

TUGAS AKHIR

**ANALISA PERILAKU DEFORMASI NONLINEAR SAAT HAMPIR
RUNTUH DI TINGKAT DASAR STRUKTUR GEDUNG SRPMK
AKIBAT GEMPA**

(Studi Literatur)

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

Disusun Oleh:

RYAN RINALDY
2007210030



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

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ryan Rinaldy

Npm : 2007210030

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisa Perilaku Deformasi Nonlinear Saat Hampir Runtuh
Di Tingkat Dasar Struktur Gedung SRPMK Beton Akibat
Gempa

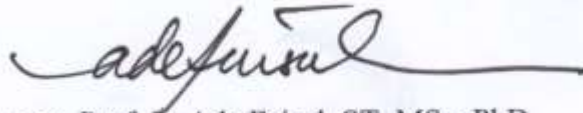
Bidang Ilmu : Struktur

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

Disetujui Untuk Disampaikan

Kepada Panitia Ujian:

Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, ST, MSc, PhD.

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ryan Rinaldy
NPM : 2007210030
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisa Perilaku Deformasi Nonlinear Saat Hampir Runtuh Di
Tingkat Dasar Struktur Gedung SRPMK Beton Akibat Gempa

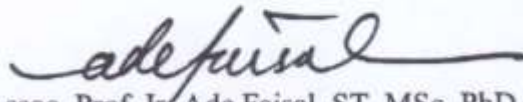
Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, ST, MSc, PhD.

Dosen Pembimbing I



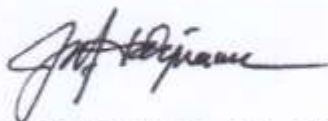
Rizki Efrida, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing II



Assoc. Prof. 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	: Ryan Rinaldy
Tempat, Tanggal Lahir	: Takengon, 11 Juni 2002
Npm	: 2007210030
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang Berjudul: "Analisa Perilaku Deformasi Nonlinear Saat Hampir Runtuh Di Tingkat Dasar Struktur Gedung SRPMK Beton Akibat Gempa"

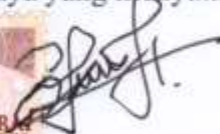
Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang di bentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan atau keserjanaan saya.

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

Medan, Agustus 2025

Saya yang menyatakan,


 Ryan Rinaldy

ABSTRAK

ANALISA PERILAKU DEFORMASI NONLINEAR SAAT HAMPIR RUNTUH DI TINGKAT DASAR STRUKTUR GEDUNG SRPMK BETON AKIBAT GEMPA (STUDI LITERATUR)

Ryan Rinaldy

2007210030

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. Dengan adanya sendi plastis pada elemen struktur, terutama balok berfungsi untuk menyerap energi yang dihasilkan selama gempa, sehingga mencegah keruntuhan total struktur. Studi ini dibuat untuk mengetahui bagaimana perilaku deformasi nonlinear balok dan kolom. Analisa dinamik nonlinear, memakai 20 rekaman gempa dilakukan untuk mendapatkan nilai median simpangan antar tingkat untuk kemudian ditentukan kurva kerapuhannya. Hal ini dilakukan untuk mengidentifikasi kapasitas pada kondisi batas LS, CP, dan Collapse yang dimiliki oleh model, yaitu deformasi lentur yang terjadi pada elemen balok dan kolom dominan terjadi pada tingkat bawah. Hasil yang diperoleh menunjukkan balok memiliki perilaku lentur yang lebih baik dan lebih terkontrol dalam siklus gempa karena tidak langsung menerima gaya lateral, sedangkan kolom menerima gaya lateral secara langsung dan acak yang menyebabkan perilaku lentur yang lebih kompleks.

Kata kunci: Gempa dekat, SRPMK, deformasi lentur, deformasi nonlinear.

ABSTRACT

ANALYSIS OF NONLINEAR DEFORMATION BEHAVIOR WHEN ALMOST COLLAPSED AT THE BASIC LEVEL OF THE CONCRETE SRPMK BUILDING STRUCTURE DUE TO THE EARTHQUAKE (LITERATURE STUDY)

Ryan Rinaldy

2007210030

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

Earthquakes are natural vibrations, caused by the release of energy and creating seismic waves. Damage from earthquakes also has an impact on building structures. This needs to be considered in the design of earthquake-resistant structures by maximizing structural performance. With the presence of plastic joints in structural elements, especially beams function to absorb the energy produced during earthquakes, thus preventing the total collapse of the structure. This study was made to find out how the nonlinear deformation behaves of beams and columns. A nonlinear dynamic analysis, using 20 earthquake recordings, was carried out to obtain the median value of the deviation between levels and then determine the fragility curve. This is done to identify the capacity at the LS, CP, and Collapse boundary conditions owned by the model, namely the bending deformation that occurs in the dominant beam and column elements occurs at the lower level. The results obtained showed that the beams had better and more controlled bending behavior in the earthquake cycle because they did not directly receive lateral forces, while the columns received direct and random lateral forces that led to more complex bending behavior.

Keywords: Close earthquake, SRPMK, bending deformation, nonlinear deformation.

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 Perilaku Deformasi Nonlinear Saat Hampir Runtuh Di Tingkat Dasar Struktur Gedung SRPMK Beton Akibat Gempa” ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Ijazah Sarjana pada Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan dukungan, bimbingan dan bantuan, sehingga dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ade Faisal, ST, MSc, PhD. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Selaku Dosen Pembimbing I Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T. yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Selaku Dosen Pembimbing II Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc. 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. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik sipil kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Terima kasih yang teristimewa sekali kepada Ayahanda Chairul Mukmin dan Ibunda tercinta Naila Fauziah yang telah bersusah payah mendidik dan membiayai saya serta menjadi penyemangat saya serta senantiasa mendoakan saya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya.

9. Terima kasih juga kepada adik saya Owen, Syahru dan teman teman saya beserta keluarga besar saya om, tante dll yang telah terus mendukung saya dalam mengerjakan tugas akhir saya ini.
10. Ibu Wahna Nurianda, S.psi., yang selalu membantu dan memberi motivasi positif. Terima Kasih atas kebaikan dan ketulusan hati kepada penulis selama ini.
11. Abang Afiful Anshari, S.T., yang telah membantu penulis dalam mengerjakan proposal tugas akhir ini, serta Tim Earthquake Engineering Research, dan semua teman sejawat penulis lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.
12. 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, Agustus 2025

Penulis

Ryan Rinaldy

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii
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 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.6 Batasan Masalah	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Umum	6
2.2 Groundmotion (Getaran Tanah)	6

2.3 Pengertian Gempa	6
2.3.1 Gempa Dekat	6
2.3.2 Gempa Jauh	7
2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	7
2.5 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019	7
2.6 Struktur Penahan Gempa	8
2.7 Deformasi Nonlinear.	8
2.8 Pushover	9
2.9 Simpangan Permanen	9
2.10 Keruntuhan Struktur	9
BAB 3 METODE PENELITIAN	10
3.1 Umum	10
3.2 Pemodelan Struktur	11
3.2.1 Data Perencanaan Struktur	12
3.2.2 Dimensi Kolom-Balok pada Struktur	12
3.3 Analisis Dinamik Struktur Linear	13
3.3.1 Pembebanan	13
3.3.2 Kombinasi	14
3.3.3 Respon Spektrum Desain	14
3.3.4 Analisis Respon Spektrum Ragam	15
3.4 Analisis Dinamik Struktur Nonlinear	15
3.4.1 Ground Motion Record (Rekaman Gerakan Tanah)	15
3.4.2 Analisis Respon Riwayat Waktu	16
3.4.3 Incremental Dynamic Analysis (IDA)	16

3.5 Deformasi Nonlinear	18
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Hasil Model Linear dan Nonlinear	20
4.2 Hasil Analisa Linear	20
4.2.1 Respon Spektrum Ragam	20
4.2.2 Koreksi Gempa Dasar Nominal	21
4.2.3 Koreksi Faktor Redundansi	22
4.2.4 Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	22
4.2.5 Nilai Simpangan Gedung	22
4.2.6 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)	22
4.2.7 Pengaruh Efek P-Delta	23
4.3 Hasil Analisa Nonlinear	23
4.4 Hasil Deformasi Nonlinear	25
4.5 Hasil Nilai Median Deformasi Nonlinear	28
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	32
5.1 Kesimpulan	32
5.2 Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	46
RIWAYAT PENDIDIKAN	46

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data profil balok dan kolom baja WF yang digunakan.
Tabel 3.2	Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan $S_{DS} = 0.2368$.
Tabel 3.3	Rekaman gerakan tanah gempa dekat.
Tabel 4.1	Hasil analisis CQC dan SRSS pada Model SRPMK 4 Lantai).
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).
Tabel 4.3	Nilai $0.85 C_s$. W dan kontrol koreksi skala simpangan antar tingkat.
Tabel 4.4	Nilai Daktilitas Rotasi di kolom dasar untuk berbagai kondisi batas.
Tabel 4.5	Nilai Daktilitas Rotasi di balok dasar untuk berbagai kondisi batas.
Tabel 4.6	Tabel Median pada Daktilitas Rotasi Kolom.
Tabel 4.7	Tabel Median pada Daktilitas Rotasi Balok.

