

TUGAS AKHIR

**RASIO SIMPANGAN SISA PADA STRUKTUR
BAJA RANGKA BERBRESING AKIBAT GEMPA**
(Studi Literatur)

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

Disusun Oleh:

AFIF IRMAN TAMBUNAN
2007210078



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024**

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Afif Irman Tambunan
NPM : 2007210078
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Rasio Simpangan Sisa pada Struktur Baja Rangka
Berbresing Akibat Gempa
Bidang Ilmu : Struktur

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

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 03 September 2024

Dosen Pembimbing


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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Afif Irman Tambunan
NPM : 2007210078
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Rasio Simpangan Sisa pada Struktur Baja Rangka Berbresing
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, 03 September 2024

Mengetahui dan Menyetujui:


Dosen Pembimbing



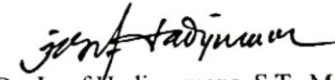
Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc, Ph.D.

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Tondi Amriyana Putera, S.T., M.T.



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

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Afif Irman Tambunan

NPM : 2007210078

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Rasio Simpangan Sisa pada Struktur Baja Rangka Berbresing
Akibat Gempa

Bidang Ilmu : Struktur

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

“Rasio Simpangan Sisa pada Struktur Baja Rangka Berbresing Akibat Gempa”.

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

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

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

Medan, 03 September 2024

Saya yang menyatakan,

A yellow revenue stamp from the Indonesian government, featuring the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA' and 'METERAI TEMPORER'. The stamp has a serial number '328ALX392084158' and is signed with a cursive signature in black ink.

Afif Irman Tambunan

NPM: 2007210078

ABSTRAK

RASIO SIMPANGAN SISA PADA STRUKTUR BAJA RANGKA BERBRESING AKIBAT GEMPA (STUDI LITERATUR)

Afif Irman Tambunan

2007210078

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

Karena berada di antara tiga lempeng besar dunia yang aktif, Indonesia menjadi salah satu wilayah yang rawan terhadap gempa bumi. Secara umum, gerakan tanah akibat gempa terdiri dari gerakan tanah akibat gempa dekat dan gerakan tanah akibat gempa jauh. Gerakan tanah akibat gempa dekat terjadi di jarak terdekat, sekitar 15 kilometer di bawah permukaan tanah, dan memiliki efek pulse dan juga gerakan tanah akibat gempa dekat yang tidak memiliki efek pulse. Hal ini dapat menyebabkan perpindahan pada elemen struktur utama dan membuat bangunan mengalami simpangan sehingga bisa didapat nilai simpangan sisa pada bangunan tersebut. Oleh karena itu, struktur baja harus direncanakan menggunakan struktur baja dengan sistem yang tahan terhadap gempa bumi. Pada tugas akhir ini menggunakan satu lokasi untuk merencanakan gempa, yaitu Kota Makasar. Menggunakan sistem Rangka Berbresing Konsentrik untuk model 1 yaitu 2 lantai dan model 2 yaitu 3 lantai. Menggunakan spesifikasi material dan dimensi struktur berbeda-beda. Model 1 memiliki tinggi 6,096 m (2 lantai), Model 2 memiliki tinggi 13,71 m (3 lantai), Untuk analisis ini menggunakan Respon Spektrum sebagai tahap desain dan Respon Riwayat Waktu Linear dan Nonlinear sebagai tahap untuk melakukan evaluasi, menggunakan perangkat lunak tambahan yaitu *software* ETABS versi 16 dan OPENSEES. Pada struktur bangunan akan dikenakan respon gempa. Hasilnya menunjukkan nilai simpangan sisa pada lantai atap memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai simpangan sisa di lantai dasar pada Model 1 dan Model 2. Kemudian gerakan tanah pada setiap batas kondisi IO, LS, dan Collapse pada model 1 lebih besar dibanding Model 2, sedangkan batas CP pada model 2 lebih besar dibanding model 1.

Kata kunci: Gempa bumi, SRBK, Simpangan sisa.

ABSTRACT

RESIDUAL DRIFT RATIO IN BRACED STEEL FRAME STRUCTURES DUE TO EARTHQUAKE (STUDI LITERATUR)

Afif Irman Tambunan

2007210078

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

Because it is located between three major active world plates, Indonesia is an area that is prone to earthquakes. In general, ground motion due to earthquakes consists of ground motion due to near earthquakes and ground motion due to far earthquakes. Ground motion due to near earthquakes occurs at the closest distance, about 15 kilometers below the ground surface, and has a pulse effect and also ground motion due to near earthquakes that do not have a pulse effect. This can cause permanent deformation of the main structural elements and cause the building to experience deviation so that the residual deviation value can be obtained in the building. Therefore, steel structures must be planned using steel structures with earthquake-resistant systems. This final project uses one location to plan earthquakes, namely Makassar City. The Concentric Bracing Frame System uses model 1, which is 2 floors and model 2, which is 3 floors. Using different material specifications and structural dimensions. Model 1 has a height of 6.096 m (2 floors), Model 2 has a height of 13.71 m (3 floors), For this analysis using Spectrum Response as the design stage and Linear and Nonlinear Time History Response as the stage to conduct the evaluation, using additional software, namely ETABS software version 16 and OPENSEES. The building structure will be subjected to an earthquake response. The results show that the residual drift value on the roof floor has a greater value than the residual drift value on the ground floor in Model 1 and Model 2. Then the ground motion at each IO, LS, and Collapse condition boundary in model 1 is greater than Model 2, while the CP boundary in model 2 is greater than model 1.

Keywords: Earthquake, SRBK, Residual drift.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Rasio Simpangan Sisa Pada Struktur Baja Rangka Berbresing Akibat Gempa” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Josef Hadipramana selaku Dosen Pembimbing II yang telah mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain S.T., M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Rizki Efrida S.T., M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

8. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Teruntuk orang tua dan keluarga saya yang sudah banyak memberikan kasih sayang dan support untuk menyelesaikan skripsi ini.
10. Kepada para Tim *Earthquake Engineering Research Group*, terutama bang Afiful Anshari S.T, Ryan, Indah, Tamara, Sheren, Fadlan, dan Cindy.
11. Teruntuk Aulia Aftika Arifin, S.Ak yang selalu menemani penulis dalam membuat tugas akhir ini.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, September 2024

Afif Irman Tambunan

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Pengertian Gempa Bumi	5
2.3 Material Baja	5
2.4 Daktilitas Material Baja	5
2.5 Baja Profil	6
2.6 Pembebanan Struktur	6
2.7 Perencanaan Bangunan Gempa Berdasarkan SNI 1726-2019	6
2.7.1 Gempa Rencana dan Faktor Keutamaan	7
2.7.2 Klasifikasi Situs dan Parameter	9
2.7.3 Parameter Percepatan Gempa	10
2.7.4 Struktur Penahan Beban Gempa	10

2.7.5	Perioda Alami Struktur	10
2.8	Sistem Rangka Berbresing Konsentris (SRBK)	14
2.9	Simpangan (<i>Drift</i>) Akibat Gaya Gempa	14
2.9.1	Simpangan Sisa (<i>Residual Drift</i>) Akibat Gaya Gempa	15
2.10	<i>Incremental Dynamic Analysis</i>	16
BAB 3	METODE PENELITIAN	17
3.1	Metodologi Penelitian	17
3.2	Umum	18
3.3	Pemodelan Struktur	18
3.4	Dimensi Balok Kolom	21
3.5	Analisa Dinamik Struktur Linier	21
3.5.1	Pembebanan	21
3.5.2	Kombinasi Pembebanan	21
3.5.3	Respon Spektrum Desain	21
3.5.4	Analisis Respon Spektrum Ragam	21
3.6	Analisa Dinamik Struktur Nonlinier	21
3.6.1	<i>GroundMotion</i> Records (Data Rekaman Gempa)	22
3.6.2	Metode Modifikasi Gerakan Tanah	24
3.6.3	Analisis Ragam Spektrum Respons	24
3.6.4	Analisis Riwayat Waktu	24
3.6.5	<i>Incremental Dynamic Analysis</i> (IDA)	25
3.7	Simpangan Sisa (<i>Residual Drift</i>)	27
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1	Hasil Model Linier Dan Non Linier	29
4.2	Hasil Analisa Linier	29
4.2.1	Respon Spektrum Ragam	29
4.2.2	Koreksi Gempa Dasar Nominal	30
4.2.3	Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	30
4.2.4	Nilai Simpangan Antar Lantai	31
4.2.5	Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak	31
4.2.6	Pengaruh Efek P-Delta	31
4.3	Hasil Analisa Non Linier	32

4.3.1	Incremental Dynamic Analysis	32
4.3.2	Simpangan Sisa	36
4.3.3	Interstorydrift Ratio (IDR)	41
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019.	7
Tabel 2.2: Faktor Keutamaan Gempa.	9
Tabel 2.3: Klasifikasi Situs Berdasarkan SNI 1726:2019.	10
Tabel 2.4: Koefisien Situs F_a .	11
Tabel 2.5: Koefisien Situs F_v .	12
Tabel 2.6: Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x berdasarkan SNI 1726:2019.	13
Tabel 3.1: Komponen struktural bangunan.	21
Tabel 3.2: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai $\rho=1$, $SDS = 0.236$	22
Tabel 3.3: Data Rekaman Gempa.	23
Tabel L.1 : Kontrol perioda getar alami struktur Model 1	53
Tabel L.2: Kontrol perioda getar alami struktur Model 2	53
Tabel L.3: Hasil output Modal Participating Mass Ratios struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 1).	54
Tabel L.4: Hasil selisih presentase nilai perioda (Model 1).	54
Tabel L.5: Hasil output Modal Participating Mass Ratios struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 2).	54
Tabel L.6 : Hasil Selisih Presentase Nilai Perioda (Model 2).	55
Tabel L.7: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur.	56
Tabel L.8: : Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur.	56
Tabel L.9: Nilai C_s yang digunakan untuk Model 1 ($R=6$)	57
Tabel L.10: Nilai story shear untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 1.	58
Tabel L.11: Nilai C_s yang digunakan untuk Model 1 ($R=6$).	58
Tabel L.12: Nilai story shear untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 2.	59
Tabel L.13: Hasil analisa Koreksi story shear dengan 35% base shear dengan redundansi 1, $R = 6$, untuk Model 1.	60

Tabel L.14: Hasil analisa Koreksi story shear dengan 35% base shear dengan redundansi 1, R = 6, untuk Model 2.	60
Tabel L.15: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk Model 1.	61
Tabel L.16: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk Model 2.	61
Tabel L.17: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah Y (Model 1).	62
Tabel L.18: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah Y (Model 2).	62
Tabel L. 19: Hasil analisa P-Delta struktur Model 1 (R-6).	63
Tabel L. 20: Hasil analisa P-Delta struktur Model 2 (R-6).	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Gambar Simpangan Sisa pada Bangunan.	15
Gambar 2.2: Grafik simpangan sisa.	16
Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.	17
Gambar 3.2: Denah rencana model 1.	19
Gambar 3.3: Denah rencana model 2.	20
Gambar 3.4: Denah elevasi model 1.	20
Gambar 3.5: Denah elevasi model 2.	20
Gambar 3.6: Rekaman Gempa Imperial Valley-06 sebelum diubah menjadi respon spektrum.	25
Gambar 3.7: Rekaman Gempa Imperial Valley setelah diubah menjadi respon spektrum.	25
Gambar 3.8: Penentuan Collapse Prevention pada kurva IDA	26
Gambar 3.9: Kondisi Batas (Limit State) pada kurva IDA.	27
Gambar 3.10: Grafik simpangan sisa atap.	28
Gambar 4.1: Gambar struktur ketika berada di kondisi (IO).	33
Gambar 4.2: Gambar struktur dalam keadaan Life Safety (LS).	33
Gambar 4.3: Gambar Struktur dalam keadaan Collapse Prevention (CP).	34
Gambar 4.4: Gambar struktur ketika dalam keadaan Collapse atau runtuh.	34
Gambar 4.5: Menunjukkan kondisi batas IO, LS, CP dan Collapse untuk SRBK model 1 akibat sejumlah gerakan tanah.	35
Gambar 4.6: Menunjukkan Kondisi batas IO, LS, CP, dan Collapse untuk SRBK model 2 akibat sejumlah gerakan tanah.	35
Gambar 4.7: Grafik simpangan sisa pada model 1 (lantai dasar).	36
Gambar 4.8: Grafik simpangan sisa pada model 1 (atap).	37
Gambar 4.9: Grafik simpangan sisa pada model 2 (lantai dasar).	38
Gambar 4.10: Grafik simpangan sisa pada model 2 (atap).	39
Gambar 4.11: Rasio Story Drift model 1 menggunakan rekaman Northridge-01R.	41
Gambar 4.12: Rasio Story Drift model 1 menggunakan rekaman Imperial Valley#7.	42

Gambar 4.13: Rasio Story Drift model 2 menggunakan rekaman gempa Erizcan - Turkey.	43
Gambar 4.14: Rasio Story Drift model 2 menggunakan rekaman Imperial-Valley-07.	43
Gambar L.1: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Imperial Valley #06.	66
Gambar L.2: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Imperial Valley #07.	67
Gambar L.3: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Irphina, Italy.	67
Gambar L.4: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Loma Prieta.	68
Gambar L.5: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Erizcan, Turkey.	68
Gambar L.6: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Cape Mendocino.	69
Gambar L.7: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Landers.	69
Gambar L.8: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Northridge-01R.	70
Gambar L.9: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Northridge-01S.	70
Gambar L.10: Grafik Simpangan Sisa pada kondisi IO pada semua gempa untuk model 1 (Atap).	71
Gambar L.11: Grafik Simpangan Sisa pada kondisi LS pada semua gempa untuk model 1 (Atap).	71
Gambar L.12: Grafik Simpangan Sisa pada kondisi CP pada semua gempa untuk model 1 (Atap).	72
Gambar L.13: Grafik Simpangan Sisa pada kondisi Collapse pada semua gempa untuk model 1 (Atap).	72
Gambar L.14: Grafik simpangan sisa untuk kondisi IO pada model 2 akibat gempa di lantai dasar.	73
Gambar L.15: Grafik simpangan sisa untuk kondisi LS pada model 2 akibat gempa di lantai dasar.	74

Gambar L.16: Grafilk simpangan sisa untuk kondisi CP pada model 2 akibat gempa di lantai dasar.	75
Gambar L.17: Grafilk simpangan sisa untuk kondisi Collapse pada model 2 akibat gempa di lantai dasar.	76
Gambar L.18: Grafilk simpangan sisa untuk kondisi IO pada model 2 akibat gempa di lantai atap.	77
Gambar L.19: Grafilk simpangan sisa untuk kondisi LS pada model 2 akibat gempa di lantai atap.	78
Gambar L. 20: Grafilk simpangan sisa untuk kondisi CP pada model 2 akibat gempa di lantai atap.	79
Gambar L.21: Grafilk simpangan sisa untuk kondisi Collapse pada model 2 akibat gempa di lantai atap.	80

DAFTAR NOTASI

DL	=	Beban mati, termasuk SIDL
E	=	Modulus elastisitas
E_x	=	Beban gempa arah x
E_y	=	Beban gempa arah y
F	=	Frekuensi Struktur
F_a	=	Koefisien perioda pendek
F_v	=	Koefisien perioda 1,0 detik
C_d	=	Faktor kuat lebih sistem
I	=	Momen Inersia kolom/balok
I_e	=	Faktor keutamaan gempa
ω	=	Kecepatan sudut
k	=	Kekakuan struktur
l	=	Panjang kolom/balok
LL	=	Beban hidup
R	=	Faktor koefisien modifikasi respon
S_S	=	Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda pendek 0,2 detik di batuan dasar (SB) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2016
S_I	=	Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda 1,0 detik di batuan dasar (SB) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2016
SDS	=	Respon spektrum percepatan respon desain untuk perioda pendek
SDI	=	Respon spektrum percepatan desain untuk perioda 1,0 detik Nilai batas bawah perioda bangunan
T_a	=	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 pada saat leleh
ϵ	=	Total tegangan yang terjadi
ϵ_y	=	Tegangan pada saat leleh
μ_p	=	Lendutan pada titik plastis
μ_y	=	Lendutan pada titik leleh
ϕ_m	=	Lengkungan maksimum yang akan timbul
ϕ_y	=	Lengkungan pada saat leleh
θ_u	=	Rotasi pada batas ultimit
θ_y	=	Rotasi pada batas leleh
θ	=	Koefisien rotasi <i>post-capping</i>
θ	=	Koefisien rotasi plastis
Ω	=	Faktor pembesaran defleksi
ρ	=	Faktor reduksi

DAFTAR SINGKATAN

CP	= <i>Collapse Prevention</i>
CQC	= <i>Complete Quadratic Combination</i>
IDA	= <i>Incremental Dynamic Analysis</i>
IDR	= <i>Interstorydrift Ratio</i>
IO	= <i>Immediate Occupation</i>
LS	= <i>Limited Safety</i>
PEER	= <i>Pacific Earthquake Engineering Research</i>
PPURG	= <i>Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung</i>
RIDR	= <i>Residual Interstory Drift Ratio</i>
RSA	= <i>Respon Spektrum Akselerasi</i>
SRBK	= <i>Sistem Rangka Berbresing Konsentrik</i>
SRSS	= <i>Square Root of the Sum of Square</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah Indonesia berada di daerah yang mempunyai tingkat resiko gempa yang cukup tinggi diantara beberapa daerah gempa diseluruh dunia. Itu dikarenakan letak geografis wilayah Indonesia yang berada pada perbenturan tiga lempeng tektonik dunia yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia (Mustafa, 2010). Ada beberapa macam mekanisme gempa yang terjadi di Indonesia seperti: horizontal (strike-slip), normal dan terbalik (reverse). Dari mekanisme gempa ini bisa menyebabkan gempa dekat (< 15 km dari sumber gempa) dan juga menyebabkan gempa jauh dari lokasi.

