

TUGAS AKHIR

ANALISA DISIPASI ENERGI DI TINGKAT DASAR
STRUKTUR GEDUNG SRPMK AKIBAT GERAKAN TANAH
MENGANDUNG PULSE
(Studi Literatur)

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

Disusun Oleh:

MUHAMMAD RAIHAN WONGSO
2007210051



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 : Muhammad Raihan Wongso

Npm : 2007210051

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisa Disipasi Energi Di Tingkat Dasar Struktur Gedung
SRPMK Akibat Gerakan Tanah Mengandung Pulse

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:

Medan, 2 Oktober 2025
Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Raihan Wongso
NPM : 2007210051
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisa Disipasi Energi Di Tingkat Dasar Struktur
Gedung SRPMK Akibat Gerakan Tanah
Mengandung Pulse
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, 2 Oktober 2025
Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing



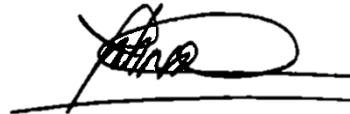
Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembanding 1



Rizki Efrida, S.T, M.T

Dosen Pembanding 2



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

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Josef Hadipramana, S.T, M.Sc.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Raihan Wongso
Tempat, Tanggal Lahir : Pangkalan Susu, 18 September 2002
Npm : 2007210051
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Analisa Disipasi Energi Di Tingkat Dasar Struktur Gedung SRPMK Akibat Gerakan Tanah Mengandung Pulse.”

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 keserjajaan 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, Juli 2025
Saya yang menyatakan,



Muhammad Raihan Wongso

ABSTRAK

ANALISA DISIPASI ENERGI DI TINGKAT DASAR STRUKTUR GEDUNG SRPMK AKIBAT GERAKAN TANAH MENGANDUNG PULSE (STUDI LITERATUR)

Muhammad Raihan Wongso

2007210051

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

Gempa bumi merupakan getaran yang bersifat alami, disebabkan oleh pelepasan energi dan menciptakan gelombang seismik. Kerusakan akibat gempa bumi juga berdampak pada struktur bangunan. Hal tersebut perlu diperhatikan dalam desain struktur tahan gempa dengan memaksimalkan kinerja struktur. Studi ini dibuat untuk menganalisis disipasi energi pada tingkat dasar struktur gedung pada sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) akibat pengaruh gerakan tanah yang mengandung pulse. Gerakan tanah dengan karakteristik pulse diketahui memiliki intensitas dan durasi energi yang berbeda dibandingkan gempa biasa, sehingga dapat mempengaruhi respons dinamis struktur. Dengan melakukan analisis numerik berbasis riwayat waktu, penelitian ini mengevaluasi sejauh mana pola disipasi energi terjadi pada tingkat dasar dan bagaimana pengaruh fenomena pulse terhadap performa seismik struktur secara lokal. Analisa dinamik tidak linear, memakai 20 rekaman gempa dilakukan untuk mendapatkan nilai median disipasi energi. Hal ini dilakukan untuk mengidentifikasi kapasitas pada kondisi batas IO, LS, CP, dan Collapse yang dimiliki oleh model. Tujuan dari evaluasi ini adalah untuk mengidentifikasi perbedaan respons struktur terhadap jenis gempa yang berbeda dan memberikan pemahaman lebih lanjut mengenai ketahanan struktur terhadap kerusakan akibat gempa dekat. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa gempa dengan karakteristik pulse menghasilkan disipasi energi yang lebih besar dibanding gempa non-pulse, terutama pada lantai dasar. Hal ini memperlihatkan bahwa struktur mengalami konsentrasi kerusakan pada kondisi batas IO, LS, CP, dan Collapse pada gempa mengandung pulse.

Kata kunci: Gempa dekat, SRPMK, deformasi lentur, disipasi energi.

ABSTRACT

ENERGY DISSIPATION ANALYSIS AT THE BASE LEVEL OF REINFORCED SRMF BUILDING STRUKTURES DUE TO PULSE-TYPE GROUND MOTION (LITERATURE STUDY)

Muhammad Raihan Wongso

2007210051

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

Earthquakes are natural vibrations caused by the sudden release of energy, generating seismic waves that can significantly impact building structures. Therefore, seismic-resistant structural design must consider these effects by maximizing structural performance. This study aims to analyze energy dissipation at the base level of a reinforced concrete structure using a Special Moment Resisting Frame (SMRF) system under ground motion containing pulse characteristics. Pulse-type ground motions have distinct energy intensity and duration compared to ordinary earthquakes, potentially affecting the dynamic response of structures. Through nonlinear time history analysis using 20 ground motion records, the study evaluates the median energy dissipation to identify structural capacity under IO, LS, CP, and Collapse limit states. The purpose of this evaluation is to structural responses to various types of earthquakes and to provide a deeper understanding of structural resilience against damage caused by near-fault ground motions. The results show that pulse-type earthquakes generate greater energy dissipation compared to non-pulse earthquakes, especially at the base level. This highlights that the structure tends to experience concentrated damage at the IO, LS, CP, and Collapse performance levels under pulse-type ground motions.

Keywords: Near-field earthquake, SRPMK, bending deformation, dissipation energy.

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 “Analisa Disipasi Energi Di Tingkat Dasar Struktur Gedung SRPMK Akibat Gerakan Tanah Mengandung 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, PhD. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Josef Hadipramana, 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 Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

9. Terimakasih yang istimewa sekali kepada Ayahanda Wongso Zakaria dan Ibunda tercinta Hasmawati yang telah bersusah payah mendidik dan membiayai saya serta menjadi penyemangat saya serta senantiasa mendoakan saya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya.
10. Kepada Salsa Nabila yang telah kebersamai penulis pada hari-hari yang tidak mudah dan telah berkontribusi banyak dan senantiasa sabar menghadapi sikap penulis selama proses pengerjaan skripsi ini. Terima kasih telah menjadi rumah yang tidak hanya berupa tanah dan bangunan. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan saya hingga sekarang. Tetaplah kebersamai dan tidak tunduk pada apa-apa serta memiliki jalan pemikiran yang jarang dimiliki oleh manusia lain.
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 menyusun 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, 2 Oktober 2025

Penulis

Muhammad Raihan Wongso

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Pengertian Gempa	5
2.2.1 Ground Motion (Getaran Tanah)	5
2.2.2 Gempa Dekat	6
2.3 Respons Spektrum	8
2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	10
2.5 Karakteristik Bangunan Tahan Gempa	10
2.6 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019	11

2.6.1 Gempa Rencana dan Faktor Keutamaan	11
2.6.2 Klasifikasi Situs dan Parameter	13
2.6.3 Parameter Percepatan Gempa	14
2.6.4 Periode Alami Struktur	15
BAB 3 METODE PENELITIAN	17
3.1 Umum	17
3.2 Pemodelan Struktur	18
3.2.1 Data Perencanaan Struktur	19
3.2.2 Dimensi Kolom-Balok pada Struktur	20
3.3 Analisis Dinamik Struktur Linear	20
3.3.1 Pembebanan	20
3.3.2 Kombinasi	21
3.3.3 Respon Spektrum Desain	22
3.3.4 Analisis Respon Spektrum Ragam	22
3.4 Analisis Dinamik Struktur Nonlinear	22
3.4.1 <i>Ground Motion Record</i> (Rekaman Gerakan Tanah)	22
3.4.2 Analisis Respon Riwayat Waktu	23
3.4.3 Incremental Dynamic Analysis (IDA)	24
3.4.4 Disipasi Energi	26
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Hasil Model Linear dan Nonlinear	27
4.2 Hasil Analisa Linear	27
4.2.1 Respon Spektrum Ragam	27
4.2.2 Koreksi Gempa Dasar Nominal	28
4.2.3 Koreksi Faktor Redundansi	29
4.2.4 Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	29
4.2.5 Nilai Simpangan Gedung	29
4.2.6 Kontrol Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak	29
4.2.7 Pengaruh Efek P-Delta	30

4.3 Hasil Analisa Nonlinear	30
4.3.1 <i>Incremental Dynamic Analysis (IDA)</i>	30
4.3.2 <i>Interstory Drift Ratio (IDR)</i>	32
4.4 Hasil Disipasi Energi	32
4.5 Hasil Nilai Median Disipasi Energi	35
4.6 Perbedaan Disipasi Energi Akibat Jenis Getaran Gempa	37
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	56
RIWAYAT PENDIDIKAN	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019.	12
Tabel 2.2	Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2019.	12
Tabel 2.3	Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2019.	13
Tabel 2.4	Koefisien situs F_a	15
Tabel 2.5	Koefisien situs F_v	15
Tabel 2.6	Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x berdasarkan SNI 1726:2019.	16
Tabel 2.7	Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2019.	16
Tabel 3.1	Data profil balok dan kolom baja WF yang digunakan.	20
Tabel 3.2	Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan $S_{DS} = 0.2368$	21
Tabel 3.3	Rekaman gempa dekat (<i>Near-Field</i>) (FEMA P-695).	23
Tabel 4.1	Hasil analisis CQC dan SRSS pada Model 1 (SRPMK 4 Lantai).	28
Tabel 4.2	Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen (V_1) dan nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum <i>output</i> program analisa struktur (V_t).	28
Tabel 4.3	Nilai $0.85 C_s$, W dan kontrol koreksi skala simpangan antar tingkat.	29
Tabel 4.4	Nilai Disipasi Energi di kolom pada Model 4 Lantai.	33
Tabel 4.5	Nilai Disipasi Energi di balok pada Model 4 Lantai.	34
Tabel 4.6	Tabel Nilai Median Disipasi Energi Pada Kolom.	35
Tabel 4.7	Tabel Nilai Median Disipasi Energi Pada Balok.	36
Tabel 4.8	Tabel Median Disipasi Energi Getaran Gempa Pulse Pada Kolom.	37
Tabel 4.9	Tabel Median Disipasi Energi Getaran Gempa No Pulse Pada Kolom.	37
Tabel 4.10	Tabel Median Disipasi Energi Getaran Gempa Pulse Pada Balok.	37
Tabel 4.11	Tabel Median Disipasi Energi Getaran Gempa No Pulse Pada Balok.	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rekaman gempa Kern – County 1952 sebagai <i>initial ground motion</i> (Samsul A., dkk, 2016).	6
Gambar 2.2	Ciri khas riwayat waktu percepatan dan perpindahan dari gerakan tanah (a) gempa jauh, (b) gempa dekat (<i>forward-directivity</i>), and (c) gempa dekat (<i>fling-step</i>) (Kalkan dan Kunnath, 2016).	7
Gambar 2.3	Spektrum respon desain.	9
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.	17
Gambar 3.2	Diagram alir desain struktur secara umum.	18
Gambar 3.3	Gambar denah struktur model 1.	19
Gambar 3.4	Gambar 2 dimensi model 1.	19
Gambar 3.5	Kurva IDA.	24
Gambar 3.6	Diagram alir metode IDA.	25
Gambar 4.1	Ilustrasi struktur baja SRPMK akibat gerakan tanah gempa dekat pada kondisi (a) LS (<i>life safety</i>), (b) CP (<i>collapse prevention</i>), dan (c) <i>Collapse</i> .	31
Gambar 4.2	Kondisi batas LS, CP dan <i>Collapse</i> untuk SRPMK baja 4 lantai akibat sejumlah gerakan tanah berdasarkan IDA.	31
Gambar 4.3	Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa pada kondisi batas LS, CP, dan <i>Collapse</i> untuk Model 1 (4 Lantai).	32
Gambar 4.4	Grafik nilai median pada kondisi IO, LS, CP dan <i>Collapse</i> pada Kolom.	35
Gambar 4.5	Grafik nilai median pada kondisi IO, LS, CP dan <i>Collapse</i> pada Balok.	36

DAFTAR NOTASI

Cd	= Faktor kuat lebih sistem
DL, SDL	= Beban mati
E	= Modulus elastisitas
Ex	= Beban gempa arah x
Ey	= Beban gempa arah y
F	= Frekuensi Struktur
Fa	= Koefisien perioda pendek
Fv	= Koefisien perioda 1,0 detik
F _{PGA}	= Nilai koefisien situs untuk PGA
H _n	= Ketinggian struktur di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (meter).
I	= Momen inersia kolom/balok
I _e	= Faktor keutamaan gempa
Ω	= Kecepatan sudut
K	= Kekakuan struktur
L	= Panjang kolom/balok
LL	= Beban hidup
Mc	= Momen maksimum
My	= Momen leleh
Mu	= Momen ultimit
PGA	= Nilai PGA di tanah sedang (SD) mengacu pada peta Gempa SNI 1726-2019.
R	= Faktor koefisien modifikasi respon
S _s	= Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda pendek 0,2 detik di tanah sedang (SD) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726-2019.
S ₁	= Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda 1,0 detik di tanah sedang (SD) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726-2019.

S_{DS}	= Respon spektrum percepatan respon desain untuk perioda pendek.
S_{D1}	= Respon spektrum percepatan desain untuk perioda 1,0 detik
T_a minimum	= Nilai batas bawah perioda bangunan
T_a maksimum	= Nilai batas atas perioda bangunan
V_t	= Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respon yang telah dilakukan.
V_1	= Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekuivalen
Θ_y	= Rotasi leleh
Θ_c	= Rotasi saat momen maksimum
Θ_u	= Rotasi batas
Θ_p	= Rotasi plastis
Θ_{pc}	= Rotasi pasca plastis
Ω	= Faktor pembesaran defleksi
P	= Faktor reduksi

DAFTAR SINGKATAN

CP	= <i>Collapse Prevention</i>
CQC	= <i>Complete Quadratic Combination</i>
IO	= <i>Immediate Occupancy</i>
LS	= <i>Life Safety</i>
MCER	= <i>Maximum Considered Earthquake</i>
PEER	= <i>Pacific Earthquake Engineering Research</i>
SRPMK	= <i>Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus</i>
SRSS	= <i>Square Root of the Sum of Square</i>
IDA	= <i>Incremental Dynamic Analysis</i>
IDR	= <i>Interstory Drift Ratio</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat potensi kegempaan yang tinggi, karena letak geografisnya pada pertemuan empat lempeng tektonik. Lempeng Eurasia yang bergerak ke arah tenggara dengan kecepatan berkisar 0,4 cm/tahun, Lempeng Samudra Indo–Australia yang bergerak ke arah utara dengan kecepatan berkisar 7 cm/ tahun, Lempeng Samudra Pasifik yang bergerak ke arah barat dengan kecepatan berkisar 11 cm/tahun dan Lempeng Laut Philipina yang bergerak ke arah barat laut dengan kecepatan berkisar 8 cm/tahun (Minster dan Jordan, 1978 dalam Yeats, 1997). Pertemuan empat lempeng tersebut mengakibatkan terjadinya gempa bumi di laut dan di darat (Athoillah et al., 2023).

Kemampuan gedung bertingkat tinggi untuk menahan strukturnya agar tidak langsung runtuh setelah gempa bumi terjadi dan melindungi penghuni di dalamnya merupakan konsep terpenting dalam perencanaan. Hal ini dikarenakan Indonesia terletak di wilayah yang sering terjadi gempa dengan intensitas tinggi hingga sedang. Oleh karena itu, perencanaan dan pengawasan harus dilakukan sesuai dengan spesifikasi bangunan tahan gempa untuk semua bangunan penting di Kota Padang, terutama bangunan infrastruktur dan bangunan penting lainnya berdasarkan pada pedoman SNI 1726:2019. Indonesia memiliki 3 (tiga) macam sistem struktur yang direncanakan cocok untuk menahan beban gempa desain. Bangunan di zona gempa rendah sampai sedang direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). Di daerah dengan gempa sedang, Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) digunakan untuk perencanaan bangunan. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) digunakan untuk perencanaan bangunan di daerah dengan tingkat kekuatan gempa yang signifikan. Terdapat beberapa persyaratan tertentu yang harus diperhatikan untuk SRPMK dimana kolom yang direncanakan harus lebih kuat daripada balok (Irawan, 2023).

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.

Pada sistem rangka pemikul momen, beban gravitasi mampu dipikul oleh rangka struktur. Pada sistem ini beban lateral dipikul dengan cara aksi lentur pada setiap elemennya. Terdapat beberapa ciri pada sistem struktur ini: Beban di transfer oleh geser di kolom sehingga menghasilkan momen pada balok dan kolom. Hubungan balok kolom harus didesain dengan baik sebab merupakan bagian yang penting agar sistem bekerja dengan baik. Momen dan geser dari beban lateral harus ditambahkan pada struktur dari beban gravitasi.