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.
- Gambar 3.2 Diagram alir desain struktur secara umum.
- Gambar 3.3 Geometri model struktur SMF baja yang ditinjau mengacu ke model milik Elkady dan Lignos (2019).
- Gambar 3.4 Kurva IDA.
- Gambar 3.5 Diagram alir metode IDA.
- 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 Kondisi batas LS, CP, dan *Collapse* untuk SRPMK baja 4 lantai akibat sejumlah gerakan tanah berdasarkan IDA.
- Gambar 4.3 Rasio simpangan antar tingkat maksimum akibat gerakan tanah gempa dekat pada kondisi batas LS, CP, dan *Collapse* untuk Model 1 (4 Lantai).
- Gambar 4.4 Grafik histeresis momen-rotasi untuk nilai median pada kondisi IO, LS, CP, *Collapse* pada Daktilitas Rotasi Kolom
- Gambar 4.5 Grafik histeresis momen-rotasi untuk nilai median pada kondisi IO, LS, CP, *Collapse* pada Daktilitas Rotasi Balok

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
ρ	= Faktor redudansi

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	= Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
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 adalah salah satu negara yang sering terkena bencana alam yaitu gempa bumi. Secara teknologi dan sains hal ini diakibatkan karena Indonesia terletak pada pertemuan antara tiga lempeng yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia dan lempeng Pasifik Indonesia. Struktur beton bertulang tahan gempa didesain secara khusus dengan menerapkan metode sistem pemikul momen dengan konsep kolom kuat balok lemah dan dikombinasikan dengan dinding geser sehingga diharapkan bangunan bersifat fleksibel dalam meredam getaran gempa serta merespon gempa dengan sikap bertahan dari keruntuhan. (Varan Zulkarnaen et al., n.d.)

Tujuannya dapat merancang struktur beton bertulang tahan gempa dengan metode sistem ganda dan analisa gempa dengan respon spektrum yang merujuk pada SNI 1726-2019 (Tentang Ketahanan Gempa), (2847-2019, 2019) (Tentang Beton Struktural), (SNI 1727- 2020, 2020) (Tentang Beban Minimum). Seorang perancang harus mendesain elemen struktur bangunan gedung dengan benar dan tepat agar berfungsi dengan baik.

Struktur Bangunan gedung memiliki beberapa elemen yang sering digunakan yaitu atap, balok, kolom, pelat lantai, dinding geser, tangga dan pondasi. Konstruksi atap terdiri dari rangka baja canai panas IWF yang terdiri rangka batang secara diagonal guna menyangga dari gording dan pelapis atap. Pelat lantai dan tangga merupakan elemen lentur miring atau horizontal utama yang menerima beban secara tegak lurus terhadap penampang yang kemudian menyalurkan beban hidup dan mati ke elemen pemikul beban vertikal yaitu balok. (Varan Zulkarnaen et al., n.d.)

Untuk mengetahui perilaku dan kinerja struktur bangunan, perhitungan analisa secara inelastik atau nonlinier harus dilakukan. Beberapa metode analisis inelastik meliputi analisis beban dorong (static nonlinear pushover analysis) dan analisis riwayat waktu (inelastic dynamic time history analysis). Analisa pushover

adalah suatu analisis statik nonlinear dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik lateral, yang nilainya ditingkatkan secara berangsurangsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama didalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi elastik. Sedangkan, Non-linear Time History Analysis (NLTHA) didasarkan oleh perhitungan integrasi numerik dari persamaan differensial gerak yang diperoleh dari data percepatan gempa. (Anam et al., 2020)

Analisis Gempa menggunakan Respon spektrum (1726:2019, 2020) didapat sistem)rangka pemikul momen khusus (SRPMK) yang harus dipakai dalam perencanaan. Untuk disain denah, tampak, model 3D, serta detile bangunan menggunakan AutoCad 2014 dan SketsUp 2018 sedangkan untuk pemodelan Struktur Bangunan Gedung dan Analisa gaya-gaya dalam pada tugas akhir ini menggunakan Software Sap 2000, Serta software SPColumn untuk merencanakan penulangan kolom.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perilaku deformasi pada kolom dasar dan balok terhadap keruntuhan struktur baja SRPMK selama gempa terjadi?
2. Bagaimana perbandingan deformasi pada kolom dan balok di lantai dasar ketika struktur baja SRPMK mengalami keruntuhan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Untuk menentukan daktilitas rotasi kolom dasar dan balok lantai dasar dari grafik histeresis momen dan rotasi sebagai indikator deformasi hampir runtuh struktur (collapse prevention atau CP) struktur baja SRPMK 4 lantai.

2. Untuk membandingkan daktilitas rotasi yang terjadi pada kolom lantai dasar dan balok di lantai 1 struktur baja SRPMK 4 lantai.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil perencanaan pada pemodelan Struktur Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) maka diharapkan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat untuk mengetahui bagaimana cara merencanakan struktur gedung beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) bila mengalami gempa berulang dengan perilaku deformasi nonlinear pada struktur beton ditingkat dasar gedung struktur beton akibat gempa.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun Batasan masalah yang ditetapkan pada tugas akhir ini adalah:

1. Struktur bangunan yang digunakan adalah SRPMK baja 4 lantai.
2. Variabel yang ditinjau adalah simpangan permanen.
3. Elemen yang ditinjau secara global melalui perilaku deformasi pada tingkat.
4. Gempa yang ditinjau adalah gempa dekat dan gempa jauh, baik itu yang mengandung efek pulse maupun tidak.
5. Geometri struktur yang ditinjau adalah tinggi antar tingkat sebesar 4 m untuk semua tingkat kecuali tingkat dasar sebesar 4.3 m. Jumlah bentang pada bidang horizontal adalah 3 dengan jarak kolom tipikal sebesar 6.1 m.
6. Struktur SRPMK baja merupakan sistem penahan gaya lateral yang diletakkan pada bagian perimeter terluar, sedangkan pada bagian lain, merupakan sistem penahan gaya vertical.
7. Fungsi bangunan yang ditinjau adalah perkantoran yang berada pada kawasan dengan kategori desain seismik D.
8. Pengaruh angin diabaikan pada studi ini.
9. Kriteria lain yang ditinjau dijelaskan dengan lengkap di bagian bab 3 metodologi penelitian.

1.6 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 dua model yaitu, 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 :
 - sendi plastis pada balok
 - sendi plastis pada kolom
5. Pengaruh angin diabaikan pada studi ini.
6. Kriteria lain yang ditinjau dijelaskan dengan lengkap di bagian bab 3 metode penelitian.

1.7 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 Groundmotion (Getaran Tanah)

Groundmotion adalah Gerakan tanah di permukaan bumi yang diakibatkan oleh gempa. umumnya, pemahaman tentang gerakan tanah lebih ditujukan kepada percepatan tanah akibat gempa (Pawirodikromo, 2012). Respon gempa sensitif terhadap karakteristik getaran tanah, besar frekuensi gempa, pola fulse, dan lainnya.

2.3 Pengertian Gempa

Gempa bumi merupakan suatu gejala fisik yang ditandai dengan bergetarnya bumi yang disebabkan oleh peristiwa vulkanik, yang dimana suatu tanah bergetar disebabkan oleh aktivitas desakan magma ke permukaan bumi. Peristiwa ini disebut juga dengan gempa vulkanik. (Siswanto dan Salim, 2018).

2.3.1 Gempa Dekat

Menurut Pawirodikromo (2012), gempa dekat merupakan respon tanah yang diakibatkan oleh aktivitas gempa pada daerah yang dekat pusat gempa. Rekaman gempa dekat adalah gempa yang direkam ≤ 15 km dari jarak patahan (Kalkan, dkk. 2004). Faisal, dkk. (2015) mengatakan, gempa dekat dibedakan berdasarkan data rekaman yaitu gempa pulse dan fling. Gempa pulse ditandai dengan adanya efek lonjakan yang bersifat monotonik. Efek lain yang dimiliki adalah fling step, yaitu simpangan yang terjadi jauh dari titik nol setelah terjadinya lonjakan simpangan yang besar.

2.3.2 Gempa Jauh

Gempa jauh adalah gempa yang memiliki percepatan yang lebih kecil, dikarenakan ground motion acceleration history mempunyai frekuensi getaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan velocity. Dengan kondisi yang seperti ini, maka gempa jarak jauh mempunyai A/V rasio yang lebih rendah daripada gempa jarak dekat.

2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus adalah struktur yang mampu menahan gaya akibat beban gempa. Kasiroh, dkk (2018), pada saat struktur mengalami gaya lateral gempa, distribusi kerusakan ketinggian bangunan pada distribusi lateral story drift. Apabila struktur memiliki kolom yang lemah, maka simpangan antar lantai akan cenderung berpusat ke satu lantai.

2.5 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

Dalam merencanakan suatu konstruksi, aspek yang harus diperhatikan adalah kegempaan. Aspek tersebut dianalisis berdasarkan peraturan yang berlaku, 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.

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu factor amplikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplikasi meliputi faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan factor amplikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

2.6 Struktur Penahan Gempa

Sistem penahan gaya seismik lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang telah ditetapkan pada SNI 1726:2019 Pasal 7.2 Struktur Penahan Beban Gempa tentang, setiap tipe dibagi-bagi berdasarkan tipe elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya seismik lateral. Setiap sistem penahan gaya seismik yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang telah ditetapkan.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.2 tentang Struktur Penahan Beban Gempa, sistem struktur penahan gaya seismik ditentukan oleh parameter berikut.

1. Faktor koefisien modifikasi respon (R).
2. Faktor kuat lebih sistem (C_d).
3. Faktor pembesaran defleksi.
4. Faktor Batasan tinggi sistem struktur.

2.7 Deformasi Nonlinear.

Deformasi nonlinear adalah perubahan bentuk struktur yang tidak sebanding dengan beban karena sudah melewati batas elastis. Analisis deformasi nonlinier sebenarnya dihitung dengan kekuatan, termasuk tegangan - regangan sebelum struktur hancur. Pemecahan masalahnya adalah dengan menentukan regangan ϵ_b , ϵ_p , dan tegangan σ_b , σ_p pada beton dan tulangan prategang oleh masing-masing titik pada tinggi penampang balok dan kelengkungan $1/\rho$ (ρ - jari-jari kelengkungan) dan penampang kekakuan $M/(1/\rho)$ ketika meningkatkan momen lentur dari nilai momen lentur akibat beban statis ke nilai beban batas. (Tran & Shapiro, 2019)

Struktur bangunan mampu memberikan perilaku nonlinier yang ditunjukkan oleh fase awal dan sebagian besar sambungan plastis terjadi pada elemen balok baru kemudian elemen kolom. Tingkat kinerja struktur masuk dalam kriteria Immediate Occupancy yang artinya kerusakan struktural dan bangunan ringan dapat segera digunakan kembali. (Mayesi et al., 2022)

2.8 Pushover

Pushover adalah metode analisis statik nonlinier yang digunakan untuk memahami perilaku dan kapasitas struktur saat mengalami gempa besar, dengan memberi beban gempa terhadap struktur bangunan sampai mendekati keruntuhan.