Dengan kondisi geografis yang ada di Indonesia, maka pembangunan gedung menggunakan material baja sangat dianjurkan dibandingkan dengan menggunakan material beton (Siswanto & Salim, 2018). Oleh sebab itu dibutuhkan sistem penahan beban gempa yang terjadi, pada struktur baja untuk mengurangi beban lateral dan meningkatkan kestabilan struktur, maka struktur dilengkapi dengan pengaku atau bresing. Menurut SNI 1726:2019, rangka bresing adalah suatu rangka batang arah vertikal, atau yang setara dengan jenis konsentris dan eksentris, yang terdapat pada sistem rangka bangunan atau sistem ganda untuk menahan gaya lateral gempa. Penambahan bresing pada struktur akan meningkatkan kekakuan, hal ini disebabkan penggunaan bresing akan memperpendek jarak balok atau kolom sehingga struktur menjadi lebih kaku (Affandi, 2020).

Dari berbagai macam sistem struktur pada SNI 1726:2019, salah satu jenisnya adalah Struktur Baja Sistem Rangka Berbresing Konsentrik. Bresing konsentrik adalah suatu sistem dimana keunggulan yang dimiliki antara lain, bisa membuat suatu elemen struktur bisa menjadi lebih kaku dan dilihat dari pemasangan, serta perbaikan ketika suatu struktur mengalami kerusakan, struktur SRBK (sistem rangka berbresing konsentrik) relatif lebih mudah (Sutriono dkk, 2021). Di antara struktur baja tahan gempa, bresing konsentris banyak digunakan

pada bangunan bertingkat rendah dan menengah. Mereka mudah dirancang, dibuat, dan dibuat. Selain itu, konstruksi ini layak secara ekonomi karena memanfaatkan ketahanan aksial dan kekakuan diagonal untuk dengan mudah memenuhi persyaratan ketahanan terhadap aksi horizontal dan menahan pergeseran lantai akibat angin dan kejadian seismik yang sering terjadi (Todisco dkk, 2023) Pada SRBK terdapat bresing, dimana elemen ini berfungsi sebagai disipator energi gempa sekaligus memberikan tambahan kekakuan (Haiqal, dkk 2022).

Gempa bumi ini mengalami deformasi inelastis yang signifikan pada komponen struktur utama dan menghasilkan nilai simpangan sisa. Simpangan sisa adalah sisa dari pergeseran pada suatu struktur yang terjadi setelah eksitasi seismik dan disebabkan oleh struktur nonlinear karena terdapat bagian yang meleleh dalam sistem. Penelitian telah menunjukkan bahwa perlu untuk mempertimbangkan simpangan sisa ini untuk sepenuhnya mengkarakterisasi kinerja sistem struktural setelah eksitasi seismik dan potensi kerusakan yang diderita pada bangunan (Christopoulos dkk, 2004). Eksitasi seismik merupakan gaya atau beban dinamis yang dihasilkan oleh gempa bumi dan diterapkan pada struktur bangunan. Eksitasi ini dapat menyebabkan getaran dan deformasi pada bangunan, yang perlu dianalisis untuk memastikan keamanan dan stabilitas struktur. Untuk menggambarkan kinerja sistem struktur setelah terjadi eksitasi seismik dan ada potensi kerusakan yang terjadi pada sistem, maka penelitian ini menunjukkan bahwa simpangan sisa ini harus dipertimbangkan. Dalam metodologi penilaian berbasis kinerja yang baru-baru ini diusulkan di Amerika Serikat (FEMA 356), kinerja struktural diperkirakan menggunakan tuntutan simpangan puncak (misalnya perpindahan atap puncak, rasio penyimpangan antar lantai puncak, tuntutan rotasi puncak plastis.). Namun selain simpangan puncak, simpangan sisa juga memiliki peran penting dalam menentukan kinerja serta konsekuensi yang penting pada suatu struktur. Secara khusus, simpangan sisa sangat penting dalam menentukan kelayakan teknis dan ekonomis perbaikan struktur yang rusak. Mengenal rasio simpangan sisa dari sistem struktur rangka baja bresing akibat pengaruh gempa masih perlu banyak dilakukan, terutama dari perilaku rangka bresing dan sambungannya terhadap berbagai jenis gempa. Sampai sejauh ini, pengaruh gempa dekat terhadap perilaku

nonlinear bresing dan rasio simpangan sisa pada sistem struktur rangka baja berbresing konsentris belum banyak dibahas.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perilaku simpangan sisa antar tingkat yang disebabkan oleh gempa pada struktur baja rangka berbresing ?
2. Bagaimana perilaku simpangan sisa pada lantai atap yang disebabkan oleh gempa pada struktur baja rangka berbresing ?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui dan membandingkan perilaku simpangan sisa antar tingkat pada struktur baja rangka berbresing akibat gempa.
2. Untuk mengetahui perilaku simpangan sisa pada lantai atap pada struktur baja rangka berbresing akibat gempa.

1.4 Batasan Masalah

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

1. Struktur bangunan yang direncanakan merupakan:
 - Struktur baja dengan sistem rangka berbresing pada 2 dan 3 lantai yang difungsikan sebagai gedung perkantoran.
 - Struktur dianalisis dalam kondisi linear dan nonlinear untuk mendapatkan hasil simpangan sisa.
2. Analisis menggunakan alat bantu berupa program, yaitu:
 - PEER NGA, COSMOS untuk mendapatkan rekaman gempa.
 - SEISMOLLEE, untuk mengubah *groundmotion* menjadi respon spektrum.
 - MATLAB versi R2014a, untuk menskalakan *groundmotion*.
 - OpenSees, untuk menganalisa tahap evaluasi (Analisa Riwayat Waktu Nonlinear) yang hanya ditinjau secara 2 dimensi.
3. Parameter yang ditinjau:
 - Simpangan sisa yang terjadi pada gedung dalam keadaan linear dan nonlinear akibat gempa.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil pemodelan pada bangunan menggunakan struktur baja berbresing konsentris. Maka, diharapkan tugas akhir ini bisa bermanfaat untuk saya sendiri dalam membuat pemodelan struktur baja berbresing konsentris.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan pada tugas akhir ini sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan penjelasan mengenai mekanisme gempa, konsep perencanaan struktur bangunan baja, analisa struktur baja berbresing konsentris dan konsep pemodelan bangunan tahan gempa.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini menampilkan bagaimana metode penelitian yang digunakan dari awal sampai akhir penelitian dan penjelasan mengenai cara memodelkan dan mendesain struktur bangunan baja dengan Struktur Baja Berbresing Konsentris terhadap gempa yang terjadi dengan menggunakan Program Analisa Struktur.

BAB 4 HASIL PEMBAHASAN

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai perhitungan, analisis pemodelan bentuk gambar, grafik atau tabel serta pembahasannya.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan penulisan Tugas Akhir ini dan saran-saran yang dapat diterima penulis agar lebih baik lagi kedepannya

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

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

2.2 Pengertian Gempa Bumi

Gempa bumi (*earthquake*) adalah suatu gejala fisik yang ditandai dengan bergetarnya bumi dengan berbagai intensitas (Siswanto dan Salim, 2018). Gerakan atau getaran tanah yang terjadi akibat gempa disebabkan oleh terlepasnya timbunan energi yang tersimpan di dalam bumi secara tiba-tiba.

Getaran gempa juga dapat diakibatkan oleh peristiwa tektonik yaitu getaran tanah yang disebabkan oleh gerakan atau benturan antara lempeng-lempeng tektonik yang terdapat di dalam lapisan permukaan bumi. Gempa yang terjadi akibat aktivitas tektonik disebut juga gempa tektonik.

2.3 Material Baja

Baja adalah logam campuran yang terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C). Jadi baja berbeda dengan besi (Fe), aluminium (Al), seng (Zn), tembaga (Cu) dan titanium (Ti) yang merupakan logam murni. Kandungan karbon berkisar antara 0,2 – 2,1% dari berat baja, tergantung tingkatannya. Secara sederhana, fungsi karbon adalah meningkatkan kualitas baja, yaitu daya tariknya (*tensile strength*) dan tingkat kekerasannya (*hardness*).

2.4 Daktilitas Material Baja

Sifat daktil sangat identik dengan material baja yang dapat ditunjukkan oleh besarnya perbandingan atau rasio antara tegangan leleh (f_y) dengan tegangan

batasnya (f_u). Semakin besar nilai rasio antara (f_y) dan (f_u) maka akan semakin tinggi sifat daktilitas dari suatu material.

2.5 Baja Profil

Baja profil yaitu baja berupa batangan (lonjoran) dengan penampang berprofil dengan bentuk tertentu dengan panjang pada umumnya 6 meter. Terdapat berbagai jenis profil baja yang digunakan dalam konstruksi. Diantaranya yaitu, profil WF (*Wide Flange*) dan profil HSS (*Hollow Structural Section*). Profil Wide Flange adalah profil berpenampang H atau I yang dihasilkan dari proses canai panas. Sedangkan, profil HSS adalah penampang pipa panjang yang memiliki rongga berbentuk segi empat.

2.6 Pembebanan Struktur

Menurut Akbar dkk. (2017), Sering kali beban yang terjadi diluar dugaan sehingga diperlukan adanya pendekatan dengan asumsi mendekati beban yang sebenarnya. Beberapa jenis beban yang digunakan dalam bangunan gedung meliputi beban gravitasi dan beban akibat gempa yaitu:

1. Beban Gravitasi meliputi :
 - a) Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang.
 - b) Beban hidup adalah Besarnya beban pada suatu bangunan dapat berubah-ubah, tergantung pada fungsi bangunan tersebut.
2. Beban gempa, yaitu semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Kombinasi beban untuk metode ultimit struktur, komponen-komponenstruktur dan elemen-elemen pondasi harus dirancang sedemikian hingga kuatrencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor. Untuk KDS D, E, dan F.
 $\rho = 1,3$.

2.7 Perencanaan Bangunan 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 03-1726-2019 yang merupakan revisi dari SNI 03-1726-2012 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.

2.7.1 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 terlewatinya besarnya 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
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I

Tabel 2.1 : *Lanjutan*

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perumahan Rumah toko dan rumah kantor • Pasar <p>Gedung perkantoran</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gedung apartemen/ Rumah susun • Pusat perbelanjaan/ Mall • Bangunan industry • Fasilitas manufaktur <p>Pabrik</p>	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipan anak • Penjara • Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Tabel 2.1: *Lanjutan*

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bangunan-bangunan monumental • Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan • Rumah ibadah • Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat <p>Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat lainnya.</p>	IV

Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV

Untuk berbagai kategori risiko 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 risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 2.2: Faktor Keutamaan Gempa.

Kategori Resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I dan II	1,0
III	1,25
IV	1,50

2.7.2 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	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 : <ul style="list-style-type: none"> • Indeks plastisitas, $PI > 20$, • Kadar air, $w \geq 40\%$, • Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa 		
<i>SF</i> (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plasitisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa 		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

2.7.3 Parameter Percepatan Gempa

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_I (percepatan batuandasar 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 MCER 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 (SMS) dan perioda 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan menggunakan Pers. (2.1) dan (2.2).

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.1)$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I \quad (2.2)$$

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_I = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda 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 .

Klasifikasi Situs (sesuai Tabel 2.)	<i>PGA</i>				
	$S_s < 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,25$	$S_s > 1,5$
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	<i>PGA</i>					
	$S_1 < 0,1$	$S_1=0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 > 0,6$
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: (a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 0.

2.7.4 Struktur Penahan Beban 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:

- Faktor koefisien modifikasi respon (R).
- Faktor kuat lebih sistem (Cd).
- Faktor pembesaran defleksi ()
- Faktor batasan tinggi sistem struktur.

2.7.5 Periode Alami Struktur

Periode adalah besarnya waktu yang diperlukan untuk mencapai satu getaran. Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan dimana frekuensi alami struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur (Budiono dan Supriatna, 2011). Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2 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 Pers. 2.3 dan Pers. 2.4.

- Periode fundamental pendekatan minimum ($T_{a \text{ minimum}}$):

$$T_{a \text{ minimum}} = C_t h_n^x \quad (2.3)$$

- Periode fundamental pendekatan maksimum ($T_{a \text{ maksimum}}$):

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u T_{a \text{ minimum}} \quad (2.4)$$

Dimana :

$T_{a \text{ minimum}}$ = Nilai batas bawah periode bangunan.

$T_{a \text{ maksimum}}$ = Nilai batas atas periode bangunan.

h_n = Ketinggian struktur dalam m di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (m).

x = Ditentukan dari Tabel 2.7

C_t = Ditentukan dari Tabel 2.7

C_u = Ditentukan dari Tabel 2.8

Tabel 2.6: Nilai parameter periode 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:		
<ul style="list-style-type: none"> • Rangka baja pemikul momen 	0,0724	0,8
<ul style="list-style-type: none"> • Rangka beton pemikul momen 	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75

2.8 Sistem Rangka Berbresing Konsentris (SRBK)

Perencanaan gedung bertingkat harus memperhatikan tingkat kerawanan gempa pada daerah tersebut sehingga dapat menentukan sistem apa yang harus digunakan (Basyira dkk,2022). SRBK adalah tipe struktur tahan gempa yang memanfaatkan bresing untuk mereduksi deformasi lateral bangunan agar kerusakan berat tidak terjadi pada bangunan (Haiqal, 2023). Melakukan penelitian tentang pengaruh konfigurasi bresing SRBK yaitu tipe V, inverted V, K, dan X melalui kajian analisis. Studi menunjukkan konfigurasi antara X dan V mengurangi efek deformasi akibat gempa serta dapat meminimalkan gaya geser dan momen yang terjadi di kolom (Naxine & Prasad, 2016). Bentuk bresing dalam rangka baja juga mempunyai pengaruh signifikan pada rangka pemikul lateral. Menurut penelitian yang dilakukan, kondisi inelastis ditandai dengan terjadinya slip pada bagian sambungan dimana kondisi bresing memikul beban melebihi kapasitas maksimum beban toleransi, hal ini menyebabkan deformasi pada bagian elemen bresing. Kondisi bresing pasca-elastik akan menunjukkan perilaku leleh secara signifikan (Wuryanti, 2008).

2.9 Simpangan (*Drift*) Akibat Gaya Gempa

Simpangan (*drift*) adalah sebagai perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau dapat dikatakan simpangan mendatar tiap-tiap tingkat bangunan (*horizontal story to story deflection*). Simpangan lateral dari suatu sistem struktur akibat beban gempa adalah sangat penting yang dilihat dari tiga pandangan yang berbeda, menurut Farzat Naeim (1989):

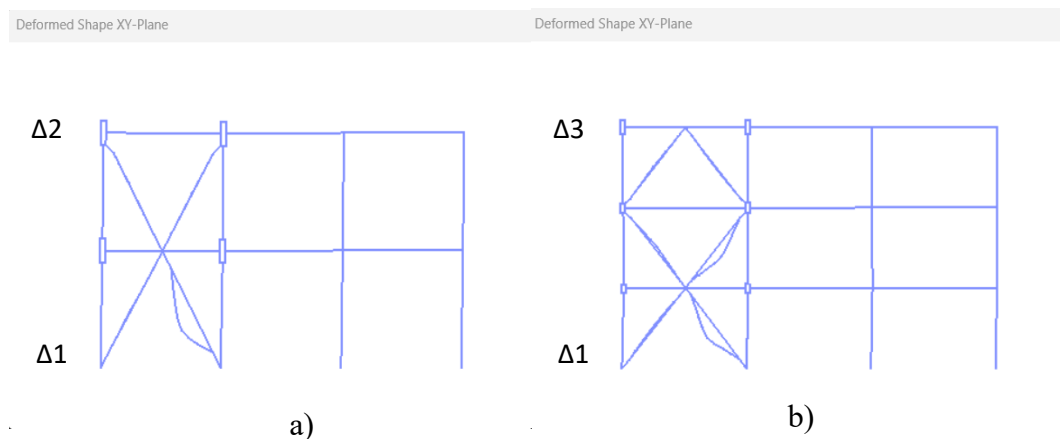
- Kestabilan struktur (*structural stability*)
- Kesempurnaan arsitektural (*architectural integrity*) dan potensi kerusakan bermacam-macam komponen non-struktur
- Kenyamanan manusia (*human comfort*), sewaktu terjadi gempa bumi dan sesudah bangunan mengalami gerakan gempa

Sementara itu Richard N. White (1987) berpendapat bahwa dalam perencanaan bangunan tinggi selalu dipengaruhi oleh pertimbangan lenturan (*deflection*), bukannya oleh kekuatan (*strength*). Simpangan antar tingkat dari suatu titik pada

suatu lantai harus ditentukan sebagai simpangan horizontal titik itu, relatif terhadap titik yang sesuai pada lantai yang berada dibawahnya. Untuk menjamin agar kenyamanan para penghuni gedung tidak terganggu maka dilakukan pembatasan-pembatasan terhadap simpangan antar tingkat pada bangunan. Pembatasan ini juga bertujuan untuk mengurangi momen-momen sekunder yang terjadi akibat penyimpangan garis kerja gaya aksial di dalam kolom-kolom (yang lebih dikenal dengan P-delta).

2.9.1 Simpangan Sisa (*Residual Drift*) Akibat Gaya Gempa

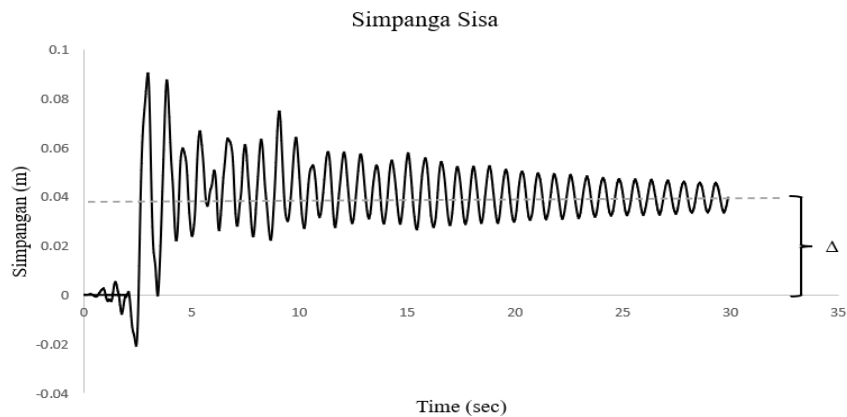
Residual drifts adalah deformasi permanen suatu struktur yang tersisa pada akhir eksitasi seismik, dan disebabkan oleh perilaku nonlinier komponen leleh dalam sistem. Penelitian telah menunjukkan bahwa perlu untuk mempertimbangkan penyimpangan sisa ini untuk sepenuhnya mengkarakterisasi kinerja sistem struktural setelah eksitasi seismik dan potensi kerusakan yang diderita sistem, (Erochko, 2011). Deformasi permanen atau plastis ini bisa terjadi ketika material bangunan mengalami stres yang melebihi batas elastisnya, sehingga menyebabkan perubahan bentuk yang tidak dapat dipulihkan.



