

**TUGAS AKHIR**  
**PERILAKU SENDI PLASTIS BALOK KETIKA STRUKTUR SRPMK BAJA**  
**MENGALAMI KERUNTUHAN AKIBAT GEMPA**

**(STUDI LITERATUR)**

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

**Disusun Oleh:**

**WAHYU NUGRAHA**  
**2007210133**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**MEDAN**  
**2024**

## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Wahyu Nugraha

Npm : 2007210133

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perilaku Sendi Plastis Balok Ketika Struktur SRPMK Baja  
Mengalami Keruntuhan Akibat Gempa


Bidang Ilmu : Struktur

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

Disetujui Untuk Disampaikan

Kepada Panitia Ujian:

Dosen Pembimbing



Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Wahyu Nugraha

NPM : 2002710133

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perilaku Sendi Plastis Balok Ketika Struktur SRPMK Baja  
Mengalami Keruntuhan Akibat Gempa

Bidang Ilmu : Struktur

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

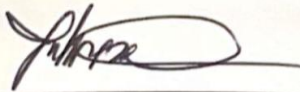
Medan, 22 Januari 2024

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing

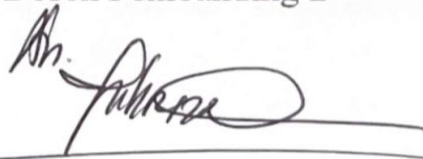
  
Ir. Ade Faizal, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembanding 1



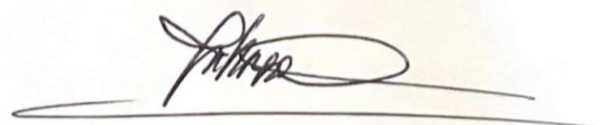
Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc.

Dosen Pembanding 2



Rizki Efrida, S.T., M.T.

Ketua Prodi Teknik Sipil



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

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Wahyu Nugraha  
Tempat, Tanggal Lahir : Tangerang, 29 September 2002  
NPM : 2007210133  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang Berjudul: "Perilaku Sendi Plastis Balok Ketika Struktur SRPMK Baja Mengalami Keruntuhan Akibat Gempa". Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial 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 di bentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan atau keserjanaan saya.

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

Medan, 22 Januari 2024

Saya yang menyatakan,



Wahyu Nugraha

## **ABSTRAK**

### **PERILAKU SENDI PLASTIS BALOK KETIKA STRUKTUR SRPMK BAJA MENGALAMI KERUNTUHAN AKIBAT GEMPA (STUDI LITERATUR)**

Wahyu Nugraha

2007210133

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

Gempa bumi merupakan satu faktor yang perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur, untuk itu perlu adanya perencanaan struktur tahan gempa yang bisa meminimalisir kerusakan akibat gempa tersebut. Analisa kinerja keruntuhan struktur juga perlu dilakukan untuk mengetahui kapasitas struktur tersebut pada struktur baja di bagian atap dan lantai 1 melalui pengecekan simpangan permanen. Pada bagian ini, terjadi pergerakan bangunan ke arah kanan maupun kiri diakibatkan oleh gerakan tanah gempa dekat mengandung pulse maupun tidak, serta gempa jauh. Pada tugas akhir ini, struktur SRPMK Baja yang digunakan adalah struktur rangka baja 4 dan 8 tingkat. Analisa yang digunakan adalah Respon Spektrum sebagai tahap desain dan Respon Riwayat Waktu Linear dan Nonlinear sebagai tahap evaluasi, dengan alat bantu software analisa struktur dan *Opensees*. hasilnya menunjukkan bahwa struktur balok menerima energi yang besar saat terjadinya keruntuhan pada bangunan yaitu 2641 KN.rad akibat gempa dekat pada model 1, dan 2494 Kn.rad untuk model 2, sedangkan untuk gempa jauh pada model 1 sebesar 2245 Kn.rad, dan 2688 Kn.rad untuk model 2.

Kata Kunci : Gempa Bumi, SRPMK, Sendi Plastis

**ABSTRACT**  
**BEHAVIOR OF PLASTIC HINGES IN BEAMS WHEN STEEL SPECIAL  
MOMENT RESISTING FRAME (SMRF) STRUCTURES COLLAPSE DUE  
TO EARTHQUAKES  
(LITERATURE STUDY)**

Wahyu Nugraha

2007210133

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

*Earthquakes are a critical factor to consider in structural design, which is why earthquake-resistant structures need to be planned to minimize damage caused by seismic events. Analyzing the collapse performance of structures is also necessary to understand the structural capacity of steel structures at the roof and first-floor levels by checking for permanent drift. In this section, movement of the building to the right or left occurs due to ground motion from both near-fault and far-fault earthquakes, with or without pulses. In this research, the Steel Special Moment Resisting Frame (SMRF) structures analyzed are 4-story and 8-story steel frame structures. The analysis methods used include the Response Spectrum for the design phase and Linear and Nonlinear Time History Response for the evaluation phase, using structural analysis software and Opensees as tools. The results show that the beams in the structure absorb significant energy during building collapse, with 2641 KN.rad resulting from near-fault earthquakes in model 1, and 2494 KN.rad for model 2. For far-fault earthquakes, model 1 records 2245 KN.rad, while model 2 records 2688 KN.rad.*

Keywords : Earthquake, Special Moment Resisting Frame, Plastic Hinges

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis telah dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perilaku Sendi Plastis Balok Ketika Struktur SRPMK Baja Mengalami Keruntuhan Akibat Gempa” ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Ijazah Sarjana pada Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan dukungan, bimbingan dan bantuan, sehingga dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil dan juga sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil dan juga sekaligus Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Terimakasih yang istimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Ismono dan Ibunda tercinta Eti Haryati yang telah bersusah payah mendidik dan membiayai saya serta menjadi penyemangat saya serta senantiasa mendoakan saya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya.

8. Terimakasih juga kepada kakak saya Gita Wahyu Pratiwi, S.Ars dan adik saya Bunga Anisa Tri Wahyuni yang telah terus mendukung saya dalam mengerjakan tugas akhir saya ini.
9. Untuk yang penulis sayangi, Dita Amirah Azra Harahap yang selalu menemani dan selalu mendukung penulis dalam pembuatan tugas akhir ini.
10. Sahabat-sahabat penulis yaitu Febi Andira, Husni Fajar Nauli Munthe, Adiditia Ramadhan, Rayhan Akbar, Muhammad Farhan Tigor Lubis dan Teman-teman Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dan juga seluruh teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan penulisan tugas akhir ini. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Medan, 22 Januari 2024

Penulis

Wahyu Nugraha



## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1_PENDAHULUAN	13
1.1 Latar Belakang	13
1.2 Rumusan Masalah	14
1.3 Tujuan Penelitian	14
1.4 Batasan Masalah	14
1.5 Manfaat Penelitian	14
BAB 2_TINJAUAN PUSTAKA	15
2.1. Perilaku Sendi Plastis	15
2.2. Kriteria Performa Bangunan	15
2.3. Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	16
BAB 3 METODE PENELITIAN	22
3.1 Umum	22
3.2 Permodelan Struktur	23
3.3 Permodelan Sendi Plastis Elemen Balok dan Kolom	25
3.4 Permodelan Panel Zone	27
3.5 Analisa Struktur	29
BAB 4_HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Model Linear dan Non Linear	31
4.2 Hasil Analisa Linier	31
BAB 5_KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan	48

5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48
LAMPIRAN	49
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	59

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Literature Review	16
Tabel 3. 1 Profil Acuan Kolom dan Balok	25
Tabel 4. 1 Nilai gaya geser dasar nominal	32
Tabel 4. 2 nilai VT sb. x	33
Tabel 4. 3 Energi akibat gempa dekat pada Model 4 Lantai	46
Tabel 4. 4 Energi akibat gempa dekat pada model 8 Lantai	46
Tabel 4. 5 Energi akibat gempa jauh pada model 4 lantai	46
Tabel 4. 6 Energi akibat gempa jauh pada Model 8 lantai	46

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram Alir	23
Gambar 3.2	Permodelan 2 Dimensi Model 4 Lantai	24
Gambar 3.3	Permodelan 2 Dimensi Model 8 Lantai	25
Gambar 3.4	Dimensi Bangunan Model 1 dan 2	25
Gambar 3.5	Permodelan Sendi Plastis Pada Balok dan Kolom	27
Gambar 3.6	Permodelan Balok RBS	27
Gambar 3.7	Model Paralelogram	28
Gambar 3.8	Incremental Dynamic Analysis	30
Gambar 4.1	Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa dekat pada model 4 lantai	35
Gambar 4.2	Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa dekat pada model 8 lantai	35
Gambar 4.3	Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa jauh pada model 4 Lantai	36
Gambar 4.4	Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa Jauh pada Model 8 Lantai	36
Gambar 4.5	Ilustrasi Kondisi IO, LS, CP, dan Collapse Pada Model 4 Lantai	37
Gambar 4.6	Ilustrasi Kondisi IO, LS, CP, dan Collapse Pada Model 8 Lantai	38
Gambar 4.7	Menunjukkan kondisi batas LS, CP dan Collapse untuk Model 4 lantai akibat gempa dekat	38
Gambar 4.8	Menunjukkan kondisi batas LS, CP, dan Collapse untuk Model 8 lantai akibat gempa dekat	39
Gambar 4.9	Menunjukkan kondisi batas LS, CP, dan Collapse untuk Model 4 lantai akibat gempa jauh	39
Gambar 4.10	Menunjukkan kondisi batas LS, CP, dan Runtuh untuk model 8 lantai akibat gempa jauh	40
Gambar 4.11	Perilaku sendi plastis terhadap batas kondisi, LS (A) , CP (B), dan Collapse(A) pada Model 4 Lantai akibat gempa dekat	42
Gambar 4.12	Perilaku sendi plastis terhadap batas kondisi LS (A), CP B, dan Collapse (C) pada Model 8Lantai Akibat gempa jauh	43
Gambar 4.13	Perilaku sendi plastis terhadap batas kondisi LS (A) , CP (B), dan Collapse (C) pada Model 4 Lantai akibat gempa jauh	45
Gambar 4.14	Perilaku sendi plastis terhadap batas kondisi LS (A) , CP (B), dan Collapse (C) pada Model 8 Lantai akibat gempa jauh	46

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki resiko gempa tinggi yang dipengaruhi oleh letak geografisnya yang dikelilingi oleh pertemuan lempeng bumi. Gempa bumi merupakan satu faktor yang perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur, untuk itu perlu adanya perencanaan struktur tahan gempa yang bisa meminimalisir kerusakan akibat gempa tersebut.

Dalam perencanaan suatu bangunan yang tahan akan gempa, diharapkan struktur bangunan tersebut tidak mengalami kerusakan yang disebabkan oleh gempa berskala kecil dan juga tidak mengalami keruntuhan yang disebabkan oleh gempa berskala besar. Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) merupakan suatu pilihan dalam struktur suatu bangunan yang berada pada daerah rawan gempa dikarenakan memiliki tingkat daktilitas yang tinggi.

Menurut SNI 1726-2019, struktur penahan beban lateral, aksial, dan momen yang diakibatkan gempa dapat dipikul oleh suatu sistem yaitu sistem rangka pemikul momen. Sistem ini berupa suatu rangka dimana komponen struktur dan joinnya menahan gaya yang bekerja. Salah satu sistem rangka pemikul momen yaitu SRPMK atau sistem rangka pemikul momen khusus, Sistem ini memiliki tingkat daktilitas tinggi, prinsip utama dari sistem ini yaitu *strong column weak beam*, dan tahan terhadap gaya geser (Hirel dkk., 2018).

Saat gempa terjadi, daktilitas pada struktur menyebabkan terjadinya sendi plastis secara bertahap, sendi plastis berguna sebagai penahan terhadap gempa yang terjadi. Sistem rangka pemikul momen ini berfungsi pada kerangka balok momen khusus sebagai penahan beban lateral yang di induksi oleh pergerakan gempa. Pada sistem ini, balok berfungsi dalam menahan pembebanan gaya momen aksial (Dewi dkk., 2023).

Sejumlah studi menjelaskan bagaimana perilaku struktur SRPMK baja ketika merespon gerakan tanah akibat gempa. Umumnya perilaku yang digambarkan adalah dalam bentuk global yaitu melalui simpangan atap atau simpangan antar tingkat (Dewi dkk., 2023; Hirel dkk., 2018). Masih sangat sedikit studi yang meninjau perilaku sendi plastis balok ketika stuktur SRPMK baja mengalami kondisi batas runtuh.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Bagaimana perilaku sendi plastis pada balok ketika struktur SRPMK mengalami keruntuhan akibat gempa?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Untuk mengetahui perilaku sendi plastis pada balok ketika struktur SRPMK mengalami keruntuhan akibat gempa.

## **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang ditetapkan pada tugas akhir ini adalah:

1. Struktur bangunan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) baja 2 dimensi Model 4 dan 8 lantai.
2. Variabel yang ditinjau adalah simpangan antar-tingkat, serta gaya dan deformasi pada ujung elemen balok.
3. Elemen yang ditinjau adalah balok
4. Pengaruh angin diabaikan pada studi ini.
5. Gempa yang ditinjau adalah gempa yang mengandung efek pulse ataupun tidak.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

dari hasil analisa sendi plastis pada elemen balok dengan model SRPMK ketika terjadinya keruntuhan yang disebabkan oleh gempa dapat memberikan pemahaman yang baik untuk merancang struktur bangunan dan dapat mengurangi resiko kerusakan pada struktur bangunan tahan gempa.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Perilaku Sendi Plastis**

Elemen struktur seperti kolom dan balok dapat mengalami deformasi plastis ketika beban gempa melampaui kapasitasnya. Deformasi plastis ini memungkinkan struktur menyerap energi gempa dan dikenal sebagai sendi plastis. Untuk mencegah keruntuhan total saat gempa, kolom harus lebih kuat daripada balok. Jika kolom lebih lemah, struktur akan runtuh seketika. Namun, jika balok yang lebih lemah, struktur masih dapat bertahan meski balok mengalami keruntuhan.

