

TUGAS AKHIR
PERBANDINGAN PERILAKU SENDI PLASTIS PADA SISTEM RANGKA
BERBRESING KHUSUS KONSENTRIS AKIBAT GERAKAN TANAH
MENGANDUNG PULSE DAN TANPA PULSE
(STUDI LITERATUR)

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat – Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Pada
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhamamdiyah
Sumatera Utara

DISUSUN OLEH
ARIQ G PRATAMA
2007210065



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025

LEMBAR ASISTENSI PERSETUJUAN

Tugas akhir ini disetujui oleh:

Nama : Ariq G Pratama

NPM : 2007210065

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perbandingan Perilaku Sendi Plastik pada Sistem Rangka
Bebresing Khusus Konsentris Akibat Gerakan Tanah
Mengandung Pulse Dan Tanpa Pulse

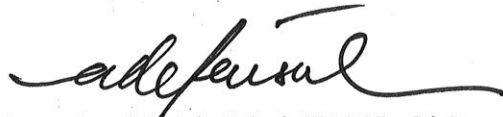
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan di terima 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 SKRIPSI

Medan,

Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini disetujui oleh:

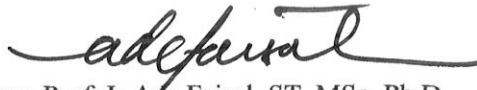
Nama : Ariq G Pratama
NPM : 2007210065
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Perbandingan Perilaku Sendi Plastis pada Sistem Rangka
Berbresing Khusus Konsentris Akibat Gerakan Tanah
Mengandung Pulse Dan Tanpa Pulse
Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan,

Mengetahui dan Menyetujui:

Dosen Pembimbing



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

Dosen Pembimbing I



Assoc Prof. Ir. Fahrizal Z, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM

Dosen Pembimbing II



Ir. Sri Frapanti M.T

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Assoc Prof. Ir. Fahrizal Z, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ariq G Pratama
NPM : 2007210065
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Perbandingan Perilaku Sendi Plastis pada Sistem Rangka
Berbresing Khusus Konsentris Akibat Gerakan Tanah
Mengandung Pulse Dan Tanpa Pulse
Bidang Ilmu : Struktur

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

“Pengaruh Putar Balik (*U-Turn*) Terhadap Kinerja Lalu Lintas Ruas Jalan Setia Budi, TJ. Rejo, Kec. Medan Sunggal, Kota Medan”.

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

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi.

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

Medan, 15 Maret 2025

Saya yang menyatakan,



Ariq G Pratama

ABSTRAK

PERBANDINGAN PERILAKU SENDI PLASTIS PADA SISTEM RANGKA BERBRESING KHUSUS KONSENTRIS AKIBAT GERAKAN TANAH MENGANDUNG PULSE DAN TANPA PULSE

Ariq G Pratama
(2007210065)

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

Penelitian ini mengkaji perilaku sendi plastis pada elemen bresing dalam struktur baja berbracing konsentris khusus (SCBF) akibat gempa pulse dan gempa tanpa pulse. Latar belakang penelitian ini karena Indonesia berada di zona gempa tinggi Indonesia merupakan salah satu negara yang rentan terhadap kejadian gempa bumi. Dengan menggunakan berbagai perangkat lunak seperti ETABS, OopenSees, dan Matlab, analisis dilakukan pada struktur bangunan 2 dan 3 tingkat untuk memahami deformasi nonlinear pada elemen bresing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa elemen bresing 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, Gempa jauh dan Dekat.

ABSTRACT

COMPARISON OF PLASTIC JOINT BEHAVIOR IN SPECIAL CONCENTRICALLY BRACED FRAME SYSTEMS DUE TO EARTHQUAKE GROUND MOTION WITH AND WITHOUT PULSE

Ariq G Pratama

(2007210065)

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

This study examines the behavior of plastic joints in bracing elements of a Special Concentrically Braced Frame (SCBF) steel structure under pulse and non-pulse earthquakes. The background of this research is that Indonesia is located in a high seismic zone, making it one of the countries most vulnerable to earthquake events. Using various software tools such as ETABS, OpenSees, and Matlab, the analysis was conducted on 2- and 3-story building structures to understand the nonlinear deformation of bracing elements. The results show that the bracing elements experience significant plastic deformation, which serves as an energy dissipation mechanism during an earthquake. Additionally, the greater the level of deformation, the higher the degradation of strength and stiffness, indicating the potential for structural failure. A deep understanding of this plastic joint behavior is essential for the design and performance evaluation of SCBF structures to ensure safety during major earthquakes.

Keywords: Steel, SCBF, Bracing, Plastic Joint, Far and Near Earthquake.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karuniaNya, sehingga penulis telah dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perbandingan Perilaku Sendi Plastik Pada Sistem Rangka Berbresing Khusus Konsentris Akibat Gerakan Tanah Mengandung Pulse Dan Tanpa Pulse” 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, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Assoc. Prof. Ir Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc, Ph.D. 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 ketekniksipilan kepada penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

9. Terimakasih yang teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Syamsinar Subakti dan Ibunda tercinta Sri Hariyani yang telah bersusah payah mendidik dan membiayai saya serta menjadi penyemangat saya serta senantiasa mendoakan saya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya.
10. 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, 25 November 2025

Penulis

Ariq G Pratama

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xix
BAB1 PENDAHULUAN	1
10.1 Latar Belakang	1
10.2 Rumusan Masalah	3
10.3 Tujuan Penelitian	3
10.4 Manfaat Penelitian	3
10.5 Ruang Lingkup	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Teori Gempa Bumi	5
2.2.1 Mekanisme Gempa Bumi	6
2.2.2 <i>Groun Motion</i> (Pergerakan Tanah)	7
2.2.3 Metode Modifikasi Gerakan Tanah	8
2.2.4 Gempa Pulse	9
2.2.5 Gempa Tanpa Pulse	9
2.3 Respon Spektrum	10

2.4 Konsep Sendi Plastis	11
2.4.1 Definisi dan Teori Sendi Plastis	11
2.4.2 Mekanisme Perilaku Sendi Plastis	12
2.4.3 Sendi Plastis Berkerja pada elemen Struktur	13
2.4.4 Mekanisme Kerja Sendi Plastis pada Elemen Bresing	14
2.5 Elemen Bresing Konsentrik (<i>Braced Frame</i>)	15
2.5.1 Perilaku dan Desain elemen Bresing pada Rangka Baja	15
2.6 Analisa Nonlinear	16
2.6.1 Definisi Analisa Nonlinear	17
2.6.2 Analisa Statik Nonlinear	18
2.6.3 Analisa Dinamis Nonlinear	20
2.7 Klasifikasi Situs dan Parameter	20
2.8 Parameter Percepatan Gempa	20
2.8.1 Situs Dekat Sesar	20
2.9 <i>Incremental Dynamic Analysis (IDA)</i>	21
2.10 Penjelasn IO, LS dan CP	22
 BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	 24
3.1 Bagan Alir	24
3.2 Permodelan Struktur	25
3.2.1 Data Perencanaan Struktur	25
3.2.2 Konfigurasi Bangunan	26
3.2.3 Dimensi Balok Kolom	27
3.3 Analisa Struktur	28
3.3.1 Analisa Dinamik Struktur Linier	28
3.3.2 Pembebanan	28
3.3.3 Respon Spektrum	28
3.3.4 Data Rekaman Gempa	28
3.4 Kombinasi Pembebanan	30
 BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	 31

4.1 Tinjauan Umum	31
4.2 Hasil Analisis Nonlinear	31
4.2.1 Metode IDA (<i>Incremental Dynamic Analysis</i>)	31
4.2.2 <i>Interstory Drift Ratio</i> (Simpangan Antar Tingkat)	35
4.2.3 Sendi Plastis pada Elemen Bresing	38
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1: Tipikal kecepatan dan perpindahan rekaman gempa: a) far-fault, b) near-fault (forward directivity), dan c) near-fault (fling-step) (Kalkan dan Kunnath, 2006).	2
Gambar 2.1: Jenis-jenis pertemuan lempeng tektonik, a) pertemuan divergent; b) pertemuan Konvergent; c) pertemuan saling bergeser horizontal.	7
Gambar 2.2: Rekaman <i>ground motion</i> Northridge California di Stasiun LABSN 00003 Northridge-17645 Saticoy Street untuk rekaman dan simulasi Gerakan tanah (Yoshifumi Yamamoto, 2011).	8
Gambar 2.3: menunjukkan data rekaman gempa yang mengandung pulse.	9
Gambar 2.4: Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).	10
Gambar 2.5: Respon spektrum (Clough dan Penzien 2003).	10
Gambar 2.6: Contoh perilaku sendi plastis di tingkat. Tingkat 1 – 6 plot gaya geser vs story drift	13
Gambar 2.7: Hubungan gaya aksial vs Rotasi yang menunjukkan pembentukan sendi plastis pada elemen bresing.	14
Gambar 2.8: Stuktur baja berbresing kosentrik.	15
Gambar 2.9: Respon yang diterima terhadap pembebanan yang diberikan.	17
Gambar 2.10: Pushover analysis: analisa statis tidak linear.	19
Gambar 2.11: Jarak patahan untuk berbagai lokasi situs proyek (SNI 1726 2019).	21

Gambar 2.12: Penentuan <i>collapse Prevention</i> pada kurva IDA (Vamvatsikos & Cornell, 1966).	22
Gambar 2.13: Menunjukkan kondisi IO, LS, dan CP.	22
Gambar 3.1: Diagram alir rencana.	24
Gambar 3.2: Denah Model 1 (1 tingkat).	26
Gambar 3.3: Denah Model 2 (2 tingkat)	26
Gambar 3.4: Denah elevasi Model 1	27
Gambar 3.5: Denah elevasi Model 2	27
Gambar 4.1: Perilaku deformasi antar tingkat berdasarkan IDA untuk Model 1 akibat Gerakan tanah mengandung efek pulse.	32
Gambar 4.2: Perilaku deformasi antar tingkat berdasarkan IDA untuk Model 2 akibat Gerakan tanah mengandung efek pulse.	32
Gambar 4.3: Perilaku deformasi antar tingkat berdasarkan IDA untuk Model 1 akibat Gerakan tanah tanpa efek pulse.	33
Gambar 4.4: Perilaku deformasi antar tingkat berdasarkan IDA untuk Model 2 akibat Gerakan tanah tanpa efek pulse.	33
Gambar 4.5: Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada Model 1 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah gempa dekat mengandung efek Pluse serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah.	36
Gambar 4.6: Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada Model 2 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah gempa dekat mengandung efek Pluse serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah.	36

Gambar 4.7: Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada Model 1 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah gempa jauh mengandung efek non Pluse serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah.	37
Gambar 4.8: Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada Model 2 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah gempa jauh mengandung efek non Pluse serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah.	37
Gambar 4.9: Parameter regangan sendi plastis elemen bresing yang di tinjau (r , x , γ , dan α).	38
Gambar 4.10: Parameter sendi plastis elemen bresing yang di tinjau (θ , α , dan β).	39
Gambar 4.11: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 1 untuk kondisi IO akibat gerakan tanah yang mengandung efek pluse.	39
Gambar 4.12: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 1 untuk kondisi LS akibat gerakan tanah yang mengandung efek pluse.	40
Gambar 4.13: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 1 untuk kondisi CP akibat gerakan tanah yang mengandung efek pluse.	40
Gambar 4.14: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 untuk kondisi IO akibat gerakan tanah yang mengandung efek pluse.	41
Gambar 4.15: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 untuk kondisi LS akibat gerakan tanah yang mengandung efek pluse.	42
Gambar 4.16: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 untuk kondisi CP akibat gerakan tanah yang mengandung efek pluse.	42
Gambar 4.17: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 1 untuk kondisi IO akibat gerakan tanah tanpa efek pluse.	43

Gambar 4.18: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 1 untuk kondisi LS akibat gerakan tanah tanpa efek pluse.	43
Gambar 4.19: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 1 untuk kondisi CP akibat gerakan tanah tanpa efek pluse.	44
Gambar 4.20: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 untuk kondisi IO akibat gerakan tanah tanpa efek pluse.	44
Gambar 4.21: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 untuk kondisi LS akibat gerakan tanah tanpa efek pluse.	45
Gambar 4.22: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 untuk kondisi CP akibat gerakan tanah tanpa efek pluse.	45

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1: Ukuran balok dan kolom penampang.	27
Tabel 3.2: Data rekaman gempa.	29
Tabel 3.3: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai $S_{DS} = 0,356$.	30
Tabel 4.1: Nilai IDR maksimum.	34
Tabel 4.2: Nilai RSA median untuk kondisi IO, LS, dan CP pada Model 1.	34
Tabel 4.3: Nilai RSA median untuk kondisi IO, LS, dan CP pada Model 2.	35
Tabel 4.4: Deformasi rotasi maksimal bresing (dalam radian) untuk masing– masing model dan jenis gempa.	46
Tabel 4.5: Degradasi kekuatan gaya aksial pada bresing.	47
Tabel 4.6: kondisi regangan plastis elemen bresing pada Model 1.	47
Tabel 4.7: kondisi regangan plastis elemen bresing pada Model 2.	48

DAFTAR NOTASI

Δ	= Simpangan antar lantai
Δ_a	= Simpangan antar lantai yang diijinkan
B	= Bresing
C_d	= Faktor pembesaran defleksi
C_s	= Koefisien respon seismic
C_t	= Nilai parameter perioda pendekatan
C_u	= Koefisien untuk batas atas pada perioda
D	= Damper
DL	= Pengaruh dari beban mati
E	= Modulus Elastisitas
E	= Pengaruh beban gempa
F	= Frekuensi struktur
F_a	= Faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran perioda pendek
F_u	= Tegangan putus
F_v	= Faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik
F_x	= Gaya gempa lateral
F_y	= Tegangan leleh
h	= Jarak antara garis tengah ke garis tengah elemen batas horizontal (Horizontal Boundary Element, HBE)
h_n/h_i	= Ketinggian struktur
h_{xx}	= Tinggi tingkat
I_c	= Momen inersia dari VBE yang diambil tegak lurus terhadap arah garis pelat web
I_e	= Faktor keutamaan gempa
k	= Eksponen yang terkait dengan perioda struktur
K	= Kekakuan struktur
LL	= Pengaruh beban hidup
M_c	= Momen Puncak
M_y	= Momen leleh

M_u	= Momen Ultimit
Q_E	= Pengaruh gaya gempa horizontal
R	= Faktor modifikasi respon
S_1	= Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik
SA	= Klasifikasi situs batuan keras
Sa	= Spektrum respons percepatan desain
SB	= Klasifikasi situs batuan
SC	= Klasifikasi situs tanah keras, sangat padat dan batuan lunak
SD	= Klasifikasi situs tanah sedang
S_{D1}	= Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1,0 detik
S_{DS}	= Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek
SE	= Klasifikasi situs tanah lunak
SF	= Klasifikasi situs tanah khusus
S_{M1}	= Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{MS}	= Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek yang sudah di sesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_S	= Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek
SR	= Stiffnes ratio
T	= Periode getar fundamental struktur
T_0	= $0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
$T_{a maks}$	= Nilai batas atas perioda bangunan
$T_{a min}$	= Nilai batas bawah perioda bangunan
T_S	= $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
V	= Gaya geser dasar dari perhitungan statik ekuivalen.
V	= Gaya lateral disain total
V_S	= Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata
V_t	= Gaya geser dasar dari kombinasi modal respons spektrum.
V_x	= Geser gempa desain di tingkat x
W	= Berat seismik efektif