Sejumlah studi banyak membahas tentang perilaku struktur baja SRPMK, khususnya tentang perilaku global akibat gempa, seperti simpangan atap dan juga simpangan antar tingkat. Namun demikian, studi ini masih terbatas dalam mengevaluasi perilaku sendi plastis pada struktur SRPMK baja, terutama dalam konteks gaya versus deformasi pada elemen balok dan kolom ketika proses terjadinya dari batas kondisi *life safety* hingga *collapse prevention* (kerusakan yang mendekati runtuh) serta kondisi keruntuhan itu sendiri. Perilaku ini dikaji terhadap pengaruh jenis gempa dekat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka masalah yang akan dibahas adalah bagaimana analisis disipasi energi pada tingkat dasar struktur gedung srpmk sebagai respons terhadap gerakan tanah yang mengandung pulse.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh gerakan tanah dengan pulse terhadap disipasi energi pada kolom dan balok di tingkat dasar.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil perencanaan pada pemodelan struktur baja dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) maka diharapkan Tugas Akhir ini bermanfaat untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana cara merencanakan struktur gedung pada Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) pada balok dan kolom ketika struktur terkena gempa dekat.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, permasalahan dibatasi pada pokok-pokok pembahasan sebagai berikut:

1. Struktur bangunan yang direncanakan merupakan:
 - Struktur sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) baja dengan menggunakan model 4 lantai yang difungsikan sebagai bangunan perkantoran yang berada pada kawasan dengan Kategori Desain Seismik (KDS) D maksimum.
 - Struktur dengan menggunakan baja profil IWF.
2. Perencanaan struktur SRPMK baja, kombinasi pembebanan serta gedung direncanakan berdasarkan:
 - Tata cara perencanaan ketahanan gempa menggunakan Standar Perencanaan Tahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726:2019.
3. Analisis menggunakan alat bantu berupa program yaitu:
 - PEER NGA2, COSMOS untuk mendapatkan rekaman gempa.
 - SeismoLee untuk mengubah groundmotion menjadi respon spektrum.
 - MATLAB untuk menskalakan groundmotion.
 - OpenSees untuk menganalisa tahap evaluasi (analisa riwayat waktu nonlinear) yang hanya ditinjau secara 2 dimensi.
4. Parameter yang ditinjau:
 - Linear adalah semua aspek yang harus di kontrol sesuai dengan SNI 1726:2019.
 - Nonlinear : simpangan antar tingkat (kurva IDA) pada balok dan kolom
5. Pengaruh angin diabaikan pada studi ini.
6. Kriteria lain yang ditinjau dijelaskan dengan lengkap di bagian bab 3 metode penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan penjelasan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan berisikan penjelasan terkait mekanisme gempa, konsep perencanaan struktur bangunan baja, analisa struktur sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), dan konsep tentang kekuatan bangunan terhadap gempa yang terjadi.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini akan menguraikan tentang metodologi penelitian yang digunakan dari awal hingga akhir penelitian dan penjelasan mengenai cara memodelkan dan mendesain struktur bangunan baja dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) akibat gempa yang terjadi dengan menggunakan program analisa struktur diantaranya Etabs, dan OpenSees.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menyajikan pembahasan mendalam secara ilmiah terhadap apa yang sudah diperoleh dalam analisis data, pemodelan bentuk gambar, grafik dan tabel serta pembahasannya.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menguraikan beberapa kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan saran untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini.

BAB 2

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, teori gempa, parameter yang terkait dalam struktur tahan gempa rangka baja, tata cara perencanaan bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726:2019, dan teori-teori terkait lainnya yang berhubungan dengan perhitungan atau analisa data yang dibutuhkan dalam Tugas Akhir ini.

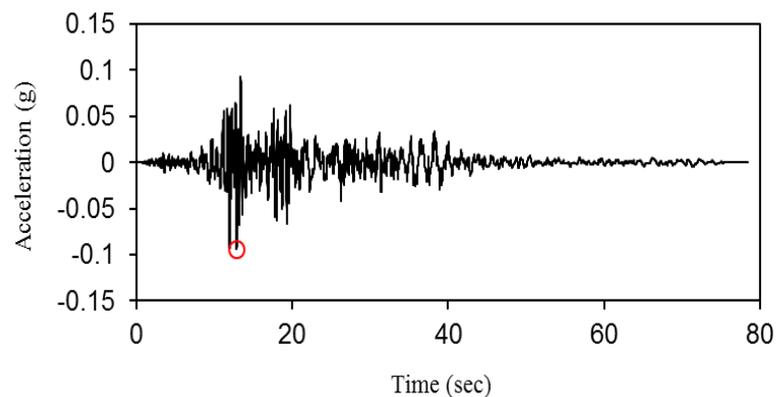
2.2 Pengertian Gempa

Gempa bumi adalah suatu gerakan tiba-tiba atau suatu rentetan gerakan tiba-tiba dari tanah dan bersifat transient yang berasal dari suatu daerah terbatas dan menyebar dari titik tersebut ke segala arah. Gempa bumi merupakan guncangan dan getaran yang terjadi di permukaan bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng bumi, tanah longsor, maupun akibat patahan aktif aktifitas gunung api

2.2.1 *Ground Motion* (Getaran Tanah)

Pada umumnya, pengertian gerakan tanah akibat gempa lebih banyak ditujukan pada percepatan tanah, sekaligus menjadi parameter utama. Gerakan tanah dengan makna seperti itu dimaksudkan sebagai terjemahan atas istilah *ground motions* yaitu suatu istilah yang populer dalam teknik gempa. Istilah tersebut kadang-kadang juga disebut *strong motions* untuk lebih menekankan pada percepatan tanah akibat gempa daripada respons-respons tanah yang lain. Selain percepatan tanah (*ground acceleration*), maka kecepatan gerakan tanah (*ground velocity*) dan simpangan tanah (*ground displacement*) sangat umum dipakai sebagai sebutan tentang *ground motions* (Pawirodikromo, 2012).

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



Gambar 2.1: Rekaman gempa Kern – County 1952 sebagai *initial ground motion* (Samsul A., dkk, 2016).

2.2.2 Gempa Dekat

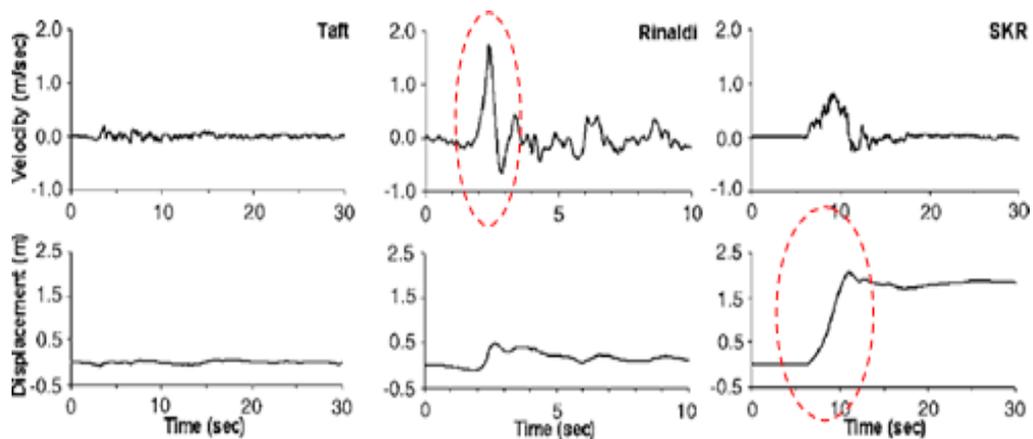
Menurut Pawirodikromo (2012), gempa dekat umumnya memiliki percepatan tanah yang mengalami 1-2 kali siklus getaran kuat (*strong-vibration*) atau *pulse*. Siklus getaran tersebut terjadi karena kecepatan rambat patah V_r (*fault rupture velocity*) yang relatif dekat dengan kecepatan gelombang geser V_s . Meskipun tidak ada batasan jarak yang pasti, beberapa peneliti mengindikasikan bahwa gempa dekat terjadi dalam rentang beberapa sampai belasan kilometer saja.

Pawirodikromo (2012) 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 . Pawirodikromo (2012) menyatakan juga bahwa Stewart dkk. (2001) mengatakan bahwa gerakan tanah (*grounds motion*) akibat gempa *near fault* utamanya akan dipengaruhi 3 hal pokok yaitu :

- a. Mekanisme gempa (gempa titik, gempa garis/*fault*).
- b. Arah rambatan patahan (*rupture direction*) relative terhadap *site*/pencatat.
- c. Kemungkinan terjadinya *permanent displacement* akibat patahan.

Gempa *near fault* dapat dibedakan berdasarkan data rekamannya, yaitu gempa *pulse* dan gempa *fling*. Efek *pulse* ialah salah satu jenis efek pada getaran yang dimiliki oleh getaran gempa dekat (*near-fault*), yang ditandai dengan adanya efek lonjakan yang bersifat monotonik. Efek lainnya yang dimiliki oleh getaran gempa dekat adalah efek *fling step*, dimana simpangan yang terjadi jauh dari titik nol setelah terjadinya sebuah lonjakan simpangan yang besar (Faisal dkk. 2015).

Di sisi lain, *fling step* menjadi hasil dari evolusi perpindahan sisa tanah akibat deformasi tektonik yang berkaitan dengan mekanisme kehancuran, umumnya ditandai dengan *pulse* kecepatan dengan amplitudo besar searah dan langkah monoton dalam perpindahan riwayat waktu. Bentuk riwayat waktu dari gempa jauh, gempa dekat (*forward-directivity*), dan gempa dekat (*fling-step*) dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.2: Ciri khas riwayat waktu kecepatan dan perpindahan dari gerakan tanah (a) gempa jauh, (b) gempa dekat (*forward-directivity*), and (c) gempa dekat (*fling-step*) (Kalkan dan Kunnath, 2006)

2.3 Respons Spektrum

Respon spektrum adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara periode getar struktur dengan respon percepatan gempa. Dalam konteks perancangan bangunan tahan gempa, respon spektrum digunakan untuk menentukan bagaimana struktur akan bergetar dan merespons gaya lateral yang diinduksi oleh gempa

Berikut adalah detail hubungan antara periode getar struktur dan respon percepatan gempa dalam respon spektrum:

1. Periode Getar Struktur (T): Merupakan waktu yang dibutuhkan oleh struktur untuk melakukan satu siklus getaran penuh.
2. Respon Percepatan Gempa (S_a): Merupakan nilai percepatan maksimum yang diharapkan pada suatu struktur pada periode tertentu.

Respon spektrum desain sesuai dengan SNI 1726:2019 harus mengacu pada Gambar 2.2 dan mengikuti ketentuan sebagai berikut:

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain S_a diambil dari Persamaan 2.1.

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.1)$$

- b. Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respon percepatan desain S_a , sama dengan S_{DS} .
- c. Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respon percepatan desain diambil berdasarkan Persamaan 2.2 sampai 2.8.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.2)$$

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.3)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.4)$$

$$S = \frac{2}{3} S_{DS} \quad (2.5)$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.6)$$

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.7)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.8)$$

Keterangan:

S_{DS} = variabel respon spektrum percepatan desain pada periode pendek.

S_{D1} = variabel respon spektrum percepatan desain pada periode 1 detik.

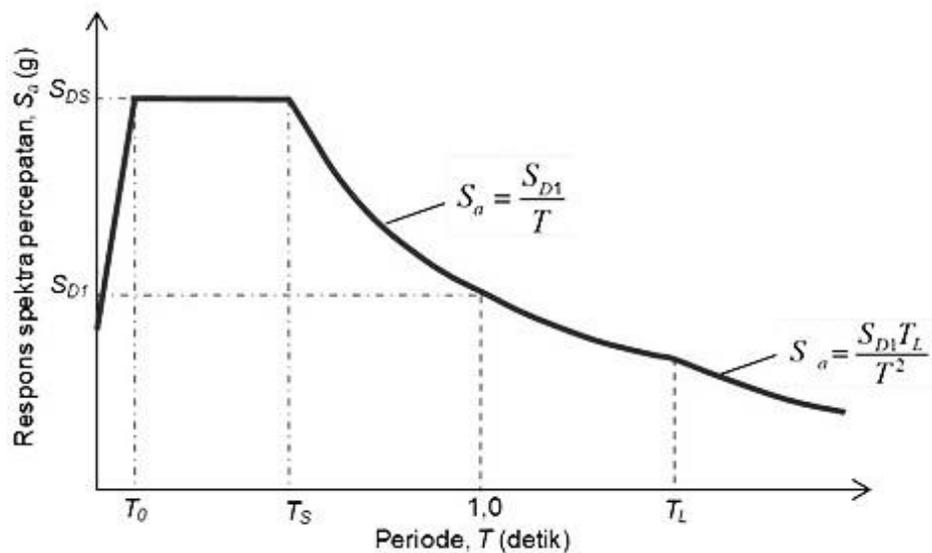
T = periode getar fundamental struktur, yang didapatkan dari perumusan matematis atau dari rumus pendekatan.

S_s = variabel respon spektrum percepatan gempa M_{CER} terpetakan untuk periode pendek.

S_1 = variabel respon spektrum percepatan gempa M_{CER} terpetakan untuk periode 1,0 detik.

F_a = koefisien situs untuk periode pendek.

F_v = koefisien situs untuk periode panjang.



Gambar 2.3: Spektrum respon desain.

Dengan demikian, respon spektrum adalah alat penting dalam perancangan bangunan tahan gempa untuk memastikan bahwa struktur dapat berkinerja baik dan aman selama terjadi gempa.

2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka pemikul momen khusus merupakan sistem rangka di mana komponen strukturnya direncanakan mampu memikul lentur akibat gaya dari beban gempa. Sistem ini memiliki tingkat daktilitas penuh dan harus digunakan untuk bangunan yang dikenakan kategori desain seismik D, E, atau F (SNI 1726:2019).

Menurut Amrullah, dkk (2019) menyebutkan bahwa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus adalah komponen struktur yang mampu memikul gaya akibat beban gempa dan direncanakan untuk memikul lentur. Komponen struktur tersebut juga harus memenuhi syarat-syarat di bawah ini :

1. Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi $0.1.A_g.f_c'$.
2. Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
3. Perbandingan antara lebar dan tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.
4. Lebarnya tidak boleh kurang dari 250 mm dan lebih dari lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi tiga perempat tinggi komponen struktur lentur.

2.5 Karakteristik Bangunan Tahan Gempa

Kriteria kinerja menurut FEMA 273 level kinerja (*performance levels*) dibagi menjadi beberapa tingkatan kerusakan akibat gempa yang meliputi angka kematian, kerusakan bangunan (*property loss*), dan status operasional (*operational state*). Target kinerja dalam desain yang menjadi kriteria penerimaan (*acceptance criteria*) melalui evaluasi kinerja untuk level sasaran kinerja yang diatur oleh FEMA 356. Dimana pengertian untuk level-level kinerjanya sebagai berikut:

- a. **Operational:** Kondisi dimana setelah gempa terjadi struktur dapat langsung digunakan kembali karena struktur utama tetap utuh dan elemen non-struktural hanya mengalami kerusakan yang sangat kecil.
- b. **Immediate Occupancy (IO):** Bila terjadi gempa struktur masih aman, hanya terjadi sedikit kerusakan minor dimana untuk memperbaikinya tidak mengganggu pengguna, kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama

dengan kondisi sebelum gempa, sistem pemikul gaya vertikal dan lateral pada struktur masih mampu memikul gaya gempa yang terjadi.

- c. *Life Safety (LS)*: Saat gempa terjadi, pada struktur timbul kerusakan yang cukup signifikan tetapi belum mengalami keruntuhan, komponen-komponen struktur utama tidak runtuh dan struktur masih stabil mampu menahan gempa kembali, bangunan masih dapat digunakan jika dilakukan perbaikan.
- d. *Collapse Prevention (CP)*: Kondisi dimana merupakan batas kemampuan dari struktur dimana struktural dan nonstruktural sudah mengalami kerusakan yang parah, namun struktur tetap berdiri dan tidak runtuh, struktur sudah tidak lagi mampu menahan gaya lateral.