Gambar 2.1: Gambar Simpangan Sisa pada Bangunan.

Pada gambar 2.1 dapat dilihat untuk (a) merupakan model 1 untuk mencari simpangan sisa, Δ_2 merupakan simpangan sisa di lantai atap dan Δ_1 untuk mencari simpangan sisa di lantai dasar. Gambar (b) merupakan model 2 untuk mencari nilai

simpangan sisa, Δ_3 merupakan simpangan sisa di lantai atap dan Δ_1 untuk simpangan sisa di lantai dasar.



Gambar 2.2: Grafik simpangan sisa.

Pada gambar 2.2 dapat dilihat cara membaca nilai simpangan sisa yang didapat pada bangunan tersebut.

2.10 Incremental Dynamic Analysis

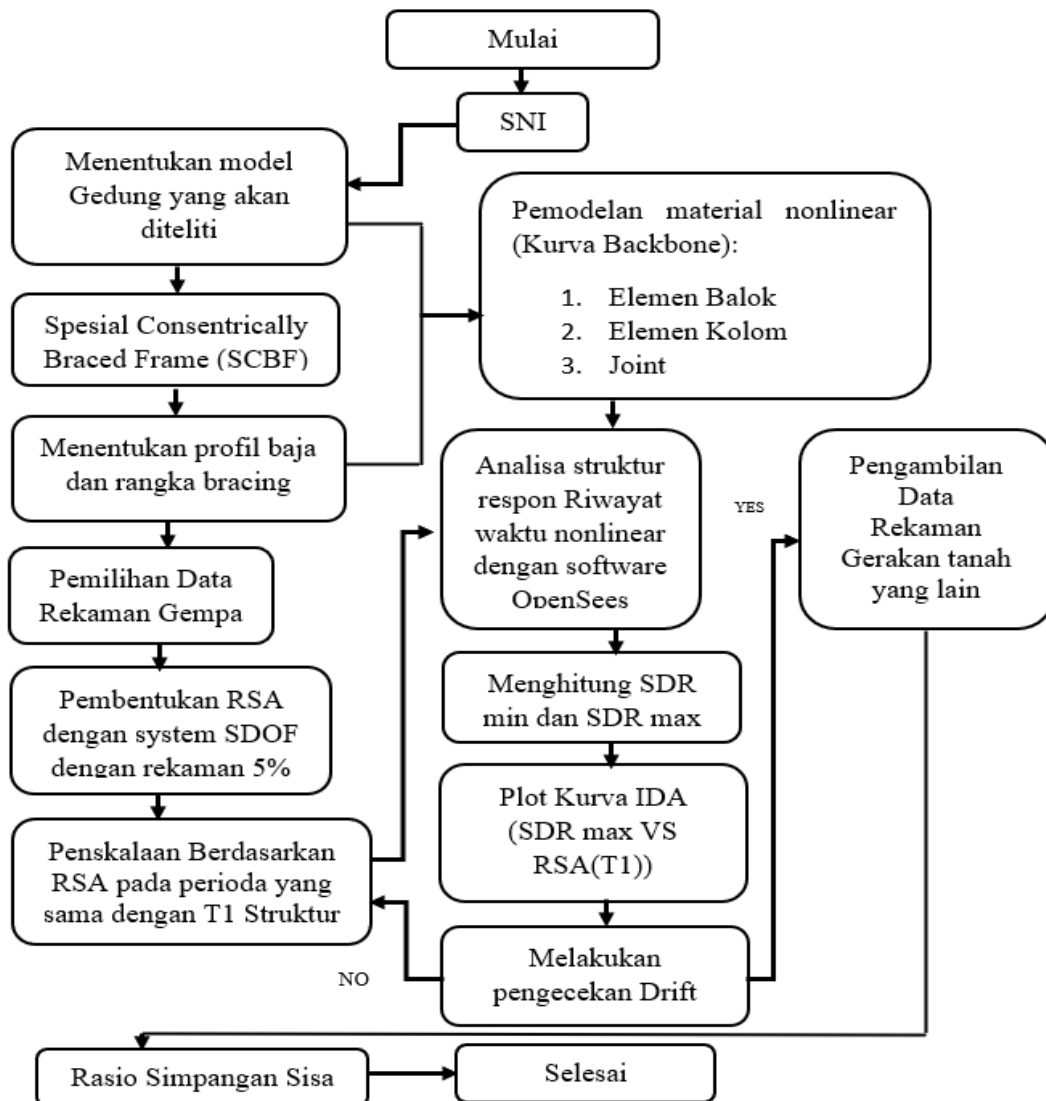
IDA merupakan analisis nonlinear menggunakan riwayat waktu adalah metode analisis yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan di bawah beban gempa yang bervariasi. Dalam IDA, model struktur dianalisis secara nonlinier menggunakan serangkaian rekaman gempa yang diskalakan ke beberapa tingkat intensitas. Tujuannya adalah untuk memaksa struktur dari kondisi elastis hingga mencapai ketidakstabilan dinamis global (Vamvatsikos dkk, 2002). IDA merupakan tahap dari evaluasi kerapuhan bangunan, seperti menevaluasi *interstorydrift* dengan berbagai tingkat intensitas seismik. Ini menjadi salah satu cara untuk memperkirakan resiko seismik dan merancang struktur agar lebih efektif terhadap gempa.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Secara umum metode penelitian yg akan dipakai adalah metode kuantitatif komparatif dengan memakai data primer yang bersumber dari hasil metode analitis. Metode penelitian yang akan dipakai ini masuk ke dalam metode penelitian terapan yang berbasis kepada studi literatur. Diagram alir langkah-langkah yg akan ditempuh dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.

Berdasarkan Gambar 3.1, dapat disimpulkan bahwa dalam Tugas Akhir ini bertujuan untuk mendapatkan hasil simpangan sisa berdasarkan dari hasil analisis bangunan linear dan nonlinear. Model bangunan tersebut dianalisis secara linear dan Non-Linear dengan menggunakan metode Analisis Respon Spektrum (*Response Spectrum Analysis*) dengan menggunakan program analisa struktur serta respon Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) dengan menggunakan *software* Open Sees.

3.2 Umum

Struktur SCBF baja yang dipilih untuk menjadi model pada studi ini adalah struktur rangka baja 2 dan 3 tingkat. Model ini pertama kali dikembangkan dan dipakai di NIST GCR 10-917-8 (NIST, 2010). Model ini juga dipakai oleh Elkady dan Lignos (2014, 2015).

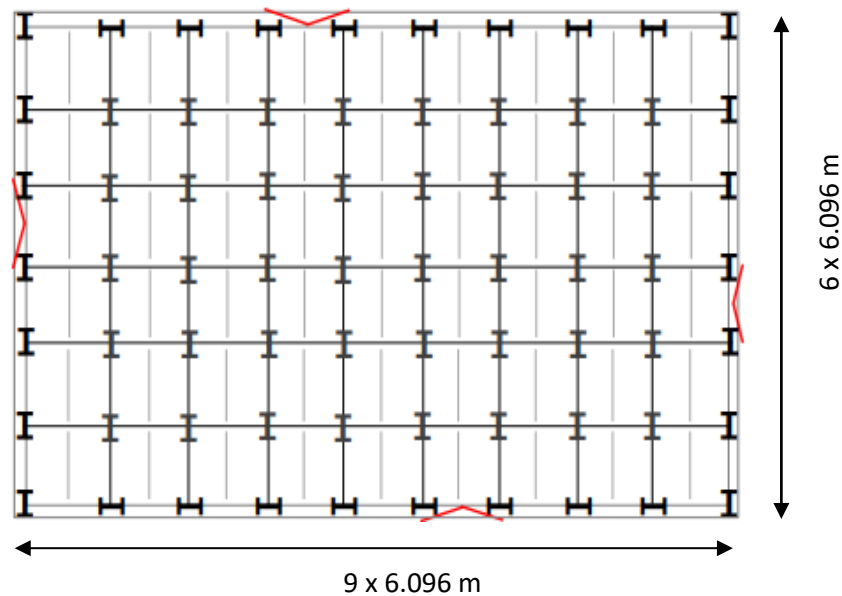
3.3 Pemodelan Struktur

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

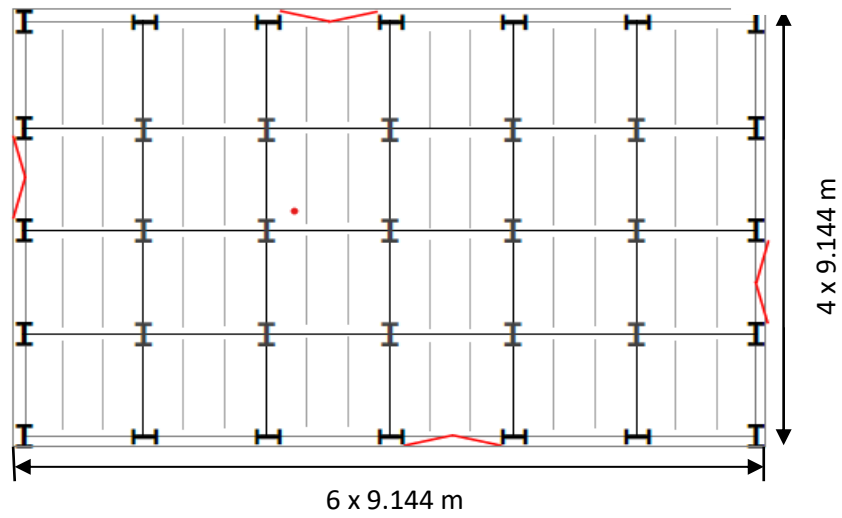
1. Jenis pemanfaatan gedung perkantoran
 - Kategori Resiko : II
 - Faktor Kepentingan : 1.0
 - Kategori Desain Seismik : Dmax
 - $R = 6$; $Cd = 5$; $\Omega_0 = 2,0$
 - $S_{DS} = 0,2368g$; $S_{D1} = 0,1774g$
 - $Fa = 1,6$; $Fv = 2,3760$
2. Klasifikasi situs tanah sedang (SD)
3. Beban Gravitasi
4. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Baja Berbresing Konsentris
5. Jenis portal struktur gedung adalah struktur baja berbresing
6. Mutu baja yang digunakan sesuai NIST GCR 10-917-8 (NIST, 2010) adalah
 - Untuk profil IWF ASTM 992 Grade 50
 - Kuat leleh minimum (f_y) : 345 Mpa

- Kuat tarik minimum (f_u) : 450 Mpa
- Untuk profil HSS ASTM 500 Grade B
 - Kuat leleh minimum (f_y) : 317 Mpa
 - Kuat tarik minimum (f_u) : 450 Mpa

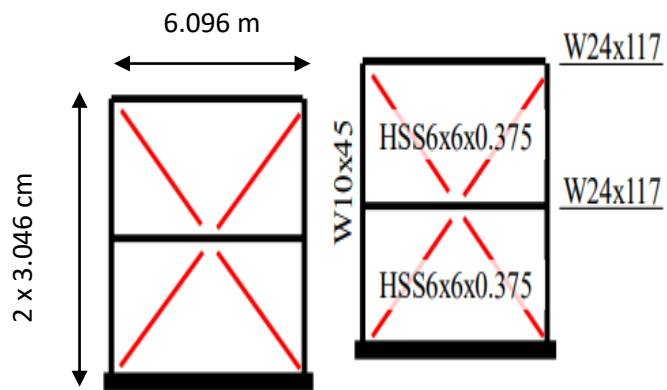
Pada tugas akhir ini, direncanakan struktur bangunan dengan material baja dengan sistem rangka Berbresing Konsentris (SRBK). Untuk pemodelan nya mengikuti dari pemodelan yang sudah ada di dalam NIST GCR 10-917-8 (NIST, 2010). Adapun pemodelan nya menggunakan gedung 2 lantai dan 3 lantai sebagai berikut:



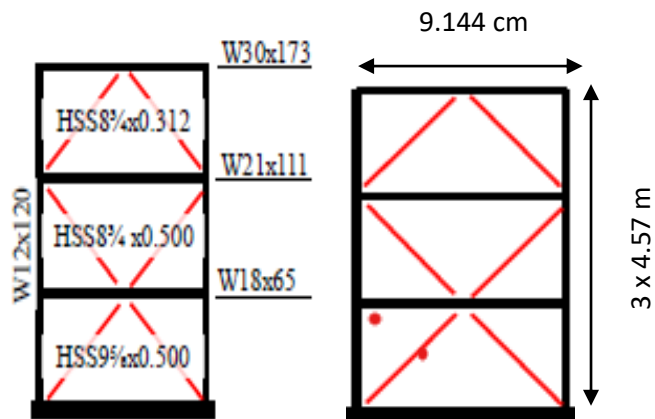
Gambar 3.2 Denah rencana model 1.



Gambar 3.3: Denah rencana model 2.



Gambar 3.4: Denah elevasi model 1.



Gambar 3.5: Denah elevasi model 2.

3.4 Dimensi Balok Kolom

Bangunan yang direncanakan adalah struktur beraturan, struktur gedung sebagai acuan desain untuk memastikan kebenaran proses desain. Ukuran balok kolom yang digunakan pada model 1 dan 2 sesuai standar NIST GCR 10-917-8 (NIST, 2010) bisa dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1: Komponen struktural bangunan.

Model Bangunan	Lantai	Bracing	Kolom (Inchi)	Balok (Inchi)
Model 1	1	HSS 6x6x0.375	W 10x45	W 24x117
	2	HSS 6x6x0.375	W 10x45	W 24x117
Model 2	1	HSS 9x5/8x0.5	W 12x120	W 18x65
	2	HSS 8x3/4x0.5	W 12x120	W 21x111
	3	HSS 8x3/4x0.31	W 12x120	W 30x173

3.5 Analisa Dinamik Struktur Linier

Analisis ini menggunakan Metode Respon Spektrum. Pada analisis ini, alat bantu *software* yang digunakan adalah ETABS.

3.5.1 Pembebanan

Pembebanan yang bekerja pada struktur bangunan diambil dari NIST GCR 10-917-8 (NIST, 2010). Beban-beban tersebut adalah beban hidup dan beban mati yang berhubungan dengan struktur bangunan. Berikut merupakan pembebanan gravitasi yang digunakan:

- Beban mati
 - Beban atap 67 Psf = 3,2079 kN/m².
 - Beban lantai 85 Psf = 4,0698 kN/m².
- Beban hidup
 - Beban atap 20 Psf = 0,957 kN/m².
 - Beban lantai 50 Psf = 2,3940 kN/m².

3.5.2 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dihitung berdasarkan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019 tentang standar perencanaan bangunan tahan gempa, maka didapatkan untuk Faktor $R = 6$ nilai $\rho = 1$ yang diperoleh dari kategori desain seismik D dan nilai $SDS = 0.236$, maka kombinasi pembebanannya dapat dilihat pada Tabel 3.3 untuk faktor $R = 6$.

Tabel 3.2: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai $\rho=1$, $SDS = 0.236$.

Kombinasi	Koefisien (DL)	Koefisien (LL)	Koefisien (EX)	Koefisien (EY)
Kombinasi 1	1.4			
Kombinasi 2	1.2	1.6		
Kombinasi 3	1.2614	1	0.3	1
Kombinasi 4	1.1386	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	1.1386	1	-1	-0.3
Kombinasi 9	1.233	1	1	-0.3
Kombinasi 10	1.167	1	-1	0.3
Kombinasi 11	0.8386	0	0.3	1
Kombinasi 12	0.9614	0	-0.3	-1
Kombinasi 13	0.933	0	0.3	-1
Kombinasi 14	0.867	0	-0.3	1
Kombinasi 15	0.8386	0	1	0.3
Kombinasi 16	0.9614	0	-1	-0.3
Kombinasi 17	0.867	0	1	-0.3
Kombinasi 18	0.933	0	-1	0.3
Envelope	Nilai absolute dari seluruh kombinasi			

Keterangan:

DL = Dead Load. EX = Earthquake arah X.

LL = Live Load. EY = Earthquake arah Y.

3.5.3 Respons Spektrum Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019, respon spektrum gempa didesain pada kondisi tanah Sedang yang terletak di Kota Makassar, kemudian dianalisis dengan data-data $S_s = 0.222$ 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:

3.5.4 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.

3.6 Analisa Dinamik Struktur Nonlinear

3.6.1 *GroundMotion* Records (Data Rekaman Gempa)

Data rekaman gempa diperoleh dari website resmi Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Next Generation Attenuation (NGA), COSMOS Strongmotion Data Center. Data rekaman gempa yang diambil sebanyak 10 rekaman gempa. Untuk semua tipe rekaman gempa diperoleh dari PEER NGA dan COSMOS seperti terlihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Data Rekaman Gempa.

Gempa	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun Gempa	Mag
1	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #6	6.5
2	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #7	6.5
3	Irpina, Italy	1980	Sturno	6.9
4	Supersition Hills-02	1987	Parachute Test Site	6,5
5	Loma Prieta	1989	Saratoga – Aloha	6.9
6	Erzican, Turkey	1992	Erzincan	6.7
7	Cape Mendocino	1992	Petrolia	7.0
8	Landers	1992	Lucerne	7.3
9	Northridge-01	1994	Rinaldi Receiving Sta	6.7
10	Northridge-01	1994	Sylmar – Olive View	6.7

3.6.2 Metode Modifikasi Gerakan Tanah

Menurut SNI 1726:2019, Metode Modifikasi Gerakan Tanah adalah metode dimana Gerakan tanah dasar harus diskalakan amplitudonya (*amplitude-scaled*) sesuai dengan persyaratan pada penskalaan amplitudo atau dicocokkan secara spektral (*spectral matching*) sesuai dengan persyaratan pencocokan spectral sesuai dengan persyaratan pencocokan spektra untuk kepentingan desain atau evaluasi.. Pencocokan spektral tidak boleh digunakan untuk lokasi *near-fault* kecuali karakteristik gerakan tanah dasar dipertahankan setelah proses pencocokan selesai.