φ	= Sudut kemiringan dari pelat bidang
β	= Rasio kebutuhan geser
δx_e	= Defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastic
θ_1	= Sudut antara balok dan kolom
ρ	= Faktor reduksi struktur
Ω_0	= Sistem faktor kekuatan lebih
ω_i	= Frekuensi sudut
I	= Momen inersia kolom/balok
ω	= kecepatan sudut

DAFTAR SINGKATAN

CBF	= <i>Concentrically Braced Frame</i>
CQC	= <i>Complete Quadratic Combination</i>
MCE_R	= <i>Maximum Considered Earthquake Risk Target</i>
MDoF	= <i>Multi Degree of Freedom</i>
MRF	= <i>Moment Resisting Frame</i>
PEER	= <i>The Pacific Earthquake Engineering Research Center</i>
OpenSEES	= <i>Open System for Earthquake Engineering Simulation</i>
SDoF	= <i>Single Degree of Freedom</i>
SRBK	= <i>Sistem Rangka Berbresing Konsentris</i>
SRSS	= <i>Square Root the Sum of Square</i>
IO	= <i>Immediate Occupancy</i>
LS	= <i>Limit Safety</i>
CP	= <i>Collapse Prevention</i>
L	= <i>Panjang bresing awal</i>
L_r	= <i>Panjang bresing setelah merenggang</i>
Δl	= <i>Pertambahan Panjang Bresing</i>
$E l$	= <i>Regangan pada Bresing</i>
γ	= <i>sudut tekuk pada bresing</i>

BAB 1

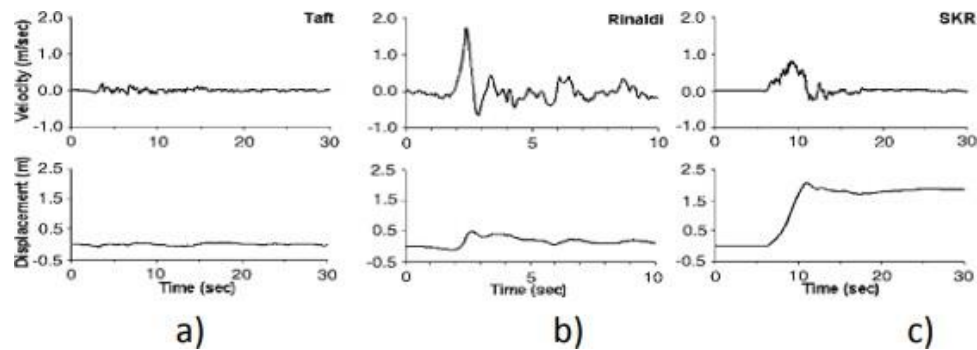
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia berada di wilayah gempa tinggi Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terhadap kejadian gempa bumi. Hal ini dikarenakan Indonesia berada di wilayah gempa tinggi yang memiliki berbagai macam sumber mekanisme gempa, seperti mekanisme gempa subduksi, geser horizontal (Strike-slip), normal, dan terbalik (reverse). Oleh karena itu, sumber gempa ini bisa menyebabkan gempa dekat (*Near-fault*) yang terjadi di lokasi kurang dari 15 km sumber gempa dan gempa jauh (*far field*).

Indonesia juga merupakan wilayah yang terletak pada pertemuan tiga lempeng dunia yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia dan lempeng Samudera Pasifika yang biasa disebut ring of fire. Sehingga banyak kota di 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. Hal itu mengakibatkan Peluang terjadinya gempa dekat di suatu kota sangat besar terjadi, dikarenakan banyaknya kota yang berdekatan dengan patahan aktif di Indonesia.

Gempa dekat umumnya menghasilkan beberapa karakteristik pada rekaman Gerakan tanah tanahnya seperti karakteristik pada rekaman Gerakan tanah yang di akibatkan gempa dekat dikenal dengan efek backward directivity, pulsa forward directivity, dan efek pulsa simpangan permanen. Dengan tipikal dan perpindahan rekaman yang berbeda beda seperti pada gambar 1.



Gambar 1.1: Tipikal kecepatan dan perpindahan rekaman gempa: a) far-fault, b) near-fault (forward directivity), dan c) near-fault (fling-step) (Kalkan dan Kunnath, 2006).

Efek backward directivity memiliki karakteristik yang kurang lebih sama dengan efek yang ada di gerakan tanah akibat gempa jauh, sedangkan 2 lainnya sangat berbeda dengan rekaman gerakan tanah akibat gempa jauh. Karakter efek pulsa forward directivity ditemukan pada rekaman kecepatan yang ditandai dengan terjadinya lompatan sangat besar pada amplitudanya. Berbeda dengan efek pulsa forward directivity, karakter pulsa efek simpangan permanen ditemukan pada rekaman gerakan simpangan yang ditandai dengan berpindahnya garis baseline osilasi.

Rezayibanan dkk. (2022) melakukan studi terhadap efek rekaman mengandung fling-step kepada 4 model struktur gedung rangka baja berbracing konsentris (SCBF) yang berperioda 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 sintetis 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.

Dalam tulisan ini akan mengulas tentang Investigasi Perilaku Sendi Plastis pada Sistem Rangka Berbracing Khusus akibat gerakan tanah mengandung pulse dan

tanpa pulse. Lalu, Pada tingkat manakah sendi plastis akan dominan ketika struktur mengalami Gerakan tanah yang mengandung pulse dan tanpa pulse=?

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perilaku sendi plastis elemen bresing pada lantai 2 (Model 1) dan 3 (Model 2) struktur rangka berbresing akibat gempa?
2. Bagaimana gaya yang terjadi pada sendi plastis elemen bresing pada lantai 2 (Model 1) dan 3 (Model 2) terhadap struktur rangka berbresing akibat gempa?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui perilaku sendi plastis elemen bresing pada lantai 2 (Model 1) dan 3 (Model 2) struktur rangka berbresing akibat gempa
2. Untuk mengetahui gaya yang terjadi pada sendi plastis elemen bresing pada lantai 2 (Model 1) dan 3 (Model 2) terhadap struktur rangka berbresing akibat gempa

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil studi ini akan diperoleh pengetahuan bagaimana perilaku elemen bresing pada saat mengalami sendi plastis simpangan antar tingkat yang mencapai kondisi runtuh untuk bangunan struktur rangka baja berbresing.

1.5 Ruang Lingkup

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

1. Struktur bangunan yang direncanakan merupakan:
Struktur Baja Rangka Berbresing bertingkat rendah yang memiliki 2 model antara diantaranya Baja Rangka Berbresing tingkat 2 dan tingkat 3.
2. Perencanaan struktur rangka baja berbresing, pembebanan serta gedung direncanakan berdasarkan:
 - Standar struktur tahan gempa Indonesia SNI 1726:2019

- SNI 1729:2020 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural,
- SNI 7972:2020 Sambungan Terprakualifikasi utk 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 dan Jembatan Baja,
- SNI 8899:2020 Tata Cara Pemilihan & Modifikasi Gerak Tanah Permukaan utk Perencanaan Gedung Tahan Gempa

3. Analisa menggunakan alat bantu berupa program yaitu :

- PEER NGA, COSMOS untuk mendapatkan gempa.
- SeismoSignal, untuk mengubah grounmotion menjadi Respon Spektrum.
- MATLAB versi 14. Untuk menskalakan grounmotion
- OpenSees, untuk menganalisa tahap evaluasi (Analisa Riwayat Waktu Nonlinier) yang ditinjau secara

4. Parameter yang ditinjau

- Linear adalah semua aspek yang harus di kontrol sesuai SNI 1726:2019
- Nonlinear : - Simpangan antar tingkat
- Simpangan atap

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Pada Bab ini akan membahas mengenai teori-teori dasar dan ketentuan yang berhubungan dalam perencanaan struktur bangunan yang akan dianalisa, seperti struktur beton bertulang, teori gempa, sistem struktur penahan gempa, serta 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 Teori Gempa Bumi

Gempa bumi adalah suatu rangkaian gerakan tiba-tiba dari tanah dan bersifat sementara yang berasal dari suatu titik guncangan dan menyebar kesegala arah. Gempa bumi merupakan guncangan yang terjadi di permukaan bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng bumi, tanah longsor, maupun akibat patahan aktif dari aktifitas gunung api. Menurut Budiono dan Supriatna (2011), secara garis besar gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu:

1. Gempa Reruntuhan: gempa yang disebabkan oleh reruntuhan yang terjadi baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Contohnya : tanah longsor, salju longsor, batu jatuhan.
2. Gempa Vulkanik: gempa yang disebabkan oleh kegiatan gunung api baik sebelum maupun pada saat meletusnya gunung api tersebut.
3. Gempa Tektonik: gempa yang disebabkan dari pergeseran kulit bumi (*lithospher*) yang umum 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 aktifitas manusia seperti peledakan dinamit, bom, dan nuklir.

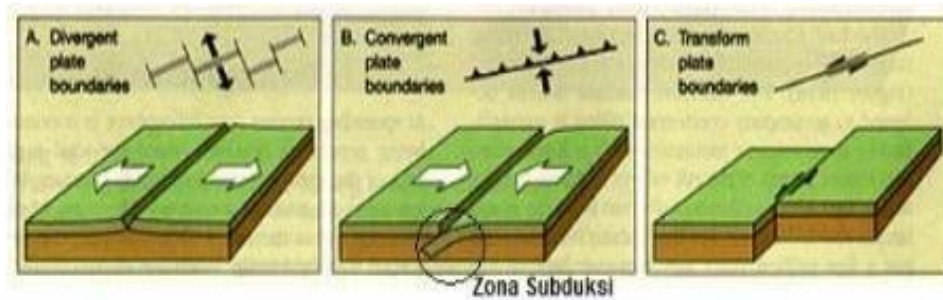
Diantara ke empat jenis gempa di atas, gempa bumi tektonik merupakan gempa bumi yang paling sering terjadi. Secara spesifik, gempa bumi tektonik juga dapat diartikan sebagai peristiwa pelepasan energi gelombang seismik secara tiba-tiba yang diakibatkan oleh adanya deformasi lempeng tektonik yang ada di kerak bumi (Supriatna, 2011).

Pergerakan dari patahan atau sesar dapat dibedakan berdasarkan 2 (dua) arah pergerakan yaitu:

1. *Dip Slip Movement*: pergerakan patahan mempunyai arah yang sejajar dengan kemiringan (*Slope*) dip, atau tegak lurus dengan dengan *Strike*. Jenis patahan ini dibagi dua yaitu normal *fault* dan *reverse fault*.
2. *Strike Slip Movement*: pergerakan patahan yang terjadi mempunyai arah sejajar dengan garis *Strike*. Bidang patahan mendekati vertikal dan menyebabkan pergeseran 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. 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 di ilustrasikan pada Gambar 2.1.

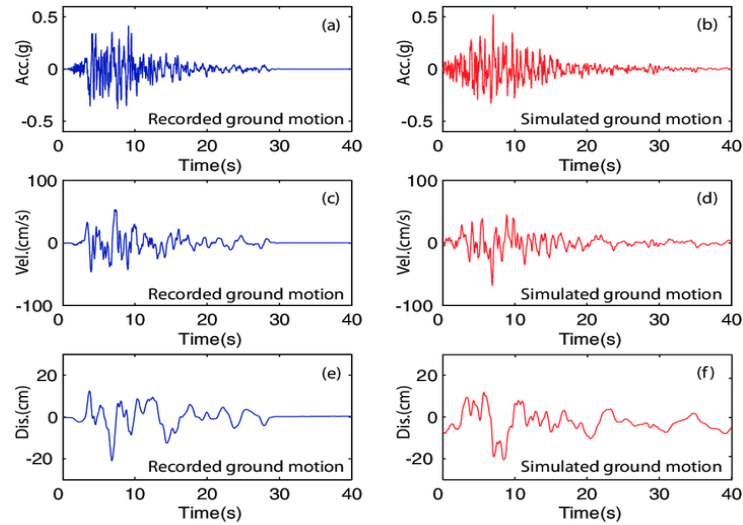


Gambar 2.1: Jenis-jenis pertemuan lempeng tektonik, a) pertemuan divergent; b) pertemuan Konvergent; c) pertemuan saling bergeser horizontal.

Secara geologis, Indonesia terletak di antara tiga lempeng utama dunia yaitu Australia, Eurasia, dan Pasifik sehingga menyebabkan Indonesia menjadi salah satu Negara yang rawan gempa bumi. Selain itu, gempa bumi tektonik biasanya jauh lebih kuat getarannya dibandingkan dengan gempa bumi vulkanik, gempa bumi runtuh, maupun gempa bumi buatan. Oleh karena itu, getaran gempa bumi tektonik merupakan gempa yang paling banyak menimbulkan kerusakan terhadap benda atau bangunan di permukaan bumi dan mengakibatkan banyaknya korban jiwa.

2.2.2 Ground Motion (Pergerakan Tanah)

Ground Motion adalah pergerakan permukaan bumi yang diakibatkan adanya gempa atau ledakan. Di dalam ilmu teknik gempa, *ground motion* juga populer dengan sebutan *strong motion* untuk lebih menekankan pada percepatan tanah akibat gempa daripada respon-respon tanah yang lain. Pada umumnya, pengertian pergerakan tanah akibat gempa lebih banyak ditujukan pada percepatan tanah. Khususnya untuk keperluan teknik, percepatan tanah akibat gempa merupakan data yang sangat penting (Pawirodikromo, 2012). Pada Gambar 2.2 akan ditunjukkan contoh rekaman *ground motion* yang dibuat oleh Yamamoto (2011).



Gambar 2.2: Rekaman *ground motion* Northridge California di Stasiun LABSN 00003 Northridge-17645 Saticoy Street untuk rekaman dan simulasi Gerakan tanah (Yoshifumi Yamamoto, 2011).

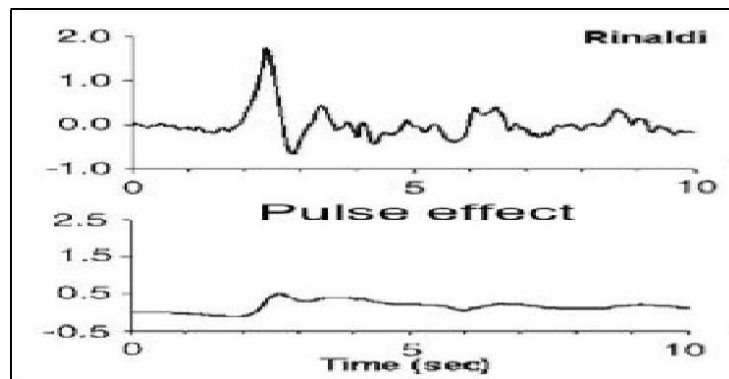
Respon gempa sensitif terhadap karakteristik getaran tanah, besar frekuensi gempa, pola *pulse*, durasi getaran, mekanisme *fault-rupture*, dan lainnya. Berdasarkan pola *pulse*-nya, gempa dibagi menjadi 3, yaitu *near field* (gempa dekat, yaitu gempa dengan *pulse*), *far field* (gempa jauh, yaitu gempa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

2.2.3 Metode Modifikasi Gerak Tanah

Menurut SNI 1726:2019 Metode Modifikasi Gerakan Tanah merupakan metode Dimana gerakan tanah dasar harus di skalakan amplitudonya (*amplitude-scaled*) sesuai dengan persyaratan pada penskalaan amplitude atau dicocokkan secara spectral (*spectral matching*) sesuai dengan persyaratan pada pencocokkan spectral tidak boleh digunakan untuk lokasi near-fault kecuali karakteristik gerakan tanah dasar di pertahankan setelah proses pencocokkan selesai.