2.6 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

Perencanaan suatu konstruksi gedung harus memperhatikan aspek kegempaan, terutama di Indonesia karena merupakan salah satu daerah dengan zona gempa yang tinggi. Aspek kegempaan tersebut dianalisis berdasarkan peraturan yang berlaku di negara tersebut dan Indonesia memiliki peraturan sendiri dan peta gempanya. Peraturan yang berlaku saat ini ialah SNI 1726:2019 yang merupakan revisi dari SNI 1726:2012 dimana parameter wilayah gempanya sudah tidak digunakan lagi dan diganti berdasarkan dari nilai S_s (parameter respons spectral percepatan gempa pada periode pendek) dan nilai S_1 (parameter respons spectral percepatan gempa pada periode 1 detik) pada setiap daerah yang ditinjau. Dalam hal ini, tata cara perencanaan bangunan gedung tahan gempa menjadi lebih rasional dan akurat.

2.6.1 Gempa Rencana dan Faktor Keutamaan

Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat sebesar 2 persen selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

Tabel 2.1: Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019.

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dan struktur lainnya yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah took dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ Rumah susun - Pusat perbelanjaan/ Mall - Bangunan industry - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

Untuk berbagai kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 2.2 khusus untuk struktur bangunan dengan kategori resiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori resiko IV.

Tabel 2.2: Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2019.

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1.0
III	1.25
IV	1.5

2.6.2 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. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, berikut disajikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2019.

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
<i>SA</i> (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
<i>SB</i> (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
<i>SC</i> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
<i>SD</i> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
<i>SE</i> (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa. 		
<i>SF</i> (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:		
spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	<ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah. - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m). - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7.5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa. 		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

2.6.3 Parameter Percepatan Gempa

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spectral percepatan 0.2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismic pada Bab 14 yang tertera dalam SNI 1726:2019 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

Untuk penentuan respons spectral percepatan gempa M_{CER} di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismic pada perioda 0.2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan factor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spectrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2.9) dan (2.10).

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.9)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.10)$$

Dimana:

S_s = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda pendek 0.2 detik di batuan dasar (SB) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2019.

S_1 = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda pendek 1.0 detik di batuan dasar (SB) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2019.

F_a = Koefisien perioda pendek

F_v = Koefisien perioda 1.0 detik

Tabel 2.4: Koefisien situs F_a

Kelas situs (sesuai Tabel 2.3)	PGA				
	$S_s < 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.25$	$S_s > 1.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0
SC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.0
SD	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0
SE	2.4	1.7	1.3	0.9	0.9
SF	SS ^(a)				

Catatan: SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 0.

Tabel 2.5: Koefisien situs F_v

Kelas situs (sesuai Tabel 2.3)	PGA					
	$S_1 < 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.5$	$S_1 > 0.6$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
SD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
SE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
SF	SS ^(a)					

Catatan: SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 0.

2.6.4 Periode Alami Struktur

Periode adalah besarnya waktu yang diperlukan untuk mencapai satu getaran. Berdasarkan SNI 1726:2019 tentang Penentuan Periode, periode struktur fundamental (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisa yang teruji. Periode struktur fundamental memiliki nilai batas minimum dan batas maksimum. Nilai-nilai tersebut ditentukan dalam Persamaan 2.11 dan Persamaan 2.12.

Periode fundamental pendekatan minimum (T_a minimum):

$$T_a \text{ minimum} = C_t h n^x \quad (2.11)$$

Periode fundamental pendekatan maksimum (T_a maksimum):

$$T_a \text{ maksimum} = C_u \cdot T_a \text{ minimum} \quad (2.12)$$

Dimana:

- T_a minimum = Nilai batas bawah perioda bangunan
 T_a maksimum = Nilai batas atas perioda bangunan
 H_n = Ketinggian struktur dalam m di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (m)
 X = Ditentukan dari Tabel 2.6
 C_t = Ditentukan dari Tabel 2.6
 C_u = Ditentukan dari Tabel 2.7

Tabel 2.6: Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x berdasarkan SNI 1726:2019.

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
- Rangka baja pemikul momen	0.0724	0.8
- Rangka beton pemikul momen	0.0466	0.9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0.0731	0.75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0.0731	0.75

Tabel 2.7: Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2019.

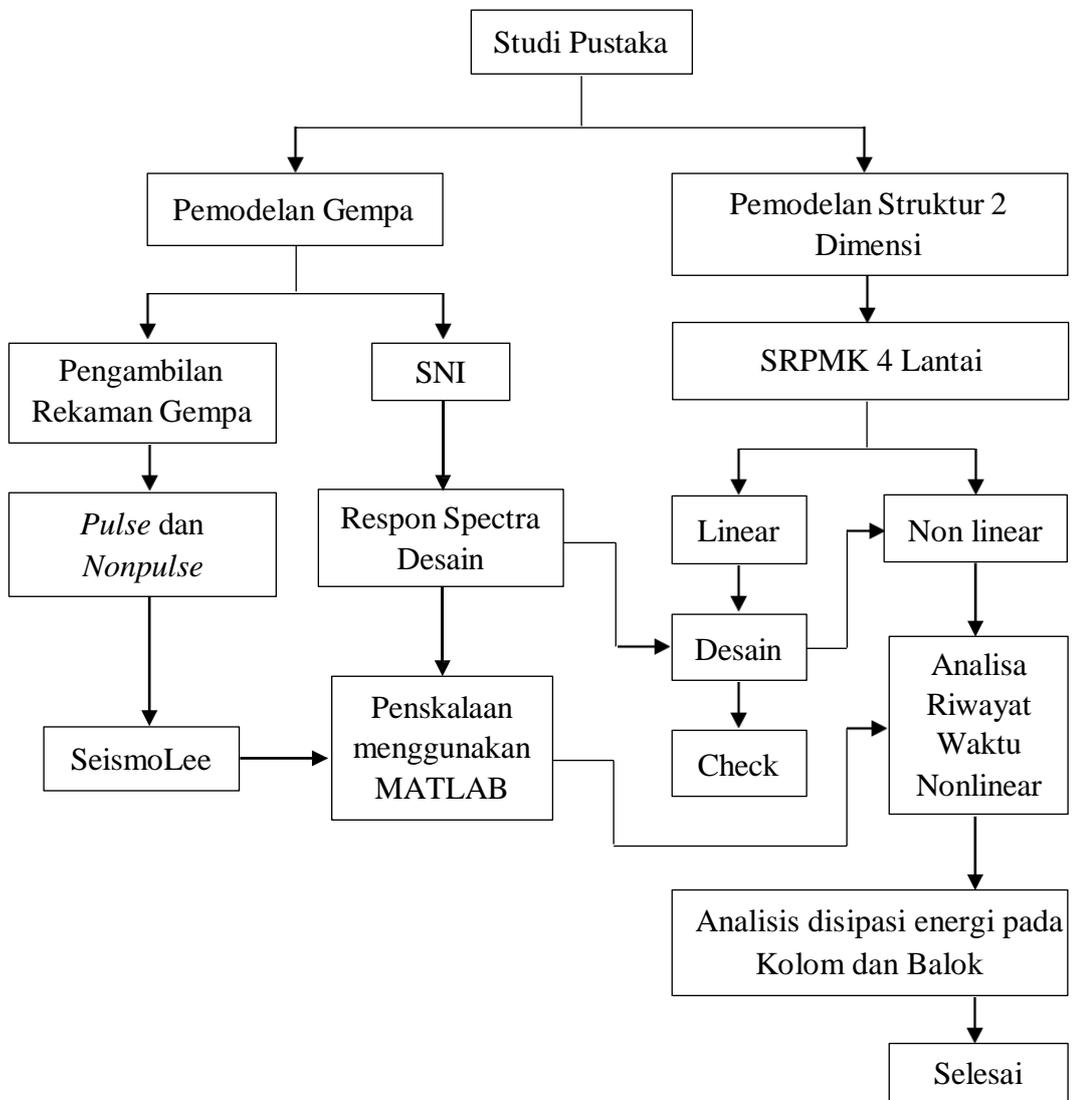
Parameter Percepatan Respon Spektrum Desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien (C_u)
> 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
0.1	1.7

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Secara umum dalam penelitian ini akan digunakan metode kuantitatif komparatif yang menggunakan data primer yang diperoleh melalui metode analitis. Penelitian ini termasuk dalam metode penelitian terapan yang berfokus pada studi literatur. Diagram alir langkah-langkah yang akan diikuti dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 3.1.

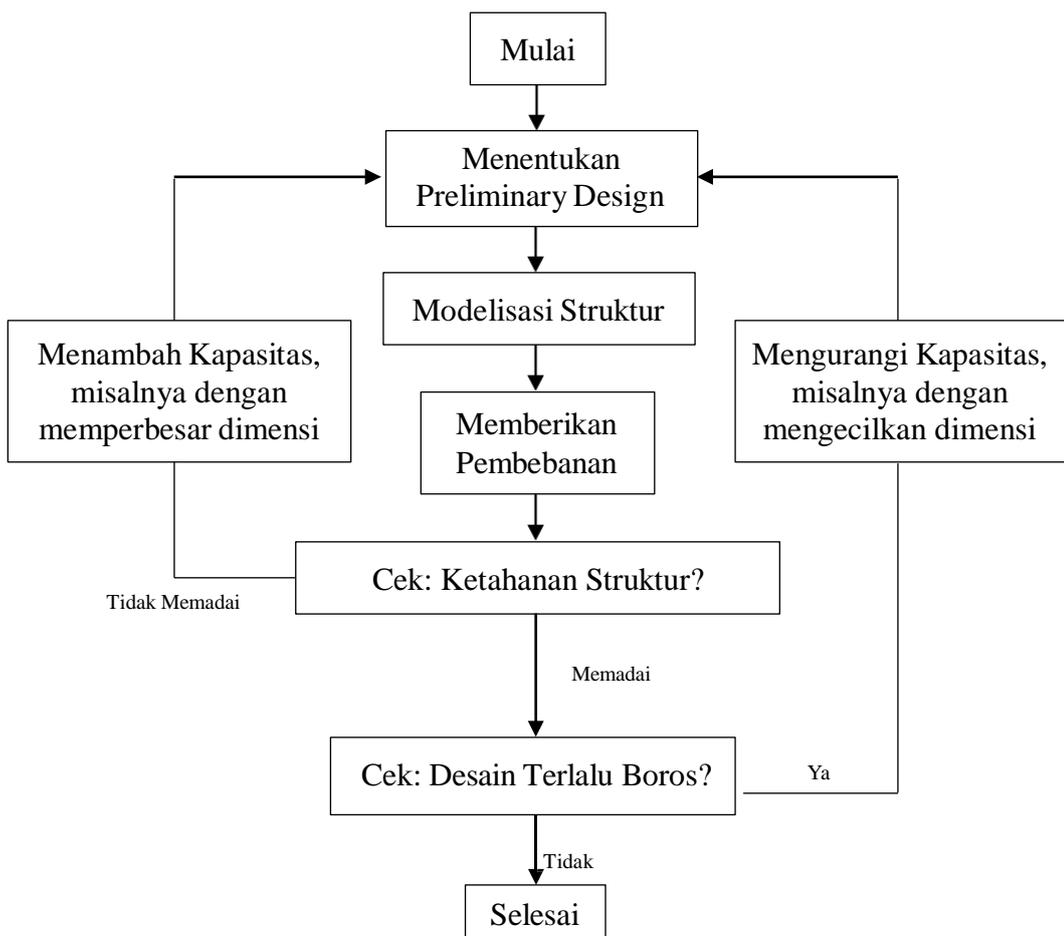


Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

Berdasarkan Gambar 3.1 dapat menggambarkan bahwa dalam Tugas Akhir ini penelitian dilakukan terhadap dua model 4 lantai struktur dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Analisis dilakukan secara linear dan nonlinear menggunakan metode analisa respon spektrum dan analisa riwayat waktu (*time history analysis*) dengan menggunakan software OpenSees. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui perilaku sendi plastis balok dan kolom pada struktur akibat terkena gempa dekat.

3.2 Pemodelan Struktur

Pada Tugas Akhir ini dilakukan pemodelan struktur menggunakan baja SRPMK. Pemodelan tersebut dijelaskan dalam suatu diagram alir desain struktur secara umum yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.

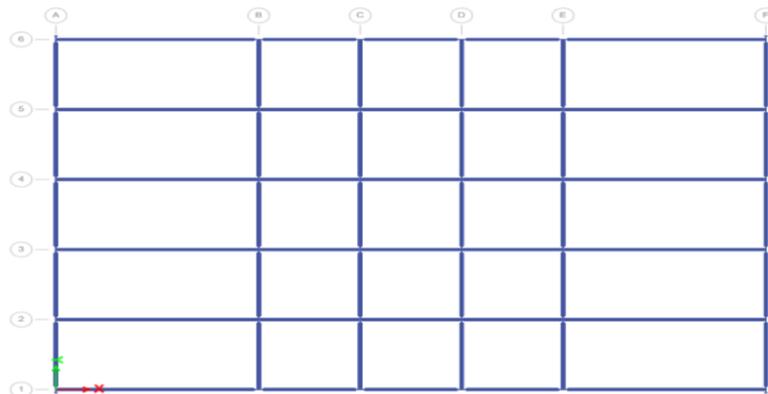


Gambar 3.2: Diagram alir desain struktur secara umum.

3.2.1 Data Perencanaan Struktur

Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada bangunan 4 lantai dalam Program Analisa Struktur yaitu:

1. Kategori risiko: II (Gedung Perkantoran)
2. Faktor keutamaan gempa, I_e : 1.0
3. Kategori desain seismik: D_{max}
4. Kelas tanah: D (tanah sedang)
5. Sistem struktur gaya lateral: Menggunakan SMF/SRPMK
6. Model: Struktur rangka baja 4 Tingkat
7. Jarak bentang tipikal: 6.1 m
8. Tinggi lantai semua tipikal: 4.0 m, kecuali lantai dasar sebesar 4.6 m
9. Mutu elemen balok dan kolom: ASTM A992 steel



Gambar 3.3: Denah Struktur model 1.



Gambar 3.4: Gambar 2 dimensi model 1

3.2.2 Dimensi Kolom-Balok pada Struktur

Bangunan yang direncanakan adalah struktur beraturan, struktur gedung direncanakan dengan dimensi penampang yang berbeda. Elemen-elemen pada struktur baja SRPMK pada penelitian ini memakai jenis WF profil USA. Desain profil penampang balok dan kolom akan mengacu kepada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Data profil balok dan kolom baja WF yang digunakan.

Model	Level	Elevasi dari lantai dasar (m)	Profil Balok	Profil Kolom Eksterior	Profil Kolom Interior
4 Tingkat	1	4.6	W21×73	W24×103	W24×103
	2	8.6	W21×73	W24×103	W24×103
	3	12.6	W21×57	W24×103	W24×103
	4	16.6	W21×57	W24×62	W24×62

3.3 Analisis Dinamik Struktur Linear

Analisis ini menggunakan metode respon spektrum. Alat bantu software yang digunakan untuk analisis dinamik linear ini adalah program Etabs.

3.3.1 Pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan diambil dari NIST GCR 10-917-8 (NIST, 2010). Beban-beban tersebut ialah beban mati dan beban hidup yang berhubungan dengan komponen material bangunan. Nilai beban mati dan beban hidup yang digunakan dalam perencanaan dapat dilihat sebagai berikut:

1. Beban mati = 90 psf = 4.309 kN/m² untuk semua lantai.
2. Beban hidup di setiap lantai = 50 psf = 2.394 kN/m².
3. Beban hidup di lantai atap = 20 psf = 0.958 kN/m².

3.3.2 Kombinasi

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019 tentang standar perencanaan bangunan tahan gempa.

Tabel 3.2: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan $S_{DS} = 0.2368$.

