F. 2012. Analisis Akurasi Hasil Pengolahan Baseline GPS dengan Perangkat Lunak Komersial untuk Studi Land Subsidence. Semarang: Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Badan Standarisasi Nasional (2012) Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Budiono, B. dan Supriatna, L (2011) Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726:2002 dan SNI 1726:2012. Bandung: ITB.
- Departemen Pekerjaan Umum (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*, Jakarta: Yayasan Badan Pen erbit PU.
- Darmawan, W. F., Suryanita, R., & Djauhari, Z. (2017). Evaluasi Kesehatan Struktur Bangunan Berdasarkan Respon Dinamik Berbasis Data Akselerometer. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, *23*(2), 142-148.
- Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. *Universitas Pelita Harapan*.
- Dewobroto, W. (2016). Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain–AISC 2010 Edisi ke-2. *Tanggerang: Penerbit Jurusan Teknik Sipil UPH*.
- Di Trapani, F., & Malavisi, M. (2019). Seismic fragility assessment of infilled frames subject to mainshock/aftershock sequences using a double incremental dynamic analysis approach. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *17*(1), 211-235.
- Downs, W. M. (2002). *Modeling and Behavior of the Beam/Column Joint Region of Steel Moment Resisting Frames* (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- 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). Perilaku Nonlinear Struktur Gedung Baja Dengan Bentuk Denah L, T Dan U Akibat Gempa. *Progress In Civil Engineering Journal*, 1(1), 63-73.
- 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.
- Haqqi, M. K. F., Yuwono, B.D., Awaluddin, M. 2015. “Survei Pendahuluan Deformasi Muka Tanah dengan 60 Pengamatan GPS Di Kabupaten Demak (Studi Kasus : Pesisir Pantai Kecamatan Sayung)”. Semarang: Jurnal Teknik Geodesi UNDIP.Joetomo. 2013.
- <http://peer.berkeley.edu>.
- <http://puskim.pu.go.id>.
- <http://strongmotioncenter.org>.
- Kalkan, E., dan Kunnath, K. (2006). Effects of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings. *Earthquake Spectra*, 22(2), 367–390.
- Krawinkler, H., & Mohasseb, S. (1987). Effects of panel zone deformations on seismic response. *Journal of Constructional Steel Research*, 8, 233-250.
- Krawinkler, H. (1978). Shear in beam-column joints in seismic design of steel frames. *Engineering Journal*, 15(3).
- Kuang, S. 1996. Geodetic Network Analysis and Optimal Design. Ann Arbor Press. Chelsea: Michigan
- Nugraha, L. A. A., & Fauzy, A. (2014, August). Interval Konfidensi Untuk Satu Parameter Distribusi Eksponensial Di Bawah Sensor Tipe-II (Studi kasus data waktu tunggu gempabumi besar di Indonesia). In *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika* (Vol. 5, No. 1, pp. 371-376).
- Mamesah, H. Y., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). Analisis Pushover pada Bangunan dengan Soft First Story. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4).
- Muliadi, M., Afifuddin, M., & Aulia, T. B. (2018). Analisis Simpangan Antar Lantai Pada Bangunan Menggunakan Base Isolator Di Wilayah Gempa. *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi*, 3(4).
- Pang, R., Xu, B., Kong, X., & Zou, D. (2018). Seismic fragility for high CFRDs based on deformation and damage index through incremental dynamic analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 104, 432-436.
- Pawirodikromo, W., (2012), *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar., Yogyakarta.
- Popov, E. P. (1987). Panel zone flexibility in seismic moment joints. *Journal of Constructional Steel Research*, 8, 91-118.
- Purwoko, A. (2018). Studi Perbandingan Gaya Gempa Pada Struktur Bangunan Di Samarinda Berdasarkan Sni 03-1726-2002 Dan Sni 03-1726-2012. *Kurva S Jurnal Mahasiswa*, 1(1), 691-705.