3.6.3 Analisis Ragam Spektrum Respons

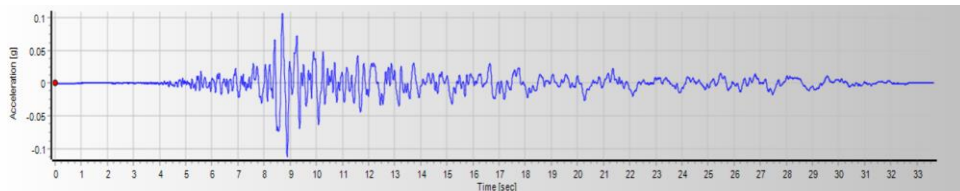
Berdasarkan SNI 03-1726-2019, Analisis ragam spektrum respons yaitu suatu cara analisis untuk menentukan respon dinamik struktur gedung yang berperilaku elastik penuh terhadap pengaruh suatu gempa melalui suatu metoda analisis yang dikenal dengan analisis ragam spektrum respons, dimana respons dinamik total struktur gedung tersebut didapat sebagai superposisi dari respons dinamik maksimum masing-masing ragamnya yang didapat melalui spektrum respons gempa rencana (Yusriansyah dkk, 2017) Analisis ini dipakai untuk tahapamn desain struktur.

3.6.4 Analisis Riwayat Waktu

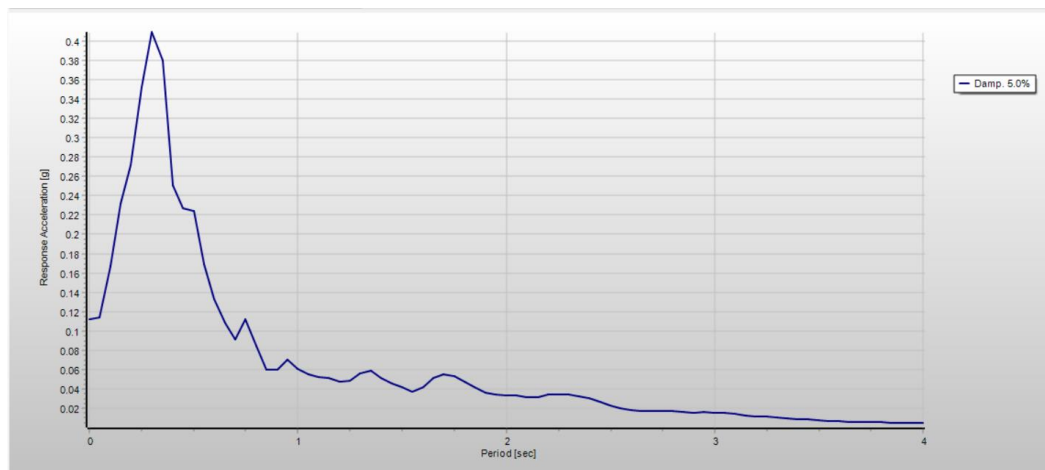
Analisa ini dalam kondisi linear dipakai untuk mendapatkan nilai simpangan atap dan simpangan antar tingkat untuk kondisi spektra respon percepatan yang menyebabkan keruntuhan. Sedangkan untuk kondisi nonlinear, analisa ini dipakai untuk mendapatkan simpangan kondisi runtuh memakai metode *Incremental Dynamic Analysis* (IDA). Pada Metode Respon Riwayat Waktu ini dianalisis secara dua dimensi. Alat bantu software yang digunakan adalah OPENSEES. Sebelum dianalisis dengan OPENSEES terdapat beberapa tahapan sebagai berikut :

- a. Pengambilan rekaman gempa dari PEER NGA dan COSMOS. Daerah-daerah rekaman yang diambil tertera pada tabel 3.3.
- b. Mengubah rekaman gempa menjadi respon spektrum dengan bantuan software Seismosignal. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses penskalaan.

- c. Kemudian rekaman gempa diskalakan dengan menggunakan software MATLAB, rekaman gempa akan dijadikan gempa tunggal dan gempa berulang.
- d. Kemudian rekaman gempa akan di analisis dengan menggunakan program OPENSEES untuk menghasilkan simpangan sisa yang di inginkan.



Gambar 3.6: Rekaman Gempa Imperial Valley-06 sebelum diubah menjadi respon spektrum.

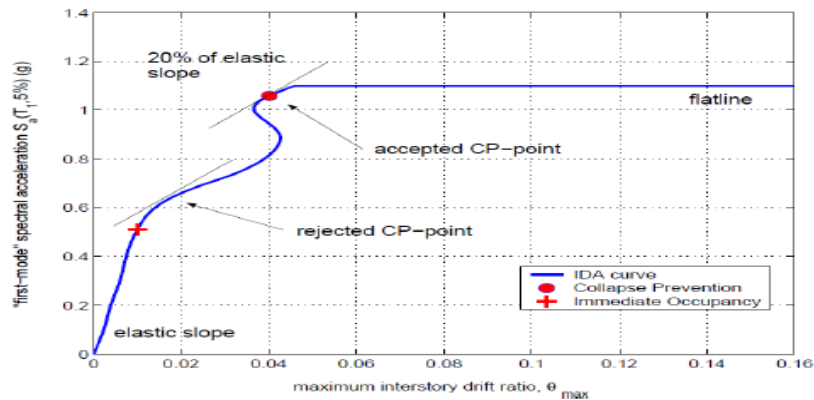


Gambar 3.7: Rekaman Gempa Imperial Valley setelah diubah menjadi respon spektrum.

3.6.5 Incremental Dynamic Analysis (IDA)

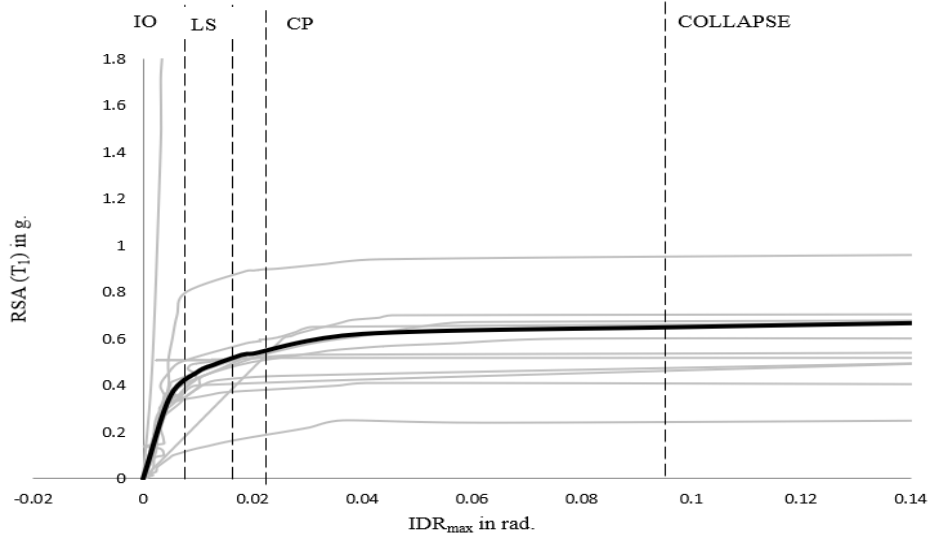
Incremental dynamic analysis (IDA) merupakan analisis komputasi beban gempa untuk melakukan penilaian menyeluruh terhadap perilaku struktur dibawah beban gempa. Metode IDA diperkenalkan oleh Vamvatsiko dan Cornell (2002). Metode ini digunakan untuk membangun hasil analisis bahaya seismic probabilistik untuk memperkirakan resiko seismik yang dihadapi oleh struktur (Faisal & Darsono, 2019).

Dalam metode analisis IDA, serangkaian analisis nonlinier dinamis dilakukan untuk setiap rekaman seismik secara akurat untuk memperkirakan rentang respon lengkap (dari fase elastis ke keadaan leleh dan kemudian fase nonlinier dan akhirnya ke struktur keseluruhan ketidakstabilan). Dalam hal pemilihan untuk analisis dinamis nonlinier, (Iervolino & Marfendi, 2008) meninjau parameter input seismik yang mempengaruhi penilaian probabilistik (misalnya jumlah catatan dan intensitasnya) serta mendiskusikan keuntungan dan kerugian dari prosedur yang diperkenalkan untuk pemilihan. Untuk model kurva IDA dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8: Penentuan Collapse Prevention pada kurva IDA

Metode ini digunakan untuk membangun analisis bahaya pada seismic probabilistik untuk dapat memperkirakan resiko seismik yang akan dihadapi oleh struktur (Faisal & Darsono, 2019). Pada Tugas akhir ini akan diuraikan grafik metode IDA seperti gambar 3.8. Pada saat ini juga terdapat kondisi batas (Limit State) yaitu IO, LS, CP, dan collapse yang letak pada kurva IDA dapat di lihat seperti gambar dibawah ini.



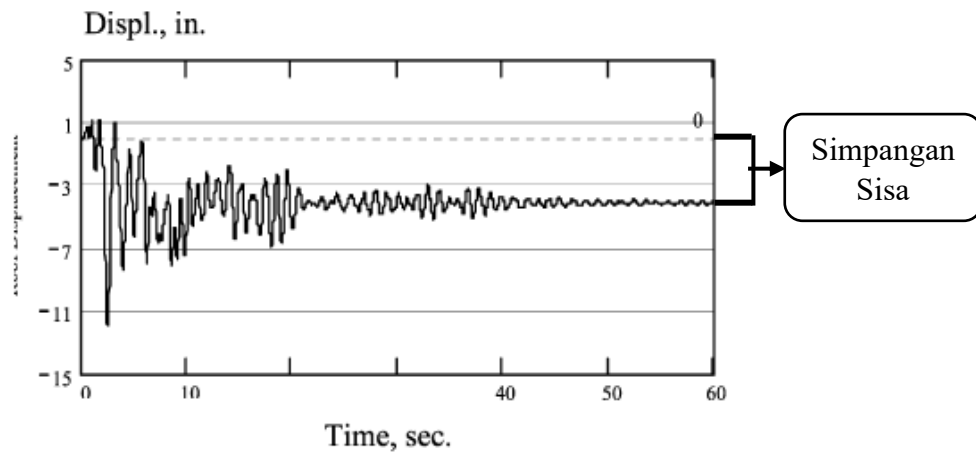
Gambar 3.9: Kondisi Batas (*Limit State*) pada kurva IDA.

Kondisi batas IO (*immediate occupancy*), LS (*limit safety*) dan kondisi batas CP (*collapse prevention*) dicari melalui analisa bertahap respon riwayat waktu nonlinear (*incremental dynamic analysis*, disingkat IDA). Batas kondisi IO adalah kondisi yang ditandai dengan pencapaian $IDR_{max} = 0.005$. 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 kondisi ini terjadi pada struktur SRBK yang ditandai dengan nilai $IDR_{max} = 0.015$. 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 $IDR_{max} = 0.02$. Sedangkan kondisi batas runtuh (*Collapse*) adalah kondisi dimana nilai $IDR_{max} = 0.1$.

3.7 Simpangan Sisa (*Residual Drift*)

Simpangan sisa merupakan suatu indeks yang sangat penting, untuk melakukan evaluasi kinerja bangunan setelah terjadi sebuah gempa. Hal ini juga sangat penting dalam pengambilan keputusan terhadap perbaikan bangunan setelah terjadi gempa (Hong dkk, 2017). Melakukan penyelidikan mengenai simpangan sisa struktur antar lantai adalah untuk mengukur dan mengklasifikasikan kerusakan akibat seismik yang terjadi di suatu bangunan.

Jika terjadinya gerakan tanah yang kuat dan nilai simpangan sisa dari suatu bangunan tersebut besar dari batas yang telah ditentukan, maka perbaikan bangunan tersebut tidak layak jika dilihat dari sisi ekonomi. Nakashima. (2008), melakukan penelitian terhadap dampak simpangan sisa pada bangunan di Jepang, dan mengusulkan nilai dari rasio simpangan sisa yang diizinkan (RIDR) sebesar 0,5%. Menurut Miranda.(2012), mengusulkan untuk memperhitungkan dari pengaruh simpangan sisa dalam estimasi kerugian ekonomi bangunan akibat dari terjadinya gempa bumi. Hal ini menjadi salah satu faktor pertimbangan untuk melakukan pembongkaran dari suatu bangunan.



Gambar 3.10: Grafik simpangan sisa atap.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Model Linier Dan Non Linier

Pada Bab ini akan membahas beberapa hasil analisa linier dan non linier oleh Program Analisa Struktur diantaranya, perioda getar, nilai simpangan dan gaya-gaya dalam struktur gedung, berdasarkan model dengan sistem rangka berbresing konsentrik (SRBK). Semua *input* pembebanan serta kombinasi, zona gempa dan konfigurasi bangunan adalah sama. Serta perbandingan metode analisa pada tiap pemodelan, yaitu analisa respon spektrum ragam dan analisa respon riwayat waktu.

4.2 Hasil Analisa Linier

Adapun hasil penelitian ini mendapatkan beberapa hasil analisa linier sebagai berikut:

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 hasil analisa diperoleh hasil model 4 lantai didapat 6 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak diatas 15 %. Untuk hasil model 8 lantai didapat 12 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak diatas 15 %. Untuk hasil model 16 lantai didapat 16 mode

dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak diatas 15 %. Untuk perhitungan tertera pada Lampiran A3.

4.2.2 Koreksi Gempa Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.4.1, kombinasi respon untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V_1) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala seperti pada Pers. 4.1 yaitu:

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

dimana:

V_1 = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen.

V_t = Gaya geser dasar kombinasi ragam.

Tabel 4.1: 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)
Lantai 2 (Model 1)	Gempa Y	1322,22	1322,21
Lantai 3 (Model 2)	Gempa Y	3009,63	2872.06

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

$$\text{Syarat} : 0,85 \frac{V_1}{V_t} \leq 1$$

Untuk perhitungan tertera pada Lampiran A5.

4.2.3 Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Nilai V_1 dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (V_t) dapat dilihat pada Tabel 4.2. Kontrol Koreksi skala simpangan antar tingkat yaitu:

$$\text{Syarat} : V_t \geq 0,85 \cdot C_s \cdot W$$

Tabel 4.2: Koreksi skala simpangan antar tingkat.

Struktur	Arah Gempa	V_t (KN)	$0,85 C_s W$	Cek
Model 1	Gempa Y	1322,21	1123,87	OK
Model 2	Gempa Y	2872.06	2441,25	OK

Dengan demikian syarat skala simpangan antar lantai telah terpenuhi, yaitu gaya geser dasar respon spektrum (V_t) lebih besar dari nilai $C_s.W$, sehingga simpangan antar lantai tidak perlu dikalikan dengan faktor skala.

4.2.4 Nilai Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2019, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai yang diizinkan yaitu 0,02 dikali tinggi lantai, nilai simpangan tidak boleh melebihi ketentuan tersebut. Pada hasil yang diperoleh, nilai simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin atau memenuhi syarat. Untuk hasil perhitungan terdapat pada Lampiran A7.

4.2.5 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 y untuk semua model, diperoleh nilai persentase kekakuan di atas batas yang ditentukan atau struktur yang direncanakan tidak mengalami Soft Story. Untuk hasil perhitungan terdapat pada Lampiran A8.

4.2.6 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 A9.

4.3 Hasil Analisa Non Linier

Dari hasil penelitian ini maka hasil analisa non linier didapat sebagai berikut:

4.3.1 Incremental Dynamic Analysis

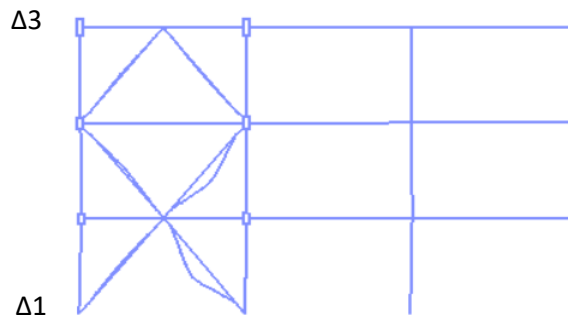
Tahap ini merupakan bagian evaluasi dari struktur baja berbresing yang telah di desain. Evaluasi struktur menggunakan metode Incremental Dynamic Analysis (IDA) untuk mendapatkan gambaran respon dan kapasitas dari struktur. Hasil dari IDA akan memberi gambaran kondisi struktur terhadap gaya gempa yang diberikan dengan melihat nilai IDR yang diperoleh terhadap kenaikan nilai RSA (Respon Spectrum Acceleration) yang direncanakan. Analisis IDA ini menggunakan 10 bentuk rekaman gempa (Tabel 3.2) dengan berbagai macam tipe dan daerah gempa. Grafik IDA yang digunakan sebagai perbandingan yaitu nilai rata-rata dari rekaman gempa tersebut.

Ada 4 kategori dalam grafik IDA:

- *Immediate Occupancy (IO)*

Salah satu dari beberapa kategori yang digunakan untuk menilai seberapa baik sebuah bangunan dapat bertahan dan tetap fungsional setelah gempa bumi. Dalam kurva IDA, IO biasanya ditandai pada tingkat drift yang sangat rendah, menunjukkan bahwa struktur masih dalam kondisi yang sangat baik meskipun telah mengalami gempa.

Deformed Shape XY-Plane

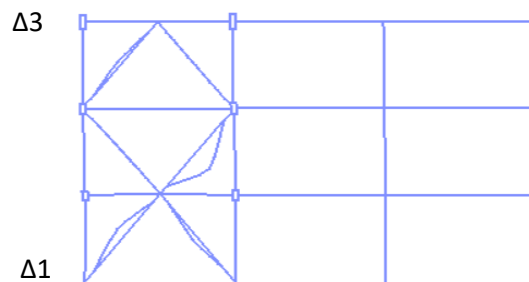


Gambar 4.1: Gambar struktur ketika berada di kondisi (IO).

- *Life Safety (LS)*

Salah satu tingkat kinerja yang digunakan untuk menilai seberapa baik sebuah bangunan dapat melindungi penghuninya selama dan setelah gempa. Dalam kurva *IDA*, *LS* biasanya ditandai pada tingkat drift yang lebih tinggi dibandingkan dengan immediate occupancy, menunjukkan bahwa struktur masih mampu melindungi penghuninya meskipun mengalami kerusakan.