Analisis Non-Linier Pushover, dikenal sebagai analisis statik non-linier atau analisis beban dorong statik, merupakan salah satu prosedur analisis yang sangat berguna dalam memahami perilaku bangunan terhadap gempa bumi. Proses analisis ini melibatkan pemberian pola beban lateral statik pada struktur secara bertahap, dengan faktor pengali yang ditingkatkan hingga mencapai target perpindahan lateral tertentu dari suatu titik referensi atau ketika elemen struktur mencapai batas keruntuhan. (Surbakti et al., 2023).

2.9 Simpangan Permanen

Pentingnya memperkirakan kebutuhan simpangan permanen pada bangunan bertingkat memegang peranan yang sangat penting dalam menentukan kelayakan teknis dan ekonomis perbaikan dan perkuatan bangunan yang rusak akibat eksitasi gempa. Simpangan permanen adalah suatu indeks yang sangat penting pada saat melakukan evaluasi kinerja bangunan setelah terjadi gempa. Hal ini juga sangat penting dalam pengambilan Keputusan terhadap perbaikan bangunan setelah terjadi gempa (Hong, dkk. 2017).

2.10 Keruntuhan Struktur

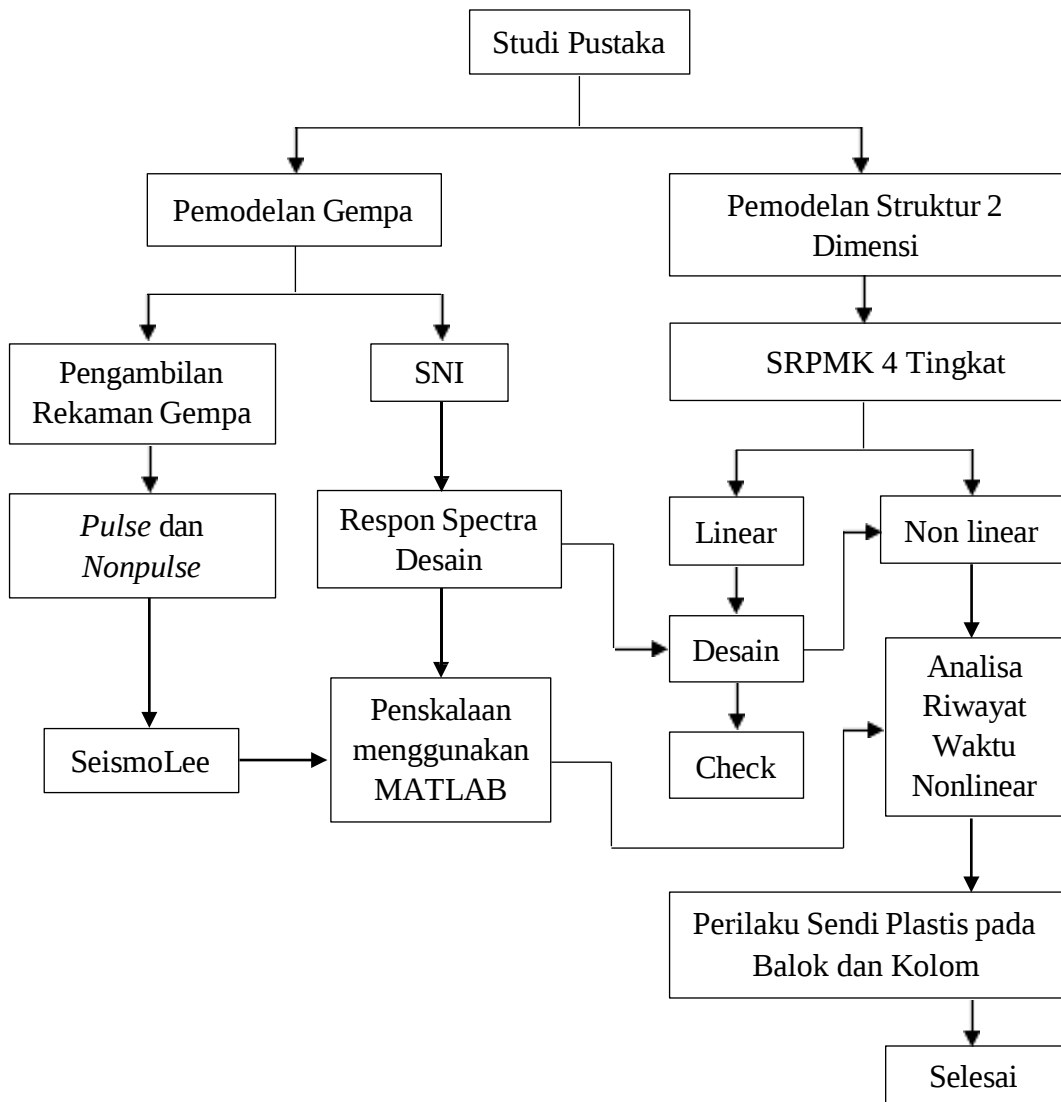
Keruntuhan adalah sebuah kondisi Dimana simpangan antar tingkat sebuah struktur telah mencapai batas maksimum yang dimilikinya. Nilai keruntuhan struktur menurut FEMA 2000 untuk collapse (C) = 10%, collapse prevention (CP) = 5%, life safety (LS) = 2,5% dan immediately occupancy (IO) = 0.7%.

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.

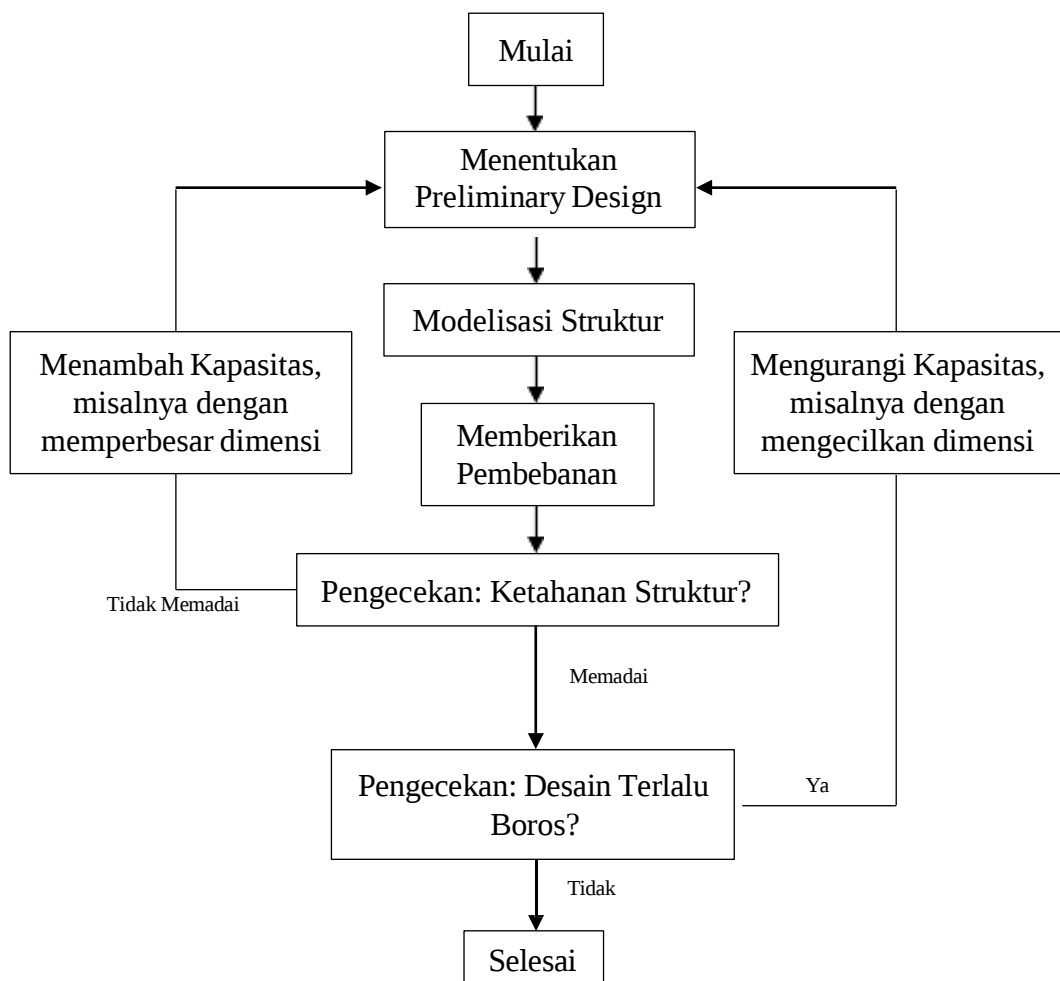


Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

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.

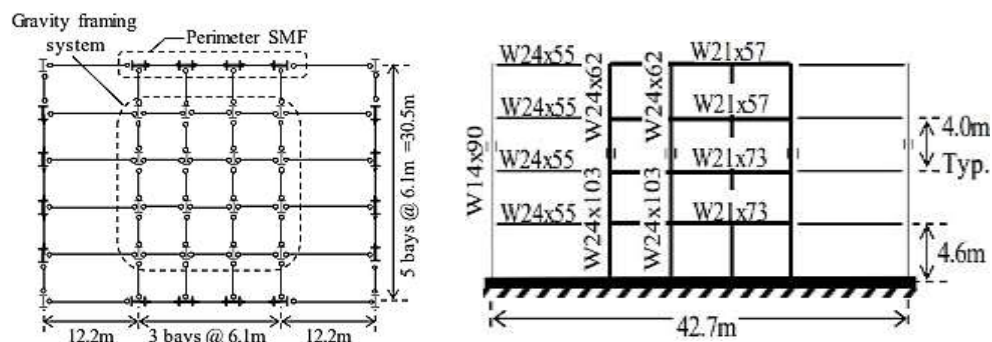


Gambar 3.2: Diagram alir desain struktur secara umum.