2.2.4 Gempa Pulse

Gempa pulse Getaran gempa dekat yang mengandung efek pulse dapat menyebabkan bangunan yang tidak direncanakan secara baik akan mengalami kerusakan. Bangunan yang tidak simetris sebidang termasuk yang memiliki resiko rusak bila mengalami gempa dekat.

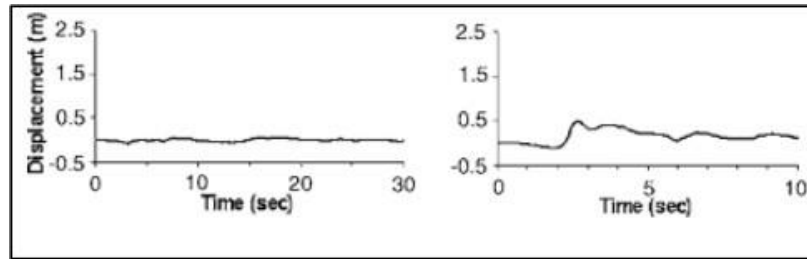


Gambar 2.3: menunjukkan data rekaman gempa yang mengandung pulse.

Gambar bagian atas merupakan waktu dengan kecepatan, dapat dilihat bahwa pada waktu ± 2.5 detik terjadi kenaikan yang drastis pada kecepatan rekaman gempa dan pada gambar bagian bawah merupakan waktu dengan perpindahan, dimana pada saat kenaikan kecepatan pada waktu ± 2.5 detik, seketika terjadi juga kenaikan nilai pada perpindahan.

2.2.5 Gempa Tanpa Pulse

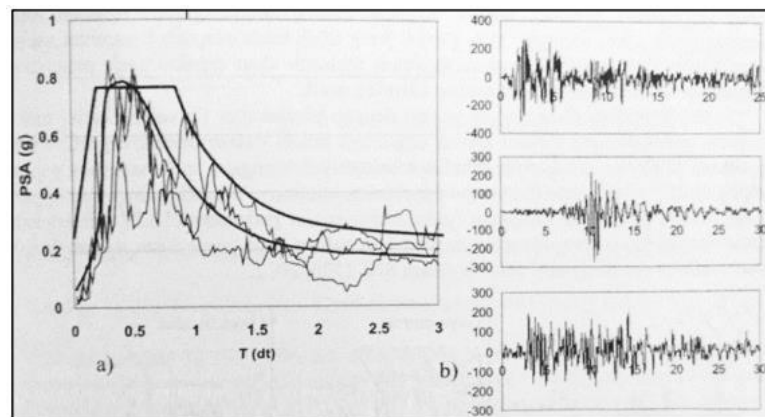
Gempa tanpa pulse, atau gempa yang tidak mengandung *velocity pulse*, merujuk pada jenis rekaman gempa di mana tidak terdapat lonjakan besar atau puncak dominan dalam rekaman akselerasi atau kecepatan seismik. Pada gempa yang mengandung pulse, biasanya terdapat lonjakan yang sangat signifikan dan singkat dalam rekaman *ground motion*, yang dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada struktur bangunan, terutama yang berada dekat dengan episenter. Sebaliknya, pada gempa non-pulse, energi seismik terdistribusi lebih merata sepanjang durasi gempa tanpa adanya puncak yang dominan (Kalkan & Kunnath, 2006).



Gambar 2.4: Rekaman gempa Northridge (1994) dan Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).

Gambar 2.4 menunjukkan data rekaman gempa yang mengandung pulse, Kedalaman gempa memiliki peran penting dalam menentukan apakah sebuah gempa akan memiliki karakteristik pulse atau tanpa pulse. Gempa yang terjadi pada kedalaman menengah hingga dalam (lebih dari 70 km) cenderung tidak menghasilkan pulse yang kuat. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa gelombang seismik yang dihasilkan oleh gempa dalam mengalami *attenuasi* (pelemahan) dan dispersi (penyebaran) saat merambat melalui bumi menuju permukaan. Proses ini mengurangi intensitas gelombang yang sampai ke permukaan, sehingga tidak cukup kuat untuk menciptakan pulse yang menonjol dalam rekaman *ground motion*. (Kanamori & Given, 2003).

2.3 Respon Spektrum



Gambar 2.5: Respon Spektrum (Clough dan Penzien 2003).

Respon spektrum (*respons spectrum*) adalah kurva yang menggambarkan respons maksimum (perpindahan, kecepatan, atau percepatan) struktur akibat beban gempa, dalam fungsi dari periode alami (*natural periode*) 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 Konsep Sendi Plastis

2.4.1 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 (*inelastis*) 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 sebagai berikut :

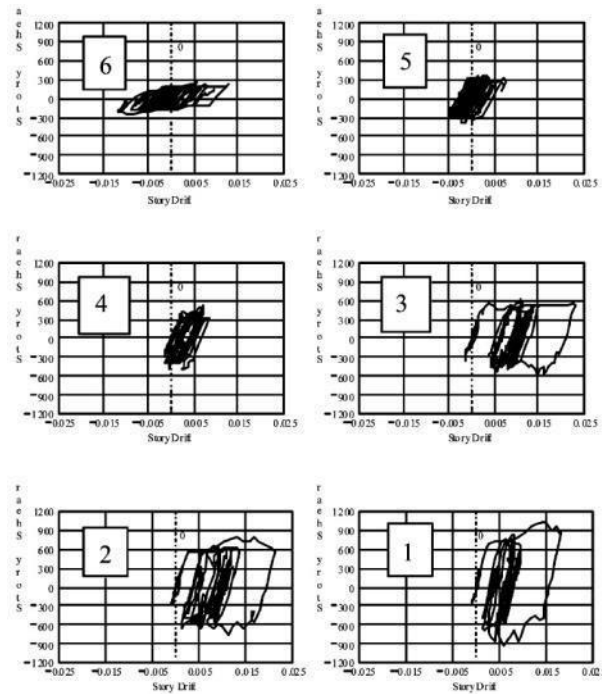
1. Teori Plastisitas (*Plasticity Theory*):
 - Plastisitas dalam Material: Plastisitas mengacu pada kemampuan material untuk mengalami deformasi permanen setelah batas elastisnya dilampaui. Dalam struktur, hal ini penting karena memungkinkan elemen untuk menyerap energi yang lebih besar sebelum kegagalan 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.

2.4.2 Mekanisme Perilaku Sendi Plastis

Sendi plastis merupakan kondisi dimana ujung-ujung elemen struktur yang semula kaku atau terjepit sempurna, kemudian berubah menjadi sendi (*pinned*) akibat terjadinya penurunan kemampuan elemen struktur dalam menahan beban-beban yang bekerja. Pemodelan sendi digunakan untuk mendefinisikan perilaku nonlinier gaya-

pergeseran yang dapat ditempatkan pada beberapa titik sepanjang bentang balok atau kolom. Sendi diasumsikan berada pada masing-masing ujung elemen balok dan elemen kolom.



Gambar 2.6: Contoh perilaku sendi plastis di tingkat. Tingkat 1 – 6 plot gaya geser vs story drift.

2.4.3 Sendi Plastis Berkerja pada Elemen Struktur

Sendi plastis pada elemen struktur seperti bresing adalah titik di mana material bresing mengalami deformasi plastis sebagai respons terhadap beban yang melebihi kapasitas elastisnya. Pada saat titik ini tercapai, rangka bresing 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).

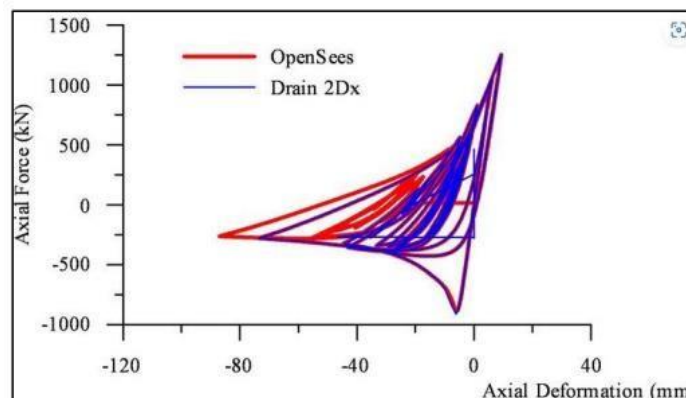
2.4.4 Mekanisme Kerja Sendi Plastis pada Elemen Bresing

1. Pembentukan Sendi Plastis:

- Saat beban pada elemen bresing meningkat, rangka 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. Gambar Penunjang:

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

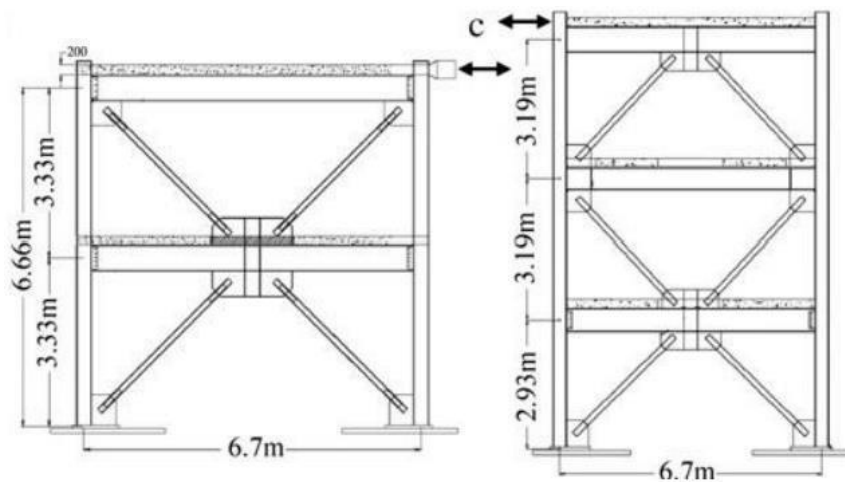


Gambar 2.7: Hubungan Gaya Aksial vs Rotasi yang menunjukkan pembentukan sendi plastis pada elemen bresing.

2.5 Elemen Bresing Kosentrik (*Braced Frame*)

2.5.1 Perilaku dan Desain Elemen Bresing pada Struktur Rangka Baja

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.



Gambar 2.8: Struktur baja berbresing Kosentrik.

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 et al., 2024).

2.6 Analisa Nonlinear

Selama ini analisa gempa menggunakan metode *force based design*. Pada metode *force based design* perhitungan terhadap gaya gempa dilakukan dengan analisa linear (elastis). Setelah gaya-gaya dalam diperoleh kemudian dilakukan desain untuk mendapatkan kapasitas dari tiap elemen struktur yang harus disediakan. Perhitungan kapasitas dari tiap elemen dapat dilakukan dengan persamaan-persamaan yang tersedia dalam beberapa standar perencanaan yang ada di Indonesia. Beberapa 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.

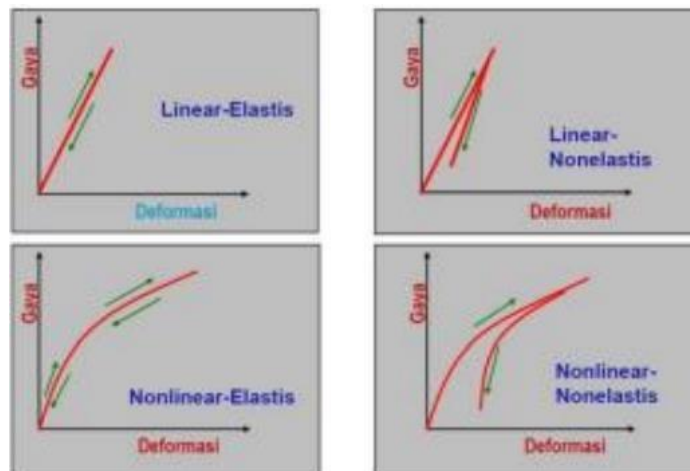
(Farajian dkk., 2022) mengatakan bahwa karakteristik dinamik bangunan gedung sampai kondisi rusak/runtuh khususnya kekakuan dan redaman relatif sulit untuk ditentukan. Hal tersebut terjadi dengan beberapa alasan yaitu bahwa:

- 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.

2.6.1 Definisi Analisis Nonlinear

Ketika terjadi gempa besar, struktur mengalami keadaan plastis 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. Analisa linear berarti respon yang diterima struktur berbanding lurus dengan pembebanan yang diberikan. Sedangkan analisa nonlinear, respon yang diterima struktur tidak berbanding lurus dengan pembebanan yang diberikan. Respon tersebut disebabkan oleh material yang tidak linear, geometri yang tidak linear dan keduanya. Respon dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9: 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 struktur 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

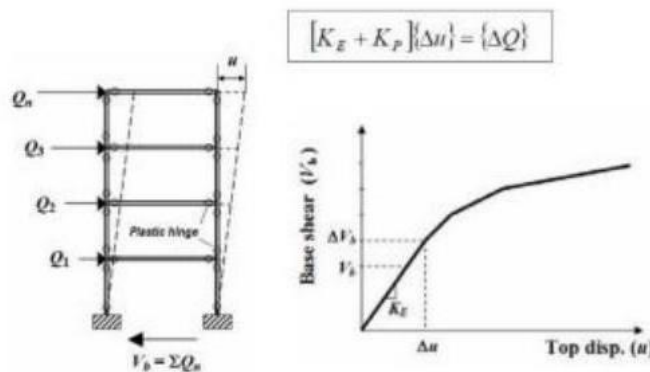
data percepatan gempa, tingkat kenonlieneran suatu elemen, yang mana membutuhkan pengetahuan khusus untuk menganalisa tingkat kenonlinearan suatu elemen. Selain rumit *running* suatu model analisa dinamis nonlinear membutuhkan waktu yang tidak sedikit. Sehingga karena penggunaanya yang relatif lama dan 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.

2.6.2 Analisa Statik Nonlinear

Secara umum, prosedur linier yang berlaku saat struktur diharapkan tetap hampir elastis untuk tingkat pergerakan tanah atau ketika hasil desain dalam distribusi hampir seragam di seluruh respon nonlinier struktur. Sebagai tujuan bahwa kinerja struktur menyiratkan tuntutan inelastis yang lebih besar dengan peningkatan prosedur linier ke titik yang membutuhkan tingkat tinggi konservatif dalam asumsi permintaan dan kriteria penerimaan untuk menghindari kinerja yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, prosedur memasukkan analisis inelastik dapat mengurangi ketidakpastian dan konservatif. Pendekatan ini juga dikenal sebagai analisis. Sebuah “*pushover*” pola gaya diterapkan pada model struktural yang mencakup sifat non-linear (seperti pada baja), dan gaya total diplot terhadap perpindahan referensi untuk menentukan kurva kapasitas. Ini kemudian dapat dikombinasikan dengan kurva persyaratan (biasanya dalam bentuk percepatan-perpindahan spektrum respon). Hal ini pada dasarnya adalah mengurangi masalah dengan membawa ke tingkat kebebasan tunggal. Prosedur nonlinier statik ekuivalen menggunakan model struktural yang mewakili gerakan tanah seismik dengan spektrum respons. *Story drift* (perpindahan tingkat) dan komponen gaya terkait terhadap parameter permintaan global oleh kurva pushover atau kapasitas merupakan dasar dari prosedur statis non-linear.

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 gaya elemen. Kapasitas struktur kemudian akan dibandingkan dengan kurva kebutuhan.



Gambar 2.10: *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.

2.6.3 Analisa Dinamis Nonlinear

Analisis nonlinier dinamik memanfaatkan kombinasi catatan gerakan tanah dengan model struktural rinci, sehingga mampu menghasilkan hasil dengan ketidakpastian yang relatif rendah. Dalam analisis dinamik nonlinear, model struktural rinci dikenakan ke rekaman gerakan tanah (*ground motion*) menghasilkan estimasi deformasi komponen untuk setiap derajat kebebasan dalam model dan respon modal yang digabungkan dengan menggunakan skema seperti jumlah-kuadrat-akar (SRRS).