Kombinasi	Koefisien (DL)	Koefisien (LL)	Koefisien (EX)	Koefisien (EY)
Kombinasi 1	1.4			
Kombinasi 2	1.2	1.6		
Kombinasi 3	1.262	1	0.3	1
Kombinasi 4	1.138	1	-0.3	-1
Kombinasi 5	1.167	1	0.3	-1
Kombinasi 6	1.233	1	-0.3	1
Kombinasi 7	1.261	1	1	0.3
Kombinasi 8	1.138	1	-1	-0.3
Kombinasi 9	1.233	1	1	-0.3
Kombinasi 10	1.167	1	-1	0.3
Kombinasi 11	0.838		0.3	1
Kombinasi 12	0.961		-0.3	-1
Kombinasi 13	0.933		0.3	-1
Kombinasi 14	0.867		-0.3	1
Kombinasi 15	0.838		1	0.3
Kombinasi 16	0.961		-1	-0.3
Kombinasi 17	0.867		1	-0.3
Kombinasi 18	0.933		-1	0.3
Envelope	Nilai absolute dari seluruh kombinasi			

Keterangan:

DL = Dead Load

LL = Live Load

EX = Earthquake arah X

EY = Earthquake arah Y

3.3.3 Respon Spektrum Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019, respon spektrum gempa didesain pada kondisi tanah sedang yang terletak di kota Makassar, kemudian dianalisis dengan data nilai $S_s = 0.222$ g dan $S_1 = 0.112$ g. Maka akan didapatkan koefisien atau nilai-nilai yang diperlukan dalam pembuatan respon spektrum desain. Nilai-nilai tersebut yaitu:

- Nilai $F_a = 1.6$
- Nilai $F_v = 2.376$
- $S_{DS} = 0.2368$
- $S_{D1} = 0.1774$
- $T_0 = 0.1498$
- $T_s = 0.7492$

3.3.4 Analisis Respon Spektrum Ragam

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%. Perhitungan mendetail pemilihan metode yang digunakan dalam pemodelan struktur dapat dilihat pada Bab 4.

3.4 Analisis Dinamik Struktur Nonlinear

3.4.1 *Ground Motion Record* (Rekaman Gerakan Tanah)

Model gerakan tanah yang digunakan berjumlah total 20 rekaman getaran gempa, yang terdiri dari 10 rekaman gerakan tanah tanpa efek detak (*pulse*) dan 10 rekaman gerakan tanah mengandung efek detak. Rekaman gerakan tanah ini dipilih dan diambil dari PEER NGA2 database berdasarkan hasil studi Baker (2007). Daftar rekaman gempa ditampilkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Rekaman gempa dekat (*Near-Field*) (FEMA P-695)

No	Earthquake			Recording Station	
	Magnitude	Year	Name	Name	Owner
Pulse Records Subset					
1	6.5	1979	Imperial Valley-06	El Centro Array #6	CMDG
2	6.5	1979	Imperial Valley-06	El Centro Array #7	USGS
3	6.9	1980	Irpinia, Italy-01	Sturno	ENEL
4	6.5	1987	Superstition Hills-02	Parachute Test Site	USGS
5	6.9	1989	Loma Prieta	Saratoga - Aloha	CMDG
6	6.7	1992	Erzican, Turkey	Erzincan	-
7	7	1992	Cape Mendocino	Petrolia	CMDG
8	7.3	1992	Landers	Lucerne	SCE
9	6.7	1994	Northridge-01	Rinaldi Receiving Sta	DWP
10	6.7	1994	Northridge-01	Sylmar - Olive View	CMDG
No Pulse Records Subset					
11	6.8	1979	Gazli, USSR	Karakyr	-
12	6.5	1979	Imperial Valley-06	Bonds Corner	USGS
13	6.5	1979	Imperial Valley-06	Chihuahua	UNAMUCSD
14	6.8	1985	Nahanni, Canada	Site 1	-
15	6.8	1985	Nahanni, Canada	Site 2	-
16	6.9	1989	Loma Prieta	BRAN	UCSC
17	6.9	1989	Loma Prieta	Corralitos	CDMG
18	7	1992	Cape Mendocino	Cape Mendocino	CDMG
19	6.7	1994	Northridge-01	LA - Sepulveda VA	USGS/VA
20	6.7	1994	Northridge-01	Northridge - Saticoy	USC

Selanjutnya data rekaman gempa yang diperoleh tersebut diskalakan terhadap respon spektrum desain saat perioda sama dengan perioda alami struktur yang ditinjau. Kemudian data rekaman gempa yang telah diskalakan digunakan sebagai *input* pada software OpenSees untuk Analisis Dinamik Non Linier Inelastis dengan metode analisa riwayat waktu.

3.4.2 Analisis Respon Riwayat Waktu

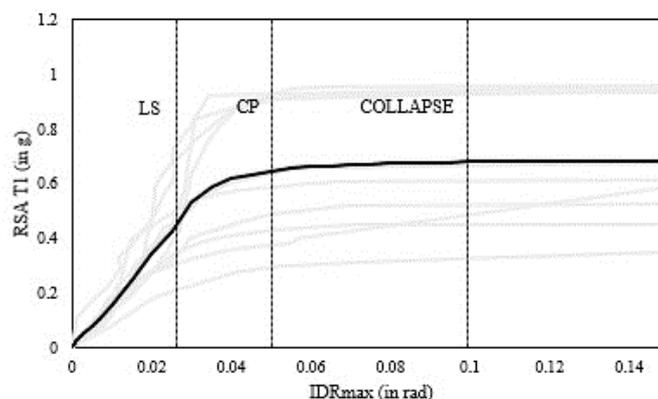
Dalam metode respon riwayat waktu, analisis dilakukan dalam dua dimensi menggunakan alat bantu software OpenSees. Sebelum menggunakan OpenSees untuk menganalisis, ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan seperti yang dijelaskan berikut ini:

1. Pengambilan rekaman gempa dari PEER NGA2. Daerah-daerah rekaman yang dipakai terdapat pada Tabel 3.3.
2. Mengubah rekaman gempa menjadi respon spektrum dengan bantuan software SeismoLee. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses penskalaan.
3. Kemudian respon spektrum yang didapat dari 10 daerah gempa dekat tersebut diskalakan terhadap respon spektrum yang direncanakan untuk kota Makassar.
4. Setelah itu menskalakan rekaman gempa dengan menggunakan software Matlab, rekaman gempa akan dijadikan gempa tunggal dan gempa berulang.
5. Kemudian rekaman gempa akan di analisis dengan menggunakan program OpenSees untuk menghasilkan *output* yang ingin ditinjau.

3.4.3 Incremental Dynamic Analysis (IDA)

IDA adalah metode analisis yang digunakan untuk mengevaluasi perilaku struktur di bawah beban gempa dengan meningkatkan intensitas gerakan tanah secara bertahap. Dalam IDA, rekaman gerakan tanah diubah skalanya untuk menciptakan berbagai tingkat intensitas, mulai dari kondisi elastis hingga menuju keruntuhan. Hasil analisis disajikan dalam bentuk kurva IDA yang menunjukkan hubungan antara ukuran intensitas gempa dan respons struktur.

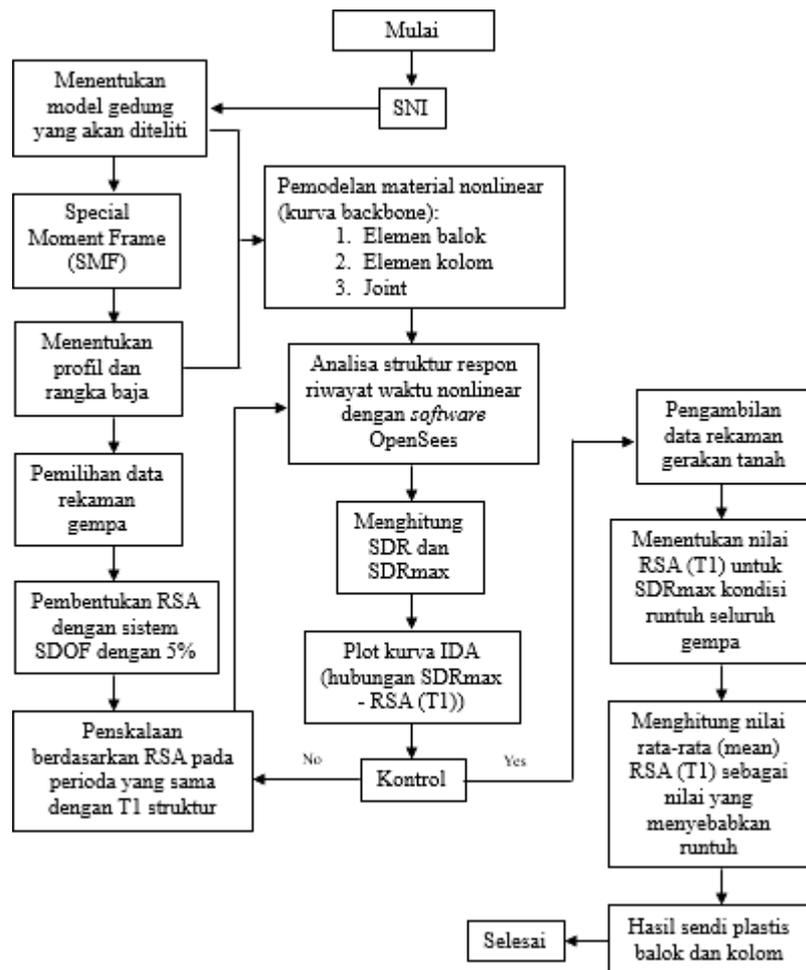
Dari Gambar 3.6 dapat digunakan untuk mengidentifikasi kapan struktur mencapai batas kondisi LS (*life safety*), CP (*collapse prevention*), dan *Collapse* berdasarkan respons strukturnya akibat gerakan tanah. Analisis IDA memungkinkan identifikasi kapan struktur mencapai batas kondisi LS, CP, dan *Collapse* dengan meningkatkan intensitas gerakan tanah secara bertahap.



Gambar 3.5: Kurva IDA.

Kondisi batas LS (*life safety*), kondisi batas CP (*collapse prevention*), dan *Collapse* dicari melalui analisa bertahap respon riwayat waktu nonlinear (*incremental dynamic analysis*, disingkat IDA). Batas kondisi LS adalah kondisi dimana elemen struktur sudah mengalami kerusakan yang banyak pasca terjadinya gempa bumi tetapi kerusakan masih dapat diperbaiki dengan biaya yang relative mahal, yang ditandai dengan pencapaian $IDR_{max} = 0.025$. Batas kondisi CP adalah kondisi dimana struktur kehilangan kemampuan menahan gaya lateral dan kehilangan kestabilan ditandai dengan banyaknya elemen struktur yang mengalami kerusakan, dengan tercapainya $IDR_{max} = 0.05$. Sedangkan kondisi batas runtuh, *Collapse* adalah kondisi dimana nilai IDR_{max} mencapai 0.1.

Dalam metode ini terdapat langkah-langkah proses untuk menyelesaikannya, sehingga disajikan dalam bentuk diagram alir metode IDA seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.6: Diagram alir metode IDA.

3.4.4 Disipasi Energi

Ketika sebuah elemen struktur (misalnya balok atau kolom) mengalami siklus beban akibat getaran gempa, maka terbentuklah kurva histeresis antara momen dan rotasi. Luas yang berada dalam kurva ini mencerminkan energi yang didisipasikan (disebarkan) oleh elemen tersebut dalam satu siklus pembebanan. Disipasi energi ini adalah hasil dari deformasi inelastik (plastik) dan menggambarkan kemampuan redaman struktur nonlinear terhadap energi gempa.

Energi yang didisipasikan oleh elemen selama satu siklus histeresis dihitung dengan pendekatan numerik:

$$E_{\text{diss}} = \oint M(\theta) d\theta \quad (3.5)$$

Secara praktis, karena data biasanya dalam bentuk diskrit (pasangan M_i dan θ_i), maka kita gunakan pendekatan integrasi numerik (trapezoidal rule):

$$E_{\text{diss}} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{2} (M_i + M_{i+1}) (\theta_{i+1} - \theta_i) \quad (3.6)$$

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Hitung selisih rotasi antar step: $\Delta\theta = \theta_{i+1} - \theta_i$
2. Ambil rata-rata momen antara dua titik: $\frac{M_i + M_{i+1}}{2}$
3. Kalikan rata-rata momen dengan selisih rotasi: Luas = $\frac{M_i + M_{i+1}}{2} \cdot \Delta\theta$
4. Jumlahkan semua hasil di atas untuk mendapatkan total energi disipasi:

$$E_{\text{diss}} = \sum \text{Luas}$$

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Model Linear dan Nonlinear

Pada Bab ini akan membahas hasil analisa linear dan non linear dengan program analisa struktur diantaranya, perioda getar, perilaku sendi plastis dan gaya-gaya pada struktur gedung. Berdasarkan dua model yang di desain dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), yaitu Model 1 (4 lantai). Serta perbandingan metode analisa respon spektrum ragam dan analisa respon riwayat waktu pada tiap pemodelan.

4.2 Hasil Analisa Linear

4.2.1 Respon Spektrum Ragam

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

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

Analisa menggunakan metode CQC (*Complete Quadratic Combination*), hasil persentase perioda rata-rata yang didapat lebih kecil dari 15% dan SRSS (*Square Root of the Sum of Square*) lebih besar dari 15%. Pada Tabel 4.1 hasil analisis CQC dan SRSS diperoleh:

- a. Model 1: untuk nilai $R = 8$, didapat 6 mode dan hasil persentase nilai perioda dibawah 15%.
- b. Model 1: untuk nilai $R = 8$, didapat 5 mode dan hasil persentase nilai perioda diatas 15%.

Tabel 4.1: Hasil analisis CQC dan SRSS pada Model 1 (SRPMK 4 Lantai).

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

4.2.2 Koreksi Gempa Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2019, kombinasi respon untuk gaya geser dasar ragam (V_t) yang kurang dari 85 persen dari gaya geser dasar yang dihitung (V_1) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka diizinkan untuk mengalikan gaya tersebut dengan persamaan 4.1

Dimana:

V_1 = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

V_t = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Tabel 4.2: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen (V_1) dan nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum *output* program analisa struktur (V_t).

Struktur	Arah Gempa	V_1 (kN)	V_t (kN)	Cek
Model 1	Arah X (R=8)	1639.41	1639.4	OK

Untuk memenuhi syarat berdasarkan SNI 1726:2019, maka nilai faktor skala harus lebih kecil atau sama dengan 1.

4.2.3 Koreksi Faktor Redundansi

Nilai gaya geser dengan redundansi 1 per lantainya harus dikoreksi dengan 35 persen gaya geser dasar dengan redundansi 1. Jika persyaratan tersebut tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1 harus diganti dengan redundansi 1.3. Dari hasil koreksi untuk setiap gaya geser diperoleh beberapa lantai yang tidak memenuhi syarat 35 persen gaya geser dasar. Untuk hasil perhitungan terdapat pada lampiran L5.

4.2.4 Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Nilai V_1 dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (V_t) dapat dilihat pada Tabel 4.4. kontrol koreksi skala simpangan antar tingkat, yaitu:

Syarat: $V_t \geq 0.85 C_s \cdot W$

Tabel 4.3: Nilai $0.85 C_s \cdot W$ dan kontrol koreksi skala simpangan antar tingkat.

Struktur	Arah Gempa	V_t (kN)	$0.85 \cdot C_s \cdot W$	Cek
Model 1	Arah X (R=8)	1639.4	1393.4	OK

4.2.5 Nilai Simpangan Gedung

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2019, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar tingkat yang didesain untuk kategori desain seismik D, E dan F tidak boleh melebihi yang diizinkan yaitu 0.02 dikali tinggi lantai, nilai simpangan tidak boleh melebihi $\frac{\Delta_a}{\rho}$ di kali tinggi tingkat untuk semua tingkat, dimana nilai tersebut diperoleh sebesar 0.0154 di kali tinggi tingkatnya. Hasil yang didapat, nilai simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin atau memenuhi syarat tersebut. Untuk hasil perhitungan terdapat pada lampiran L6.

4.2.6 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Berdasarkan SNI 1726:2019, kekakuan tingkat lunak (*soft story*) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Pada hasil kontrol ketidakberaturan

kekakuan tingkat lunak pada arah x untuk semua model, diperoleh nilai persentase kekakuan diatas batas yang ditentukan atau struktur yang direncanakan tidak mengalami *soft story*. Untuk hasil perhitungan terdapat pada lampiran L7.