Sendi Plastis merupakan kondisi ujung-ujung elemen struktur yang semula kaku atau terjepit sempurna, kemudian berubah menjadi sendi (pinned) akibat terjadinya penurunan kemampuan elemen struktur dalam menahan beban-beban yang bekerja (Nuraga dkk., 2021).

Sendi plastis merupakan bentuk ketidak mampuan elemen struktur (balok dan kolom) menahan gaya dalam. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat balok lemah (Wibawa dkk., 2021). Pada titik ini, elemen struktur akan mengalami rotasi tanpa peningkatan momen, menandakan bahwa kapasitas plastisnya telah tercapai. Metode analisis plastis digunakan untuk memahami perilaku struktur di bawah beban gempa, dengan asumsi bahwa struktur memiliki sifat elasto-plastis.

#### **2.2. Kriteria Performa Bangunan**

Performa Bangunan adalah tingkat atau derajat kerusakan yang dikategorikan berdasarkan kerusakan yang dialami oleh struktur sehingga tidak membahayakan keselamatan pengguna struktur bangunan (Mutu dkk., 2017).

kategori performance level struktur berdasarkan tingkat kerusakannya yaitu:

1. Immediate Occupancy (IO), jika struktur tidak terdapat kerusakan yang berarti pada komponen struktural maupun non struktural. Tidak terjadi

pergeseran permanen pada bangunan, sebagian besar struktur dapat mempertahankan kekuatan dan kekakuannya, sedikit retak serta semua sistem penting pada gedung dapat beroperasi dengan normal.

2. Life Safety (LS), jika struktur masih mampu menahan beban gempa dengan sedikit kerusakan. Komponen non-struktural masih aman tetapi terjadi kerusakan pada beberapa utilitas. Perbaikan kerusakan dapat dilakukan tanpa mengganggu fungsi dari struktur bangunan.
3. Collapse Prevention (CP), jika struktur mengalami kerusakan tetapi belum runtuh. Terjadi perubahan kekakuan struktur. Kecelakaan yang diakibatkan jatuhnya material sangat mungkin terjadi.

### 2.3. Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka ini berfungsi pada kerangka balok momen khusus sebagai penahan beban lateral yang di induksi oleh pergerakan gempa. Pada sistem ini, balok berfungsi dalam menahan pembebanan gaya momen aksial (Dewi dkk., 2023). Telah banyak studi yang membahas tentang struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Tabel 2.1 dibawah ini berisi tentang beberapa literatur yang berkaitan tentang SRPMK.

Tabel 2. 1 Literature Review

Penulis	Tahun	Uraian
Almufid & Hidayah Syarifah	2019	Model SRPMK 12 Tingkat. Berdasarkan data output gaya dalam dari ETABS yang menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus dapat dihitung jumlah tulangan yang diperlukan untuk memikul gaya yang bekerja pada struktur dari hasil hitungan ini didapat beberapa perbedaan dengan hasil hitungan yang menggunakan metode sistem rangka pemikul momen biasa



<p>Januar, dkk.</p>	<p>2019</p>	<p>Model Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), variabel ditinjau berupa simpangan antar tingkat, base shear. Hasil penelitian yaitu Persyaratan “Strong Column Weak Beam” SRPMK telah terpenuhi yaitu:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Tulangan tekan komponen balok dengan dimensi yang ada telah mengalami kelelahan.</li> <li>b. Kondisi balok dan kolom telah memenuhi kondisi <math>\Sigma M_{nc} &gt; 1,2 \cdot \Sigma M_{nb}</math>, dimana kondisi ini menyatakan kuat lentur nominal kolom lebih besar dari jumlah kuat lentur nominal balok</li> </ol>
<p>Rau,dkk.</p>	<p>2023</p>	<p>Metode Analisis Statik Non Linear Pushover didapatkan hasil bahwa kinerja struktur arah X pada gedung MB memiliki kekakuan yang paling kuat diantara struktur gedung lainnya sedangkan pada arah Y struktur gedung MB memiliki tingkat kekakuan yang paling kuat diantara struktur gedung lainnya.</p>
<p>Nuraga, dkk.</p>	<p>2021</p>	<p>Metode analisis pushover. Elemen yang ditinjau daktilitas. Berdasarkan performa <i>story drift</i> pada kasus rekaman gempa asli, gedung denah persegi merupakan denah dengan performa terbaik. Nilai <i>story drift</i> adalah:persegi panjang (0,59%), H (1,58%), L (2,41%), U (4,59%), T (5,8%). Berdasarkan performa rotasi sendi plastis pada kasus</p>

		rekaman gempa asli, gedung denah persegi merupakan denah dengan performa terbaik. Nilai kondisi sendi plastis pada kondisi CP ( <i>Collapse Prevention</i> ) adalah: persegi panjang (8), H (23), L (30), U (35), T (58).
Rahmantyo & Andayani.	2019	Analisis non liner time history, 20 tingkat, Berdasarkan performa <i>story drift</i> pada kasus rekaman gempa asli, gedung denah persegi merupakan denah dengan performa terbaik. Nilai <i>story drift</i> adalah:persegi panjang (0,59%), H (1,58%), L (2,41%), U (4,59%), T (5,8%). Berdasarkan performa rotasi sendi plastis pada kasus rekaman gempa asli, gedung denah persegi merupakan denah dengan performa terbaik. Nilai kondisi sendi plastis pada kondisi CP ( <i>Collapse Prevention</i> ) adalah: persegi panjang (8), H (23), L (30), U (35), T (58).
Ujianto, dkk.	2015	Variabel ditinjau merupakan Sendi Plastis, Displacement dengan menggunakan metode analisis Pushover. Struktur gedung menunjukkan kondisi sangat aman. Hal ini ditunjukkan pada step ketiga ketika displacement performance point sudah terlampaui namun perilaku sendi plastis masih dalam tahap Operasional dan Immediate Occupancy. Hal ini berarti ketika terjadi gaya gempa terbesar dalam perencanaan

		<p>sesuai beban gempa rencana pada area 3 dalam SNI 03-1726-2002 terlampaui gedung masih sangat aman dan dapat dipakai tanpa melakukan perbaikan. Namun konsep desain Strong Column Weak Beam pada desain struktur gedung daktail parsial tidak terpenuhi. Hal ini ditunjukkan dengan diawali terbentuknya sendi plastis pada balok lantai 2 dan 3 lalu diikuti seluruh komponen balok dan kemudian baru kolom bereaksi membentuk Sendi plastis dalam kondisi Immediate Occupancy pada step 3.</p>
Ramadhani, dkk.	2017	<p>Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan meninjau simpangan (drift). 18 tingkat. Dari hasil analisis beban gempa, struktur gedung termasuk ke dalam kategori desain seismik D dengan demikian konfigurasi yang diterapkan adalah SRPMK. Berdasarkan program analisis struktur didapatkan kontrol waktu getar alami (T) sebesar 2,228 detik &lt; <math>C_u.T_a = 2,81</math> detik, kontrol partisipasi massa memenuhi syarat yaitu pada mode 20, kontrol nilai akhir respon spektrum (V) dinamik arah x dan y sebesar 468518,698 kg, dan memenuhi kontrol.</p>
Zachari & Turuallo	2020	<p>Model gedung bertingkat 5. Hasil Analisa menyatakan Sambungan <i>reduced beam section</i> dengan kedalaman</p>

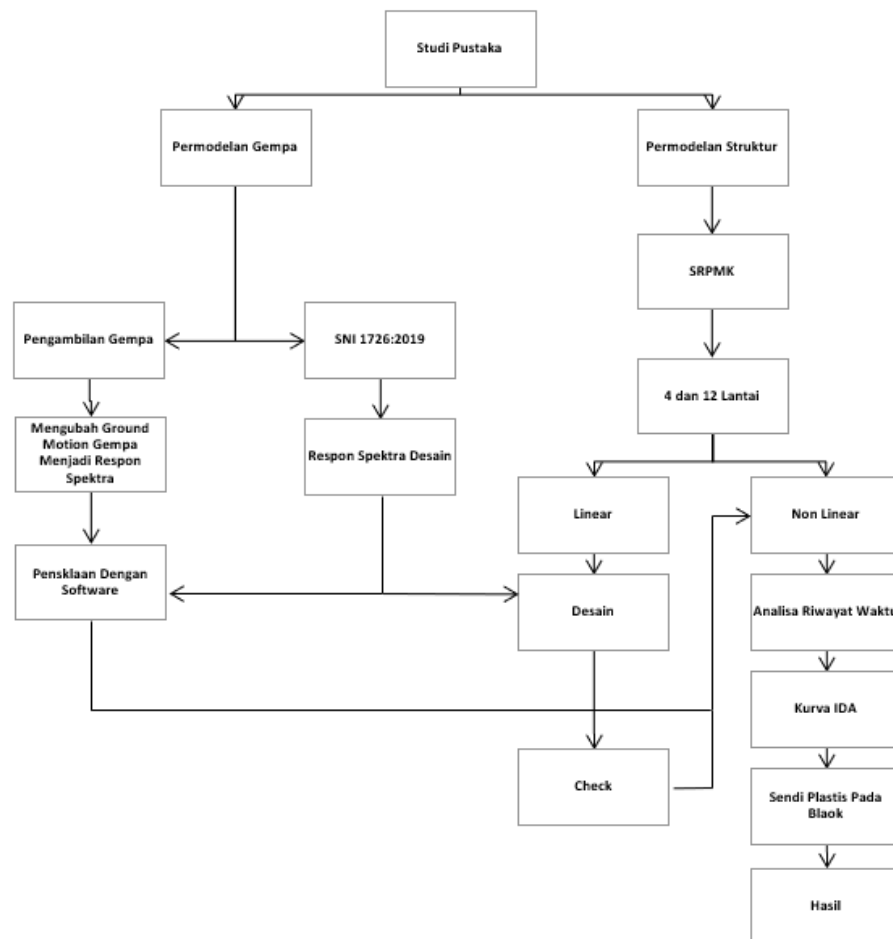
		<p>coakan (parameter <math>c</math>) 35,6 mm menghasilkan momen maksimum pada muka kolom (<math>M_f = 372,549</math> kN.m) kurang dari momen plastis pada balok (<math>\phi dM_{pe} = 401,25</math> kN.m). Dan simpangan antar lantai maksimum struktur terjadi pada tingkat 2, dengan nilai simpangan sebesar 93,5 mm yang memenuhi syarat kurang dari nilai simpangan antar lantai ijin sebesar 95 mm. Hal ini memberikan gambaran bahwa struktur yang direncanakan tahan gempa memiliki standar kerja yang cukup baik sesuai dengan SNI 1726:2012.</p>
Amrullah, dkk.	2019	<p>Model gedung 38 tingkat dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Dari hasil analisa didapat: Struktur penahan gempa yang diterapkan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), dan gedung termasuk kategori desain seismik D. Terdapat kontrol nilai akhir respon spektrum <math>V_{dinamik}</math> arah x sebesar 11977 kN dan arah y sebesar 11986 kN, serta <math>V_{statik}</math> arah x sebesar 14105 kN dan arah y sebesar 14105 kN. Kontrol partisipasi massa memenuhi syarat yaitu pada mode 6, dan kontrol waktu getar (<math>T</math>) sebesar 2,8778 detik. Dari hasil perhitungan nilai N-SPT sebesar 17,68, klasifikasi situs tanah dikategorikan tanah sedang (SD).</p>

Mahendra & Ridwan.	2023	Metode Analisis Dinamik Respon Spektrum dengan Variabel ditinjau yaitu sendi plastis. Model Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. Berdasarkan analisa dihasilkan Tahanan geser kolom SRPMK terjadi pada sendi plastis pada ujung-ujung balok yang bertemu pada kolom dan menurut SNI 03-1726-2012 pasal 7.2.5.5, gedung ini termasuk dalam desain seismik tipe D, sehingga desainnya menggunakan struktur rangka tahan momen khusus (SRPMK).
--------------------	------	--

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Umum

Secara umum metode penelitian yang akan dipakai adalah metode kuantitatif. Metode penelitian yang akan dipakai ini masuk ke dalam metode penelitian terapan yang berbasis kepada studi literatur. Diagram alir langkah-langkah yang akan ditempuh dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



