

# TUGAS AKHIR

## STUDI PERILAKU SENDI PLASTIS PADA STRUKTUR RANGKA BERBRESING KONSENTRIS AKIBAT DURASI GERAKAN TANAH

*(Studi Literatur)*

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

Di susun oleh:

**ALWLSYAHRIHASIBUAN**  
2007210195



# UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

**MEDAN**

**2025**

## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Alwi Syahri Hasibuan

Npm : 2007210195

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Studi Perilaku Sendi Plastis Pada Struktur Rangka Berbresing Konsentris  
Akibat Durasi Gerakan Tanah

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, ST, MSc, Ph.D.

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Alwi Syahri Hasibuan  
NPM : 2007210195  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Studi Perilaku Sendi Plastis Pada Struktur Rangka  
Berbresing Konsentris Akibat Durasi Gerakan Tanah  
  
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, 10 Maret 2025

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing

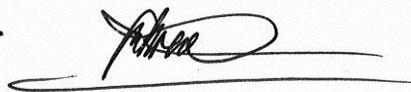
  
Assoc. Prof. Ir/Ade Faisal, ST, MSc, Ph.D.

Dosen Pembanding I



Dr. Josef Hadipramana, ST., MSc.

Ketua Prodi Teknik Sipil



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

Dosen Pembanding II



Sri Frapanti, ST., MT

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Alwi Syahri Hasibuan  
Tempat, Tanggal Lahir : Rantau Prapat, 18 juli 2002  
Npm : 2007210047  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Studi Perilaku Sendi Plastis Pada Struktur Rangka Berbresing Konsentris Akibat Durasi Gerakan Tanah (Studi Literatur).”

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, 10 Maret 2025

Menyatakan,  
  
Alwi Syanri Hasibuan

  
METERAI TEMPEL  
1AMX326404648

## **ABSTRAK**

### **STUDI PERILAKU SENDI PLASTIS PADA STRUKTUR RANGKA BAJA BERBRESING KONSENTRIS AKIBAT DURASI GERAKAN TANAH**

Alwi Syahri Hasibuan

(2007210195)

Assoc. Prof. Ir Ade Faisal, ST, MSc, Ph.D.

Penelitian ini mengkaji perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul dalam struktur baja berbracing konsentris khusus (SCBF) akibat gempa dekat dan gempa jauh. Latar belakang penelitian ini adalah risiko gempa tinggi di Indonesia akibat pertemuan tiga lempeng tektonik. Dengan menggunakan berbagai perangkat lunak seperti Etabs, OpeenSees, dan Matlab, analisis dilakukan pada struktur Model 1 dan 2 untuk memahami deformasi nonlinear pada elemen bresing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa elemen plat buhul mengalami deformasi plastis signifikan, yang berfungsi sebagai mekanisme disipasi energi selama gempa. Selain itu, semakin besar tingkat deformasi, semakin besar pula degradasi kekuatan dan kekakuan, yang mengindikasikan potensi keruntuhan struktur. Pemahaman mendalam terhadap perilaku sendi plastis ini penting untuk desain dan evaluasi performa struktur SCBF dalam memastikan keselamatan selama gempa besar.

Kata Kunci : Baja,SCBF,Bresing,Sendi Plastis,Plat Buhul, Gempa jauh dan Dekat

## **ABSTRACT**

### **STUDY OF PLASTIC HINGE BEHAVIOR IN STEEL FRAME STRUCTURES WITH CONCENTRIC BRACES DUE TO DURATION OF GROUND MOVEMENT**

Alwi Syahri Hasibuan  
(2007210195)

Assoc. Prof. Ir Ade Faisal, ST, MSc, Ph.D.

*This study examines the plastic hinge behavior of gusset plate elements in special concentrically braced steel structures (SCBF) due to near and far earthquakes. The background of this study is the high earthquake risk in Indonesia due to the meeting of three tectonic plates. Using various software such as Etabs, OpeenSees, and Matlab, the analysis was conducted on 2- and 3-story building structures to understand the nonlinear deformation of the bracing elements. The results show that the gusset plate elements experience significant plastic deformation, which functions as an energy dissipation mechanism during earthquakes. In addition, the greater the degree of deformation, the greater the degradation of strength and stiffness, indicating the potential for structural collapse. A deeper understanding of the plastic hinge behavior is essential for the design and performance evaluation of SCBF structures in ensuring safety during major earthquakes.*

*Keywords: Steel, SCBF, Bracing, Plastic Joint, Buhul Plate, Far and Near Earthquake*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia Nya, sehingga penulis telah dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Studi Perilaku Sendi Plastik pada Struktur Rangka Berbresing Akibat Durasi Gerakan Tanah” 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 Assoc. Prof. Ir Ade Faisal, ST, MSc, PhD. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. selaku Dosen Pembimbing I Bapak Dr Josef Hadipramana, S.T., Msc yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. selaku Dosen Pembimbing II Ibu Sri Frapanti, S.T., M.T 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 keteknik sipil kepada penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

9. Terimakasih yang teristimewa sekali kepada Ayahanda Herman Hasibuan dan Ibunda tercinta Syahniati Ritonga yang telah bersusah payah mendidik dan membiayai saya serta menjadi penyemangat saya serta senantiasa mendoakan saya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya.
10. Terimakasih juga kepada seluruh keluarga tanpa saya sebut satu persatu yang telah terus mendukung saya dalam mengerjakan tugas akhir saya ini.
11. Sahabat-sahabat penulis Teman-teman Teknik Sipil pagi 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 penyusun 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, 07 Oktober 2024

Penulis

Alwi Syahri Hasibuan

## DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xi
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Umum	6
2.2 Gempa Bumi	6
2.2.1 Mekanisme Gempa Bumi	7
2.2.2 Ground Motion (Gerakan Tanah)	8
2.2.3 Gempa Dekat	10
2.2.4 Gempa Jauh	11
2.3 Respon Spektrum	12
2.4 Defenisi dan Teori Sendi Plastis	14
2.4.1 Sendi Plastis Pada Elemen Struktur	15
2.5 Elemen Bresing Konsentrik (Braced Frame)	17
2.6 Sistem Rangka Pemikul Momen	17
2.7 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa SNI 1726-2012	19
2.8 Analisis Non Linear	20
BAB 3 METODE PENELITIAN	24
	viii

3.1 Umum	24
3.2 Pemodelan Struktur	25
3.2.1 Data Perencanaan Struktur	25
3.2.2 Dimensi Kolom dan Balok	27
3.3 Analisa Struktur	28
3.3.1 Analisis Dinamik Struktur Linear	28
3.3.2 Pembebanan	28
3.3.3 Respon Spektrum Desain Gempa	28
3.3.4 Kombinasi Pembebanan	29
3.3.5 Analisis Respon Spektrum Ragam	30
3.3.6 Data Rekaman Gempa (Groundmotion Records)	30
3.4 Pemodelan Material Non Linear	32
3.4.1 Pemodelan Sendi Plastis Elemen Balok dan Kolom	32
3.4.2 Sendi Plastis Pada Bresing	34
3.4.3 Plat Buhul (Gusset Plate)	35
3.5 Analisis Struktur	36
3.5.1 Analisis Riwayat Waktu	36
3.5.2 Kinerja Keruntuhan	37
3.5.3 Incremental Dynamic Analisis (IDA)	38
3.5.4 Defenisi IO, LS, dan CP	39
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>41</b>
4.1 Hasil Model Linear Dan Non Linear	41
4.2 Hasil Analisi Linear	41
4.2.1 Respon Spektrum Ragam	41
4.3 Hasil Analisis Non Linear	41
4.3.1 Metode IDA (Incremental Dynamic Analisis)	42
4.3.2 Interstory Drift Ratio (IDR)	46
4.4 Sendi Plastis Pada Plat Buhul (Gusset Plate)	49

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60
Daftar Pustaka	61
LAMPIRAN	63

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran Balok Dan Kolom Penampang	27
Tabel 3.2 Nilai – nilai Pembentukan RSD	28
Tabel 3.3 Kombinasi Pembebanan Berdasarkan SNI 1726:2019	29
Tabel 3.4 Data Rekaman Gempa Dekat	31
Tabel 3.5 Data Rekaman Gempa Jauh	31
Tabel 4.1 Mencari Nilai IDR	45
Tabel 4.2 Nilai RSA Median Pada Model 1	45
Tabel 4.3 Nilai RSA Median Pada Model 2	45
Tabel 4.4 Rotasi Maksimal Setiap Lantai	57
Tabel 4.5 Degradasi gaya tarik dan tekan (sudut $\alpha$ dan $\beta$ ) pada plat buhul	58

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Jenis-Jenis pertemuan dua lempeng tektonik, a) pertemuan divergen; b) pertemuan konvergen; c) pertemuan saling bergeser horizontal	8
Gambar 2.2: Rekaman gempa ( <i>Ground motion records</i> )	9
Gambar 2.3: Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012)	10
Gambar 2.4: Gempa Meksiko (1985), direkam di, a) Tacubaya; b) La Villata (Pawirodikromo)	11
Gambar 2.5: Respon Spektrum	13
Gambar 2.6: Hubungan gaya aksial vs Rotasi yang menunjukkan pembentukan sendi plastis pada plat buhul	16
Gambar 2.7: Histeris di sendi plastis yang stabil (Pawirodikromo)	18
Gambar 2.8: Respon yang diterima terhadap pembebanan yang diberikan	21
Gambar 2.9: Pushover Analysis: Analisa Statis tidak linear	22
Gambar 3.1: Bagan Alir Penelitian	24
Gambar 3.2: Denah bangunan untuk model 2 lantai, dan 3 lantai	26
Gambar 3.3: Denah elevasi model 1	26
Gambar 3.4 Denah elevasi model 2	27
Gambar 3.5: Balok RBS yang dipakai sebagai model SRMPK	32
Gambar 3.6: Model sendi plastis balok dan kolom memakai model Lignos dan Krawinkler (2011): a) Model pegas untuk memodelkan sendi plastis di ujung elemen dan juga untuk memodelkan zone panel	33
Gambar 3.7: Contoh deformasi aksial vs gaya aksial pada bresing akibat beban siklik (Skalomenos dkk.,2017)	34
Gambar 3.8: Perilaku sendi plastis pelat buhul (atau perilaku deformasi nonlinear pelat buhul dalam rotasi) akibat gaya aksial P siklik yang berlebihan (Skalomenos dkk., 2017)	35
Gambar 3.9: a) grafik IDA b) grafik penentuan collapse prevention pada kurva IDA (Vamvatsikos dan Cornell, 1966).	38

Gambar 3.10: IO (Immediate Occupancy), LS (Life Safety), dan CP (Collapse Prevention), (Judd & Charney, 2016)	39
Gambar 4.1: Derajat nilai IDA (Incremental Dynamic Analysis) yang terdapat pada model bangunan 2 tingkat yang diakibatkan gempa dekat.	42
Gambar 4.2: Derajat nilai IDA (Incremental Dynamic Analysis) yang terdapat pada model bangunan 2 tingkat yang diakibatkan gempa jauh.	43
Gambar 4.3: Derajat nilai IDA (Incremental Dynamic Analysis) yang terdapat pada model bangunan 3 tingkat yang diakibatkan gempa dekat.	43
Gambar 4.4: Derajat nilai IDA (Incremental Dynamic Analysis) yang terdapat pada model bangunan 3 tingkat yang diakibatkan gempa jauh.	44
Gambar 4.5: Menunjukkan Rasio Simpangan maksimum pada lantai 2 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah yang gempa dekat (Imperial Valley-06) serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah Irpinia, Italy-01	47
Gambar 4.6: Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada lantai 2 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah yang gempa jauh (Kocaeli, Turkey) serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah Chi Chi, Taiwan	47
Gambar 4.7: Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada lantai 3 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah yang gempa dekat (Loma Prieta) serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah Northridge-01	48
Gambar 4.8: Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada lantai 3 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah yang gempa jauh (Kocaeli, Turkey) serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah Cape Mendocino	48
Gambar 4.17: Parameter sendi plastis plat buhul	49
Gambar 4.18: Parameter regangan sendi plastis elemen plat buhul	50

Gambar 4.19: Perilaku Sendi Plastis pada Plat buhul untuk bangunan 2 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi IO	50
Gambar 4.20: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk bangunan 2 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi LS	51
Gambar 4.21: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk bangunan 2 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi CP	51
Gambar 4.22: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk bangunan 2 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi IO	49
Gambar 4.23: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk bangunan 2 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi LS	52
Gambar 4.24: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk bangunan 2 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi CP	53
Gambar 4.25: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk bangunan 3 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi IO	53
Gambar 4.26: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk bangunan 3 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi LS	54
Gambar 4.27: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk bangunan 3 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi CP	54
Gambar 4.28: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk bangunan 3 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi IO	55
Gambar 4.29: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk bangunan 3 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi LS	55
Gambar 4.30: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk bangunan 3 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi CP	56

### LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Alwi Syahri Hasibuan

Npm : 2007210195

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Studi Perilaku Sendi Plastis Pada Struktur Rangka Berbresing Konsentris  
Akibat Durasi Gerakan Tanah

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. Adc Faisal, ST, MSc, Ph.D.

## DAFTAR NOTASI

- R = Faktor Koefisien Modifikasi Respon
- Cd = Faktor Kuat lebih Sistem
- SDS = Respon Spektrum Percepatan Desain Untuk Perioda Pendek
- SD1 = Respon Spektrum Percepatan Desain untuk Perioda 1,0 detik
- S<sub>s</sub> = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda pendek 0,2 Detik ditanah sedang (SD) mengacu pada peta gempa SNI 1726:2019
- S<sub>1</sub> = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda 0,1 detik Ditanah sedang (SD) mengacu pada peta gempa SNI 1726:2019
- C<sub>s</sub> = Koefisien Respon Seismik
- T = Perioda Pundamental

## DAFTAR SINGKATAN

CQC	= <i>Complete Quadratic combination</i>
PEER	= <i>Pacific Earhtquake Engineering Research</i>
SCBF	= <i>Special Concentrually Braced Frame</i>
SRSS	= <i>Square Root of the Sum of Squaree</i>
IDA	= <i>Incremental Dynamic Analysis</i>
IO	= <i>Immediate Occupancy</i>
LS	= <i>Limit Safety</i>
CP	= <i>Collapse Prevention</i>
KDS	= <i>Kategori Desain Seismik</i>
DL	= <i>Dead Load</i>
LL	= <i>Live Load</i>
SDL	= <i>Super Dead Load</i>

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas gempa bumi tinggi, hal tersebut dikarenakan Indonesia terletak pada jalur pertemuan 3 lempeng tektonik dunia yakni: lempeng Indo – Australia, lempeng Pasifik dan lempeng Eurasia. Beragam macam sumber mekanisme gempa yang berada di negara ini seperti mekanisme gempa subduksi, geser horizontal (strike-slip), normal, dan terbalik (reverse) dari sumber gempa ini bisa menyebabkan gempa dekat. Gempa dekat merupakan suatu respon tanah akibat dari aktivitas gempa pada suatu daerah yang tercatat dan dihitung pada stasiun gempa yang dekat dengan pusat gempa ( $< 15$  km dari sumber gempa), dan juga gempajauh terhadap sebuah lokasi, peluang terjadinya gempa dekat di suatu kota sangat banyak terjadi di kota Indonesia, yang berdekatan dengan patahan aktif seperti; Kota Bandung dekat dengan Patahan Lembang, Kota Yogyakarta dekat dengan Patahan Opak, Kota Banda Aceh dekat dengan Patahan Aceh dan Patahan Seulimeum. Tidak hanya itu, gempa-gempa dangkal di bagian timur Indonesia juga berasosiasi dengan pertemuan lempeng disebabkan oleh patahan-patahan aktif. Seperti patahan palu-koro, patahan Gorontalo, patahan Sorong dan patahan Seram. Gempa sendiri terbagi atas 2 yaitu gempa jauh dan gempa dekat, gempa jauh sendiri terbagi atas gempa yang regular dan yang mengandung pulsa sedangkan gempa dekat adalah gempa yang mengandung regular, pulsa dan fling. Gempa dekat umumnya akan menghasilkan beberapa karakteristik pada rekaman gerakan tanahnya.

Perlu untuk mengetahui kinerja struktur yang terjadi pada suatu bangunan yang mengalami gempa regular, gempa pulsa dan gempa fling agar kita dapat merencanakan ketahanan bangunan dengan sebaiknya-baiknya. Maka dari itu perlu study lebih dalam menggunakan rekaman gempa yang betul-betul memerlukan efek pulsa, efek fling dan juga simpangan antar tingkat. Dalam merencanakan suatu struktur bertingkat tahan gempa, salah satu hal yang perlu dipahami adalah konfigurasi bangunan dan pengaruhnya terhadap beban gempa. Perencanaan struktur harus sedetail mungkin sehingga bangunan yang direncanakan mampu

menyumbangkan kekuatan terhadap

gempa. Gedung yang memiliki ketahanan terhadap gempa dapat direncanakan dengan struktur baja berbresing.

Rangka bresing baja dikenal sebagai sistem seismik dengan ketahanan dan daktilitas yang dapat diterima yang digunakan di zona bahaya seismik tinggi (Naji dan Khodaverdi Zadeh, 2019). Salah satu struktur bangunan baja dengan bresing yang dikenal dalam SNI 1726-2019 yaitu Sistem Rangka Bresing Konsentrik (SRBK) seperti tampak pada Gambar 1.2. Sistem Rangka Bresing Konsentrik dikembangkan sebagai sistem penahan gaya lateral dan memiliki tingkat kekakuan yang cukup baik. Hal ini bertolak belakang dengan sistem MRF yang hanya bisa digunakan sebagai penahan momen. Kekakuan sistem ini terjadi akibat adanya elemen pengaku yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral yang terjadi pada struktur. Sistem ini penyerapan energinya dilakukan melalui pelelehan yang dirancang terjadi pada pelat buhul. Sistem ini daktilitasnya kurang begitu baik sehingga kegagalannya ditentukan oleh tekuk bresing (Haris dkk., 2019).

Rezayibanan dkk. (2022) melakukan studi terhadap efek rekaman mengandung fling-step kepada 4 model struktur gedung rangka baja berbresing konsentris (SCBF) yang berperiode alami 0.37 detik sampai dengan - 1.46 detik. Mereka memakai gerakan tanah dari database PEER yang telah menghilangkan efek simpangan permanen dan gerakan tanah sintesis hasil simulasi Burks dan Baker (2015). Hasil yang mereka peroleh menjelaskan bahwa tidak ada perbedaan respon deformasi antar tingkat yang signifikan pada struktur akibat kedua jenis gerakan tanah. Secara umum studi yang ada belum menjelaskan bagaimana perilaku bresing dan plat buhulnya dalam mempropogasi terjadinya keruntuhan pada struktur rangka baja berbresing. Sejauh penulis ketahui, belum ada studi yang membahas lengkap tentang apakah perilaku sendi plastis elemen bresing selalu terjadi lebih dahulu dibanding elemen lain ketika struktur mengalami getaran akibat gempa

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana Perilaku Sendi Plastis pada elemen plat buhul pada Model 1 dan Model 2 struktur rangka berbresing akibat gempa?
2. Bagaimana hubungan sendi plastis pada elemen plat buhul pada Model 1 dan Model 2 terhadap keruntuhan struktur rangka baja berbresing akibat gempa?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul pada Model 1 dan Model 2 struktur rangka baja berbresing akibat gempa?
2. Untuk mengetahui hubungan Kondisi sendi plastis pada elemen plat buhul pada Model 1 dan Model 2 terhadap keruntuhan struktur rangka berbresing akibat gempa?

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Dari hasil studi ini diharapkan akan diperoleh informasi apakah sepenuhnya benar bahwa kontribusi perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul akan menjadi penyebab utama kepada terjadinya kondisi runtuh pada struktur rangka baja berbresing.

## **1.5 Ruang Lingkup**

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

1. Struktur bangunan yang direncanakan merupakan:  
Struktur Baja Rangka Bresing yang memiliki jumlah tingkat 1 dan 3
2. Perencanaan struktur rangka baja berbresing, pembebanan serta gedung direncanakan berdasarkan:
  - SNI 1726:2019 Standar Struktur Tahan Gempa Indonesia
  - SNI 7972:2020 Spesifikasi Untuk Bangunan Baja Struktural

- SNI 7972:2020 Sambungan Terpraktualifikasi Untuk Rangka Momen Khusus& Menengah Baja Pada Aplikasi Seismik
  - SNI 7860:2020 Ketentuan Seismik Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural
  - SNI 8369:2020 Praktik Baku Bangunan Gedung & Jembatan Baja
  - SNI 8899 Tata Cara Pemilihan & Modifikasi Gerak Tanah Permukaan UntukPerencanaan Gedung Tahan Gempa
3. Analisa Menggunakan alat bantu berupa program yaitu:
- PEER NGA, COSMOS untuk mendapatkan gempa
  - SeismoLEE, untuk mengubah grounmotion menjadi Respon Spektrum
  - MATLAB versi 10. untuk menskalakan grounmotion
  - OpenSees, untuk menganalisa tahap evaluasi (Analisa Riwayat waktu Nonlinear) yang ditinjau
4. Parameter yang ditinjau
- Linear adalah semua aspek yang harus di kontrol sesuai SNI 1726:2019
  - Nonlinear :
    - Simpangan antar tingkat
    - Simpangan aksial bresing
    - Gaya aksial bresing

## **1.6 Sistematika Penulisan**

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

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

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

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini akan menguraikan penjelasan mengenai mekanisme gempa, konsep perencanaan struktur bangunan baja berbresing, konsep tentang kekuatan

bangunan baja berbresing terhadap gempa yang terjadi.

### BAB 3 PEMODELAN STRUKTUR 3

Bab ini akan menampilkan bagaimana metodologi penelitian yang digunakan dari awal sampai akhir penelitian dan penjelasan mengenai cara memodelkan dan mendesain struktur bangunan baja berbresing terhadap gempa yang terjadi dengan menggunakan Program ETABS dan MATLAB Versi 14

### BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini meliputi hasil yang diperoleh dan penyajian dalam bentuk gambar, grafik, tabel, serta pembahasan. BAB 5 PENUTUP Bab ini berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, serta dapat diajukan saran sebagai bahan evaluasi

### BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, serta dapat diajukan saran sebagai bahan evaluas

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Pada Bab ini akan dibahas mengenai teori-teori dasar dan syarat-syarat/ketentuan yang berhubungan dalam perencanaan struktur bangunan yang akan dianalisa, seperti struktur baja rangka berbresing, teori gempa, sistem struktur penahan gempa, tata cara perencanaan bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726:2019, dan teori-teori terkait lainnya yang berhubungan dengan perhitungan atau analisa data yang diperlukan dalam Tugas Akhir ini.