4.2.7 Pengaruh Efek P-Delta

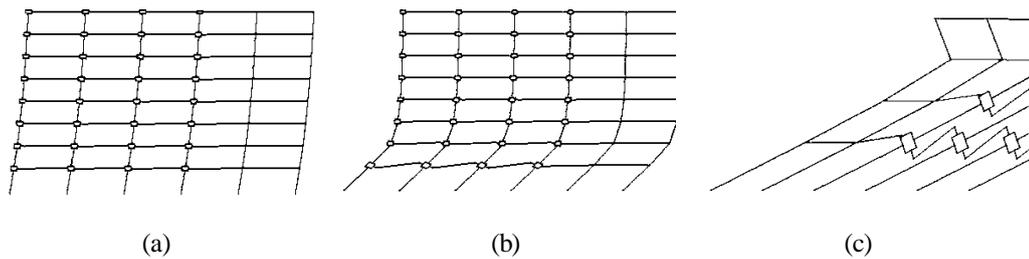
Berdasarkan SNI 1726:2019, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai *stability ratio* lebih kecil dari 1. Pada hasil perhitungan, nilai *stability ratio* dibawah nilai 1 untuk semua model atau dapat dikatakan kontrolnya memenuhi syarat yang ditentukan. Pada dasarnya efek P-delta dapat diabaikan jika syarat *stability ratio* sudah terpenuhi. Untuk hasil perhitungan terdapat pada lampiran L8.

4.3 Hasil Analisa Nonlinear

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 jenis gempa dekat, faktor R pada gedung, dan perioda struktur bangunan. Perbedaan nilai perioda didapat dari kedua jenis model yang telah didesain. Setiap model struktur akan diambil data *interstory drift* dan nilai deformasi lentur.

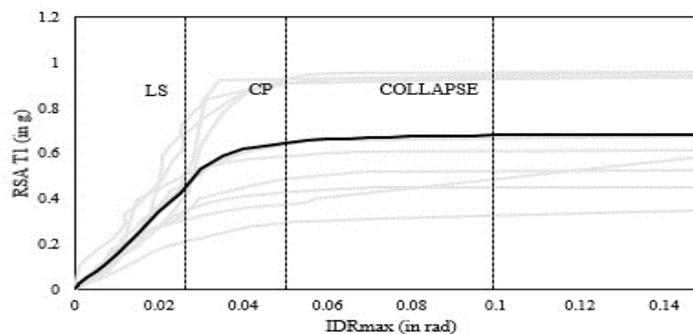
4.3.1 Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Dalam menentukan besaran intensitas (*intensity measure*) sebuah gempa yang dapat menghasilkan suatu kondisi batas, seperti kondisi batas LS (*limit safety*), CP (*collapse prevention*) dan *Collapse*, dicari melalui analisa bertahap respon riwayat waktu nonlinear (*incremental dynamic analysis*, disingkat IDA). Batas kondisi LS adalah kondisi dimana elemen struktur sudah mengalami kerusakan yang banyak pasca terjadinya gempa bumi tetapi kerusakan masih dapat diperbaiki dengan biaya yang relative mahal, dimana pada struktur SRPMK baja yang ditandai dengan pencapaian $IDR_{max} = 0.025$. Kondisi batas CP adalah kondisi dimana struktur kehilangan kemampuan menahan gaya lateral dan kehilangan kestabilan ditandai dengan banyaknya elemen struktur yang mengalami kerusakan dengan tercapainya $IDR_{max} = 0.05$. Sedangkan kondisi batas runtuh (*Collapse*) adalah kondisi dimana nilai $IDR_{max} = 0.1$.



Gambar 4.1: Ilustrasi struktur baja SRPMK akibat gerakan tanah gempa dekat pada kondisi (a) LS (*life safety*), (b) CP (*collapse prevention*), dan (c) *Collapse*.

Gambar 4.2 menjelaskan respon IDRmax yang diplot terhadap nilai respon spektrum percepatan gerakan tanah saat perioda alami struktur, RSA(T1). Fokus hasil penelitian ini akan ditekankan pada kondisi ketika batas linear elastis telah terlewati dimana telah terjadi proses sendi plastis, yaitu pada kondisi batas LS dan CP saja.

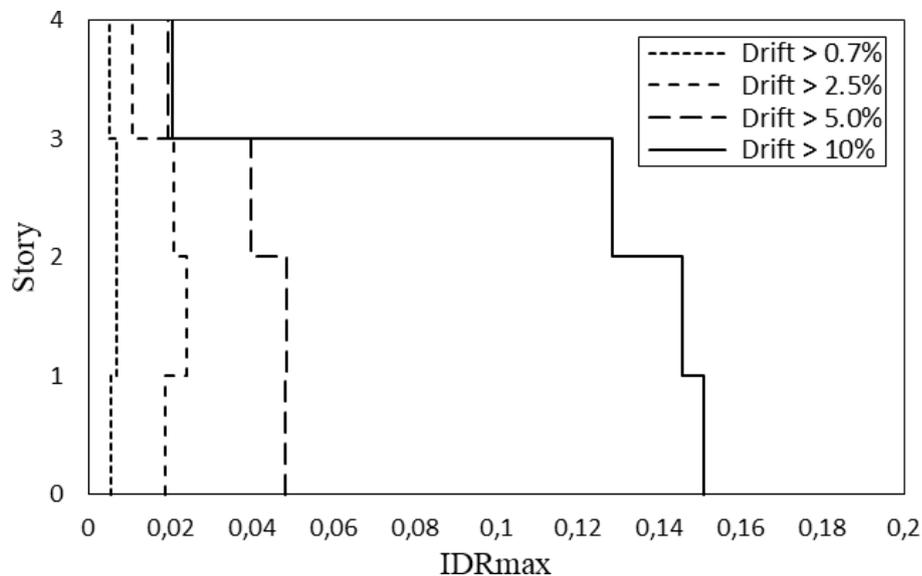


Gambar 4.2: Kondisi batas LS, CP dan *Collapse* untuk SRPMK baja 4 lantai akibat sejumlah gerakan tanah berdasarkan IDA.

Untuk mendapatkan perilaku yang sesuai seperti yang diinginkan, maka untuk meninjau perilaku deformasi tidak linear elemen balok dan kolom akan didasarkan pada kurva IDA dari kondisi LS ($IDR_{max} = 0.025$) ke kondisi CP ($IDR_{max} = 0.05$). Dengan memilih rekaman gempa untuk mewakili seluruh rekaman gerakan tanah yang dipakai, karena dilihat dari perilaku respon IDRmax nya terletak pada garis yang paling mendekati nilai LS, CP dan *Collapse* pada garis median di kurva IDA (Gambar 4.2).

4.3.2 Interstory Drift Ratio (IDR)

Respon simpangan lateral maksimum di setiap tingkat dari analisa struktur respon riwayat waktu tidak linear dan tidak elastis dibuat ke dalam bentuk simpangan antar tingkat, IDR (*interstory drift ratio*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Pada gambar tersebut diilustrasikan peningkatan nilai IDR_{max} akibat gerakan tanah gempa dekat seiring dengan target kondisi batas yang ingin dicapai (LS, CP dan *Collapse*). Gambar 4.3 juga menjelaskan proses deformasi global dari kondisi linear elastis menuju kondisi tidak elastis, serta menjelaskan respon maksimum struktur akibat gerakan tanah untuk 4 lantai pada kondisi LS dan CP terjadi di tingkat 2 dan pada kondisi *Collapse* terjadi di tingkat 1 atau dasar.



Gambar 4.3: Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa dekat pada kondisi batas LS, CP dan *Collapse* untuk (4 Lantai).

4.4 Hasil Disipasi Energi

Pada tahap ini merupakan salah satu indikator penting dalam mengevaluasi respons struktur terhadap beban gempa. Konsep ini menggambarkan seberapa besar energi getaran yang berhasil diserap atau diredam oleh elemen-elemen struktur melalui deformasi plastis, histeresis, atau sistem peredam lainnya. Dalam analisis ini, disipasi energi dihitung selama proses time history analysis untuk memahami kinerja seismik struktur bangunan 4 lantai yang dianalisis.

Dari hasil analisis, diperoleh hasil disipasi energi kumulatif terhadap waktu. Secara umum, disipasi energi meningkat secara signifikan seiring bertambahnya waktu, khususnya pada saat struktur mengalami respons maksimum akibat gelombang gempa.

Tabel 4.4: Nilai disipasi energi (kN.m-radian) di kolom pada Model 4 Lantai.

Pulse				
GM	IO	LS	CP	COL
GM1	3.3479	5.5224	7.61978	17.2378
GM2	3.47122	5.55346	7.91822	10.1823
GM3	2.7843	4.8971	9.9182	18.2873
GM4	2.1783	7.08765	8.91823	12.3782
GM5	2.1267	4.7683	7.18232	10.2732
GM6	2.1117	6.1267	8.12323	17.2378
GM7	3.11999	4.98765	7.23612	10.372
GM8	3.4762	5.5913	9.12372	17.3268
GM9	2.22786	5.5917	9.4427	16.2378
GM10	2.6783	4.7834	7.3872	11.3282
No Pulse				
GM11	2.14781	4.6723	8.6492	16.8543
GM12	3.1225	4.7914	7.1136	18.5479
GM13	2.6145	5.7811	8.11562	15.9562
GM14	2.22778	7.6174	9.6846	18.2262
GM15	3.1478	6.16523	8.6751	11.7211
GM16	3.23331	4.43356	10.9864	14.7123
GM17	2.19543	4.7892	8.9542	10.2356
GM18	2.19657	4.2617	8.11345	10.2632
GM19	2.25672	4.6001	9.84765	11.1369
GM20	2.67519	5.4013	7.1335	11.2638

Pada Tabel 4.4 kolom menyerap lebih banyak energi dibanding balok di Tabel 4.5, secara konsisten di hampir semua rekaman gempa. Ini konsisten dengan peran struktural kolom sebagai penopang vertikal utama. Dominasi kolom dalam disipasi energi menegaskan pentingnya detail dan penulangan yang memadai pada elemen ini. Dalam konteks desain struktur tahan gempa, penekanan harus diberikan pada penguatan kolom agar mampu mempertahankan kapasitas daktilitasnya. Balok juga harus didesain dengan memperhatikan rasio kekakuan terhadap kolom, untuk mencegah terbentuknya mekanisme lemah seperti soft story atau strong beam–weak column.

Tabel 4.5: Nilai disipasi energi (kN.m-radian) di balok pada Model 4 lantai.

Pulse				
GM	IO	LS	CP	COL
GM1	0.1384	2.50444	3.7334	12.45381
GM2	0.225438	1.66712	3.12605	5.712417
GM3	0.12183	1.81139	6.7184	10.545
GM4	0.09201	3.188736	5.46537	8.372939
GM5	0.061257	1.44067	2.41913	5.375743
GM6	0.260636	4.412039	5.927161	9.042823
GM7	0.053325	0.801385	1.67636	3.43602
GM8	0.046	1.54168	3.537271	11.24238
GM9	0.05113	1.944764	4.45411	11.7177
GM10	0.061046	1.58124	3.40844	5.25933
No Pulse				
GM11	0.036025	1.086416	1.390134	11.27398
GM12	0.083261	1.71566	4.12917	12.2403
GM13	0.06865	1.17295	3.61914	10.49586
GM14	0.08576	7.355037	10.1461	12.07625
GM15	0.20391	2.5405	3.918249	5.248681
GM16	0.209533	1.914299	5.130048	10.61839
GM17	0.02602	0.405314	0.990643	2.594958
GM18	0.03511	1.12619	2.205275	3.60472
GM19	0.27228	2.13353	3.514231	4.564137
GM20	0.05752	1.0816	2.7758	5.45708

Pada Tabel 4.5 balok berfungsi sekunder dalam disipasi energi, tetapi tetap penting dalam menjaga distribusi beban dan kekakuan lateral. Disipasi energi yang sangat rendah pada balok menunjukkan bahwa elemen tersebut umumnya bekerja dalam zona elastis selama terjadinya gempa. Hal ini dapat dianggap menguntungkan dalam konteks desain kapasitas (capacity design), karena mencegah terjadinya kerusakan lentur pada balok sebelum kolom mencapai batas plastisnya.

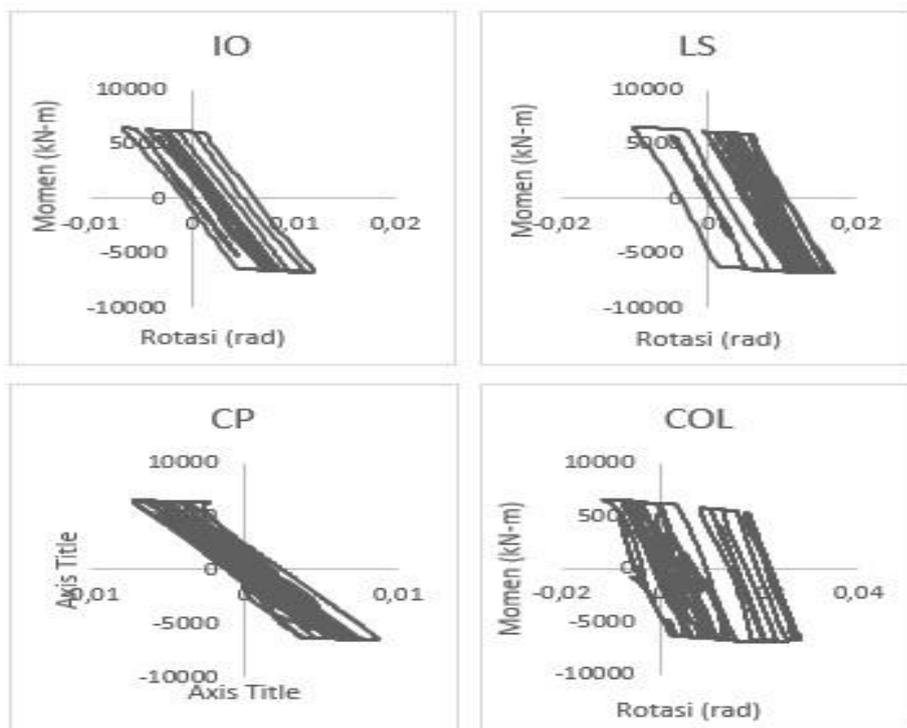
4.5 Hasil Nilai Median Disipasi Energi

Pada tahap ini didapatkan nilai Median dari hasil disipasi energi dapat dilihat pada Tabel 4.6 untuk kolom dan Tabel 4.7 untuk balok. Nilai Median merupakan nilai yang dapat mewakili sebuah besaran yang dimiliki oleh kolom dan balok ketika mengalami sebuah perilaku akibat sejumlah getaran gempa yang berbeda beda. Nilai median akan ditinjau pada kolom dan balok dari mulai IO, LS, CP dan Collapse (Runtuh).

Tabel 4.6: Tabel Nilai Median Disipasi Energi Pada Kolom.

Median	IO	LS	CP	COL
	2.644845	5.194475	8.386215	13.54525

Dapat dilihat pada Tabel 4.6 nilai median yang mendekati untuk IO terjadi di GM13, LS terjadi di GM7, CP terjadi di GM6 dan Collapse terjadi di GM4. Berikut adalah grafik dari masing-masing GM dari Tabel 4.6 untuk nilai median pada kolom:

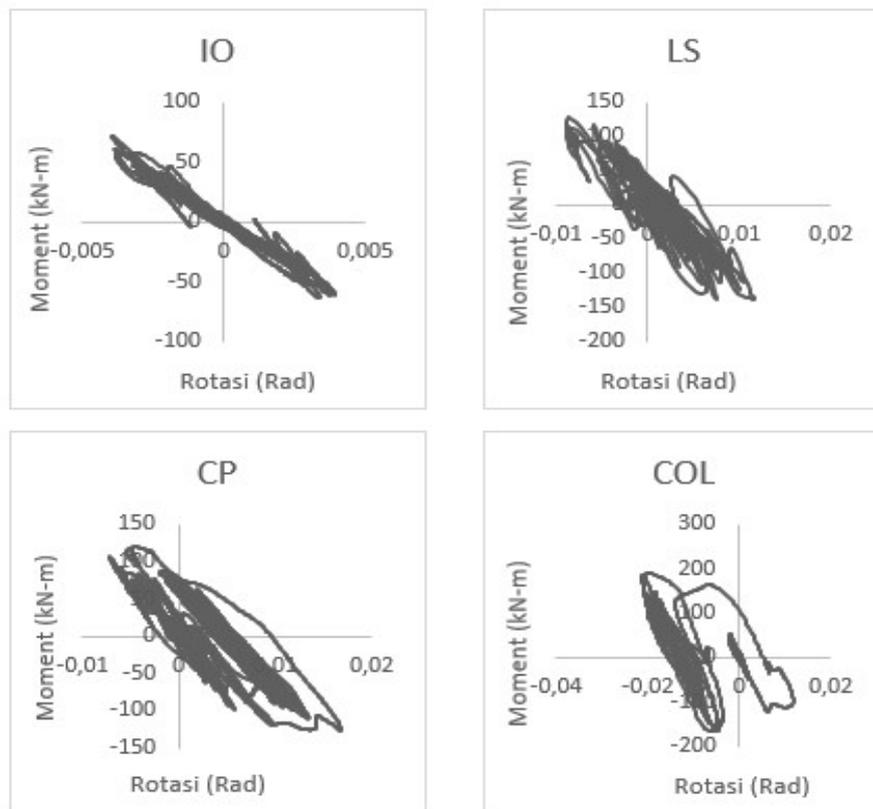


Gambar 4.4: Grafik histeresis momen-rotasi untuk nilai median pada kondisi IO, LS, CP dan Collapse pada kolom.