- 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.
- Sampakang, J. J., Pandaleke, R. E., Pangouw, J. D., & Khosama, L. K. (2013). Perencanaan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Pada Komponen Balok–kolom Dan Sambungan Struktur Baja Gedung Bpjn XI. *Jurnal Sipil Statik*, 1(10).
- Siswanto, A.B, dan Salim, M.,2018,*Rekayasa Gempa*, K-Media, Yogyakarta.
- Sepasdar, R., Banan, M. R., & Banan, M. R. (2019). A Numerical Investigation on the Effect of Panel Zones on Cyclic Lateral Capacity of Steel Moment Frames. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-10.
- White, R. N., & Salmon, C. G. (1987). *Building structural design handbook*. Wiley-Interscience.
- 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</i> (KN)
4	2492,94
3	2500,17
2	2513,56
1	2519,87
TOTAL	10026,54

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

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

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

❖ Untuk faktor R=8, Data struktur:

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

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

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

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

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

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

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

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

<i>Story</i>	V <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

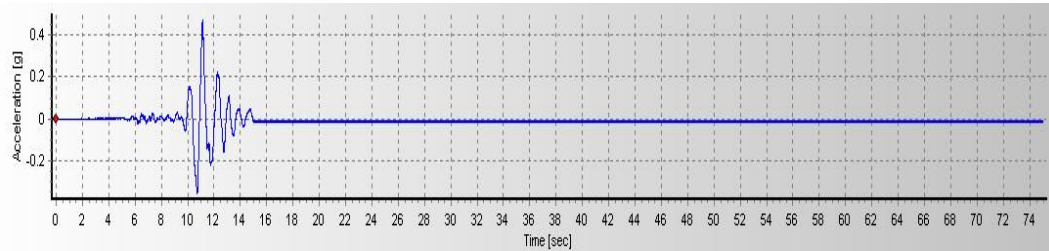
### A.9. Pengaruh Efek P-Delta

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

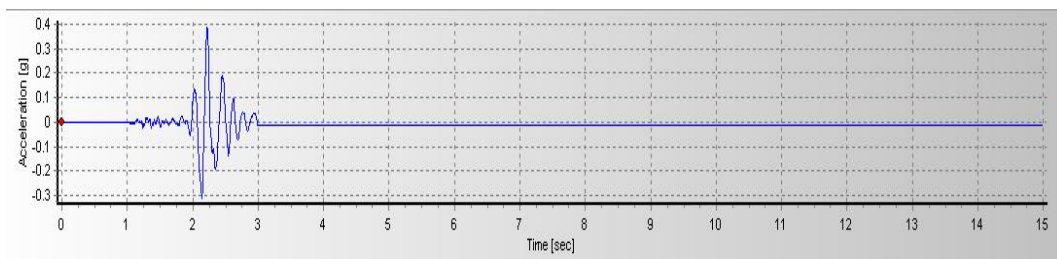
ARAH X								
LANTAI	TINGGI	INTER STORY DRIFT	V <sub>u</sub>	P <sub>u</sub>	I <sub>e</sub>	C <sub>d</sub>	STABILITY RATIO	CEK < 1
4	16,5	0,038	1375,43	2524,78	1	5.5	0,0317	OK
3	12,5	0,0126	2381,6	5075,44	1	5.5	0,0122	OK
2	8,5	0,0094	3004,02	7626,1	1	5.5	0,0109	OK
1	4,5	0,0165	3289,27	10176,8	1	5.5	0,0233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

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

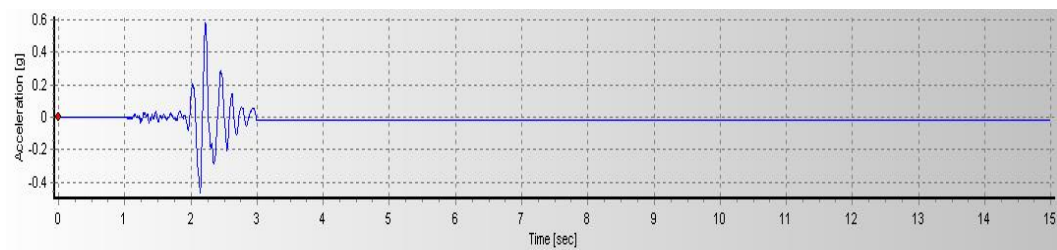
Terdapat dua tipe *groundmotion* yang akan digunakan dalam tugas akhir ini yaitu tipe *groundmotion* yaitu gempa tunggal yang akan diskalakan berdasarkan penskalaan DBE linier, MCE, DBE non linier dan MCE non linier.