#### **2.2 Gempa Bumi**

Gempa bumi (earthquake) adalah suatu gejala fisik yang ditandai dengan bergetarnya bumi dengan berbagai intensitas. Getaran gempa dapat disebabkan oleh banyak hal antara lain peristiwa vulkanik, yaitu getaran tanah yang disebabkan oleh aktivitas desakan magma ke permukaan bumi atau meletusnya gunung berapi. Gempa yang terjadi akibat aktivitas vulkanik ini disebut gempa vulkanik. Gempa vulkanik terjadi di daerah sekitar aktivitas gunung berapi, dan akan menyebabkan mekanisme patahan yang sama dengan gempa tektonik (Salim & Siswanto, 2018).

Dalam bukunya, (Pawirodikromo, 2012) menjelaskan bahwa kerusakan kerusakan yang timbul akibat gempa bumi dapat dikategorikan menjadi dua bagian pokok, yaitu kerusakan pada bangunan-bangunan di atas tanah dan kerusakan lingkungan fisik pada permukaan/dalam tanah itu sendiri. Kerusakan pada bangunan-bangunan di atas tanah sering mendapat pemberitaan yang lebih dominan daripada kerusakan lingkungan tanah secara fisik. Kerusakan-kerusakan tanah secara fisik tersebut misalnya adalah terjadinya penurunan tanah (settlement), salju longsor/tanah longsor atau problem-problem lain pada keseimbangan lereng (landslides and slope stability problems), batu longsor (rock slides), batu jatuh (rockfalls) dan likuifaksi (liquefactions).

Berdasarkan proses terjadinya, gempa bumi digolongkan menjadi empat (Pasau & Tanauma, 2011), antara lain:

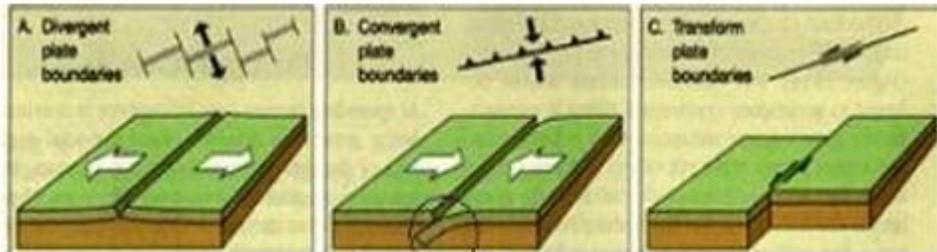
1. Gempa Reruntuhan : gempa yang disebabkan antara lain oleh reruntuhan yang terjadi baik di atas maupun dibawah permukaan tanah. Contoh: tanah longsor, salju longsor, batu jatuhan.
2. Gempa Vulkanik : gempa yang disebabkan oleh kegiatan gunung berapi baik sebelum maupun pada saat meletusnya gunung berapi tersebut.
3. Gempa Tektonik : gempa yang disebabkan oleh terjadinya pergeseran kulit bumi (lithosphere) yang umumnya terjadi di daerah patahan kulit bumi. Gempa tektonik merupakan gempa yang paling menimbulkan kerusakan yang paling luas. Maka dari itu gempa bumi tektonik yang ditinjau sebagai beban siklisnya.
4. Gempa Bumi Buatan : Gempa bumi buatan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti peledakan dinamit, bom, dan 5 nuklir. Pergerakan dari patahan atau sesar dapat dibedakan berdasarkan 2 (dua) arah pergerakan yaitu strike dan dip.
  - a. Dip Slip Movement Pergerakan patahan mempunyai arah yang sejajar dengan kemiringan (slope) dip, atau tegak lurus dengan strike. Jenis patahan ini dibagi dua yaitu normal fault dan reverse fault.
  - b. Strike Slip Movement Pergerakan patahan yang terjadi mempunyai arah sejajar dengan garis strike. Bidang patahan mendekati vertikal dan menyebabkan pergerakan besar.

### **2.2.1 Mekanisme Gempa Bumi**

Gempa bumi tektonik lebih sering terjadi dibandingkan semua jenis gempa lainnya. Gempa bumi ini disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi (kerak bumi). Walaupun kelihatannya diam, akan tetapi lapisan-lapisan bagian permukaan bumi (litosfer) yang materialnya bersifat padat, keras dan dingin selalu bergerak.

Ini diakibatkan oleh sejumlah energi yang menekan dan menarik lapisan tersebut sebagai hasil dari proses konveksi yang terjadi pada lapisan di bawahnya (astenosfer) yang sifat materialnya lebih cair, lemah dan jauh lebih panas. Lapisan terluar bumi ini bergerak melalui lempeng-lempengnya, sehingga menimbulkan

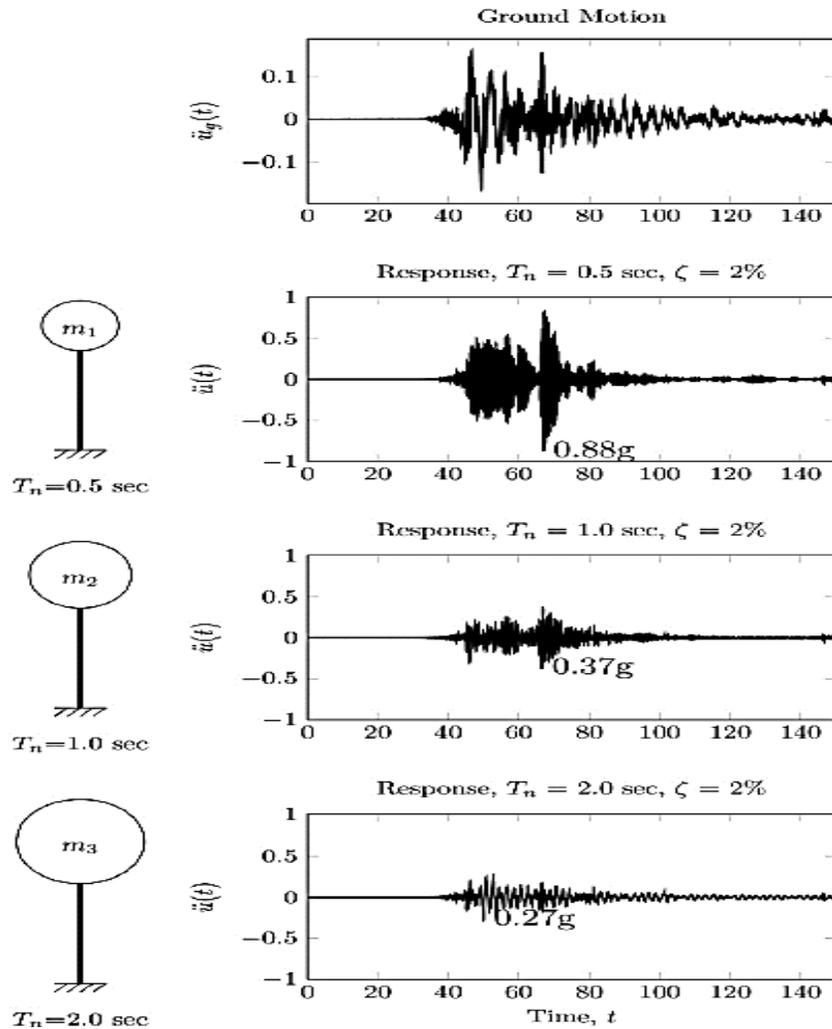
tekanan, tarikan dan geseran pada lempeng-lempeng itu sendiri. Artinya lempeng lempeng itu dapat saling bertubrukan (konvergen), saling menjauh (divergen), dan saling bergeser horizontal (transform) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1: Jenis-jenis pertemuan dua lempeng tektonik, a) pertemuan divergen; b) pertemuan konvergen; c) pertemuan saling bergeser horizontal.

### 2.2.2 *Ground Motion* (Getaran Tanah)

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



Gambar 2.2: Rekaman gempa (*Ground motion records*)

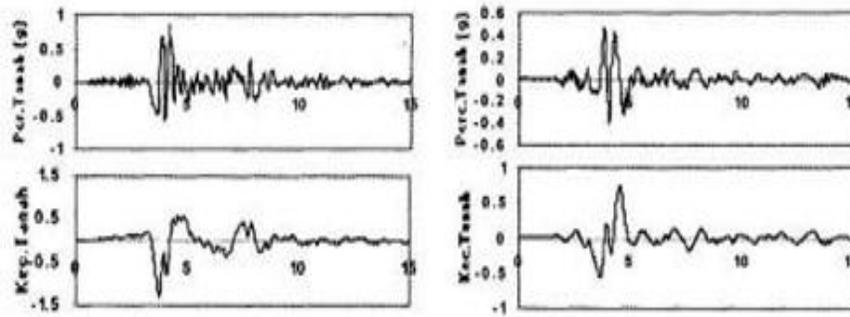
Respon gempa sensitif terhadap karakteristik getaran tanah, besar frekuensi gempa, pola pulse, durasi getaran, mekanisme fault-rupture, dan lainnya. Berdasarkan pola pulse nya, gempa dibagi menjadi 3, yaitu near field (gempa dekat, yaitu gempa dengan pulse), far field (gempa jauh, yaitu gempa tanpa pulse/no-pulse),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

### 2.2.3 Gempa Dekat

Pawirodikromo, (2014) mengatakan bahwa percepatan tanah gempa dekat umumnya mempunyai 1-2 kali siklus getaran kuat (strong-vibration cycles/pulse). Siklus getaran kuat tersebut disebabkan oleh adanya kecepatan rambat patah  $V_r$

(fault rupture velocity) yang relatif dekat dengan kecepatan gelombang geser  $V_s$ . Berapa batasan jarak gempa dekat tersebut tidaklah dapat ditentukan secara pasti. Namun, beberapa peneliti mengindikasikan hanya beberapa sampai belasan kilometer saja.

Maniatakis dkk.,( 2008) memberikan batasan bahwa rekaman gempa near fault adalah gempa yang direkam 15 km dari patahan (fault rupture). Contoh rekaman gempa dekat dapat dilihat pada Gambar 2.3

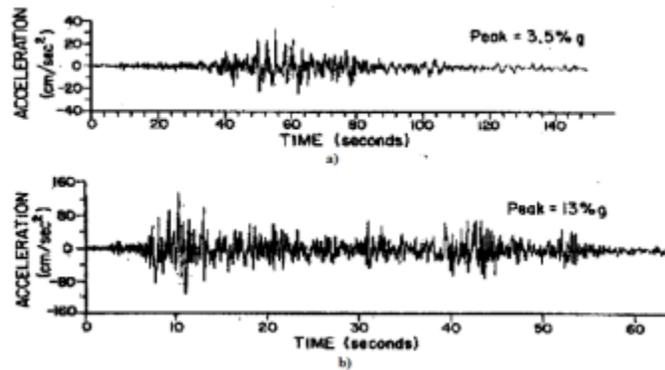


2.3: Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).

Gambar 2.3 menunjukkan data rekaman gempa yang terjadi di Northridge pada tahun 1994 dan Parkfield pada tahun 1997. Pada gambar tersebut tampak jelas bahwa terdapat 2 kali acceleration strong pulse yang sangat berbeda dengan sebelum dan sesudahnya. Secara umum gempa dekat ini ditandai dengan munculnya kandungan pulse yang kuat pada rekaman gempanya

#### 2.2.4 Gempa jauh

Rekaman gempa jauh pada prinsipnya berlawanan dengan gempa dekat. Apabila energi gempa telah merambat pada jarak yang jauh (gempa jauh), maka terdapat waktu yang cukup bagi media tanah untuk menyerap sebagian energi gempa. Semakin jauh gelombang merambat, maka semakin besar energi gelombang gempa yang telah diserap oleh media tanah. Hal seperti ini tidak terjadi pada gempa dekat.



Gambar 2.4: Gempa Meksiko (1985), direkam di, a) Tacubaya; b) La Villata (pawirodikromo, 2012).

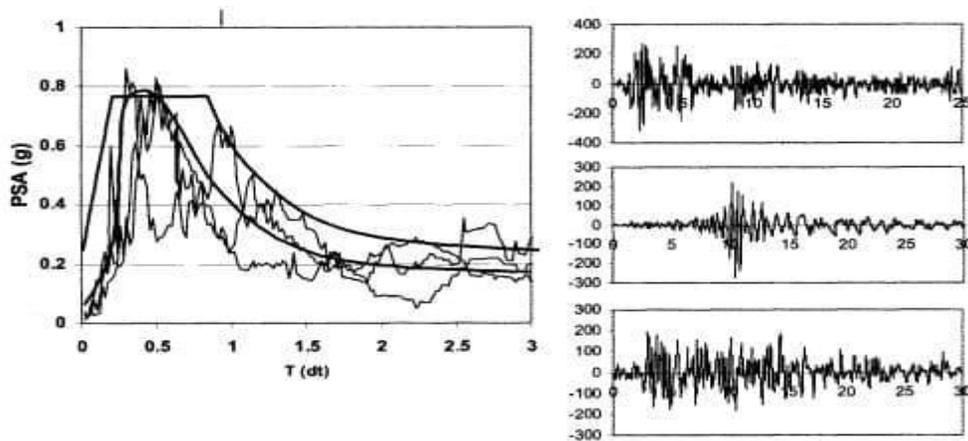
Salah satu contoh perbandingan antara rekaman gempa dekat dan jauh tampak pada Gambar 2.4 yang menunjukkan rekaman gempa yang terjadi di Meksiko tahun 1985. Gambar 2.4.a, direkam di Tacubaya yang berjarak kira-kira 370 km dari *epicenter* (gempa jauh) sedangkan Gambar 2.4.b direkam di La Villata yang berjarak kira-kira 44 km dari *epicenter* (gempa dekat). Dari kedua gambar tersebut tampak jelas bahwa setelah merambat lebih dari 300 km, percepatan tanah mengecil dari 13% g menjadi 3,5% g. Secara umum gempa jauh ditandai dengan kandungan *pulse* yang lemah pada rekaman gempanya.

### 2.3 Respon Spektrum

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

Respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral Displacement, SD*), kecepatan maksimum (*Spectral Velocity, SV*) atau percepatan maksimum (*Spectral Acceleration, SA*) suatu massa struktur dengan

derajat kebebasan tunggal (*Single Degree of Freedom, SDOF*). Terdapat 2 macam respon spektrum yang ada yaitu Respon Spektrum Elastik dan Respon Spektrum Inelastik. Respon spektrum elastik adalah suatu spektrum yang didasarkan atas respon elastik struktur dengan derajat kebebasan tunggal (SDOF) berdasarkan rasio redaman dan beban gempa tertentu. Respon spektrum inelastik juga disebut desain Respon Spektrum, yaitu spektrum yang diturunkan berdasarkan *Elastic Response Spectrum* dengan tingkat daktilitas tertentu (SNI 1726:2019). Adapun contoh respon spektrum dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Respon Spektrum

Respon spektrum (response spectrum) adalah kurva yang menggambarkan respons maksimum (perpindahan, kecepatan, atau percepatan) struktur akibat beban gempa, dalam fungsi dari periode alami (natural period) struktur tersebut (Clough dan Penzien 2003).

Spektrum respons diperoleh dari rekaman gempa di lapangan yang kemudian diolah menjadi spektrum respons percepatan, kecepatan, ataupun perpindahan melalui analisis Fourier. Spektrum respons bermanfaat untuk memperkirakan pengaruh gempa terhadap struktur bangunan dengan berbagai periode getar alami yang berbeda. Setiap lokasi gempa akan memiliki spektrum respons yang berbeda tergantung karakteristik sumber gempanya. Spektrum inilah

yang kemudian dijadikan acuan untuk menentukan gaya gempa rencana dalam perencanaan struktur tahan gempa.

## 2.4 Definisi dan Teori Sendi Plastis

Sendi plastis (*plastic hinge*) adalah konsep yang digunakan dalam analisis struktur untuk menggambarkan lokasi di suatu elemen struktur (seperti balok atau kolom) di mana terjadi perubahan bentuk plastis (*inelastic*) saat mengalami beban yang melebihi batas elastis materialnya. Pada titik ini, struktur tidak lagi kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan, melainkan terjadi deformasi permanen. Dalam analisis batas (*limit state analysis*), sendi plastis dianggap sebagai titik di mana rotasi dapat terjadi tanpa peningkatan momen, memungkinkan redistribusi momen dalam struktur. Ghamari & Shooshtari, (2019)

Teori Terkait Sendi Plastis:

### 1. Teori Plastisitas (*Plasticity Theory*):

- **Plastisitas dalam Material:** Plastisitas mengacu pada kemampuan material untuk mengalami deformasi permanen setelah batas elastisnya dilampaui. Dalam struktur, hal ini penting karena memungkinkan elemen untuk menyerap energi yang lebih besar sebelum kegagalan total.
- **Model Ideal-Plastis:** Dalam analisis, material sering dimodelkan dengan perilaku ideal plastis, di mana material memiliki respons elastis hingga mencapai tegangan leleh (*yield stress*), setelah itu mengalami deformasi plastis tanpa peningkatan tegangan.

### 2. Prinsip Metode Batas (*Limit State Method*):

- **Analisis Sendi Plastis:** Metode ini digunakan untuk menentukan kapasitas maksimum struktur dengan mengidentifikasi lokasi sendi plastis yang terbentuk hingga struktur mencapai kondisi runtuh. Prinsip utama dalam analisis ini

adalah redistribusi momen yang memungkinkan beberapa bagian struktur untuk mengalami rotasi tanpa meningkatkan momen.

- Formasi Sendi Plastis: Dalam balok atau rangka, sendi plastis biasanya terbentuk pada titik-titik di mana momen maksimum terjadi, seperti di tumpuan atau di tengah bentang. Sendi plastis memungkinkan struktur untuk memiliki mekanisme kolaps yang terkontrol.

### 3. Penggunaan dalam Desain Struktur:

- Desain Berbasis Kinerja (*Performance-Based Design*): Dalam pendekatan ini, sendi plastis digunakan untuk mendesain struktur yang dapat menahan deformasi inelastis tanpa runtuh, terutama dalam kondisi beban ekstrem seperti gempa.

- Redistribusi Momen: Sendi plastis memungkinkan redistribusi momen dalam rangka sehingga bagian-bagian yang lebih kuat dari struktur dapat memikul beban lebih besar, meningkatkan efisiensi struktur secara keseluruhan.

#### 2.4.1 Sendi Plastis Pada Elemen Struktur

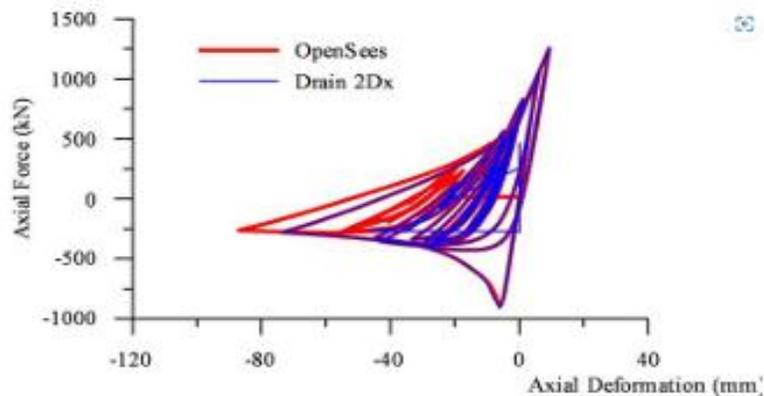
Sendi plastis pada elemen struktur seperti plat buhul adalah titik di mana material plat buhul mengalami deformasi plastis sebagai respons terhadap beban yang melebihi kapasitas elastisnya. Pada saat titik ini tercapai, plat buhul tidak lagi dapat kembali ke bentuk awal setelah beban dilepaskan, tetapi mengalami deformasi permanen. Dalam sambungan struktural, sendi plastis memainkan peran penting dalam redistribusi momen dan gaya yang memungkinkan struktur untuk menahan beban tambahan tanpa segera mengalami keruntuhan. Elkady & Lignos, (2015)

##### 1. Pembentukan Sendi Plastis

Saat beban pada plat buhul meningkat, plat ini awalnya mengalami deformasi elastis, di mana deformasi hilang setelah beban dihilangkan. Namun, setelah melebihi batas elastis, material memasuki fase plastis. Pada fase ini, deformasi

terjadi tanpa peningkatan momen atau gaya yang signifikan, yang kemudian membentuk apa yang dikenal sebagai sendi plastis.

## 2. Grafik Sendi Plastis Pada Plat Buhul



Gambar 2.6: Hubungan Gaya Aksial vs Rotasi yang menunjukkan pembentukan sendi plastis pada plat buhul.

Gambar di atas menunjukkan hubungan antara gaya aksial (Axial Force) dan deformasi aksial (Axial Deformation) pada elemen plat buhul yang mengalami siklus beban. Grafik ini menunjukkan bagaimana plat buhul merespons beban aksial, di mana area histeresis yang terlihat adalah tanda adanya deformasi plastis yang terus berulang.

### 2.5 Elemen B्रेसing Kosentrik (*Braced Frame*)

Perilaku elemen bracing pada struktur baja memainkan peran penting dalam meningkatkan kinerja struktural, terutama dalam menahan beban lateral yang disebabkan oleh gempa bumi. Dalam konteks struktur baja, elemen bresing seperti diagonal bresing digunakan untuk memberikan kekakuan lateral yang signifikan, yang mengurangi deformasi atau perpindahan lateral (drift) saat struktur mengalami

gaya-gaya horizontal. Selain itu, elemen-elemen ini juga membantu mendistribusikan gaya lateral ke seluruh rangka, mengurangi beban pada kolom dan balok utama.