Tabel 4.7: Tabel Nilai Median Disipasi Energi Pada Balok.

Median	IO	LS	CP	COL
	0.075956	1.69139	3.578206	8.707881

Dapat dilihat pada Tabel 4.5 nilai median yang mendekati untuk IO terjadi di GM13, LS terjadi di GM2, CP terjadi di GM8 dan Collapse terjadi di GM4. Berikut adalah grafik dari masing-masing GM dari Tabel 4.7 untuk nilai median pada balok:



Gambar 4.5: Grafik histeresis momen-rotasi untuk nilai median pada kondisi IO, LS, CP dan Collapse pada balok.

Analisis median dari disipasi energi menunjukkan pola umum performa struktur di bawah pengaruh beban gempa. Nilai-nilai median yang diperoleh memperlihatkan bagaimana elemen-elemen struktur, baik kolom maupun balok, memberikan kontribusi terhadap keseluruhan mekanisme peredaman energi.

4.6 Perbedaan Disipasi Energi Akibat Jenis Getaran Gempa

Tabel 4.8 - 4.11 menjelaskan nilai median disipasi energi akibat getaran gempa pulse dan no pulse pada kolom dan balok:

Tabel 4.8: Tabel Median Disipasi Energi Getaran Gempa Pulse Pada Kolom.

Median	IO	LS	CP	COL
	2.7313	5.53793	8.020725	14.30801

Tabel 4.9: Tabel Median Disipasi Energi Getaran Gempa No Pulse Pada Kolom.

Median	IO	LS	CP	COL
	2.43561	4.7903	8.66215	13.21671

Dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 nilai median untuk semua tingkat kerusakan lebih besar pada gempa pulse, yang mengindikasikan bahwa gempa jenis pulse menyebabkan dampak yang lebih besar terhadap disipasi energi dan potensi kerusakan kolom.

Tabel 4.10: Tabel Median Disipasi Energi Getaran Gempa Pulse Pada Balok.

Median	IO	LS	CP	COL
	0.076634	1.739255	3.635336	8.707881

Tabel 4.11: Tabel Median Disipasi Energi Getaran Gempa No Pulse Pada Balok.

Median	IO	LS	CP	COL
	0.075956	1.444305	3.566686	7.97647

Berdasarkan Tabel 4.10 dan 4.11 dapat dilihat bahwa nilai median rekaman gempa pulse pada elemen balok menunjukkan hasil yang lebih besar dibandingkan gempa no pulse pada sebagian besar kondisi batas (IO, LS, CP, COL). Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa gempa pulse memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap respons struktur kolom dan balok, khususnya pada tahap-tahap awal hingga mendekati *collapse*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari data hasil analisis pada Model 4 Lantai, diperoleh bahwa elemen kolom menyerap energi gempa secara signifikan lebih besar dibanding balok. Hal ini terlihat dari nilai total disipasi energi dan nilai median pada seluruh tahapan kondisi batas (IO, LS, CP, COL). Nilai Median pada rekaman gempa pulse menunjukkan sedikit lebih besar dari rekaman gempa no pulse. Hal ini dapat disimpulkan bahwa gempa pulse memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap respon struktur pada kolom dan balok.

Dengan demikian, kesimpulan yang dapat diambil adalah bahwa struktur menunjukkan respons yang lebih besar pada kolom dibandingkan dengan balok, terutama akibat pengaruh gempa pulse. Hal ini terlihat dari nilai total disipasi energi dan nilai median yang cenderung lebih tinggi pada kolom.

5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan memanfaatkan variasi gempa lainnya, seperti *far-field* guna memahami secara lebih menyeluruh pengaruh gempa terhadap kinerja disipasi energi pada struktur bangunan.
2. Diharapkan tugas akhir ini dapat diteruskan atau dievaluasi kembali dalam rangka mendapatkan hasil yang optimal dan dapat dilakukan perbandingan.

DAFTAR PUSTAKA

- Athoillah, A., Ghulam, S., & Sutriyono, B. (2023). hal. 767-774 WF 500. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 3(1), 767–774.
www.scielo.org.mx
- Anam Syaiful, Sutriyono Bantot, & Trimurtiningrum Retno. (2020). Studi Perbandingan Kinerja Gedung Beton Bertulang Srpmk 6 Lantai Dengan Menggunakan Metode Pushover Dan Nonlinear Time History Analysis. *Jurnal "MITSU" Media Informasi Teknik Sipil UNIJA*, 8, 33– 41.
- Amrullah, W., Bagio, T. H., & Tistogondo, J. (2019). Desain perencanaan struktur Gedung 38 lantai dengan sistem Rangka pemikul momen khusus (SRPMK). *Jurnal Ilmiah MITSU (Media Informasi Teknik Sipil Universitas Wiraraja)*, 7(1), 18-23.
- Baker, J. W. (2007). Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis. *Bulletin of the seismological society of America*, 97(5), 1486-1501.
- Elkady, A., & Lignos, D. G. (2019). Two-dimensional OpenSEES numerical models for archetype steel buildings with special moment frames. *San Francisco: GitHub*.
- Faisal, A. (2013). Pemodelan getaran gempa dan struktur beton untuk analisa tidak linear. *Kumpulan Berkas Kepangkatan Dosen*.
- Hirel, P., Servie, K., Dapas, O., & Pandaleke, R. (2018). Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. *Jurnal Sipil Statik*, 6(Juni), 361–372.
- Irawan, D. (2023). *Perencanaan struktur beton bertulang gedung perkantoran dira 10 lantai dengan metode sistem rangka pemikul momen khusus di Kabupaten Ende*. 11(1), 159–174. <https://erepository.uwks.ac.id/15660/>
- Kalkan, E., & Kunnath, S. K. (2006). Effects of fling step and forward directivity on seismic response of buildings. *Earthquake spectra*, 22(2), 367-390.
- Lignos, D. G., & Krawinkler, H. (2011). Deterioration modeling of steel components in support of collapse prediction of steel moment frames under earthquake loading. *Journal of Structural Engineering*, 137(11), 1291-1302.
- Nuraga, K., Putri, D. A. P. A. G., Antriksa, K., & Ficher, J. (2021). Analisis Daktilitas Struktur Gedung Rangka Beton Bertulang Dengan Metode Analisis Pushover: (Studi: Gedung Tugu Reasuransi Indonesia Jakarta). *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, 4(2), 98-105.

- NIST. Evaluation of the FEMA P695 methodology for quantification of building seismic performance factors. NIST GCR 10-917-8, NEHRP consultants Joint Venture, 2010.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Partuti, T., & Umyati, A. (2019). Pengenalan upaya mitigasi bencana gempa bumi untuk siswa sekolah dasar di Kota Serang. *Jurnal Pengabdian Dinamika*, 6(1).
- Rau, F., Made Sastra Wibawa, I., Ketut Diartama Kubon Tubuh, I., & Made Nada, I. (2023). Analisis Kinerja Struktur Gedung Dengan Ketidakberaturan Horizontal. *Jurnal Ilmiah Teknik UNMAS*, 3(1).
- Vamvatsikos, D., & Cornell, C. A. (2002). Incremental dynamic analysis. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 31(3), 491-514.

LAMPIRAN

L.1. Syarat Perioda Struktur

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

Model 4 Lantai data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 4.6 m
- Tinggi lantai tipikal : 4 m
- Hn : 16.6 m
- Cu : 1.5
- Ct : 0.0724
- x : 0.8
- T min : $C \frac{h^x}{t_n}$
- T max : $Cu \times T \text{ min}$

Tabel L.1: Perioda struktur untuk arah X dan Y

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

L.2. Modal Participating Mass Ratios

L.2.1. Modal Participating Mass Ratios

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

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

L.3. Berat Sendiri Struktur

L.3.1. Berat Sendiri Struktur

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

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

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

L.4. Perhitungan Gaya Geser Dasar dan Gaya Lateral Statik Ekivalen

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

Data struktur:

- S_{D1} : 0.1774
- S_{Ds} : 0.236
- R : 8
- I_e : 1
- S_1 : 0.112

Tabel L.7: Nilai C_s yang digunakan ($R=8$).

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

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah:

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W_t \\ &= 0.0216 \times 75984 \\ V &= 1639.41 \text{ kN} \end{aligned}$$

- ✓ Penentuan nilai k berdasarkan SNI 1726:2019, k adalah eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:
 - Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 0.5 detik atau kurang, $k = 1$.
 - Untuk struktur yg mempunyai perioda sebesar 2.5 detik atau lebih, $k = 2$.
 - Untuk struktur yg mempunyai perioda antara 0.5 dan 2.5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linear antara 1 dan 2.

Tabel L.8: Nilai story shear untuk gaya lateral statik ekuivalen.

Story	Berat W_x	h (mm)	$W_x \cdot h \cdot X^k$	$W_x \cdot h \cdot Y^k$	Force (x)	Force (y)	Story Shear (x)	Story Shear (y)
4	1.885186	4000	67302.4	67302.4	495.1	495.1	495.1	495.1
3	1.944083	4000	69405.1	69405.1	510.6	510.6	1005.8	1005.8
2	1.958588	4000	69922.9	69922.9	514.4	514.4	1520.2	1520.2
1	1.960308	4600	83505.9	83505.9	614.4	614.4	2134.6	2134.6
TOTAL			222833.9	222833.9	1639.4	1639.4	4660.5	4660.5

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

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

Tabel L.11: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1, $R = 8$

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

L.6. Nilai Simpangan Gedung

Tabel L.13: Hasil analisa nilai Simpangan Gedung

Story	Displacement		Elastic Drift		h (mm)	Inelastic Drift		Drift Limit (mm)	Cek
	δ_{ex}	δ_{ey}	δ_{ex}	δ_{ey}		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
4	0.613	0.048	0.171	0.015	4000	0.941	0.083	61.538	OK
3	0.442	0.033	0.182	0.014	4000	1.001	0.077	61.538	OK
2	0.26	0.019	0.164	0.012	4000	0.902	0.066	61.538	OK
1	0.096	0.007	0.096	0.007	4600	0.528	0.039	70.769	OK

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

Tabel L.15: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah X

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

Tabel L.16: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah Y

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

L.8. Pengaruh Efek P-Delta

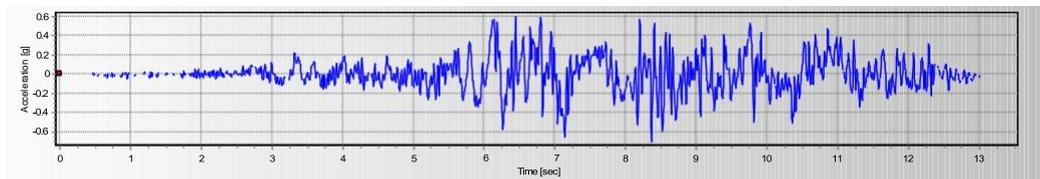
Tabel L.19: Hasil analisa P-Delta (R=8).

Lt	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
4	0.941	0.083	332.6	776.3	721	4000	0.0000	0.0000	0.1	0.1	OK
3	1.001	0.077	687.2	1110.7	1,122	4000	0.0000	0.0000	0.1	0.1	OK
2	0.902	0.066	104655.3	1387.3	1,426	4000	0.0031	0.0002	0.1	0.1	OK
1	0.528	0.039	140594.2	1640.0	1,640	4600	0.0018	0.0001	0.1	0.1	OK

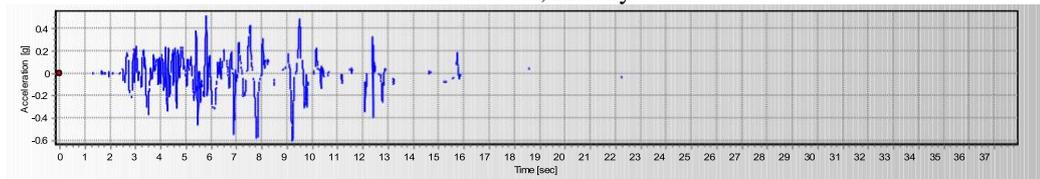
L.9 Rekaman Gempa

Terdapat dua tipe *ground motion* yang digunakan dalam tugas akhir ini yaitu *ground motion* tanpa efek *pulse* dan *ground motion* mengandung efek *pulse*.

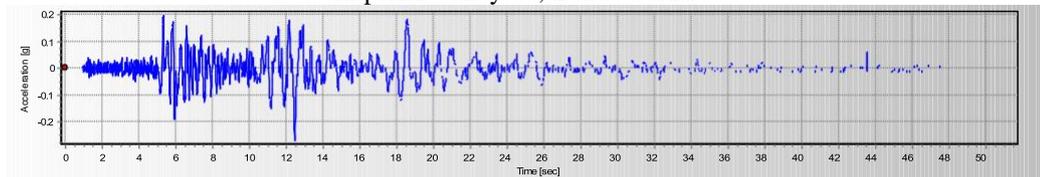
a. Rekaman gempa tanpa mengandung efek *pulse*