Dalam analisis dinamis non-linear sifat non-linier struktur dianggap sebagai bagian dari suatu domain analisis waktu. Pendekatan ini adalah yang paling ketat dan digunakan oleh beberapa peraturan bangunan untuk bangunan dengan konfigurasi yang tidak biasa atau untuk keperluan khusus. Namun, respon dihitung bisa sangat sensitif terhadap karakteristik gerakan tanah individu digunakan sebagai input seismik, sehingga diperlukan beberapa analisis menggunakan catatan gerakan tanah yang berbeda untuk mencapai estimasi yang handal dari distribusi probabilistik respon struktural.

2.7 Klasifikasi Situs dan Parameter

Prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria seismik adalah berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasi terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas.

2.8 Parameter Percepatan Gempa

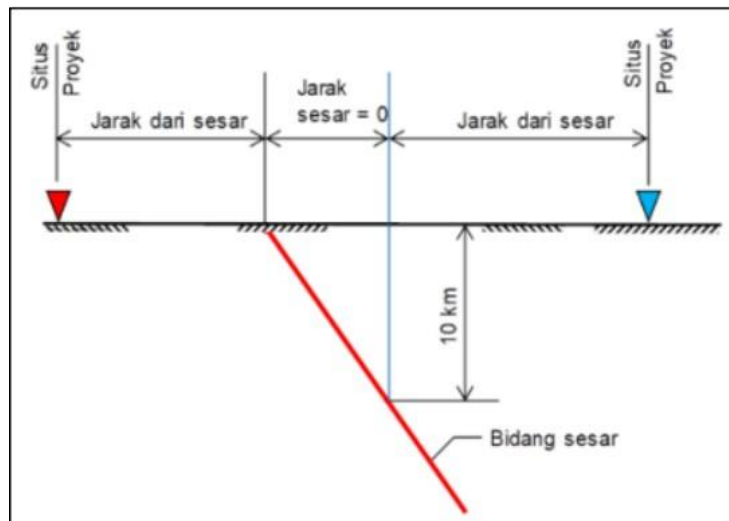
2.8.1 Situs Dekat Sesar

Situs yang memenuhi salah satu kondisi berikut ini harus dikategorikan dekat sesar:

- 1 Berjarak 15 km dari proyeksi permukaan sesar aktif yang diketahui dan mampu menghasilkan kejadian gempa dengan M_w 7 atau lebih besar, atau
- 2 Berjarak 10 km dari proyeksi permukaan sesar aktif yang diketahui dan mampu menghasilkan kejadian gempa dengan M_w 6 atau lebih besar.

Pengecualian Proyeksi permukaan tidak perlu menyertakan bagian dari patahan pada kedalaman 10 km atau lebih besar.

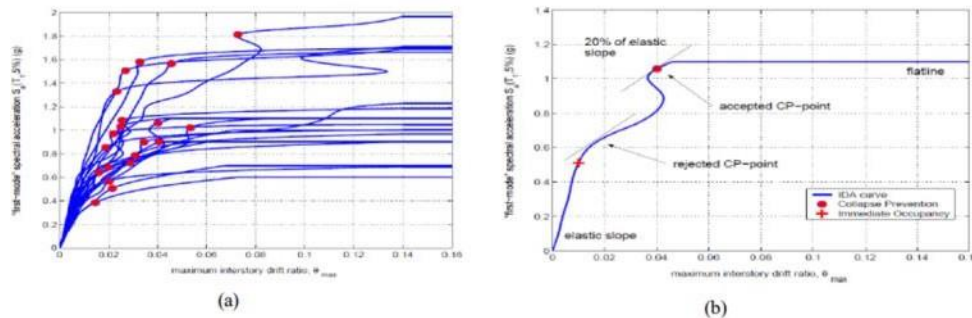
- 1 Sesar-sesar dengan perkiraan slip-rate sepanjang sesar kurang dari 1 mm pertahun berdasarkan pengamatan geodesi dan atau geologi tidak perlu dipertimbangkan;
- 2 Proyeksi permukaan tidak boleh mencakup bagian-bagian patahan yang mempunyai kedalaman ≥ 10 km.



Gambar 2. 11: Jarak patahan untuk berbagai lokasi situs proyek (SNI 1726 2019)

2.9 Incremental Dynamic Analysis (IDA)

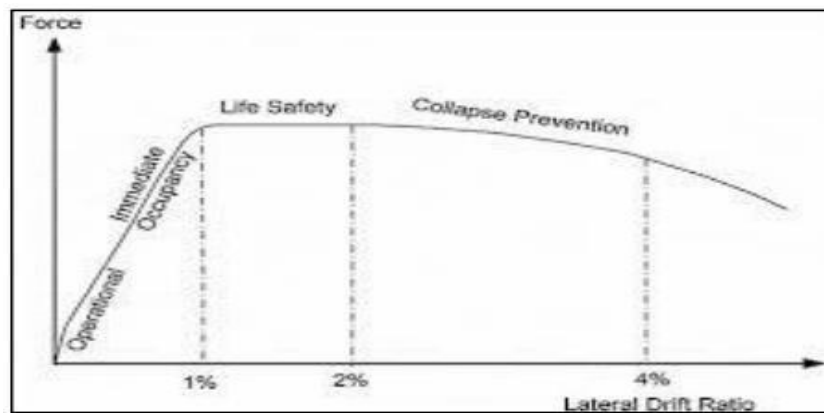
Incremental dynamic analysis (IDA) merupakan analisis komputasi beban gempa untuk melakukan penilaian menyeluruh terhadap perilaku struktur dibawah beban gempa. Metode ini digunakan untuk membangun hasil analisis bahaya *seismic probabilistik* untuk memperkirakan resiko seismik yang dihadapi oleh struktur (Faisal & Darsono, 2019). Dalam metode analisis IDA, serangkaian nonlinier analisis dinamis dilakukan untuk setiap rekaman seismik secara akurat untuk memperkirakan rentang respon lengkap (dari fase elastis ke keadaan leleh dan kemudian fase nonlinier dan akhirnya ke struktur keseluruhan ketidakstabilan). Dalam hal pemilihan untuk analisis dinamis nonlinier, (Iervolino & Marfendi, 2008) meninjau parameter input seismik yang mempengaruhi penilaian probabilistik (misalnya jumlah catatan dan intensitasnya) serta mendiskusikan keuntungan dan kerugian dari prosedur yang diperkenalkan untuk pemilihan.



Gambar 2.12: Penentuan Collapse Prevention pada kurva IDA (Vamvatsikos & Cornell, 1966).

1.1 Defenisi IO, LS, dan CP

Kondisi IO, LS, dan CP adalah kondisi yang dikenal dalam desain berbasis kinerja definisi IO (*Immediate Occupancy*), LS (*Life Safety*), dan CP (*Collapse Prevention*) adalah tingkatan kinerja struktur yang digunakan dalam desain berbasis performa untuk menganalisis respons bangunan terhadap gempa. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13 Charney, (2016) menjelaskan sebagai berikut :



Gambar 2.13: Menunjukkan kondisi IO, LS, dan CP.

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.

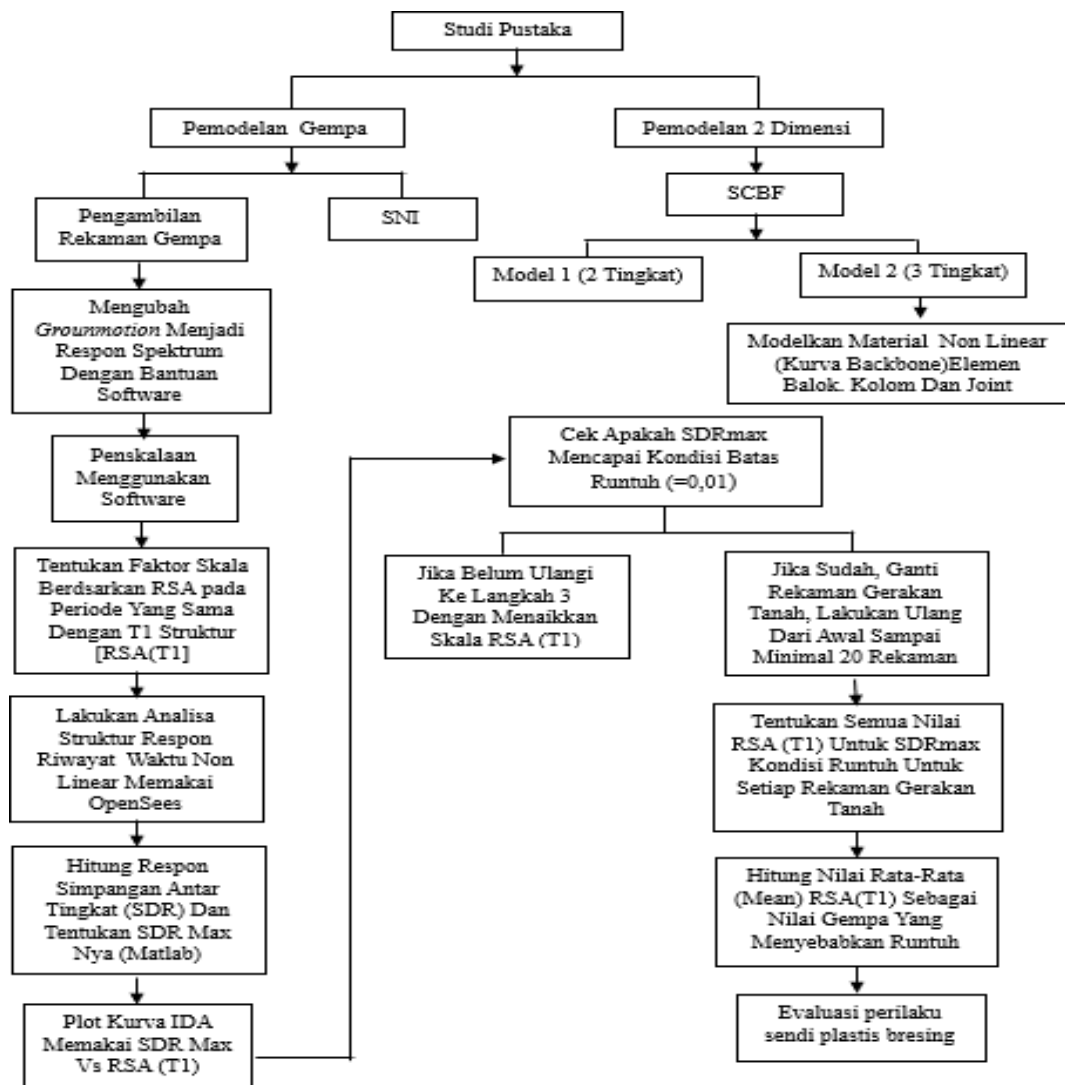
Collapse Prevention (CP) adalah kondisi paling kritis di mana struktur mengalami kerusakan yang sangat parah, tetapi tetap belum mengalami keruntuhan total. Pada kondisi CP, bangunan hampir mencapai batas runtuh dan kehilangan hampir seluruh kekuatannya. Struktur mungkin tidak lagi layak digunakan dan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

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Studi ini dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut dimulai dari daftar pustaka, permodelan, sampai dengan perilaku sendi plastis bresing, lebih lengkap diagram alir pelaksanaan tersebut dapat dilihat dari Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Diagram alir rencana.

Berdasarkan Gambar 3.1, dapat dijelaskan bahwa pada tugas akhir ini analisis dilakukan analisis terhadap 2 model, 1, dan 3 tingkat terhadap pemodelan dengan sistem rangka baja berbresing (CBF) yang dan dianalisis secara linear dan non linear dengan menggunakan metode Respon Riwayat Waktu 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 Permodelan Struktur

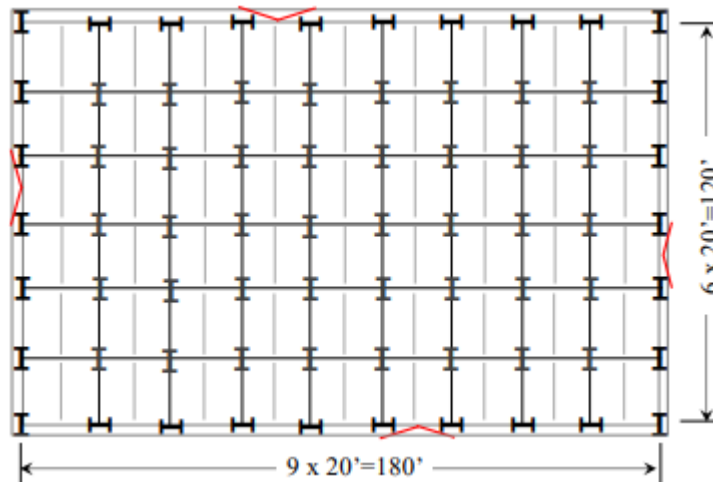
3.2.1 Data Perencanaan Struktur

Data perencanaan struktur pada tugas akhir didasarkan pada acuan yang tertera pada NIST, (2010) dengan data sebagai berikut:

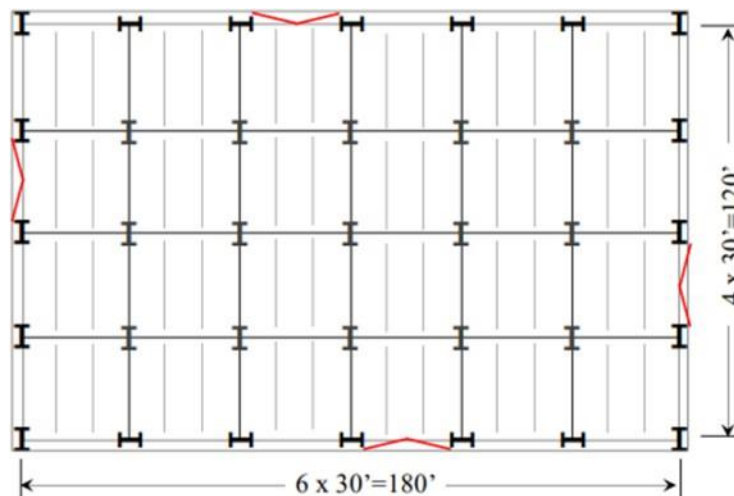
1. Jenis pemanfaatan Gedung Perkantoran.
2. Gedung terletak di Banda Aceh.
3. Klasifikasi situs tanah Sedang (SD).
4. Sistem struktur yang digunakan adalah sistem rangka baja berbresing konsentris.
5. Jenis portal struktur gedung adalah struktur rangka baja berbresing.
6. Menggunakan model konfigurasi Multistory X-Bracing.
7. Mutu baja tulangan yang digunakan adalah ASTM A992 Grade 50:
 - Kuat leleh minimum (f_y): 345 Mpa
 - Kuat tarik minimum (f_u): 450 Mpa
8. Mutu baja bresing yang digunakan adalah ASTM500 Grade B:
 - Kuat leleh minimum (f_y): 300 Mpa
 - Kuat tarik minimum (f_u): 400 Mpa
9. Mutu baja plat buhul yang digunakan adalah ASTM A572 Grade 50:
 - Kuat leleh minimum (f_y): 345 Mpa
 - Kuat tarik minimum (f_u): 450 Mpa

3.2.2 Konfigurasi Bangunan

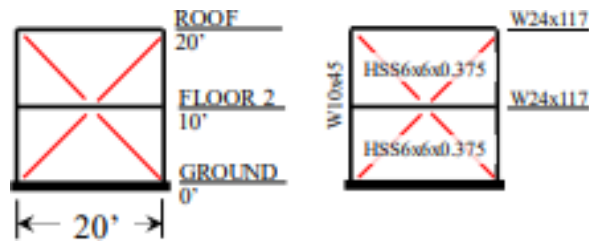
Gambar di bawah menunjukkan denah dan tata letak denah dan elevasi bangunan termasuk ukuran komponennya. Perhatikan bahwa kolom baja disambung pada pertengahan tinggi lantai ganjil kecuali pada lantai pertama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 – 3.5.