Elemen bresing, terutama dalam sistem seperti Concentrically Braced Frames (CBF), biasanya bersifat kaku, yang berarti mereka mampu menahan gaya besar dengan sedikit deformasi. Namun, salah satu tantangan utama dari sistem bracing ini adalah kecenderungan untuk mengalami buckling (tekuk) di bawah beban tekan yang tinggi. Buckling ini dapat mengurangi kapasitas penyerapan energi dari sistem, yang penting untuk meredam energi gempa. Untuk mengatasi masalah ini, desain bracing modern sering menggunakan pendekatan seperti Buckling-Restrained Braces (BRB), yang dirancang khusus untuk mencegah tekuk dan meningkatkan kapasitas disipasi energi sistem. Issa dkk., (2024)

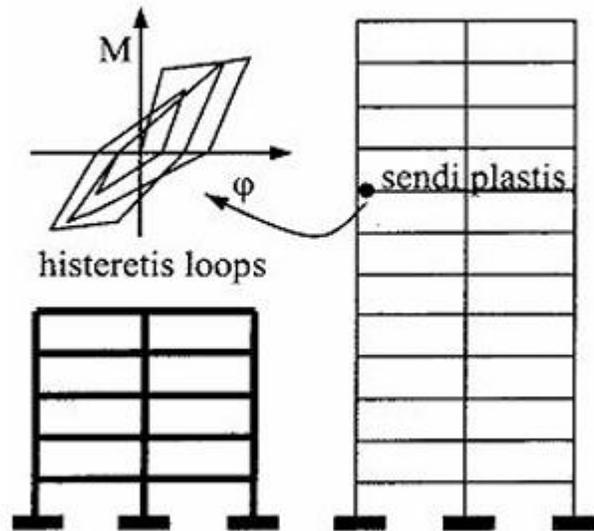
## **2.6 Sistem Rangka Pemikul Momen**

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

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

1. Apabila didesain secara baik maka struktur portal dapat menjadi struktur yang daktail dengan hysteresis loops di sendi plastis yang stabil, seperti Gambar 2.7 dan dapat memberikan sistem pengekangan/kekakuan yang cukup.
2. Karena fleksibilitasnya tinggi, SRPM akan mempunyai perioda getar  $T$  yang relatif besar.
3. Secara arsitektural SRPM memberi keleluasaan untuk menata ruangan yang

diinginkan



Gambar 2.7: Histeresis di sendi plastis yang stabil (Pawirodikromo, 2012)

Adapun kekurangan dari SRPM adalah:

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

## 2.7 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726-2012

Sesuai SNI Gempa yang berlaku yaitu SNI 1726:2012 disebutkan bahwa untuk struktur bangunan tahan gempa mensyaratkan bahwa bangunan harus didesain agar mampu menahan beban gempa 2500 tahunan. Beban gempa yang dipertimbangkan dalam tahap pendesainan adalah dua per tiga beban gempa maksimum yang

dipertimbangkan. Prosedur perencanaan berdasarkan SNI 1726:2012 memperbolehkan adanya reduksi dengan faktor modifikasi Respon struktur (Faktor R).

Faktor R merupakan parameter desain seismik yang penting dalam mendefinisikan tingkat kekakuan struktur selama terjadi gempa. NEHRP (1988) mendefinisikan faktor R sebagai faktor yang digunakan untuk memperhitungkan nilai redaman dan daktilitas pada suatu sistem struktur sehingga struktur mampu berdeformasi cukup besar mendekati deformasi maksimumnya. Faktor R mencerminkan kemampuan struktur dalam mendisipasi energi melalui perilaku inelastis. Sesuai dengan konsep desain bangunan tahan gempa, struktur dirancang untuk beban geser dasar yang lebih kecil dari yang diperlukan agar struktur berperilaku elastis selama terjadi gempa. Hubungan antara faktor modifikasi

Sehingga dengan konsep ini elemen tertentu diperbolehkan untuk mengalami kerusakan sebagai sarana pendisipasian energi gempa yang diterima struktur. Elemen struktur yang diperbolehkan ini harus sesuai dengan apa yang direncanakan. Maka untuk menjamainya digunakan konsep desain kapasitas yang membuat semua elemen tidak sama kuat terhadap gaya dalam yang direncanakan. Elemen-elemen tersebut harus diberi detailing penulangan yang memadai agar tetap stabil walaupun telah mengalami deformasi ineleastis yang besar. Hal ini dilakukan agar kerusakan hanya terjadi pada titik tersebut ketika terjadi gempa maksimum.

Terdapat tiga sifat struktur yang perlu dipertimbangkan terkait dengan tingkat perlindungan gempa. Tiga sifat tersebut adalah:

1. Kekakuan (stiffness). Jika perpindahan akibat gaya lateral dapat diukur dan dikendalikan, perencana harus memuat perkiraan yang nyata tentang sifat kekakuan. Pengukuran ini menghubungkan beban atau gaya dengan perpindahan yang terjadi. Hubungan ini antara lain menggunakan sifat geometrik dan modulus elastisitas material.
2. Kekuatan (Strength), struktur harus memiliki kekuatan untuk menahan timbulnya gaya-gaya internal selama terjadinya respon dinamik elastis struktur
3. Daktilitas (ductility), yaitu kemampuan struktur, komponennya, atau material yang digunakan untuk memberi perlawanan terhadap gaya-gaya lateral.

Elemen struktur adalah bagian dari sistem global struktur yang akan

mengalami kegagalan lebih dahulu sebelum struktur global didefenisikan runtuh melalui deformasi global. Deformasi global yang sering dipakai sebagai parameter butuh teknis (engineering demand parameter disingkat EDP) adalah simpangan atap dan simpangan antar tingkat. Untuk melihat perilaku global tidak linear struktur gedung, seperti pada sistem rangka pemikul momen (SRPM), simpangan atap umumnya dipasangkan dengan gaya geser dasar, sedangkan simpangan antar tingkat (IDRmax) umumnya dipasangkan dengan spektrum respon percepatan pada perioda alami struktur atau RSA(T1). Yang pertama sering dipakai pada analisa beban dorong statik tidak linear dan IDRmax sering dipakai di analisa dinamik tidak linear. IDRmax menjadi begitu efektif menjadi pengukur gagal tidaknya sebuah struktur bertahan secara global dalam menghadapi gerakan tanah karena ia merupakan representasi parameter yang menjelaskan kapasitas deformasi rotasi pada titik kumpul SRPM. Ade Faisal dkk., (2024).

Deformasi rotasi pada titik kumpul, tempat bertemunya elemen balok dan kolom, merupakan spesifikasi utama yang wajib dimiliki oleh sistem yang disebut dengan SRPM ini. Deformasi rotasi pada balok dan kolom serta deformasi geser pada zona panel terakumulasi di rotasi titik kumpul di setiap tingkat SRPM. Ade Faisal dkk., (2024). Umumnya yang paling ekstrim memikul ketika melewati kondisi batas leleh berada pada tingkat bawah. Bentuk IDRmax sebagai produk dari analisa dinamik tidak linear ini menunjukkan tren yang membentuk pinggang yang gemuk. Bentuk ini menggambarkan perjalanan pembesaran deformasi tidak linear di setiap tingkat terfokus pada tingkattingkat bawah (1/3 tinggi struktur). Hal ini menunjukkan bahwa elemen-elemen pada bagian bawah inilah yang terlebih dahulu mengalami kegagalan sebelum nilai IDRmax membesar secara eksponensial melewati kondisi batas dan kemudian struktur secara global didefenisikan runtuh.

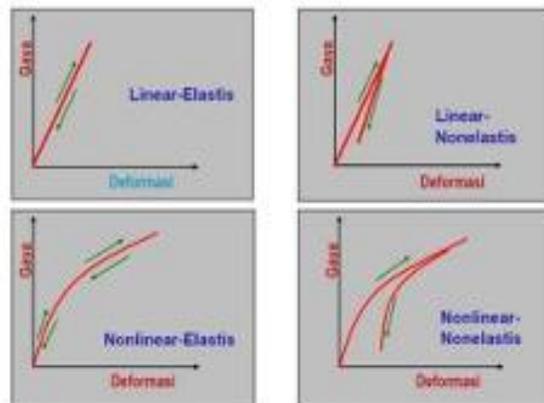
## **2.8 Analisa Nonlinear**

Berberapa peneliti menyimpulkan bahwa analisa linear tidak dapat digunakan untuk mengetahui perilaku struktur terhadap gempa besar, karena pada dasarnya saat terjadi gempa besar pada struktur terjadi plastifikasi di beberapa tempat. Sehingga bangunan tidak lagi berperilaku linear akan tetapi berperilaku nonlinear. Dengan begitu diperlukan analisa nonlinear untuk mengetahui perilaku struktur saat

mengalami gempa besar. Farajian dkk., (2022) mengatakan bahwa karakteristik dinamik bangunan gedung sampai kondisi rusak/runtuh khususnya kekakuan dan redaman relatif sulit untuk ditentukan. Hal tersebut terjadi dengan beberapa alasan yaitu bahwa:

- 1) sangat sulit untuk mengetahui secara eksak interaksi antara bagian-bagian struktur pada saat pembebanan dinamik;
- 2) diperlukan kekuatan peralatan yang sangat besar/mahal untuk membebani model bangunan skala penuh di laboratorium sampai runtuh dan
- 3) uji laboratorium skala penuh sangatlah mahal. Oleh karena itu, perlu dicari jalan keluar untuk mengatasi-problem problem tersebut.

Salah satu cara untuk menyelesaikan masalah adalah dengan melalui pemodelan beban dinamik, pemodelan struktur dan simulasi numerik respons struktur akibat beban dinamik yang bekerja.



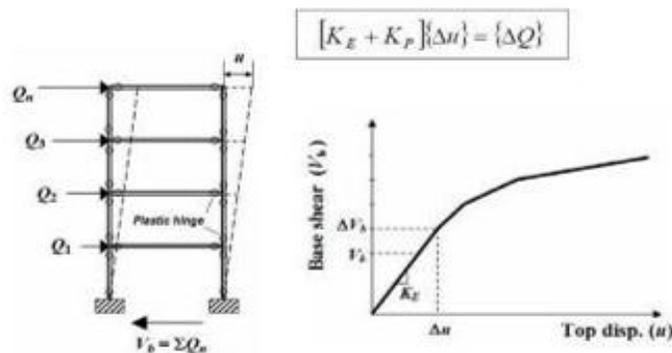
Gambar 2.8: Respon yang diterima terhadap pembebanan yang diberikan.

Analisa nonlinear yang dapat dilakukan antara lain analisa statis nonlinear dan analisa dinamis nonlinear. Analisa statis nonlinear adalah analisa yang menggunakan beban statis yang ditingkatkan hingga struktur mencapai keruntuhan. Sedangkan analisa dinamis nonlinear adalah analisa yang menggunakan input akselerogram untuk mendapatkan respon dinamis suatu struktur. Deformasi plastis yang terjadi pada elemen stuktur tergantung pada sejarah pembebanan, sehingga

analisa yang diperlukan untuk melakukan evaluasi kinerja bangunan adalah analisa dinamis nonlinear. Pada analisa Dinamis Nonlinear dibutuhkan beberapa data detail seperti data percepatan gempa, tingkat kenonlieneran suatu elemen, yang mana membutuhkan pengetahuan khusus untuk menganalisa tingkat kenonlinearan suatu elemen. Selain rumit running suatu model analisa dinamis nonlinear membutuhkan waktu yang tidak sedikit.

Sehingga karena penggunaanya yang relatif lama dan sulit maka beberapa peneliti mengusulkan penggunaan analisa statis nonlinear untuk menggantikan analisa dinamis nonlinear riwayat waktu sebagai alat untuk mengevaluasi perilaku. Hal ini dilakukan karena analisa statis nonlinear dinilai relatif mudah dan dapat digunakan untuk meramalkan kinerja struktur terhadap beban lateral selama mode yang dominan adalah mode pertama dan periode alami struktur tidak melebihi satu detik.

Untuk mengetahui penyebab perilaku nonlinier pada struktur terhadap gempa dan perilaku dari struktur sebagai kinerja yang diberikan dengan lebih baik, maka perlu menganalisa beban dorong atau pushover analysis. Dari analisa tersebut dapat diidentifikasi elemen yang kuat dan elemen yang tidak kuat dalam menopang beban. Analisa ini juga dapat memperkirakan kebutuhan yang diperlukan elemen sehingga menjadi lebih sesuai dengan yang terjadi dilapangan. Analisa struktur yang memakai analisa statis nonlinear diberikan beban yang meningkat secara bertahap sampai keseluruhan elemen mengalami sendi plastis. Analisa ini dibuat untuk mengevaluasi kinerja stuktur dengan memperkirakan kapasitas struktur dalam bentuk gaya dan simpangan global atau simpangan antar tingkat, atau deformasi dan



Kapasitas struktur kemudian akan dibandingkan dengan kurva kebutuhan.

### Gambar 2.9 Pushover Analysis: Analisa Statis tidak linear

Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Biasanya titik tersebut adalah titik pada atap, atau lebih tepat lagi adalah pusat massa atap.

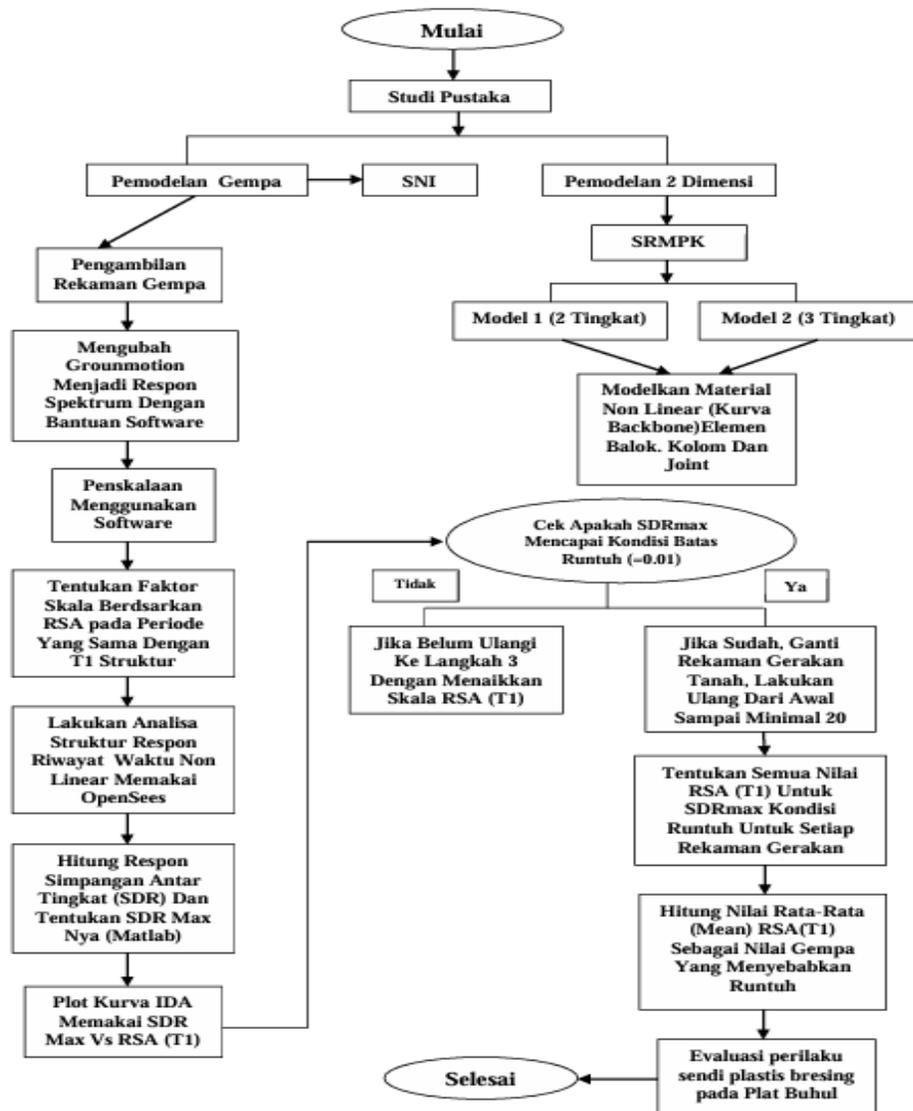
Tujuan analisa pushover adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa analisa statis pushover dapat memberikan hasil mencukupi (ketika dibandingkan dengan hasil analisa dinamik nonlinear) untuk bangunan regular dan tidak tinggi

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Umum**

Secara umum metode penelitian yang akan dipakai adalah metode kuantitatif komparatif dengan memakai data primer yang bersumber dari hasil metode analisis. 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



ian

Berdasarkan Gambar 3.1, dapat dijelaskan bahwa dalam Tugas Akhir ini analisis dilakukan terhadap 2 model dimensi dengan Sistem Rangka Bresing Konsentris (SRBK). Model bangunan tersebut di analisis secara Linear dan Non Linear dengan menggunakan Respon Spektrum (Response Spectrum Analysis) dengan menggunakan ETABS serta Analisis Riwayat Waktu ( Time History Analysis) dengan menggunakan Software OpenSees, untuk mendapatkan nilai simpangan yang ada ketika bangunan dikenakan gempa umum, yang kemudian nilai simpangan tersebut akan dibandingkan pada setiap modelnya

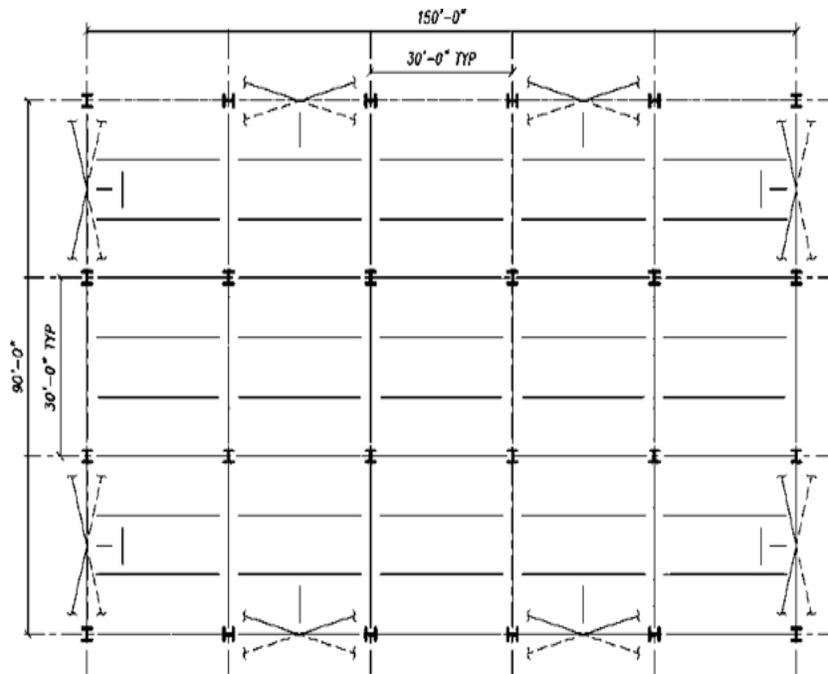
## **3.2 Pemodelan Struktur**

### **3.2.1 Data Perencanaan Struktur**

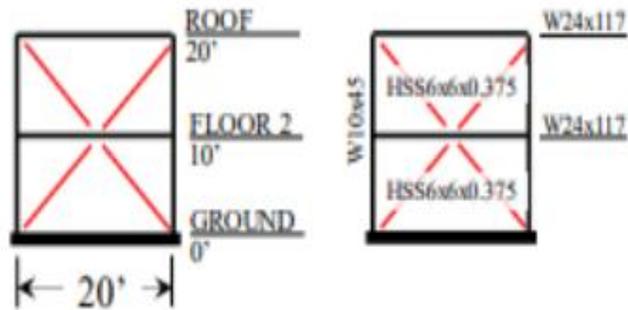
Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada pemodelan dalam Program Analisis Struktur, yaitu:

1. Jenis pemanfaatan Gedung Perkantoran
2. Gedung terletak di Kawasan dengan KDS D
3. Klasifikasi situs tanah sedang (SD).
4. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Baja Berbresing dengan Model 1, dan Model 2.
5. Jenis portal Struktur Gedung adalah struktur baja dengan ukuran geometri denah dan ketinggian seperti pada Gambar 3.2

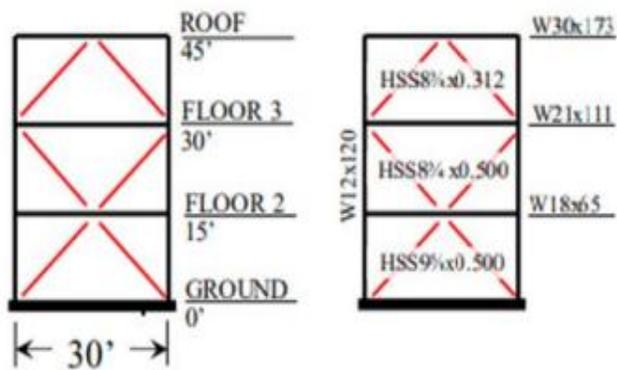
Adapun pemodelan yang digunakan adalah Model 1, dan, Model 2 seperti pada Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2: Denah Bangunan untuk Model 1, dan Model 2



Gambar 3.3: Denah elevasi model 1



Gambar 3.4 Denah elevasi model 2

### 3.2.2 Dimensi Kolom dan Balok

Elemen kolom pada struktur baja SRMPK, pada studi ini memakai jenis WF profil USA dan untuk balok memakai jenis WF yang penampangnya dikurangi (*reduced beam section*, disingkat RBS). Ukuran balok dan kolom terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Ukuran balok dan kolom penampang

Model Bangunan	Lantai	Bracing	Kolom Interior	Kolom Eksterior	Balok (Inchi)
			(Inchi)	(Inchi)	
Model 1	1	HSS 6x6x3/8	W10x45	W14x283	W24x117
	2	HSS 6x6x3/8	W10x45	W14x283	W24x117
Model 2	1	HSS 9x5/8x0.5	W 12x120	W14x132	W 18x65
	2	HSS 8x3/4x0.5	W 12x120	W14x132	W 21x111
	3	HSS 8x3/4x0.31	W 12x120	W14x53	W 30x173

### 3.3 Analisa Struktur

#### 3.3.1 Analisis Dinamik Struktur Linear

Analisis ini menggunakan metode respon riwayat waktu. Pada Analisa ini, alatbantu software yang digunakan adalah OpenSees.

#### 3.3.2 Pembebanan

Pembebanan mengacu pada SNI 8899:2020. Nilai beban gravitasi yang bekerjapada struktur bangunan adalah sebagai berikut.