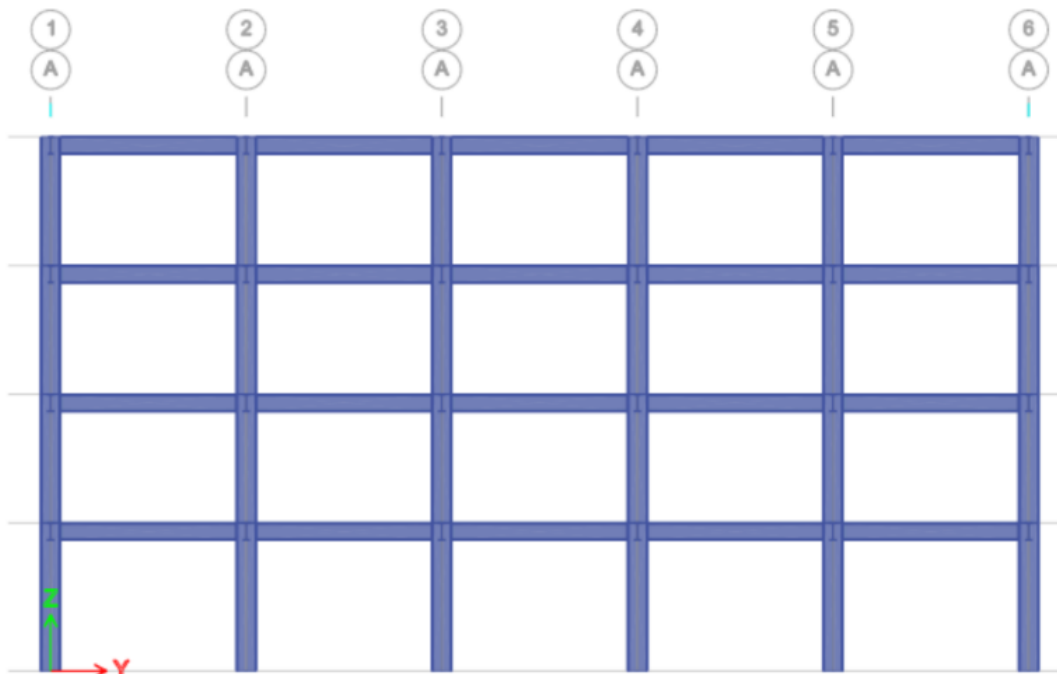
Gambar 3. 1 Diagram Alir

Berdasarkan Gambar 3.1 analisis dalam tugas akhir ini menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus sebagai permodelan strukturnya dan dilakukan

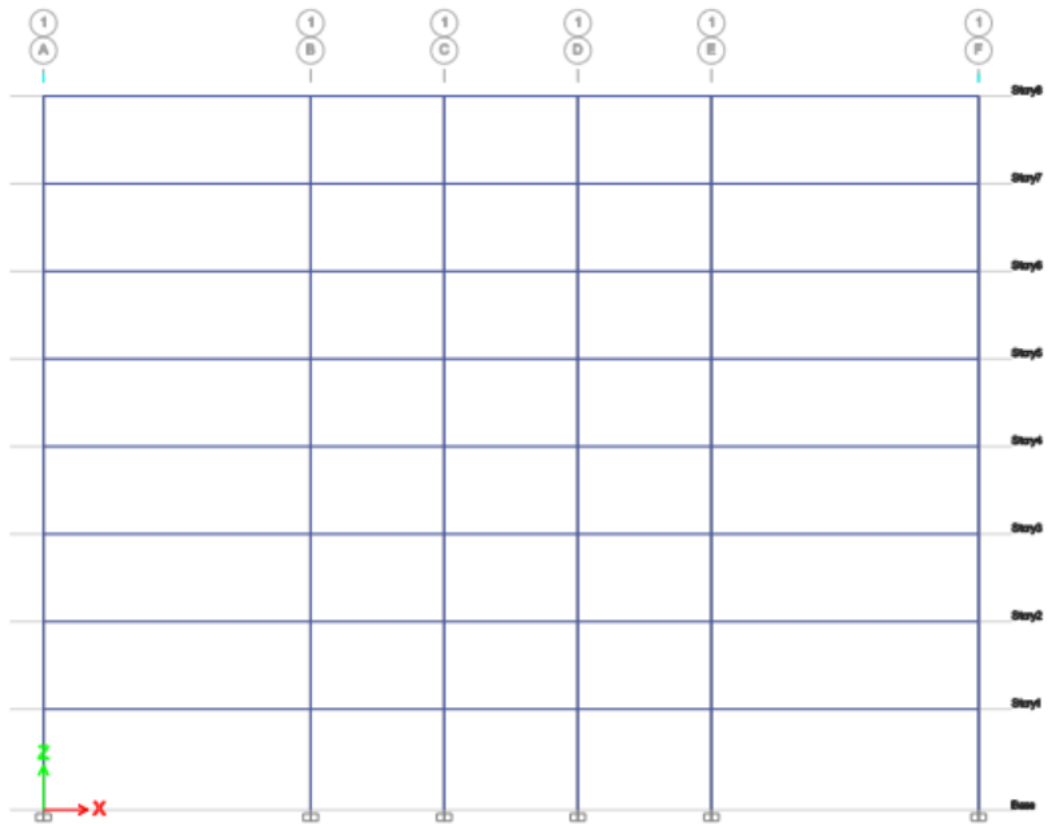
analisa linear dan non linear untuk mendapatkan sendi plastis terhadap balok dengan menggunakan bantuan software *opensees*.

### 3.2 Permodelan Struktur

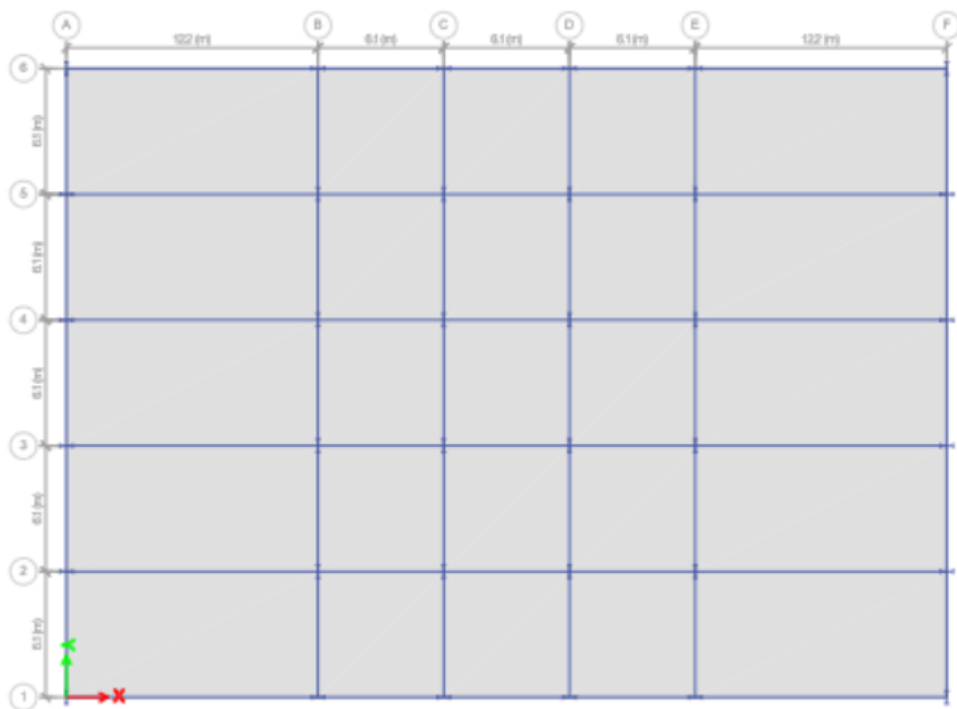
Struktur SRPMK baja yang menjadi model dalam penelitian ini merupakan struktur rangka baja dengan 4 dan 8 tingkat. Geometri model struktur SRPMK yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2 model ini mengacu kepada Elkady dan Lignos (2014, 2015).



Gambar 3. 2 Permodelan 2 Dimensi Model 1 4 Lantai



Gambar 3. 3 Permodelan 2 Dimensi Model 2 8 Lantai



Gambar 3. 4 Dimensi Bangunan Model 1 dan 2



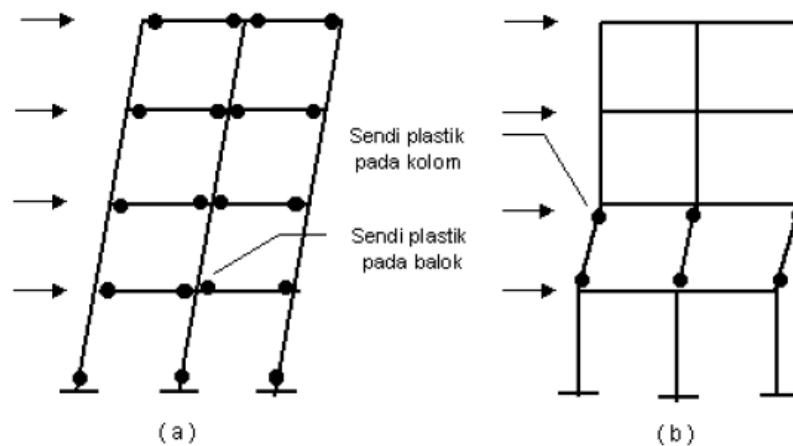
Elemen balok pada struktur SRPMK pada studi ini menggunakan memakai jenis Wide Flange profil USA. Tabel 3.1 menjelaskan tentang profil baja dan elevasi dari setiap tingkat untuk model yang akan diteliti.

Tabel 3. 1 Profil Acuan Kolom dan Balok

STORY	ELEVATION	BEAM SIZE	COLUMN SIZE	
			EXTERIOR	INTERIOR
4 Story				
4	16.3	W21X57	W24X62	W24X62
3	12.3	W21X57	W24X103	W24X103
2	8.3	W21X73	W24X103	W24X103
1	4.3	W21X73	W24X103	W24X103
8 Story				
8	32.2	W30X116	W24X131	W24X176
7	28.2	W30X116	W24X162	W24X207
6	24.2	W30X116	W24X162	W24X207
5	20.2	W30X116	W24X192	W24X250
4	16.2	W30X132	W24X192	W24X250
3	12.2	W30X132	W24X229	W24X279
2	8.2	W30X132	W24X229	W24X279
1	4.2	W30X124	W24X29	W24X279

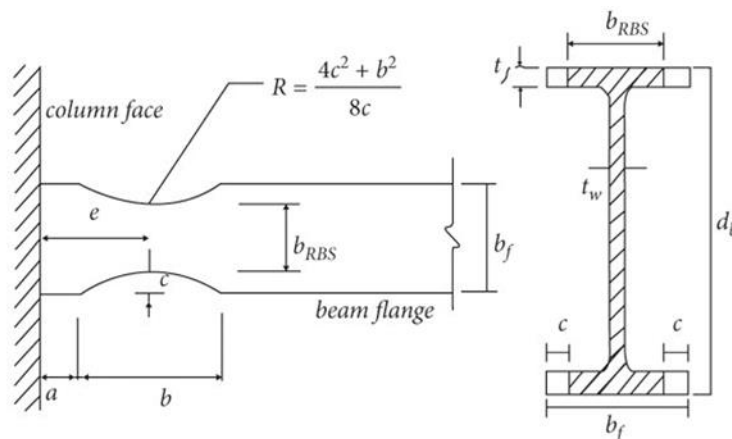
### 3.3 Permodelan Sendi Plastis Elemen Balok dan Kolom

Dari Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa pada Gambar 3.3(a) sendi plastis pada balok dapat menahan terjadinya keruntuhan struktur, sedangkan pada Gambar 3.3(b) sendi plastis yang terjadi pada kolom menyebabkan keruntuhan lokal pada bangunan.



Gambar 3. 5 Permodelan Sendi Plastik Pada Balok Dan Kolom.

Elemen kolom dan balok struktur baja SRPMK pada model ini menggunakan WF profil USA dan untuk balok penampangnya dikurangi atau disebut *reduced beam section* atau disingkat RBS seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4 dimana menurut AISC 358-05 besaran coakan pada sayap balok adalah  $a=0.625b_f$ ,  $b=0.75d_b$ ;  $c=0.250b_f$ ; dengan radius  $= (4c^2 + b^2)/8c$  dan panjang dari pusat coakan RBS ke tepi kolom,  $L_{RBS} = a + b/2$ . Di sini  $b_f$  dan  $d_b$  masing-masing adalah lebar flange penampang balok dan tinggi penampang balok.