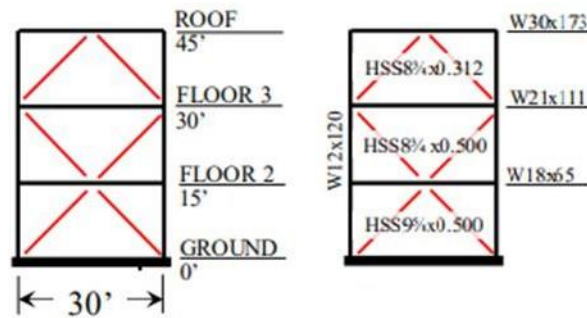
Gambar 3.2 : Denah gedung Model 1 (lantai 2).



Gambar 3.3 : Denah gedung Model 2 (lantai 3).



Gambar 3.4 : Denah elevasi gedung Model 1.



Gambar 3.5 : Denah elevasi gedung Model 2.

3.2.3 Dimensi Kolom-Balok

Model 1 dan Model 2 menggunakan ukuran penampang untuk elemen balok dan kolom seperti yang di tunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Ukuran Balok dan Kolom Penampang.

Model Bangunan	Lantai	Brasing	Kolom (Inchi)	Balok (Inchi)
Model 1	1	HSS 6x6x0.375	W10x54	W24x117
	2	HSS 6x6x0.375	W10x54	W24x117
Model 2	1	HSS 9-5x/8x0.5	W 12x120	W 18x65
	2	HSS 8-3/4x0.5	W 12x120	W 21x111
	3	HSS 9-3x0.312	W 12x120	W 30x173

Bangunan yang direncanakan adalah struktur beraturan, Struktur gedung direncanakan dengan dimensi penampang yang berbeda. Ukuran balok dan kolom terdapat pada Tabel 3.1, sedangkan letak dan posisi dari masing-masing ukuran kolom dapat dilihat pada Gambar 3.2 – 3.5.

3.3 Analisa Struktur

3.3.1 Analisis Dinamik Stuktur Linier

Analisis ini menggunakan metode respon spektrum. Pada analisis ini, menggunakan alat bantu *software* yang digunakan adalah program Analisa struktur.

3.3.2 Pembebanan

Beban gravitasi yang bekerja pada struktur bangunan diambil dari NIST yang telah disesuaikan dengan jenis dan fungsi bangunan. Beban-beban tersebut adalah beban hidup dan beban mati yang berhubungan dengan komponen material bangunan. Nilai beban hidup dan beban mati yang digunakan dalam perencanaan sebagai berikut.

- Beban mati pada atap : 3,208 Kn/m^2
- Beban hidup pada atap : 0,958 Kn/m^2
- Beban mati pada lantai : 4,069 Kn/m^2
- Beban hidup pada lantai : 2,394 Kn/m^2

3.3.3 Respon Spektrum

Respon spektrum gempa di desain untuk Kawasan dengan kategori Desain Seismik D Maksimum, yang memiliki spektrum percepatan desain sebagai berikut.

- S_d : 0.356
- S_{d1} : 0.6 g

3.3.4 Data Rekaman Gempa

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 20 data rekaman gempa PEER NGA dan COSMOS seperti terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 : Data rekaman gempa.

Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun	Magnitude
El Centro Array #6	1966	CO2	6.2
El Centro Array #7	1971	PCD	6.5
Sturno	1976	KAR	6.8
Parachute Test Site	1977	BRI	7.2
Saratoga Aloha Ave	1978	TAB	7.1
Erzincan	1976	GA6	5.6
Petrolia	1979	E04	6.5
Lucerne	1980	VCT	6.3
Rinaldi Receiving Sta	1984	HAL	6.1
Sylmar Olive View Med FF	1986	NPS	6.0
Karakyr	1987	DOW	5.9
Bonds Corner	1987	PTS	6.4
Chihuahua	1989	LGP	6.9
Site 1	1991	COG	5.5
Site 2	1992	ERZ	6.6
BRAN	1992	LUC	7.2
Corralitos	1994	JFA	6.7
Cape Mendocino	1995	AEG	6.4

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 yang di tunjukkan 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			

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

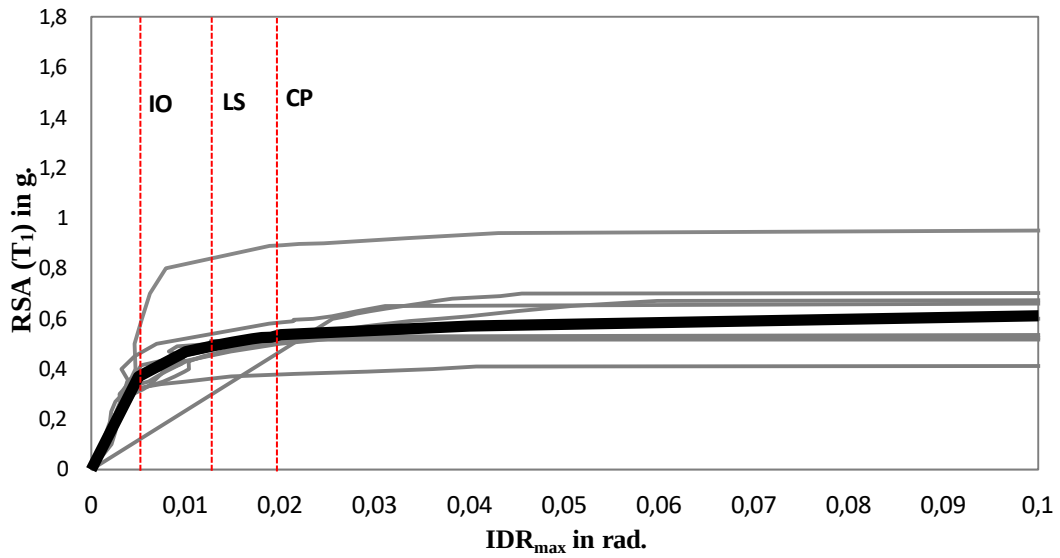
Bab ini menjelaskan beberapa nilai dari parameter yang ditinjau. Hasil analisis nonlinear dari program yang digunakan untuk menentukan nilai, seperti nilai *Incremental Dynamic Analysis*, nilai *interstory drift*, dan perilaku sendi plastic pada rangka khusus berbresing. Model yang dianalisis adalah struktur rangka baja berbresing konsentris dengan data-data yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya.

3.5 Hasil Analisis Nonlinear

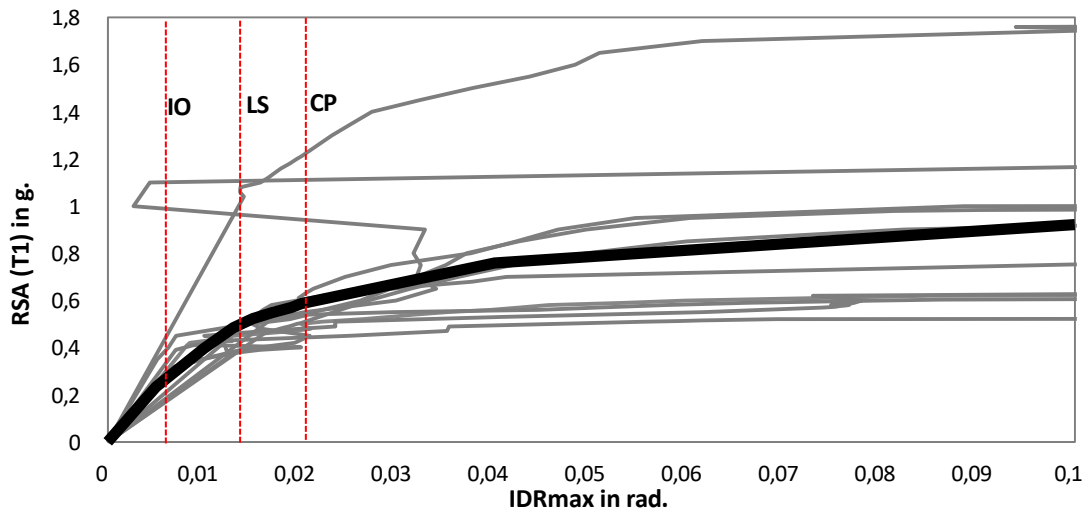
4.2.1 Metode IDA (*Incremental Dynamic Analysis*)

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

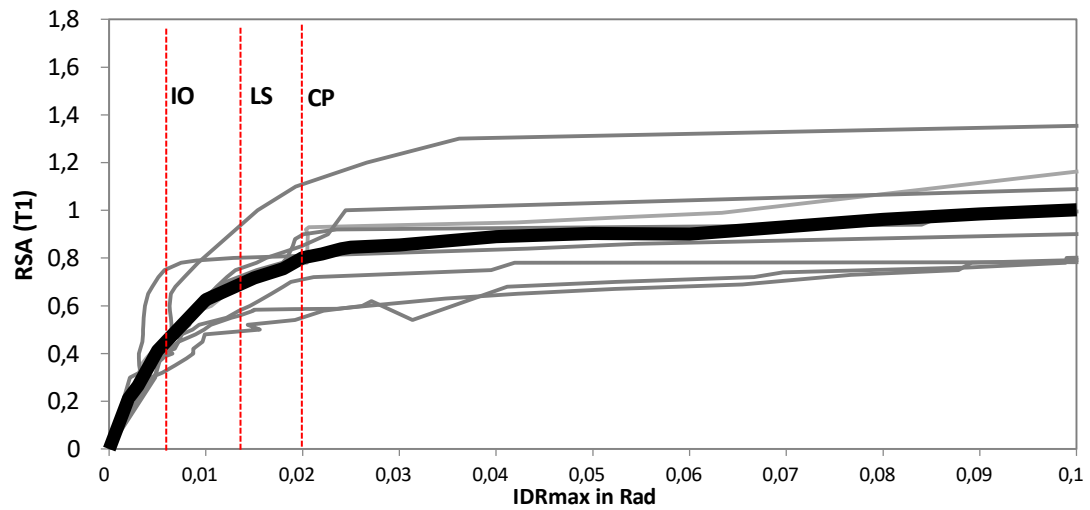
Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukan derajat nilai IDA yang dianalisis berdasarkan rekaman gempa pulse terhadap model struktur bangunan SRBK 2 dan 3 tingkat. Dimana pada garis yang dipertebal merupakan nilai *mean* dari keseluruhan GM tiap grafik, dimana menunjukan nilai dan bentuk kurva dari kategori IO (0,5%), LS (1,5%), dan CP (2%). Derajat nilai Ida untuk SRBK Model 1 dan Model 2 akibat gempa tanpa pulse dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4.



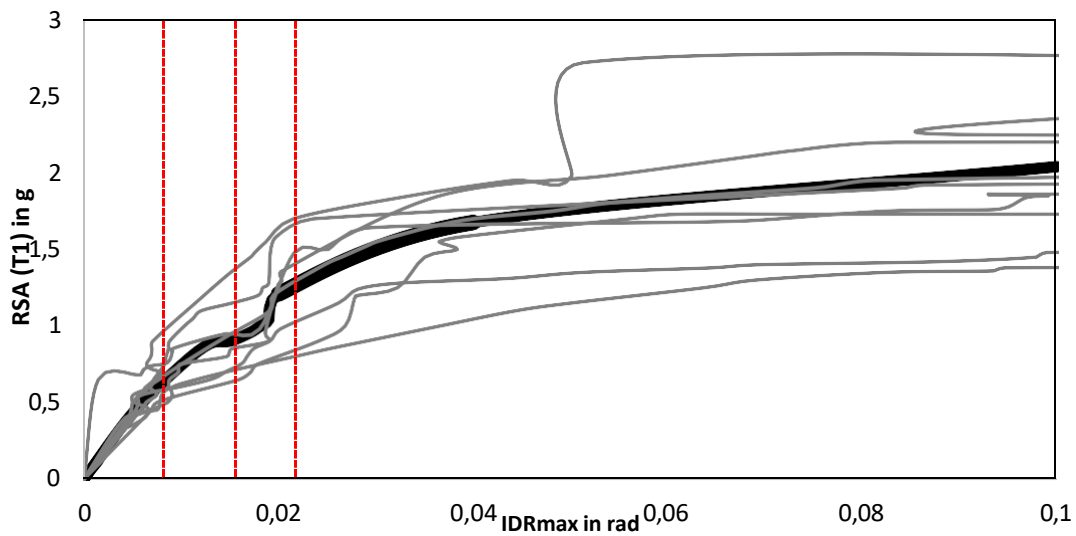
Gambar 4.1: Perilaku deformasi antar tingkat berdasarkan IDA untuk Model 1 akibat gerakan tanah mengandung efek pulse.



Gambar 4.2: Perilaku deformasi antar tingkat berdasarkan IDA untuk Model 2 akibat gerakan tanah mengandung efek pulse.



Gambar 4.3: Perilaku deformasi antar tingkat berdasarkan IDA untuk Model 1 akibat gerakan tanah tanpa efek pulse.



Gambar 4.4: Perilaku deformasi antar tingkat berdasarkan IDA untuk Model 2 akibat gerakan tanah tanpa efek pulse.

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 IDR_{max} di setiap Model 1 dan 2 pada GM yang mengandung pluse dan tanpa pulse. Nilai ini tertera di Tabel 4.1 untuk GM yang memberikan nilai IDR_{max} pada kondisi Median di grafik IDA

Tabel 4.1: Nilai IDR maksimum.

Mencari Interstory drift					
Kondisi	RSA	GM07 (Corralitos)	GM03 (Chihuahua)	GM rata-rata	GM rata- rata
IO	0.005	0.29	0.32	0.41	0.43
	0.01	0.36	0.55	0.62	0.74
	0.013	0.81	0.6	0.71	0.88
LS	0.015	0.99	0.61	0.75	0.9
	0.017	0.07	0.69	0.78	0.95
	0.018	0.11	0.75	0.84	0.99
	0.019	0.14	0.77	0.88	1.04
CP	0.02	0.18	0.75	0.94	1.21
	0.04	0.24	1.59	0.96	1.67
	0.06	0.3	1.75	0.98	1.8

Untuk Model 2 di kondisi IO, LS, CP terdapat pada GM03 (Corralitos), dan di Model 1 kondisi IO, LS dan CP terdapat pada GM07 (Petrolia, Rinaldi Receiving Sta, Erzincan).

Tabel 4.2: Nilai RSA median untuk kondisi IO, LS, dan CP pada Model 1.