3.2.1 Data Perencanaan Struktur

Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada kedua pemodelan dalam program analisa struktur mengacu ke model milik Elkady dan Lignos (2019), sebagai berikut:

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: Geometri model struktur SMF baja yang ditinjau mengacu ke model milik Elkady dan Lignos (2019).

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 10 rekaman getaran gempa, yang terdiri dari 5 rekaman gerakan tanah tanpa efek detak (*pulse*) dan 5 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 gerakan tanah gempa dekat.

No.	Nama Gempa	Tahun	Stasiun Pencatat Gempa	Magnitude
1	Gazli, USSR	1979	Karakyr	6.8
2	Imperial Valley-06	1979	Bonds Corner	6.5
3	Imperial Valley-06	1979	Chihuahua	6.5
4	Nahanni, Canada	1985	Site 1	6.8
5	Nahanni, Canada	1985	Site 2	6.8
6	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #6	6.5
7	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #7	6.5
8	Irpinia, Italy-01	1980	Sturno	6.9
9	Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	6.5
10	Loma Prieta	1989	Saratoga - Aloha	6.9

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

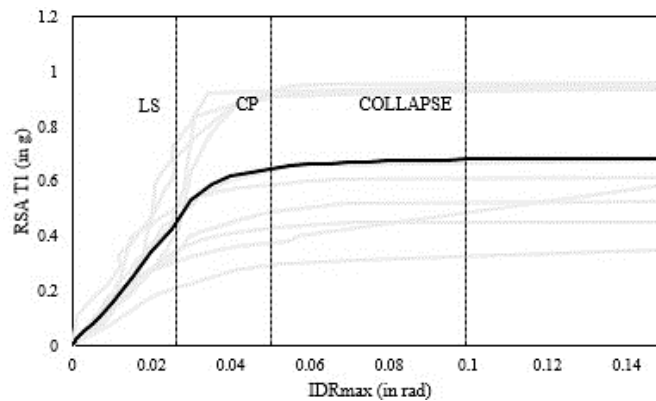
Dalam metode respon riwayat waktu, analisis dilakukan dalam dua dimensi menggunakan alat bantu software OpenSees. Sebelum menggunakan OpenSees untuk menganalisis, ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan seperti yang dijelaskan berikut ini:

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.

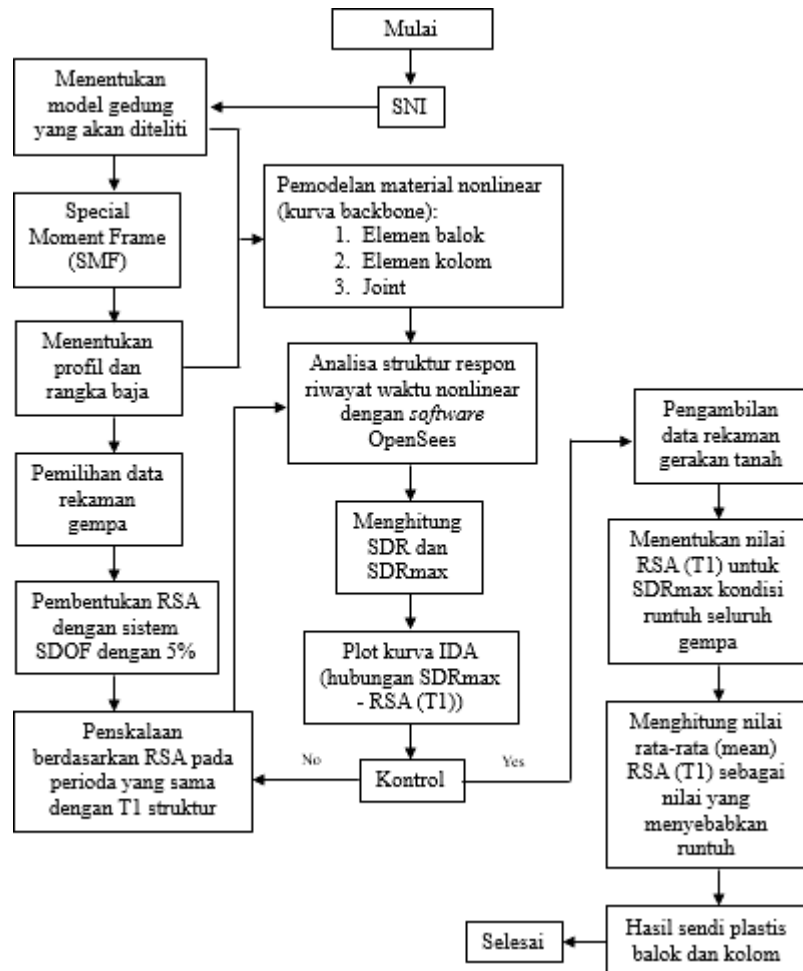
Dari Gambar 3.6 dapat digunakan untuk mengidentifikasi kapan struktur mencapai batas kondisi LS (*life safety*), CP (*collapse prevention*), dan *Collapse* berdasarkan respons strukturnya akibat gerakan tanah. Analisis IDA memungkinkan identifikasi kapan struktur mencapai batas kondisi LS, CP, dan *Collapse*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



Gambar 3.4: 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 3.5: Diagram alir metode IDA.

3.5 Deformasi Nonlinear

Dalam analisa perilaku elemen struktur, terutama pada perencanaan tahan gempa, penting untuk mengetahui kemampuan deformasi yang dapat dicapai sebelum elemen kehilangan kekuatan secara signifikan. Salah satu metode yang digunakan untuk menilai kemampuan ini adalah Daktilitas, yaitu rasio antara rotasi yang dicapai pada kondisi tertentu (maksimum atau saat runtuh) terhadap rotasi pada saat leleh. Proses penentuannya dilakukan dengan langkah berikut:

1. Identifikasi Titik-Titik Kritis pada Grafik Histerisis:

- 1) Titik Leleh (Yield Point): Titik di mana elemen mulai mengalami deformasi plastis (perubahan bentuk permanen). Ini adalah titik awal dari kurva histerisis yang menunjukkan perilaku non-linear elemen.
- 2) Titik Maksimum (Peak Point): Titik dengan momen atau rotasi tertinggi yang dicapai sebelum elemen mulai mengalami penurunan kekuatan. Ini adalah titik puncak dari kurva histerisis.
- 3) Titik Runtuh (Failure Point/Ultimate Point): Titik di mana elemen tidak lagi mampu menahan beban dan mengalami kerusakan signifikan atau runtuh.

2. Tentukan Rotasi pada Titik-Titik Kritis:

- 1) Rotasi Leleh (θ_y): Rotasi yang sesuai dengan titik leleh.
- 2) Rotasi Maksimum (θ_{max}): Rotasi yang sesuai dengan titik maksimum.
- 3) Rotasi Runtuh (θ_u): Rotasi yang sesuai dengan titik runtuh.

3. Hitung Daktilitas Rotasi:

- 1) Daktilitas rotasi dihitung sebagai rasio antara rotasi maksimum atau rotasi runtuh terhadap rotasi leleh. Ada dua jenis daktilitas rotasi yang umum digunakan:
- 2) Daktilitas Rotasi (μ_θ): $\mu_\theta = \theta_{max} / \theta_y$ (Rasio daktilitas dengan mempertimbangkan rotasi maksimum).
- 3) Daktilitas Rotasi Runtuh ($\mu_{\theta u}$): $\mu_{\theta u} = \theta_u / \theta_y$ (Rasio daktilitas dengan mempertimbangkan rotasi runtuh).

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, periode 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 dan 4.2 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 (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

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 4.3: 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 4.4: 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 Δ_a 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 (Soft Story)

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

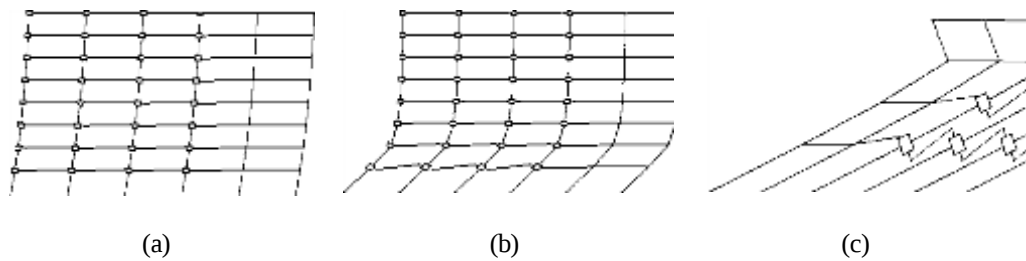
Berdasarkan SNI 1726:2019, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai *stability ratio* lebih kecil dari 1. Pada hasil perhitungan, nilai *stability ratio* dibawah nilai 1 untuk semua model atau dapat dikatakan kontrolnya memenuhi syarat yang ditentukan. Pada dasarnya efek P-delta dapat diabaikan jika syarat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

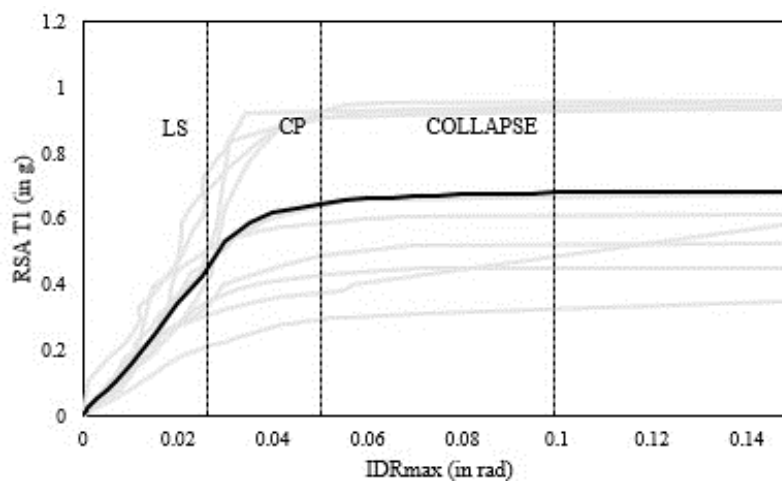
4.3.1 Incremental Dynamic Analysis (IDA)

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.

