

TUGAS AKHIR
PERBANDINGAN SENDI PLASTIS PADA ELEMEN KOLOM
DAN PANEL ZONE STRUKTUR SRPMK BAJA KETIKA
RUNTUH AKIBAT GEMPA

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

Disusun Oleh:

FEBI ANDIRA
2007210100



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 : Febi Andira

Npm : 2007210100

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perbandingan Sendi Plastis Pada Elemen Kolom dan Panel Zone
Struktur SRPMK Baja Ketika Runtuh 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



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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Febi Andira

Npm 2007210100

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perbandingan Sendi Plastik Pada Elemen Kolom dan Panel Zone
Struktur SRPMK Baja Ketika Runtuh 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, 18 Januari 2024
Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Ir. Adefaisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembanding 1



Ir. Sri Prafanti, M.T

Dosen Pembanding 2



Dr. Fetra Venny Riza, ST., M.Sc, Ph.D

Ketua Prodi Teknik Sipil



Assoc.Prof.Dr. Fahrizal Zulkarnain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Febi Andira
Tempat, Tanggal Lahir : Langga Payung, 11 Maret 2000
Npm : 2007210100
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Perbandingan Sendi Plastis Pada Elemen Kolom Dan Panel Zone Struktur Srpmk Baja Ketika Runtuh 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 orisinil 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 kesarjajaan saya.

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

Medan, 18 Januari 2024

Saya yang menyatakan,


Febi Andira



ABSTRAK

PERBANDINGAN SENDI PLASTIS PADA ELEMEN KOLOM DAN PANEL ZONE STRUKTUR SRPMK BAJA KETIKA RUNTUH AKIBAT GEMPA (STUDI LITERATUR)

Febi Andira

2007210100

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*. Berdasarkan hasil analisis, kolom cenderung menyerap lebih banyak energi pada kondisi gempa dekat, sehingga disarankan untuk memperkuat kolom dengan material yang lebih tahan terhadap deformasi dan kerusakan. Di sisi lain, panel zone menunjukkan kapasitas energi yang lebih tinggi pada kondisi gempa jauh, terutama pada kondisi Collapse Prevention (CP). Oleh karena itu, disarankan untuk mengoptimalkan desain panel zone dengan memperhatikan distribusi beban dan penggunaan material yang mampu menyerap energi dengan efisien.

Kata Kunci : Gempa Bumi, SRPMK, Sendi Plastis, Panel Zone

ABSTRACT

The Comparison of Plastic Hinges in Column Elements and Panel Zones of Steel SMRF Structures When Collapsing Due to Earthquakes.

(LITERATURE STUDY)

Febi Andira

2007210100

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

Earthquakes are a critical factor in structural design, necessitating the development of earthquake-resistant structures to minimize damage. A collapse performance analysis is essential to assess the capacity of steel structures, particularly in the roof and first-floor areas, by checking for permanent displacements. These areas may experience lateral shifts due to ground movements from both near-field earthquakes, with or without pulses, and far-field earthquakes. In this study, the steel SMRF structures analyzed include 4-story and 8-story steel frames, using Response Spectrum Analysis for the design phase and Linear and Nonlinear Time History Analysis for the evaluation phase, with structural analysis software and Opensees as tools. The analysis results indicate that columns tend to absorb more energy under near-field earthquake conditions, suggesting the need for reinforcement with materials more resistant to deformation and damage. Conversely, panel zones demonstrate higher energy capacity under far-field earthquake conditions, particularly during Collapse Prevention (CP). Therefore, optimizing the design of panel zones by considering load distribution and using materials capable of efficiently absorbing energy is recommended.

Keywords : Earthquake, Special Moment Resisting Frame, Plastic Hinges, Panel Zone

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 “Perbandingan Sendi Plastis Pada Elemen Kolom Dan Panel Zone Struktur Srpmk Baja Ketika Runtuh 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. Ibu Ir. Sri Prafanti, M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Dr. Fetra Venny Riza, ST., M.Sc, Ph.D selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T. 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 kepada penulis.

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Terimakasih yang istimewa kepada Ibunda tercinta Nur Asiah Tanjung yang telah bersusah payah mendidik saya serta menjadi penyemangat saya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya.
10. Terimakasih juga kepada kakak saya Fania Putri Utami Harahap, S.E. dan adik saya Fauzi Maulana Adisyah Harahap dan Falian Azra yang telah terus mendukung saya dalam mengerjakan tugas akhir saya ini.
11. Sahabat-sahabat penulis yaitu Sa'ari Amri, Wahyu Nugraha, Adiditia Ramadhan, Husni Fajar Nauli M 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, 18 Januari 2024

Penulis

Febi Andira

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	12
1.1 Latar Belakang	12
1.2 Rumusan Masalah	13
1.3 Tujuan Penelitian	14
1.4 Ruang Lingkup	14
1.5 Manfaat Penelitian	14
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	15
2.1 Sendi Plastis	15
2.2 Pemodelan Sendi Plastis Pada Elemen Kolom	16
2.3 Pemodelan Panel Zone	17
BAB 3 METODE PENELITIAN	22
3.1 Umum	22
3.2 Pemodelan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus	23
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Hasil Model Linear dan Non Linear	26
4.2 Hasil Analisa Linier	26
4.2.1 Respon Spektrum Ragam	26
4.2.2 Koreksi Gempa Dasar Nominal	27
4.2.3 Koreksi Faktor Redundansi	27
4.2.4 Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	27
4.2.5 Nilai Simpangan Gedung	28
4.2.6 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)	28
4.2.7 Pengaruh Efek P-Delta	28
4.3 Hasil Analisa Non Linier	29

4.3.1.	Interstory Drift Ratio (IDR)	29
4.3.2.	Incremental Dynamic Analysis (IDA)	31
4.3.3.	Perilaku Sendi Plastis	35
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		49
5.1.	KESIMPULAN	49
5.2.	SARAN	50
DAFTAR PUSTAKA		51

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1: Studi Terdahulu	18
Tabel 3. 1: Profil Acuan Kolom dan Balok	24
Tabel 4. 1 Nilai Gaya Geser Dasar Nominal	27
Tabel 4. 2 Kontrol Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	28
Tabel 4. 3 Energi akibat gempa dekat pada model 1	47
Tabel 4. 4 Energi akibat gempa dekat pada model 2	47
Tabel 4. 5 Energi akibat gempa jauh pada model 1	48
Tabel 4. 6 Energi akibat gempa jauh pada model 2	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1: Pemodelan Elemen Kolom	16
Gambar 2. 2: Model Panel Zone	17
Gambar 3. 1: Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3. 2: Diagram Alir Pemodelan SRPMK	23
Gambar 3. 3: Ilustrasi SRPMK	23
Gambar 3. 4: Ilustrasi Analisis Pushover dan Analisis Riwayat Waktu	24
Gambar 3. 5: bagain Alir IDA	25
Gambar 4. 1 Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa dekat pada 4 lantai	29
Gambar 4. 2 Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa dekat pada 8 lantai	30
Gambar 4. 3 Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa jauh pada 4 lantai	30
Gambar 4. 4 Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa jauh pada 8 lantai	31
Gambar 4. 5 Ilustrasi Kondisi batas pada 4 lantai, (a) IO; (b) LS; (c) CP; dan (d) Collapse.	32
Gambar 4. 6 Ilustrasi Kondisi batas pada 8 lantai, (a) IO; (b) LS; (c) CP; dan (d) Collapse	32
Gambar 4. 7 Kondisi Batas LS, CP dan Collapse Pada 4 lantai akibat gerakan tanah gempa dekat berdasarkan IDA	33
Gambar 4. 8 Kondisi Batas LS, CP dan Collapse Pada 8 lantai akibat gerakan tanah gempa dekat berdasarkan IDA	33
Gambar 4. 9 Kondisi Batas LS, CP dan Collapse Pada 4 lantai akibat gerakan tanah gempa jauh berdasarkan IDA	34
Gambar 4. 10 Kondisi Batas LS, CP dan Collapse Pada 8 lantai akibat gerakan tanah gempa jauh berdasarkan IDA	34
Gambar 4. 11 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada kolom 4 lantai akibat gempa dekat	35

Gambar 4. 12 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada panel zone 4 lantai akibat gempa dekat	36
Gambar 4. 13 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas CP pada kolom 4 lantai akibat gempa dekat	36
Gambar 4. 14 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas CP pada panel zone 4 lantai akibat gempa dekat	37
Gambar 4. 15 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada kolom 4 lantai akibat gempa dekat	37
Gambar 4. 16 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada panel zone 4 lantai akibat gempa dekat	38
Gambar 4. 17 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada kolom 8 lantai akibat gempa dekat	38
Gambar 4. 18 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada panel zone 8 lantai akibat gempa dekat	39
Gambar 4. 19 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas CP pada kolom 8 lantai akibat gempa dekat	39
Gambar 4. 20 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas CP pada panel zone 8 lantai akibat gempa dekat	40
Gambar 4. 21 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada kolom 8 lantai akibat gempa dekat	40
Gambar 4. 22 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada panel zone 8 lantai akibat gempa dekat	41
Gambar 4. 23 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada kolom 4 lantai akibat gempa jauh	41
Gambar 4. 24 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada panel zone 4 lantai akibat gempa jauh	42
Gambar 4. 25 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas CP pada kolom 4 lantai akibat gempa jauh	42
Gambar 4. 26 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas CP pada panel zone 4 lantai akibat gempa jauh	43
Gambar 4. 27 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada kolom 4 lantai akibat gempa jauh	43
Gambar 4. 28 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada panel zone 4 lantai akibat gempa jauh	44
Gambar 4. 29 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada kolom 8 lantai akibat gempa jauh	44

Gambar 4. 30 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada panel zone 8 lantai akibat gempa jauh	45
Gambar 4. 31 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Cp pada kolom 8 lantai akibat gempa jauh	45
Gambar 4. 32 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Cp pada panel zone 8 lantai akibat gempa jauh	46
Gambar 4. 33 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada kolom 8 lantai akibat gempa jauh	46
Gambar 4. 34 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada panel zone 8 lantai akibat gempa jauh	47

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi adalah peristiwa alami yang ditandai dengan getaran atau guncangan pada permukaan bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi mendadak dari dalam kerak bumi, menghasilkan gelombang seismik. Penyebab gempa adalah pergeseran pada kerak atau lempeng bumi. Area di mana terjadi gesekan antar lempeng ini dikenal sebagai zona patahan. Tumbukan antar lempeng ini menyebar dalam bentuk gelombang, yang mengakibatkan permukaan bumi dan struktur bangunan di atasnya mengalami getaran. Ketika terjadi getaran, struktur bangunan mengalami gaya-gaya karena massa bangunan berusaha untuk tetap diam menghadapi gerakan tersebut, sehingga gempa bumi cenderung menghasilkan gaya-gaya lateral pada struktur bangunan (Zachari & Turuallo, 2020).

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah sistem yang dirancang untuk memiliki tingkat daktilitas yang tinggi dan sangat disarankan untuk digunakan di daerah dengan risiko gempa bumi yang besar. Prinsip utama dari sistem ini adalah kolom kuat, balok lemah, yang memastikan ketahanan terhadap gaya geser dan memerlukan detail konstruksi yang spesifik. Kelebihan dari SRPMK terletak pada desain arsitekturnya yang simpel, sementara kerugian utamanya adalah kompleksitas dalam detail konstruksinya yang dapat menyulitkan proses pembangunan (Hirel dkk., 2018).

Ketika terjadi gempa, struktur bangunan yang memiliki daktilitas tinggi akan mengalami pembentukan sendi plastis secara bertahap di ujung-ujung elemen balok dan kolom. Sendi plastis ini berperan penting sebagai mekanisme pertahanan yang menyerap dan meredam energi gempa, sehingga membantu dalam meminimalisir kerusakan pada struktur tersebut. Hal itu karena sendi plastis merupakan kondisi dimana terjadi kerusakan pada material penampang elemen akibat rotasi yang terjadi secara terus menerus. Rotasi ini terjadi akibat adanya

penambahan beban pada struktur tersebut dan pada kondisi ini nilai momen tidak mengalami perubahan (Syaiful Anam dkk., 2020).

Studi terakhir menunjukkan berbagai perilaku SRPMK dalam merespon kejadian gempa sampai kondisi runtuh. Perilaku ini umumnya ditunjukkan oleh deformasi global seperti simpangan atap atau simpangan antar tingkat, seperti penelitian yang dilakukan Turuallo dan Anggara (2023) membahas tentang simpangan antar lantai pada gedung tingkat 5 dan penelitian Nugraha dkk., (2022) membahas simpangan antar lantai pada gedung yang memakai struktur baja. Sayangnya studi-studi ini masih sedikit mengevaluasi perilaku sendi plastis pada struktur SRPMK baja, dalam bentuk gaya vs deformasi, pada elemen balok, kolom dan jointnya ketika mengalami kondisi pada rentang *limit safety* sampai dengan *collapse prevention* (rusak sampai dengan hampir runtuh) dan juga kondisi keruntuhan. Memahami perilaku sendi plastis ini tentu akan menambah pengetahuan tentang perilaku global dan lokal elemen pada struktur yang ditinjau, sehingga bisa menambah ketahanannya terhadap ancaman getaran gempa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku sendi plastis pada elemen kolom dan elemen panel zone pada struktur SRPMK baja ketika mengalami gerakan tanah akibat gempa dekat dan gempa jauh?
2. Bagaimana pengaruh perilaku sendi plastis elemen kolom dan elemen panel zone pada kondisi batas *limit safety* dan kondisi batas *collapse prevention*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian adalah:

1. Untuk mengetahui perilaku sendi plastis, pada elemen kolom dan panel zone struktur SRPMK baja 4 dan 8 lantai akibat gempa dekat dan gempa jauh.
2. Untuk mengetahui pengaruh perilaku sendi plastis pada elemen kolom dan panel zone terhadap terjadinya kondisi *limit safety* dan kondisi *collapse prevention* pada struktur SRPMK 4 lantai dan 8 lantai akibat gempa.