Kondisi	SDR CBF	Pulse	Non Pulse
IO	0.50%	0.37	0.46
LS	1.50%	0.51	0.64
CP	2%	0.54	0.67

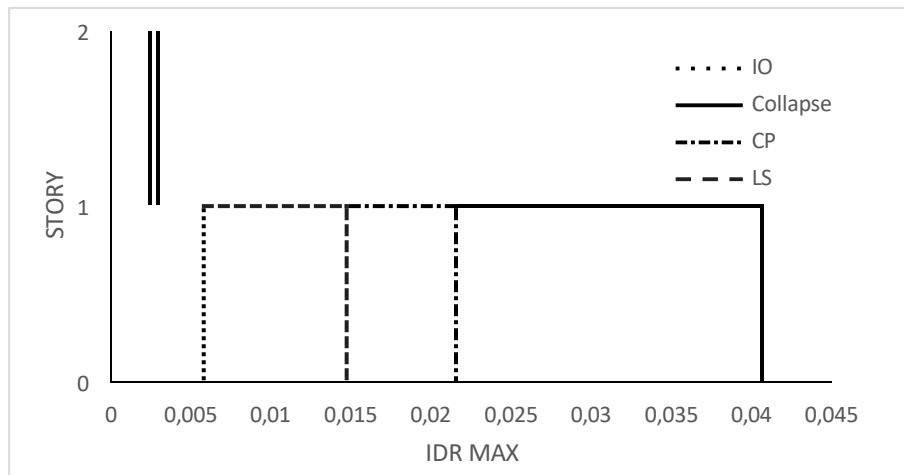
Tabel 4.3: Nilai RSA median untuk kondisi IO, LS, dan CP pada Model 2.

Kondisi	SDR CBF	Pulse	Non Pulse
IO	0.50%	0.23	0.43
LS	1.50%	0.52	0.90
CP	2%	0.59	1.21

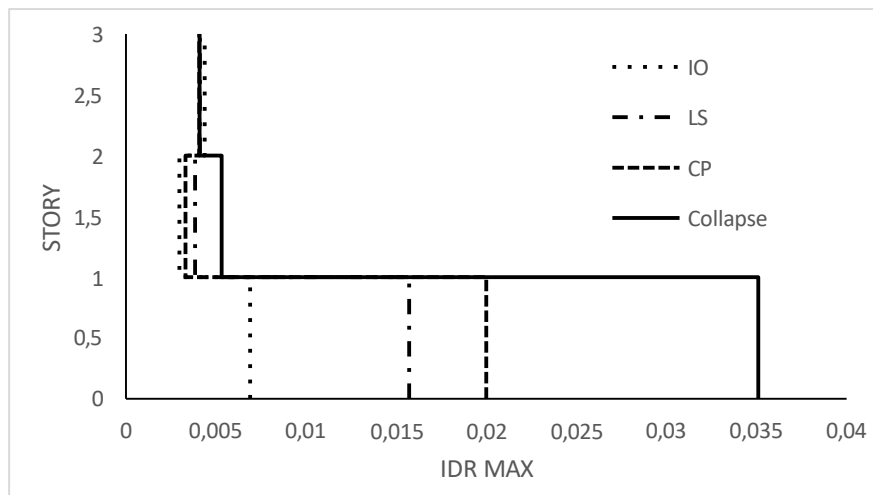
4.2.2 *Interstory Drift Ratio (Simpangan Antar Tingkat)*

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. (Ahmadi & Jamkhaneh, 2021).

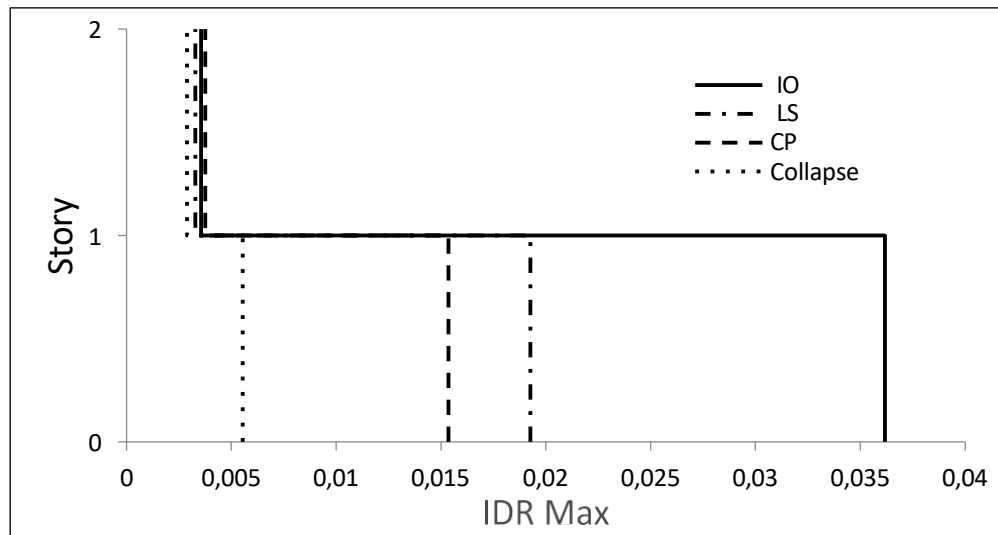
Dari analisis *Incremental Dynamic Analysis (IDA)* diperoleh nilai RSA untuk rekaman tanah gempa pulse dan nonpulse. Representasi grafik dari nilai dapat diperoleh pada Gambar 4.5-4.8 yang menunjukkan plot hasil analisis *interstory drift*. Pada rekaman gempa yang berbeda, dimana grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai deformasi yang terbesar terjadi pada lantai 1, baik pada Model 1 dan Model 2 di gempa yang mengandung pulse dan tanpa pulse. Grafik yang ditampilkan dihitung untuk menentukan nilai IO, LS, CP, dari *ground motion* untuk menghasilkan data *interstory drift*.



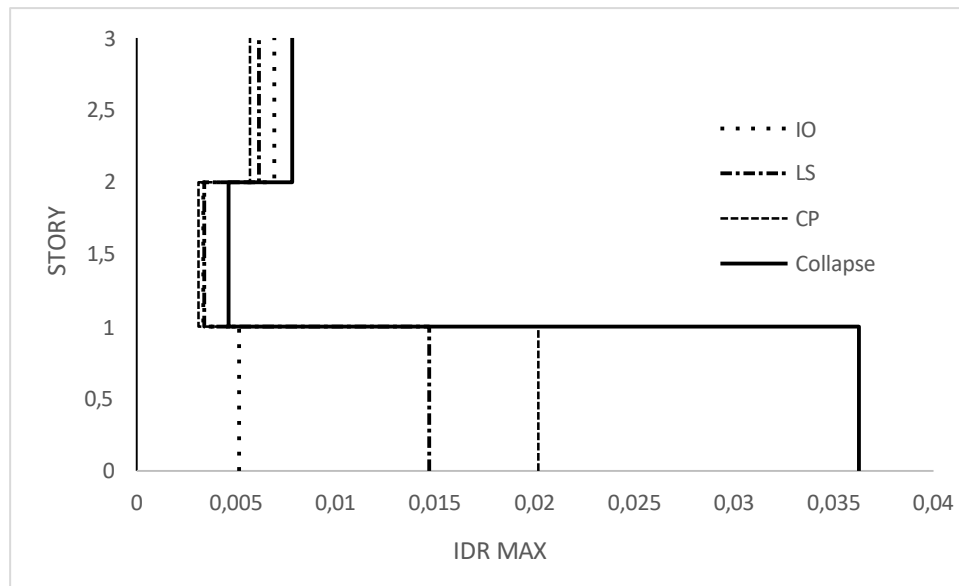
Gambar 4.5: Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada Model 1 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah gempa dekat mengandung efek Pluse serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah.



Gambar 4.6: Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada Model 2 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah gempa dekat mengandung efek Pluse serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah.



Gambar 4.7: Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada Model 1 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah gempa jauh mengandung efek non Pluse serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah.

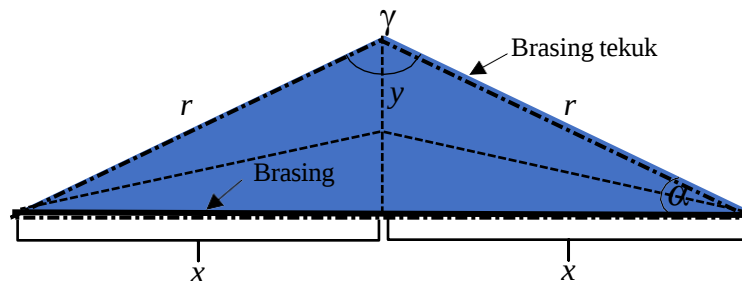


Gambar 4.8: Menunjukkan rasio simpangan maksimum pada Model 2 yang dipilih berdasarkan nilai yang mendekati median terjadi pada gerakan tanah gempa jauh mengandung efek non Pluse serta pada kondisi runtuh terjadi akibat gerakan tanah.

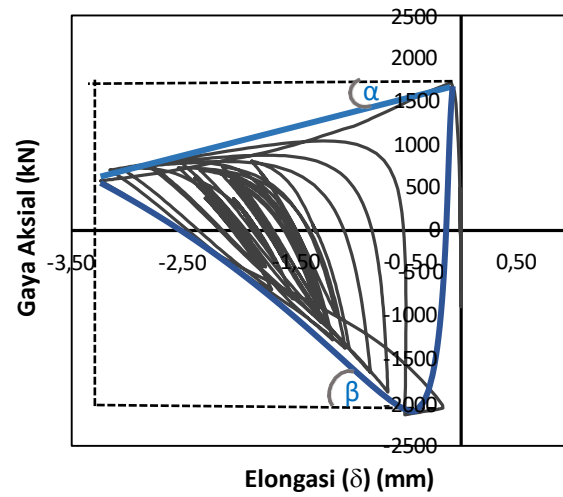
Pada grafik interstory drift kondisi IO pada Gambar di atas perpindahan antar lantai terbesar terjadi pada tingkat bawah. Dalam gambar terlihat terjadi variasi nilai perpindahan antar tingkat tiap tingkatnya dengan karakteristik yang berbeda-beda. Dimana Perpindahan antar tingkat yang terjadi dikondisi IO memiliki nilai yang terbesar terjadi akibat dari gempa jauh yang mengandung efek non pulse.

4.2.3 Sendi Plasti Pada Elemen Bresing

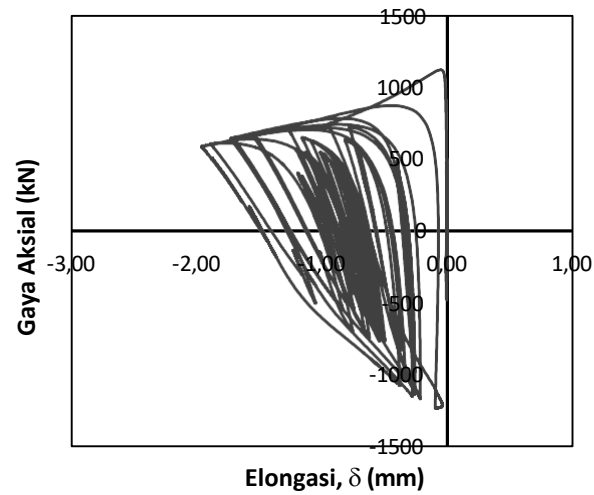
Berdasarkan hasil dari Incremental Dynamic Analysis sebelumnya telah di tentukan kondisi IO, LS, dan Cp. Berdasarkan nilai IO, LS, dan Cp tersebut maka diplot lah grafik histerisis yang menggambarkan perilaku sendi plastis pada elemen bresing. Gambar 4.9 menjelaskan parameter-parameter regangan yang terjadi ketika bresing mengalami sendi plastis. Notasi γ adalah sudut tekuk pada bresing, α adalah sudut bresing bagian bawah, x adalah panjang awal mula bresing. Gambar 4.10 menjelaskan parameter-parameter sendi plastis yang ditinjau pada tugas akhir ini. Notasi δ adalah elongasi terjadi pada bresing (mm), α adalah sudut degradasi gaya aksial Tarik (kN), dan β adalah sudut degradasi gaya aksial tekan. Perilaku sendi plastis mulai dari Model 1 dan 2, mulai dari IO, LS dan CP, dipresentasikan pada Gambar 4.11 – 4.22. Grafik histerisis ini memuat gaya aksial (tarik dan tekan) secara siklik yang terdapat pada sumbu-Y, dan deformasi rotasi nya pada sumbu-X yang menggambarkan proses terjadinya sendi plastis pada elemen bresing. Proses sendi plastis pada bresing yang dimaksud adalah keadaan dimana terjadinya pembengkokan sampai tekuk akibat gaya aksial siklik tarik dan tekan.



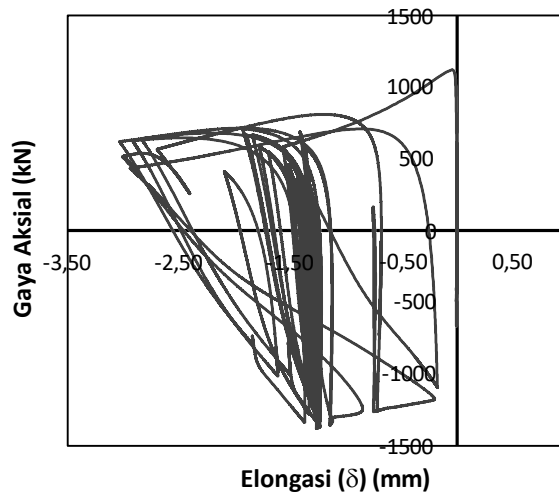
Gambar 4.9: Parameter regangan sendi plastis elemen bresing yang di tinjau (r , x , γ , dan α).



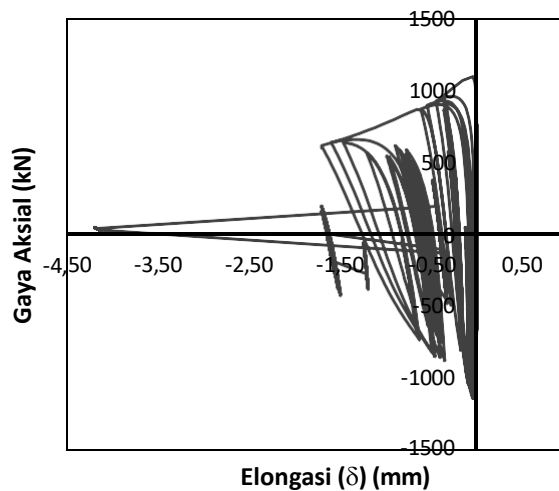
Gambar 4.10: Parameter sendi plastis elemen bresing yang di tinjau (δ , α , dan β).



Gambar 4.11: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 1 untuk kondisi IO akibat gerakan tanah yang mengandung efek pluse.



Gambar 4.12: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 1 untuk kondisi LS akibat gerakan tanah yang mengandung efek pluse.

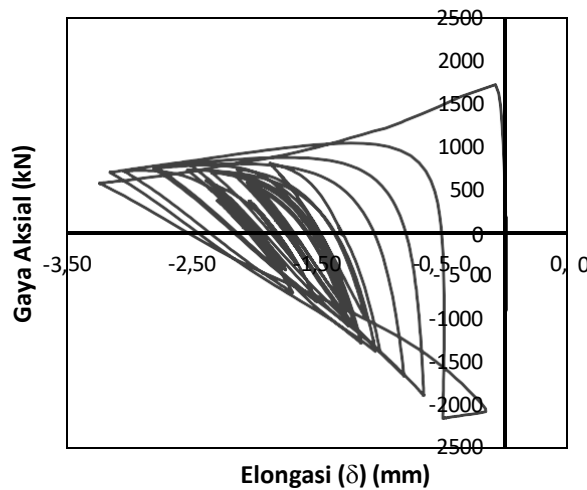


Gambar 4.13: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 1 untuk kondisi CP akibat gerakan tanah yang mengandung efek pluse.