1. Beban Mati = 31,33 psf = 1,5 kN/m<sup>2</sup>
2. Beban Hidup = 50 psf = 2,39 kN/m<sup>2</sup>
3. Beban mati tambahan (SDL)
  - Lantai tipikal = 80 psf = 3,83 kN/m<sup>2</sup>
  - Lantai atap = 25 psf = 1,2 kN/m<sup>2</sup>
  - Beban dinding = 10 psf = 0,479 kN/m<sup>2</sup>

#### 3.3.3 Respon Spektrum Desain Gempa

Berdasarkan SNI 1726 : 2019, respon spektrum gempa di desain pada kondisi tanah sedang (SD) dengan kategoridesain seismik D maksimum, yang memiliki spektrum percepatan desain sebagai berikut.

Tabel 3.2: Nilai-nilai pembentukan RSD

F <sub>a</sub>	1,6
F <sub>y</sub>	2.3760
S <sub>DS</sub>	0.2368
S <sub>D1</sub>	0.1774
T <sub>0</sub>	0.1498
T <sub>s</sub>	0.7492

Berdasarkan SNI 1726: 2019, untuk memperoleh nilai S<sub>a</sub> digunakan persamaan berikut:

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

### 3.3.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dihitung berdasarkan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019 tentang standar perencanaan bangunan tahan gempa. Maka didapatkan untuk faktor  $R=6$  nilai  $C_d=5$  yang diperoleh dari kategori desain seismic dan nilai  $S_{DS} = 0,356$ , maka pembebanan kombinasinya bisa dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai  $S_{DS} = 0,356$ .

Kombinasi	Koefisien (DL)	Koefisien (LL)	Koefisien (Eqx)	Koefisien (Eqy)
Kombinasi 1	1,4	0	0	0
Kombinasi 2	1,2	1,6	0	0
Kombinasi 3	1,278	1	0,3	1
Kombinasi 4	1,122	1	-0,3	-1
Kombinasi 5	1,158	1	0,3	-1
Kombinasi 6	1,278	1	-0,3	1
Kombinasi 7	1,28	1	1	0,3
Kombinasi 8	1,12	1	-1	-0,3
Kombinasi 9	1,24	1	1	-0,3
Kombinasi 10	1,16	1	-1	0,3
Kombinasi 11	0,822	0	0,3	1
Kombinasi 12	0,978	0	-0,3	-1
Kombinasi 13	0,942	0	0,3	-1
Kombinasi 14	0,858	0	-0,3	1
Kombinasi 15	0,82	0	1	0,3
Kombinasi 16	0,98	0	-1	-0,3
Kombinasi 17	0,96	0	1	-0,3
Kombinasi 18	0,94	0	-1	0,3
Kombinasi <i>Maximum Envelope</i>	Nilai <i>absolute</i> dari seluruh kombinasi			

### 3.3.5 Analisis Respon Spektrum Ragam

Analisis ini merupakan tahap desain yang harus memenuhi syarat-syarat batas berdasarkan SNI 1726:2019. Analisis telah memenuhi syarat jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi yaitu sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Nilai untuk masing-masing parameter terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar lantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing respon ragam telah dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan respon spektrum dibagi dengan kuantitas ( $R/I_e$ ). Nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar lantai harus dikalikan dengan kuantitas ( $Cd/I_e$ ). Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, telah dikombinasikan menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) atau metode kombinasi kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Metode akar kuadrat jumlah kuadrat diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang lebih dari 15%, sementara metode kombinasi kuadrat lengkap diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang kurang dari 15%. Sehingga metode yang digunakan dalam analisis respon spektrum ragam adalah CQC pada Model yang dianalisis.

### 3.3.6 Data Rekaman Gempa (*Groundmotion Record*)

Pemilihan rekaman gempa memakai metode yang mengacu kepada SNI 1726:2019. Data rekaman gempa diperoleh dari website resmi Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Next Generation Attenuation (NGA), COSMOS Strongmotion Data Center. Dalam pengambilan data rekaman gempa melalui PEER NGA, diperlukan data Station, Date, dan Magnitude agar terdapat korelasi antara data gempa yang diambil dari website tersebut dengan data gempa dari bangunan yang direncanakan.

Data rekaman gempa yang diambil sebanyak 10 rekaman gempa diantaranya rekaman gempa jauh dengan jarak epicentral diatas 15 km diambil sebanyak 10 data rekaman gempa dan rekaman gempa dekat diambil sebanyak 10 rekaman. Semua rekaman gempa diperoleh dari PEER NGA tertera pada Tabel 3.2 untuk rekaman gempa dekat dan Tabel 3.3 untuk rekaman gempa jauh.

Tabel 3.4: Data Rekaman Gempa Dekat dari PEER-NGA.

Gempa	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun Gempa	Mag
1	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #6	6.5
2	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #7	6.5
3	Irpinia, Italy-01	1980	Sturno	6.9
4	Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	6.5
5	Loma Prieta	1989	Saratoga - Aloha Ave	6.9
6	Erzican, Turkey	1992	Erzincan	6.7
7	Cape Mendocino	1992	Petrolia	7
8	Landers	1992	Lucerne	7.3
9	Northridge-01	1994	Rinaldi Receiving Sta	6.7
10	Northridge-01	1994	Sylmar - Olive View Med FF	6.7

Tabel 3.5: Data Rekaman Gempa Jauh dari PEER-NGA..

Gempa	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun Gempa	Mag
1	Imperial Valey	1979	Delta	6.5
2	Imperial Valey	1979	El Centro Array	6.5
3	Kobe, Japan	1995	Nishi-Akashi	6.9
4	Kobe, Japan	1995	Shin-Osaka	6.9
5	Kocaeli, Turkey	1999	Duzce	7.5
6	Kocaeli, Turkey	1999	Arcelik	7.5
7	Superstition Hills	1987	Poe Road	6.5
8	Cape Mendocino	1992	Rio Dell Overpass	7
9	Chi-Chi, Taiwan	1999	Chi-chi, Taiwan	7.6
10	Chi-Chi, Taiwan	1999	Chi-chi, Taiwan	7.6

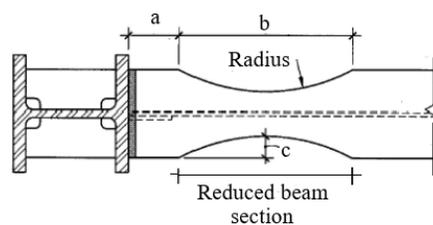
Setiap data rekaman gempa terdiri dari data gempa horizontal (arah X dan Y) dan data gempa vertikal (arah Z), namun dalam Tugas Akhir ini data rekaman gempa yang digunakan hanya gempa horizontal arah X, sementara gempa horizontal arah Y tidak digunakan karena bangunan yang direncanakan dalam bentuk 2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

Selanjutnya data rekaman gempa yang diperoleh tersebut diskalakan terhadap respon spektrum desain. Pada proses penskalaan dibutuhkan data respon spektrum desain agar data rekaman gempa original disesuaikan dengan kondisi geologis pada Kota Jayapura (tanah sedang). Selain itu, rentang perioda alami ( $T$ ) juga dibutuhkan dalam proses penskalaan agar hasil skala lebih detail. Kemudian data rekaman gempa yang telah diskalakan digunakan sebagai input pada software OpenSEES. untuk Analisis Dinamik Non Linier Inelastis dengan Metode Analisa Riwayat Waktu.

### 3.4 Pemodelan Material Nonlinear

#### 3.4.1 Pemodelan Sendi Plastis Elemen Balok dan Kolom

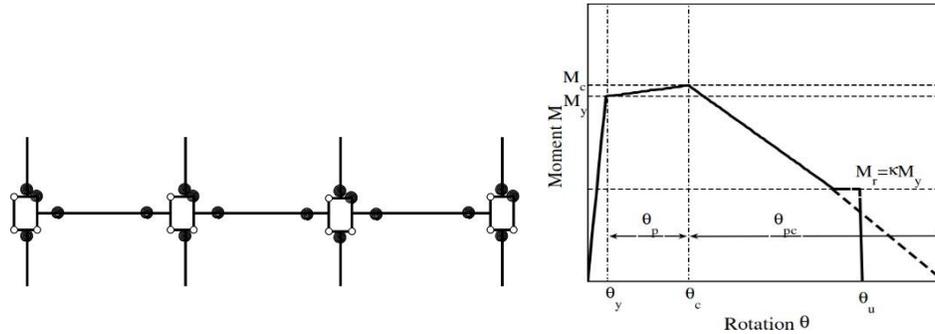
Elemen kolom pada struktur baja SRPMK pada studi ini memakai jenis WF profil USA dan untuk balok memakai jenis WF yang penampangnya dikurangi (*reduced beam section*, disingkat RBS). Balok RBS ditunjukkan pada Gambar 3.3 dimana menurut AISC 358-05 besaran coakan pada sayap balok adalah  $a = 0.625b_f$ ,  $b=0.75d_b$ ;  $c = 0.250b_f$ ; 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 flens penampang balok dan tinggi penampang balok.



Gambar 3.5 Balok RBS yang dipakai sebagai model SRPMK

Pemodelan sendi plastis pada elemen balok dan kolom menggunakan metode yang diusulkan oleh Lignos dan Krawinkler (2011) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3 dimana momen leleh ( $M_y$ ) dihitung dari momen plastisnya, momen maksimum  $M_c$ , dihitung berdasarkan rasio  $M_c/M_y$ . dan rotasi leleh diperoleh

dari  $\theta_y = M_y/(6EI/L)$ . Besaran rotasi saat momen maksimum,  $\theta_c$ , dan rotasi batas,  $\theta_u$ , dapat diketahui setelah mencari besaran kapasitas rotasi plastis,  $\theta_p$ , dan kapasitas rotasi pasca plastis,  $\theta_{pc}$ .



Gambar 3.6 Model sendi plastis balok dan kolom memakai model Lignos dan Krawinkler (2011): a) Model pegas untuk memodelkan sendi plastis di ujung elemendan juga untuk memodelkan zone panel

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

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

(Persamaan 3.1)

Sedangkan untuk balok RBS, kapasitas rotasi plastisnya adalah:

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

(Persamaan 3.2)

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

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

(Persamaan 3.3)

Sedangkan untuk balok kapsitas rotasi pasca plastisnya dicari dengan

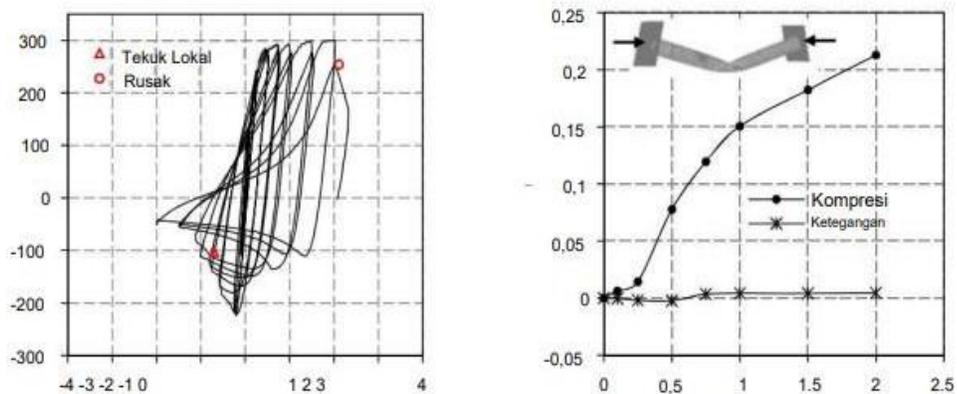
$$\theta_{pc} = 9.52 \cdot \left(\frac{h}{t_w}\right)^{-0.513} \cdot \left(\frac{b_f}{2 \cdot t_f}\right)^{-0.863} \cdot \left(\frac{L_b}{r_y}\right)^{-0.108} \cdot \left(\frac{c_{unit}^2 \cdot F_y}{355}\right)^{-0.360}$$

(Persamaan 3.4)

### 3.4.2 Sendi Plastis Pada Bresing

Elemen bresing berperilaku sebagai rangka batang yaitu hanya menerima gaya tarik atau tekan. Rangka bresing dikategorikan menjadi rangka bresing konsentrik dan rangka bresing eksentrik. Jumlah sendi plastis yang diperlukan untuk mengubah suatu struktur ke dalam kondisi mekanisme runtuhnya, sangat berkaitan dengan derajat statis tak tentu yang adadalam struktur tersebut.

Ketika sendi plastis terbentuk, besarnya momen di ujung elemen tersebut akan sama dengan kapasitas momen plastisnya. Penambahan beban berikutnya tidak akan mempengaruhi harga momen ini, yaitu tidak terjadi perubahan momen pada titik ujungyang bersangkutan.

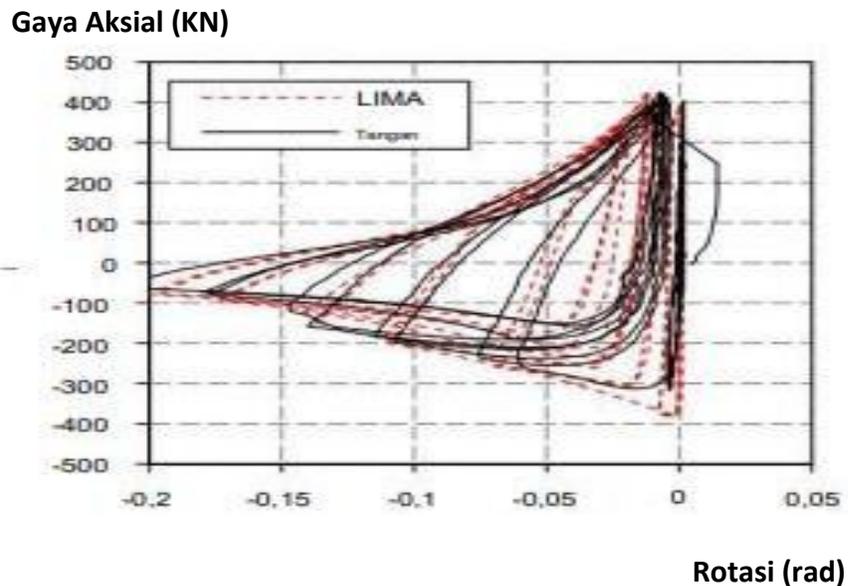


Gambar 3.7 Contoh deformasi aksial vs gaya aksial pada bresing akibat beban siklik. Skalomenos dkk.,(2017)

### 3.4.3 Plat Buhul (*Gusset Plate*)

Menurut Astaneh (1998) pelat buhul direncanakan agar memiliki kekuatan dan daktalitas yang cukup untuk dapat menahan gaya aksial, geser dan lentur dari bresing, balok, dan kolom. Pengaruh daktalitas dari pelat buhul akan sangat berperan dalam mengakomodasi rotasi di daerah pertemuan bresing dan pelat buhul, untuk menjamin agar pelat buhul dapat berotasi dengan bebas. Astaneh menyarankan di daerah pertemuan antara pelat buhul dan bresing diberi jarak sebesar 2tp.

Perencanaan seismik di setiap sambungan termasuk pelat buhul adalah untuk mengidentifikasi cara kegagalan dari tiap-tiap elemen. Cara kegagalan dari setiap elemen harus direncanakan secara hirarki kelelahan agar dapat menghasilkan suatu performa seismik yang bersifat duktail dari setiap elemen yang nantinya akan menghasilkan peningkatan daktalitas secara global dari rangka bresing eksentrik.



Gambar 3.8 Perilaku sendi plastis pelat buhul (atau perilaku deformasi nonlinear pelatbuhul dalam rotasi) akibat gaya aksial P siklik yang berlebihan. Skalomenos dkk., (2017)

### 3.5 Analisis Struktur

#### 3.5.1 Analisis Riwayat waktu

Menurut Khoeri, (2019) Analisis Dinamik Riwayat Waktu adalah suatu cara analisis untuk menentukan riwayat waktu respon dinamik struktur bangunan gedung yang berperilaku linear atau nonlinier terhadap gerakan tanah akibat Gempa.

Analisis ini merupakan tahap evaluasi yang dijadikan sebagai perbandingan terhadap analisis linear sebelumnya, sehingga tidak perlu seluruhnya memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2019. Karena model yang digunakan merupakan model yang seluruhnya telah memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2019 pada analisis linier sebelumnya yaitu dengan Metode Respon Spektrum. Pada Metode Respon Riwayat

Waktu ini dianalisis secara dua dimensi. Alat bantu *software* yang digunakan adalah OpenSEES. Sebelum dianalisis dengan OpenSEES terdapat beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. pengambilan rekaman gempa dari PEER NGA dan COSMOS. Daerah-daerah rekaman yang diambil tertera pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.
- b. mengubah rekaman gempa menjadi respon spektrum dengan bantuan *software* Seismosignal. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses penskalaan.
- c. kemudian respon spektrum diskalakan dengan respon spektrum yang direncanakan untuk wilayah Indonesia. Respon spektrum akan diskalakan terhadap perioda gedung, Kemudian nilai skala akan digunakan untuk penskalaan rekaman gempa yang diambil dari PEER NGA dan COSMOS.
- d. Menskalakan rekaman gempa dengan menggunakan *software* MATLAB, rekaman gempa akan dijadikan gempa tunggal dan gempa berulang.

Data- data rekaman yang telah diskalakan dan digabungkan dengan MATLAB akan digunakan sebagai input data pada analisis menggunakan OpenSEES. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam analisis respon riwayat waktu nonlinier menggunakan *software* OpenSEES antara lain:

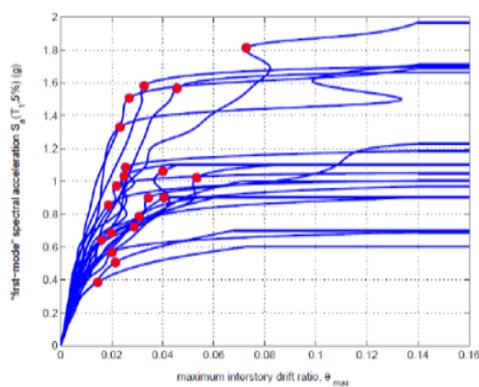
- $I$  = Momen inersia penampang  
 $E$  = Modulus elastisitas penampang  
 $M_y$  = Momen leleh  
 $M_c$  = Momen puncak  
 $K_o$  = Kekakuan rotasi elastis  
 $\theta_p$  = Koefisien rotasi plastis  
 $\theta_y$  = Koefisien rotasi leleh  
 $\theta_c$  = Koefisien rotasi kapasitas plastis  
 $\theta_{pc}$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

### 3.5.2 Kinerja Keruntuhan

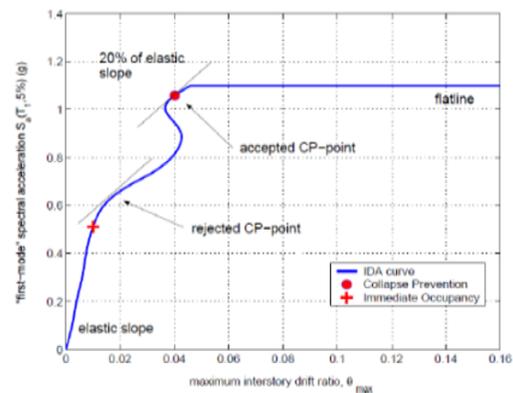
Kinerja keruntuhan adalah sebuah kondisi Dimana simpangan antar tingkat sebuah struktur telah mencapai batas maksimum yang dimilikinya. Untuk hal ini nilai simpangan antar tingkat maksimum untuk kinerja keruntuhan struktur SRPMK baja adalah 0.1.

### 3.5.3 Incremental Dynamic Analysis (IDA)

*Incremental Dynamic Analysis (IDA)* merupakan metode analisis komputasi beban gempa untuk melakukan penilaian menyeluruh terhadap perilaku struktur dibawah beban gempa. Metode ini digunakan untuk membangun hasil analisis bahaya seismik probabilistik untuk memperkirakan resiko seismic yang dihadapi oleh struktur (Faisal,2019). IDA melibatkan beberapa analisis riwayat waktu nonlinier terhadap model struktural di bawah rangkaian catatan gerak tanah berdasarkan tingkat intensitas seismik yang berbeda. Untuk membuat analisis IDA diperlukan nilai IDR max yaitu adalah rasio interstory drift ratio dibagi dengan tinggi lantai, yang dimana nilai IDR max tersebut di sandingkan dengan nilai RSA (Respon Spektrum Acceleration). Melalui IDA dapat ditentukan kinerja keruntuhan sebuah struktur. Jika masing-masing node mengalami perpindahan akibat gaya gempa, maka perpindahan tersebut dapat menghasilkan simpangan antar tingkat.



(a)



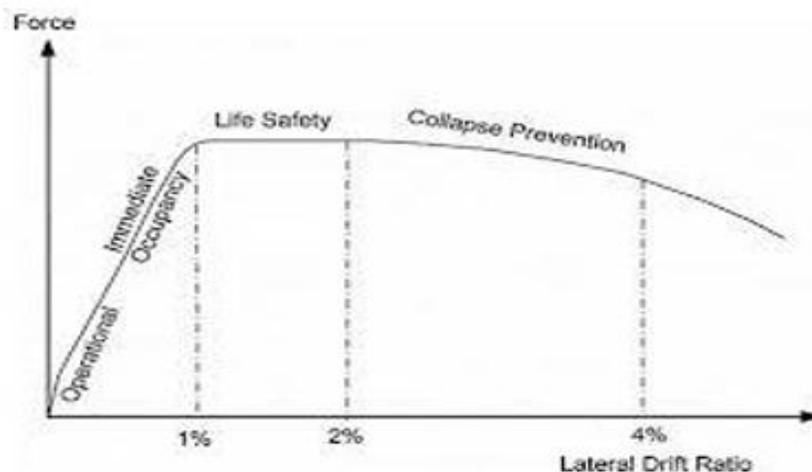
(b)

a) grafik IDA b) grafik penentuan *collapse prevention* pada kurva IDA Vamvatsikos dan Cornell, (1966).

Dalam metode analisis IDA, serangkaian analisis nonlinier dinamis dilakukan untuk setiap rekaman seismik secara akurat untuk memperkirakan rentang respon lengkap. Dalam hal pemilihan untuk analisis dinamis nonlinier, Lervolino dan Marfendi, (2008) meninjau parameter input seismic yang mempengaruhi penilaian probabilistic serta mendiskusikan keuntungan dan kerugian dari prosedur yang diperkenalkan.