1.4 Ruang Lingkup

Adapun batasan-batasan masalah yang ditetapkan pada tugas akhir ini adalah:

1. Struktur bangunan menggunakan SRPMK baja 4 dan 8 lantai.
2. Variabel yang ditinjau adalah simpangan antar tingkat, gaya dan deformasi pada elemen.
3. Elemen yang ditinjau adalah kolom dan panel zone.
4. Gempa yang digunakan tidak dibatasi jenisnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil perbandingan sendi plastis pada elemen kolom dan panel zone struktur SRPMK baja ketika runtuh akibat gempa dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana sendi plastis berperan dalam meningkatkan keamanan struktur baja terhadap gempa. Dengan desain yang lebih baik dan pemahaman yang lebih mendalam tentang sendi plastis, risiko kerusakan dan kehilangan akibat gempa dapat dikurangi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sendi Plastis

Elemen struktur kolom dan balok mengalami deformasi plastis yang dapat menyerap energi gempa ketika beban melampaui kapasitasnya. Ini disebut sendi plastis. Agar struktur tidak roboh saat gempa, kolom harus memiliki kekuatan lebih besar daripada balok. Jika kolom lebih lemah daripada balok, struktur akan ambruk seketika ketika kolom runtuh. Namun, jika balok lebih lemah daripada kolom, struktur masih dapat bertahan ketika balok runtuh. Oleh karena itu, dalam merancang struktur bangunan, hal yang utama adalah membuat kolom lebih kuat daripada balok. Salah satu cara untuk mengetahui perilaku struktur saat terkena gempa adalah dengan menggunakan analisis plastis. Analisis plastis adalah metode yang mengasumsikan bahwa struktur memiliki sifat elasto-plastis, yaitu dapat mengalami deformasi elastis dan plastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang dapat kembali ke bentuk semula setelah beban dilepas, sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen dan tidak dapat kembali ke bentuk semula. Deformasi plastis dapat menyerap energi gempa dan mencegah keruntuhan struktur. Deformasi plastis terjadi ketika beban yang bekerja pada struktur melebihi kapasitas elemen struktur, yaitu momen leleh. Momen leleh adalah momen maksimum yang dapat ditahan oleh elemen struktur sebelum mengalami deformasi plastis. Ketika momen leleh tercapai, maka elemen struktur akan membentuk sendi plastis. Sendi plastis adalah daerah dimana elemen struktur mengalami rotasi tanpa peningkatan momen. Sendi plastis menunjukkan bahwa elemen struktur telah mencapai kapasitas plastisnya (Rau dkk., 2023).

Mekanisme tahap perubahan sendi plastis adalah proses terbentuknya sendi plastis pada struktur akibat beban gempa yang bertambah. Mekanisme ini dimulai dari ujung balok, karena balok biasanya lebih lemah daripada kolom. Ketika beban gempa meningkat, maka momen pada ujung balok akan mencapai momen leleh dan membentuk sendi plastis pertama. Kemudian, beban gempa akan terdistribusi ke bagian tengah balok dan meningkatkan momen di sana. Ketika momen di bagian tengah balok mencapai momen leleh, maka akan terbentuk sendi plastis kedua.

Setelah sebagian besar balok berada pada fase pasca elastik, yaitu fase dimana elemen struktur mengalami deformasi plastis, maka beban gempa akan terdistribusi ke kolom. Kolom harus lebih kuat daripada balok agar dapat menahan beban gempa dan mencegah keruntuhan struktur. Namun, jika beban gempa terlalu besar, maka momen pada kolom juga akan mencapai momen leleh dan membentuk sendi plastis ketiga. Sendi plastis ketiga biasanya terjadi pada kaki kolom di lantai dasar, karena kaki kolom menerima beban gempa terbesar. Jika sendi plastis ketiga terbentuk, maka struktur akan mengalami keruntuhan, karena kolom tidak dapat menahan beban gempa lagi. Oleh karena itu, dalam merancang struktur tahan gempa, kolom harus dibuat lebih kuat daripada balok, sehingga sendi plastis terjadi pada balok terlebih dahulu sebelum kolom (Rau dkk., 2023).

2.2 Pemodelan Sendi Plastis Pada Elemen Kolom

Pemodelan sendi plastis pada elemen kolom mengacu pada teknik yang digunakan untuk menggambarkan bagaimana kolom dalam struktur bertingkah laku ketika dikenakan beban gempa yang menyebabkan deformasi permanen. Area sendi plastis merupakan zona di mana material telah mengalami perubahan yang tidak dapat kembali ke kondisi semula setelah beban dilepaskan. Pemodelan sendi plastis sangat penting dalam analisis struktural untuk merancang bangunan yang mampu menahan beban berlebih, dengan cara yang aman dan efisien.



Gambar 2. 1: Pemodelan Elemen Kolom

Untuk kapasitas rotasi plastis, θ_p , pada kolom dihitung berdasarkan persamaan berikut

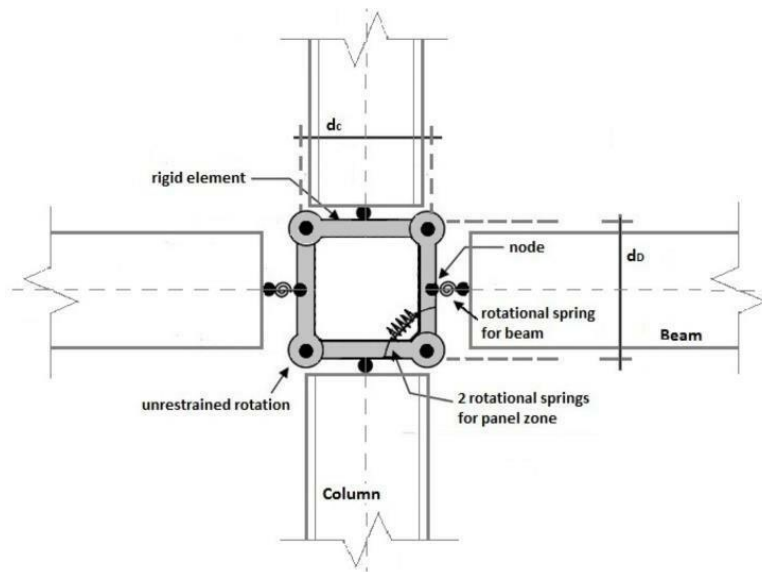
$$\theta_p = 0.0865 \cdot \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-0.365} \cdot \left(\frac{b_f}{2 \cdot t_f}\right)^{-0.140} \cdot \left(\frac{L}{d}\right)^{0.340} \cdot \left(\frac{c_{\text{unit}}^1 \cdot d}{533}\right)^{-0.721} \cdot \left(\frac{c_{\text{unit}}^2 \cdot F_y}{355}\right)^{-0.230} \quad (2.1)$$

Untuk kapasitas rotasi pasca plastis, θ_{pc} , pada kolom dihitung dengan

$$\theta_{pc} = 5.63 \cdot \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-0.565} \cdot \left(\frac{b_f}{2 \cdot t_f}\right)^{-0.800} \cdot \left(\frac{c_{unit}^1 \cdot d}{533}\right)^{-0.280} \cdot \left(\frac{c_{unit}^2 \cdot F_y}{355}\right)^{-0.430} \quad (2.2)$$

2.3 Pemodelan Panel Zone

Pemodelan panel zone adalah proses yang menggambarkan perilaku area sambungan dalam sebuah struktur, terutama di sekitar sambungan antara kolom dan balok. Zona panel seringkali dimodelkan untuk memahami bagaimana area tersebut dalam menyerap dan mendistribusikan beban yang diterima, khususnya saat terjadi beban lateral seperti gempa bumi. Model ini penting untuk merancang sambungan yang kuat dan fleksibel yang mampu menahan deformasi tanpa mengalami kegagalan struktural.



Gambar 2. 2: Model Panel Zone

Studi-studi yang telah dibuat terkait SRPMK telah banyak dilakukan di seluruh dunia, baik itu untuk material beton maupun baja. Pada bagian ini akan ditinjau beberapa literatur makalah jurnal yang terkait dengan perilaku struktur SRPMK baja dalam merespon gerakan tanah akibat gempa.

Tabel 2. 1: Studi Terdahulu

Penulis	Tahun	Uraian
Trimurtiningrum, dkk.	2023	<ul style="list-style-type: none"> • Metode: Analisis pushover • Variabel: Sendi plastis dan Gaya geser • Model: SRPMK dan Sistem ganda • Hasil: Sendi plastis pertama pada tiap permodelan terbentuk di ujung-ujung balok dengan kategori B. Sendi plastis pada ujung kolom paling bawah terbentuk pada step terakhir analisis pushover dengan kategori IO.
Mahendra & Ridwan	2023	<ul style="list-style-type: none"> • Metode: Analisis dinamik respon spektrum • Variabel: Sendi plastis • Model: SRPMK • Hasil: 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).
Dewi, dkk.	2023	<ul style="list-style-type: none"> • Metode: Respon spektrum dan Analisi Pushover • Variabel: Simpangan antar lantai dan Sendi plastis • Model: SRPMK • Hasil: Berdasarkan analisis pushover menunjukkan bahwa penggunaan sistem struktur bergantung pada faktor karakteristik gempa dan pemilihan sistem struktur mempengaruhi besar kecilnya peralihan yang terjadi serta level kinerja struktur untuk periode ulang gempa 2500 tahun.

<p>Turu'allo & Anggara</p>	<p>2023</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Metode: Analisis riwayat waktu • Variabel: Simpangan antar lantai • Model: SRPMK • Hasil: Berdasarkan analisis modal terhadap model struktur gedung rencana memiliki potensi terhadap terjadinya efek torsi akibat beban gempa. Hal ini dapat dilihat dari nilai rasio partisipasi massa (ragam pertama) akibat gerak rotasi pada arah sumbu Y sebesar 21,7% lebih besar dari gerak translasi pada arah sumbu tersebut (0,00%).
<p>Basyir, dkk.</p>	<p>2022</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Metode: Respon Spektrum dan SAP 2000 • Variabel: Simpangan antar lantai • Model: SRPMK • Hasil: Tulangan yang didapatkan dari masing masing elemen struktur telah sesuai dengan persyaratan yang diatur dalam SNI-2487-2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.
<p>Nugraha, dkk.</p>	<p>2022</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Metode: Analisis Pushover • Variabel: Gaya geser, Simpangan antar lantai dan Sendi plastis • Model: SRPMK • Hasil: Simpangan antar lantai maksimum struktur terjadi di tingkat 2 pada gempa Denali, dengan nilai simpangan sebesar 94,9245 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.

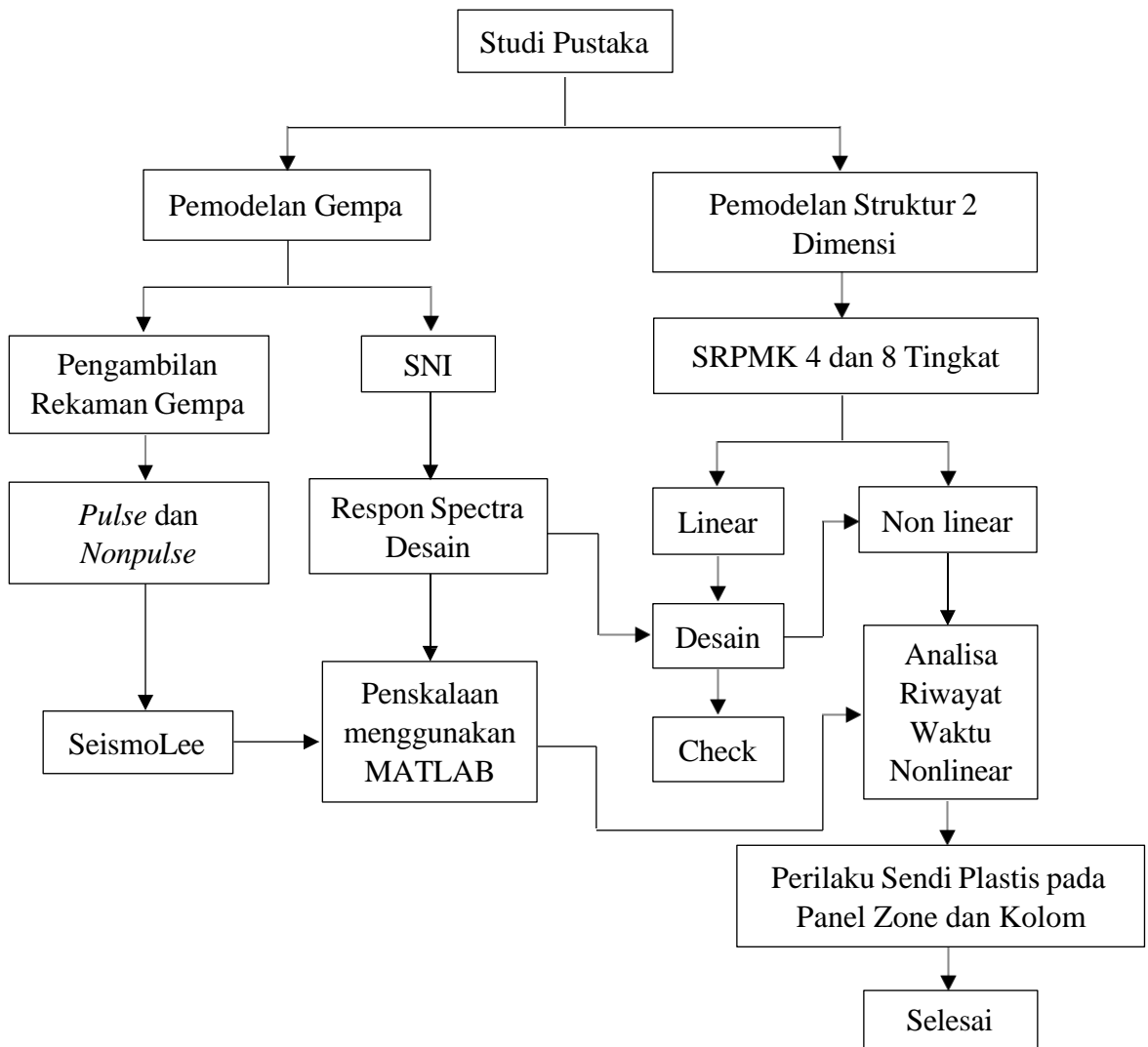
Putra	2021	<ul style="list-style-type: none"> • Metode: Incremental dynamic analysis (IDA) dan Respon spektrum • Variabel: Simpangan antar lantai • Model: SRPMK baja • Hasil: probabilitas keruntuhan struktur gedung SRPMK baja bila terkena gempa tunggal dan gempa berulang pada kondisi keruntuhan ($IDR = 10\%$) menurut FEMA 2000, nilai $RSA(T1)$ yang didapat pada gempa tunggal memerlukan nilai $RSA(T1)$ yang lebih besar dari pada gempa berulang untuk mencapai kondisi keruntuhan.
Pranata, dkk.	2021	<ul style="list-style-type: none"> • Metode: Analisis Pushover • Variabel: Simpangan antar lantai • Model: Sistem ganda dan SRPMK • Hasil: Struktur penahan gempa yang direncanakan dari data gempa di lokasi menghasilkan kategori desain seismik D dan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
Nuraga, dkk.	2021	<ul style="list-style-type: none"> • Metode: Analisis pushover • Variabel: Sendi Plastis • Model: SRPMK • Hasil: Analisis pushover arah x menghasilkan 41 step dan arah y menghasilkan 48 step, serta sendi plastis pertama terbentuk di bagian balok koridor lalu terbentuk sendi plastis lainnya di balok-balok. Namun pada balok koridor yang telah terbentuk sendi plastis pertama sudah mengalami rotasi inelastis sebesar kapasitas rotasinya sehingga mulai kehilangan kekuatan.