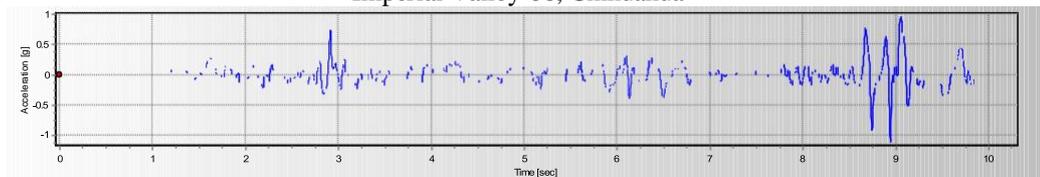
Gazli - USSR, Karakyr



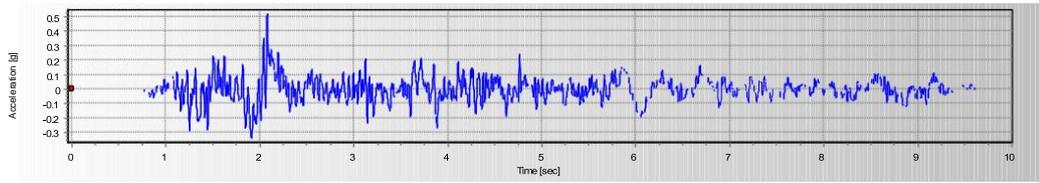
Imperial Valley-06, Bonds Corner



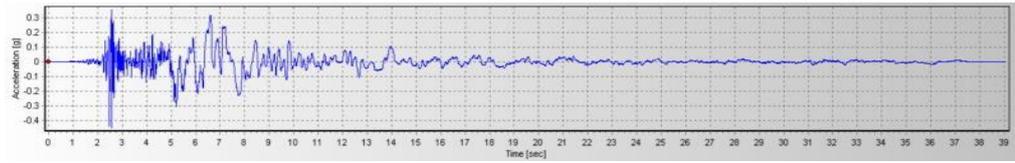
Imperial Valley-06, Chihuahua



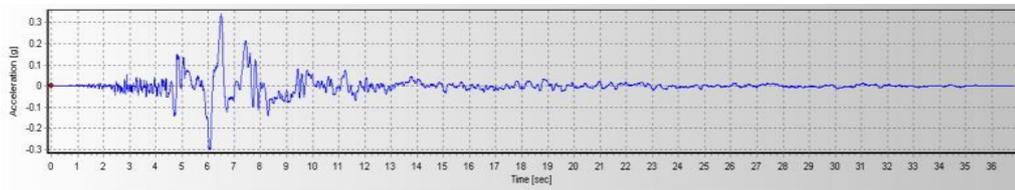
Nahanni - Canada, Site 1



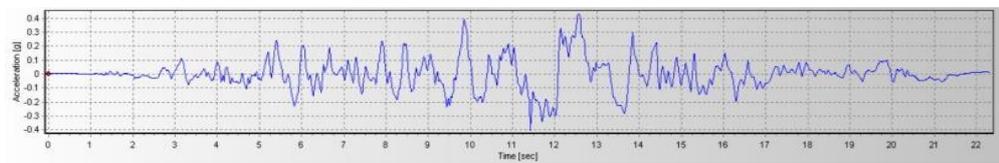
Nahanni - Canada, Site 2



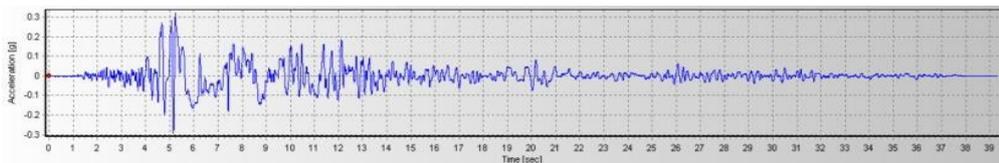
Loma prieta, BRAN



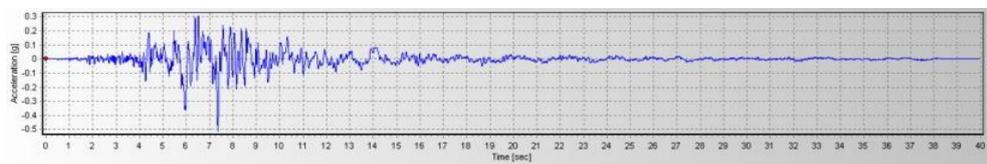
Loma prieta, Corralitos



Cape Mendocino

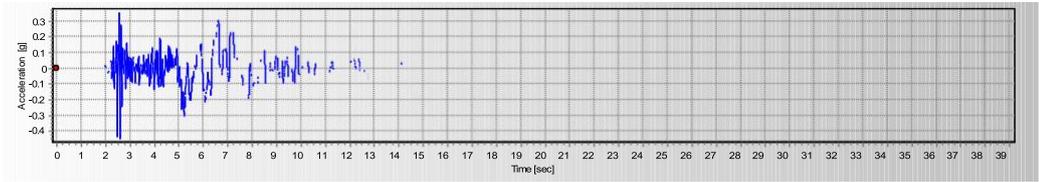


Northridge-01, LA

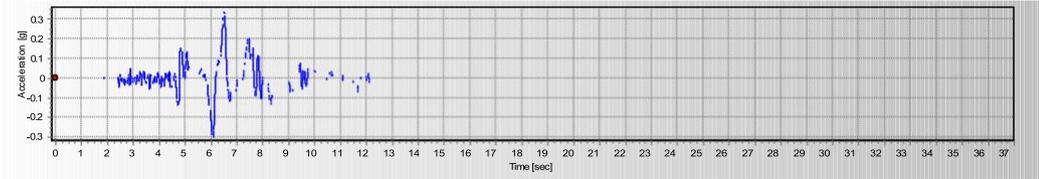


Northridge-01, Saticoy

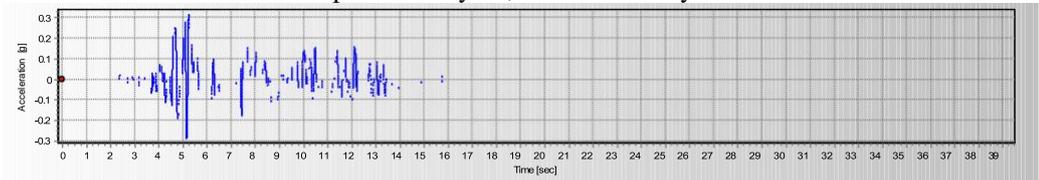
b. Rekaman gempa mengandung efek *pulse*



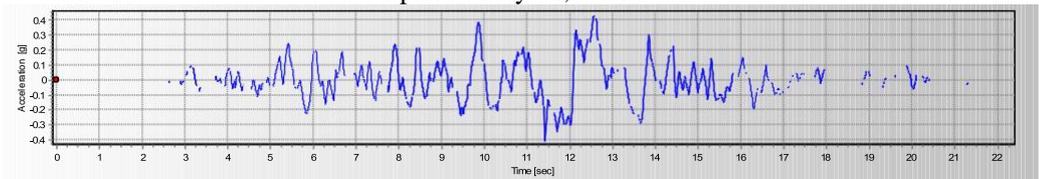
Imperial Valley-06, El Centro Array #6



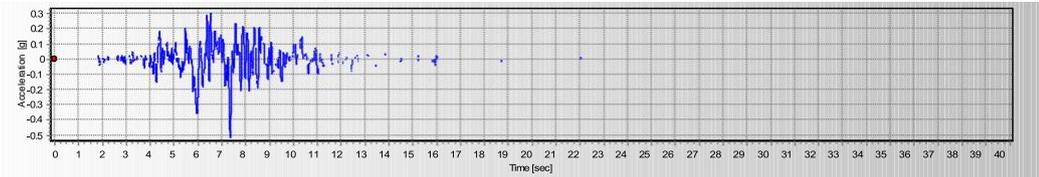
Imperial Valley-06, El Centro Array #7



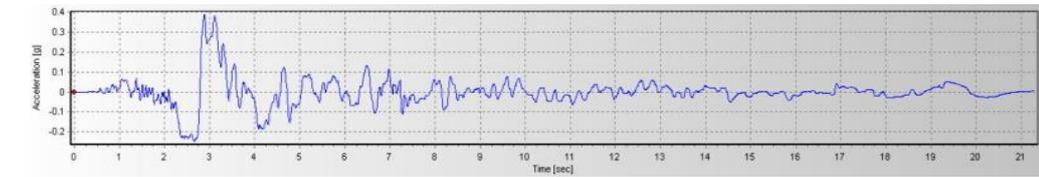
Irpinia - Italy-01, Sturmo



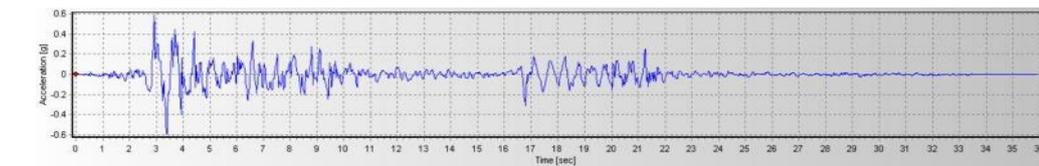
Superstition Hills-02, Parachute Test Site