### 3.5.4 Defenisi IO, LS, dan CP

Kondisi IO, LS, dan CP adalah tingkatan kinerja struktur yang digunakan dalam desain berbasis performa untuk menganalisis respons bangunan terhadap gempa.



- Immediate Occupancy (IO) adalah kondisi di mana struktur masih dapat digunakan setelah gempa dengan sedikit atau tanpa kerusakan pada elemen struktural. Dalam kondisi IO, struktur mempertahankan kekakuan dan kekuatannya sehingga tetap aman digunakan, meskipun mungkin memerlukan perbaikan ringan. Pada kondisi ini, pengguna bangunan bisa langsung kembali melakukan aktivitas tanpa gangguan yang berarti.
- Life Safety (LS) adalah kondisi di mana struktur mengalami kerusakan signifikan

akibat gempa, tetapi tetap menjaga keselamatan penghuni. Pada kondisi LS, deformasi yang terjadi sudah cukup besar sehingga beberapa elemen struktural dan non-struktural rusak. Namun, struktur tidak runtuh, dan risiko cedera fatal bagi penghuni diminimalisir. Ini merupakan batasan umum yang sering dijadikan acuan dalam desain bangunan untuk mengurangi risiko kehilangan jiwa selama gempa.

- Collapse Prevention (CP) adalah kondisi paling kritis di mana struktur mengalami kerusakan yang sangat parah, tetapi tetap belum mengalami keruntuhan total. Pada kondisi CP, bangunan hampir mencapai batas runtuh dan kehilangan hampir seluruh kekuatannya. Struktur mungkin tidak lagi layak digunakan dan memerlukan perbaikan besar atau bahkan pembongkaran. Namun, tujuannya adalah untuk memastikan bangunan tidak runtuh sepenuhnya sehingga memungkinkan penghuni untuk dievakuasi dengan selamat.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil model Linear dan Non Linear

Bab ini membahas hasil analisa linier dan non linier oleh program analisa struktur diantaranya, *Incremental Dynamic Analysis*, nilai *interstory drift*, dan perilaku sendi plastis pada struktur rangka berbresing serta gaya-gaya yang ada pada struktur gedung. Berdasarkan model yang didesain *dengan Struktur Braced frame system (CBF)*.

#### 4.2 Hasil Analisa Linier

##### 4.2.1 Respon Spektrum Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2019, analisa harus dilakukan untuk menentukan ragam untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Persentase nilai periode yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC atau SRSS.

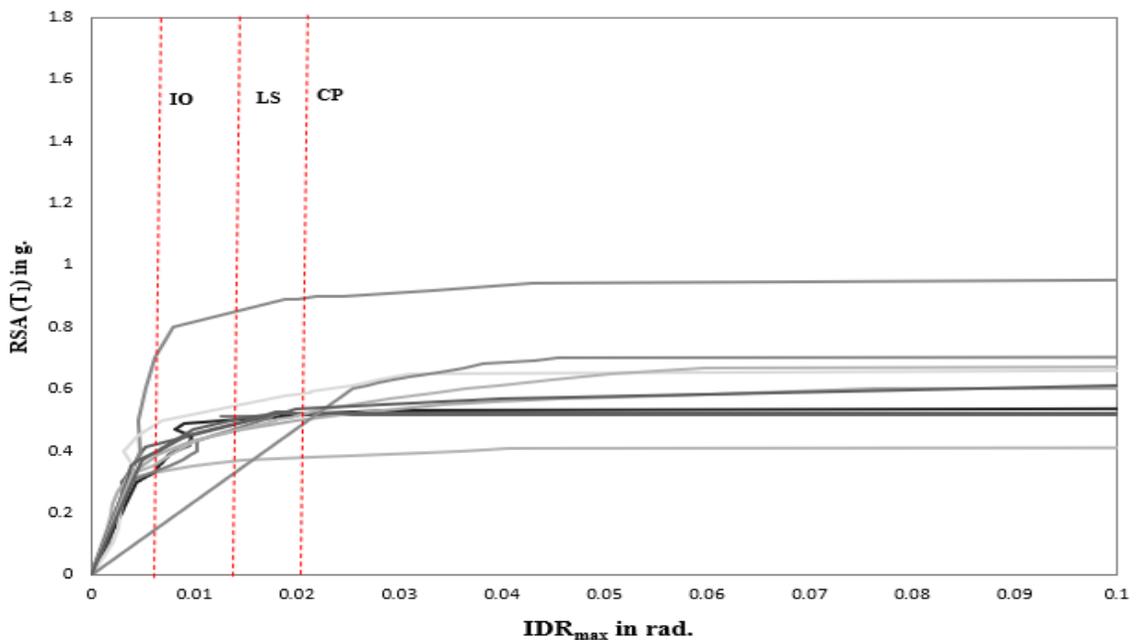
#### 4.3 Hasil Analisa Non Linear

Tahap ini adalah bagian dari evaluasi struktur baja yang telah didesain terhadap beban gempa yang telah direncanakan, dalam hal ini respon struktur akan ditinjau terhadap perbedaan jenis gempa, faktor R pada gedung, dan perioda struktur bangunan. Jenis gempa yang diberikan pada struktur baja adalah gempa dekat, serta gempa jauh. Faktor R pada gedung merupakan faktor reduksi gedung yang telah didesain dengan perbedaan sistem struktur baja. Perbedaan nilai perioda didapat dari kedua jenis model yang telah didesain. Setiap model struktur akan diambil data *interstory drift* dan *top displacement* setelah dianalisis, nilai tersebut dibandingkan terhadap faktor-faktor yang telah disebutkan di atas.

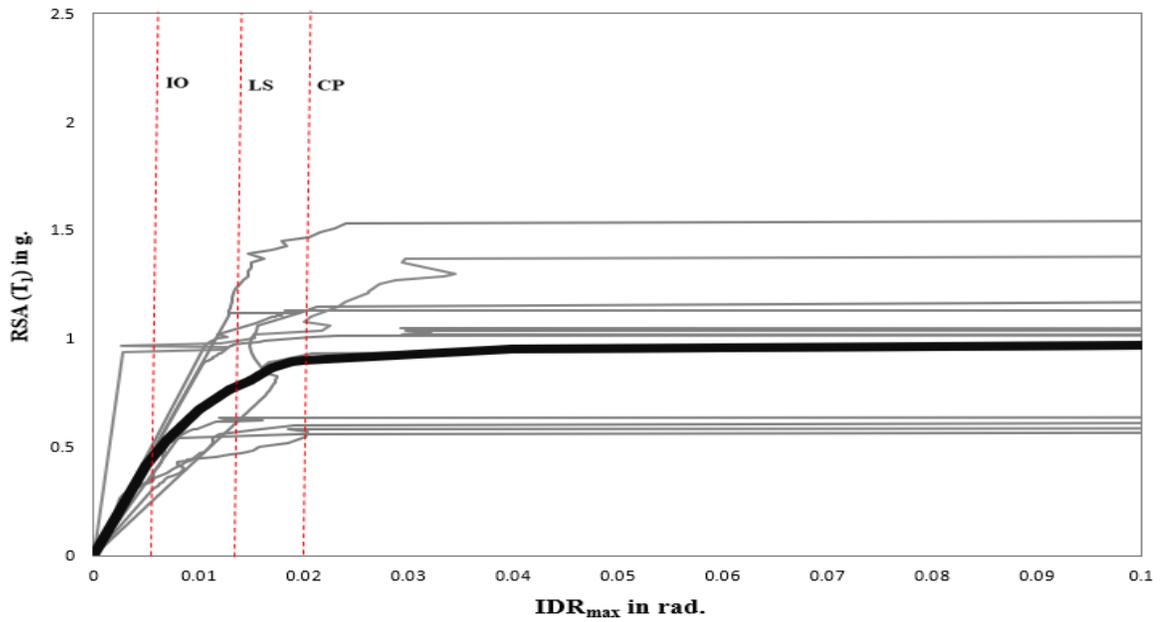
### 4.3.1 Metode IDA (*Incremental Dynamic Analysis*)

Analisis ini digunakan untuk pemeriksaan struktur SRBK Model 1 dan Model 2 dengan parameter yang telah disebutkan diatas. Penilaian respons struktural terhadap gempa dekat dan gempa jauh serta menentukan nilai *drift* maksimum antar lantai, yang ditentukan dari nilai RSA minimum hingga RSA maksimum yang menyebabkan keruntuhan struktur baja bresing konsentris

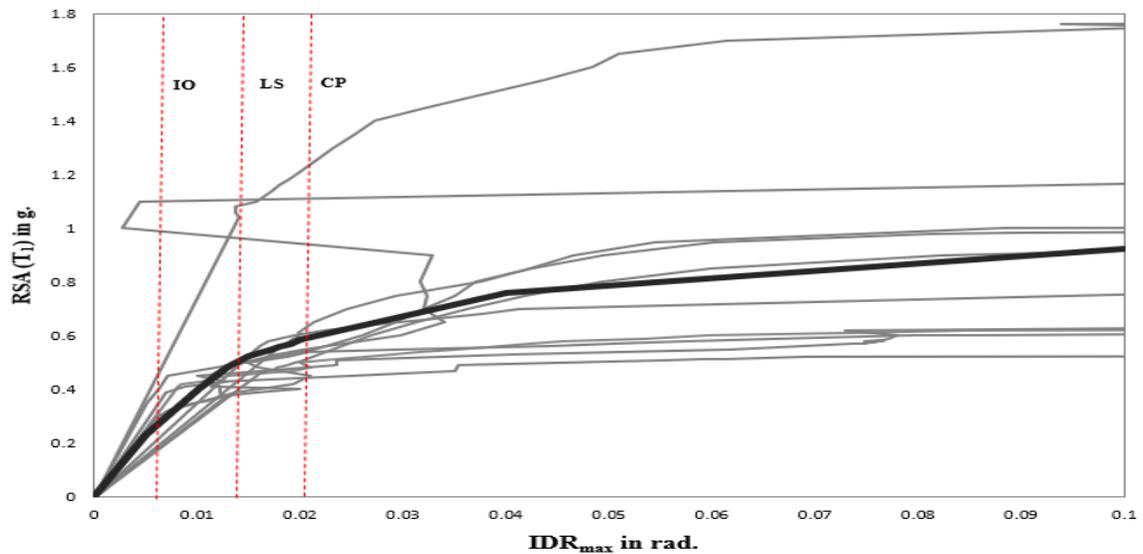
Pada Gambar 4.1 – 4.4 menunjukkan derajat nilai *Incremental Dynamic Analysis* yang di analisis berdasarkan rekaman gempa dekat dan rekaman gempa jauh terhadap model 1 dan model 2. Dimana pada garis yang dipertebal merupakan nilai *mean* dari keseluruhan *Ground Motion* tiap grafik yang menggambarkan nilai dan bentuk kurva dari kategori *Immediate Occupancy* (0,5%), *Life Safety* (1,5%), dan *Collapse Prevention* (2%).



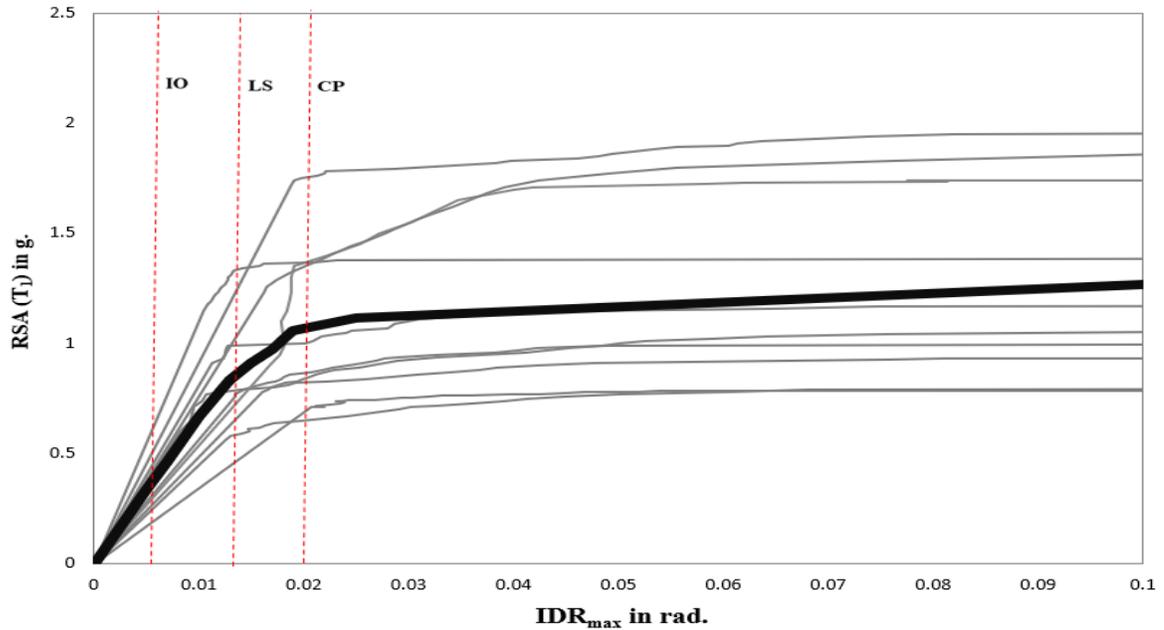
Gambar 4.1: Derajat nilai IDA (*Incremental Dynamic Analysis*) yang terdapat pada model 1 yang diakibatkan gempa dekat.



Gambar 4.2: Derajat nilai IDA (*Incremental Dynamic Analysis*) yang terdapat pada model 1 yang diakibatkan gempa jauh.



Gambar 4.3: Derajat nilai IDA (*Incremental Dynamic Analysis*) yang terdapat pada model 2 yang diakibatkan gempa dekat.



Gambar 4.4: Derajat nilai IDA (*Incremental Dynamic Analysis*) yang terdapat pada model 2 yang diakibatkan gempa jauh.

Hasil pada Gambar 4.1 - 4.4. jelas menggambarkan bahwa kondisi CP pada model CBF banyak dicapai akibat gerakan tanah sebelum mencapai kondisi deformasi struktur mencapai kondisi  $IDR_{max} = 0,02$ . Sehingga hasil tersebut juga menjelaskan kondisi ketidakstabilan terjadi ketika respon deformasi jauh sebelum mencapai  $IDR_{max} = 0,1$ , bahkan sebelum kondisi CP yang ditunjukkan oleh 80% perubahan kemiringan garis kekakuan elastis. Judd dan Charney, (2016). Pada perhitungan *Interstory Drift* di atas didapatkan juga hasil berupa nilai *maximum interstory drift* di setiap model 1 dan model 2 pada GM yang menggunakan gempa dekat dan gempa jauh hal ini tertera di Tabel 4.1 untuk GM yang memberikan nilai  $IDR_{max}$  pada kondisi median di grafik IDA.

Kondisi	RSA	GM06 (Erzican)	GM01 (Imperial)	GM rata-rata	GM rata-rata
IO	0.005	0.35	0.375	0.37	0.42
	0.01	0.39	0.525	0.47	0.54
	0.013	0.43	0.53	0.49	0.67
LS	0.015	0.47	0.535	0.51	0.77
	0.017	0.5	0.54	0.52	0.81
	0.018	0.52	0.545	0.53	0.87
CP	0.02	0.54	0.55	0.54	0.9
	0.04	0.56	0.555	0.57	0.95
	0.1	0.57	0.56	0.61	0.97

Tabel  
4.1:

Mencari Nilai IDR maksimum.

Untuk Model 1 di kondisi IO, LS, CP terdapat pada GM06 (Erzican), dan di Model 2 Kondisi IO, LS, CP terdapat pada GM01 (Imperial Valley-06)

Kondisi	SDR CBF	Gempa Dekat	Gempa Jauh
IO	0.50%	0.37	0.42
LS	1.50%	0.51	0.81
CP	2%	0.54	0.9

Tabel 4.2: Nilai RSA median untuk kondisi IO, LS, CP Pada Model 1

Kondisi	SDR CBF	Gempa Dekat	Gempa Jauh
IO	0.50%	0.23	0.33
LS	1.50%	0.52	0.91
CP	2%	0.59	1.07

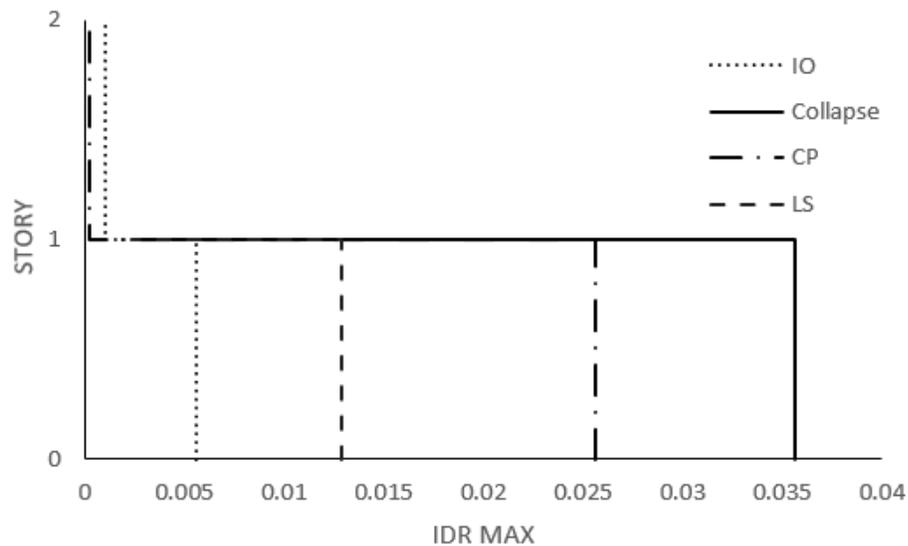
Tabel 4.3: Nilai RSA median untuk kondisi IO, LS, CP pada Model 2

#### 4.3.2 *Interstory Drift Ratio (IDR)*

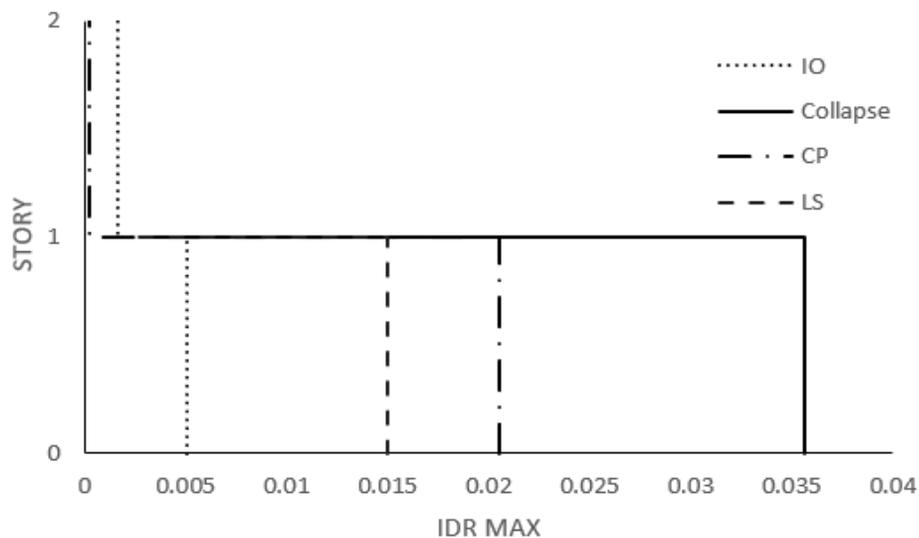
Interstory Drift Ratio (IDR) merupakan salah satu parameter penting dalam analisis struktur bangunan terhadap beban gempa. IDR adalah perbandingan antara perpindahan lateral antar dua lantai yang berdekatan dengan tinggi lantai tersebut. Dalam konteks seismik, IDR memberikan gambaran tentang deformasi yang dialami oleh bangunan akibat beban lateral seperti gempa. Nilai ini menjadi indikator penting untuk mengevaluasi potensi kerusakan pada elemen-elemen struktural dan non-struktural. Jika IDR terlalu tinggi, risiko kerusakan pada elemen non-struktural seperti dinding partisi, jendela, dan elemen arsitektural lainnya meningkat, bahkan berpotensi menyebabkan kegagalan struktural. Standar desain bangunan menetapkan batas maksimum IDR, tergantung pada fungsi bangunan dan tingkat kepentingannya. Misalnya, untuk bangunan umum, IDR dibatasi antara 1% hingga 2%, sementara untuk bangunan vital seperti rumah sakit, batasannya lebih

rendah. Penelitian oleh Ahmadi & Ebadi Jamkhaneh, (2021).

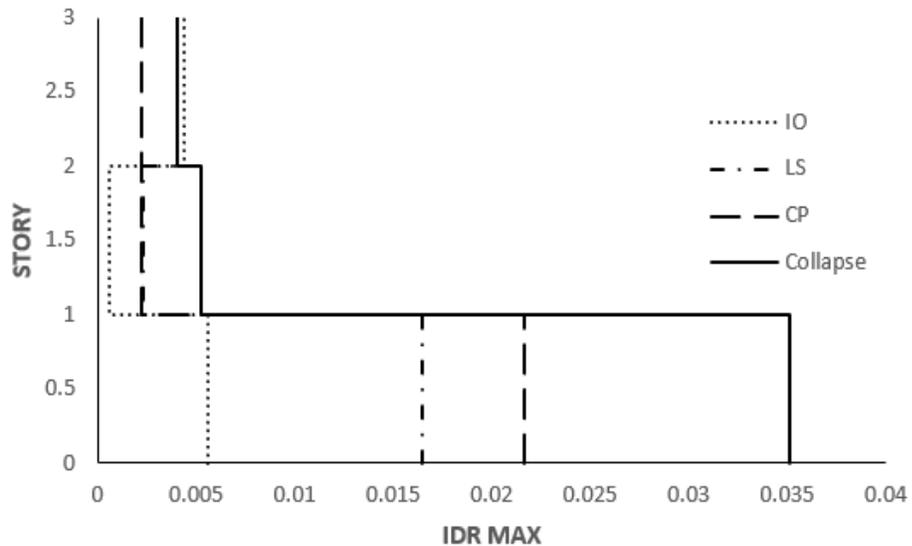
Dari analisis *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) diperoleh nilai RSA untuk rekaman tanah gempa dekat dan jauh. Representasi grafik dari nilai dapat diperoleh pada Gambar 4.5 - 4.8 yang menunjukkan plot hasil analisis *interstory drift* Pada rekaman gempa yang berbeda. Grafik yang ditampilkan dihitung untuk menentukan nilai IO, LS, CP, dari *groundmotion* untuk menghasilkan data *interstory drift*.