Almufid & Hidayah	2019	<ul style="list-style-type: none"> • Metode: Respon spektrum dan ETABS • Variabel: Gaya dalam • Model: SRPMK • Hasil: Dari hasil desain yang dilakukan didapat data dimensi dan jumlah tulangan yang digunakan pada gedung 12 lantai.
Pratama, dkk.	2018	<ul style="list-style-type: none"> • Metode: Respon Spektrum • Variabel: Sendi plastis • Model: SRPMK • Hasil: Menurut SNI 03-1726-2012 pasal 7.2.5.5, Gedung Fakultas Ekonomi Universitas Negeri Semarang (UNNES), termasuk dalam kategori desain seismic tipe D, sehingga di desain menggunakan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Perencanaan dan perhitungan analisis struktur tahan gempa sesuai dengan peraturan terbaru yaitu SNI 03-1726-2012, seluruh elemen pada gedung dapat dibentuk menjadi suatu kesatuan sistem struktur
Hajati & Noviansyah	2017	<ul style="list-style-type: none"> • Metode: Respon spektrum dan Pushover • Variabel: Sendi plastis, Keruntuhan struktur dan Simpangan antar lantai • Model: SRPMK dan SRPMM • Hasil: Simpangan yang terjadi pada struktur SRPMK lebih besar daripada struktur SRPMM, hal ini terjadi karena kekakuan pada struktur SRPMK lebih kecil daripada SRPMM yang terlihat dari dimensi SRPMK yang lebih kecil daripada SRPMM.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Umum

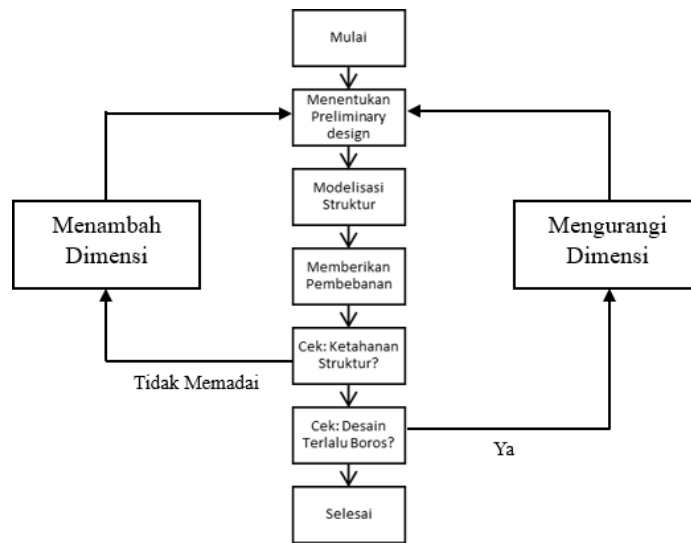
Penelitian ini akan menerapkan metode kuantitatif komparatif yang menggunakan data primer dari hasil metode analitis menggunakan bantuan software Opensees dan ETABS. Metode ini termasuk dalam jenis metode penelitian terapan yang didasarkan pada kajian literatur. Langkah-langkah penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 yang menampilkan diagram alir penelitian.



Gambar 3. 1: Diagram Alir Penelitian

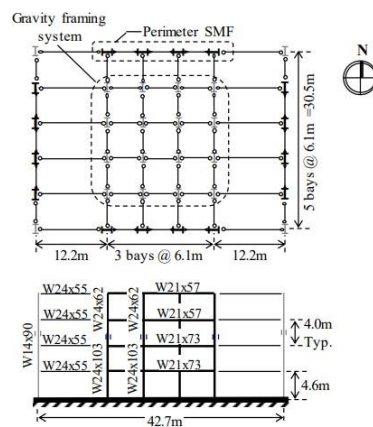
3.2 Pemodelan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus

Dalam pemodelan struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dimulai dengan penetapan desain awal hingga evaluasi ketahanan struktur desain struktur. Jika struktur tidak memadai, dilakukan penyesuaian dimensi untuk mencapai desain yang aman dan efisien, seperti yang digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2: Diagram Alir Pemodelan SRPMK

Proses pemodelan SRPMK dimulai dengan menentukan preliminary design, di mana desain awal struktur ditetapkan. Pada penelitian ini menggunakan SRPMK yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3: Ilustrasi SRPMK

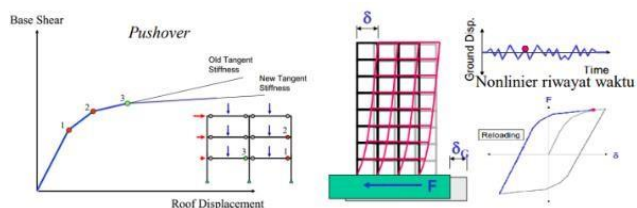
Selanjutnya, dilakukan pemilihan profil yang akan digunakan untuk struktur terkait, Pemodelan struktur SRPMK ini memakai jenis kolom dan balok WF profil USA, profil yang akan digunakan memakai acuan yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

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	W21X68	W24X94	W24X94
7	28.2	W24X84	W24X131	W24X131
6	24.2	W24X84	W24X131	W24X131
5	20.2	W27X94	W24X131	W24X176
4	16.2	W27X94	W24X131	W24X176
3	12.2	W30X116	W24X146	W24X192
2	8.2	W30X116	W24X146	W24X192
1	4.2	W30X108	W24X146	W24X192

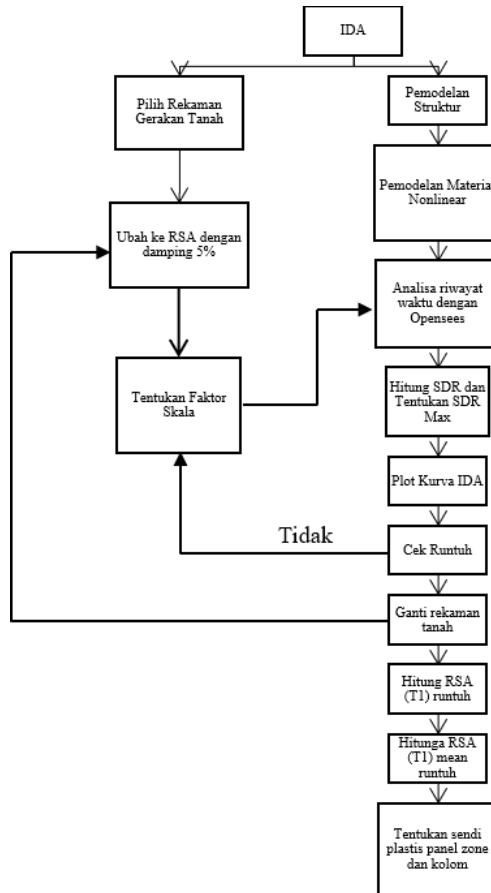
3.3 Analisa Struktur

Dalam analisa struktur ada beberapa metode yang digunakan termasuk analisis Riwayat Waktu yang mana merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi perilaku struktur gedung selama gempa. Dari analisis ini, kita dapat memahami gaya geser dasar gedung, peralihan atap, simpangan antar tingkat untuk nonlinier dinamik riwayat waktu sendiri dengan mengganti beban yang bekerja dengan rekaman gempa (Ertanto dkk., 2017).



Gambar 3. 4: Ilustrasi Analisis Riwayat Waktu

Kemudian analisis yang dilakukan pada Gambar 3.5 adalah IDA yang bertujuan untuk memberikan pemahaman yang mendalam tentang bagaimana bangunan akan bereaksi terhadap berbagai tingkat gempa bumi.



Gambar 3. 5: bagain Alir IDA

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Model Linear dan Non Linear

Bab ini menguraikan hasil analisis linier dan non-linier menggunakan program analisis struktur, termasuk periode getar, nilai simpangan, dan gaya-gaya pada struktur gedung. Berdasarkan model yang didesain dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), yaitu Model 1 untuk SRPMK 4 Lantai dan Model 2 untuk SRPMK 8 Lantai. Semua input pembebanan, kombinasi, zona gempa, dan konfigurasi bangunan tetap sama. Selain itu, bab ini membandingkan metode analisis pada setiap pemodelan, yaitu analisis respon spektrum ragam dan analisis respon 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 struktur. Analisis ini harus mencakup jumlah mode yang cukup untuk mencapai partisipasi massa gabungan minimal 90 persen dari massa aktual dalam setiap arah horizontal ortogonal yang ditinjau oleh model. Persentase nilai periode ini menentukan jenis perhitungan yang digunakan, yaitu CQC atau SRSS.

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

Analisis menggunakan metode CQC (Complete Quadratic Combination) menunjukkan bahwa persentase rata-rata periode yang diperoleh kurang dari 15%, sedangkan metode SRSS (Square Root of the Sum of Square) menghasilkan persentase lebih dari 15%. Hasil analisis menunjukkan:

- 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

Menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, jika kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) kurang dari 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 sesuai dengan persamaan 4.1.

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

Dimana:

V_1 = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

V_t = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Tabel 4.1: Menampilkan nilai gaya geser dasar nominal dari analisis statik ekuivalen (V_1) dan nilai gaya geser dasar nominal dari analisis respon spektrum yang dihasilkan oleh Program Analisa Struktur (V_t).

Tabel 4. 1 Nilai Gaya Geser Dasar Nominal

Struktur	Arah Gempa	V_1 (KN)	V_t (KN)
Model 1	Gempa X (R=8)	944,9	567,2
Model 2	Gempa X (R=8)	1594,2	1189,5

Agar memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 1726:2012, nilai faktor skala harus kurang dari atau sama dengan 1.

4.2.3. Koreksi Faktor Redundansi

Nilai gaya geser dengan redundansi 1 per lantai harus disesuaikan dengan 35 persen dari gaya geser dasar dengan redundansi 1. Jika persyaratan ini tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1 harus diganti dengan 1,3. Dari hasil penyesuaian gaya geser, 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 dari analisis respon spektrum (V_t) dapat ditemukan pada Tabel 4.1. Kontrol koreksi skala simpangan antar tingkat adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Kontrol Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Struktur	Arah Gempa	V_t (KN)	0,85 CS.W	Cek
Model 1	Gempa X (R=8)	567,2	523,8	OK
Model 2	Gempa X (R=8)	1189,5	1085,3	OK

4.2.5. Nilai Simpangan Gedung

Menurut SNI 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya memiliki satu batas kinerja, yaitu batas kinerja ultimit. Simpangan antar lantai yang diizinkan adalah 0,02 kali tinggi lantai, dan nilai simpangan tidak boleh melebihi batas tersebut. Berdasarkan hasil yang diperoleh, nilai simpangan antar lantai tidak melebihi batas yang diizinkan atau memenuhi syarat. Hasil perhitungan dapat ditemukan di lampiran.

4.2.6. Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)

Menurut SNI 1726:2012, tingkat lunak (soft story) didefinisikan sebagai tingkat yang memiliki kekakuan lateral kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Berdasarkan hasil kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x untuk semua model, nilai persentase kekakuan berada di atas batas yang ditentukan, sehingga struktur yang direncanakan tidak mengalami soft story. Hasil perhitungan dapat ditemukan di lampiran.

4.2.7. Pengaruh Efek P-Delta

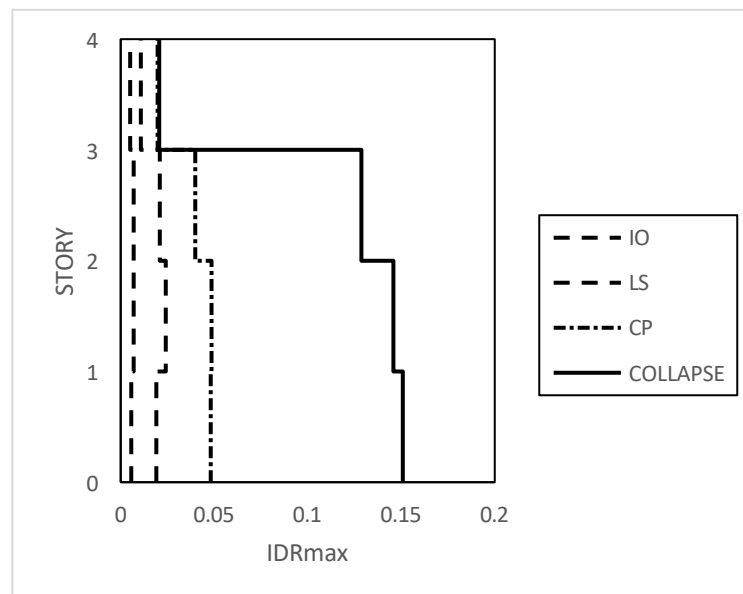
Menurut SNI 1726:2012, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai rasio stabilitas kurang dari 1. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai rasio stabilitas di bawah 1 untuk semua model, sehingga kontrolnya memenuhi syarat yang ditentukan. Pada dasarnya, efek P-delta dapat diabaikan jika syarat rasio stabilitas sudah terpenuhi. Hasil perhitungan dapat ditemukan di lampiran.

4.3. Hasil Analisa Non Linier

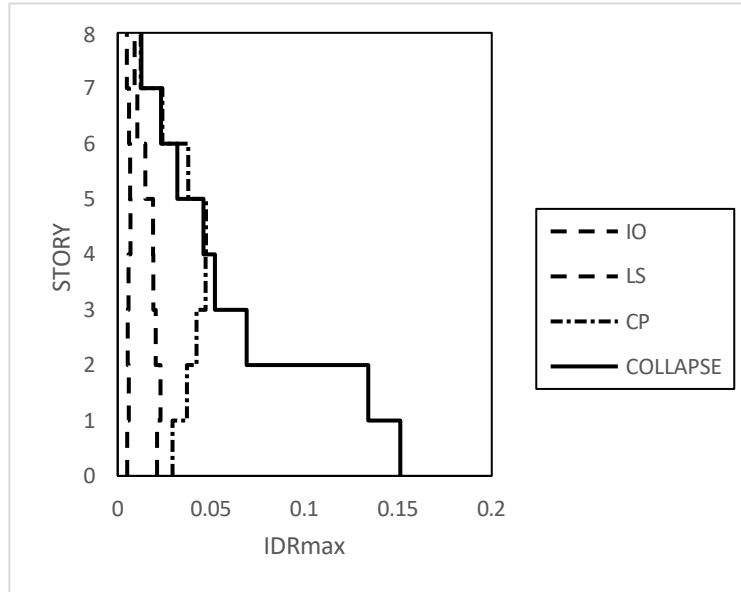
Tahap ini merupakan bagian dari evaluasi struktur baja yang telah dirancang untuk beban gempa yang direncanakan. Dalam evaluasi ini, respons struktur akan ditinjau berdasarkan perbedaan jenis gempa, faktor R pada gedung, dan periode struktur bangunan. Jenis gempa yang diterapkan pada struktur baja meliputi gempa dekat dengan pulse, gempa dekat tanpa pulse, dan gempa jauh. Faktor R pada gedung adalah faktor reduksi yang diterapkan pada gedung yang dirancang dengan berbagai sistem struktur baja. Perbedaan nilai periode diperoleh dari kedua jenis model yang telah dirancang. Setiap model struktur akan diambil data deformasi geser, gaya geser dan interstory drift setelah dianalisis, nilai tersebut dibandingkan terhadap faktor - faktor yang telah disebutkan diatas.