Gambar 3. 6 Permodelan Balok RBS

Untuk kapasitas rotasi plastis,  $\theta_p$ , pada kolom dihitung berdasarkan persamaan berikut

$$\theta_p = 0.0865 \cdot \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-0.365} \cdot \left(\frac{b_f}{2 \cdot t_f}\right)^{-0.140} \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^{0.340} \cdot \left(\frac{c_{unit}^1 \cdot d}{533}\right)^{-0.721} \cdot \left(\frac{c_{unit}^2 \cdot F_y}{355}\right)^{-0.230}$$

Sedangkan untuk balok RBS, kapasitas rotasi plastisnya adalah

$$\theta_p = 0.19 \cdot \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-0.314} \cdot \left(\frac{b_f}{2 \cdot t_f}\right)^{-0.100} \cdot \left(\frac{L_b}{r_y}\right)^{-0.185} \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^{0.113} \cdot \left(\frac{c_{unit}^1 \cdot d}{533}\right)^{-0.760} \cdot \left(\frac{c_{unit}^2 \cdot F_y}{355}\right)^{-0.0700}$$

Untuk kapasitas rotasi pasca plastis,  $\theta_{pc}$ , pada kolom dihitung dengan

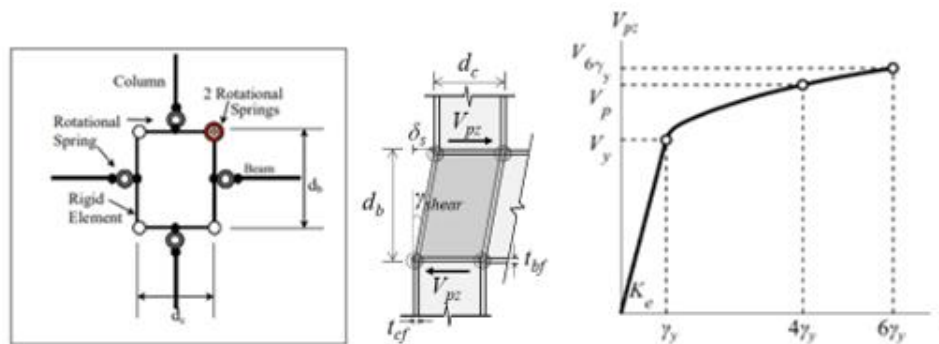
$$\theta_{pc} = 5.63 \cdot \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-0.565} \cdot \left(\frac{b_f}{2 \cdot t_f}\right)^{-0.800} \cdot \left(\frac{c_{unit}^1 \cdot d}{533}\right)^{-0.280} \cdot \left(\frac{c_{unit}^2 \cdot F_y}{355}\right)^{-0.430}$$

Sedangkan untuk balok kapasitas rotasi pasca plastisnya dicari dengan

$$\theta_{pc} = 9.52 \cdot \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-0.513} \cdot \left(\frac{b_f}{2 \cdot t_f}\right)^{-0.863} \cdot \left(\frac{L_b}{r_y}\right)^{-0.108} \cdot \left(\frac{c_{unit}^2 \cdot F_y}{355}\right)^{-0.360}$$

### 3.4 Permodelan Panel Zone

Zona panel yang merupakan titik kumpul elemen balok dan kolom struktur baja umumnya akan mengalami kerusakan geser pada badan panel dan juga kerusakan lentur pada sayap. Ini terjadi setelah sendi plastis terbentuk di elemen-elemen balok dan kemudian di elemen-elemen kolom. Atau juga terjadi bersamaan dengan sendi plastis di elemen kolom setelah mengalami sendi plastis di banyak elemen balok dan sebagian kecil di elemen kolom.



Gambar 3. 7 Model Paralelogram

Untuk memasukkan hal ini ke dalam analisa struktur, studi ini memakai Model Paralelogram (Gambar 3.5) yang parameter sendi plastisnya dihitung berdasarkan metode Skiadopoulos dkk. (2021). Model parallelogram pertama kali diusulkan oleh Gupta dan Krawinkler (1999) untuk menggantikan model gunting (*scissor*) yang diperkenalkan oleh Krawinkler (1978) dan juga Krawinkler dan Mohasseb (1987).

Model paralelogram Skiadopoulos dkk. (2021) ini bukan saja mempertimbangkan pengaruh geser pada badan zona panel, tapi juga pada sayapnya. Gaya geser leleh pada zona panel diperoleh berdasarkan persamaan berikut. dimana  $K_f/K_e$  adalah rasio kekakuan sayap ( $K_f$ ) terhadap kekakuan elastis

$$V_y = \frac{[0.58(K_f/K_e) + 0.88] \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot (d_c - t_{cf}) \cdot t_{cw}}{1 - K_f/K_e}$$

( $K_e$ ) pada zona panel yang nilainya 0.02 – 0.07, sedangkan  $d_c$ ,  $t_{cf}$  dan  $t_{cw}$  masing-masing adalah tinggi penampang profil kolom, tebal sayap kolom dan tebal badan kolom.  $K_f$  dan  $K_e$  dapat dicari melalui persamaan berikut ini

$$K_f = \frac{K_{sf} \cdot K_{bf}}{K_{sf} + K_{bf}}$$

$$K_e = \frac{V_{pz}}{\gamma} = \frac{K_s \cdot K_b}{K_s + K_b}$$

dimana  $K_{sf}$  dan  $K_{bf}$  masing-masing adalah kekakuan pada sayap akibat pengaruh geser dan lenturan. Nilai-nilai ini dapat dicari dengan memanfaatkan modulus geser,  $G$ , modulus elastisitas,  $E$ , tinggi sayap kolom pada zona panel,  $b_{cf}$ , dan tinggi profil balok,  $d_b$  seperti berikut ini

$$K_{sf} = 2 \cdot (t_{cf} \cdot b_{cf} \cdot G)$$

$$K_{bf} = 2 \cdot \left[ \frac{12E(b_{cf} \cdot t_{cf}^3/12)}{d_b^3} \cdot d_b \right]$$

Sedangkan  $K_s$  dan  $K_b$  masing-masing adalah kekakuan geser dan kekakuan lentur yang mempengaruhi  $K_e$ , yang dapat dihitung melalui persamaan berikut ini

$$K_s = A_v \cdot G = t_{pz} \cdot (d_c - t_{cf}) \cdot G$$

$$K_b = \frac{12 \cdot E \cdot I}{d_b^3} \cdot d_b$$

dimana  $A_v$ ,  $t_{pz}$  dan  $I$  masing-masing adalah luas geser zona panel, tebal badan zona panel dan momen inersia penampang zona panel.

Untuk gaya geser pasca leleh pada kondisi deformasi  $4\gamma_y$  dihitung melalui persamaan

$$V_{pz} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot [a_{w,eff} \cdot (d_c - t_{cf}) \cdot t_{cw} + a_{f,eff} \cdot (b_{cf} - t_{cw}) \cdot 2t_{cf}]$$

Sedangkan gaya geser pasca leleh pada kondisi deformasi  $6\gamma_y$  dapat diperoleh melalui

$$V_{pz} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot [a_{w,eff} \cdot (d_c - t_{cf}) \cdot t_{cw} + a_{f,eff} \cdot (b_{cf} - t_{cw}) \cdot 2t_{cf}]$$

Dimana  $a_{w,eff}$  dan  $a_{f,eff}$  masing-masing adalah tegangan geser rata-rata ternormalisasi pada badan dan sayap, yang bernilai sebesar

$$a_{w,eff} = 1.10 \quad \text{untuk kondisi deformasi geser pasca leleh atau } 4\gamma_y$$

$$= 1.15 \quad \text{untuk kondisi deformasi geser batas atau } 6\gamma_y$$

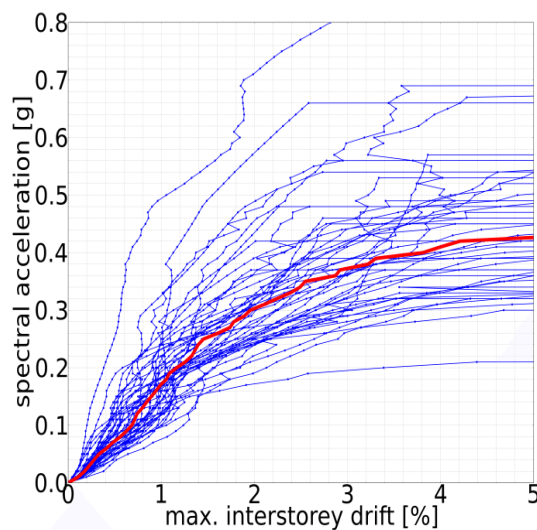
$$a_{f,eff} = 0.93(K_f/K_y) + 0.015 \quad \text{untuk kondisi deformasi geser pasca leleh atau } 4\gamma_y$$

$$= 1.05(K_f/K_y) + 0.020 \quad \text{untuk kondisi deformasi geser batas atau } 6\gamma_y$$

Pada model ini pengaruh lenturan yang terjadi pada sayap akibat geser juga ditinjau dan dihitung secara sederhana melalui gaya geser dikalikan dengan tinggi profil elemen balok. Lebih lengkap pemodelan ini dapat dilihat di Skiadopoulos dkk. (2021).

### 3.5 Analisa Struktur

Studi ini memakai berbagai tahapan analisa struktur mulai dari analisa ragam getar, analisa linear statis dan dinamis, sampai ke analisa nonlinear statis dan respon riwayat waktu nonlinear dengan alat bantu *software* OpenSees (OpenSees, 2010).



Gambar 3. 8 Incremental Dynamic Analysis

Pada gambar 3.6 dapat dilihat ilustrasi *Incremental dynamic analysis* (IDA) atau dalam bahasa Indonesia disebut analisa dinamis meningkat bertahap adalah metode analisis komputasi teknik gempa untuk melakukan penilaian menyeluruh terhadap perilaku struktur di bawah beban gempa. Kurva IDA biasanya ditunjukkan oleh Skalar *Intensity Measure* (IM), dengan bandingan respon struktural (Faisal & Darsono, 2019).

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Hasil Model Linear dan Non Linear**

Bab ini menjelaskan hasil analisis linier dan non-linier menggunakan program analisis struktur, yang mencakup perioda getar, nilai simpangan, serta gaya-gaya pada struktur gedung. Analisis dilakukan berdasarkan model yang dirancang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Input pembebanan, kombinasi beban, zona gempa, dan konfigurasi bangunan tetap sama. Perbandingan dilakukan antara metode analisis pada setiap pemodelan, yaitu analisis respons spektrum ragam dan analisis respons riwayat waktu.

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

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

Menurut SNI 1726:2019, analisis harus dilakukan untuk menentukan mode getar alami suatu struktur. Analisis ini harus mencakup jumlah mode yang memadai sehingga partisipasi massa terkombinasi mencapai setidaknya 90 persen dari massa aktual dalam setiap arah horizontal ortogonal yang dipertimbangkan dalam model. Pemilihan metode perhitungan, baik CQC atau SRSS, bergantung pada nilai perioda dan persentasenya. Syarat:  $SRSS > 15\%$ ,  $CQC < 15\%$

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

- a. Model 1: untuk nilai  $R = 8$ , didapat 12 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak dibawah 15 %.
- b. Model 2: untuk nilai  $R = 8$ , didapat 12 mode dan hasil persentase nilai lebih banyak dibawah 15 %.

#### 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 pada persamaan 4.1.

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

Dimana:

$V_1$  = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

$V_t$  = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Tabel 4. 1 Nilai gaya geser dasar nominal

Struktur	Arah Gempa	$V_1$ (KN)	$V_t$ (KN)
MODEL 1	Gempa X (R=8)	1639.41	1639.4
MODEL 2	Gempa X (R=8)	1188.47	1188.5

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

#### 4.2.3. Koreksi Faktor Redundansi

Gaya geser per lantai dengan redundansi 1 harus disesuaikan dengan 35 persen dari gaya geser dasar dengan redundansi 1. Jika syarat tersebut tidak terpenuhi, faktor redundansi 1 harus diganti dengan redundansi 1,3. Dari penyesuaian gaya geser, ditemukan bahwa beberapa lantai tidak memenuhi syarat 35 persen gaya geser dasar.

#### 4.2.4. Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

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

Syarat :

$$V_t \geq 0,85 C_s.W \quad (4.2)$$



Tabel 4. 2 nilai VT sb. x

Struktur	Arah Gempa	Vt (KN)	0,85 Cs.W	Cek
MODEL 1	Gempa X (R=8)	1639.4	1393.4	<b>OK</b>
MODEL 2	Gempa X (R=8)	1188.5	1010,2	<b>OK</b>

#### 4.2.5. Nilai Simpangan Gedung

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2019, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar tingkat yang didesain untuk kategori desain seismik D,E dan F tidak boleh melebihi yang diizinkan yaitu 0,02 dikali tinggi lantai, nilai simpangan tidak boleh melebihi  $\frac{\Delta a}{\rho}$  di kali tinggi tingkat untuk semua tingkat, dimana nilai tersebut dihasilkan sebesar 0.0154 di kali tinggi tingkatnya.

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

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

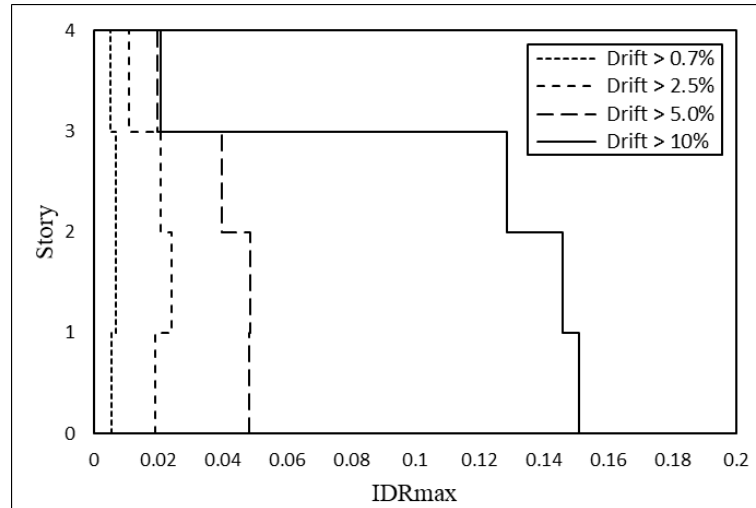
#### 4.2.7. Pengaruh Efek P Delta

Menurut SNI 1726:2012, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai rasio stabilitas (*stability ratio*) lebih kecil dari 1. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai rasio stabilitas di bawah 1 untuk semua model, yang berarti kontrol memenuhi syarat yang ditetapkan. Dengan kata lain, efek P-delta bisa diabaikan jika syarat rasio stabilitas sudah terpenuhi. Hasil perhitungan lebih detail terdapat pada lampiran.