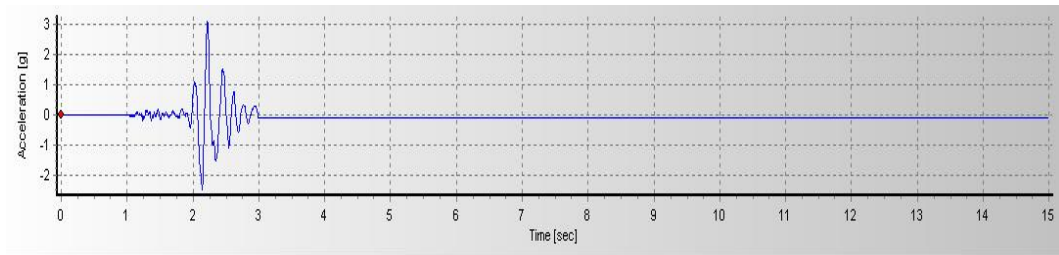
Gambar L.1: Rekaman gempa Chichi Taiwan ( Chichi-01) sebelum penskalaan  
Ini merupakan gempa mengandung *pulse*.



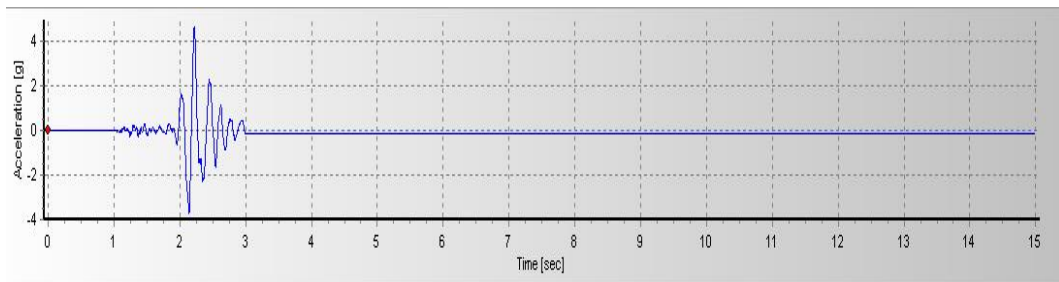
Gambar L.2: Rekaman gempa Chichi Taiwan ( Chichi-01) sesudah penskalaan  
DBE linier.



Gambar L.3: Rekaman gempa Chichi Taiwan ( Chichi-01) sesudah penskalaan  
MCE linier.



Gambar L.4: Rekaman gempa Chichi Taiwan ( Chichi-01) sesudah penskalaan DBE non linier.



Gambar L.5: Rekaman gempa Chichi Taiwan ( Chichi-01) sesudah penskalaan MCE non linier.

## 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**

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

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

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

$$C = 1$$

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

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

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

Bila menjerab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

**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> E-mail : [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

**Nomor/1781/II.3AU/UMSU-07/F/2019**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Sipil Pada Tanggal 07 November 2019 dengan ini Menetapkan :

Nama : WAHYU SATRIA  
Npm : 1607210096  
Program Studi : TEKNIK Sipil  
Semester : VII ( Tujuh )  
Judul Tugas Akhir : PENGARUH PEMODELAN PANEL ZONE STRUKTUR SRPM  
BAJA TERHADAP DEFORMASI.