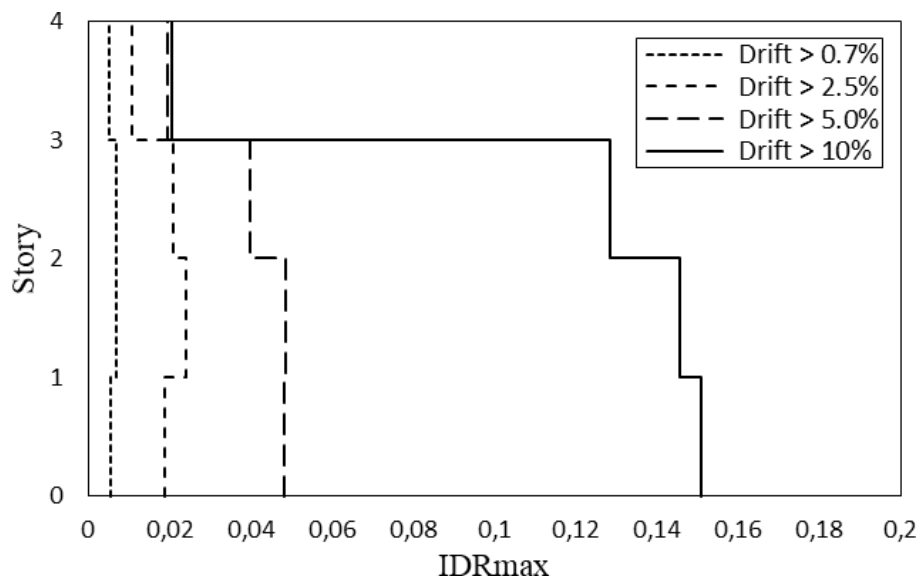


Gambar 4.2: Kondisi batas LS, CP dan *Collapse* untuk SRPMK baja 4 lantai akibat sejumlah gerakan tanah berdasarkan IDA.

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 dan 4.4. Pada gambar tersebut diilustrasikan peningkatan nilai IDRmax akibat gerakan tanah gempa dekat seiring dengan target kondisi batas yang ingin dicapai (LS, CP dan *Collapse*). Gambar 4.3 dan 4.4 juga menjelaskan proses deformasi global dari kondisi linear elastis menuju kondisi tidak elastis, serta menjelaskan respon maksimum struktur akibat gerakan tanah untuk Model 1 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 Model 1 (4 Lantai).

4.4 Hasil Deformasi Nonlinear

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 daktilitas kumulatif terhadap waktu. Secara umum, daktilitas meningkat secara signifikan seiring bertambahnya waktu, khususnya pada saat struktur mengalami respons maksimum akibat gelombang gempa. Peningkatan tajam pada grafik menandakan fase struktur mengalami deformasi inelastis, yang menunjukkan bahwa sistem struktur mulai menyerap energi melalui mekanisme plastis.

Tabel 4.4: Nilai Daktilitas Rotasi di kolom dasar untuk berbagai kondisi batas.

Daktilitas Rotasi Kolom				
GM	IO	LS	CP	COL
GM1	8,700892	2,479095	2,696888	4,493173
GM2	1,254024	3,238428	5,004981	4,963841
GM3	1,100096	2,420446	3,799039	6,924792
GM4	0,804629	2,206806	3,095701	4,48947
GM5	1,382445	2,822106	4,65283	6,117577
GM6	1,08794	1,892462	2,357538	5,348034
GM7	0,770801	1,649225	1,92181	3,820251
GM8	0,791275	2,253018	3,530987	5,728696
GM9	1,094984	2,717073	4,615222	6,079113
GM10	0,969375	2,583893	3,617719	6,409109
GM11	0,899985	1,87186	2,163654	6,055011
GM12	1,452266	2,423464	3,637818	5,456449
GM13	0,949715	1,933895	3,456585	6,130741
GM14	0,871613	2,489947	3,184209	5,294523
GM15	1,18034	2,246897	3,101159	5,525929
GM16	1,077148	2,965047	3,577821	6,922844
GM17	0,904842	2,061179	3,202232	5,267724
GM18	0,979763	2,374426	3,60858	6,025879
GM19	1,032994	2,630234	3,930763	6,162291
GM20	0,975715	2,713605	4,155663	6,338602

Pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 tampak dengan jelas bahwa daktilitas rotasi pada kolom bernilai lebih besar dari daktilitas rotasi pada balok. Hal ini menunjukkan bahwa kolom berdeformasi lebih besar dibanding balok dan juga menjelaskan bahwa kolom berperan baik dalam menyerap dan menyebarkan energi. Kondisi ini terjadi secara konsisten di hampir semua kondisi (IO, LS, CP dan Collapse) dan rekaman gempa. Hal ini menunjukkan bahwa balok bekerja dengan baik sebagai elemen struktur pendamping kolom di dalam sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dalam menyerap dan melepas energi

gempa melalui deformasi plastis. Dominasi balok dalam penyebaran energi menegaskan pentingnya perencanaan yang memadai pada elemen ini, terutama dalam hal kapasitas daktilitas dan pengendalian kerusakan. Kolom tetap harus dirancang dengan kekakuan dan kekuatan yang cukup agar tidak mengalami keruntuhan lebih dahulu dari balok, sehingga mekanisme leleh tetap terjadi lebih dahulu pada balok.

Tabel 4.5: Nilai Daktilitas Rotasi di balok untuk berbagai kondisi batas.

Daktilitas Rotasi Balok				
GM	IO	LS	CP	COL
GM1	0,478873	1,482971	2,132522	2,687772
GM2	0,750145	1,937196	2,993931	2,969321
GM3	0,658067	1,447887	2,272548	4,142343
GM4	0,481321	1,32009	1,851818	2,685557
GM5	0,826965	1,688156	2,783278	3,659475
GM6	0,650795	1,132052	1,410256	3,199142
GM7	0,461086	0,986551	1,149608	2,285237
GM8	0,473333	1,347734	2,112202	3,42685
GM9	0,655009	1,625327	2,760781	3,636466
GM10	0,579871	1,545659	2,164085	3,833867
GM11	0,538362	1,119729	1,294277	3,622049
GM12	0,868731	1,449693	3,263995	32,63995
GM13	0,56811	1,156837	2,067695	3,66735
GM14	0,521391	1,489462	1,904763	3,167132
GM15	0,706068	1,344072	1,855083	3,305557
GM16	0,644339	1,773662	2,140218	4,141178
GM17	0,541268	1,232977	1,915544	3,151101
GM18	0,586085	1,420359	2,158617	3,604622
GM19	0,617927	1,57338	2,351344	3,686223
GM20	0,583663	1,623252	2,485877	3,79169

Pada Tabel 4.5 ditunjukkan pola daktilitas rotasi yang terjadi pada balok. Tabel tersebut menjelaskan daktilitas rotasi pada saat kondisi batas collapse hanya berbeda sedikit dengan daktilitas rotasi saat kondisi CP. Nilai daktilitas rotasi pada balok yang lebih kecil dibanding dengan daktilitas pada kolom menunjukkan kapasitas deformasi balok yang tidak lebih besar dari kolom. Hal ini telah sesuai dengan konsep desain kapasitas bahwa balok berfungsi sebagai elemen utama dalam meredam energi dinamik, terutama melalui deformasi plastis, sebelum

kolom mengalami deformasi plastis ultimit. Daktilitas yang relatif lebih tinggi pada kolom menunjukkan bahwa elemen tersebut menyimpan kapasitas deformasi yang diperlukan oleh sistem selama gempa berlangsung. Kondisi ini akan menguntungkan, menurut konsep desain kapasitas, karena kerusakan plastis lebih banyak terjadi pada balok sebelum kolom mencapai batas daktilitas.

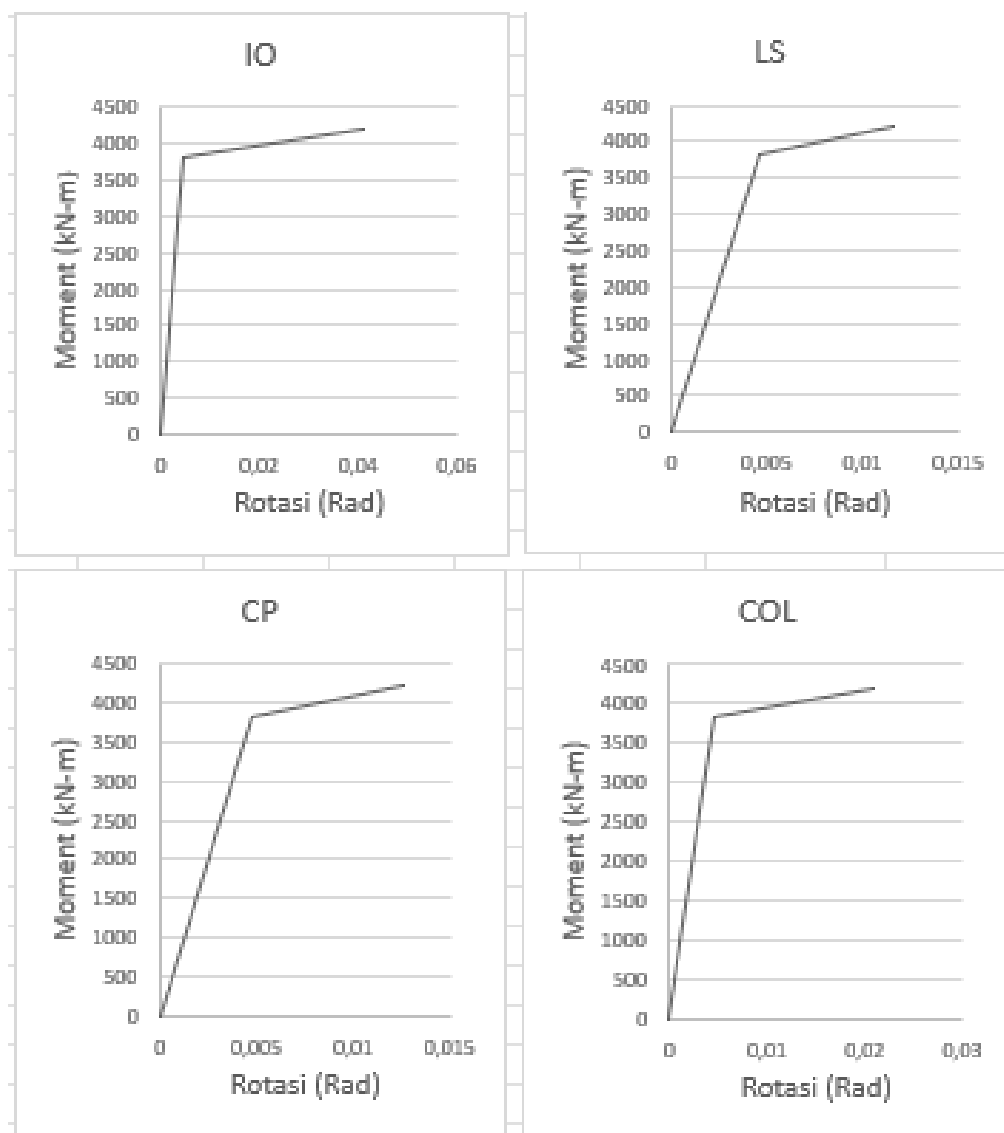
4.5 Hasil Nilai Median Deformasi Nonlinear