Deformed Shape XY-Plane

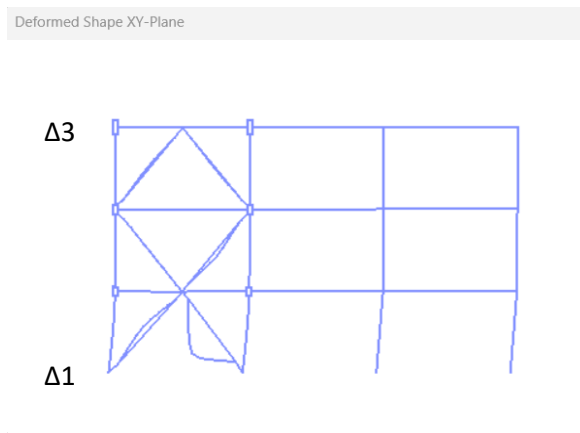


Gambar 4.2: Gambar struktur dalam keadaan *Life Safety (LS)*.

- *Collapse Prevention (CP)*

Salah satu tingkat kinerja yang digunakan untuk menilai seberapa baik sebuah bangunan dapat bertahan tanpa runtuh selama gempa yang kuat. Dalam kurva *IDA*,

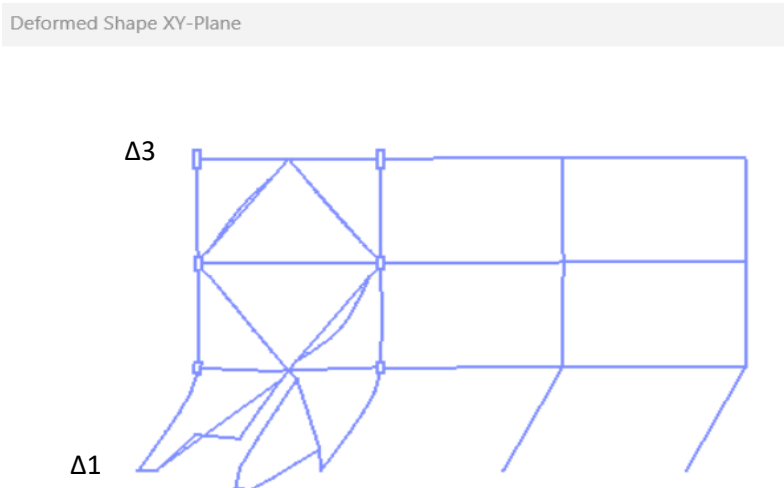
CP biasanya ditandai pada tingkat drift yang sangat tinggi, menunjukkan bahwa struktur masih berdiri meskipun mengalami kerusakan besar.



Gambar 4.3: Gambar Struktur dalam keadaan *Collapse Prevention* (CP).

- *Collapse*

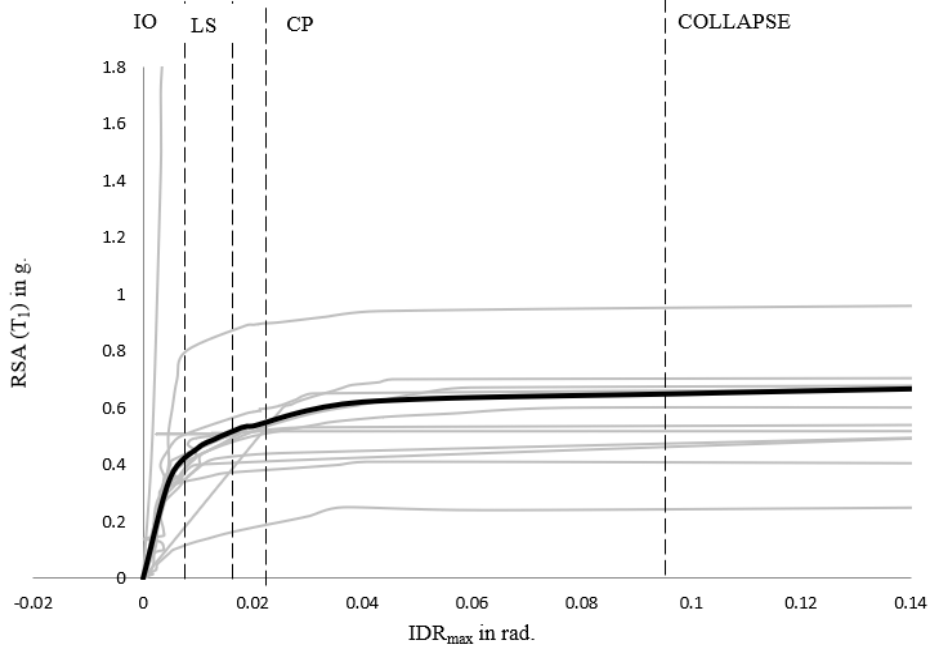
Collapse atau runtuh mengacu pada kondisi di mana struktur mengalami ketidakstabilan dinamis global, yang berarti struktur tersebut tidak lagi mampu menahan beban dan mengalami keruntuhan total.



Gambar 4.4: Gambar struktur ketika dalam keadaan *Collapse* atau runtuh.

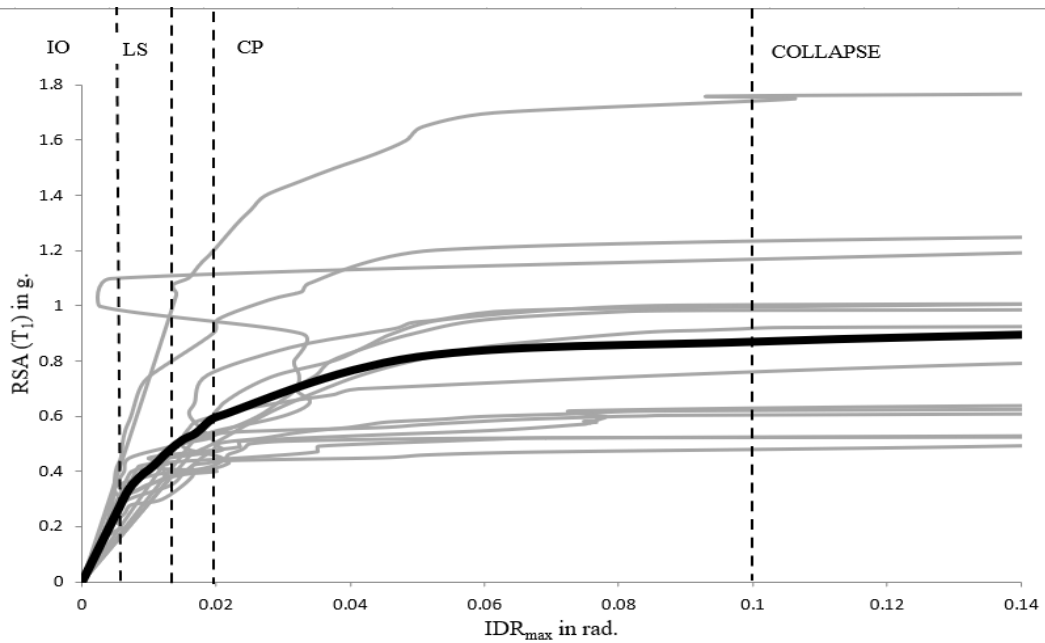
Pada gambar 4.5 dan 4.6 merupakan grafik kurva IDA dari beberapa *groundmotion* yang digunakan untuk model 1 dan model 2. Untuk nilai median dapat dilihat di garis hitam tebal pada grafik IDA.

➤ Model 1



Gambar 4.5: Menunjukkan kondisi batas IO, LS, CP dan *Collapse* untuk SRBK model 1 akibat sejumlah gerakan tanah.

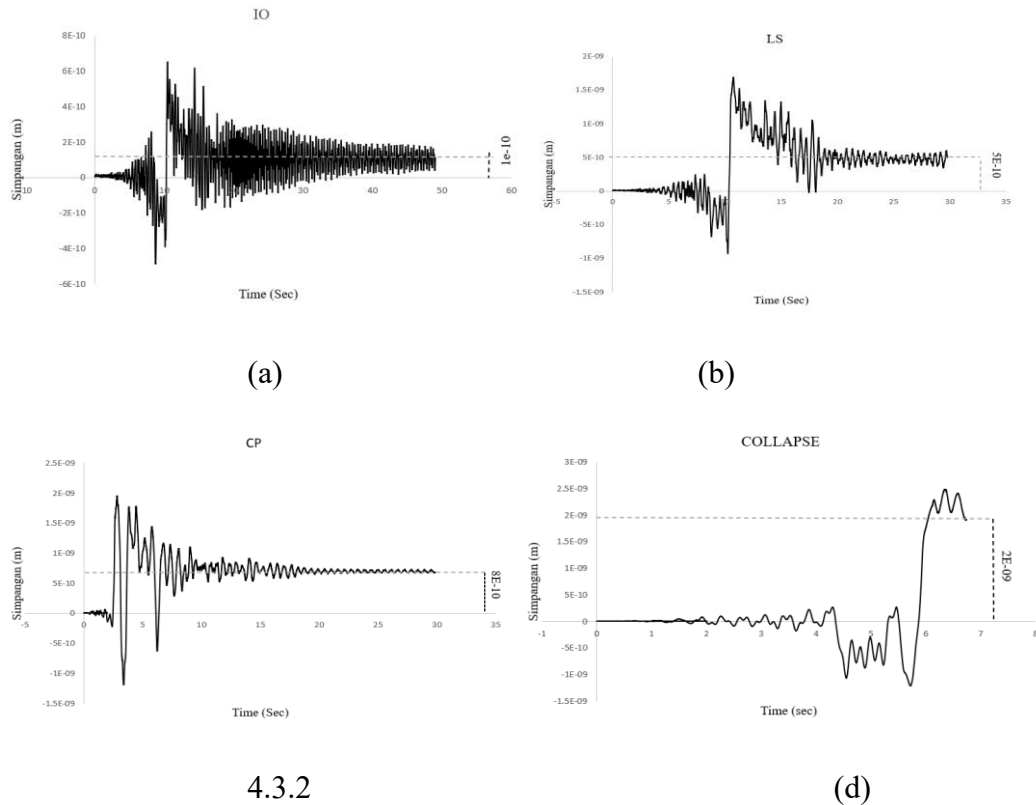
➤ Model 2



Gambar 4.6: Menunjukkan Kondisi batas IO, LS, CP, dan *Collapse* untuk SRBK model 2 akibat sejumlah gerakan tanah.

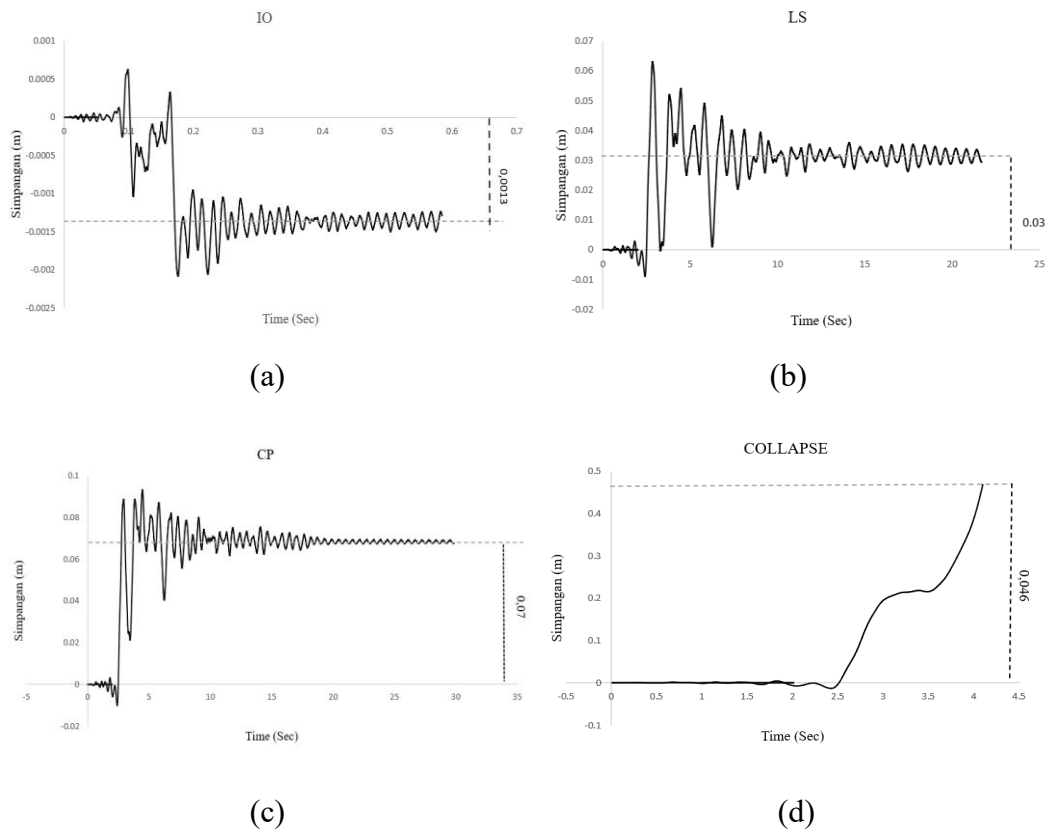
4.3.2 Simpangan Sisa

Untuk mendapatkan perilaku yang sesuai seperti yang diinginkan, maka pembahasan hasil deformasi tidak linear akan didasarkan kepada respon riwayat waktu dari deformasi global IDR seperti yang disajikan pada Gambar 4.7 dan 4.10 di bawah ini. Nilai simpangan sisa didapat apabila garis grafiknya tidak kembali ke nilai 0, maka bangunan tersebut mengalami pergeseran permanen.



Gambar 4.7: Grafik simpangan sisa pada model 1 (lantai dasar).

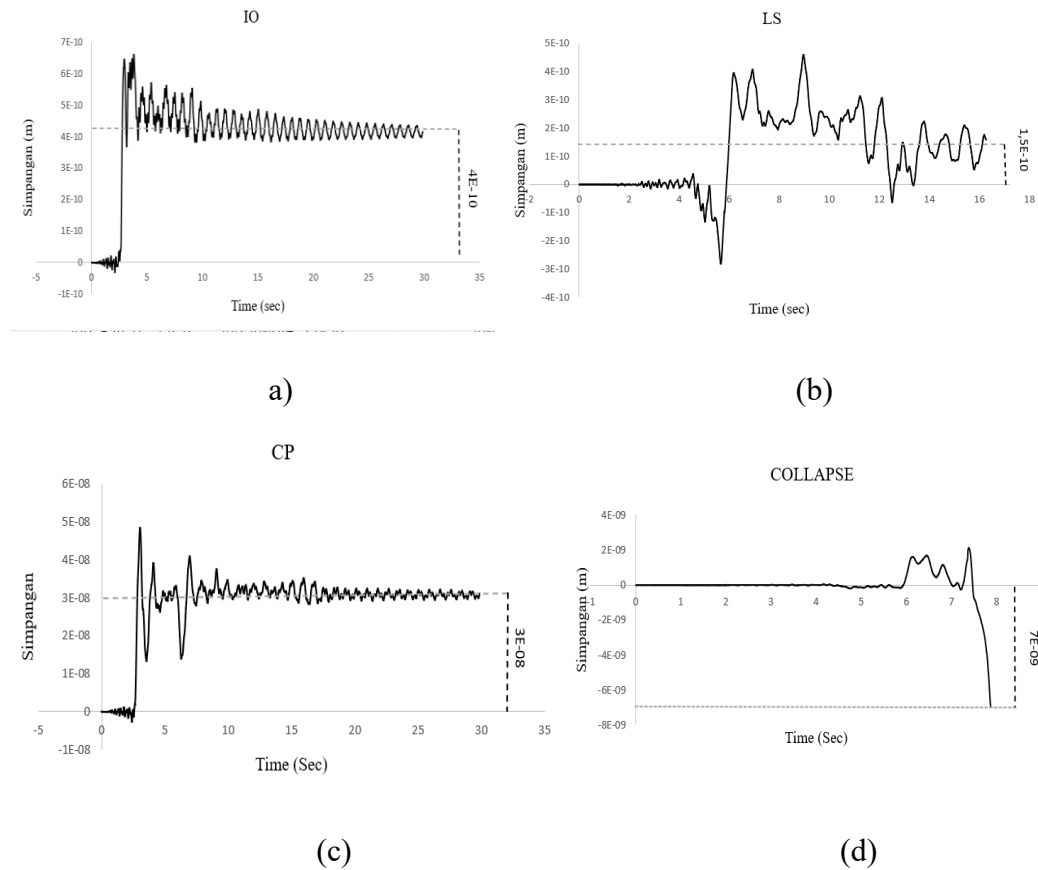
Pada gambar 4.7 dapat dijelaskan sebagai berikut: a) untuk kondisi IO dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0.005$) menggunakan rekaman gempa Landers, b) pada kondisi LS dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0.015$) menggunakan rekaman gempa Landers, pada kondisi CP dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0,02$) menggunakan rekaman gempa Northridge-01R, dan d) untuk kondisi Collapse dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0,10$) menggunakan rekaman gempa Loma Prieta. Nilai simpangan ini diambil dari nilai maximum dari 10 *groundmotion* di setiap kondisi dan dibuat menjadi grafik.



Gambar 4.8: Grafik simpangan sisa pada model 1 (atap).