4.3.1. Interstory Drift Ratio (IDR)

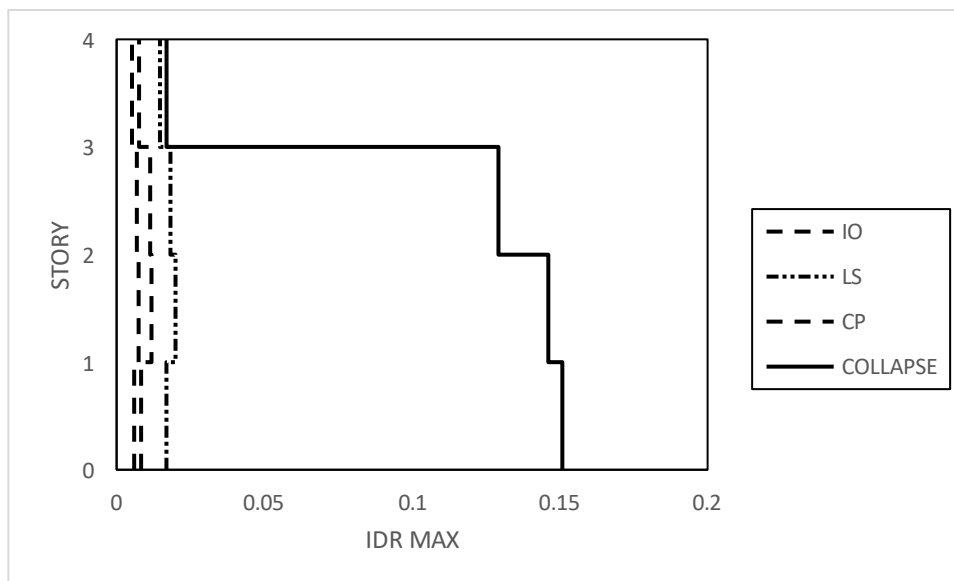
Sejalan dengan target kondisi batas yang ingin dicapai, gambar di bawah ini menunjukkan peningkatan nilai IDRmax akibat rekaman gerakan tanah gempa. Evaluasi terhadap SRPMK baja bertingkat 4 dan 8 juga menunjukkan perubahan respons tingkat maksimum menuju ke tingkat bawah.



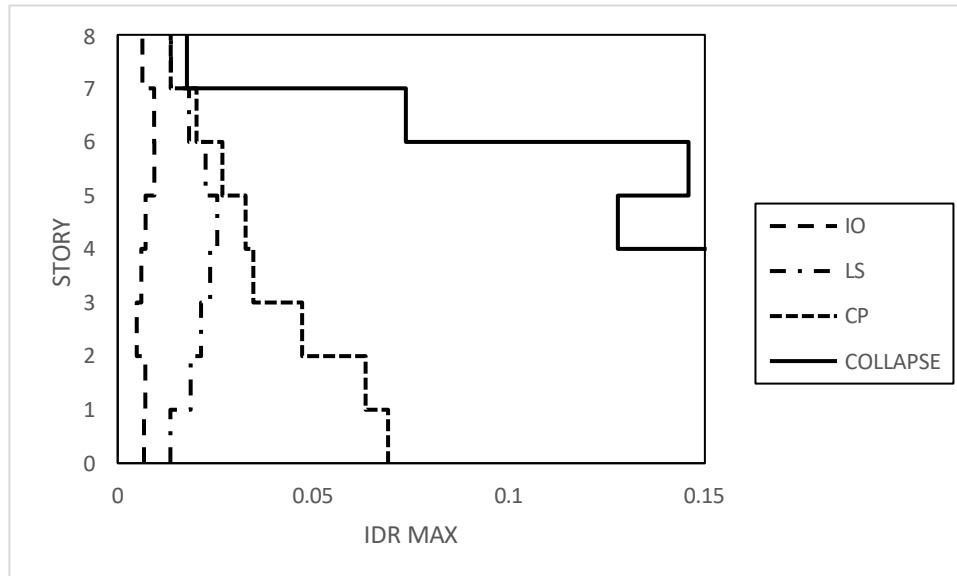
Gambar 4. 1 Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa dekat pada 4 lantai



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



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

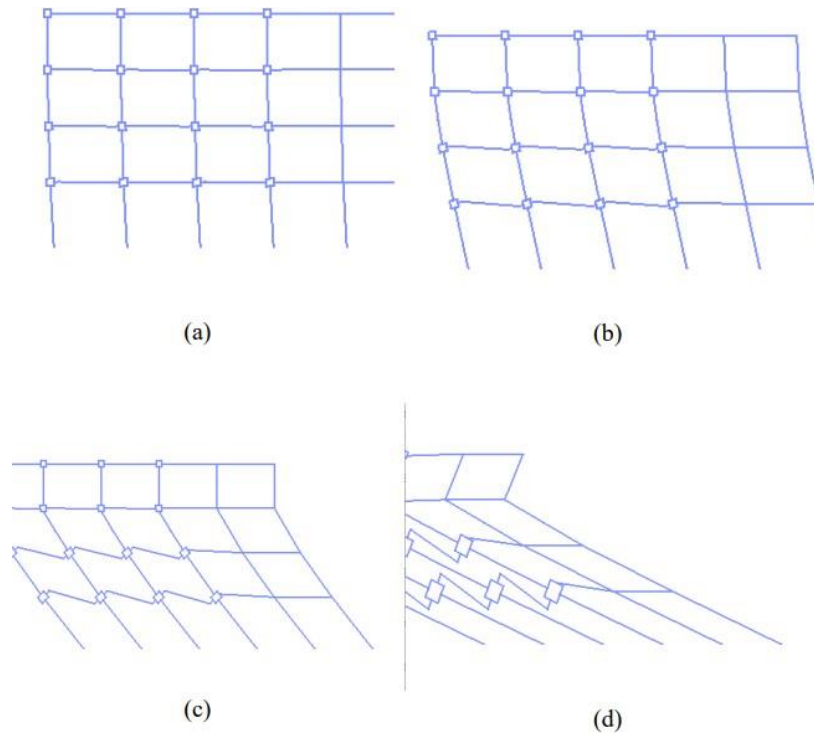


Gambar 4. 4 Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa jauh pada 8 lantai

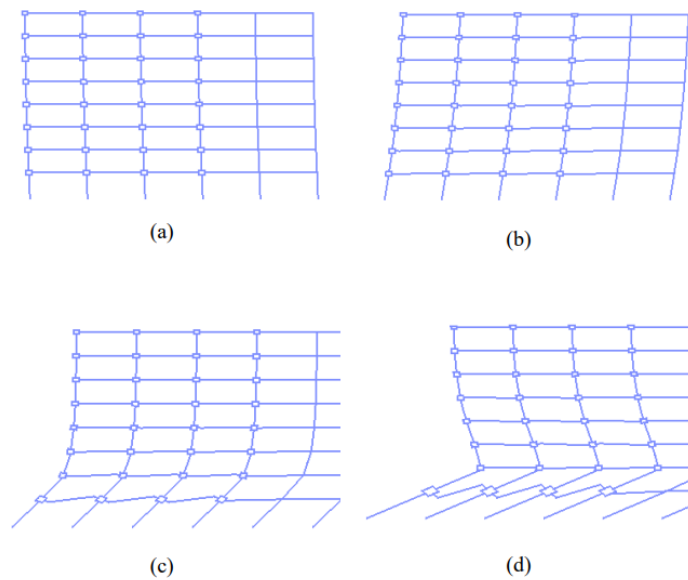
4.3.2. Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Incremental Dynamic Analysis yang dilakukan pada kedua model struktur memberikan gambaran respons. Untuk menentukan intensitas gempa yang dapat mencapai kondisi batas seperti IO (immediate occupancy), LS (life safety), dan CP (collapse prevention), digunakan analisis bertahap respon riwayat waktu nonlinear (incremental dynamic analysis atau IDA). Untuk mengetahui nilai keruntuhan struktur, kondisi batas yang diperhatikan adalah LS (Life Safety), CP (collapse prevention) dan kondisi runtuh (Collapse).

Kondisi batas IO adalah kondisi dimana struktur mengalami sedikit kerusakan pada elemen, LS adalah ketika struktur mengalami kerusakan tetapi tidak menimbulkan keruntuhan dan Kondisi batas CP adalah kondisi di mana struktur kehilangan kemampuan menahan gaya lateral dan kestabilannya, yang ditandai dengan banyaknya elemen struktur yang rusak saat IDRmax mencapai 0,05. Sementara itu, kondisi batas runtuh (Collapse) terjadi ketika IDRmax mencapai 0,1, atau ketika kekakuan pasca-elastis pada kurva IDA mencapai kemiringan 20% dari kekakuan elastisnya.

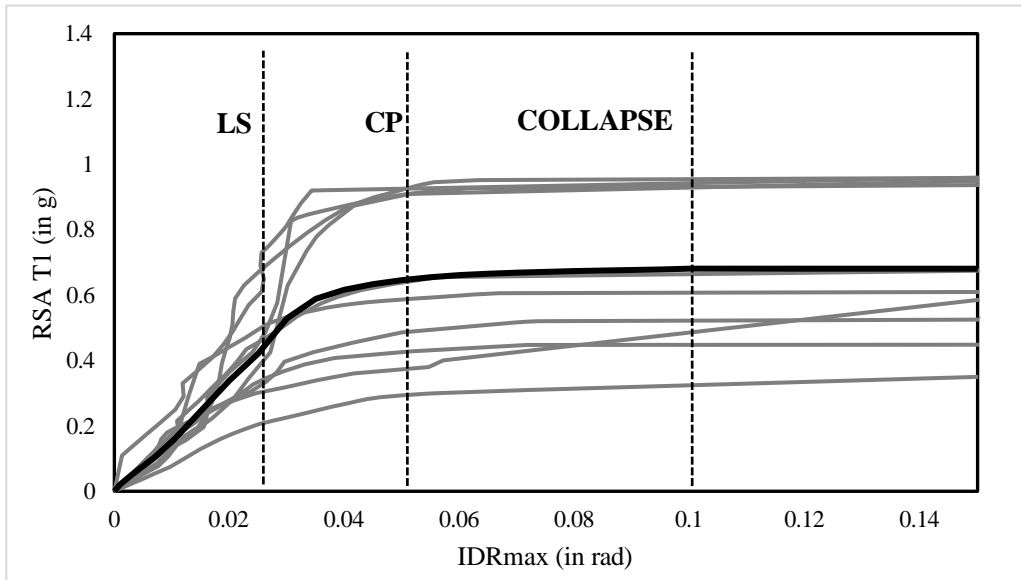


Gambar 4. 5 Ilustrasi Kondisi batas pada 4 lantai, (a) IO; (b) LS; (c) CP; dan (d) Collapse.

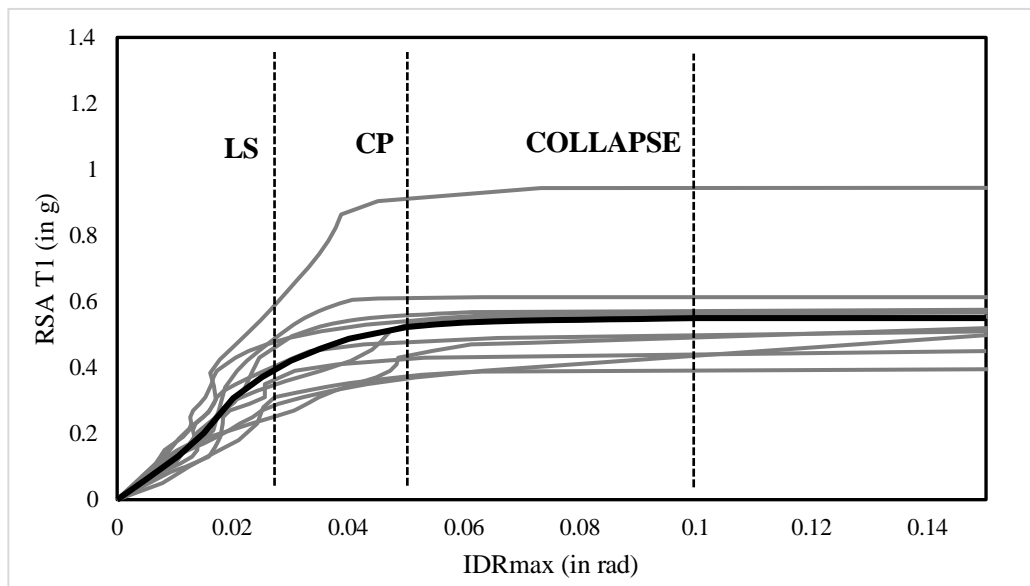


Gambar 4. 6 Ilustrasi Kondisi batas pada 8 lantai, (a) IO; (b) LS; (c) CP; dan (d) Collapse

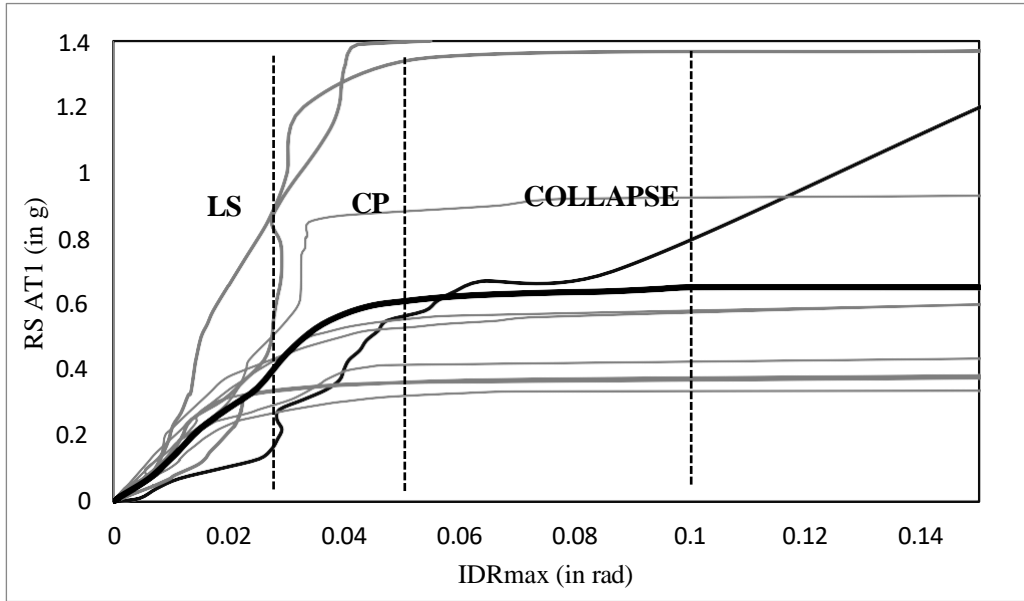
Respon IDRmax ini dihasilkan dari analisis struktur dinamik bertingkat (incremental dynamic analysis atau IDA) dan dilakukan hingga melewati kondisi batas LS, CP, dan mencapai kondisi runtuh. Gambar 4.7 hingga 4.10 menunjukkan respons IDRmax yang diplot terhadap nilai respon spektrum percepatan gerakan tanah pada periode alami struktur, RSA(T1).