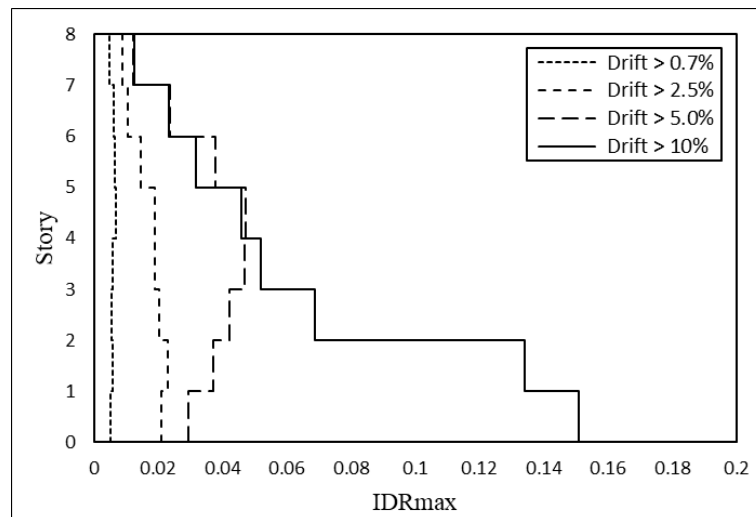
### 4.3. Hasil Analisa Non Linier

#### 4.3.1. Interstory Drift Ratio (IDR)

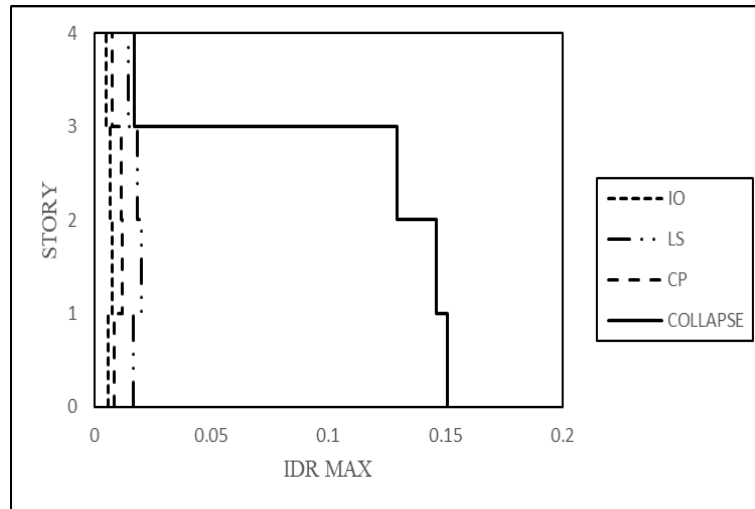
Seiring dengan pencapaian target kondisi batas (CP dan Collapse), gambar ini menggambarkan peningkatan nilai IDRmax akibat rekaman gerakan tanah selama gempa.



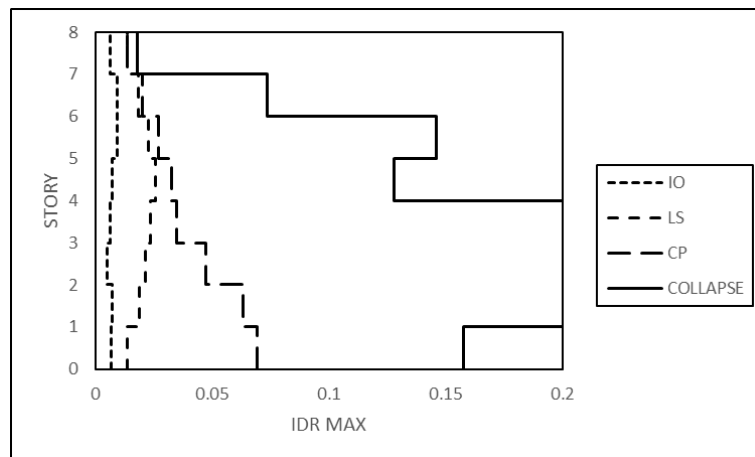
Gambar 4. 1 Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa dekat pada model 4 lantai.



Gambar 4. 2 Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa dekat pada model 8 lantai.



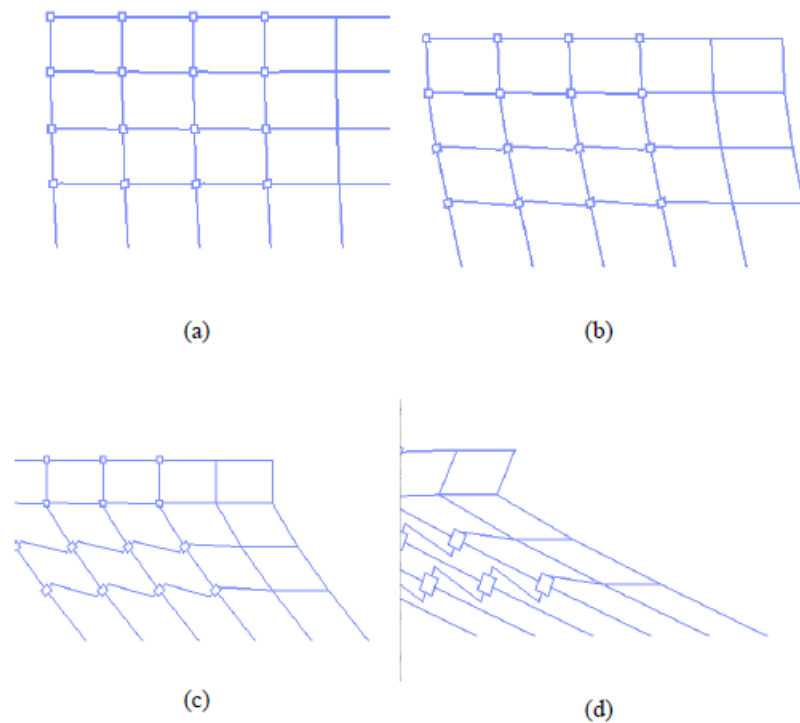
Gambar 4. 3 Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa jauh pada model 4 Lantai.



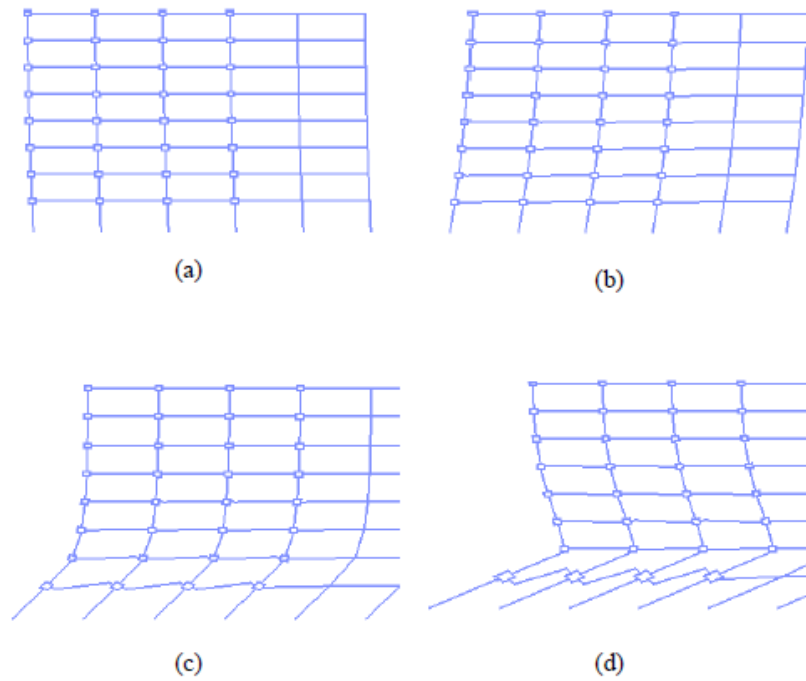
Gambar 4. 4 Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa Jauh pada Model 8 Lantai

### 4.3.2. Incremental Dynamic Analysis (IDA)

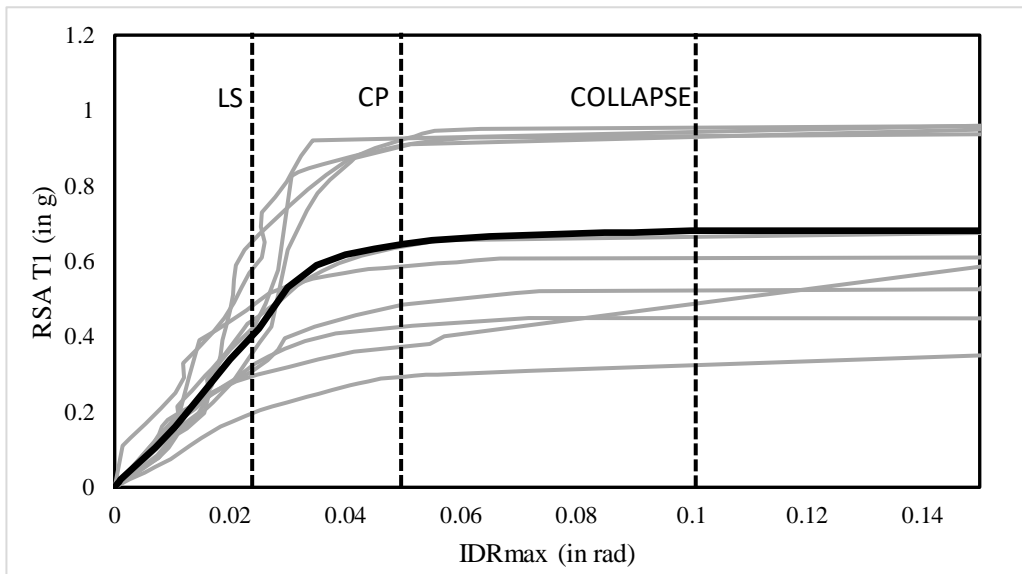
Analisis Dinamik Bertahap yang dilakukan pada ketiga model struktur memberikan gambaran respon. Untuk menentukan intensitas gempa yang mampu menghasilkan suatu kondisi batas, seperti IO (Immediate Occupancy), LS (Life Safety), dan CP (Collapse Prevention), digunakan analisis bertahap dengan respon riwayat waktu nonlinear (Incremental Dynamic Analysis atau IDA). Untuk mengevaluasi nilai keruntuhan pada struktur, fokusnya adalah pada kondisi CP (Collapse Prevention) dan batas keruntuhan (Collapse).



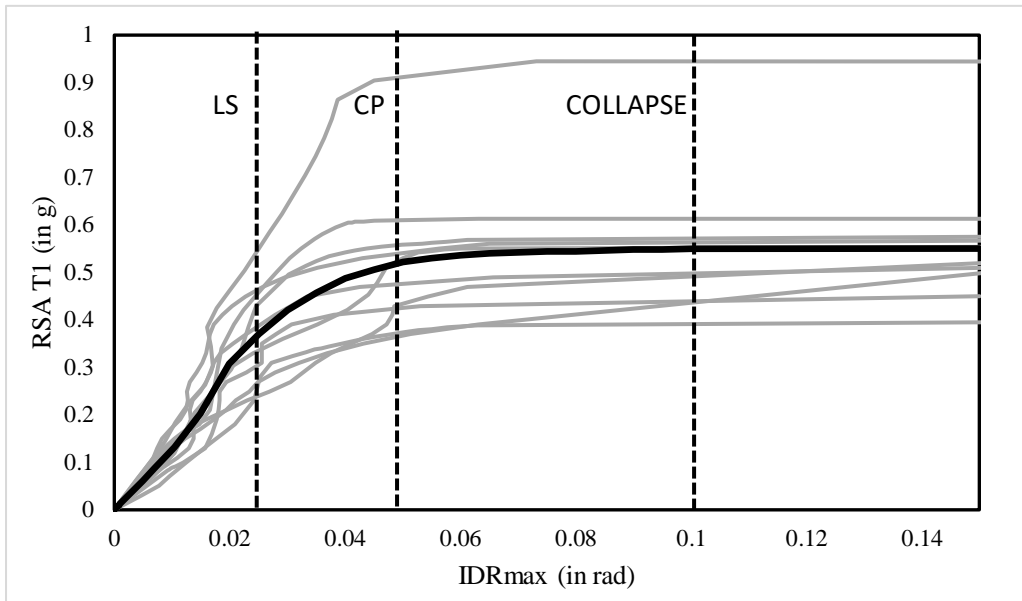
Gambar 4. 5 Ilustrasi Kondisi IO, LS, CP, dan Collapse Pada Model 4 Lantai.



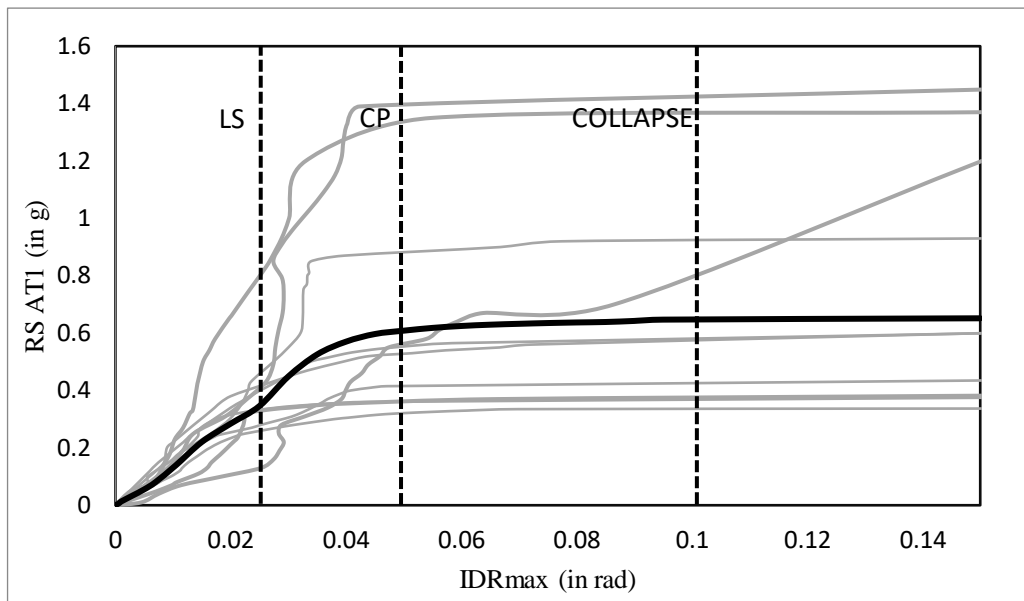
Gambar 4. 6 Ilustrasi Kondisi IO, LS, CP, dan Collapse Pada Model 8 Lantai.