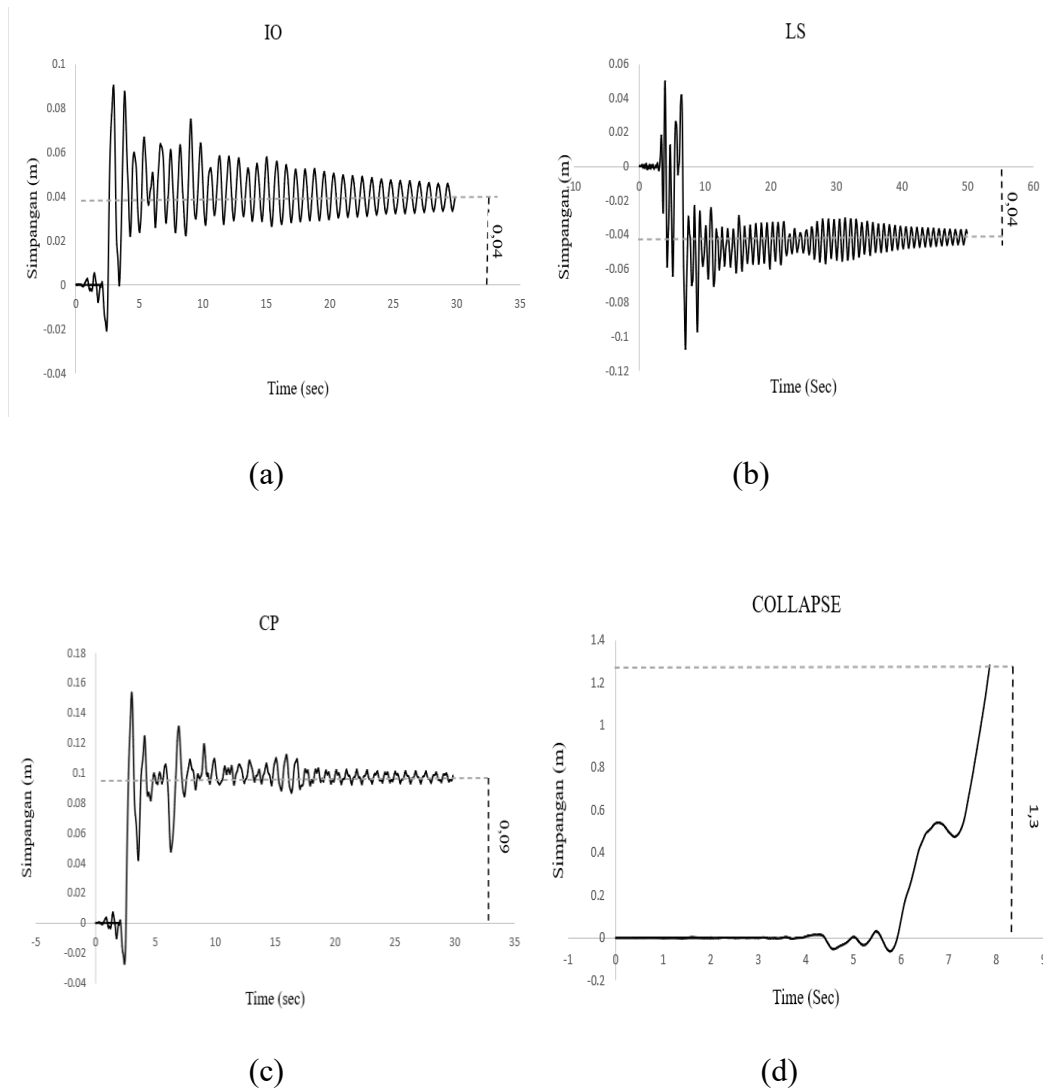
Pada gambar 4.8 dapat dijelaskan sebagai berikut: a) untuk kondisi IO dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0.005$) menggunakan rekaman gempa Northridge-01R, b) pada kondisi LS dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0.015$) menggunakan rekaman gempa Northridge-01R, pada kondisi CP dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0,02$) menggunakan rekaman gempa Northridge-01R, dan d) untuk kondisi Collapse dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0,10$) menggunakan rekaman gempa Northridge-01R. Nilai simpangan ini diambil dari nilai maximum dari 10 *groundmotion* di setiap kondisi dan dibuat menjadi grafik.

Gambar di atas sebagai contoh yang menunjukkan besarnya rasio simpangan sisa yang terdapat pada lantai 2 (Δ_2) dan lantai 1 (Δ_1) yang melewati pertama kali akibat gerakan tanah yang menghasilkan nilai maksimum di antara 10 *groundmotion*. Dari Gambar 4.7 - 4.8 dapat disimpulkan bahwa rasio simpangan sisa yang terjadi di lantai 2 (Δ_2) mengakibatkan nilai simpangan sisa lebih besar dibandingkan lantai 1 (Δ_1).



Gambar 4.9: Grafik simpangan sisa pada model 2 (lantai dasar).

Pada gambar 4.9 dapat dilihat sebagai berikut: a) untuk kondisi IO dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0.005$) menggunakan rekaman gempa Northridge-01R, b) untuk kondisi LS dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0.015$) menggunakan rekaman gempa Irpina, Italy, c) untuk kondisi CP dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0,02$) menggunakan rekaman gempa Northridge-01R, dan d) Collapse dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0,10$) menggunakan rekaman gempa Erizcan, Turkey. Nilai simpangan ini diambil dari nilai maximum dari 10 *groundmotion* di setiap kondisi dan dibuat menjadi grafik.



Gambar 4.10: Grafik simpangan sisa pada model 2 (atap).

Pada gambar 4.10 dapat dilihat sebagai berikut: a) untuk kondisi IO dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0.005$) menggunakan rekaman gempa Northridge-01R, b) untuk kondisi LS dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0.015$) menggunakan rekaman gempa Northridge-01R, c) untuk kondisi CP dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0,02$) menggunakan rekaman gempa Northridge-01R, dan d) untuk kondisi Collapse dengan nilai ($IDR_{max} \geq 0,10$) menggunakan rekaman gempa Erizcan, Turkey. Nilai simpangan ini diambil dari nilai maximum dari 10 *groundmotion* di setiap kondisi dan dibuat menjadi grafik.

Gambar di atas sebagai contoh yang menunjukkan besarnya rasio simpangan sisa yang terdapat pada lantai 3 (Δ_3) dan lantai 1 (Δ_1) yang terlewati

pertama kali akibat gerakan tanah yang menghasikan nilai maksimum di antara 10 *groundmotion*. Dari Gambar 4.9 - 4.10 dapat disimpulkan bahwa rasio simpangan sisa yang terjadi di lantai 3 (Δ_3) mengakibatkan nilai simpangan sisa lebih besar di bandingkan lantai 1 (Δ_1). Maka pada tabel di bawah ini akan menunjukkan nilai simpangan sisa yang terjadi akibat gempa pada bangunan baja SRBK lantai 2 dan lantai 3. Pada tabel 4.3 dan 4.4 terlihat bahwa urutan gempa telah diurutkan berdasarkan *Pulse indicator* dari urutan yang terkecil hingga terbesar, dan dapat disimpulkan bahwa *Pulse Indicator* dalam gempa tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai simpangan sisa pada model 1 dan model 2.

Tabel 4.3: Simpangan sisa paling maksimum terhadap kondisi IO, LS, CP, dan *Collapse* pada Model 1 akibat gerakan tanah.

Kondisi	RSA (T1) g	Δ	
		Δ_1 (m)	Δ_2 (m)
IO	0.12	2.54E-10	0.0508
LS	0.35	2.54E-10	0.0508
CP	0.52	7.62E-10	0.0698
<i>Collapse</i>	0.52	2.03E-09	0.4572

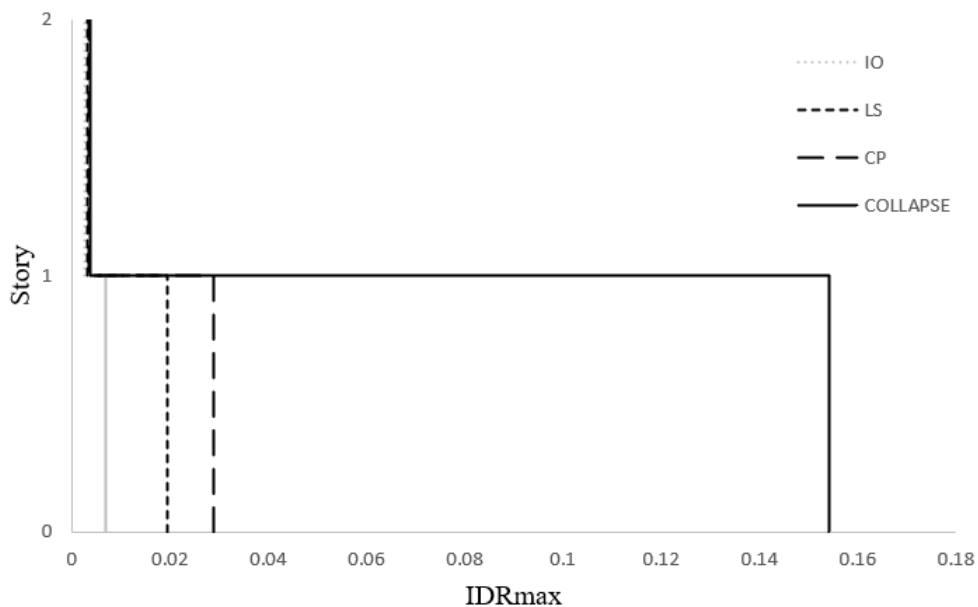
Tabel 4.4: Simpangan sisa paling maksimum terhadap kondisi IO, LS, CP, dan *Collapse* pada Model 2 akibat gerakan tanah.

Kondisi	RSA (T1) g	Δ	
		Δ_1 (m)	Δ_3 (m)
IO	0.14	4.32E-10	0.0381
LS	0.46	3.81E-10	0.0508
CP	1.21	3.81E-10	0.0635
<i>Collapse</i>	0.98	6.35E-09	1.2710

Dapat dilihat untuk Tabel 4.3 dan 4.4 nilai simpangan sisa untuk kondisi *collapse* mengalami peningkatan yang drastis dari *groundmotion* yang digunakan, serta untuk model 1 dan model 2.

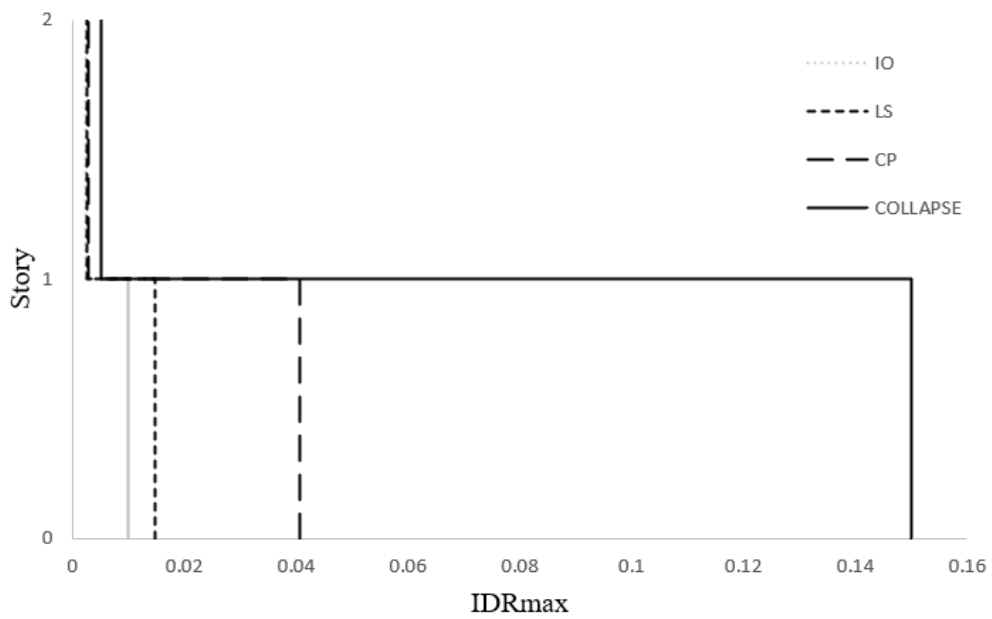
4.3.3 Interstorydrift Ratio (IDR)

Seiring dengan target kondisi batas yang ingin dicapai (IO, LS, CP dan Collapse). Gambar 4.11 dan 4.12 juga menjelaskan perjalanan deformasi global dari kondisi linear elastis menuju kondisi tidak elastis, serta menjelaskan perubahan respon maksimum yang sebelumnya terjadi di tingkat atas yang kemudian berubah ke tingkat bawah ketika kondisi batas melewati LS ($IDR_{max} > 5\%$). Perubahan respon tingkat maksimum menuju ke tingkat bawah juga ditunjukkan pada hasil evaluasi terhadap baja bertingkat banyak (Erochko dkk., 2011; Bojorquez dkk., 2017).



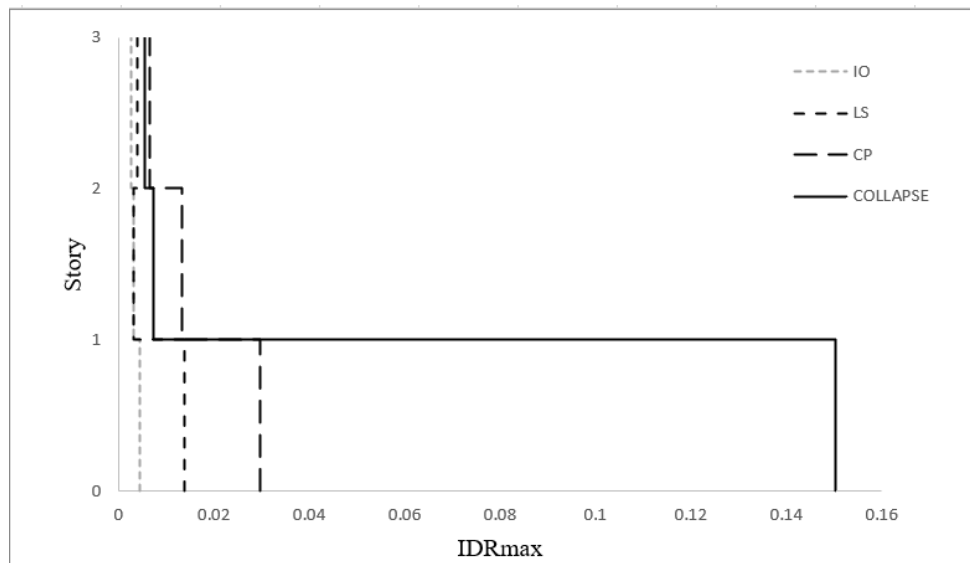
Gambar 4.11: Rasio *Story Drift* model 1 menggunakan rekaman Northridge-01R.

Pada gambar 4.11 merupakan gambar dari grafik Rasio *Story Drift* berdasarkan kondisi IO, LS, CP dan *collapse* pada *groundmotion* Northridge-01R. Untuk kondisi IO apabila nilai IDRmax nya mencapai 0.5 % atau 0.005, untuk kondisi LS ketika nilai IDRmax nya mencapai 1.5% atau 0.015, Untuk kondisi CP apabila nilai IDRmax nya mencapai 2% atau 0.02, dan untuk kondisi *Collapse* terjadi ketika nilai IDRmax nya mencapai 10% atau 0.1. Nilai ini diambil berdasarkan nilai maksimal dari nilai *IDA*.



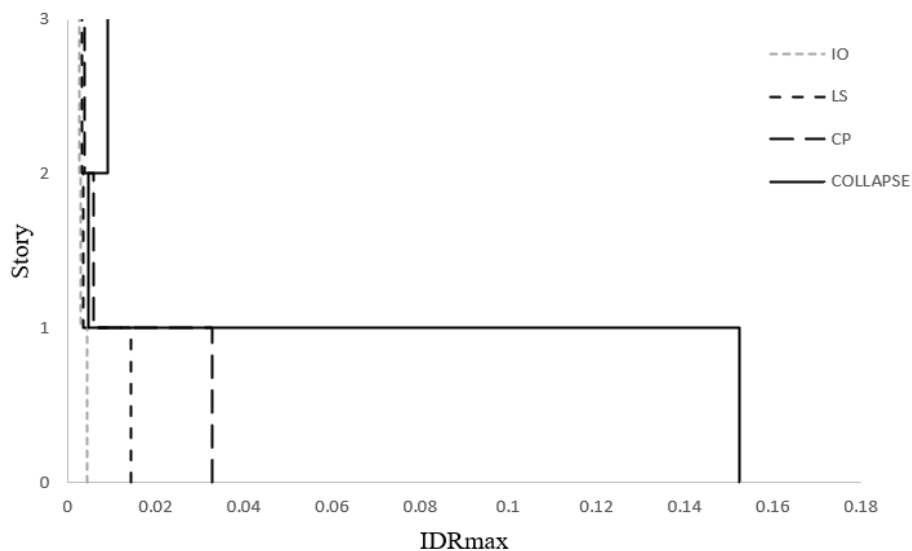
Gambar 4.12: Rasio *Story Drift* model 1 menggunakan rekaman Imperial Valley#7.

Pada Gambar 4.12 merupakan gambar dari grafik Rasio *Story Drift* berdasarkan kondisi IO, LS, CP dan *collapse* pada *groundmotion* Imperial Valley-07. Untuk kondisi IO apabila nilai IDRmax nya mencapai 0.5 % atau 0.005, untuk kondisi LS ketika nilai IDRmax nya mencapai 1.5% atau 0.015, Untuk kondisi CP apabila nilai IDRmax nya mencapai 2% atau 0.02, dan untuk kondisi *Collapse* terjadi ketika nilai IDRmax nya mencapai 10% atau 0.1. Nilai ini diambil berdasarkan nilai median dari nilai *IDA*.



Gambar 4.13: Rasio *Story Drift* model 2 menggunakan rekaman Erizcan-Turkey.

Pada gambar 4.13 merupakan grafik Rasio *Story Drift* berdasarkan kondisi IO, LS, CP dan *collapse* pada *groundmotion* Ezrican-Turkey. Untuk kondisi IO apabila nilai IDRmax nya mencapai 0.5 % atau 0.005, untuk kondisi LS ketika nilai IDRmax nya mencapai 1.5% atau 0.015, Untuk kondisi CP apabila nilai IDRmax nya mencapai 2% atau 0.02, dan untuk kondisi *Collapse* terjadi ketika nilai IDRmax nya mencapai 10% atau 0.1. Nilai ini diambil berdasarkan nilai maksimal dari nilai *IDA*.



Gambar 4.14: Rasio *Story Drift* model 2 menggunakan rekaman Imperial-Valley-

07.

Pada gambar 4.14 merupakan grafik Rasio *Story Drift* berdasarkan kondisi IO, LS, CP dan *collapse* pada *groundmotion* Imperial-Valley-07, Untuk kondisi IO apabila nilai IDRmax nya mencapai 0.5 % atau 0.005, untuk kondisi LS ketika nilai IDRmax nya mencapai 1.5% atau 0.015, Untuk kondisi CP apabila nilai IDRmax nya mencapai 2% atau 0.02, dan untuk kondisi *Collapse* terjadi ketika nilai IDRmax nya mencapai 10% atau 0.1. Nilai ini diambil berdasarkan nilai median dari nilai IDA.

Tabel 4.5: Nilai Simpangan Sisa pada model 1 akibat gempa.