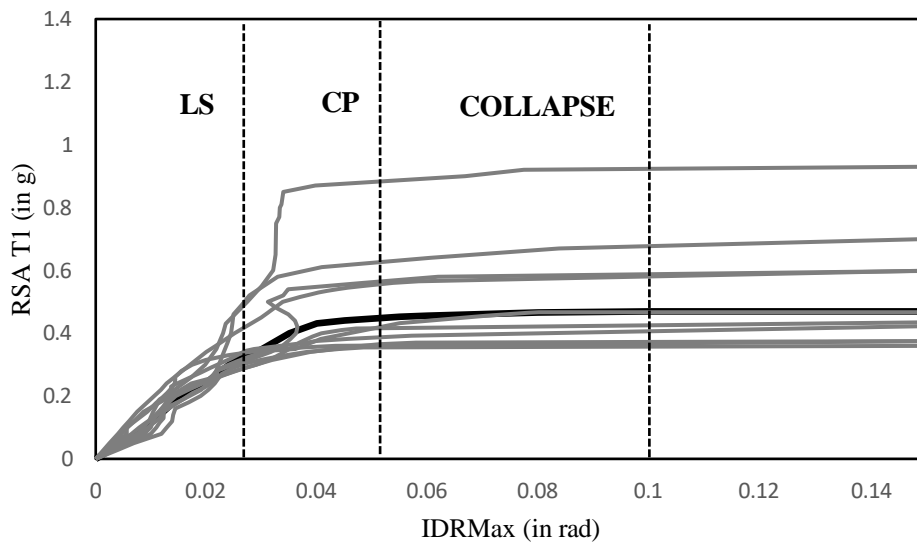
Gambar 4. 7 Kondisi Batas LS, CP dan Collapse Pada 4 lantai akibat gerakan tanah gempa dekat berdasarkan IDA



Gambar 4. 8 Kondisi Batas LS, CP dan Collapse Pada 8 lantai akibat gerakan tanah gempa dekat berdasarkan IDA



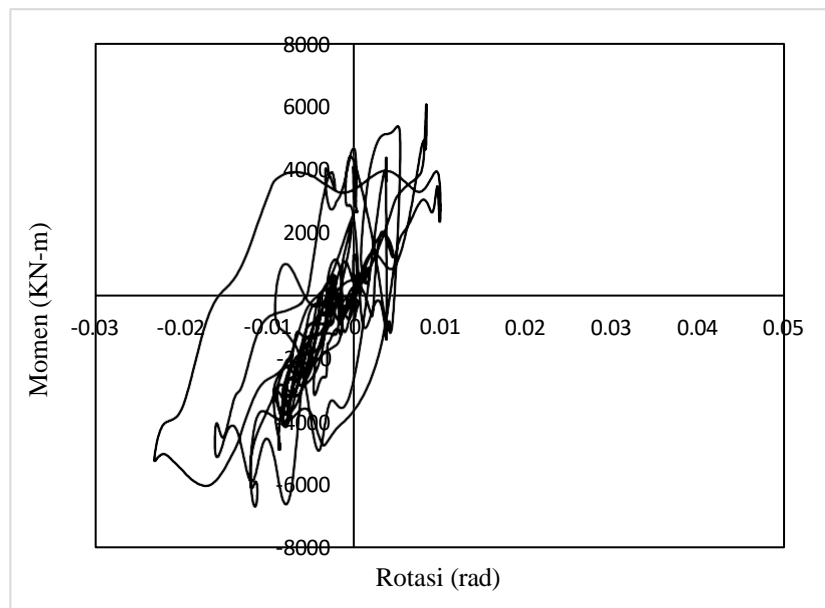
Gambar 4. 9 Kondisi Batas LS, CP dan Collapse Pada 4 lantai akibat gerakan tanah gempa jauh berdasarkan IDA



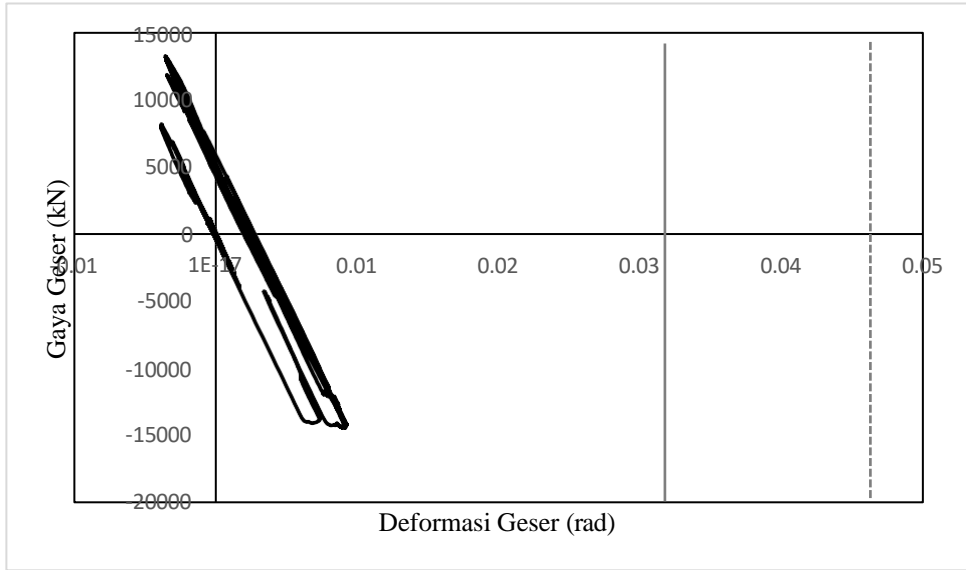
Gambar 4. 10 Kondisi Batas LS, CP dan Collapse Pada 8 lantai akibat gerakan tanah gempa jauh berdasarkan IDA

4.3.3. Perilaku Sendi Plastis

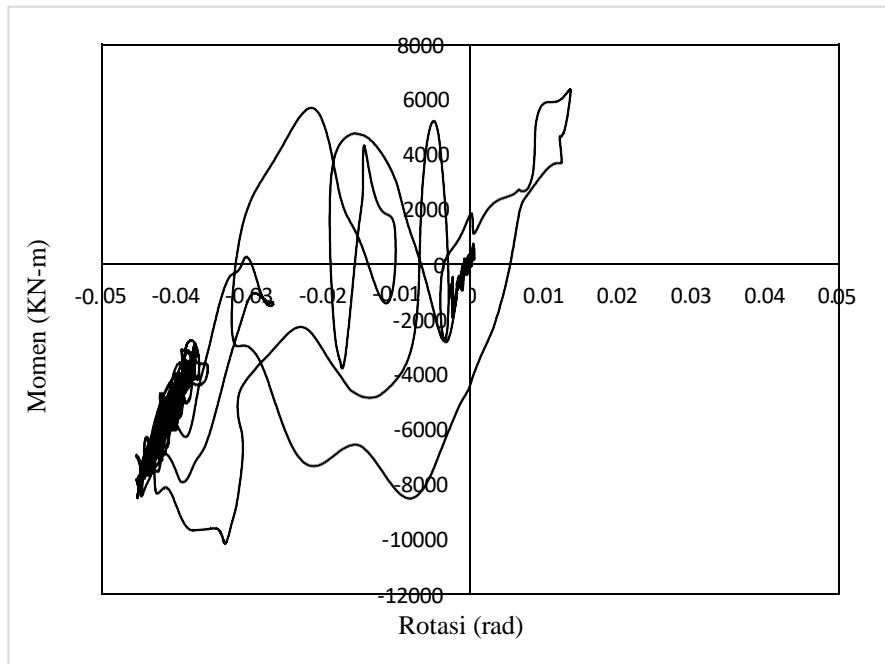
Untuk mencapai perilaku yang diinginkan, analisis hasil deformasi non-linear akan didasarkan pada respons riwayat waktu dari deformasi IDR. Gambar di bawah ini menunjukkan perubahan pada kolom dan panel zone akibat deformasi IDR dan gaya yang terjadi ketika gempa dekat dan jauh saat mencapai kondisi batas IO, LS, CP, dan runtuh. Rekaman gempa ini dipilih untuk mewakili semua rekaman gerakan tanah yang digunakan. Dari gambar 4.11 sampai 4.34 menunjukkan hasil respon gaya dan deformasi geser pada panel zone SRPMK baja akibat rekaman gerakan tanah gempa dekat dan gempa jauh. Garis abu-abu tipis dan garis abu-abu tebal putus-putus pada gambar tersebut menjelaskan batas deformasi geser pasca leleh yaitu $4\gamma = 0.03182$ dan $6\gamma = 0.04774$. Nilai 4γ menjelaskan nilai deformasi geser plastis (γ_P)



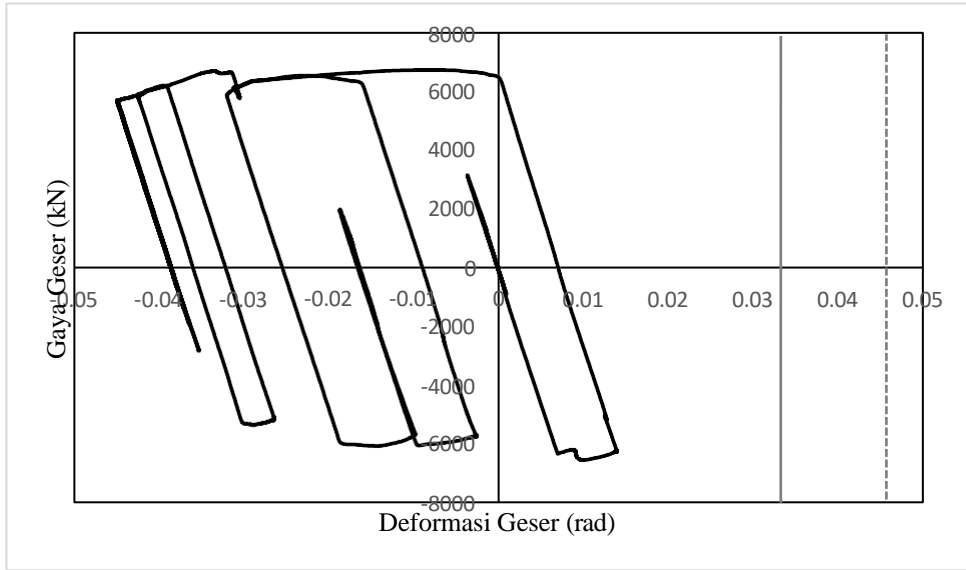
Gambar 4. 11 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada kolom 4 lantai akibat gempa dekat



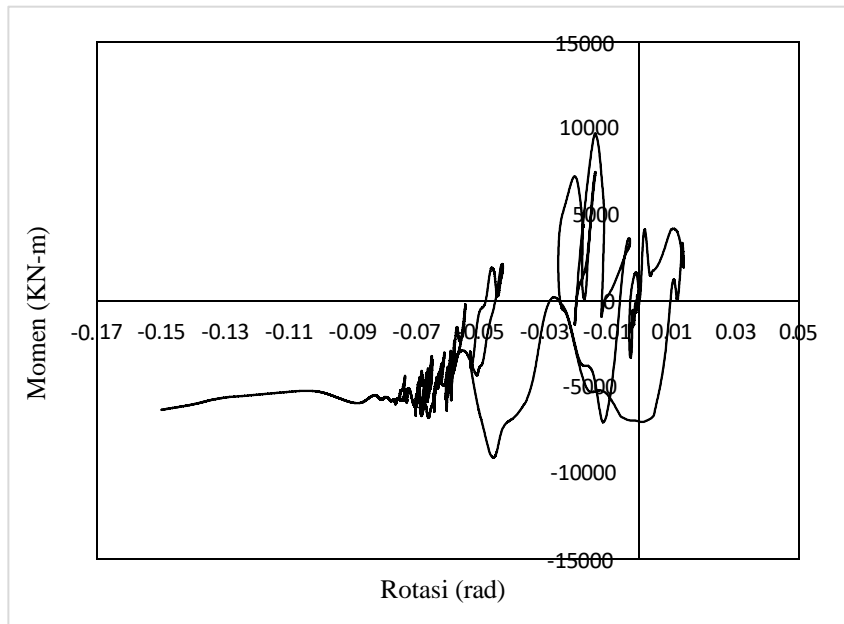
Gambar 4. 12 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada panel zone 4 lantai akibat gempa dekat



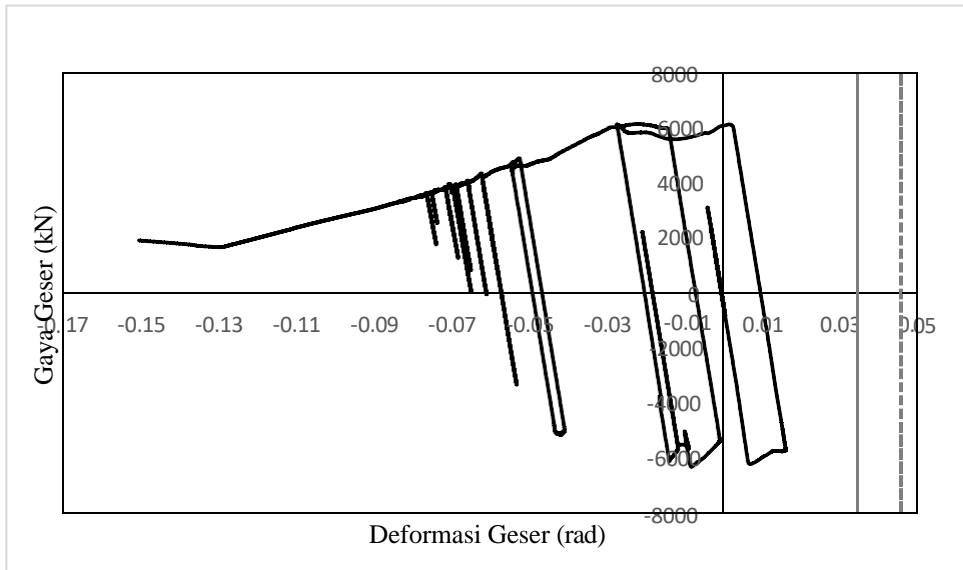
Gambar 4. 13 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas CP pada kolom 4 lantai akibat gempa dekat