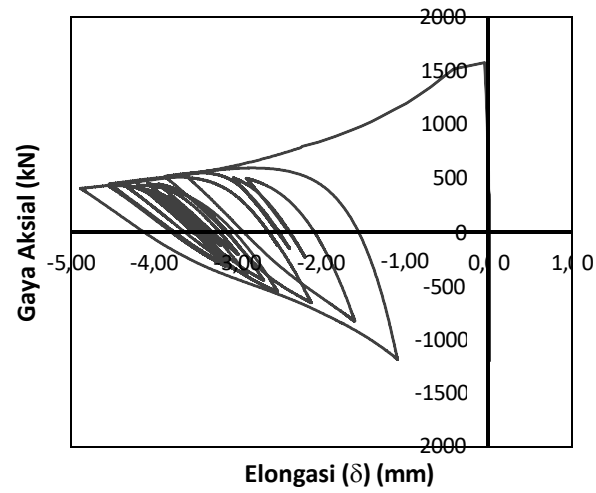
Pada Gambar 4.11 tampak perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 1 yang menunjukkan bahwa rotasi yang terjadi mencapai nilai -1.96 mm akibat gempa mengandung efek pulse untuk kondisi IO. Sedangkan pada Gambar 4.12 sendi plastis yang terjadi pada elemen bresing mencapai nilai rotasi -3.03 mm akibat

gempa efek pulse untuk kondisi LS, dan untuk kondisi CP mencapai nilai rotasi - 4.20 mm (Gambar 4.13).

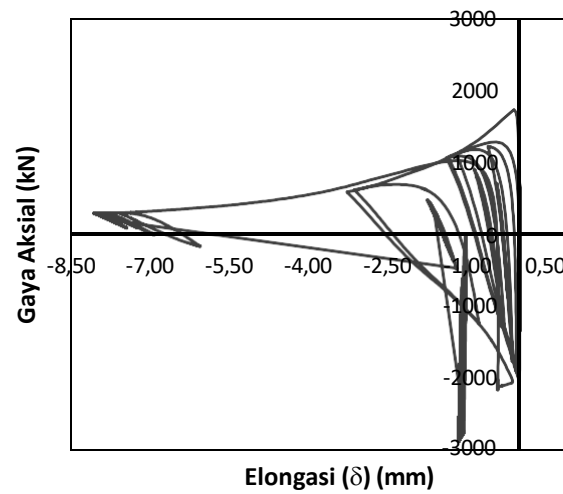
Pada Gambar 4.14 ditunjukkan perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 akibat gempa mengandung pulse untuk kondisi IO. Hasil yang ditunjukkan mencapai nilai rotasi -3.24 mm , sedangkan untuk kondisi LS pada Model 2 akibat gempa mengandung efek pulse mencapai nilai rotasi -4.89 mm , dan untuk kondisi CP mencapai nilai rotasi -8.07 mm (Gambar 4.15 dan 4.16).



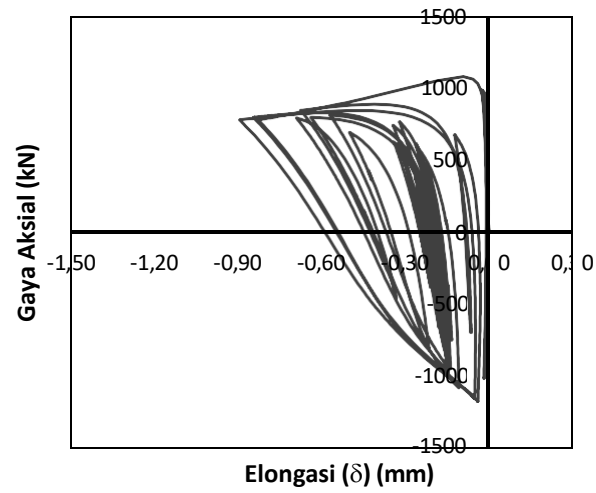
Gambar 4.14: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 untuk kondisi IO akibat gerakan tanah yang mengandung efek pluse.



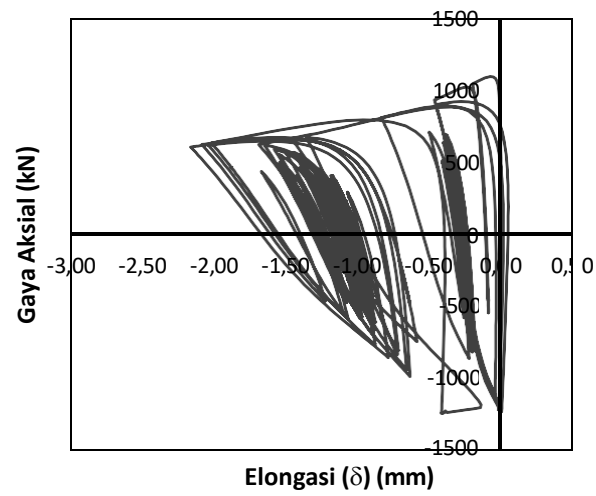
Gambar 4.15: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 untuk kondisi LS akibat gerakan tanah yang mengandung efek pluse.



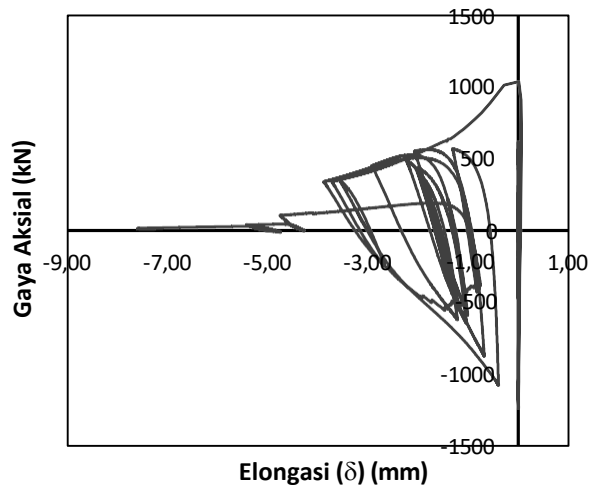
Gambar 4.16: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 untuk kondisi CP akibat gerakan tanah yang mengandung efek pluse.



Gambar 4.17: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 1 untuk kondisi IO akibat gerakan tanah tanpa efek pluse.

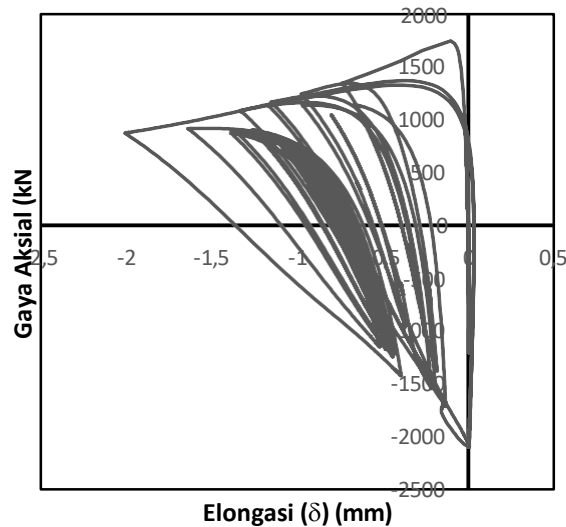


Gambar 4.18: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 1 untuk kondisi LS akibat gerakan tanah tanpa efek pluse.

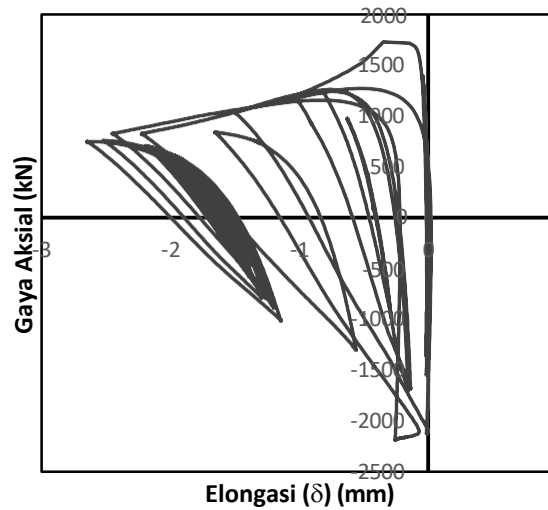


Gambar 4.19: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 1 untuk kondisi CP akibat gerakan tanah tanpa efek pluse.

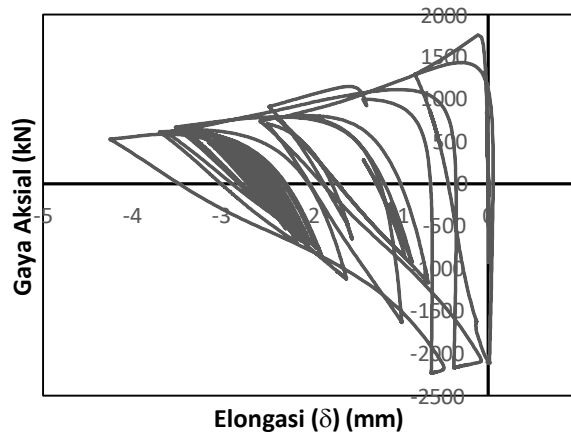
Pada Gambar 4.17 ditunjukkan perilaku sendi plastis elemen bresing untuk Model 1. Gambar tersebut menunjukkan rotasi mencapai nilai -0.89 mm untuk kondisi IO akibat gempa tanpa efek pulse, sedangkan pada kondisi LS mencapai nilai rotasi -2.16 mm, dan untuk CP nilai rotasi -7.60 mm (Gambar 4.18 dan 4.19).



Gambar 4.20: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 untuk kondisi IO akibat gerakan tanah tanpa efek pluse.



Gambar 4.21: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 untuk kondisi LS akibat gerakan tanah tanpa efek pluse.



Gambar 4.22: Perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 untuk kondisi CP akibat gerakan tanah tanpa efek pluse.

Untuk Gambar 4.20 – 4.22 merupakan perilaku sendi plastis elemen bresing pada Model 2 untuk kondisi IO sampai dengan CP akibat gerakan tanah tanpa efek pulse. Untuk kondisi IO mencapai nilai rotasi -2 mm, sedangkan LS dan CP mencapai nilai rotasi masing – masing -2.64 mm dan -4.24 mm.

Tabel 4.4 menjelaskan nilai rotasi maksimal masing-masing model berdasarkan jenis gempa nya untuk masing-masing kondisi IO, LS, dan CP. Dari tabel tersebut tampak bahwa nilai yang lebih besar diperoleh akibat gempa pulse pada Model 1 untuk kondisi IO, dan LS. Sedangkan pada kondisi CP nilainya lebih besar di gempa tanpa efek pulse mencapai rata rata $\pm 40\%$. Sedangkan pada Model 2 nilai rotasi yang lebih besar diperoleh akibat gempa yang mengandung pulse di kondisi IO, LS, dan CP, dan selisih nya mencapai $\pm 45\%$.

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

Kondisi	$\delta_{\max}$ pada Model 1 (mm)		$\delta_{\max}$ pada Model 2 (mm)	
	Gempa Pulse	Gempa non-Pulse	Gempa Pulse	Gempa non-Pulse
IO	-1.96	-0.89	-3.24	-2
LS	-3.03	-2.16	-4.89	-2.64
CP	-4.20	-7.60	-8.07	-4.24

delta Dari Tabel 4.5 menjelaskan degradasi kekuatan gaya aksial bresing untuk masing masing model dimana α adalah degradasi gaya aksial tarik dan β adalah degradasi gaya ksial tekan. Secara umum tampak bahwa degradasi gaya aksial tarik tebih besar dibandingkan degradasi gaya aksial tekan. Hal ini berlaku untuk semua kondisi termasuk pada kondisi CP.

Tabel 4.5: Degradasi kekuatan gaya aksial.

Kondisi	Model 1				Model 2			
	$\theta_{\max}$ (Pulse)		$\theta_{\max}$ (non Pulse)		$\theta_{\max}$ (Pulse)		$\theta_{\max}$ (non Pulse)	
	α	β	α	β	α	β	α	β
IO	16.69	51.35	5.71	39.81	16.69	45	14.30	31.28
LS	16.69	78.7	16.69	43.91	26.56	52.98	24.03	39.81
CP	11.30	73.31	34.99	63.44	5.71	63.44	16.69	43.81

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Perbandingan Perilaku Sendi Plastis
 - a. Nilai θ_{max} pada sendi plastis Model 1 untuk kondisi IO, dan LS, adalah lebih dominan di gempa yang mengandung pulse, sedangkan untuk kondisi CP nilainya lebih dominan di gempa tanpa pulse.
 - b. Nilai θ_{max} pada Model 2 untuk kondisi IO, LS dan CP nilainya lebih dominan di gempa dekat yang mengandung efek pulse.
2. Rotasi yang terjadi pada bresing akibat tarikan untuk Model 1 dan 2 menunjukkan hasil yang sangat kecil bahkan bisa di abaikan. Secara keseluruhan rotasi akibat tekan sangat dominan pada perilaku sendi plastis di elemen bresing.

5.2 Saran

1. Perluasan variabilitas Data Gempa Meskipun penggunaan 20 rekaman gempa sudah memberikan gambaran yang cukup baik tentang perilaku sendi plastis, disarankan untuk menambah jumlah dan keragaman rekaman gempa, termasuk gempa dengan intensitas yang lebih bervariasi serta gempa dari wilayah geografis yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

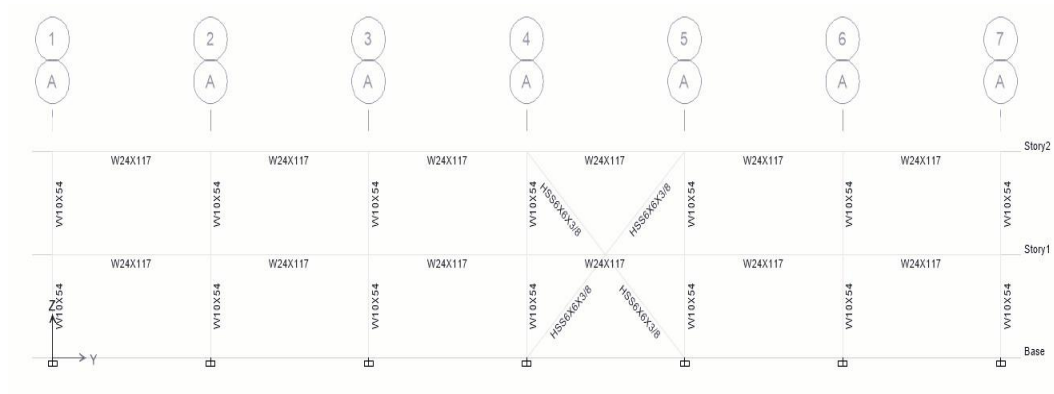
- Baker, Jack W, 'Measuring Bias in Structural Response Caused by Ground Motion Scaling', *Pacific Conference on Earthquake Engineering*, 056, 2007, 1–6
<https://doi.org/10.1002/eqe>
- Sipil, Fakultas Teknik, 'Swiss-Belhotel Surabaya Swiss-Belhotel Surabaya'
- Alipour, M., and A. A. Aghakouchak, 'Numerical Analysis of the Nonlinear Performance of Concentrically Braced Frames under Cyclic Loading', *International Journal of Steel Structures*, 13.3 (2013), 401–19
<https://doi.org/10.1007/s13296-013-3002-5>
- Supandi, Didi, 'Analisisstruktur Baja Bangunan Industri Akibat Gaya Gempa Menggunakan Sistem Concentrically Braced Frame (Cbf)–Studi Kasus: Bangunan Pabrik Pupuk Cargill, Pandaan, Jawa Timur', *Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tanri Abeng*, 1.1 (2021), 9–15
- Wiryanto Dewobroto, 'Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa Dengan Analisa Pushover', *Uin Suska Riau*, 2014, 30–54
- Pawirodikromo, Widodo, Anggit Mas Arifudin, and Dewi Ayu Harjani, 'Rasio Kekakuan Lentur (*Flexural Stiffness Ratio*) Elemen Beton Akibat Gempa Berdasarkan Analisis Dinamik Struktur Single Degree of Freedom (Sdof)', *Teknisia*, XXVI.2 (2021), 107–20
- Erochko, Jeffrey, Constantin Christopoulos, Robert Tremblay, and Hyunhoon Choi, 'Residual Drift Response of SMRFs and BRB Frames in Steel Buildings Designed According to ASCE 7-05', *Journal of Structural Engineering*, 137.5 (2011), 589–99 [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0000296](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000296)
- Baker, Jack W, 'Measuring Bias in Structural Response Caused by Ground Motion Scaling', *Pacific Conference on Earthquake Engineering*, 056, 2007, 1–6
<https://doi.org/10.1002/eqe>
- Wibowo, Leonardus Setia Budi, 'Studi Pengaruh Letak Concentrically Braced Frames (Cbf) Tipe d-Braced Terhadap Simpangan Lateral Pada Portal Baja Bertingkat', *Seminar Nasional Teknologi Berkelanjutan 2012*, 2012, 9–14
- Giannuzzi, Davide, Roberto Ballarini, Arthur Huckelbridge, Michael Pollino, and Marco Valente, 'Braced Ductile Shear Panel: New Seismic-Resistant Framing System', *Journal of Structural Engineering*, 140.2 (2014)