Nilai Median dari hasil daktilitas 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: Nilai Median Pada Daktilitas Rotasi Kolom.

Median	IO	LS	CP	COL
	1,006378	2,421955	3,554404	5,877288

Dapat dilihat pada Tabel 4.4 nilai median untuk IO terjadi di GM21, LS terjadi di GM12, CP terjadi di GM18 dan Collapse terjadi di GM21. Berikut adalah grafik dari bilinear momen rotasi akibat masing-masing GM dari Tabel 4.6 untuk nilai median pada kolom.

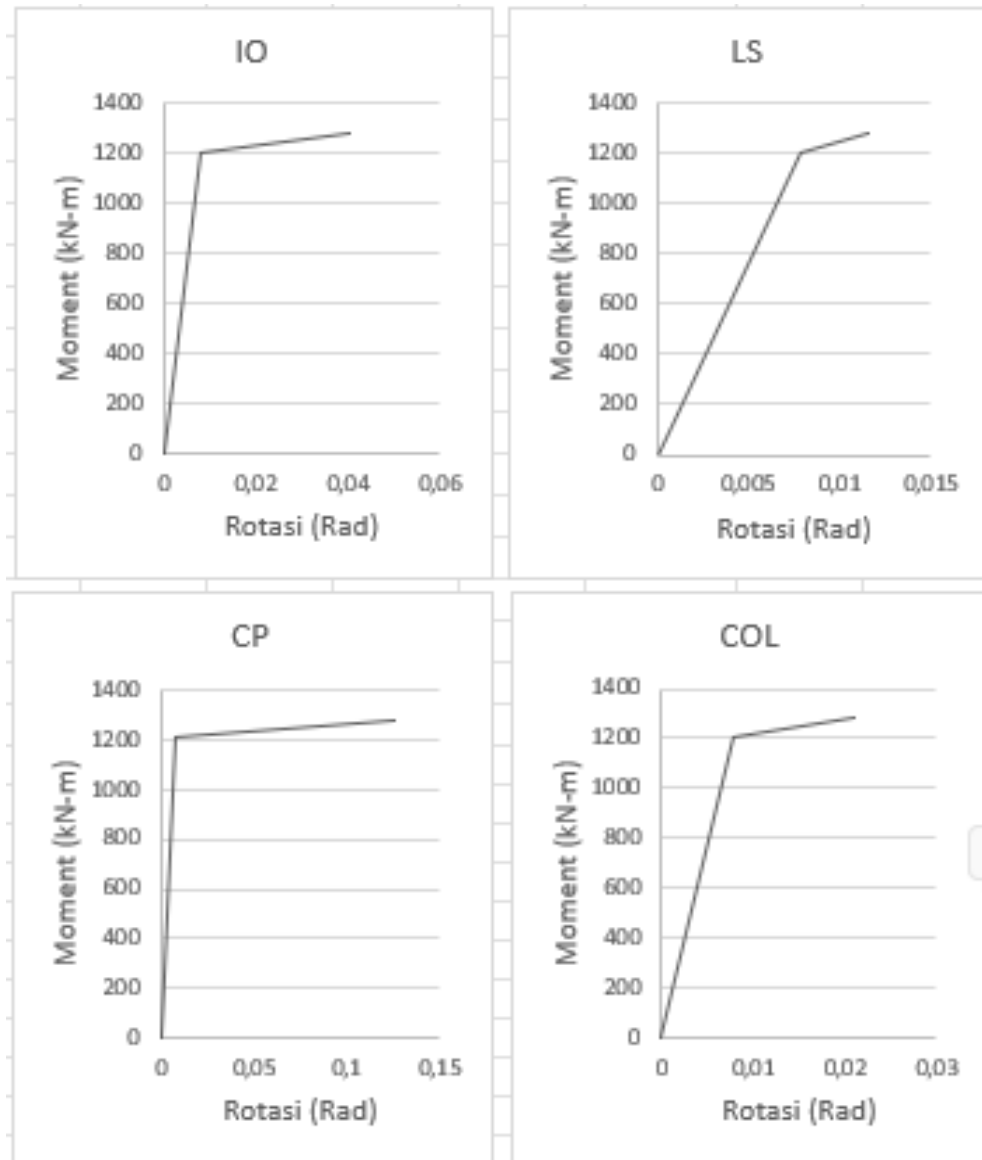


Gambar 4.4: Grafik bilinear momen-rotasi untuk nilai median pada kondisi IO, LS, CP dan Collapse pada Daktilitas kolom.

Tabel 4.7: Tabel Median Pada Daktilitas Rotasi Balok.

Median	IO	LS	CP	COL
	0,602006	1,44879	2,149417	3,613335

Dapat dilihat pada Tabel 4.5 nilai median untuk IO terjadi di GM21, LS terjadi di GM10, CP terjadi di GM9 dan Collapse terjadi di GM8. Berikut adalah grafik dari masing-masing GM dari Tabel 4.7 untuk nilai median pada balok.



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

Analisis median dari daktilitas rotasi 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.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa struktur nonlinear tidak elastis pada tugas akhir ini, diperoleh beberapa kesimpulan seperti berikut ini:

1. Elemen kolom pada lantai dasar memiliki daktilitas rotasi yang lebih besar dibandingkan dengan daktilitas rotasi yang terjadi pada balok di lantai dasar. Hal ini terlihat dari nilai median daktilitas rotasi pada seluruh kondisi batas (IO, LS, CP, dan COL).
2. Nilai median daktilitas rotasi pada balok secara konsisten lebih rendah dibandingkan daktilitas rotasi pada kolom dan mencapai kondisi daktilitas rotasi collapse lebih dahulu dibanding kolom untuk semua kondisi batas. Ini mengindikasikan bahwa deformasi dan pelelehan plastis secara umum terjadi lebih awal pada balok dibanding kolom.

5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan memanfaatkan variasi gempa lainnya, seperti *near-fault* tanpa pulse maupun *far-field*, guna memahami secara lebih menyeluruh pengaruh gempa terhadap kinerja daktilitas 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

- 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.
- Anam Syaiful, Sutriyono Bantot, & Trimurtiningrum Retno. (2020). Studi Perbandingan Kinerja Gedung Beton Bertulang Srpkm 6 Lantai Dengan Menggunakan Metode Pushover Dan Nonlinear Time History Analysis. *Jurnal "MITSU" Media Informasi Teknik Sipil UNJA*, 8, 33–41.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 1726-2019). Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- 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. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 31(3), 491-514.
- 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. I. (2023). Analisis Kinerja Struktur Gedung Dengan Ketidakberaturan Horizontal. *Jurnal Ilmiah Teknik UNMAS*, 3(1).
- 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.

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

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.

a. Model 1 data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 4.6 m
- Tinggi lantai tipikal : 4 m
- H_n : 16.6 m
- C_u : 1.5
- C_t : 0.0724
- x : 0.8
- T_{min} : $C_t h_n^x$
- T_{max} : $C_u \times T_{min}$

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

Kontrol Periode Arah X			
T_{min}	T_{max}	$T_{program}$	$T_{dipakai}$
0.685212121	1.027818181	2.206	1.028
Kontrol Periode Arah Y			
T_{min}	T_{max}	$T_{program}$	$T_{dipakai}$
0.685212121	1.027818181	1.572	1.028

b. Model 2 data struktur:

- Tinggi lantai bawah : 4.6 m
- Tinggi lantai tipikal : 4 m
- H_n : 32.6 m
- C_u : 1.5
- C_t : 0.0724
- x : 0.8
- T_{min} : $C_t h_n^x$
- T_{max} : $C_u \times T_{min}$

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

Kontrol Periode Arah X			
Tmin	Tmax	Tprogram	Tdipakai
1.175743662	1.763615493	2.584	1.764
Kontrol Periode Arah Y			
Tmin	Tmax	Tprogram	Tdipakai
1.175743662	1.763615493	2.462	1.764

L.2. *Modal Participating Mass Ratios*

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

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

SYARAT			
Moda (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

Tabel L.4: Hasil output *Modal Participating Mass Ratios* struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 2).

SYARAT			
Moda (Perioda)	Selisih Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1 - T2	5%	OK	NOT OK
T2 - T3	29%	NOT OK	OK
T3 - T4	48%	NOT OK	OK
T4 - T5	7%	OK	NOT OK
T5 - T6	25%	NOT OK	OK
T6 - T7	18%	NOT OK	OK
T7 - T8	11%	OK	NOT OK
T8 - T9	19%	NOT OK	OK
T9 - T10	7%	OK	NOT OK
T10 - T11	19%	NOT OK	OK
T11 - T12	11%	OK	NOT OK

L.3. Berat Sendiri Struktur

L.3.1. Berat Sendiri Struktur (Model 1)

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

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

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

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

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

Model 1

Data struktur:

- 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 untuk Model 1 ($R=8$).