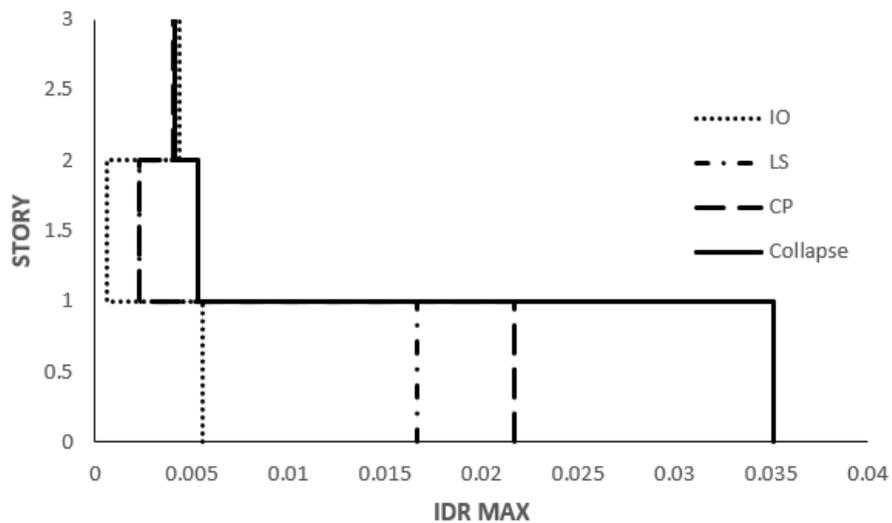
Gambar 4.5 Menunjukkan Rasio Simpangan maksimum pada model 1 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah yang gempa dekat (Imperial Valley-06) serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah (Irpinia, Italy-01)



Gambar 4.6 Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada model 1 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah yang gempa jauh (Kocaeli, Turkey) serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah (Chi-Chi, Taiwan)



Gambar 4.7 Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada model 2 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah yang gempa dekat (Loma Prieta) serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah (Northridge-01)

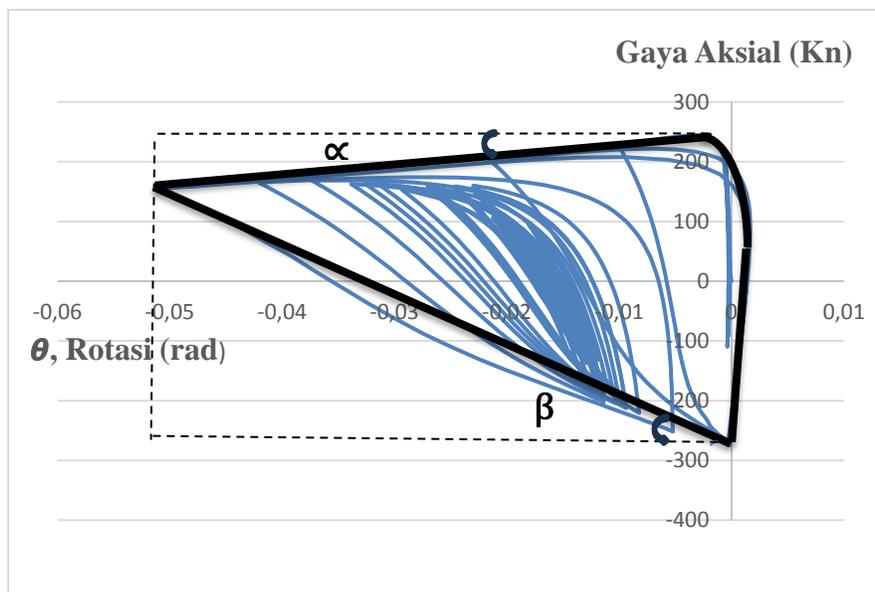


Gambar 4.8 Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada model 2 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah yang gempa jauh (Kocaeli, Turkey) serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah (Cape Mendocino)

#### 4.4 Sendi Plastis Pada Plat Buhul (*Gusset Plate*)

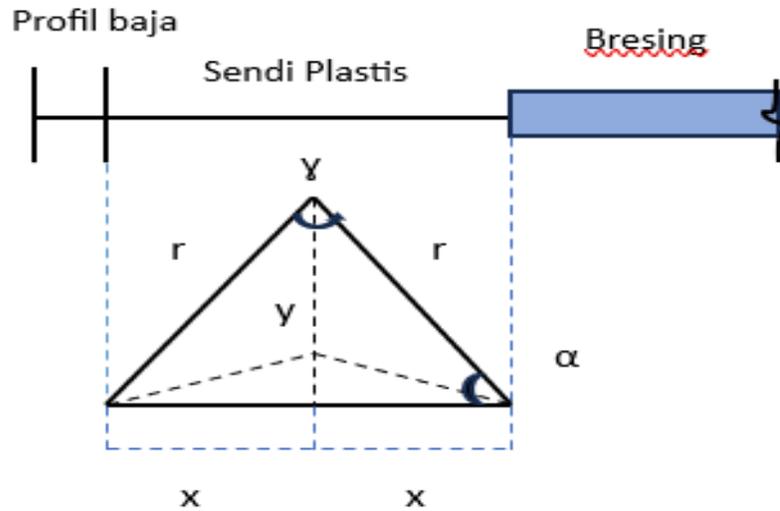
Berdasarkan hasil perhitungan *Incremental Dynamic Analysis* pada bagian sebelumnya, telah ditentukan nilai kondisi IO, LS dan CP. Berdasarkan nilai IO, LS dan CP tersebut di plotlah grafik histerisis yang menggambarkan perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul. Grafik histerisis ini memuat gaya aksial (tarik tekan) secara siklik pada sumbu-Y, dan deformasi rotasinya pada sumbu-X yang menggambarkan proses terjadinya sendi plastis pada elemen plat buhul. Proses sendi plastis pada elemen plat buhul yang dimaksud adalah keadaan dimana terjadinya lendutan sampai mengalami pembengkokan akibat gaya aksial siklik tarik dan tekan.

Gambar 4.17 menjelaskan parameter-parameter sendi plastis yang ditinjau pada tugas akhir ini,  $\theta$  (notasi) adalah rotasi yang terjadi pada plat buhul,  $\alpha$  (alfa) adalah sudut degradasi gaya aksial tarik,  $\beta$  (beta) adalah sudut degradasi gaya aksial tekan.



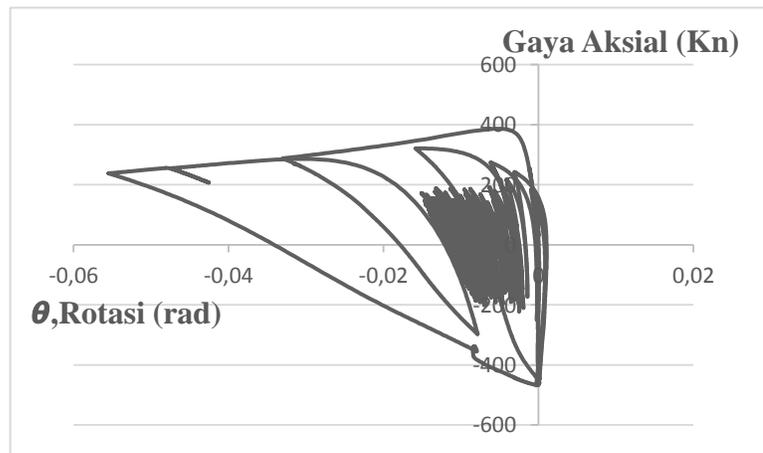
Gambar 4.17 Parameter sendi plastis plat buhul yang ditinjau ( $\theta$ ,  $\alpha$ , dan  $\beta$ )

Gambar 4.18 menjelaskan parameter-parameter regangan sendi plastis elemen plat buhul yang ditinjau  $x$  (bresing),  $y$  (gama) dan  $\alpha$  (alfa). Perilaku sendi plastis mulai dari model 1 dan model 2 untuk kondisi IO, LS, dan CP dipresentasikan pada Gambar 4.19 – 4.30.



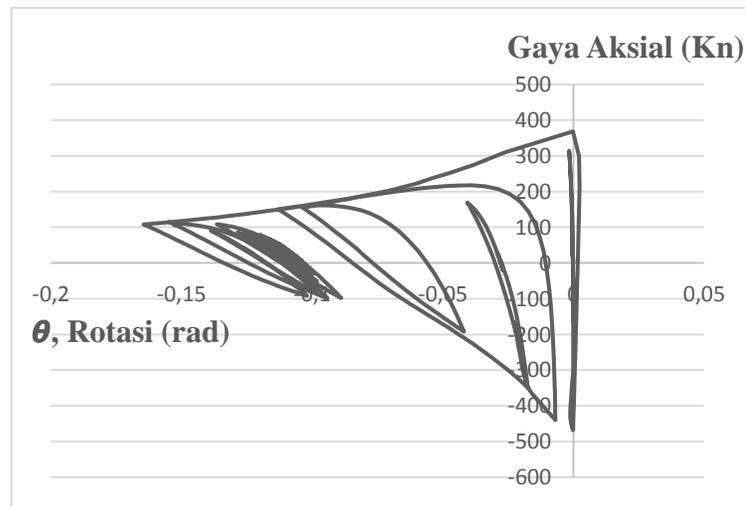
Gambar 4.18 Parameter regangan sendi plastis pada elemen plat buhul yang ditinjau ( $r$ ,  $x$ ,  $y$ , dan  $\alpha$ )

Untuk Model 1 pada kondisi IO (*Immediate Occupancy*) tampak perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul yang menunjukkan bahwa nilai rotasi yang terjadi mencapai nilai 0.05548 rad akibat gempa dekat



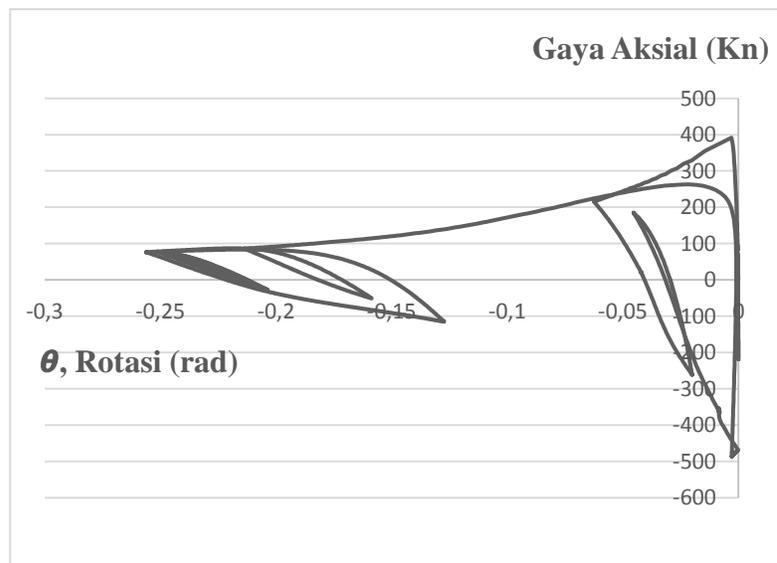
Gambar 4.19: Perilaku Sendi Plastis pada Plat buhul untuk model 1 akibat gempa dekat pada kondisi IO

Pada Kondisi LS (Life Safety) tampak perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul mencapai nilai rotasi 0.1645 rad akibat gempa dekat.



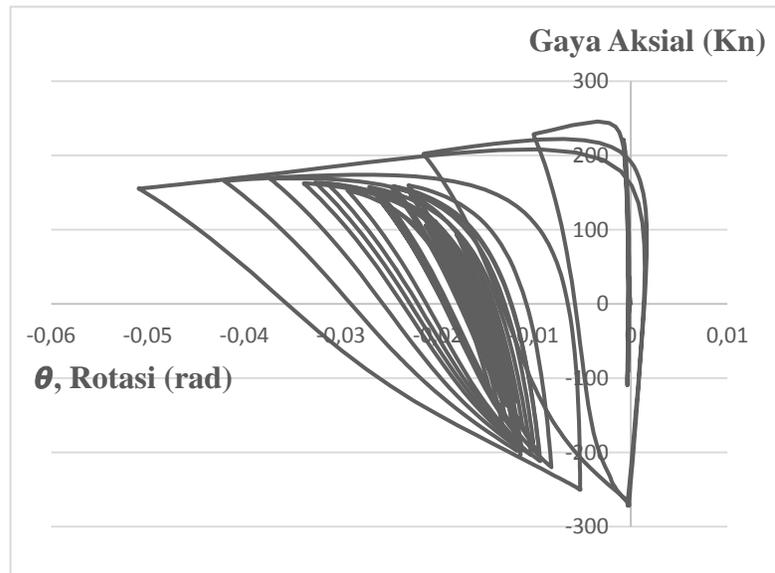
Gambar 4.20: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk model 1 akibat gempa dekat pada kondisi LS

Pada kondisi CP (Collapse Prevention) perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul yang terjadi mencapai 0.25617 rad akibat gempa dekat.



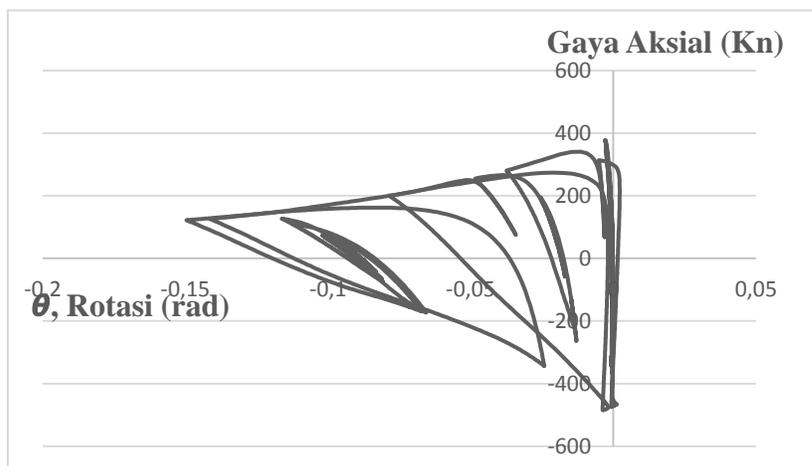
Gambar 4.21: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk model 1 akibat gempa dekat pada kondisi CP

Pada kondisi IO (*Immediate Occupancy*) tampak perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul yang menunjukkan bahwa nilai rotasi yang terjadi mencapai nilai 0.05094 rad akibat gempa jauh.



Gambar 4.22: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk model 1 akibat gempa jauh pada kondisi IO

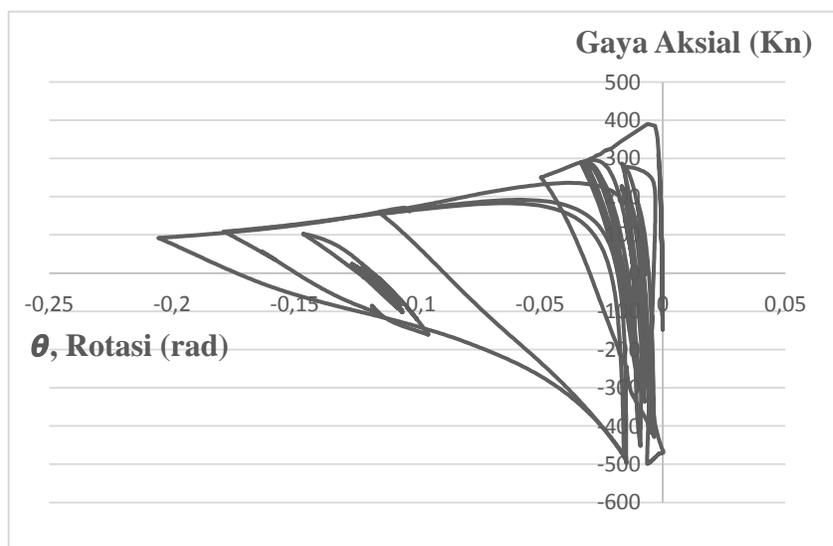
Pada Kondisi LS (*Life Safety*) tampak perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul mencapai nilai rotasi 0.14962 rad akibat gempa jauh.



Gambar

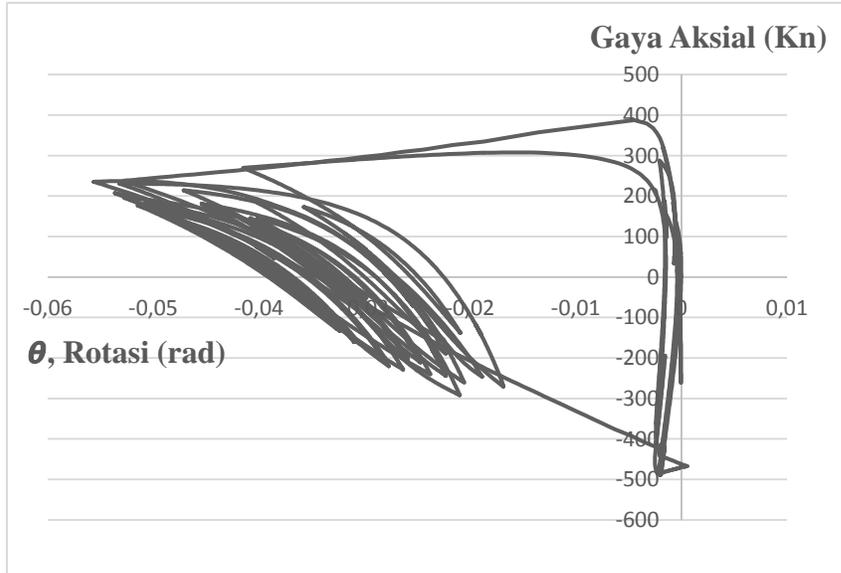
4.23: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk model 1 akibat gempa jauh pada kondisi LS

Pada kondisi CP (Collapse Prevention) perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul yang terjadi mencapai 0.20557 rad akibat gempa jauh.



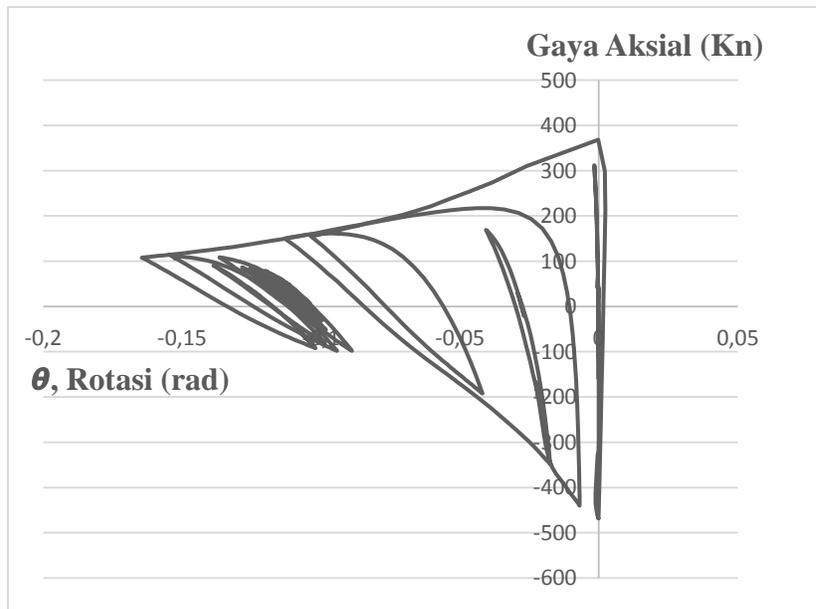
Gambar4.24: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk model 1 akibat gempa jauh pada kondisi CP

Untuk Model 2 pada kondisi IO (*Immediate Occupancy*) tampak perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul yang menunjukkan bahwa nilai rotasi yang terjadi mencapai nilai 0.05566 rad akibat gempa dekat



Gambar 4.25: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk model 2 akibat gempa dekat pada kondisi IO

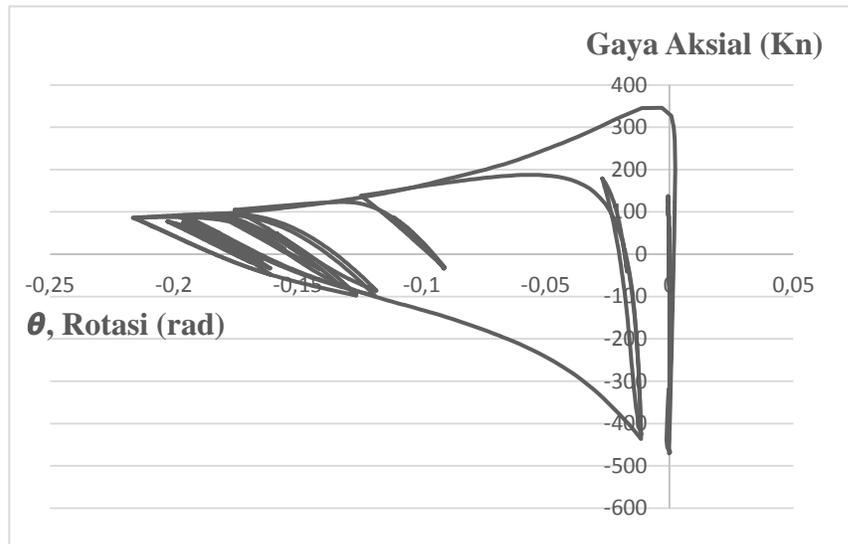
Pada Kondisi LS (Life Safety) tampak perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul mencapai nilai rotasi 0.16448 rad akibat gempa dekat.