No	Event	Immediate Occupancy			Life Safety			Collapse Prevention			Collapse		
		RSA (T1)	Δ		RSA (T1)	Δ		RSA (T1)	Δ		RSA (T1)	Δ	
			$\Delta 1$ (m)	$\Delta 2$ (m)		$\Delta 1$ (m)	$\Delta 2$ (m)		$\Delta 1$ (m)	$\Delta 2$ (m)		$\Delta 1$ (m)	$\Delta 2$ (m)
1	Loma Prieta	0.46	1.27E-10	0.00254	0.55	1.27E-10	0.00508	0.58	7.62E-10	0.03048	0.66	1.27E-08	0.4572
2	Cape Mendocino	0.32	2.54E-10	0.0127	0.48	2.54E-10	0.0127	0.44	3.81E-10	0.03048	3.77	2.54E-09	0.0254
3	Irpinia, Italy-01	0.55	1.27E-10	0.00508	0.86	1.27E-10	0	0.89	0.00E+00	0	0.95	5.08E-11	0.00254
4	Imperial Valley-06	0.4	1.27E-10	0.00254	0.5	2.54E-10	0.0127	0.51	5.08E-09	0.0254	0.52	2.03E-09	0.4572
5	Imperial Valley-07	0.32	2.54E-10	0.0127	0.37	2.54E-10	0.01905	0.38	5.08E-10	0.1016	0.41	2.03E-09	0.4572
6	Supersitio n Hills-02	0.31	2.54E-10	0.00762	0.51	1.27E-10	0.00635	0.52	5.08E-10	0.0254	0.54	2.54E-10	0.254
7	Erzican, Turkey	0.35	1.27E-10	0.00508	0.47	2.54E-10	0.03048	0.5	3.81E-10	0.0508	0.6	2.54E-09	0.4572
8	Landers	0.38	1.27E-10	0.00508	0.5	5.08E-10	0.0254	0.54	1.02E-10	0.03048	1.3	5.08E-10	0.01016
9	Northridge-01R	0.34	3.81E-10	0.00762	0.48	2.54E-10	0.03048	0.52	7.62E-10	0.06985	0.67	2.54E-10	0.4572
10	Northridge-01S	0.12	2.54E-10	0.0508	0.35	2.54E-10	0.0508	0.47	3.81E-10	0.0508	0.7	1.02E-09	0.00508
11	Median	0.38	1.91E-10	0.00635	0.51	2.54E-10	0.015875	0.54	4.45E-10	0.03048	0.95	1.52E-09	0.3556

Note:

Kuning = Nilai maximum dari 10 *groundmotion* untuk setiap kondisi.

Oren = Nilai median dari 10 *groundmotion*.

Tabel 4.6: Nilai Simpangan Sisa pada model 2 akibat gempa.

No	Event	Immediate Occupancy			Life Safety			Collapse Prevention		Collapse			
		RSA (T1)	Δ		RSA (T1)	Δ		RSA (T1)	Δ	RSA (T1)	Δ		
			Δ1 (m)	Δ3(m)		Δ1 (m)	Δ3(m)				Δ1 (m)	Δ3(m)	
1	Loma Prieta	0.14	1.02E-10	0.0127	0.51	2.54E-10	0.0254	0.55	7.62E-10	0.1016	0.98	6.35E-09	1.27
2	Cape Mendocino	0.37	7.62E-11	0.0127	1.09	0	0	1.21	3.81E-10	0.0635	1.74	2.03E-09	0.635
3	Irpinia, Italy-01	0.25	6.35E-10	0	0.46	1.27E-09	0.0127	0.5	5.08E-10	0.03048	0.62	5.08E-10	0.635
4	Imperial Valley-06	0.18	1.27E-09	0.0254	0.3	1.27E-10	0.0127	0.55	2.54E-10	0.0127	0.49	2.54E-10	1.016
5	Imperial Valley-07	0.34	7.62E-10	0	0.5	2.54E-10	0.0254	0.54	5.08E-10	0.00508	1.17	1.27E-09	0.635
6	Supersitio n Hills-02	0.28	2.54E-10	0.0381	0.47	7.62E-10	0.0127	0.51	1.27E-10	0.0254	0.63	0.00E+00	0.635
7	Erzican, Turkey	0.25	1.27E-10	0.0127	0.4	2.54E-10	0.0254	0.43	3.81E-10	0.127	0.61	1.52E-09	0.889
8	Landers	0.23	7.62E-11	0.0127	0.39	1.27E-10	0.0127	0.4	1.02E-10	0.0381	0.52	1.02E-09	0.635
9	Northridge-01R	0.14	4.32E-10	0.0381	0.43	3.81E-10	0.0381	0.51	7.62E-10	0.1016	0.92	6.35E-10	1.016
10	Northridge-01S	0.15	3.81E-10	0.0381	0.46	3.81E-10	0.0508	0.62	3.81E-10	0.0508	1	2.54E-10	1.016
11	Median	0.25	3.18E-10	0.0127	0.51	2.54E-10	0.01905	0.55	3.81E-10	0.04445	1	8.26E-10	0.762

Note:

Kuning = Nilai maximum dari 10 *groundmotion* untuk setiap kondisi.

Oren = Nilai median dari 10 *groundmotion*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai simpangan sisa pada lantai atap model 1 di kondisi IO, LS dan collapse lebih besar dibandingkan model 2. sedangkan pada kondisi CP nilai simpangan sisa di model 2 lebih besar dibandingkan model 1.
2. Nilai simpangan sisa pada lantai dasar model 1 di kondisi IO, LS dan CP lebih besar dibandingkan lantai dasar di model 2. sedangkan pada kondisi *collapse* nilai simpangan sisa di model 2 lebih besar dibandingkan model 1.

5.2 Saran

- 1 Diharapkan untuk kedepannya bisa diperbanyak lagi jumlah *groundmotion* yang sudah digunakan saat ini, agar bisa jadi perbandingan dengan hasil yang ada.
- 2 Diharapkan tugas akhir ini dapat diteruskan atau dievaluasi kembali dalam rangka mendapatkan hasil yang optimal dan dapat dilakukan perbandingan terhadap hasil yang ada.
- 3 Dalam Tugas Akhir ini, jika terdapat hasil yang kurang sesuai pada analisa linier dan non linier diharapkan agar dapat diskusi dengan penulis. Apabila nilai yang didapatkan jauh dari hasil yang ada.
- 4 Diharapkan tugas akhir ini dapat diteruskan atau dievaluasi kembali dalam rangka mendapatkan hasil yang optimal

DAFTAR PUSTAKA

- A, Y. Z., Chen, J., & Sun, C. (2017). Damage-Based Strength Reduction Factor For Nonlinear Structures Subjected To Sequence-Type Ground Motions. *Soil Dynamics And Earthquake Engineering*.
- Abidin, Z., S. S., & Supriyadi, A. (2018). Analisis Dinamik Riwayat Waktu Nonlinear Skew Bridge.
- Akbar, S. J., Chandra, Y., & Yusriansyah. (2017). Analisa Nilai Simpangan Horizontal (Drift) Pada Struktur Tahan Gempa Menggunakan Sistem Rangka Bresing Eksentrik Type Bracedd V. *Teras Jurnal*.
Doi:[Http://Dx.Doi.Org/10.29103/Tj.V7i2.139](http://Dx.Doi.Org/10.29103/Tj.V7i2.139)
- Amirchoupani, P., Abdollahzadeh, G., & Hamidi, H. (2020). Spectral Acceleration Matching Procedure With Respect To Normalization Approach.
- Andrean V H Simanjuntak, O. (2017). Perbandingan Energi Gempa Bumi Utama Dan Susulan. *Jurnal Fisika Flux*.
- Andronikos Skiadopoulos, S. A., Elkady, A., & Lignos, D. G. (2021). Proposed Panel Zone Model For Seismic Design Of Steel Moment-Resisting Frames. *Journal Of Structural Engineering*.
- Arief Panjaitan, P. H., Putra, R., Afifuddin, M., & Haiqal, M. (2023). Kinerja Bresing Srbk Dengan Variabel Panjang Batang Yang Berbeda Terhadap Beban Siklik. *Jurnal Teknik Sipil, 12*.
- Budiono, B., & Supriyatna, L. (2011). Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa.
- Dai, K., Wang, J., & Hong, H. (2017). Use Of Residual Drift For Post-Earthquake Damage Assessment Of Rc Buildings.
- Erochko, J., Constantin Christopoulos, A., Tremblay, R., & Choi, H. (N.D.). Residual Drift Response Of Smrfs And Brb Frames In Steel Buildings Designed According To Asce 7-05.

- Faisal, A., & Darsono, A. P. (2019). Perilaku Nonlinear Struktur Gedung Baja Dengan Bentuk Denah L, T Dan U Akibat Gempa. *Civil Engineering Journal*.
- Faisal, A., Hutauruk, D. M., & Tarigan, J. (2015). Pengaruh Getaran Gempa Yang Mengandung Efek Pulse Dan Tanpa Pulse Pada Struktur Tidak Simetris Sebidang. *Seminar Nasional Hastag Vi*.
- Kalkan, E., & K.Kunnath, S. (2006). Effects Of Fling Step And Forward Directivity On Seismic Response Of Buildings. 22. Doi:10.1193/1.2192560
- Kariso, P. H., Dapas, S. O., & Pandaleke, R. (2018). Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. *Jurnal Sipil Statik*.
- Kigginsa, S., & Uang, C.-M. (2006). Reducing Residual Drift Of Buckling-Restrained Braced Frames As A Dual System.
- Leon, R. T., & Yang, C.-S. (2003). Special Inverted-V-Braced Frames With Suspended Zipper Struts. *International Wrokshop On Steel And Concrete Composite Construction*.
- Mccormick, J., Aburano, H., Ikenaga, M., & Nakashima, M. (2008). Permissible Residual Deformation Levels For Building Structures Considering Both Safety And Human Elements.
- Montuori, R., Natri, E., Piluso, V., & Todisco, P. (2023). The Effect Of The Gravity Column In The Seismic Design Of Steel Cbfs.
- Naxine, D., & Prof, R. P. (2016). Review Paper On Comparative Study In The Analysis Of Multistorey Rcc Structure By Using Different Types Of Concentric Bracing System (By Using Software). *International Journal Of Scientific Development And Research (Ijsdr)*, 1(6).
- Nur, A. M. (2010). Gempa Bumi, Tsunami Dan Mitigasinya. *Balai Informasi Dan Konservasi Kebumian Karangasambung – Lipi, Kebumen*, 7.
- Nur, A. M. (2010). Gempa Bumi, Tsunami Dan Mitigasinya. *Balai Informasi Dan Konservasi Kebumian Karangasambung – Lipi*.

- Nurdianasari, I., Awaluddin, M., & Amarrohman, F. J. (2017). Analisis Deformasi Postseismik Gempa Nias 2005 Menggunakan Data Gps.
- Olympia, A. V. (2017). Perbandingan Energi Gempa Bumi Utama Dan Susulan. *Jurnal Fisika Flux*.
- Panjaitan, A., Hasibuan, P., & Haiqal, M. (2022). Kajian Kinerja Struktural Elemen Bresing Sribk Dengan Tipe Penampang Tunggal Dan Ganda Terhadap Beban Siklik. *Jurnal Arsip Rekayasa Dan Perencanaan*.
- Panjaitan, A., Hasibuana, P., & Haiqal, M. (2022). Kajian Kinerja Struktural Elemen Bresing Sribk Dengan Tipe Penampang Tunggal Dan Ganda Terhadap Beban Siklik. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*.
- Pettinga, D., Christopoulos, C., & Pampanin, S. (2007). Effectiveness Of Simple Approaches In Mitigating Residual Deformations In Buildings.
- Prawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Tekni & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Belajar.
- Ramirez, C. M., & Miranda, E. (2012). Significance Of Residual Drifts In Building Earthquake Loss Estimation.
- Rochmah, N., Beatrix, M., & Sutriyono, B. (2021). Studi Perencanaan Gedung Tingkat Tinggi Dan Gedung Tingkat Rendah Dengan Menggunakan Bresing Konsentrik. *Jurnal EXTRAPOLASI*.
- Samanta, A., & Pandey, P. (2017). Effects Of Ground Motion Modification Methods And Ground Motion Duration On Seismic Performance Of A 15-Storied Building. *Journal Of Building Engineering*.
Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.11.003>
- Siswanto, A. B., & Salim, M. A. (2018). Kriteria Dasar Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa.
- Sundari, T., Amudi, A., Yulianto, T., & Ramadhani, R. (2020). Analisis Statik Beban Gempa Pada Perencanaan Struktur Gedung Rektorat Unhasy Tebuireng Jombang. *Rekayasa Sipil, 14*.

LAMPIRAN

A.1 Perhitungan Pembebanan Struktur

Dalam Tugas Akhir ini, jenis pembebanan yang digunakan adalah beban gravitasi. Nilai beban diambil dari NIST GCR 10- 917- 8(NIST,2010). Adapun beban gravitasi yang bekerja pada struktur tersebut adalah:

1. Atap

a. Beban Hidup = 20 psf = 0,96 KN/m²

b. Beban Mati = 67 psf = 3,20 KN/m²

2. Lantai

a. Beban Hidup = 50 psf = 2,39 KN/m²

b. Beban Mati = 85 psf = 4,06 KN/m²

A.2 Syarat Periode Struktur

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

➤ Model 1

Data Struktur:

- Tinggi Lantai : 3,048 m
- H_n : 6,096 m
- C_u : 1,5
- C_t : 0,0731
- x : 0,75

Tabel L. 1 : Kontrol periode getar alami struktur Model 1

Syarat Periode					
Arah	T_{amin} ($C_t \times h_n^x$)	T_{amax} ($C_u \times T_{amin}$)	T_{ETABS}	$T_{dipakai}$	Kontrol
Y	0,283	0,425	0,529	0,397	OK

Berdasarkan Tabel L.1, periode alami struktur yang digunakan adalah batas periode maksimum yaitu 0,397 karena nilai periode pada Program lebih besar dari batas maksimum pada model tersebut.

➤ Model 2

Data Struktur:

- Tinggi Lantai : 4,57 m
- H_n : 13,71 m
- C_u : 1,5
- C_t : 0,0731
- x : 0,75

Tabel L. 2: Kontrol periode getar alami struktur Model 2

Syarat Periode					
Arah	T_{amin} ($C_t \times h_n^x$)	T_{amax} ($C_u \times T_{amin}$)	T_{ETABS}	$T_{dipakai}$	Kontrol
Y	0,520	0,729	1,412	0,782	OK

Berdasarkan Tabel L.2, perioda alami struktur yang digunakan adalah batas perioda maksimum yaitu 0,729 karena nilai perioda pada Program lebih besar dari batas maksimum pada model tersebut.

A.3 Modal Participating Mass Ratio

A.3.1 Modal Participating Mass Ratios Model 1

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

<i>Modal Participating Mass Ratios</i>				
<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>UY</i>	<i>Sum UY</i>
Modal	1	0,529	0	0
Modal	2	0,485	0,9192	0,9192
Modal	3	0,331	0	0,9192
Modal	4	0,212	0	0,9192
Modal	5	0,185	0,0808	1
Modal	6	0,133	0	1

Tabel L. 4: Hasil selisih presentase nilai perioda (Model 1).

Mode	Presentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	8%	OK	NOT OK
T2-T3	32%	NOT OK	OK
T3-T4	36%	NOT OK	OK
T4-T5	13%	OK	NOT OK
T5-T6	28%	NOT OK	OK

A.3.2 Modal Participating Mass Ratios Model 2

Tabel L. 5 : Hasil output Modal Participating Mass Ratios struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur (Model 2).

<i>Modal Participating Mass Ratios</i>				
<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>UY</i>	<i>Sum UY</i>
Modal	1	1,407	0,8957	0,8957
Modal	2	1,346	0	0,8957
Modal	3	0,883	0	0,8957
Modal	4	0,526	0,085	0,9842

Tabel L.5 : *Lanjutan.*

<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	UY	Sum UY
Modal	5	0,49	0	0,9842
Modal	6	0,34	0	0,9842
Modal	7	0,314	0,0158	1
Modal	8	0,289	0	1
Modal	9	0,199	0	1

Tabel L.6 : Hasil Selisih Presentase Nilai Perioda (Model 2).

Mode	Presentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	4%	OK	NOT OK
T2-T3	34%	NOT OK	OK
T3-T4	40%	NOT OK	OK
T4-T5	7%	OK	NOT OK
T5-T6	31%	NOT OK	OK
T6-T7	8%	OK	NOT OK
T7-T8	8%	OK	NOT OK
T8-T9	31%	NOT OK	OK

A.4 Berat Sendiri Struktur

A.4.1 Berat Sendiri Struktur (Model 1)

Tabel L. 7: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur.

Story	<i>Self Weight</i> (KN)
2	1542,564
1	1873,721
TOTAL	3416,285

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa berat total struktur untuk tersebut adalah 3416,285 KN.

A.4.2 Berat Sendiri Struktur (Model 2)

Tabel L. 8: : Hasil output berat sendiri struktur pemodelan dengan Program Analisa Struktur.

Story	Self Weight (KN)
3	2533,53
2	2927,44
1	2893,205
TOTAL	8354,186

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa berat total struktur untuk tersebut adalah 8354,186 KN.

A.5 Perhitungan Gaya Geser Dasaar dan Gaya Lateral Statik Ekivalen

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

➤ Model 1

Data Struktur:

- S_{D1} : 0,2661
- S_{DS} : 0,236
- R : 6
- I_e : 1
- S_1 : 0,112

Tabel L. 9: Nilai C_s yang digunakan untuk Model 1 ($R=6$)

Arah	C_s Maksimum	C_s Hitungan	C_s Minimum	C_s Digunakan
Y	0,0695	0,395	0,0093	0,395

Pada peraturan SNI 1726:2019. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai C_s hitungan berada diantara C_s minimum dan C_s maksimum. Maka yang digunakan adalah C_s hitungan.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,0395 \times 33502$$

$$V = 1322,21 \text{ KN.}$$

A.1 Penentuan nilai k Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3, k adalah eksponen yg 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.

Nilai perioda struktur adalah 0,425 detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 0,9627.

Tabel L. 10: Nilai story shear untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 1.