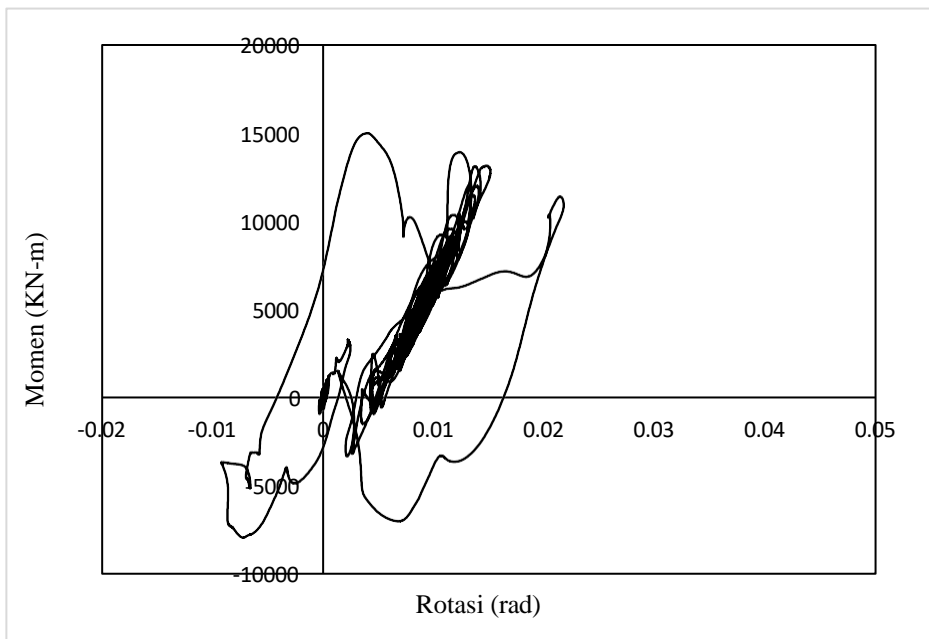
Gambar 4. 14 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas CP pada panel zone 4 lantai akibat gempa dekat



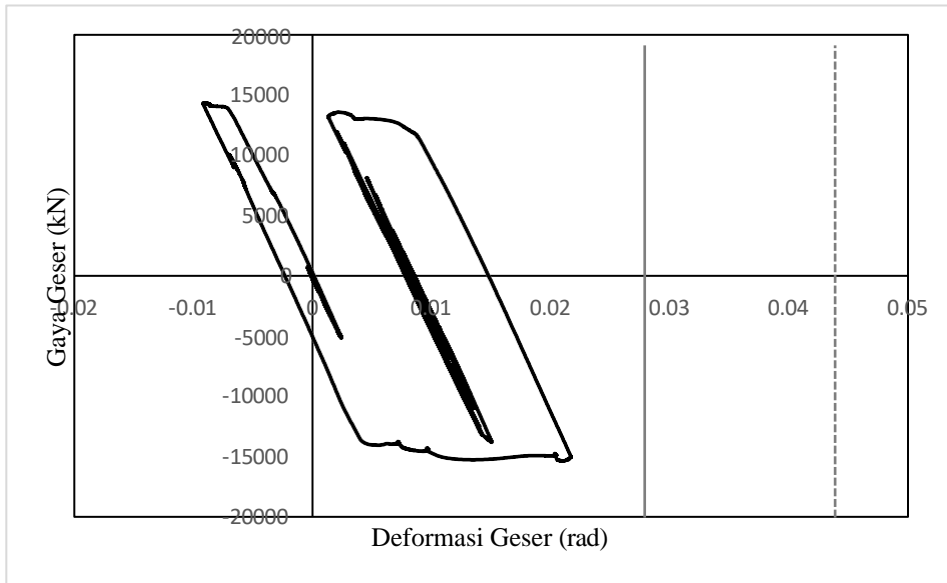
Gambar 4. 15 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada kolom 4 lantai akibat gempa dekat



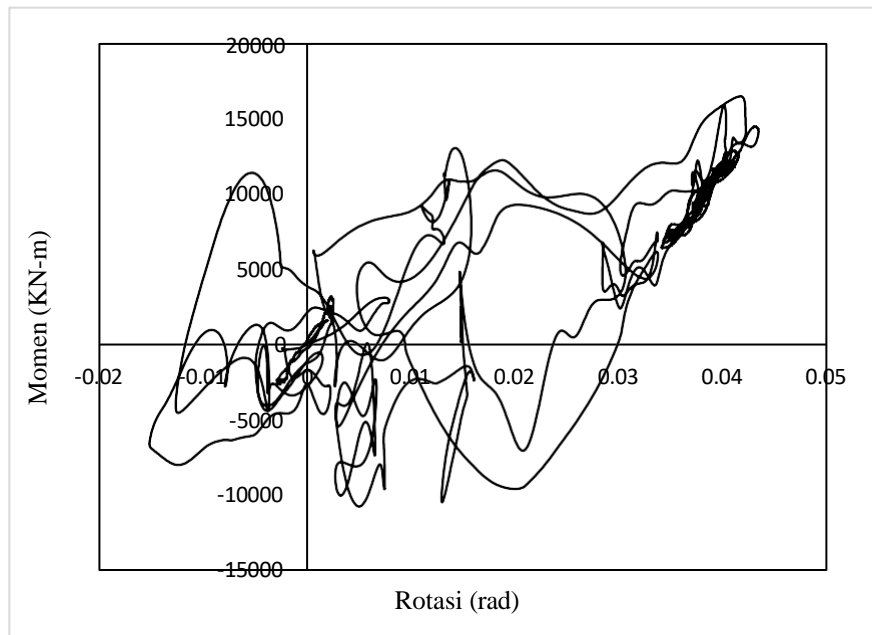
Gambar 4. 16 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada panel zone 4 lantai akibat gempa dekat



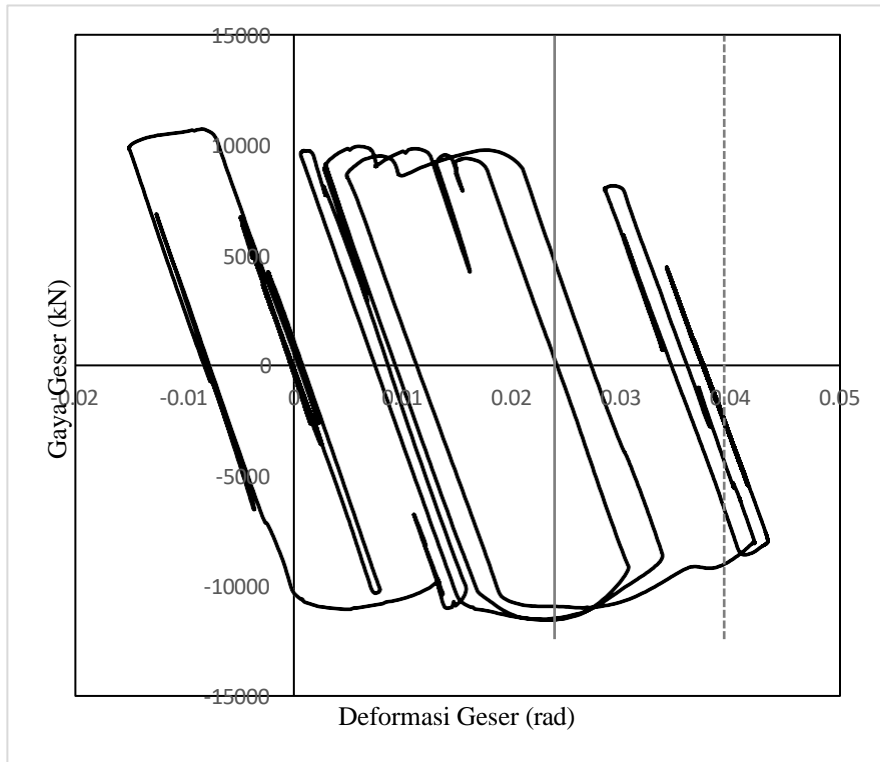
Gambar 4. 17 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada kolom 8 lantai akibat gempa dekat



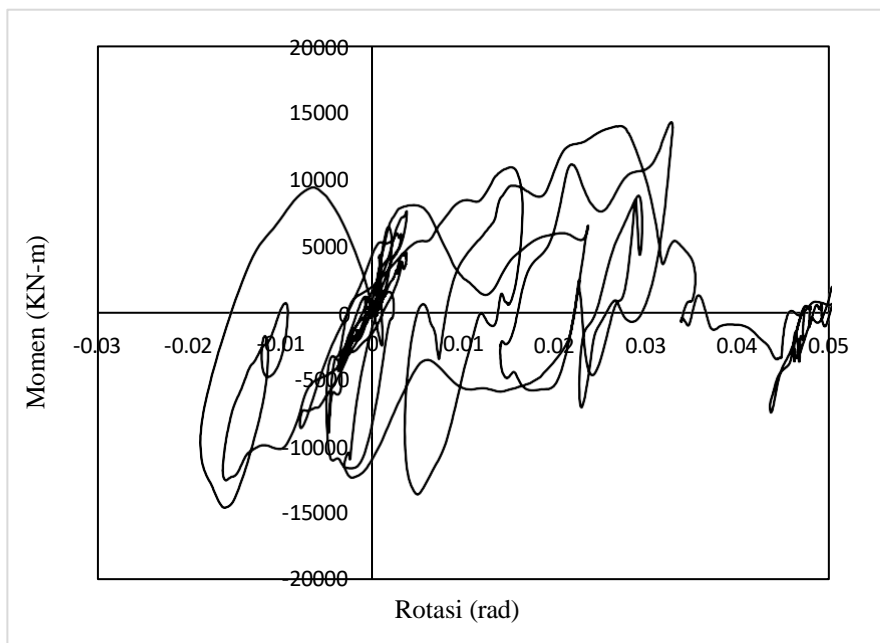
Gambar 4. 18 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada panel zone 8 lantai akibat gempa dekat



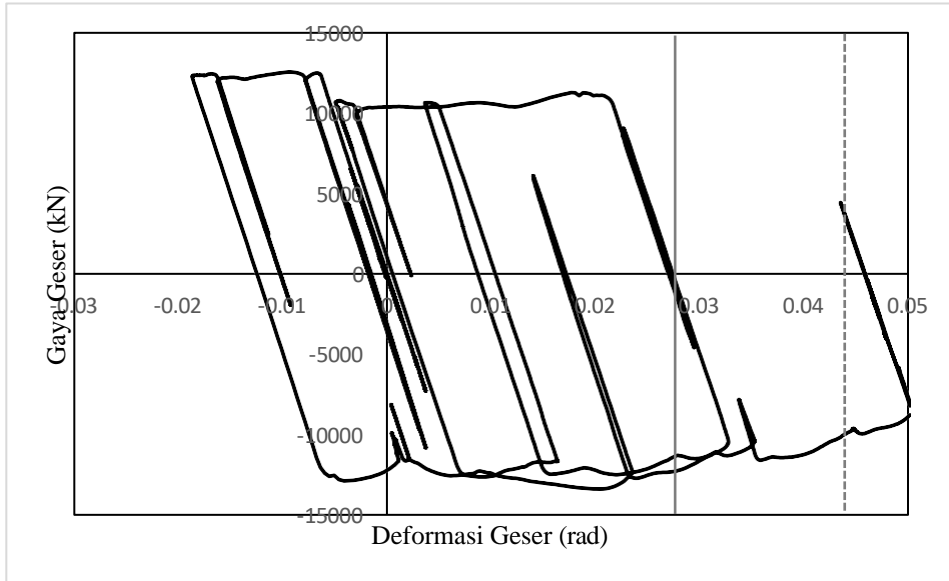
Gambar 4. 19 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas CP pada kolom 8 lantai akibat gempa dekat



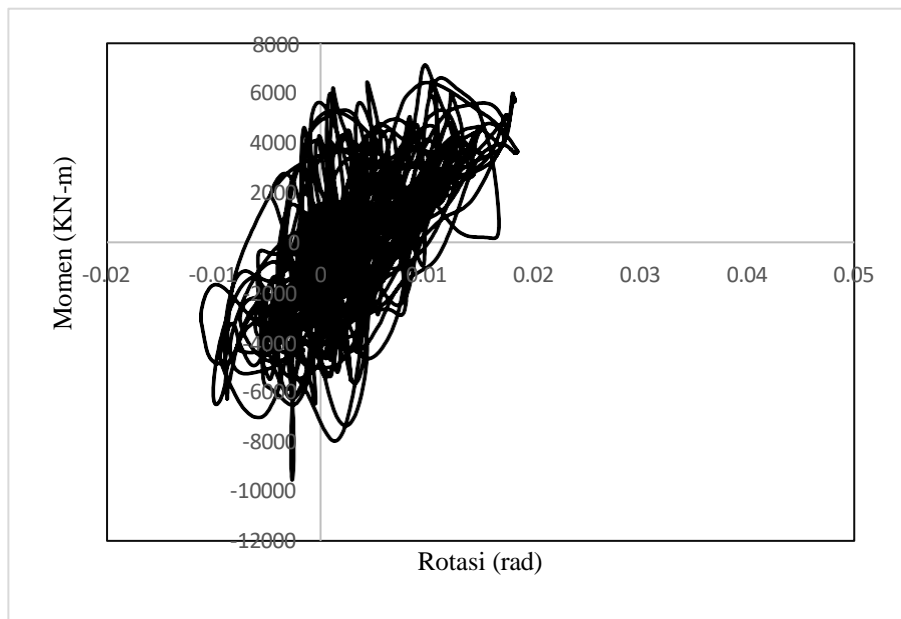
Gambar 4. 20 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas CP pada panel zone 8 lantai akibat gempa dekat