C_s minimum	C_s hitungan	C_s maksimum	C_sX digunakan	C_sY digunakan
0.007	0.0296	0.021576	0.0216	0.0216

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah:

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

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

- ✓ 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 ekivalen Model 1.

Story	Berat W _x	h (mm)	W _x .h ^{x/k} (X)	W _x .h ^{x/k} (Y)	Force (x)	Force (y)	Story Shear (x)	Story Shear (y)
4	1.88518 6	4000	67302.4	67302.4	495.1	495.1	495.1	495.1
3	1.94408 3	4000	69405.1	69405.1	510.6	510.6	1005.8	1005.8
2	1.95858 8	4000	69922.9	69922.9	514.4	514.4	1520.2	1520.2
1	1.96030 8	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

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, untuk Model 1.

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

Tabel L.12: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1, R = 8, untuk Model 2.

Struktur <i>Fixed Base</i>			
Lantai Ke-	Story Shear (V) (kg)	Base Shear (V) (kg)	Cek 35% V Base Shear < Story Shear V
4	17802.35	415.9638415	OK
3	19659.04	415.9638415	OK
2	21896.19	415.9638415	OK
1	24387.87	415.9638415	OK

L.6. Nilai Simpangan Gedung

Tabel L.13: Hasil analisa nilai Simpangan Gedung pada (Model 1).

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift			Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y			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 (Model 1).

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

Tabel L.16: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah Y (Model 1).

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

L.8. Pengaruh Efek P-Delta

Tabel L.19: Hasil analisa P-Delta struktur Model 1 (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						
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)		(mm)	θ_X			
4	0.941	0.083	332.6	776.3	721	4000	0.0000	0.0000	0.1	0.1	OK

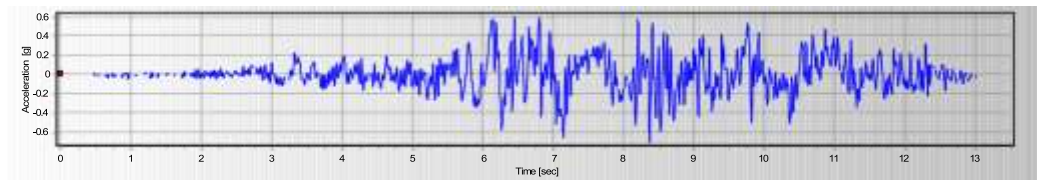
Tabel L.19: *lanjutan*

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						
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)	(mm)	θ_X	θ_Y			
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	10465.3	1387.3	1,426	4000	0.0031	0.0002	0.1	0.1	OK
1	0.528	0.039	14059.4.2	1640.0	1,640	4600	0.0018	0.0001	0.1	0.1	OK

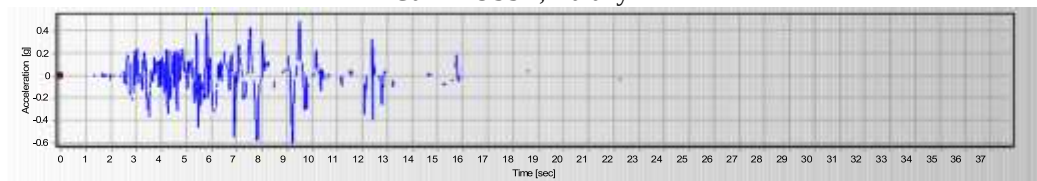
L.9 Rekaman Gempa

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

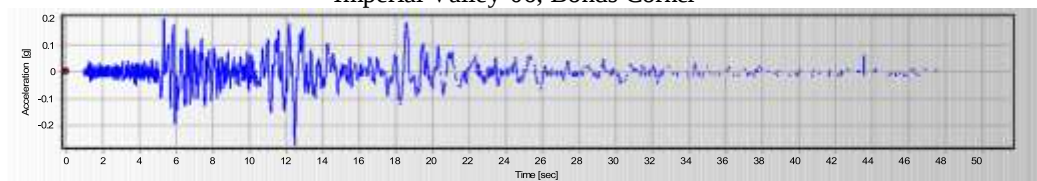
a. Rekaman gempa tanpa mengandung efek *pulse*



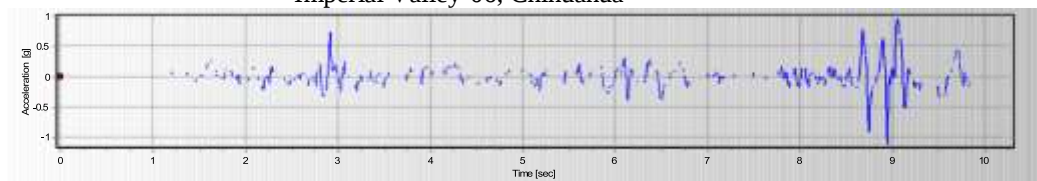
Gazli - USSR, Karakyr



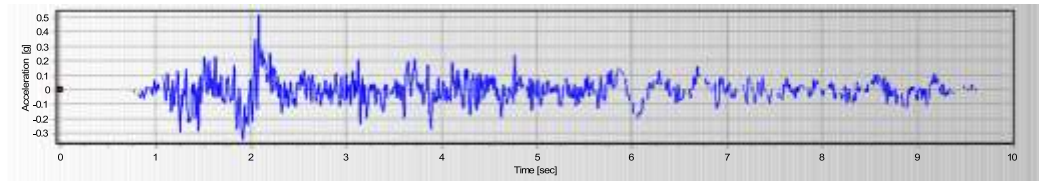
Imperial Valley-06, Bonds Corner



Imperial Valley-06, Chihuahua

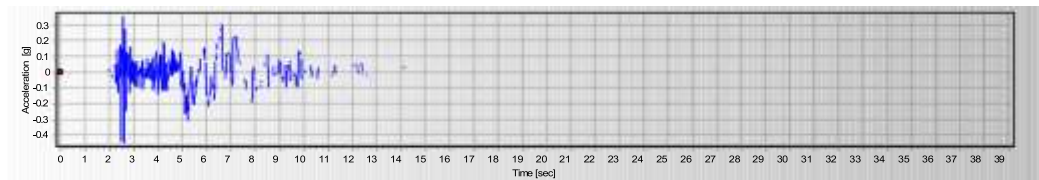


Nahanni - Canada, Site 1

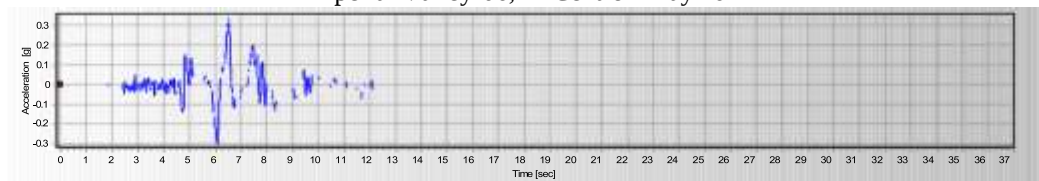


Nahanni - Canada, Site 2

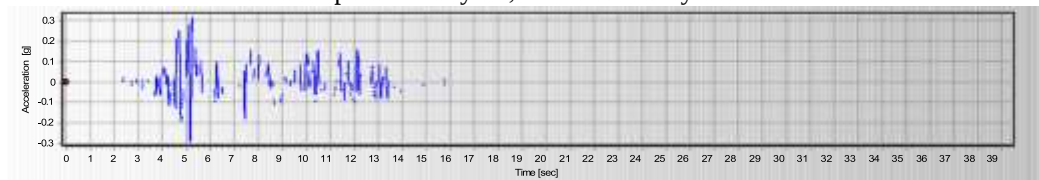
b. Rekaman gempa mengandung efek *pulse*