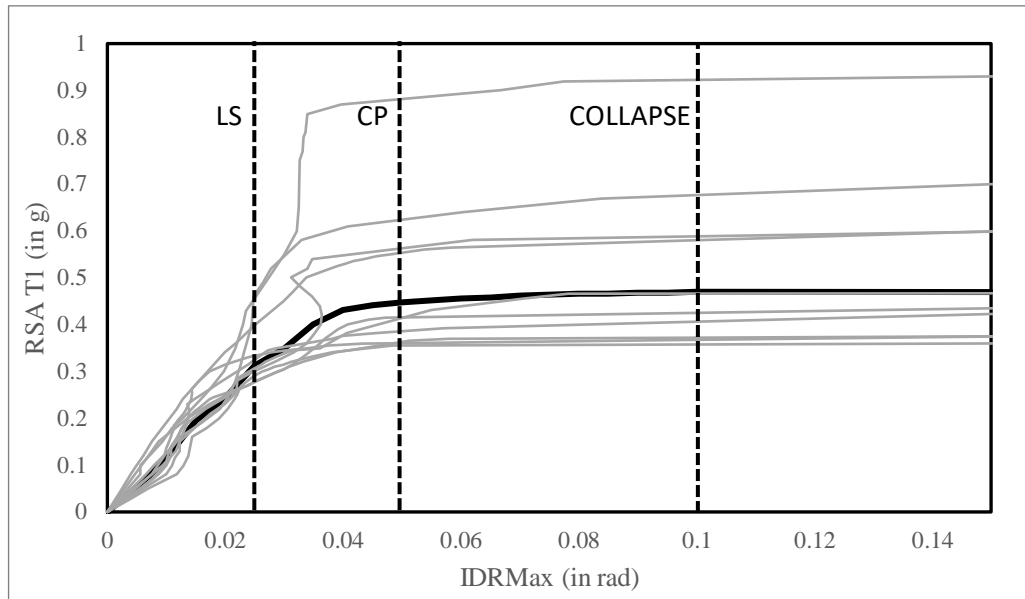
Gambar 4. 7 Menunjukkan kondisi batas LS, CP dan Collapse untuk Model 4 lantai akibat gempa dekat.



Gambar 4. 8 Menunjukkan kondisi batas LS, CP, dan Collapse untuk Model 8 lantai akibat gempa dekat.



Gambar 4. 9 Menunjukkan kondisi batas LS, CP, dan Collapse untuk Model 4 lantai akibat gempa jauh.



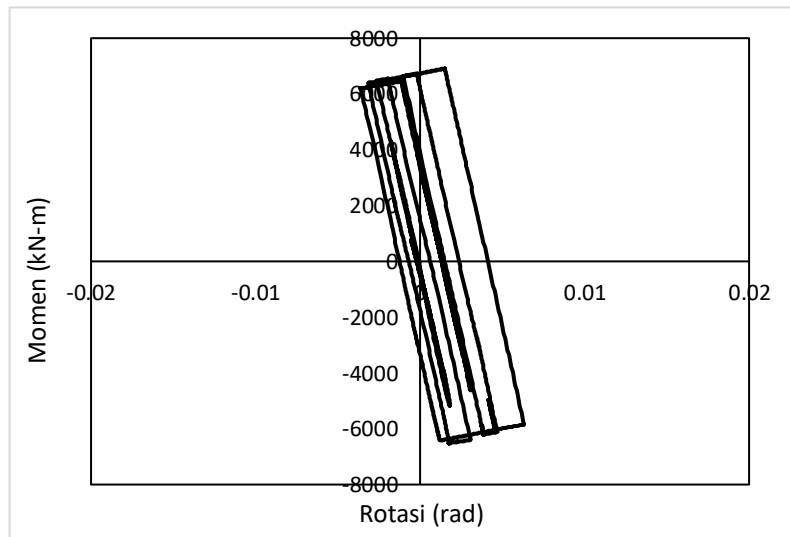
Gambar 4. 10 Menunjukkan kondisi batas LS, CP, dan Runtuh untuk model 8 lantai akibat gempa jauh.

Gambar 4.7 hingga 4.10 menggambarkan hubungan antara respon IDRmax dan nilai respon spektrum percepatan gerakan tanah pada perioda alami struktur, RSA(T1). Respon IDRmax ini diperoleh melalui analisis struktur dinamik bertingkat (incremental dynamic analysis atau IDA), yang dilakukan hingga melampaui batas LS, CP, dan mencapai kondisi runtuh. Penelitian ini t berfokus pada kondisi CP dan kondisi runtuh.

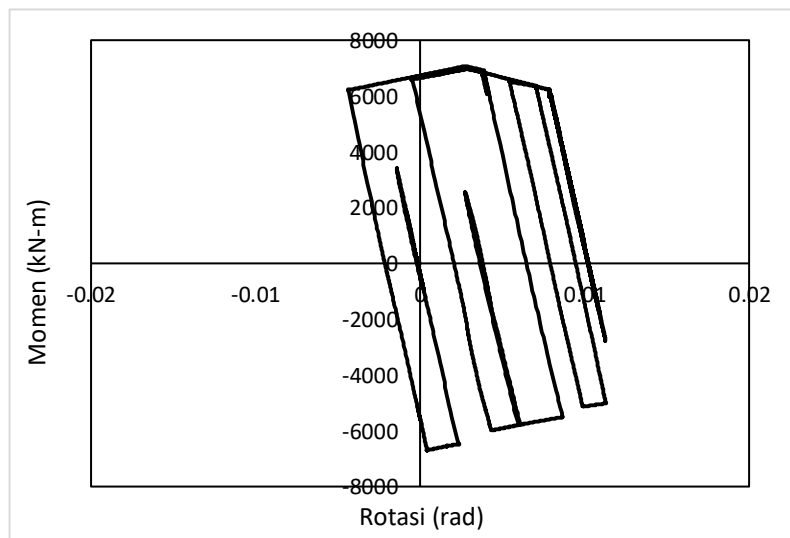
Berdasarkan hasil median dari keseluruhan gerakan tanah yang diperoleh, nilai median ini ditunjukkan oleh garis hitam tebal pada grafik IDA dari Gambar 4.7 hingga Gambar 4.10 Hasil pada gambar-gambar tersebut dengan jelas menunjukkan bahwa kondisi CP pada model SRPMK sering tercapai akibat gerakan tanah sebelum respon deformasi struktur mencapai IDRmax = 0.05. Oleh karena itu, hasil tersebut juga menunjukkan bahwa ketidakstabilan terjadi jauh sebelum respon deformasi mencapai IDRmax = 0.1, bahkan sebelum kondisi CP tercapai.

### 4.3.3. Perilaku Sendi Plastis

Untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai perilaku struktur dalam kondisi non-linear, pembahasan akan berfokus pada analisis hasil deformasi sendi plastis. Gambar di bawah ini menggambarkan perubahan deformasi geser dan gaya geser pada sendi plastis yang terjadi pada elemen balok akibat gerakan tanah gempa dekat maupun gempa jauh. Gempa ini dipilih sebagai kasus studi karena perilaku responnya mewakili kondisi kritis yang mendekati batas kapasitas (CP) dan mengalami runtuh pada kondisi median di grafik IDA (Incremental Dynamic Analysis).

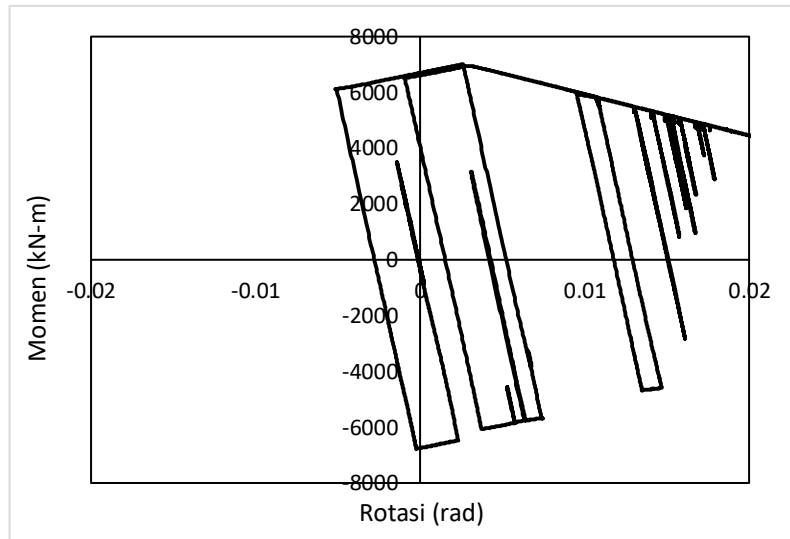


A



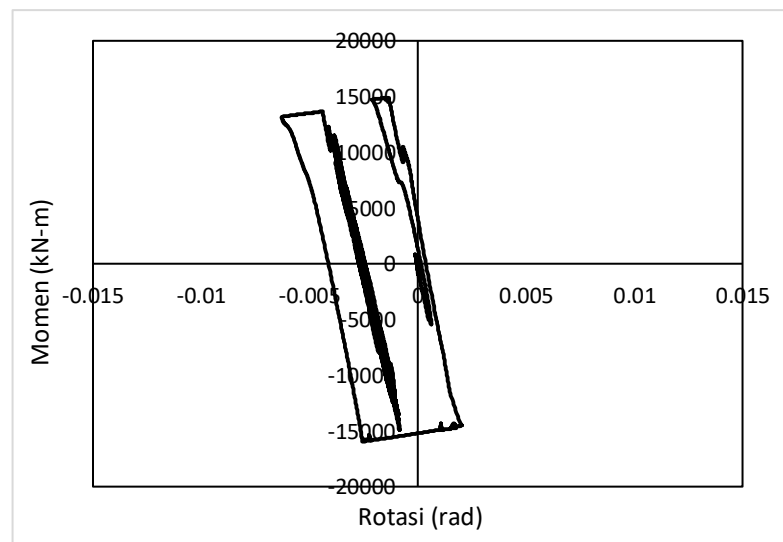
B



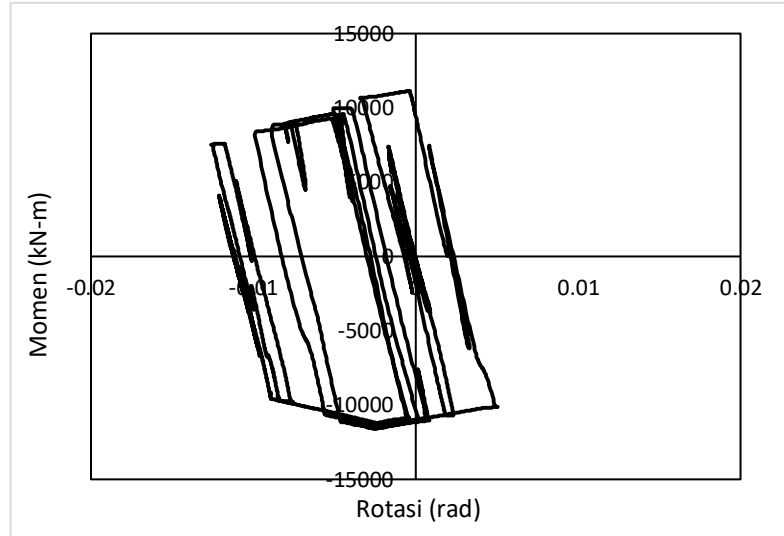


C

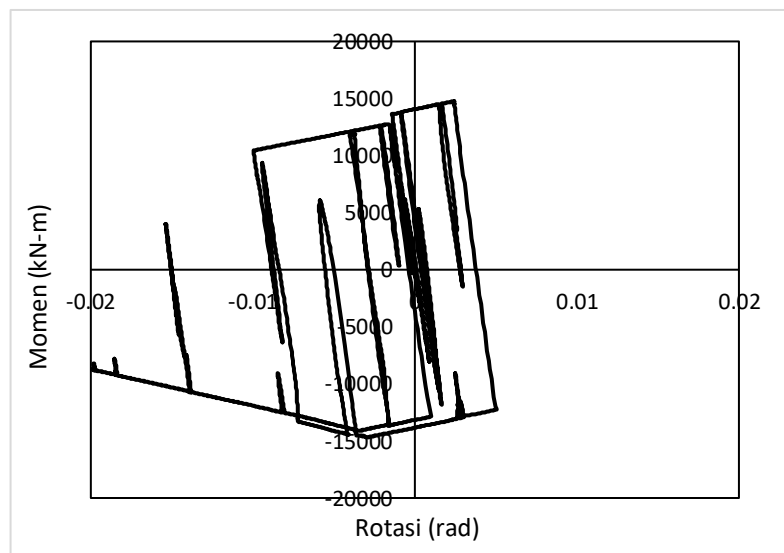
Gambar 4. 11 Perilaku sendi plastis terhadap batas kondisi, LS (A) , CP (B), dan Collapse (A) pada Model 4 Lantai akibat gempa dekat.