Gambar 4.26: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk model 2 akibat gempa dekat pada kondisi LS

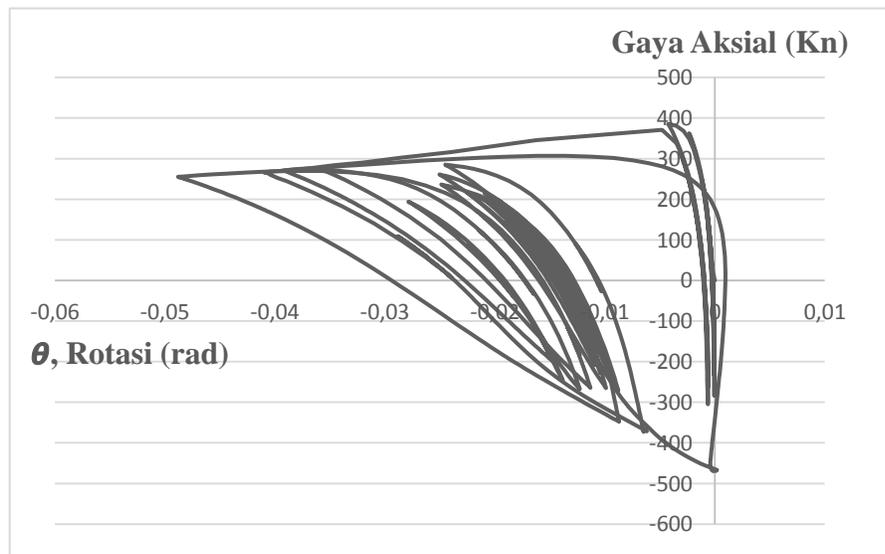
Pada kondisi CP (Collapse Prevention) perilaku sendi plastis pada elemen plat

buhul yang terjadi mencapai 0.21661 rad akibat gempa dekat.



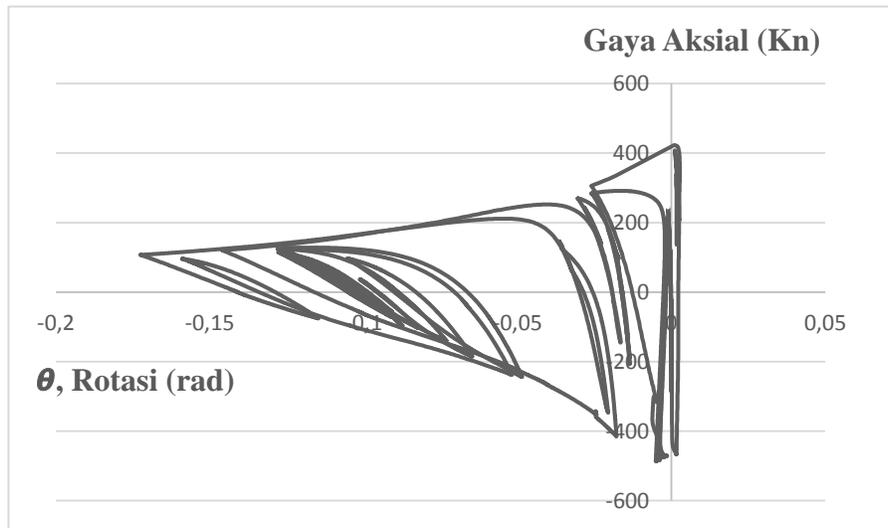
Gambar 4.27: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk model 2 akibat gempa dekat pada kondisi CP

Pada kondisi IO (*Immediate Occupancy*) tampak perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul yang menunjukkan bahwa nilai rotasi yang terjadi mencapai nilai 0.04881 rad akibat gempa jauh.



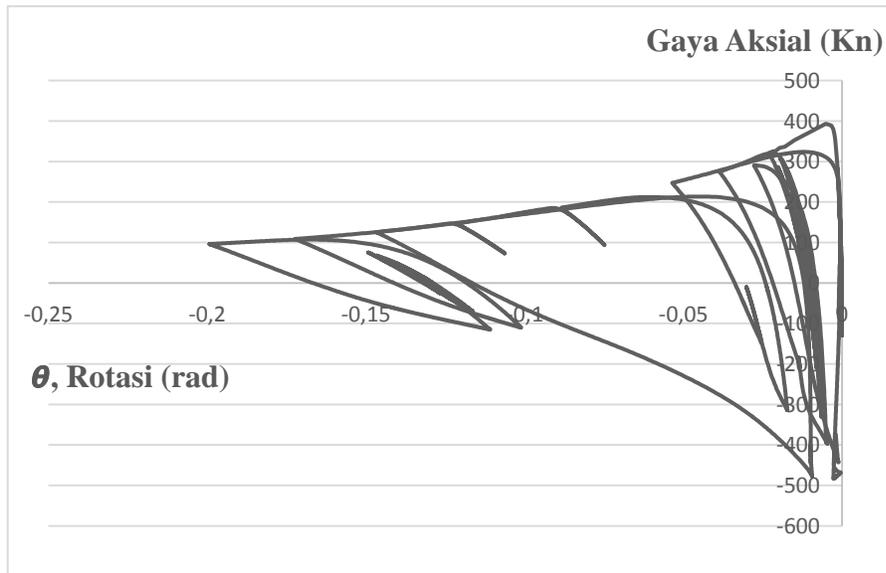
Gambar 4.28: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk model 2 akibat gempa jauh pada kondisi IO

Pada Kondisi LS (*Life Safety*) tampak perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul mencapai nilai rotasi 0.17247 rad akibat gempa jauh.



Gambar 4.29: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk model 2 akibat gempa jauh pada kondisi LS

Pada kondisi CP (Collapse Prevention) perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul yang terjadi mencapai 0.19926 rad akibat gempa jauh.



Gambar 4.30: Perilaku sendi plastis pada Plat buhul untuk model 2 akibat gempa jauh pada kondisi CP

Tabel 4.4 menjelaskan nilai rotasi maksimal masing-masing model berdasarkan jenis gempanya untuk masing-masing kondisi IO, LS dan CP. Dari tabel tersebut tampak bahwa nilai yang lebih besar di peroleh akibat gempa dekat selisih nya mencapai kurang

lebih 30% hal itu terjadi pada Model 1, sedangkan pada Model 2 diperoleh untuk kondisi CP yang paling besar di akibatkan oleh gempa dekat selisih nya mencapai kurang lebih 20%.

Tabel 4.4 Deformasi rotasi maksimal plat buhul (dalam radian) untuk masing-masing model dan jenis gempa.

Kombinasi	$\theta_{Max}$ Model 1		$\theta_{Max}$ Model 2	
	Gempa Dekat	Gempa Jauh	Gempa Dekat	Gempa Jauh
IO	-0.05548	-0.05094	-0.05566	-0.04881
LS	-0.1645	-0.14962	-0.16448	-0.17247
CP	-0.25617	-0.20557	-0.21661	-0.19926

Pada tabel 4.5 dijelaskan degradasi kekuatan gaya aksial untuk setiap masing-masing model dimana  $\alpha$  (alfa) adalah degradasi gaya aksial tarik dan  $\beta$  (beta) degradasi gaya aksial tekan, tampak bahwa degradasi gaya aksial tarik lebih besar dibandingkan degradasi gaya aksial tekan ini berlaku untuk semua kondisi termasuk kondisi CP.

Tabel 4.5 Degradasi gaya tarik dan tekan (sudut  $\alpha$  dan  $\beta$ ) pada plat buhul

Kondisi	Model 1				Model 2			
	Gempa Dekat		Gempa Jauh		Gempa Dekat		Gempa Jauh	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
IO	6.84	29.24	7.29	27.83	4.97	23.26	6.27	28.36
LS	12.95	26.56	13.49	28.10	14.57	30.11	11.30	19.79
CP	10.75	18.26	12.40	23.74	10.75	23.26	10.20	19.20

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Perbandingan perilaku sendi plastis pada elemen plat buhul:
  - a. Rotasi yang terjadi akibat gaya tarik yang terjadi pada Model 1 dan Model 2 menunjukkan hasil yang sangat kecil bahkan bisa diabaikan. Secara keseluruhan rotasi akibat gaya tekan sangat dominan pada perilaku sendi plastis di elemen plat buhul.
  - b. Degradasi yang terjadi akibat gaya tarik dan tekan (sudut  $\alpha$  dan  $\beta$ ) sendi plastis pada elemen plat buhul untuk model 1 pada saat kondisi IO, LS dan CP yang terbesar terjadi akibat gempa dekat sedangkan pada model 2 nilai sudut degradasi yang terbesar terjadi diakibatkan oleh gempa jauh.
2. Pada Model 1 kondisi regangan sendi plastis pada elemen plat buhul yang paling besar terjadi akibat gempa jauh pada kondisi CP yaitu sebesar 23.74, sedangkan pada Model 2 regangan yang terbesar terjadi diakibatkan oleh gempa dekat pada kondisi CP yaitu sebesar 23.26.

## 5.2 Saran

1. Analisis dinamik time history dilakukan untuk ground motion gempa yang lebih beragam dan tipe struktur yang lebih beragam.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menerapkan capacity design concept.
3. Disarankan untuk selanjutnya agar penganalisaan ruangan juga dianalisis dengan fungsi yang berbeda sesuai data kondisi yang ada lapangan agar dapat menghasilkan data yang lebih akurat.

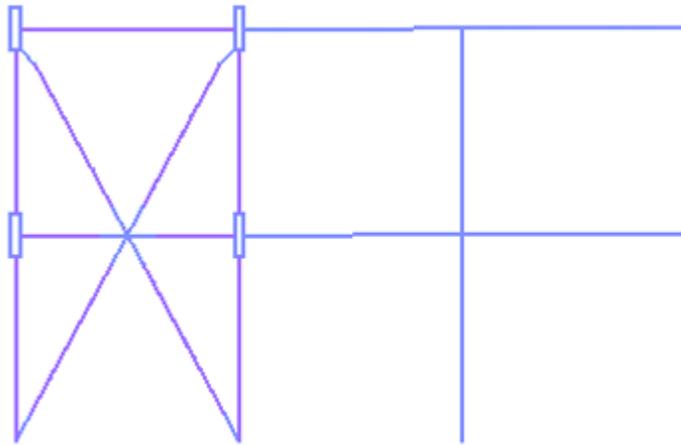
## DAFTAR PUSTAKA

- Ade, F., Tondi, A., Rizki, E. (2024). Perilaku Deformasi tidak linear SRMPK Baja 8 Lantai Akibat Gempa Media Komunikasi *Teknik Sipil Volume 30, No. 2, 2024, 196-206*
- Afrida, S. N. (2023). *Analisa Perbandingan Sistem Rangka Bresing Eksentris (SRBE) Tipe Two Story–X dan Inverted–V Pada Struktur Baja 10 Lantai. (Comparative Analysis of Eccentric Bresing Frame System (SRBE) Type Two Story–X and Inverted–V On 10-story steel structure)* (Doctoral dissertation, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya).
- Bradley, B. A., Burks, L. S., & Baker, J. W. (2015). Ground motion selection for simulation- based seismic hazard and structural reliability assessment. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 44*(13), 2321- 2340.
- Candra, Y. (2017). Analisa Nilai Simpangan Horizontal (Drift) Pada Struktur Tahan Gempa Menggunakan Sistem Rangka Bresing Eksentrik Type Braced v. *Teras jurnal: Jurnal Teknik Sipil, 7*(2), 301-312.
- Faisal, A., Anshari, A., Hadibroto, B., & Kamarudin, A. F. Seismic performance of moment frames under multiple fling-step pulse ground motions. *SINERGI, 26*(2), 155-164.
- Gupta, A., & Krawinkler, H. (2000). Behavior of ductile SMRFs at various

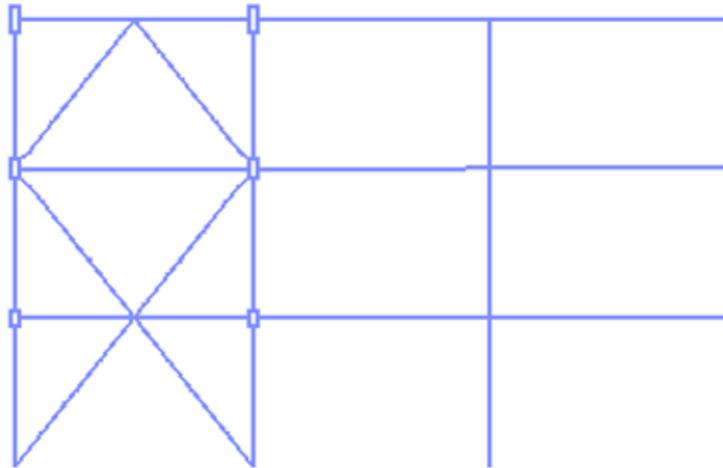
- seismic hazard levels. *Journal of Structural Engineering*, 126(1), 98-107.
- Harris, J. L., & Speicher, M. S. (1863). Assessment of first generation performance- based seismic design methods for new steel buildings volume 1: special momentframes. *NIST Technical Note, 1*, 1863-1.
- Krawinkler, H., & Mohasseb, S. (1987). Effects of panel zone deformations on seismicresponse. *Journal of Constructional Steel Research*, 8, 233-250.
- Khairinnisa, D., Kurniawan, R., & HG, S. H. (2023). Kinerja Seismik Berbagai Konfigurasi Bresing Eksentrik Pada Gedung Struktur Baja Tidak Beraturan. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 21(3), 213-220.
- Naji, A., & Khodaverdi Zadeh, M. (2019). Progressive collapse analysis of steel braced frames. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 24(2), 04019004.
- Nassani, D. E., Hussein, A. K., & Mohammed, A. H. (2017, August). Comparative response assessment of steel frames with different bracing systems under seismic effect. In *Structures* (Vol. 11, pp. 229-242). Elsevier.
- Parhizgari, A. M., & Padungsaksawasdi, C. (2021). Global equity market leadership positions through implied volatility measures. *Journal of Empirical Finance*, 61, 180-205.
- Richard, Y., Hanson, H., Tanojo, E., & Santoso, H. (2022). Perbandingan Kinerja Struktur Baja Sistem Tunggal Rangka Terbreis Konsentris Khusus Dan RangkaTerbreis Penahan Tekuk Tipe Multi-Story X Dan Zipper Inverted V Dengan 3Bentang Bresing Pada Bangunan 12 Dan 18 Lantai. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 11(1).
- Ramadhan, M. D. (2021). Perilaku Keruntuhan Struktur Srpm Baja Akibat Perbedaan Pemodelan Panel Zone (Studi Literatur). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, 1(2).
- Trisya, D. S., & Khatulistiani, U. (2022). Perencanaan Struktur Baja Gedung Hotel Ellysa 10 Lantai Di Yogyakarta Menggunakan Sistem Rangka Bresing Eksentrik (Srbe) Konfigurasi SPLIT-K. *axial: jurnal rekayasa dan manajemenkonstruksi*, 10(3), 119-128.
- Wicaksana, A., & Rosyidah, A. (2021). Perbandingan Perancangan Bangunan Tahan Gempa Menggunakan SNI 1726: 2012 dan SNI 1726: 2019. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 18(1), 88-99.
- Wiryadi, I. G. G., Wirawan, I. P. A. P., Tubuh, I. K. D. K., & Candra, I. M. A. (2022). Level Kinerja Struktur Gedung Fakultas Pariwisata Universitas Udayana Berdasarkan FEMA 356 dan ATC-40. *Jurnal Teknik Gradien*, 14(1), 25-34
- Wiryadi, I. G. G., Wibawa, I. M. S., & Kusuma, P. J. (2022). Analisis dan

Perilaku Dinamis Struktur Gedung A Fakultas Ekonomi Universitas Udayana Akibat Beban Gempa Riwayat Waktu. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 11(1), 38-46.

### LAMPIRAN



Gambar L.1: Pemodelan 2D pada Model 1 menggunakan Perangkat OpenSees

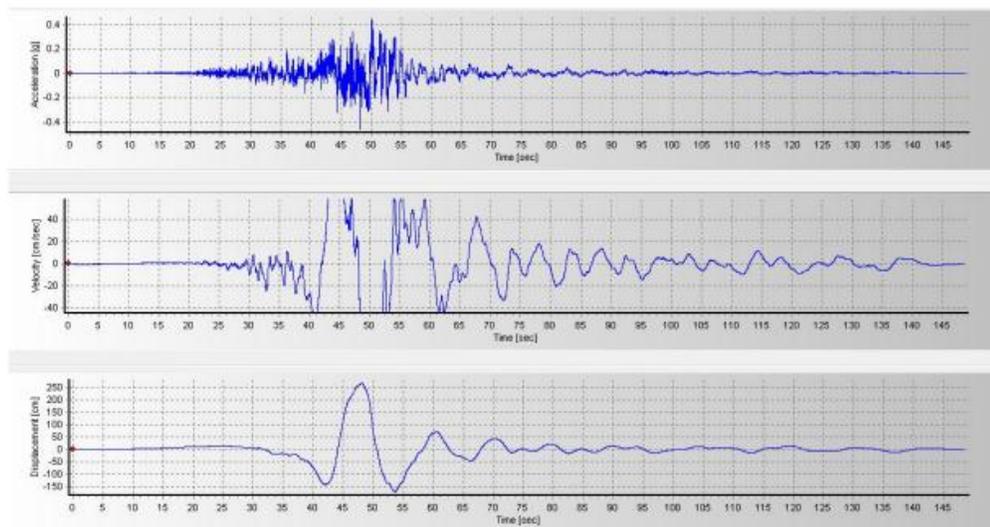


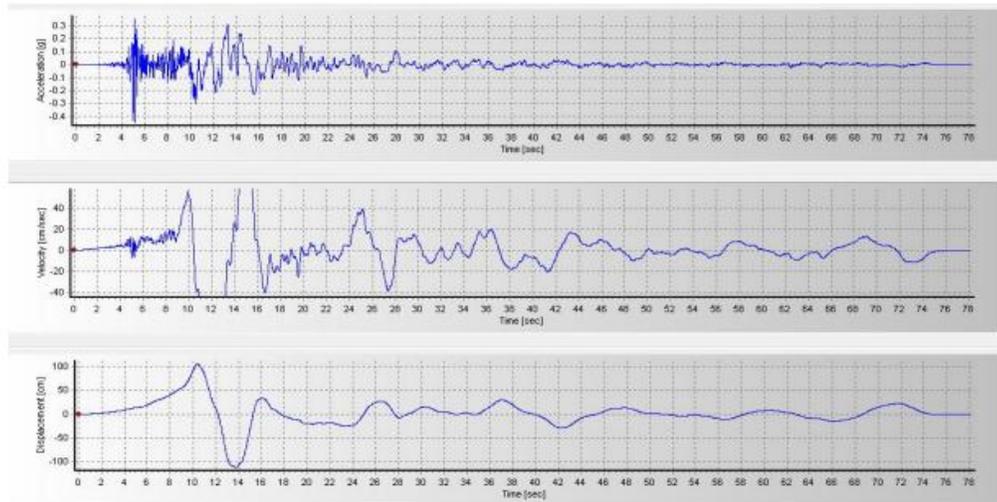
Gambar L.2: Pemodelan 2D pada Model 2 menggunakan Perangkat OpenSees

### A.1. Groundmotion (Rekaman gempa)

Terdapat dua tipe groundmotion yang akan digunakan dalam tugas akhir ini yaitu tipe groundmotion yang menggunakan gempa jauh dan tipe groundmotion dengan gempa dekat.

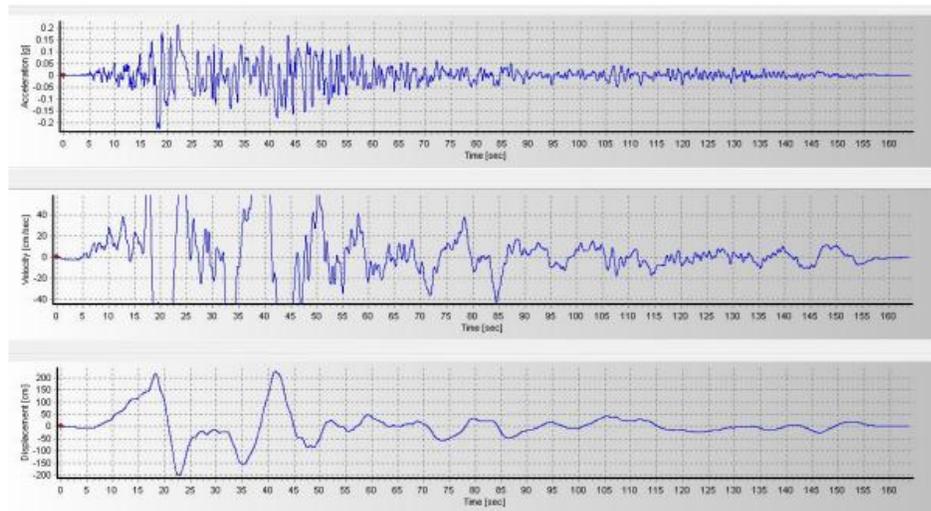
#### Output Seismosignal



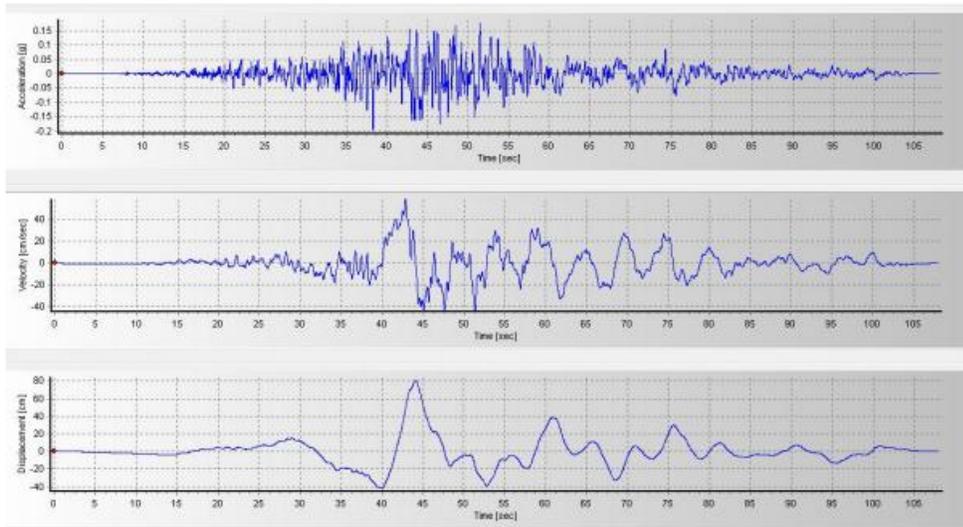


Gambar L.3: hasil output seismosignal gempa Capemend, PET090.