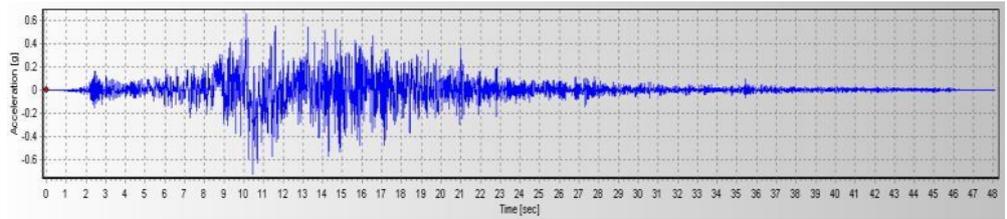
Loma Prieta, Saratoga-Aloha



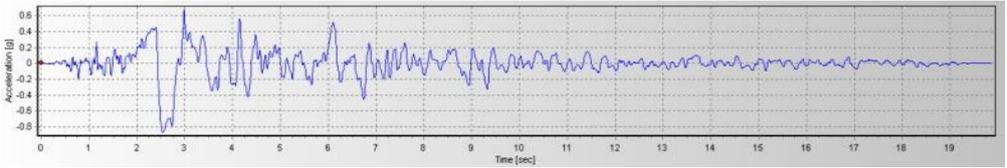
Erzican, Turkey



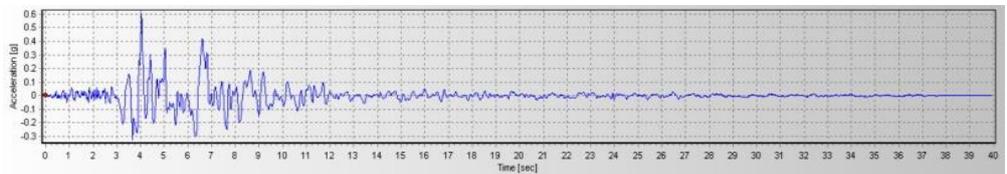
Cape Mendocino



Landers

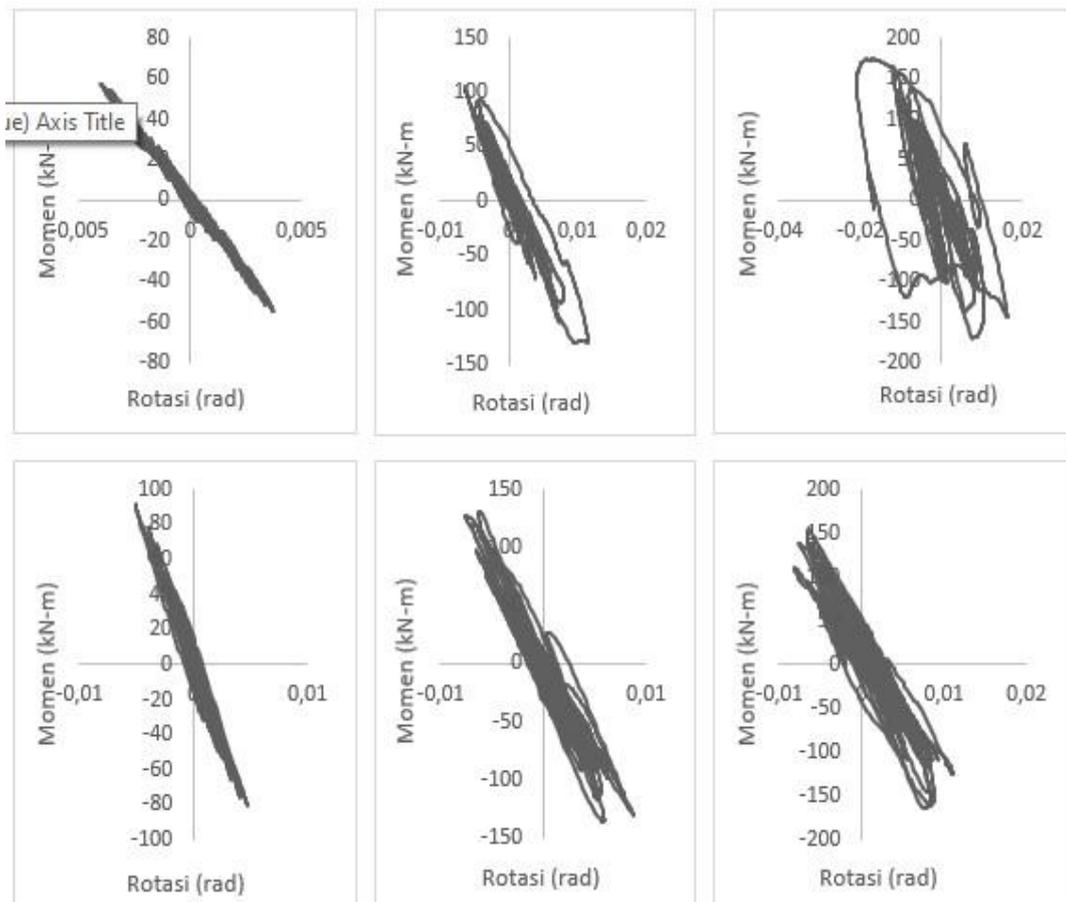


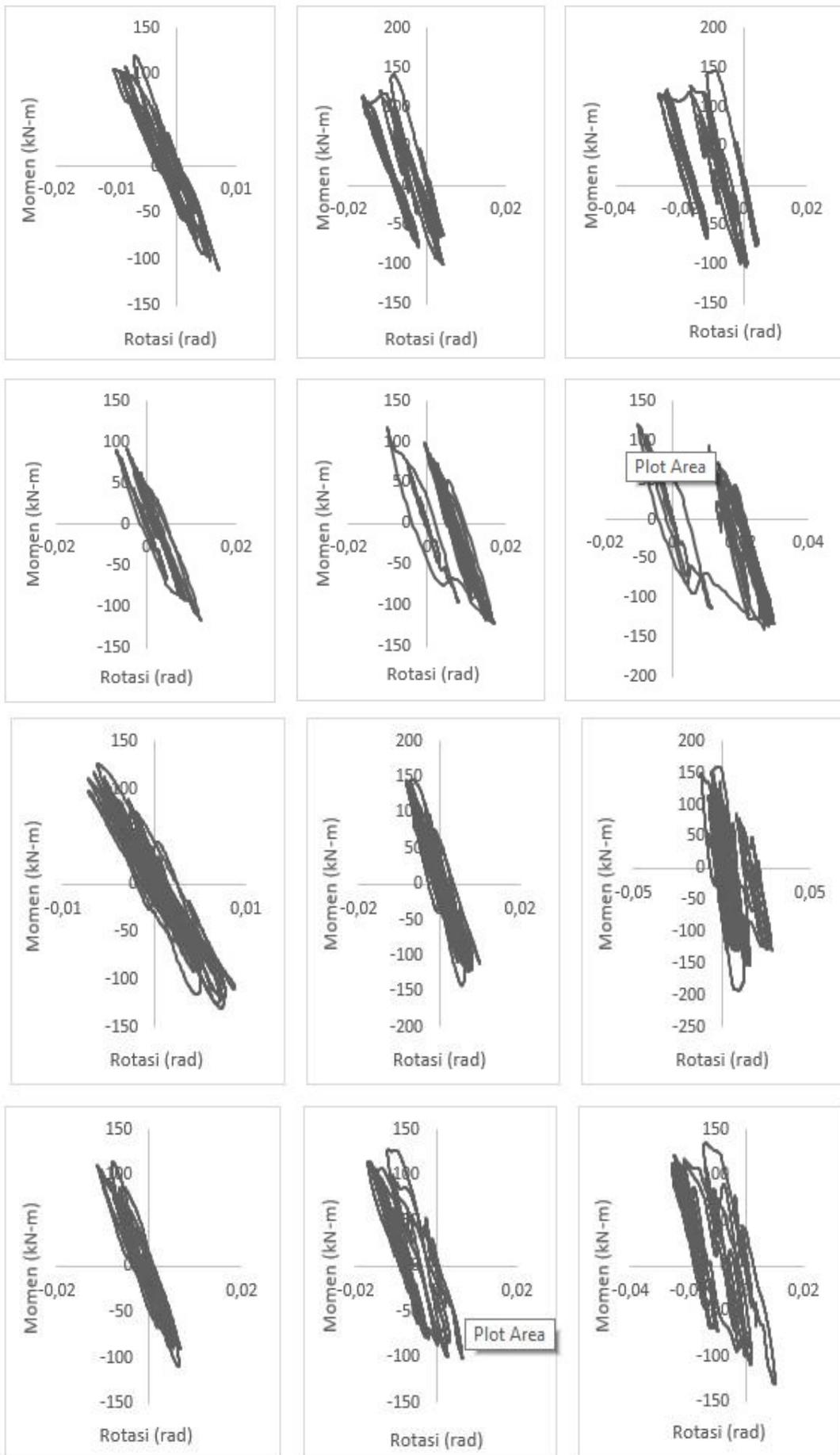
Northridge, Rinaldi Receiving Sta

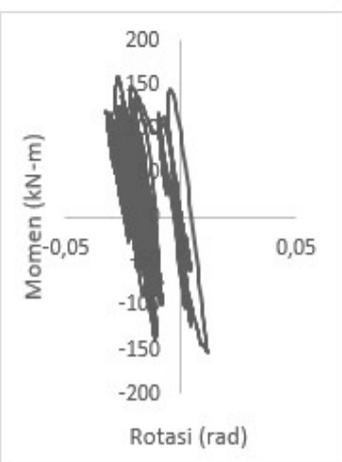
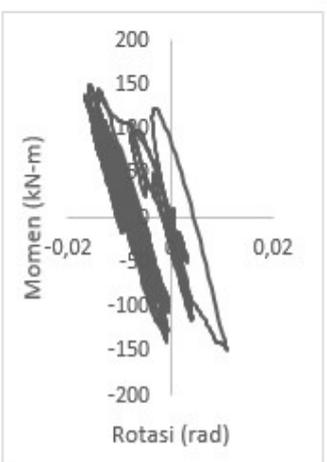
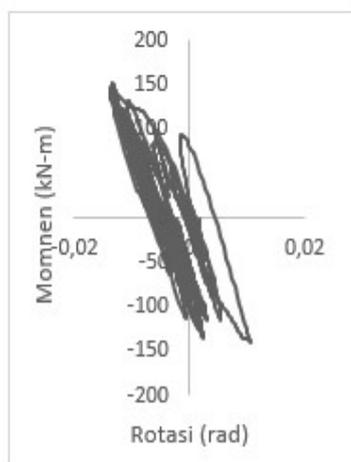
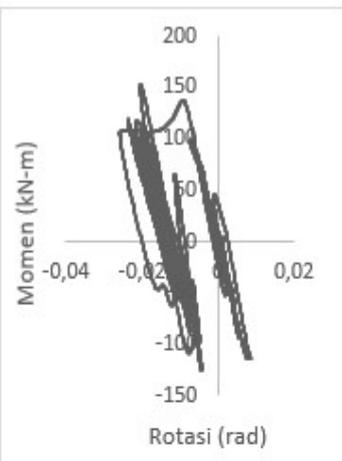
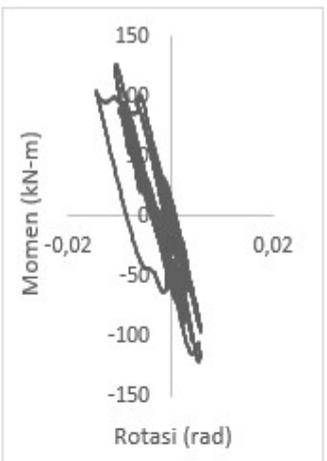
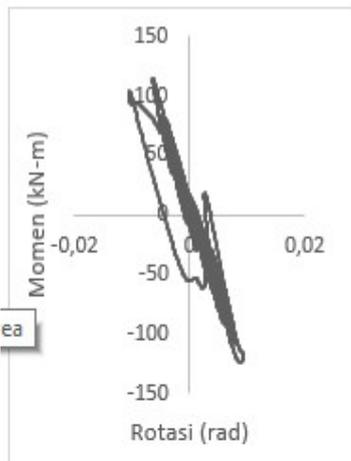
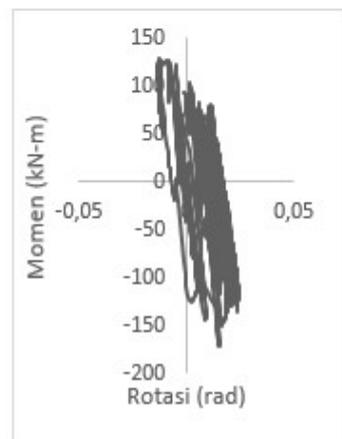
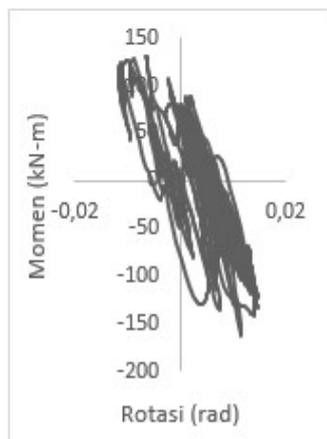
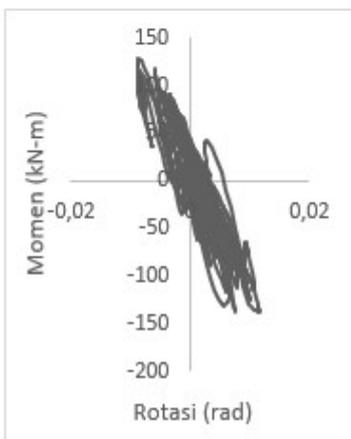
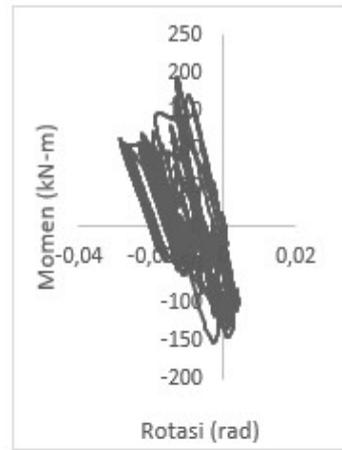
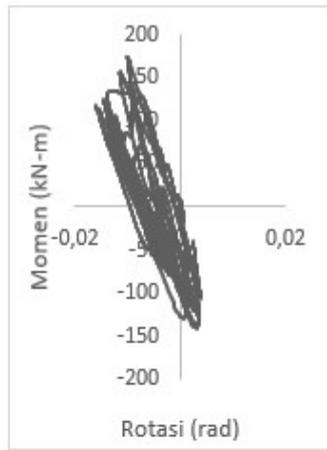
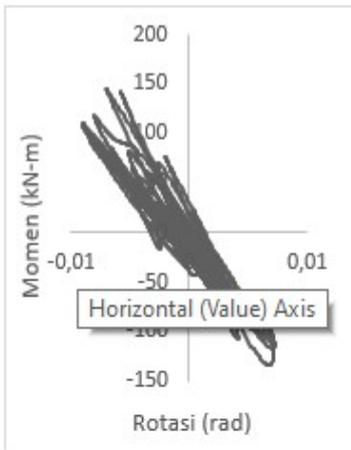


Northridge, Sylmar

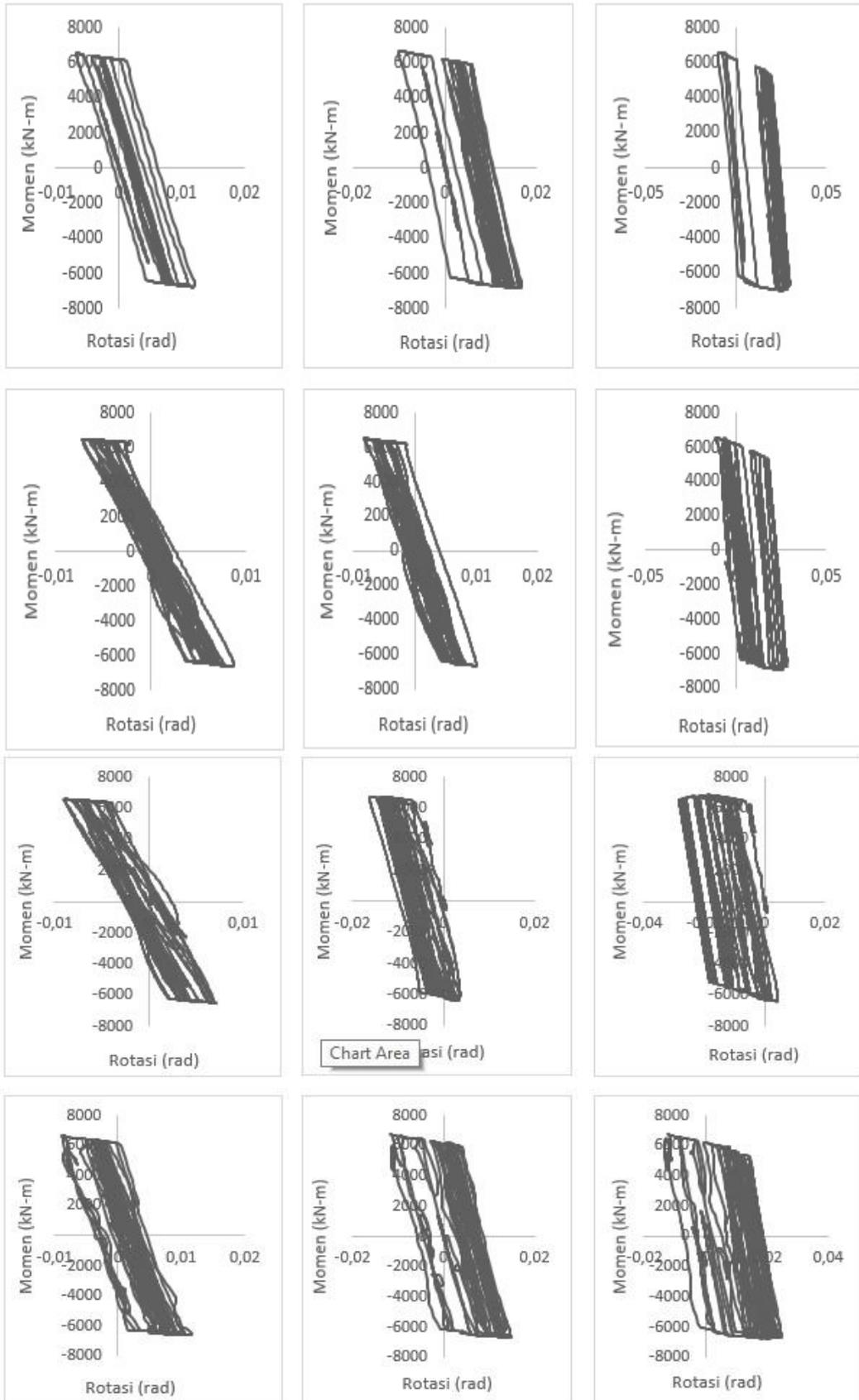
L.10 Grafik Histeresis Disipasi Energi di Balok

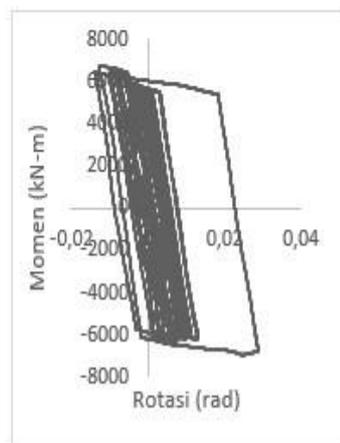
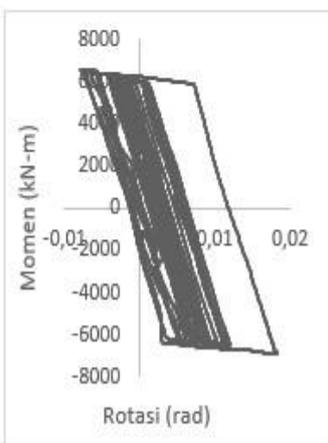
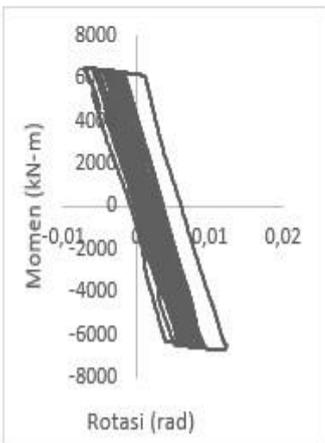
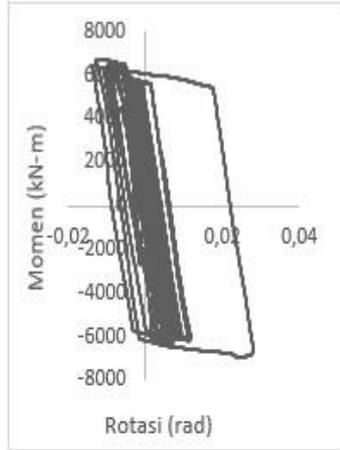
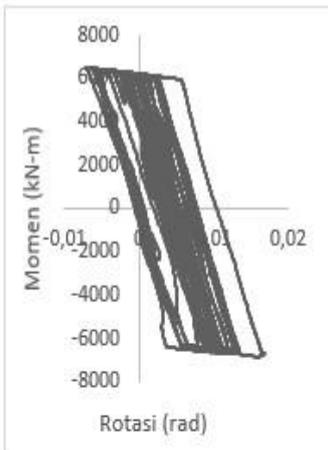
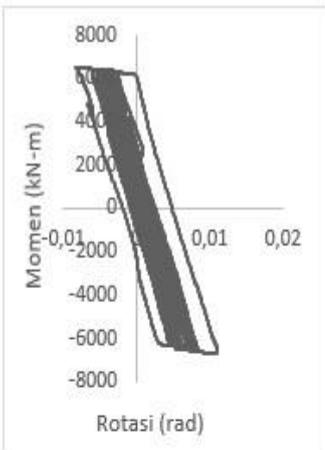
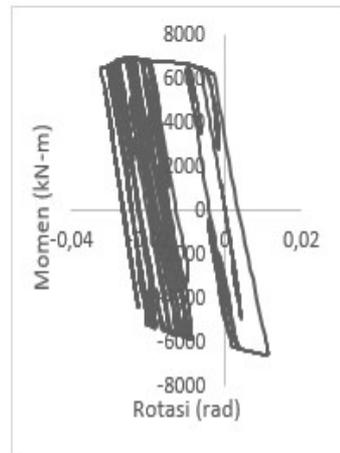
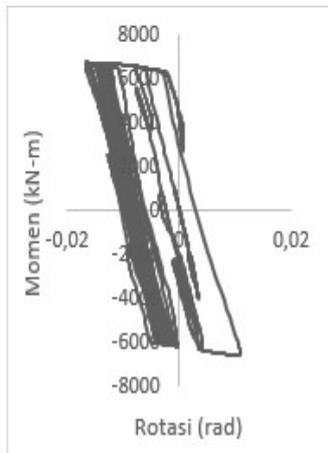
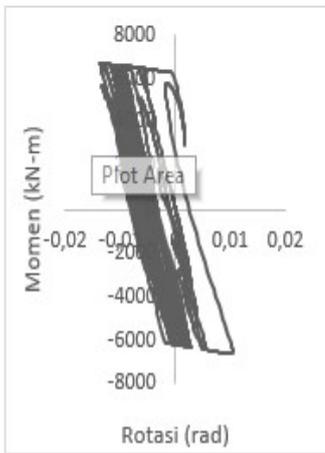
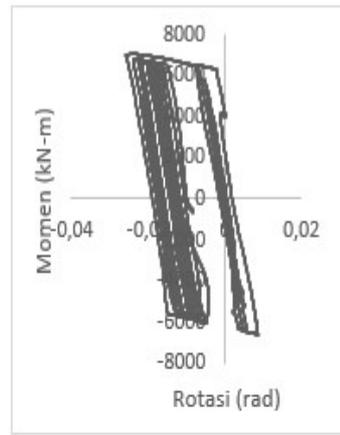
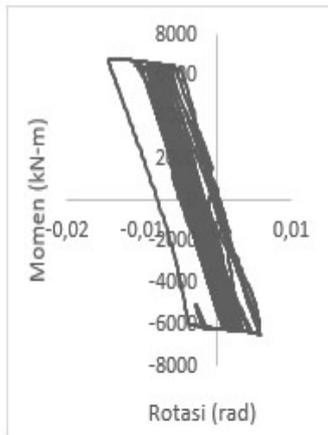
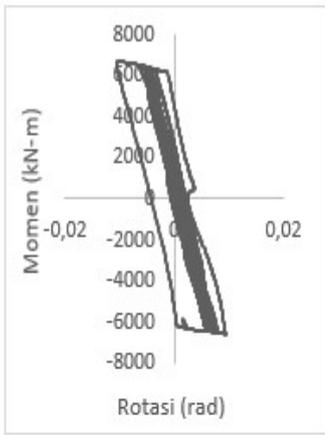






L.11 Grafik Histeresis Disipasi Energi di Kolom





DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Muhammad Raihan Wongso
Tempat, Tanggal Lahir : Pangkalan Susu, 18 September 2002
Jenis Kelamin : Laki-laki
Kewarganegaraan : Indonesia
Agama : Islam
Alamat : Jln. Listrik, Pangkalan Susu, Kecamatan Beras
Basah, Kabupaten Langkat, Sumatera Utara.
Telepon : 0895601068049
Email : hanzjr1809@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

SD Negeri 056031 Pangkalan Susu	Tahun Lulus 2014
SMP Negeri 1 Pangkalan Susu	Tahun Lulus 2017
SMA Negeri 1 Pangkalan Susu	Tahun Lulus 2020
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2020 - Selesai