Pembimbing -I : Dr. ADE FAISAL

Pembimbing -II :

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Sipil
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal,  
Medan, 14 Rabiul Awal 1441 H  
11 Nopember 2019 M



Dekan

Munawar Alfansury Siregar ST, MT

NIDN : 0101017202

Cc. File



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

**LEMBAR ASISTENSI**

**NAMA** : WAHYU SATRIA

**NPM** : 1607210096

**JUDUL** : **PENGARUH PEMODELAN *PANEL ZONE* STUKTUR SRPM BAJA TERHADAP DEFORMASI.**

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
		<ul style="list-style-type: none"><li>- perbaiki Bab 2, hanya tujuan pustaka yg ada saja!</li><li>- perbaiki Bab 3, kurang lengkap termonum model nya tak ada</li><li>- buat Daftar isi, pustaka</li><li>- perbaiki Errata Bab 1-3</li><li>- perbaiki Caption &amp; Daftar pustaka</li><li>- buat teori Desain Balok/labor</li></ul>	<p style="text-align: right;">24/08</p> <p style="text-align: right;">29/08</p> <p style="text-align: right;">ade utk Seminar proposal ade faisal 27/08</p>

**DOSEN PEMBIMBING**

**(Dr. ADE FAISAL)**

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : WAHYU SATRIA  
NPM : 1607210096  
JUDUL : "PENGARUH PEMODELAN PANEL ZONE STRUKTUR  
SRPM BAJA TERHADAP DEFORMASI"

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
		- perbaiki bab 1, perbaiki rumus	10/03/20
		- buat bab 2	
		- perbaiki bab 2	
		- buat model elastis	15/04/20
		- perbaiki model	
		- cek hasil run	20/05/20
		- cek hasil elastis	
		- buat model nonlinear	15/06/20
		- perbaiki model nonlinear	
		- cek hasil NLTGA	20/07/20
		- perbaiki model nonlinear	
		- analisis output NLTGA	25/08/20
		- buat Grafik DA	15/09/20
		- cek Grafik	
		- perbaiki Bab 2, 3, 4	20/10/20
		- cek Grafik (akhir)	22/10/20
		- perbaiki <del>keseluruhan</del> <sup>Mengetahui</sup>	25/10/20
		all utk seminar	28/10/20

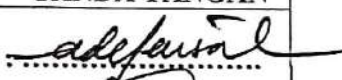
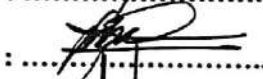
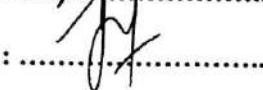
Pembimbing Tugas Akhir

  
(Dr. Ade Faisal, S.T, MSc, PhD)

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

Peserta seminar

Nama : WAHYU SATRIA  
 NPM : 1607210096  
 Judul Tugas Akhir : PENGARUH PEMODELAN PANEL ZONE STRUKTUR  
 SRPM BAJA TERHADAP DEFORMASI

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: Dr. Ade Faisal S.T, M.Sc		
Pembanding – I	: Dr. Fahrizal Zulkarnain S.T, M.Sc	:	
Pembanding – II	: Sri Frapanti, S.T, M.T	:	
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 : Wahyu Satria  
NPM : 1607210096  
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Pemodelan Panel Zone Struktur Srpm Baja Terhadap Deformasi

Dosen Pembimbing - I : Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc  
Dosen Pembanding - I : Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc  
Dosen Pembanding - II : Sri Frapanti ,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 :
  - Deformasi .....
  - Konstruksi Baja .....
  - lanjut Acc ke sidang .....
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



Sri Frapanti ,S.T, M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Wahyu Satria  
NPM : 1607210096  
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Pemodelan Panel Zone Struktur Srpm Baja Terhadap Deformasi

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


*Wajib ke sidang 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 Pembanding- I



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



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Wahyu Satria  
Panggilan : Wahyu  
Tempat, Tanggal Lahir : Tarutung, 06 Maret 1997  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Alamat Sekarang : Jl. Abdul Manaf Lubis Gg.Sosial  
No. 4B  
HP/ Telp.Seluler : 085835801471

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1607210096  
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	SDN 173100 Tarutung	2009
2	SMP	SMP Negeri 2 Tarutung	2012
3	SMA	SMA Negeri 1 Air Putih Batu Bara	2015
4	S1	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2020