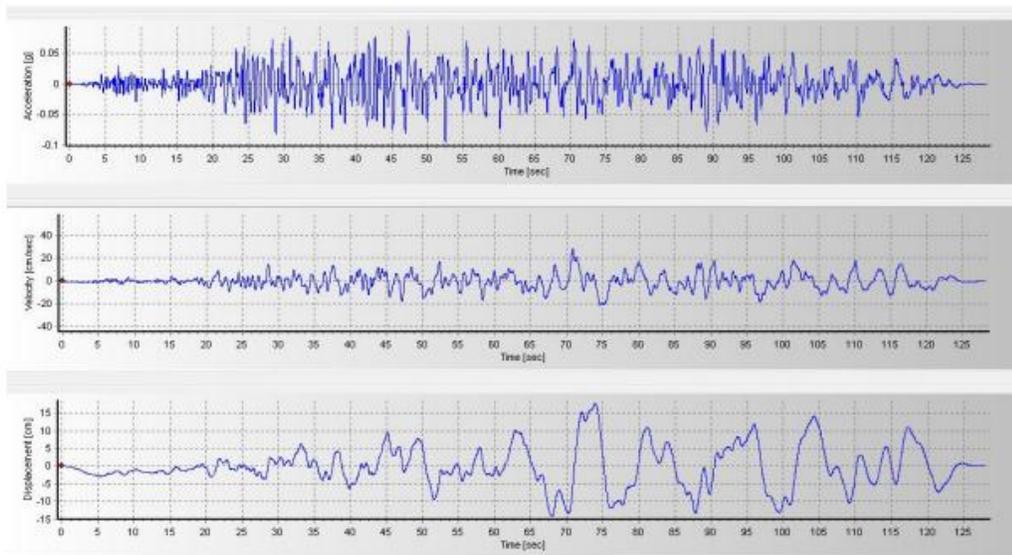
Gambar L.4: hasil output seismosignal gempa ChiChi, CHY101.



Gambar L.5: hasil output seismosignal gempa Chichi, TCU045

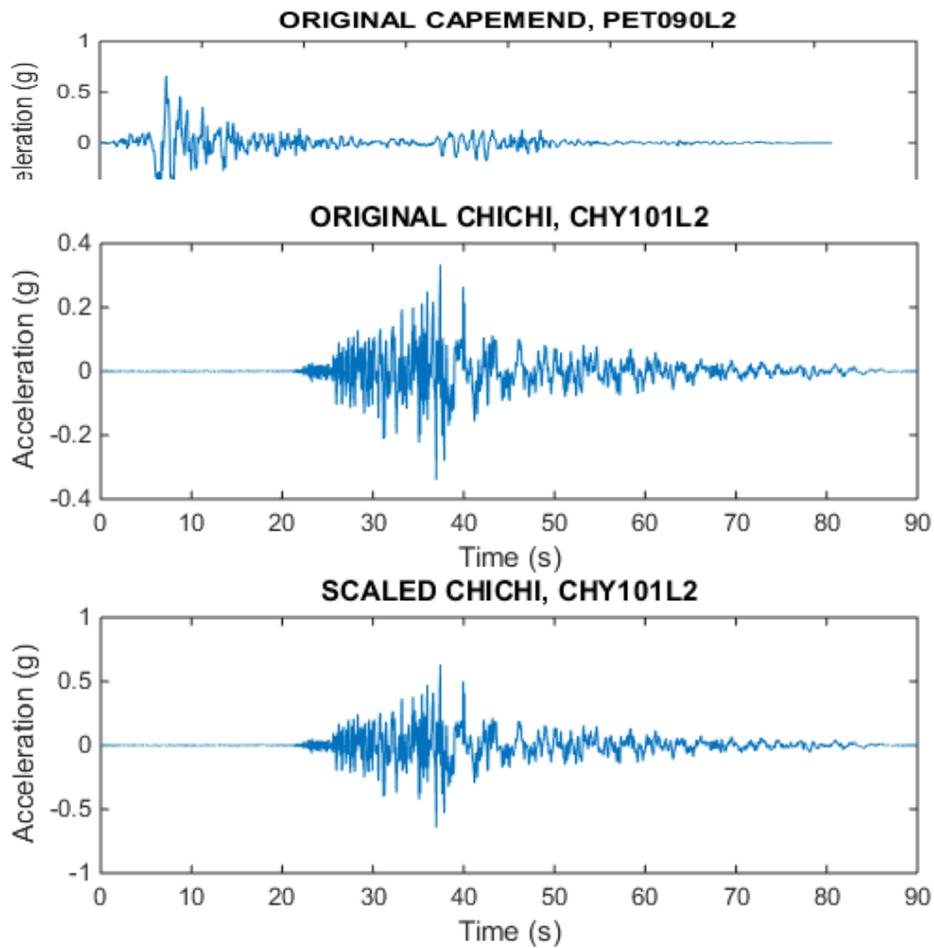


Gambar L.6: hasil output seismosignal gempa Friuli, A-TMZ70.



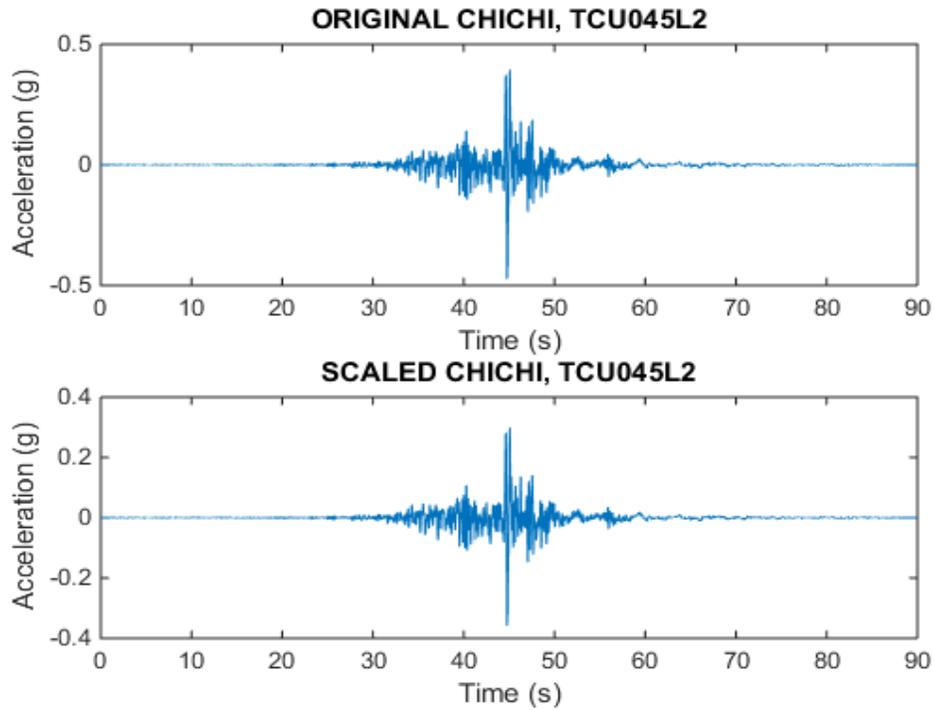
Gambar L.8: hasil output seismosignal gempa Superst, B-POE270.

Output Matlab Model 1

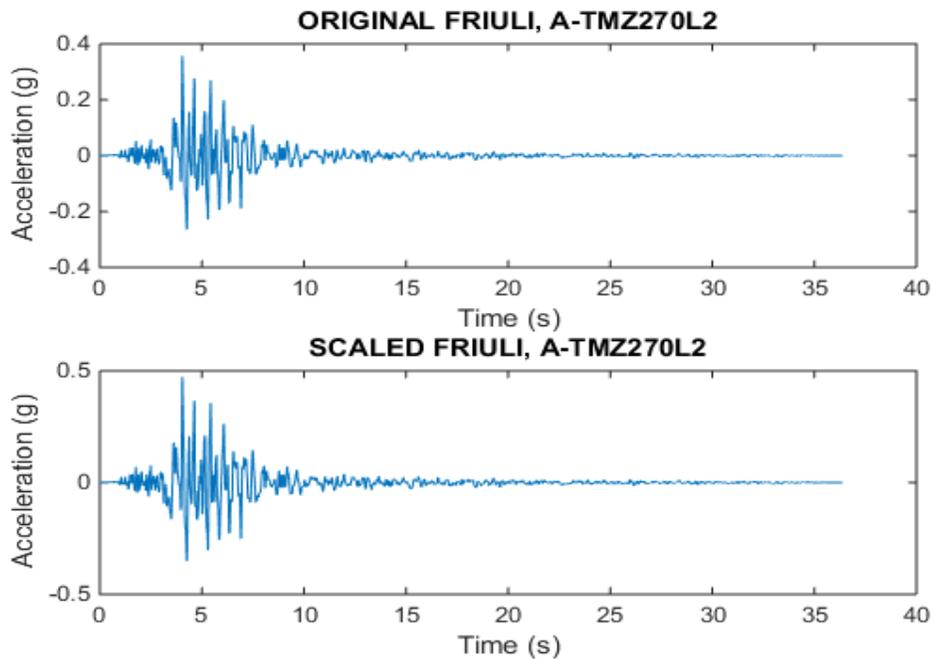


tput Matlab gempa Capemend, PET090L2.

Gambar L.10: hasil output Matlab gempa ChiChi, CHY101L2.

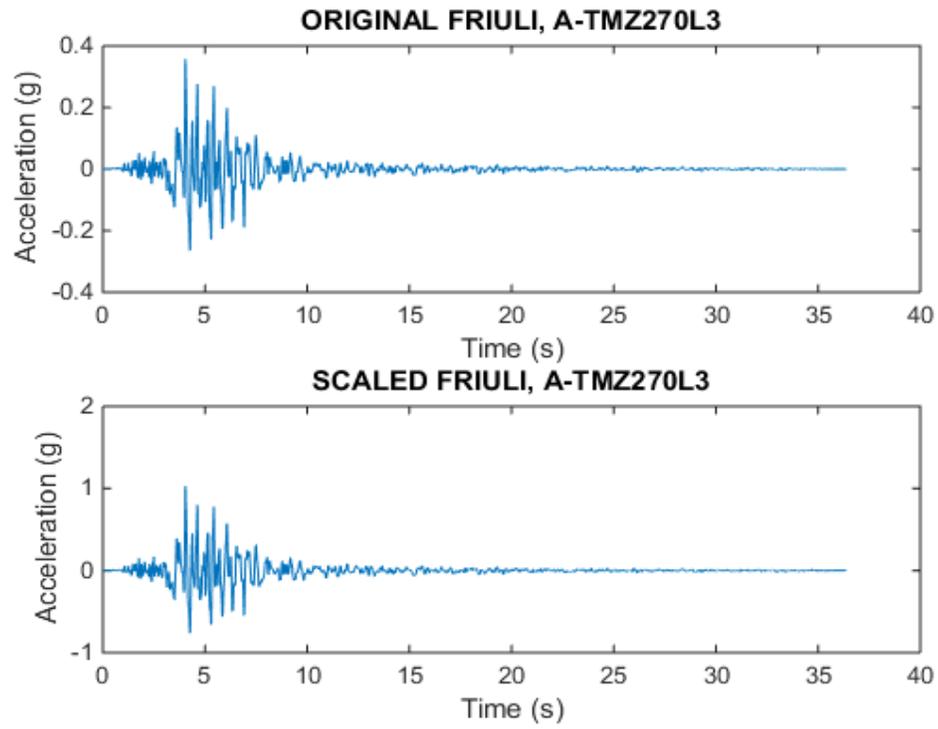


1 output Matlab gempa Chichi, TCU045L2.





hasil output Matlab gempa Chichi, TCU045L3.



output Matlab gempa Friuli, A-TMZ70L3.

Tabel L.1: Parameter backbone penampang baja pada balok di Model 1.

Story	Lb = L	Beam Size	Nominal Weight (Kg/m)	Depth of section (mm)	Width of section (mm)	Web Thickness (mm)	Flange Thickness (mm)	Area (m <sup>2</sup> )	Inersia x (m <sup>4</sup> )	Ke ( KN-mm/rad)
1	5471.5	W24x117	174	617.22	325.12	13.97	21.59	0.02219	0.002145	526871369
2	5471.5	W24x117	174	617.22	325.12	13.97	21.59	0.02219	0.000152	34242073

My (kN-mm)	Mc (kN-mm)	Mr (kN-mm)	$\theta_y$ (rad)	$\theta_p$ (rad)	$\theta_{pc}$ (rad)	$\theta_u$ (rad)	$\theta_c$ (rad)	duct1	duct2	$\Lambda$ (rad)	K (residual strength ratio)
2946918	2946918	1178767	0.0056	0.018	0.194	0.2	0.023593	4.22	35.76	1.05	0.4
363432	363432	145373	0.0106	0.027	0.143	0.2	0.037614	3.54	18.84	0.68	0.4

Lanjutan Tabel L.1

L = Lb	Column Size	Nominal Weight (Kg/m)	Column Depth (mm)	Beam Size (mm)	Beam Depth (mm)	Width of section (mm)	Web Thickness (mm)	Flange Thickness (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	Inersia x (mm <sup>4</sup> )	Inersia x (m <sup>4</sup> )
3382.78	W10x54	80	256.54	W24x117	617.22	254	9.39	15.49	101935	0.01019	126118122	0.000126
3382.78	W10x54	80	256.54	W24x117	617.22	254	9.39	15.49	101935	0.01019	126118122	0.000126
3382.78	W10x54	80	256.54	W24x117	617.22	254	9.39	15.49	101935	0.01019	126118122	0.000126
3382.78	W10x54	80	256.54	W24x117	617.22	254	9.39	15.49	101935	0.01019	126118122	0.000126

Tabel L.2: Parameter backbone penampang baja pada kolom di Model 1.

Lanjutan Tabel L.2

Ke ( KN-mm/rad)	My (kN-mm)	Mc (kN-mm)	Mr (kN-mm)	$\theta_y$ (rad)	$\theta_p$ (rad)	$\theta_{pc}$ (rad)	$\theta_u$ (rad)	$\theta_c$ (rad)	duct1	duct2	$\Lambda$ (rad)	K (residual strength ratio)
770835751	3201485	3521633	1280594	0.004153265	0.026	0.179	0.2	0.159740954	38.46	48.15	1.8	0.4
757272658	3201485	3521633	1280594	0.004227652	0.026	0.178	0.2	0.162601986	38.46	47.31	1.796	0.4
770835751	3201485	3521633	1280594	0.004153265	0.026	0.179	0.2	0.159740954	38.46	48.15	1.8	0.4
757272658	3201485	3521633	1280594	0.004227652	0.026	0.178	0.2	0.162601986	38.46	47.31	1.796	0.4

Lanjutan Tabel L.2

Story	Exterior	Interior	Tpz(Ex)	Tpz(In)	E (N/mm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )	KS (Ex)	Ks(In)	Kb(Ex)	Kb(In)	Ke(Ex)
1	9.5	30.16	18.89	39.55	200000	80000	364274760	762682200	851761938.1	976232483	255152970
2	0	0	9.39	9.39	200000	80000	181076760	181076760	794527176.5	794527176	147468047
s1	9.5	30.16	18.89	39.55	200000	80000	364274760	762682200	851761938.1	976232483	255152970
2	0	0	9.39	9.39	200000	80000	181076760	181076760	794527176.5	794527176	147468047

Ke(In)	Ksf	Kbf	Kf	Kf/Ke(Ex)	Kf/Ke(In)	Vy(1)	$\gamma_y$ (ex) (1)	$\gamma_y$ (In) (1)	Af,eff 4 $\gamma$ (Ex)	Af,eff 4 $\gamma$ (In)	Af,eff 6 $\gamma$ (Ex)	Af,eff 6 $\gamma$ (In)

42817232	629513600	5737699	5685875	0.02228	0.01328	1607375	0.00630	0.00375	0.03572	0.02735	0.04340	0.03394
14746804	629513600	5737699	5685875	0.03856	0.03856	1607375	0.01090	0.01090	0.05086	0.05086	0.06048	0.06048
42817232	629513600	5737699	5685875	0.02228	0.01328	1607375	0.00630	0.00375	0.03572	0.02735	0.04340	0.03394
14746804	629513600	5737699	5685875	0.03856	0.03856	1607375	0.01090	0.01090	0.05086	0.05086	0.06048	0.06048

Lanjutan Tabel L.2

Lanjutan Tabel L.2

Vpz 4γ (Ex)	Vpz 4γ (In)	Vpz 6γ (Ex)	Vpz 6γ (In)	My+ (1)	Mp Vpz 4γ (Ex)	Mp Vpz 4γ (In)	Mp Vpz 6γ (Ex)	Mp Vpz 6γ (In)
593084.6	593021.12	621654	593071	992104004	366063666	366024496	597413596	497698706
593199.3	593199.26	621783	593272	992104004	366134449	366134449	765624180	747210338
593084.6	593021.12	621654	593071	992104004	366063666	366024496	597413596	497698706
593199.3	593199.26	621783	593272	992104004	366134449	366134449	765624180	747210338

Story	Story	Lb = L	Beam Size	Nominal Weight (Kg/m)	Depth of section (mm)	Width of section (mm)	Web Thickness (mm)	Flange Thickness (mm)	Area (m <sup>2</sup> )	Inersia x (m <sup>4</sup> )	Ke (KN-mm/rad)	My (kN-mm)
1	1 & 2	11,578	W 18x65	97	467.36	192.78	11.6	11.43	0.01232	0.00045	69012464	732426
		5,478	W 21x111	165	546.1	546.1	11.6	13.97	0.02103	0.00111	145832908	732426
2 & 3	3	5,478	W 21x111	165	546.1	546.1	11.6	13.97	0.02103	0.00111	145832908	732426
		5,478	W 30x173	257	772.16	772.16	10.3	16.637	0.03284	0.00343	106640314	569792

Tabel L.3: Parameter backbone penampang baja pada balok di Model 2.

Lanjutan Tabel L.3

Mc (kN-mm)	Mr (kN-mm)	$\theta_y$ (rad)	$\theta_p$ (rad)	$\theta_{pc}$ (rad)	$\theta_u$ (rad)	$\theta_c$ (rad)	duct1	duct2	$\Lambda$ (rad)	K (residual strength ratio)
732426	292970	0.0106	0.023	0.172	0.2	0.03361	3.17	18.84	0.891	0.4
732426	292970	0.005	0.024	0.186	0.2	0.02902	5.78	39.82	1.038	0.4
732426	292970	0.005	0.024	0.186	0.2	0.02902	5.78	39.82	1.038	0.4
569792	227917	0.0053	0.023	0.186	0.2	0.02834	5.30	37.43	0.915	0.4

Tabel L.4: Parameter backbone penampang baja pada kolom di Model 2.

L = Lb	Column Size	Nominal Weight (Kg/m)	Column Depth (mm)	Beam Size (mm)	Beam Depth (mm)	Width of section (mm)	Web Thickness (mm)	Flange Thickness (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	Inersia x (mm <sup>4</sup> )	Inersia x (m <sup>4</sup> )
3832.64	W 12x120	179	332.74	W 21x73	467.36	312.42	18.03	28.19	227096	0.02271	445367626	0.000445
3340.87	W 12x120	179	332.74	W 21x73	546.1	312.42	18.03	28.19	227096	0.02271	445367626	0.000445
3613.92	W 12x120	179	332.74	W 21x57	772.16	312.42	18.03	28.19	227096	0.02271	445367626	0.000445

Lanjutan Tabel L.4

Ke (KN-mm/rad)	My (kN-mm)	Mc (kN-mm)	Mr (kN-mm)	$\theta_y$ (rad)	$\theta_p$ (rad)	$\theta_{pc}$ (rad)	$\theta_u$ (rad)	$\theta_c$ (rad)	duct1	duct2	$\Lambda$ (rad)	K (residual strength ratio)
155422586	868046	868046	347218	0.00558507	0.023	0.194	0.2	0.02858507	5.12	35.81	0.988	0.4
1312868658	5089540	5089540	2035816	0.003876656	0.036	0.306	0.2	0.03987666	10.29	51.59	3.704	0.4
995053252	4617526	4617526	1847011	0.004640481	0.034	0.269	0.2	0.03864048	8.33	43.10	3.118	0.4

Lanjutan Tabel L.4

Story	Exterior	Interior	Tpz(Ex)	Tpz(In)	E (N/mm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )	KS (Ex)	Ks(In)	Kb(Ex)	Kb(In)	Ke(Ex)
1-3	0	7.9	18.03	25.93	200000	80000	439282920	631758520	4893581290	5046260379	403097959
	0	7.9	18.03	25.93	200000	80000	439282920	631758520	3584144687	3695969527	391321455
	0	7.9	18.03	25.93	200000	80000	439282920	631758520	1792731650	1848664640	352827622

Lanjutan Tabel L.4

Ke(In)	Ksf	Kbf	Kf	Kf/Ke(Ex)	Kf/Ke(In)	Vy(1)	yy(ex) (1)	yy(In) (1)	Af,eff 4y (Ex)	Af,eff 4y (In)	Af,eff 6y (Ex)	Af,eff 6y (In)
561466604	1409139168	25285644	24839916	0.06162	0.04424	3899409	0.00967	0.00695	0.07231	0.05614	0.08470	0.06645
539534881	1409139168	25285644	24839916	0.06348	0.04604	3899409	0.00996	0.00723	0.07403	0.05782	0.08665	0.06834
470850964	1409139168	25285644	24839916	0.07040	0.05276	3899409	0.01105	0.00828	0.08047	0.06406	0.09392	0.07539

Lanjutan Tabel L.4

Vpz 4y (Ex)	Vpz 4y (In)	Vpz 6y (Ex)	Vpz 6y (In)	My+ (1)	Mp Vpz 4y (Ex)	Mp Vpz 4y (In)	Mp Vpz 6y (Ex)	Mp Vpz 6y (In)
1443015	1442747	1514226	1442918	1822427895	674407437	674282046	1328584594	1122334308
1443044	1442774	1514259	1442949	2129467377	788046062	787899072	1575348685	1332654588
1443150	1442878	1514379	1443066	3010967826	1114343021	1114132687	2348460282	1996355475



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Alwi Syahri Hasibuan

Tempat Tanggal Lahir : Rantau Prapat, 18 Juli 2002

Jenis Kelamin : Laki – Laki

Alamat : JL. Kapten Muslim No.111, Dwi Kora, Kec. Medan  
Helvetia, Kota Medan, Sumatera Utara

Agama : Islam

Ayah : Herman Hasibuan

Ibu : Syahniati Ritonga

Email : [alwihhasibuan0095@gmail.com](mailto:alwihhasibuan0095@gmail.com)