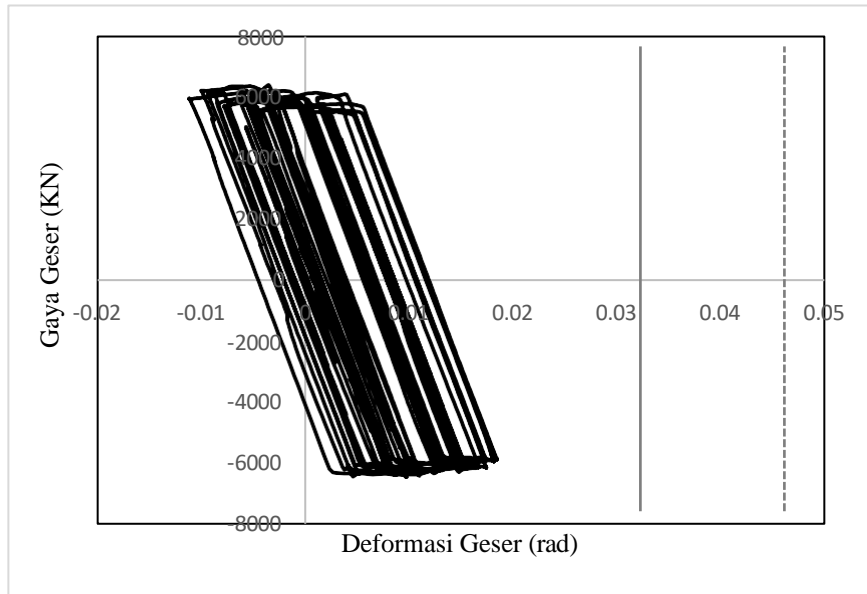
Gambar 4. 21 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada kolom 8 lantai akibat gempa dekat



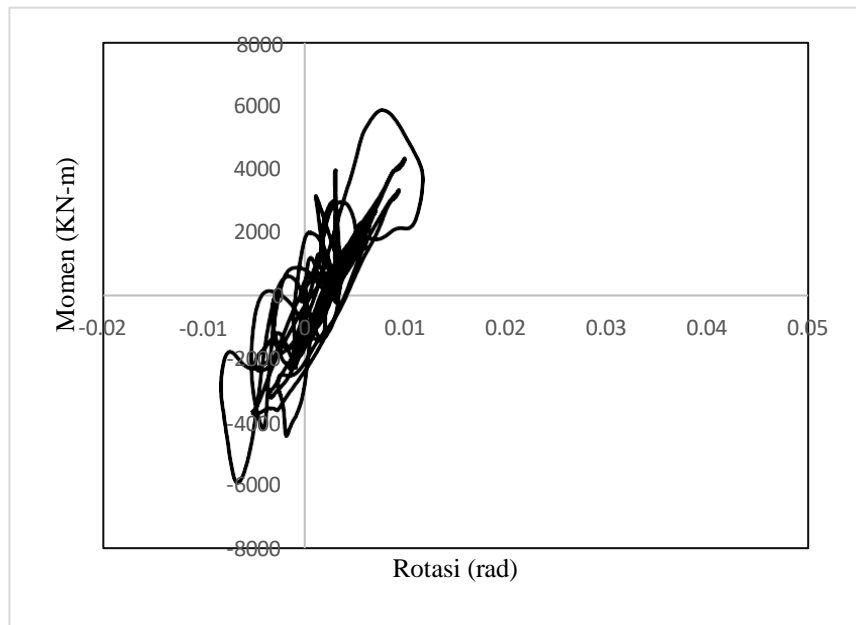
Gambar 4. 22 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada panel zone 8 lantai akibat gempa dekat



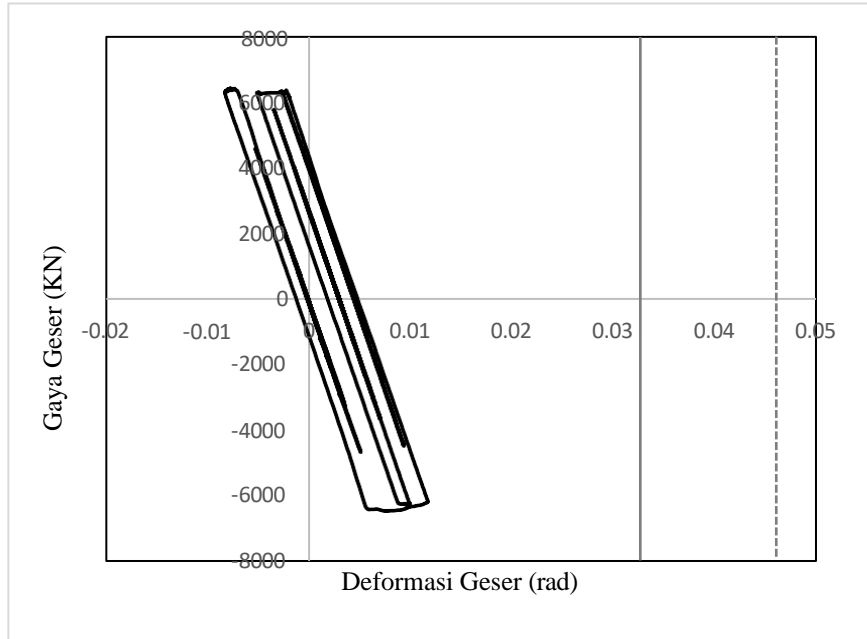
Gambar 4. 23 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada kolom 4 lantai akibat gempa jauh



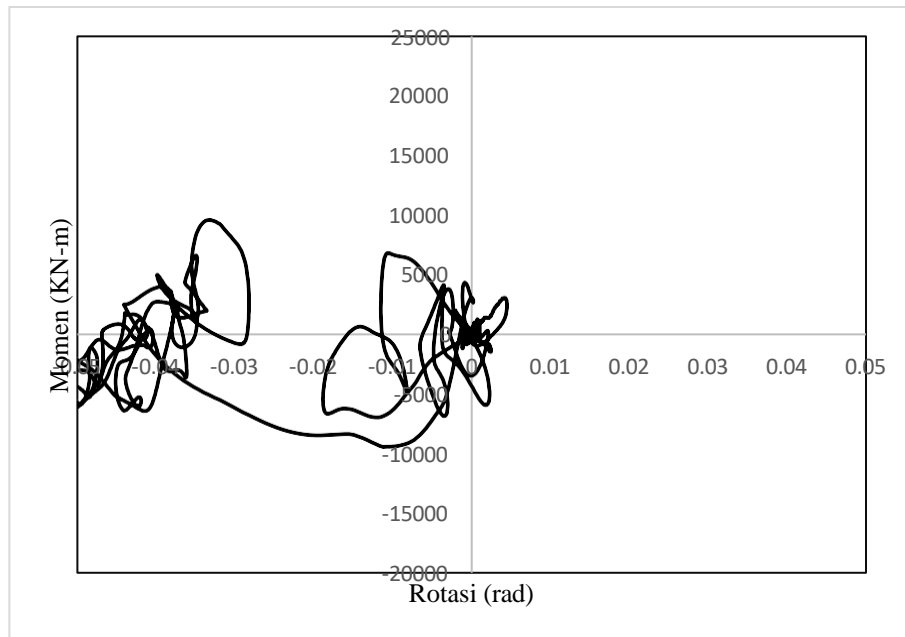
Gambar 4. 24 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada panel zone 4 lantai akibat gempa jauh



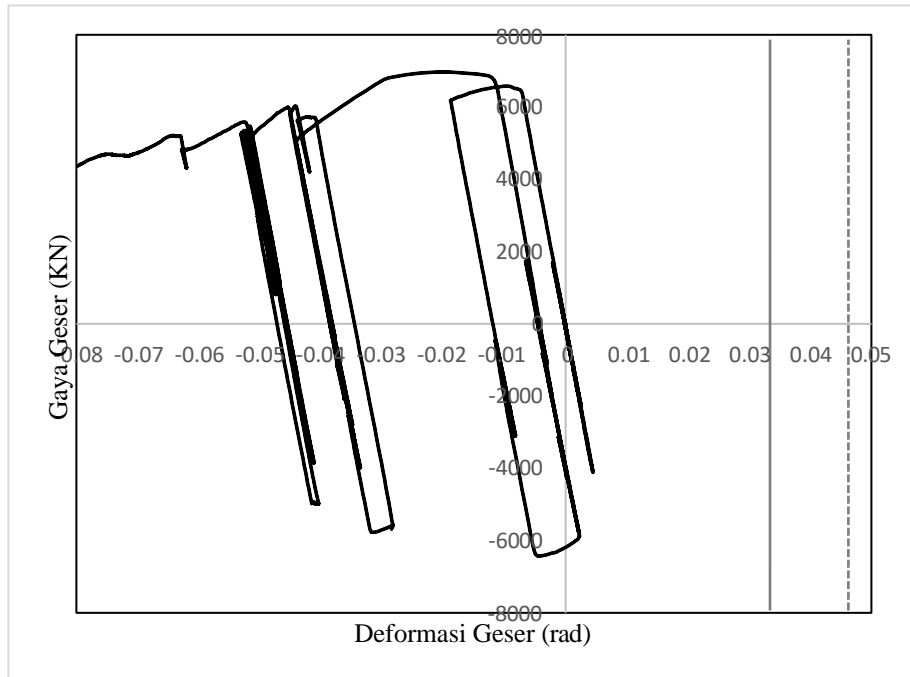
Gambar 4. 25 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas CP pada kolom 4 lantai akibat gempa jauh



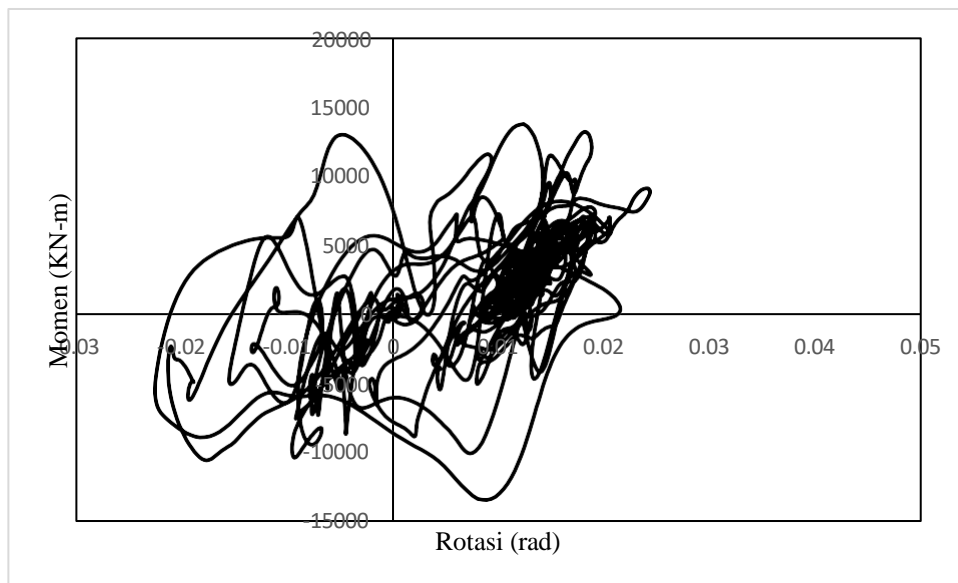
Gambar 4. 26 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas CP pada panel zone 4 lantai akibat gempa jauh



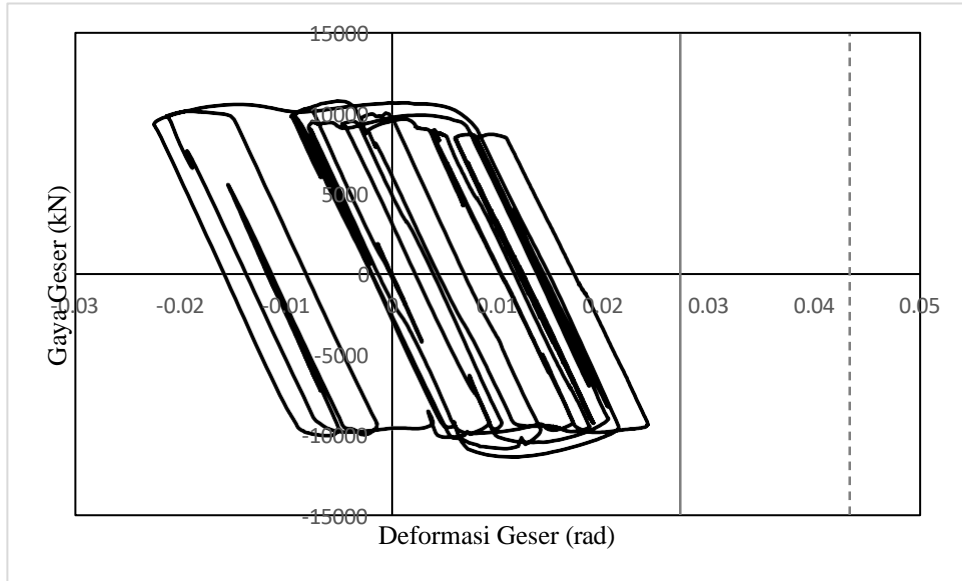
Gambar 4. 27 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada kolom 4 lantai akibat gempa jauh



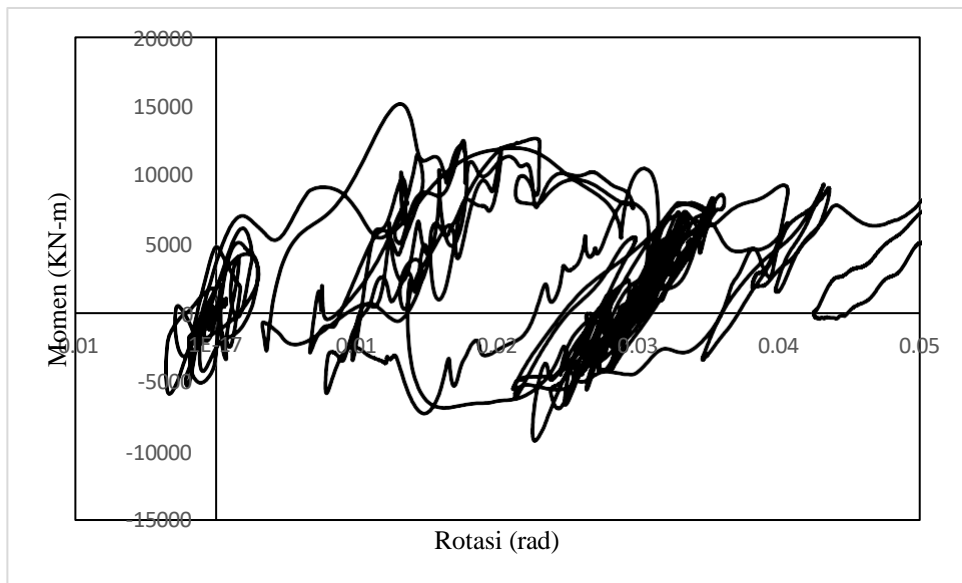
Gambar 4. 28 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada panel zone 4 lantai akibat gempa jauh