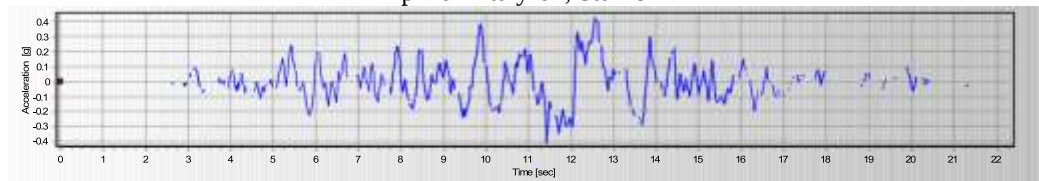
Imperial Valley-06, El Centro Array #6



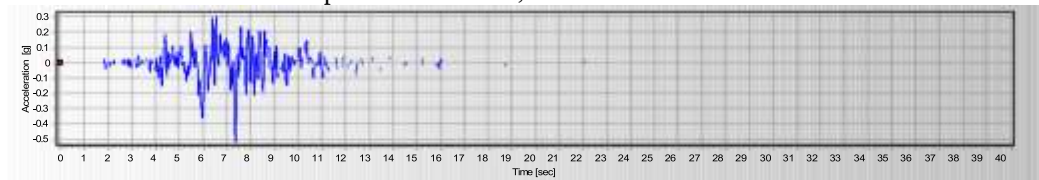
Imperial Valley-06, El Centro Array #7



Irpinia - Italy-01, Sturno

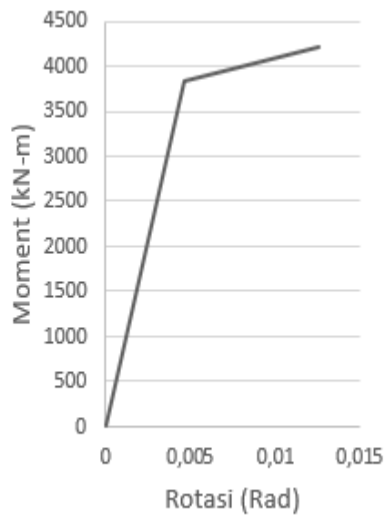
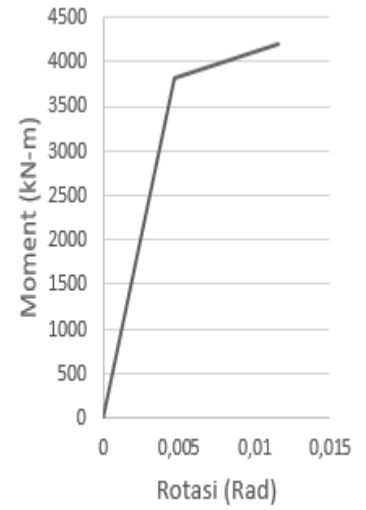
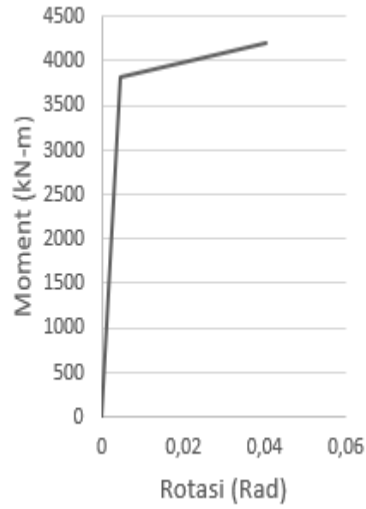
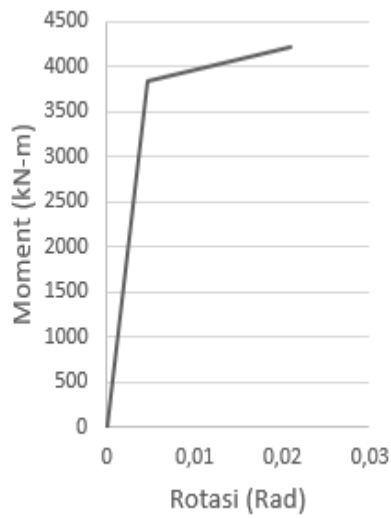


Superstition Hills-02, Parachute Test Site

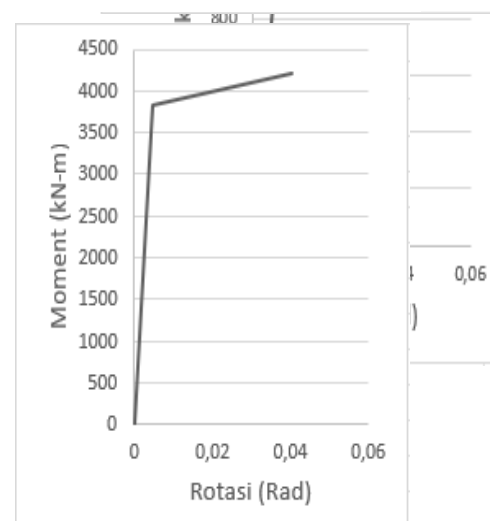
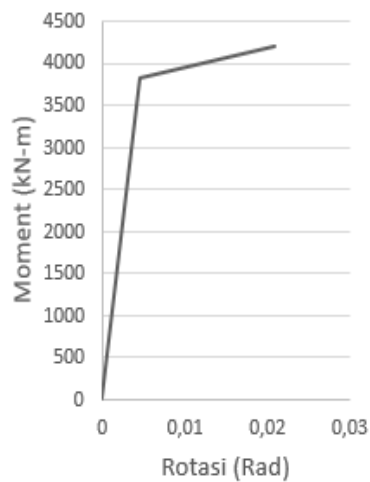
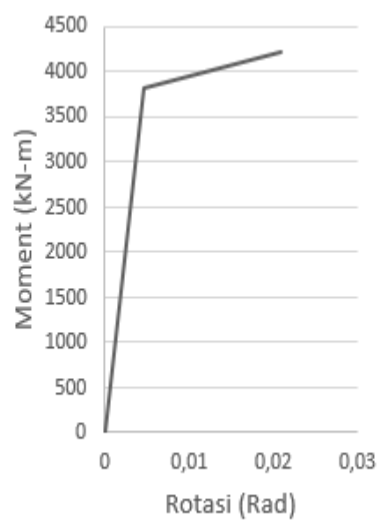
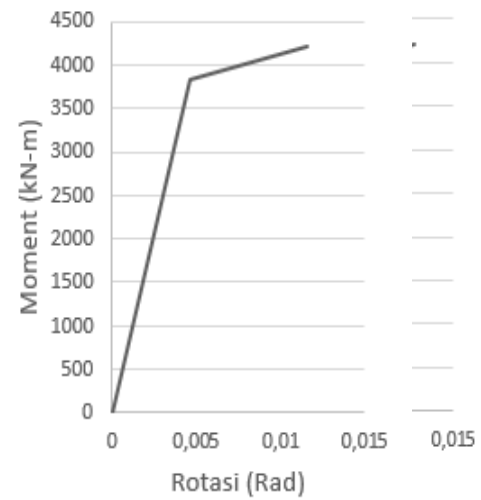
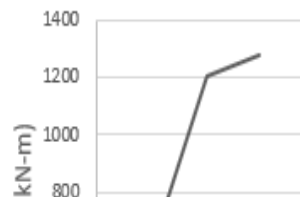


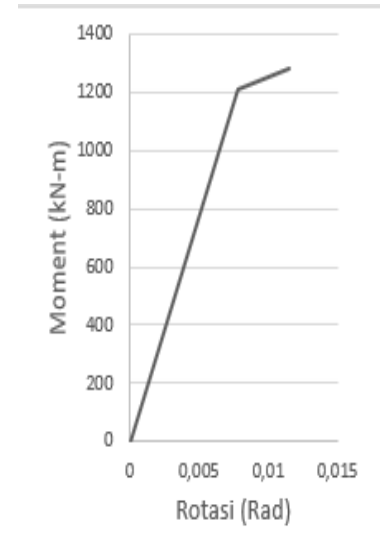
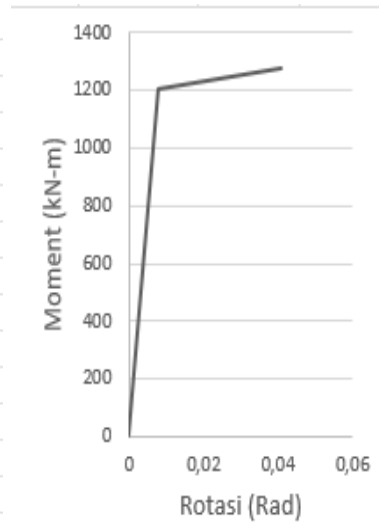
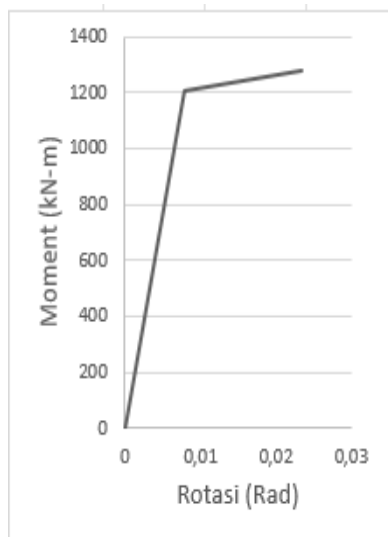
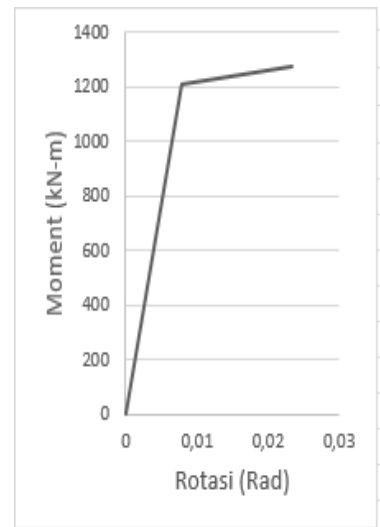
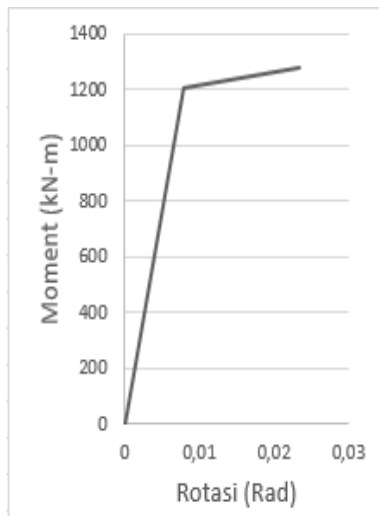
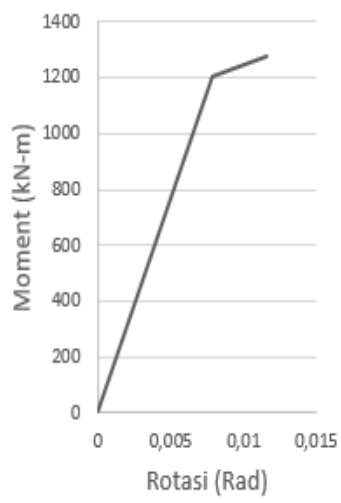
Loma Prieta, Saratoga-Aloha

L.10 Grafik Histeresis Daktilitas di Kolom



L.11 Grafik Histeresis Daktilitas di Balok





DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Ryan Rinaldy
Tempat, Tanggal Lahir : Takengon, 11 Juni 2002
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Kewarganegaraan : Indonesia
Agama : Islam
Alamat : Jl. Lukup Badak. Desa Simpang Kelaping,
Kec. Pegasing, Kota Takengon, Aceh Tengah.
Telepon : 0822-8177-0950
Email : ryan.rinaldy110@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

SD Negeri 9 Lut Tawar	Tahun Lulus 2014
SMP Negeri 1 Takengon	Tahun Lulus 2017
SMA Negeri 4 Takengon	Tahun Lulus 2020
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2020 - Selesai