A

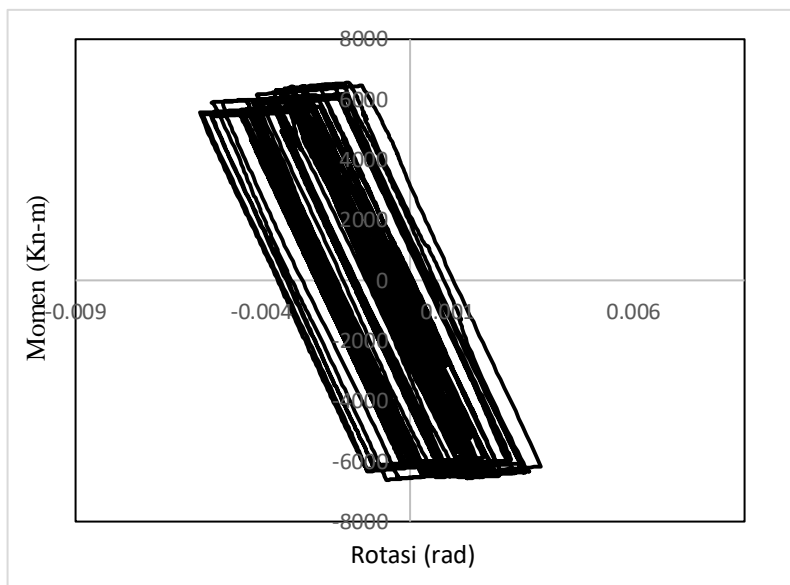


B

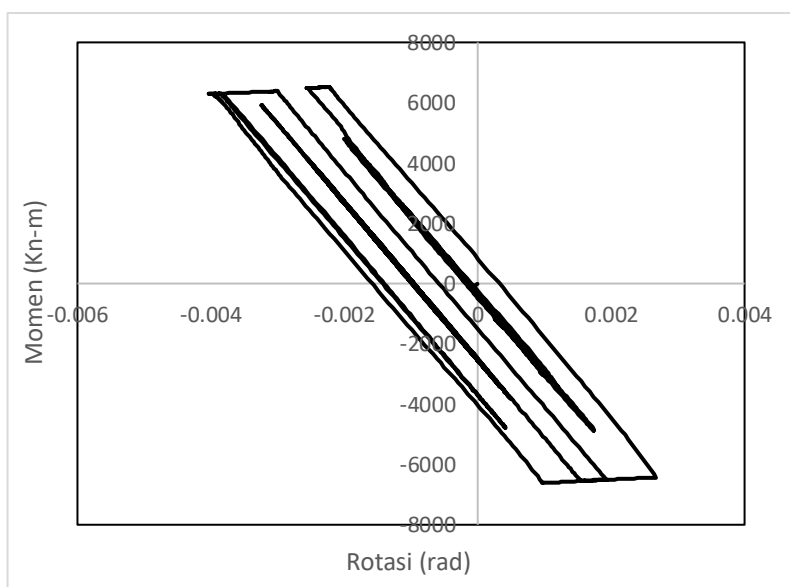


C

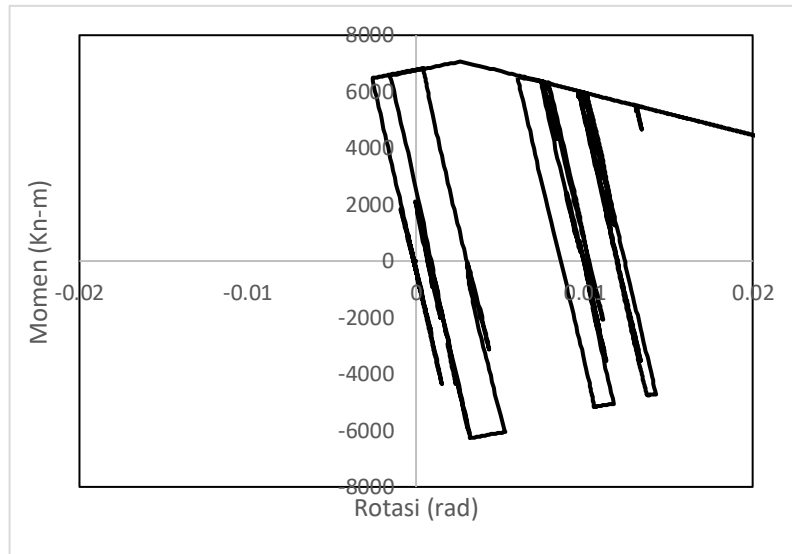
Gambar 4. 12 Perilaku sendi plastis terhadap batas kondisi LS (A), CP B, dan Collapse (C) pada Model 8Lantai Akibat gempa jauh



A

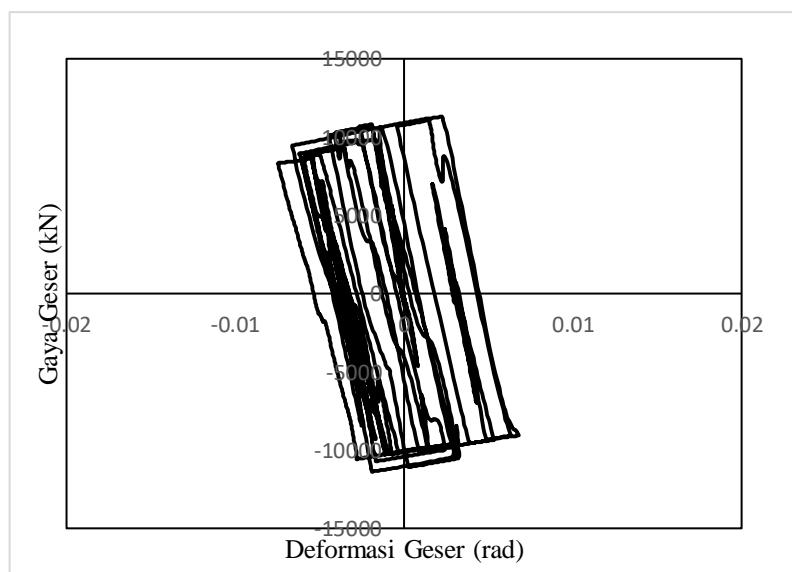


B

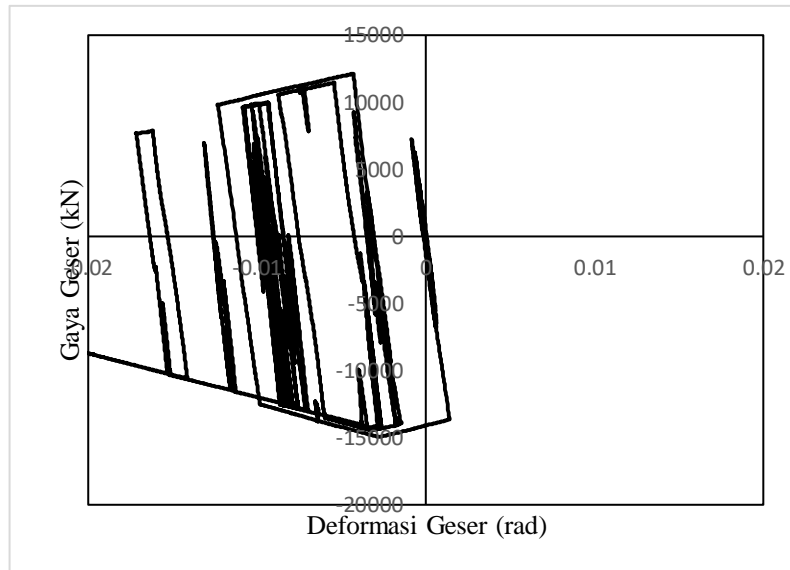


C

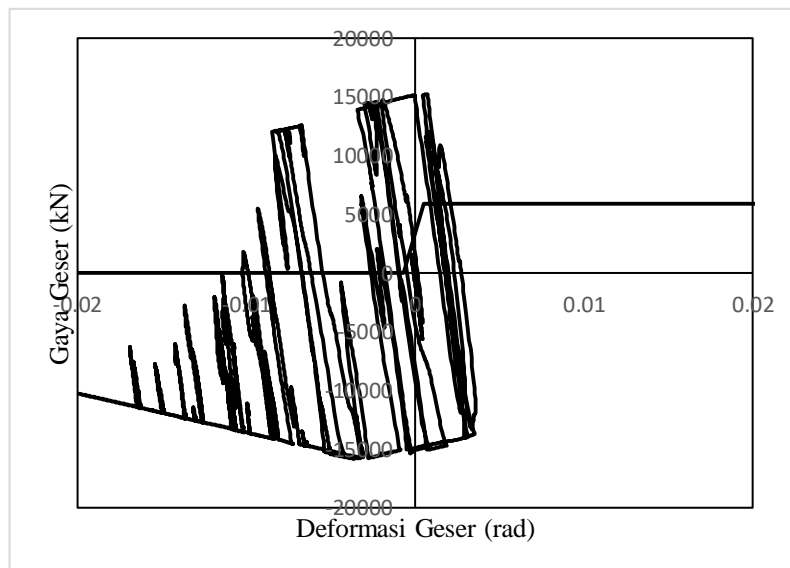
Gambar 4. 13 Perilaku sendi plastis terhadap batas kondisi LS (A) , CP (B), dan Collapse (C) pada Model 4 Lantai akibat gempa jauh.



A



B



C

Gambar 4. 14 Perilaku sendi plastis terhadap batas kondisi LS (A) , CP (B), dan Collapse (C) pada Model 8 Lantai akibat gempa jauh.

Hasil analisis menunjukkan bahwa balok mengalami variasi energi yang diserap dalam berbagai kondisi gempa, baik gempa dekat maupun jauh. Dalam tabel yang ditampilkan, terlihat bahwa energi yang diserap oleh balok berbeda-beda tergantung pada kondisi batas, seperti LS, CP, dan COLLAPSE.

Tabel 4. 3 Energi akibat gempa dekat pada Model 4 Lantai

MODEL 1 Gempa Dekat	
BALOK	
IO	30 KN.rad
LS	1180 KN.rad
CP	1281 KN.rad
COLLAPSE	2641 KN.rad

Tabel 4. 4 Energi akibat gempa dekat pada model 8 Lantai

MODEL 2 Gempa Dekat	
BALOK	
IO	130 KN. Rad
LS	1744 KN.rad
CP	1351 KN.rad
COLLAPSE	2494 KN.rad

Tabel 4. 5 Energi akibat gempa jauh pada model 4 lantai

MODEL 1 Gempa Jauh	
BALOK	
IO	488 KN.rad
LS	2061 KN.rad
CP	2236 KN.rad
COLLAPSE	2245 KN.rad

Tabel 4. 6 Energi akibat gempa jauh pada Model 8 lantai

MODEL 2 Gempa Jauh	
BALOK	
IO	138 KN.rad
LS	2091 KN.rad
CP	2227 KN.rad
COLLAPSE	2688 KN.rad

Berdasarkan analisis balok dalam struktur SRPMK baja selama gempa, sendi plastis pada balok terbukti memiliki peran penting dalam menyerap energi gempa. Data energi yang diperoleh menunjukkan bahwa balok mengalami deformasi plastis yang signifikan pada berbagai model dan kondisi gempa sebelum mencapai tahap kritis seperti COLLAPSE.

Hal ini mengindikasikan bahwa desain SRPMK, yang memfokuskan pembentukan sendi plastis pada balok, efektif dalam mencegah keruntuhan mendadak struktur dengan mendistribusikan energi gempa melalui deformasi plastis. Oleh karena itu, balok dalam struktur SRPMK berfungsi tidak hanya sebagai elemen struktural, tetapi juga sebagai komponen vital dalam mekanisme disipasi energi, memastikan kestabilan struktur selama gempa besar.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Analisis menunjukkan bahwa struktur balok menerima energi yang besar saat terjadinya keruntuhan pada bangunan yaitu 2641 KN.rad akibat gempa dekat pada model 1, dan 2494 Kn.rad untuk model 2, sedangkan untuk gempa jauh pada model 1 sebesar 2245 Kn.rad, dan 2688 Kn.rad untuk model 2. Tidak ada perbedaan energi yang signifikan akibat gempa jauh dan gempa dekat pada perilaku sendi plastis pada balok baik Model 4 lantai maupun Model 8 lantai.

#### **5.2. Saran**

1. Pada Tugas Akhir ini, jumlah groundmotion yang diteliti masih sedikit, kedepannya diharapkan agar menambah jumlah groundmotion yang diteliti agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.
2. Diharapkan Tugas Akhir ini dapat diteruskan atau dievaluasi kembali dalam rangka mendapatkan hasil yang optimal dan dapat dilakukan perbandingan terhadap hasil yang ada.



## LAMPIRAN

### L.1. Syarat Periode Struktur

Penentuan periode yang akan digunakan untuk perhitungan gaya geser dasar dan gaya lateral statik ekuivalen adalah berdasarkan SNI 1726:2019.