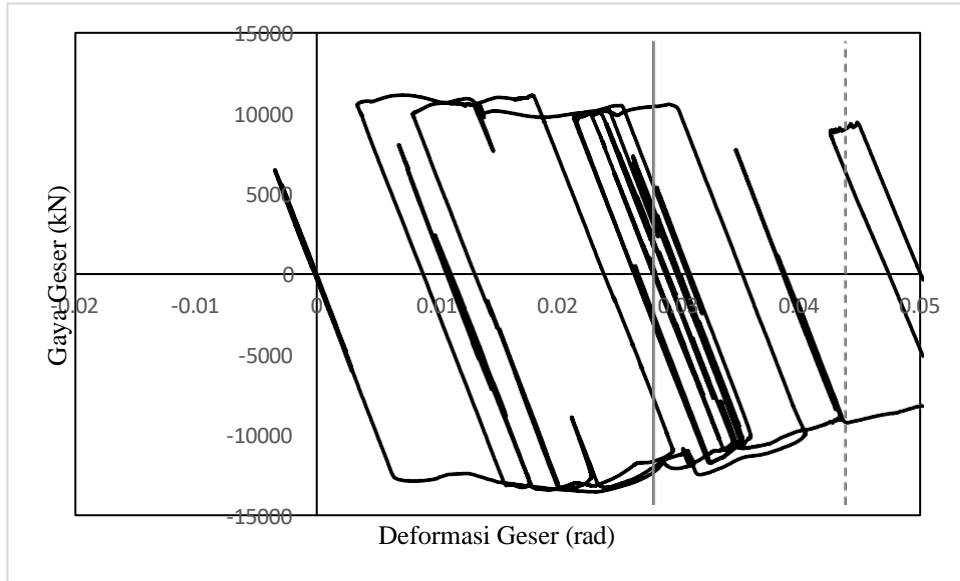
Gambar 4. 29 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada kolom 8 lantai akibat gempa jauh



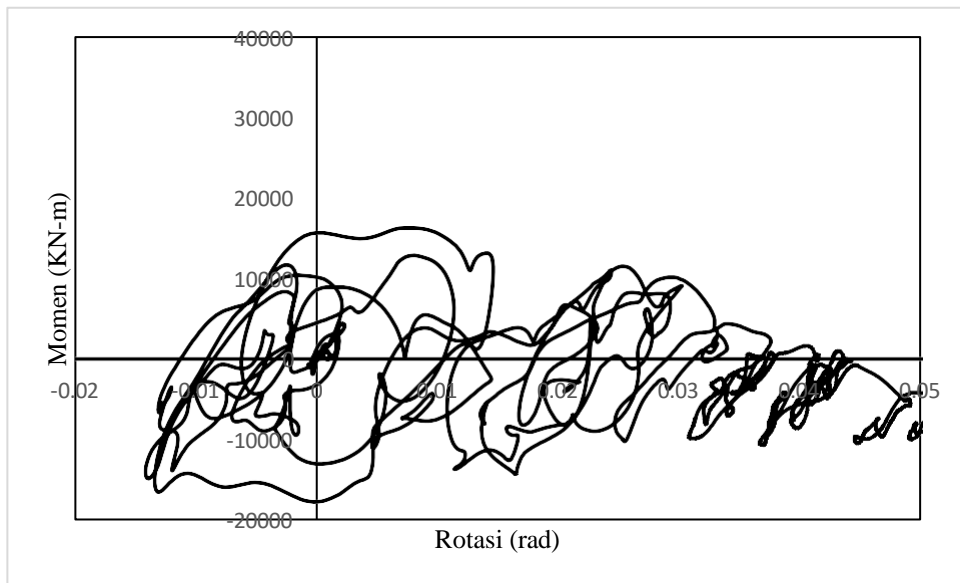
Gambar 4. 30 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas LS pada panel zone 8 lantai akibat gempa jauh



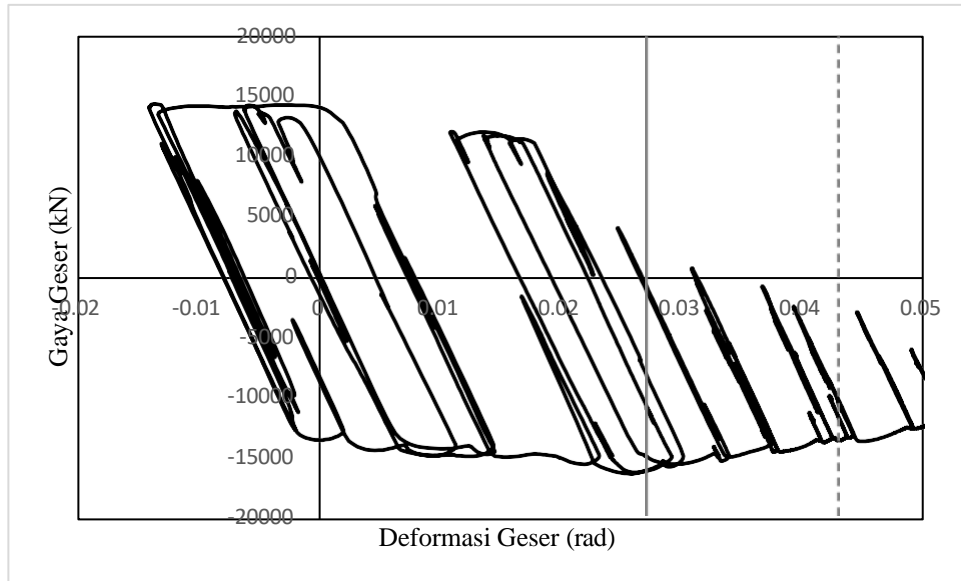
Gambar 4. 31 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Cp pada kolom 8 lantai akibat gempa jauh



Gambar 4. 32 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas C_p pada panel zone 8 lantai akibat gempa jauh



Gambar 4. 33 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada kolom 8 lantai akibat gempa jauh



Gambar 4. 34 Perilaku sendi plastis terhadap kondisi batas Collapse pada panel zone 8 lantai akibat gempa jauh

Hal ini sejalan dengan penelitian Nugraha dkk., (2022) dalam 4 lantai dan 8 lantai gempa dekat, grafik menunjukkan bahwa energi yang terjadi pada panel zone dan kolom berbeda. Kolom cenderung menyerap lebih banyak energi dibandingkan dengan panel zone dalam semua kondisi (LS, CP, dan Collapse) pada kedua model sedangkan Panel zone menunjukkan kapasitas energi yang lebih rendah dibandingkan dengan kolom, yang menunjukkan bahwa kolom lebih kritis dalam menahan beban gempa.

Tabel 4. 3 Energi akibat gempa dekat pada model 1

M1 Gempa Dekat			
KOLOM		PANELZONE	
LS	1780 KN.rad	LS	929 KN.rad
CP	2735 KN.rad	CP	2658 KN.rad
COLLAPSE	1207 KN.rad	COLLAPSE	1145 KN.rad

Tabel 4. 4 Energi akibat gempa dekat pada model 2

M2 Gempa Dekat			
KOLOM		PANELZONE	
LS	2607 KN.rad	LS	1795 KN.rad
CP	2817 KN.rad	CP	2693 KN.rad
COLLAPSE	1796 KN.rad	COLLAPSE	1698 KN.rad

Kolom pada M1 Gempa Jauh cenderung menyerap lebih banyak energi dalam kondisi LS dan COLLAPSE dibandingkan dengan panel zone. Sedangkan Panel zone pada M1 Gempa Jauh menunjukkan kapasitas energi yang lebih tinggi dalam kondisi CP dibandingkan dengan kolom seperti yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Energi akibat gempa jauh pada model 1

M1 Gempa Jauh			
KOLOM		PANELZONE	
LS	1193 KN.rad	LS	857 KN.rad
CP	1244 KN.rad	CP	2983 KN.rad
COLLAPSE	2611 KN.rad	COLLAPSE	2436 KN.rad

Pada Tabel 4.6 panel zone pada M2 Gempa Jauh menunjukkan kapasitas energi yang lebih tinggi dalam semua kondisi (LS, CP, dan COLLAPSE) dibandingkan dengan kolom.

Tabel 4. 6 Energi akibat gempa jauh pada model 2

M2 Gempa Jauh			
KOLOM		PANELZONE	
LS	2225 KN.rad	LS	2349 KN.rad
CP	2356 KN.rad	CP	2483 KN.rad
COLLAPSE	335 KN.rad	COLLAPSE	2227 KN.rad

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

1. Pada kondisi gempa dekat, sendi plastis pada kolom cenderung menyerap lebih banyak energi dibandingkan dengan panel zone, terutama pada kondisi batas Life Safety (LS) dan Collapse Prevention (CP). Ini menunjukkan bahwa sendi plastis pada kolom memiliki peran yang lebih kritis dalam menahan beban gempa pada kondisi gempa dekat, sehingga desain struktur harus memastikan kolom memiliki kapasitas sendi plastis yang memadai untuk menjaga integritas struktur.
2. Pada kondisi gempa jauh, sendi plastis pada panel zone menunjukkan kapasitas energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kolom, terutama pada kondisi CP. Sendi plastis pada panel zone lebih efektif dibandingkan panel zone dalam menyerap energi gempa pada kondisi ini, yang berarti desain struktur tahan gempa harus mempertimbangkan peran penting sendi plastis pada panel zone dalam menahan beban gempa jauh.
3. Analisis ini menekankan pentingnya memperhatikan peran sendi plastis pada masing-masing elemen struktur dalam menyerap energi gempa pada berbagai kondisi. Sendi plastis pada kolom lebih kritis pada gempa dekat, sementara sendi plastis pada panel zone lebih efektif pada gempa jauh. Oleh karena itu, desain struktur harus mempertimbangkan distribusi energi yang diserap oleh sendi plastis pada kolom dan panel zone untuk memastikan integritas dan keamanan struktur pada berbagai kondisi gempa.

5.2. SARAN

1. Berdasarkan hasil analisis, kolom cenderung menyerap lebih banyak energi pada kondisi gempa dekat. Oleh karena itu, disarankan untuk memperkuat kolom dengan material yang lebih tahan terhadap deformasi dan kerusakan.
2. Panel zone menunjukkan kapasitas energi yang lebih tinggi pada kondisi gempa jauh, terutama pada kondisi Collapse Prevention (CP). Disarankan untuk mengoptimalkan desain panel zone dengan memperhatikan distribusi beban dan penggunaan material yang mampu menyerap energi dengan efisien.
3. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan komprehensif, disarankan untuk mengembangkan metode analisis yang mempertimbangkan berbagai variabel dan kondisi gempa. Penggunaan perangkat lunak analisis struktur yang lebih canggih, seperti SAP2000 atau metode elemen hingga (finite element method), dapat membantu dalam memodelkan perilaku struktur secara lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Almufid, & Hidayah, S. (2019). PERENCANAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG HUNIAN 12 LANTAI MENGGUNAKAN SRMPK. *Jurnal Teknik: Universitas Muhammadiyah Tangerang*, 8, 85–93.
- Anam Syaiful, Sutriyono Bantot, & Trimurtiningrum Retno. (2020). STUDI PERBANDINGAN KINERJA GEDUNG BETON BERTULANG SRPMK 6 LANTAI DENGAN MENGGUNAKAN METODE PUSHOVER DAN NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS. *Jurnal "MITSU" Media Informasi Teknik Sipil UNIJA*, 8, 33–41.
- Basyir, M., Amir, F., Maricar, S., & Oka IGM. (2022). *Perancangan Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Ruko 4 Lantai Berdasarkan SNI 2847-2019 dan SNI 1726-2019*. 3(2), 59–66. <https://new.jurnal.untad.ac.id/index.php/renstra>
- Dewi, H. A., Widayanto, E., & Wiswamitra, K. A. (2023). Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada Pembangunan Rumah Susun Cakung Jakarta Timur. *Rekayasa Sipil*, 17(3), 243–248. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2023.017.03.2>
- Ertanto, B., Satyarno, I., & Suhendro, B. (2017). PERFORMANCE BASED DESIGN BANGUNAN GEDUNG UNTUK LEVEL KINERJA OPERASIONAL. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 13(2).
- Hajati, N., & Noviansyah, R. (2017). Kajian Perilaku Struktur Portal Beton Bertulang Tipe SRPMK dan Tipe SRPMM. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 3.
- Hirel, P., Servie, K., Dapas, O., & Pandaleke, R. (2018). PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS. *Jurnal Sipil Statik*, 6(Juni), 361–372.
- Mahendra, A., & Ridwan, M. (2023). *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil PERENCANAAN KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG ENAM LANTAI*. 5(1).
- Nugraha, F. A., Pertiwi, D., Susanti, E., Propika, J., Istiono, H., Sipil, J. T., Adhi, T., & Surabaya, T. (2022). *Kinerja Struktur Gedung Baja Tahan Gempa Menggunakan Analisis Pushover Pada Gedung Office Momen Surabaya*.
- Nuraga, K., Ayu, D., Adhiya, P., Putri, G., Antriksa, K., Ficher, J., & Noni, A. (2021). *Analisis Daktilitas Struktur Gedung Rangka Beton Bertulang Dengan Metode Analisis Pushover (Studi: Gedung Tugu Reasuransi Indonesia Jakarta)* (Vol. 4, Nomor 2).
- Pranata, A. H., Bagio, T. H., & Tistogondo, J. (2021). DESAIN STRUKTUR GEDUNG 24 LANTAI DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) DAN SISTEM GANDA MENGGUNAKAN PERFORMANCE BASED DESIGN BERDASARKAN SNI 2847:2019. *Jurnal "MITSU,"* 9(2).

- Pratama, A., Asmandani, J., Wibowo, H., & Sabdono, P. (2018). *PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG KULIAH FAKULTAS EKONOMI UNNES SEMARANG* (Vol. 7, Nomor 1).
- Putra, Z. A. (2021). Daya Keruntuhan Terhadap Gempa Berulang Pada Srpm Baja (Literatur). *JIMT*, 1, 1–11.
- Rau, F., Made Sastra Wibawa, I., Ketut Diartama Kubon Tubuh, I., & Made Nada, I. (2023). ANALISIS KINERJA STRUKTUR GEDUNG DENGAN KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL. *Jurnal Ilmiah Teknik UNMAS*, 3(1).
- Trimurtiningrum, R., Sarya, G., Widhiarto, H., Walid Rohaniawan, H., & Hafidh Masruri, M. (2023). *ANALISIS KINERJA GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN VARIASI PENEMPATAN DINDING GESER TERHADAP BEBAN GEMPA*. 11(2), 61–068.
<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>
- Turu'allo, G., & Anggara, A. H. (2023). *REKONSTRUKSI TADULAKO Analisis Struktur Baja dengan Perhitungan Beban Gempa Menggunakan Metode Time History Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1729:2015*. 4(1), 29–40.
<https://new.jurnal.untad.ac.id/index.php/renstra>
- Zachari, M. Y., & Turuallo, D. G. (2020). *REKONSTRUKSI TADULAKO Analisis Struktur Baja Tahan Gempa dengan Sistem SRPMK (Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus) Berdasarkan SNI 1729:2015 dan SNI 1726:2012* (Vol. 1, Nomor 2).
<http://new.jurnal.untad.ac.id/index.php/renstra>