Longo, Alessandra, Rosario Montuori, and Vincenzo Piluso, '*Moment Frames – Concentrically Braced Frames Dual Systems: Analysis of Different Design Criteria*', *Structure and Infrastructure Engineering*, 12.1 (2015), 122–41

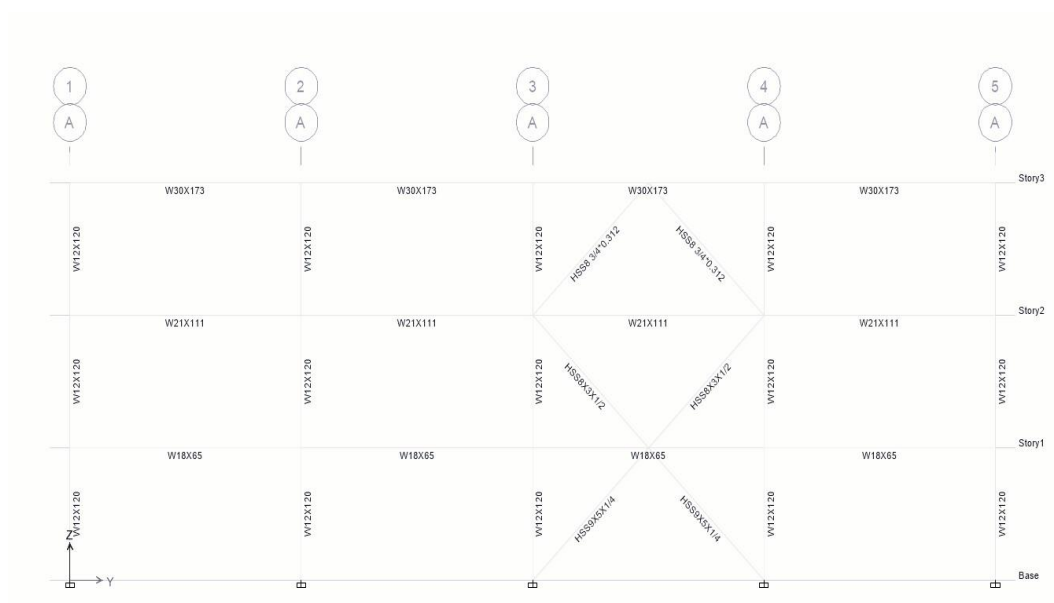
Rienanda, Farren Evangelistha, Ellen J. Kumaat, and Reky S. Windah, 'Pengaruh Bracing Pada Bangunan Bertingkat Rangka Baja Yang Berdiri Di Atas Tanah Miring Terhadap Gempa', *Jurnal Sipil Statik*, 7.6 (2019), 605–14

LAMPIRAN

Input Data Profil Struktur

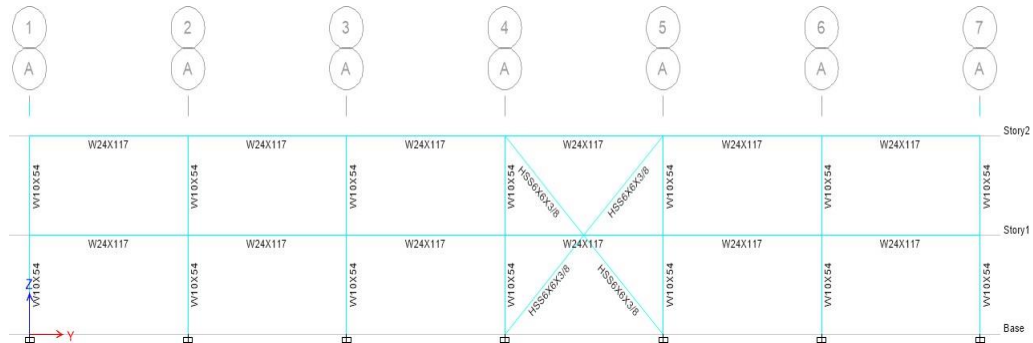


Gambar L.1: Data profil yang dimasukkan dalam software analisis struktur pada model 1.

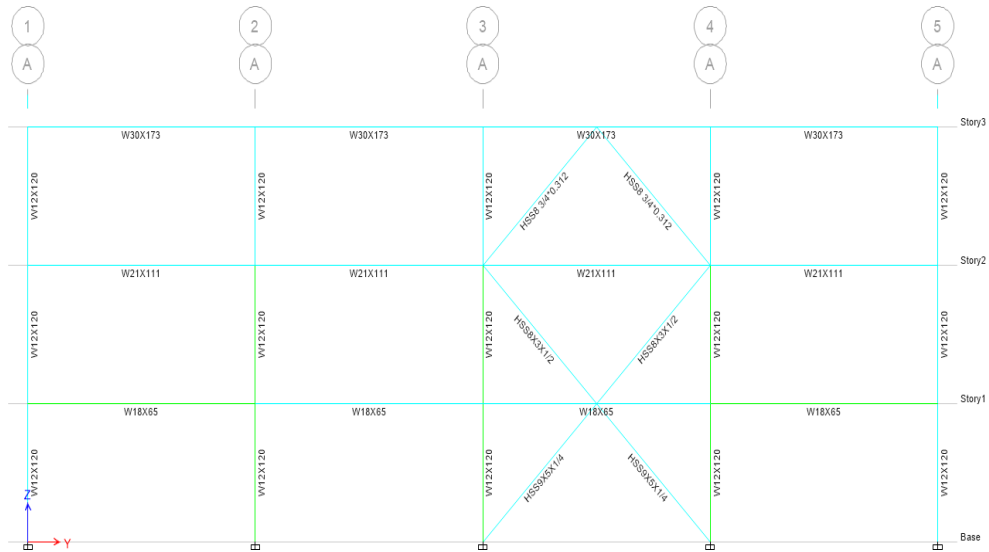


Gambar L.2: Data profil yang dimasukkan dalam software analisis struktur pada model 2.

Cek Kekuatan Material Struktur



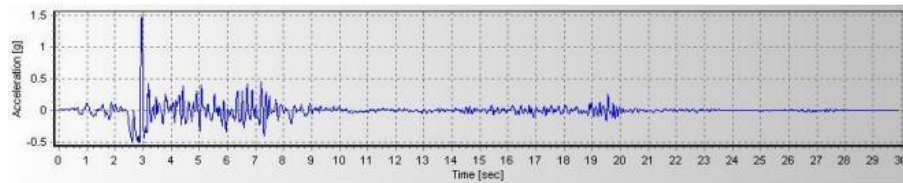
Gambar L.3: Cek nilai rasio kekuatan bahan yang dianalisa dalam software analisis pada model 1.



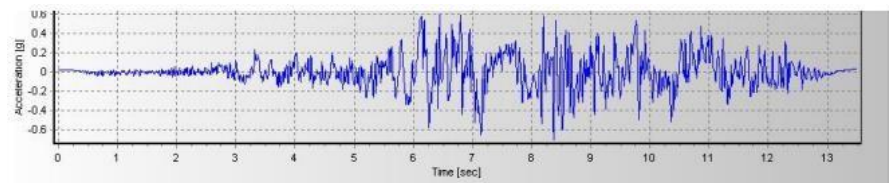
Gambar L.4: Cek nilai rasio kekuatan bahan yang dianalisa dalam software analisis pada model 2.

Ground Motion (Rekaman Gempa)

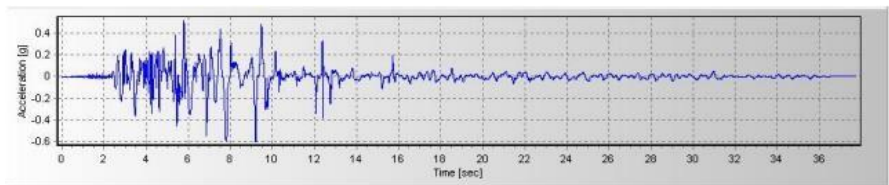
Terdapat dua tipe groundmotion yang akan digunakan dalam tugas akhir ini yaitu tipe groundmotion yang tanpa pulse dan tipe groundmotion dengan pulse.



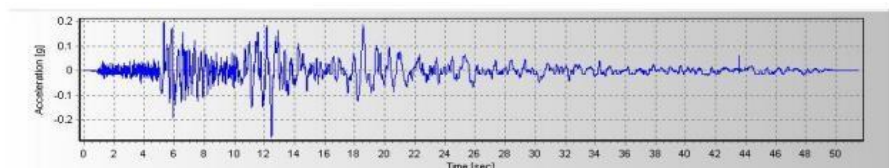
(A)



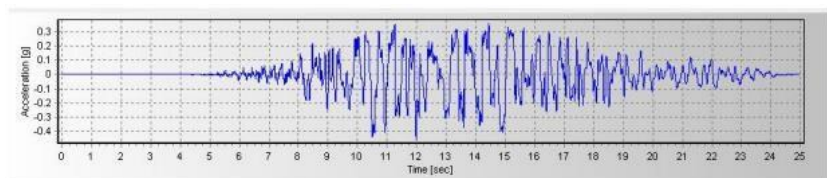
(B)



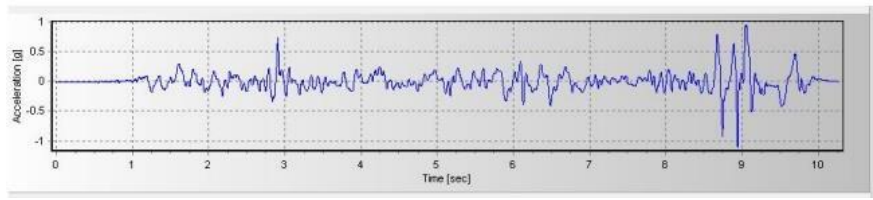
(C)



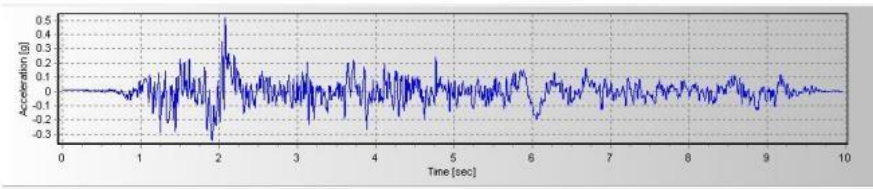
(D)



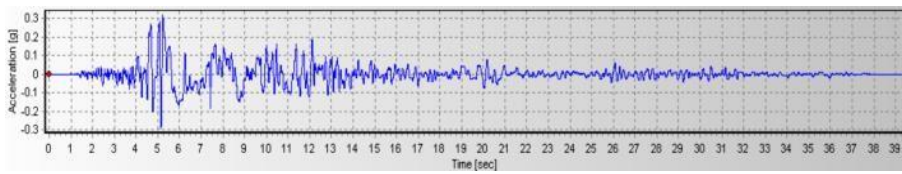
(E)



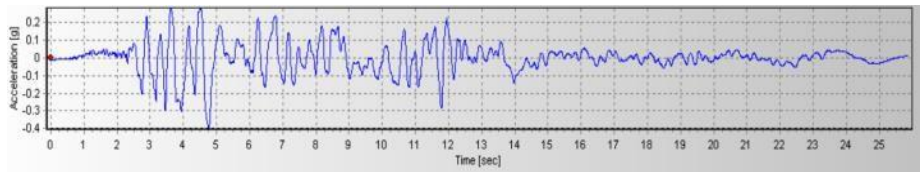
(F)



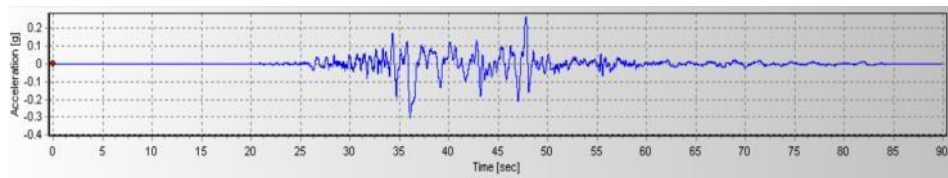
(G)



(H)



(I)



(J)

Nilai Rotasi pada Penampang Baja.

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 ²)	Inersia x (m ⁴)	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

Tabel L.5: Parameter penampang baja pada balok di Model 1.

My (kN-mm)	Mc (kN-mm)	Mr (kN-mm)	θ_y (rad)	θ_p (rad)	θ_{pc} (rad)	θ_u (rad)	θ_c (rad)	duct1	duct2	Λ (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.5

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 ²)	Area (m ²)	Inersia x (mm ⁴)	Inersia x (m ⁴)
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.6: Parameter backbone penampang baja pada kolom di Model 1.

Lanjutan Tabel L.6

Ke (KN-mm/rad)	My (kN-mm)	Mc (kN-mm)	Mr (kN-mm)	θ_y (rad)	θ_p (rad)	θ_{pc} (rad)	θ_u (rad)	θ_c (rad)	duct1	duct2	Λ (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.6

Story	Exterior	Interior	Tpz(Ex)	Tpz(In)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	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

Ke(In)	Ksf	Kbf	Kf	Kf/Ke(Ex)	Kf/Ke(In)	Vy(1)	γ_y (ex) (1)	γ_y (In) (1)	Af,eff 4 γ (Ex)	Af,eff 4 γ (In)	Af,eff 6 γ (Ex)	Af,eff 6 γ (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
----------	-----------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Lanjutan Tabel L.6

Lanjutan Tabel L.6

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)
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 ²)	Inersia x (m ⁴)	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.7: Parameter backbone penampang baja pada balok di Model 2.

Lanjutan Tabel L.7

Mc (kN-mm)	Mr (kN-mm)	θ_y (rad)	θ_p (rad)	θ_{pc} (rad)	θ_u (rad)	θ_c (rad)	duct1	duct2	Λ (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.8: Parameter backbone penampang baja pada kolom di Model 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 ²)	Area (m ²)	Inersia x (mm ⁴)	Inersia x (m ⁴)
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.8

Ke (KN-mm/rad)	My (kN-mm)	Mc (kN-mm)	Mr (kN-mm)	θ_y (rad)	θ_p (rad)	θ_{pc} (rad)	θ_u (rad)	θ_c (rad)	duct1	duct2	Λ (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.8

Story	Exterior	Interior	Tpz(Ex)	Tpz(In)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	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.8

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.8

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