Model 1 Data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 4,6 m
- Tinggi lantai tipikal : 4 m
- Hn : 16,6 m
- Cu : 1,5
- Ct : 0,0724
- x : 0,8
- T min :  $T_a = C_t h_n^x$
- T max : Cu x T min

Tabel L.1: Periode struktur Model 1 untuk arah X dan Y

Kontrol Periode Arah X			
Tmin	Tmax	Tprogram	Tdipakai
0.685212121	1.027818181	2.206	1.028
Kontrol Periode Arah Y			
Tmin	Tmax	Tprogram	Tdipakai
0.685212121	1.027818181	1.572	1.028

Model 2 Data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 4,6 m
- Tinggi lantai tipikal : 4 m
- Hn : 32,6 m
- Cu : 1,5
- Ct : 0,0724
- x : 0,8
- T min :  $T_a = C_t h_n^x$
- T max : Cu x T min

Tabel L.2: Periode struktur Model 2 untuk arah X dan Y

Kontrol Periode Arah X			
Tmin	Tmax	Tprogram	Tdipakai
1.175743662	1.763615493	2.584	1.764

arah y			
Tmin	Tmax	Tprogram	Tdipakai
1.175743662	1.763615493	2.462	1.764

## ***L.2. Modal Participating Mass Ratios***

### ***L.2.1. Modal Participating Mass Ratios Model 1***

Tabel L.3: Hasil output *Modal Participating Mass Ratios* struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 1).

SYARAT			
Moda (Perioda)	Selisih Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1 - T2	29%	NOT OK	OK
T2 - T3	14%	OK	NOT OK
T3 - T4	44%	NOT OK	OK
T4 - T5	35%	NOT OK	OK
T5 - T6	12%	OK	NOT OK
T6 - T7	6%	OK	NOT OK
T7 - T8	36%	NOT OK	OK
T8 - T9	3%	OK	NOT OK
T9 - T10	11%	OK	NOT OK
T10 - T11	31%	NOT OK	OK
T11 - T12	10%	OK	NOT OK

### L.3. Berat Sendiri Struktur

#### L.3.1. Berat Sendiri Struktur (Model 1)

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

Story	<i>Self Weight</i> (KN)
4	1.885186
3	1.944083
2	1.958588
1	1.960308
Total	7.748

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa berat total struktur untuk tersebut adalah 7.748 KN.

#### L.3.2. Berat Sendiri Struktur (Model 2)

Tabel L. 6: : Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur.

Story	Self Weight (KN)
8	1.115481
7	1.202102
6	1.213938
5	1.184578
4	1.223929
3	1.239287
2	1.240929
1	1.21777
TOTAL	9.638

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa berat total struktur untuk tersebut adalah 9.638 KN.

### L.4. Perhitungan Gaya Geser Dasar dan Gaya Lateral Statik Ekuivalen

Gaya geser dasar yang digunakan untuk menghitung gaya lateral statik ekuivalen ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019.

### Model 1

Data Struktur:

- o SD1 : 0,1774
- o SDS : 0,236
- o R 8
- o Ie 1
- o S1 : 0,112

Tabel L. 7: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 1 (R=8)

Cs minimum	Cs hitungan	Cs maksimum	CsX digunakan	CsY digunakan
0.007	0.0296	0.021576	0.0216	0.0216

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah  $V = C_s \times W_t$

$$V = 0.0216 \times 75984$$

$$V = 1639.41 \text{ KN}$$

Penentuan nilai k Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3, k adalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

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

Tabel L. 8: Nilai story shear untuk gaya lateral statik ekivalen Model 1.

Story	Berat $W_x$	h (mm)	$W_x \cdot h_x^k$ (X)	$W_x \cdot h_x^k$ (Y)	Force (x)	Force (y)	Story Shear (x)	Story Shear (y)
4	1.88519	4000	67302.4	67302.4	495.1	495.1	495.1	495.1
3	1.94408	4000	69405.1	69405.1	510.6	510.6	1005.8	1005.8
2	1.95859	4000	69922.9	69922.9	514.4	514.4	1520.2	1520.2
1	1.96031	4600	83505.9	83505.9	614.4	614.4	2134.6	2134.6
TOTAL			222834	222834	1639.4	1639.4	4660.5	4660.5

Berdasarkan Tabel L.8, dapat diketahui nilai gaya geser pada model 1 arah X yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk struktur tersebut adalah 1639.4 KN. Dan diketahui nilai gaya geser pada model 1 arah Y yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk struktur tersebut adalah 1639.4 KN.

### **Model 2**

Data Struktur:

- SD1 : 0,1774
- SDS : 0,236
- R 8
- Ie 1
- S1 : 0,112

Tabel L. 9: Nilai Cs yang digunakan untuk Model 2 (R=8).

Cs minimum	Cs hitungan	Cs maksimum	CsX digunakan	CsY digunakan
0.007	0.0296	0.0126	0.0126	0.0126

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0.0126 \times 94517$$

$$V = 1188.47 \text{ KN}$$

### **Penentuan nilai k**

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3, k adalah eksponen yg terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

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

Tabel L. 12: Nilai story shear untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 2.

Story	Berat W <sub>x</sub>	h (mm)	W <sub>x</sub> .hx <sup>k</sup> (X)	W <sub>x</sub> .hx <sup>k</sup> (Y)	Force (x)	Force (y)	Story Shear (x)	Story Shear (y)
8	1.115481	4000	842037.8	842037.8	330.6	330.6	330.6	330.6
7	1.202102	4000	907425.0	907425.0	356.3	356.3	356.3	356.3
6	1.213938	4000	916359.5	916359.5	359.8	359.8	359.8	359.8
5	1.184578	4000	894196.7	894196.7	351.1	351.1	351.1	351.1
4	1.223929	4000	923901.4	923901.4	362.7	362.7	362.7	362.7
3	1.239287	4000	935494.6	935494.6	367.3	367.3	730.0	730.0
2	1.240929	4000	936734.1	936734.1	367.8	367.8	1097.8	1097.8
1	1.21777	4600	1154733.8	1154733.8	453.4	453.4	1551.2	1551.2
TOTAL			3026962.5	3026962.5	1188.5	1188.5	3379.1	3379.1

Berdasarkan Tabel L.12, dapat diketahui nilai gaya geser pada model 2 arah X yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk struktur tersebut adalah 1188.5 KN. Dan diketahui nilai gaya geser pada model 2 arah Y yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk struktur tersebut adalah 1188.5 KN.

#### L.5. Koreksi story shear dengan 35% base shear

Tabel L. 13: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1, R = 8, untuk Model 1 arah X.

Struktur <i>Fixed Base</i>			
Lantai Ke	Story Shear (V) (kg)	Base Shear (V) (kg)	Cek Base Shear < 35% V Story Shear V
4	79158.8	573.7920118	OK
3	113257.45	573.7920118	OK
2	141461.66	573.7920118	OK
1	167234.19	573.7920118	OK

Tabel L. 14: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1, R = 8, untuk Model 2.

Struktur <i>Fixed Base</i> arah			
Lantai Ke-	Story Shear (V) (kg)	Base Shear (V) (kg)	Cek 35% V Base Shear < Story Shear V
8	8220.43	415.9638415	OK
7	12735.42	415.9638415	OK
6	15027.13	415.9638415	OK
5	17064.39	415.9638415	OK
4	17802.35	415.9638415	OK
3	19659.04	415.9638415	OK
2	21896.19	415.9638415	OK
1	24387.87	415.9638415	OK

### L.6. Nilai simpangan Gedung

Tabel L. 15: Hasil Analisa nilai simpangan Gedung pada (Model 1).

Story	<i>Displacement</i>		<i>Elastic Drift</i>		<i>h</i>	<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift Limit</i>	<i>Cek</i>
	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
4	0.613	0.048	0.171	0.015	4000	0.941	0.083	61.538	OK
3	0.442	0.033	0.182	0.014	4000	1.001	0.077	61.538	OK
2	0.26	0.019	0.164	0.012	4000	0.902	0.066	61.538	OK
1	0.096	0.007	0.096	0.007	4600	0.528	0.039	70.769	OK

Tabel L. 16: Hasil Analisa nilai simpangan Gedung pada (Model 2).

Story	<i>Displacement</i>		<i>Elastic Drift</i>		<i>h</i>	<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift Limit</i>	<i>Cek</i>
	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$		$\Delta_x$	$\Delta_y$		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
8	30.613	7.713	2.567	0.493	4000	14.119	2.711	61.538	OK
7	28.046	7.220	3.144	0.710	4000	17.292	3.907	61.538	OK
6	24.902	6.510	3.710	0.940	4000	20.405	5.169	61.538	OK
5	21.192	5.570	4.003	1.054	4000	22.017	5.796	61.538	OK
4	17.189	4.516	4.253	1.128	4000	23.392	6.202	61.538	OK

3	12.936	3.388	4.185	1.129	4000	23.018	6.210	61.538	OK
2	8.751	2.259	4.494	1.203	4000	24.717	6.614	61.538	OK
1	4.257	1.057	4.257	1.057	4600	23.414	5.811	70.769	OK

### L.7. Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)

Tabel L. 17: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah X (Model

1).

Story	Story Stiffness (kN/m)	Story Stiffness > 70% Story Stiffness above	kr	ki/kr (%)	Story Stiffness < 80% Story Stiffness above
4	102139.262				
3	142422.321	OK	133494.81		
2	155922.86	OK	158467.93	116.8006868	OK
1	177058.609	OK		111.7315087	OK

Tabel L. 18: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah Y (Model

1).

Story	Story Stiffness (kN/m)	Story Stiffness > 70% Story Stiffness above	kr	ki/kr (%)	Story Stiffness < 80% Story Stiffness above
4	193787.872				
3	236954.415	OK	232362.75		
2	266345.976	OK	287804.36	114.6250727	OK
1	360112.684	OK		125.1241246	OK



Tabel L. 19: Kontrol ketidakberaturan kekauan tingkat lunak pada arah X (Model 2).

Story	Story Stiffness (kN/m)	Story Stiffness > 70% Story Stiffness above	kr	ki/kr (%)	Story Stiffness < 80% Story Stiffness above
8	105664.853				
7	142143.971	OK	134037.22		
6	154302.844	OK	156149.52		
5	172001.755	OK	171618.01	128.3238727	OK
4	188549.424	OK	193461.35	120.7492793	OK
3	219832.86	OK	212651.33	128.0942851	OK
2	229571.715	OK		118.6654178	OK
1	261535.409	OK		122.9879001	OK

Tabel L. 20: Kontrol ketidakberaturan kekauan tingkat lunak pada arah X (Model 2).

Story	Story Stiffness (kN/m)	Story Stiffness > 70% Story Stiffness above	kr	ki/kr (%)	Story Stiffness < 80% Story Stiffness above
8	88129.003				
7	142381.673	OK	131203.6497		
6	163100.273	OK	161132.7013		
5	177916.158	OK	179185.0627	135.6030556	OK
4	196538.757	OK	199986.8007	121.9732279	OK
3	225505.487	OK	227858.4127	125.8506059	OK
2	261530.994	OK		130.7741277	OK
1	383657.767	OK		168.3755111	OK

### L.8. Pengaruh Efek P-Delta

Tabel L. 21: Hasil analisa P-Delta struktur Model 1 (R=8).

Lt	Inelastic Drift		Story Forces			h (m m)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, $\theta_{max}$	Cek
	$\Delta_x$	$\Delta_y$	P (kN)	$V_x$ (kN)	$V_y$ (kN)		$\theta_X$	$\theta_Y$			
	(m m)	(m m)									
4	0.94 1	0.08 3	332.6	776.3	721	400 0	0.000 0	0.00 00	0.1	0.1	OK
3	1.00 1	0.07 7	687.2	1110. 7	1,12 2	400 0	0.000 0	0.00 00	0.1	0.1	OK
2	0.90 2	0.06 6	10465 5.3	1387. 3	1,42 6	400 0	0.003 1	0.00 02	0.1	0.1	OK
1	0.52 8	0.03 9	14059 4.2	1640. 0	1,64 0	460 0	0.001 8	0.00 01	0.1	0.1	OK

Tabel L. 22: Hasil analisa P-Delta struktur Model 2 (R=8).

Lt	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur. $\theta_{max}$	Cek
	$\Delta_x$	$\Delta_y$	P (kN)	$V_x$ (kN)	$V_y$ (kN)		$\theta_X$	$\theta_Y$			
	(mm)	(mm)									
8	14.1	2.7	14191.0	1228.8	3186.7	4000	0.007	0.001	0.1	0.1	OK
7	17.3	3.9	31604.7	1973.8	4708.6	4000	0.013	0.001	0.1	0.1	OK
6	20.4	5.2	49173.5	2487.7	5826.6	4000	0.018	0.002	0.1	0.1	OK
5	22.0	5.8	66142.7	2866.2	6663.9	4000	0.023	0.003	0.1	0.1	OK
4	23.4	6.2	83831.5	3216.8	7506.2	4000	0.028	0.003	0.1	0.1	OK
3	23.0	6.2	101686.9	3576.3	8361.1	4000	0.030	0.003	0.1	0.1	OK
2	24.7	6.6	119580.9	3939.1	9233.1	4000	0.034	0.004	0.1	0.1	OK
1	23.4	5.8	137410.1	4212.0	9802.3	4600	0.030	0.003	0.1	0.1	OK

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PENULIS

Nama : Wahyu Nugraha  
Tempat Tanggal Lahir : Tangerang, 29 September 2002  
Alamat : Perumahan Cemara Hijau Blok Q No.4

### NAMA ORANGTUA

Ayah : Ismono  
Ibu : Eti Haryati  
No. Telp : 085834268168  
Email : [waayunugraha@gmail.com](mailto:waayunugraha@gmail.com)

### RIWAYAT PENDIDIKAN

SD IT AL ULUM TUASAN MEDAN	Tahun Tamat 2014
SMP IT AL ULUM TUASAN MEDAN	Tahun Tamat 2017
SMK TELKOM 1 MEDAN	Tahun Tamat 2020
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA	2020-Selesai