Lantai	Berat Sesimik (W _x)	Tinggi Lantai (h _x)	W x.h _x ^k	$\frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum W_x \cdot h_x^k} \times V$	Story Shear (F _x)
2	1542,564	3048	3485745,2	597	597
1	1873,721	3048	4234063,6	725,2	1322,2
Total			7719808,8	1322,2	

Berdasarkan Tabel L.14, dapat diketahui nilai gaya geser pada model 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk struktur tersebut adalah 1322,2 KN.

➤ **Model 2**

Data Struktur:

- S_{D1} : 0,266
- S_{DS} : 0,2368
- R : 6
- I_e : 1
- S₁ : 0,112

Tabel L. 11: Nilai C_s yang digunakan untuk Model 1 (R=6).

Arah	C _s Maksimum	C _s Hitungan	C _s Minimum	C _s Digunakan
Y	0,0378	0,0395	0,0093	0,0378

Pada peraturan SNI 1726:2019. Pemilihan nilai C_s di dapat karena nilai C_s hitungan berada dibawah C_s minimum dan C_s maksimum. Maka yang digunakan adalah C_s hitungan.

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah

$$V = C_s \times W_t$$

$$V = 0,0378 \times 75910$$

$$V = 2872,06 \text{ KN}$$

✓ Penentuan nilai k

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3, k adalah eksponen yg 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.

Nilai perioda struktur adalah 0,782 detik, maka dengan interpolasi linear nilai k adalah 1,1408.

Tabel L. 12: Nilai story shear untuk gaya lateral statik ekuivalen Model 2.

Lantai	Berat Seismik (W _x)	Tinggi Lantai (mm)	W x.hx ^k	$\frac{Force}{\sum Wx.hxk} \times V$	Story Shear (F _x)
3	2533,57	4572	37930999,2	871	871
2	2927,44	4572	43828401,1	1006,4	1877,4
1	2893,20	4572	43315789,9	994,6	2872,1
Total			125075190,3	2872,1	

Berdasarkan Tabel L.12, dapat diketahui nilai gaya geser pada lantai 1 yang merupakan nilai gaya geser dasar untuk struktur tersebut adalah 2872,1 KN.

A.6 Koreksi story shear dengan 35% base shear

Tabel L. 13: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1, R = 6, untuk Model 1.

Story	V _x	35% V _x <i>Base Shear</i>	Kontrol
2	785,75	462,77	OK
1	1322,67	462,77	OK
Base	0	0	OK

Tabel L. 14: Hasil analisa Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1, R = 6, untuk Model 2.

Story	V _x	35% V _x <i>Base Shear</i>	Kontrol
3	1435,3	1005,220	OK
2	3049,5	1005,220	OK
1	4649,2	1005,20	OK
Base	0	0	OK

A.7 Nilai Simpangan Gedung

Tabel L. 15: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk Model 1.

Tinggi Gedung (mm)	Lantai Gedung	Simpangan ($\delta_{Ye} - \text{mm}$)	Simpangan Antar Tingkat $((\delta * Cd)/I_e)$	Syarat (Δa) 0,02*hi	Cek (Sb, Y, Y) Story Drift < Δa
		Y	Y		Y
3048	2	3,75	7,93	46,892	OK
3048	1	2,16	10,82	46,892	OK

Berdasarkan Tabel L.15: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari Δa (simpangan antar tingkat izin).

Tabel L. 16: Hasil analisa nilai simpangan gedung untuk Model 2.

Tinggi Gedung (hi)	Lantai Gedung	Simpangan ($\delta_{Ye} - \text{m}$)	Simpangan Antar Tingkat $((\delta * Cd)/I_e)$	Syarat (Δa) 0,02*hi	Cek (Sb, Y, Y) Story Drift < Δa
		Y	Y		Y
13,71	3	12,16	15,46	70,33	OK
9,14	2	9,03	20,76	70,33	OK
4,57	1	4,88	24,39	70,33	OK

Berdasarkan Tabel L.15: seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari Δa (simpangan antar tingkat izin).

A.8 Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)

Tabel L. 17: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah Y (Model 1).

Story	Story Stiffness (kN/m)	Story Stiffness > 70% Story Stiffness above
2	505270.631	OK
1	631137.416	OK

Tabel L. 18: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah Y (Model 2).

Story	Story Stiffness (kN/m)	Story Stiffness > 70% Story Stiffness above
3	190270,936	
2	272494,494	OK
1	277757,574	OK

A.9 Pengaruh Efek P-Delta

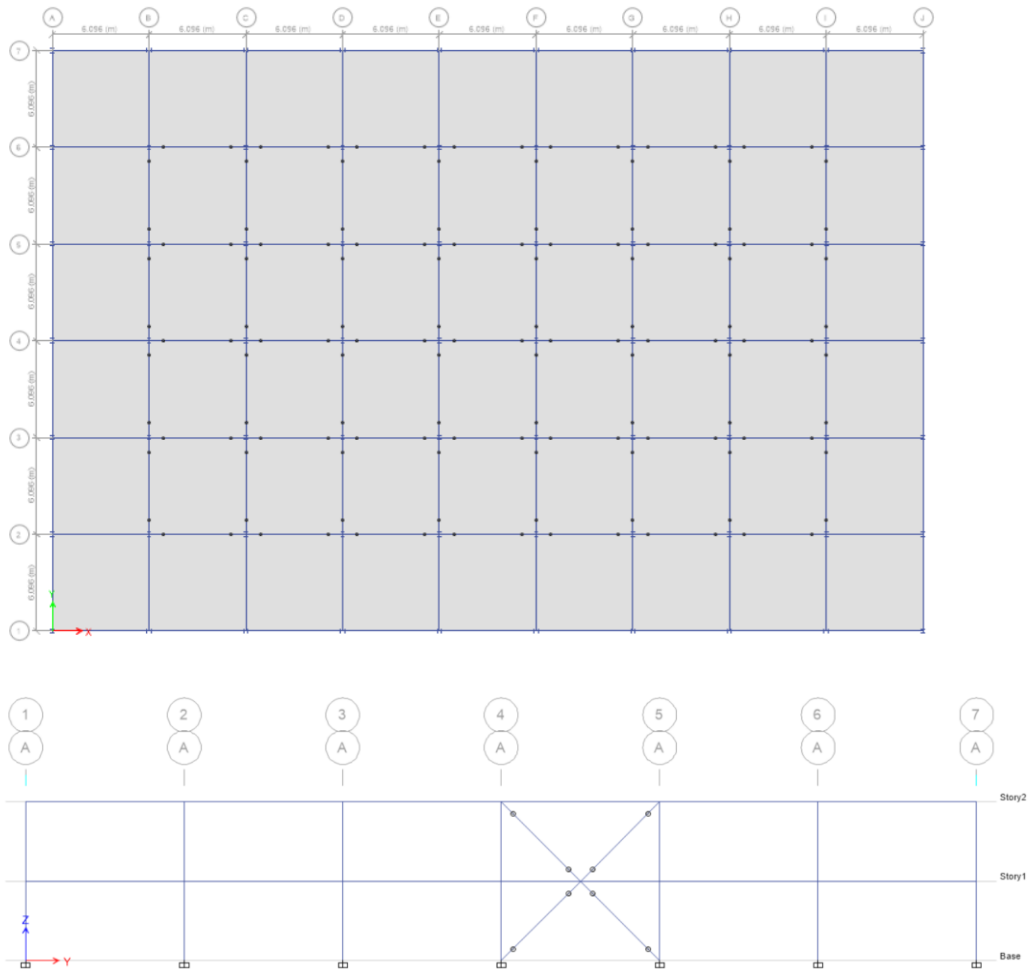
Tabel L. 19: Hasil analisa P-Delta struktur Model 1 (R-6).

ARAH Y								
LANTAI	TINGGI	INTERSTORYDRIFT (mm)	Vu (kN)	Pu	Ie	Cd	Stability Ratio	Cek < 1
2	3048	7,93	785,76	21469,92	1	5	0,0142	OK
1	3048	10,82	1322,69	48819,23	1	5	0,0262	OK

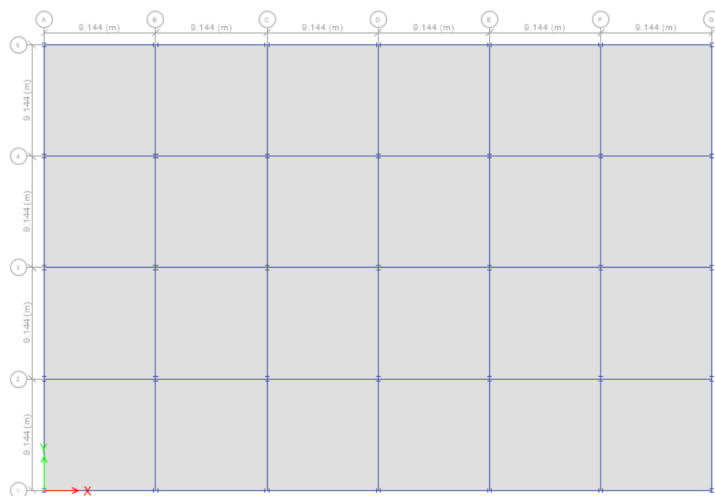
Tabel L. 20: Hasil analisa P-Delta struktur Model 2 (R-6).

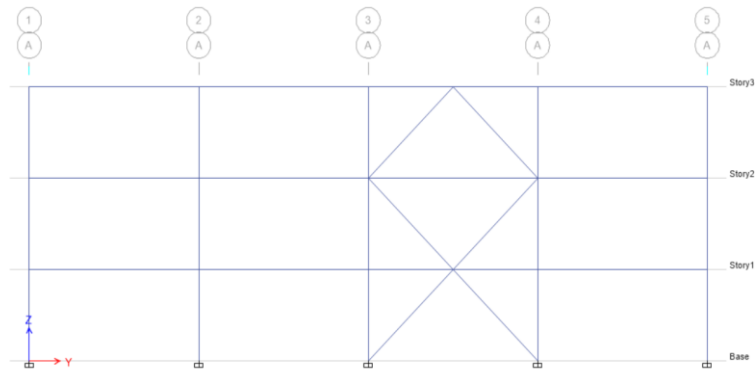
ARAH Y								
LANTAI	TINGGI (mm)	INTERSTORYDRIFT (mm)	Vu	P	Ie	Cd	Stability Ratio	Cek < 1
3	4572	15,645	2176,373	33069,51	1	5	0,0104	OK
2	4572	20,760	3650,077	71368,46	1	5	0,0178	OK
1	4572	24,395	4602,395	110962,37	1	5	0,0257	OK

A.10 Model Denah Struktur



Dapat dilihat pada gambar diatas untuk gambar struktur model 1.

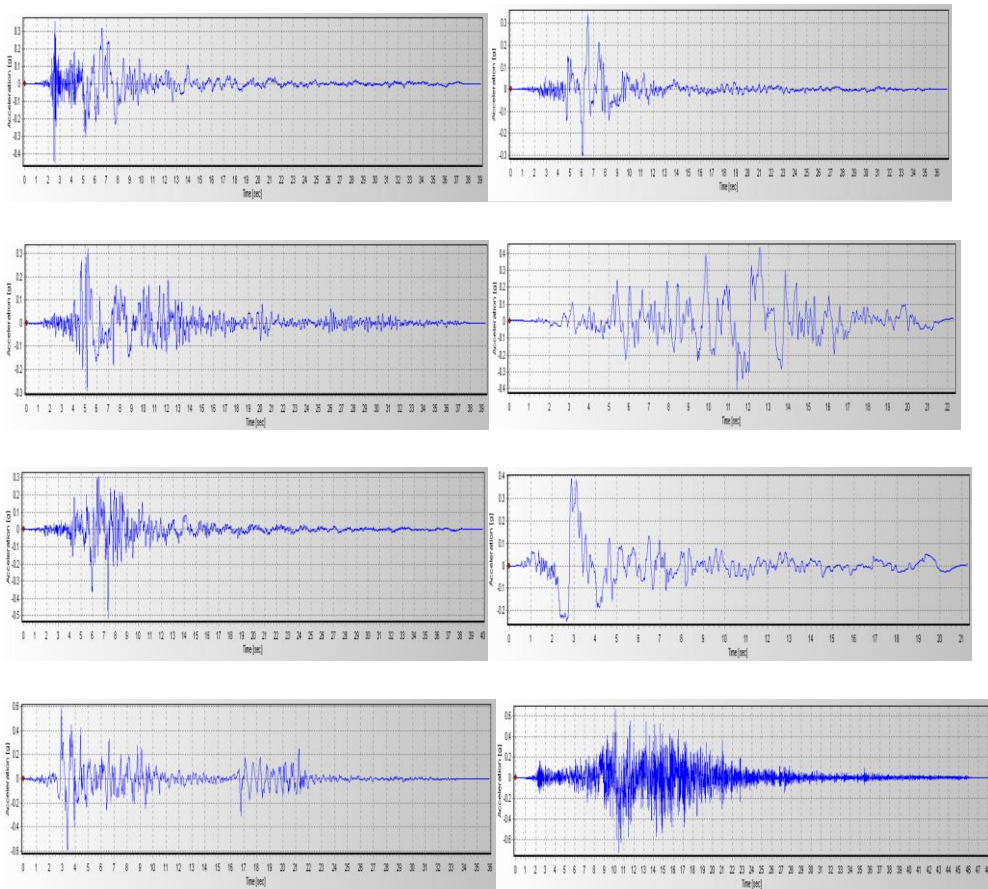


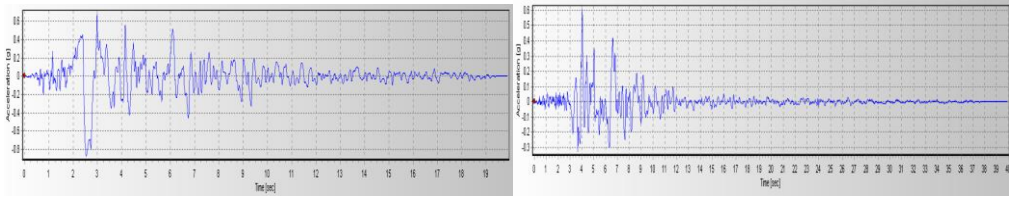


Dapat dilihat gambar diatas untuk struktur model 2.

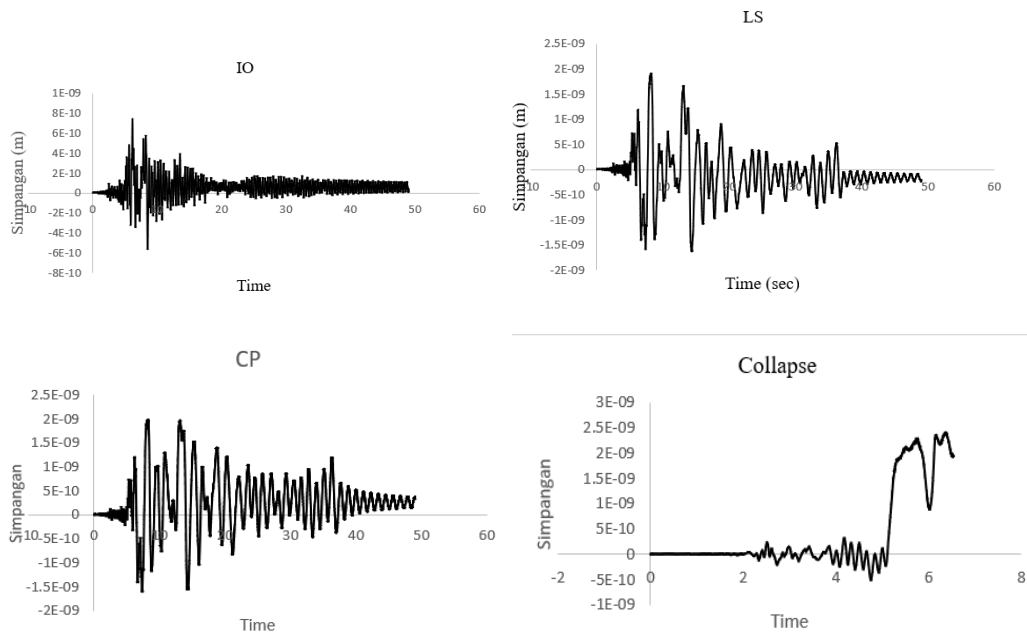
A.11 Grafik Rekaman Gempa

Untuk gambar grafik rekaman gempa dapat dilihat seperti gambar dibawah:

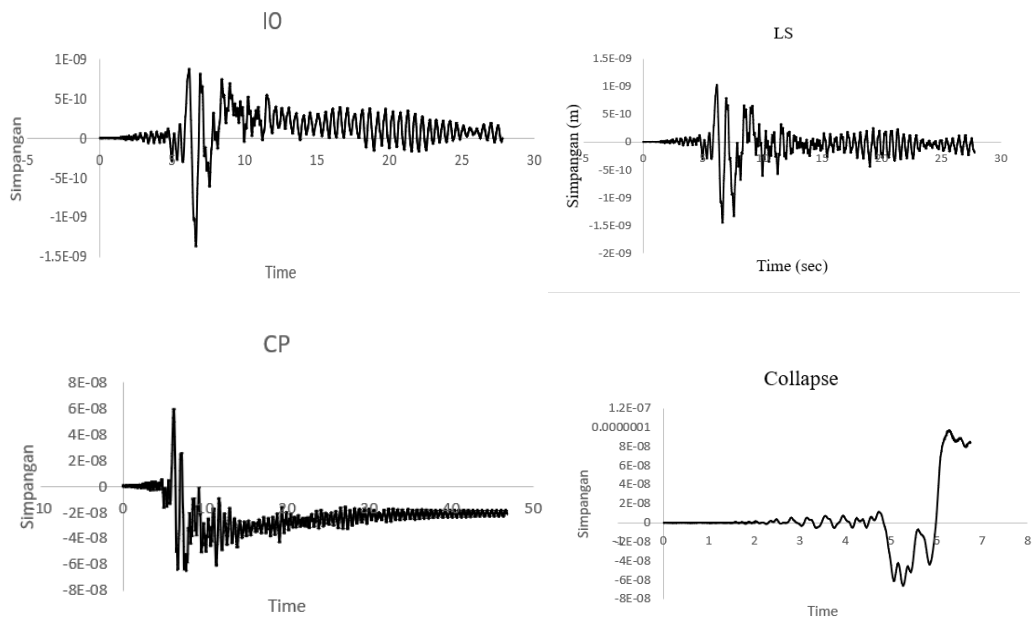




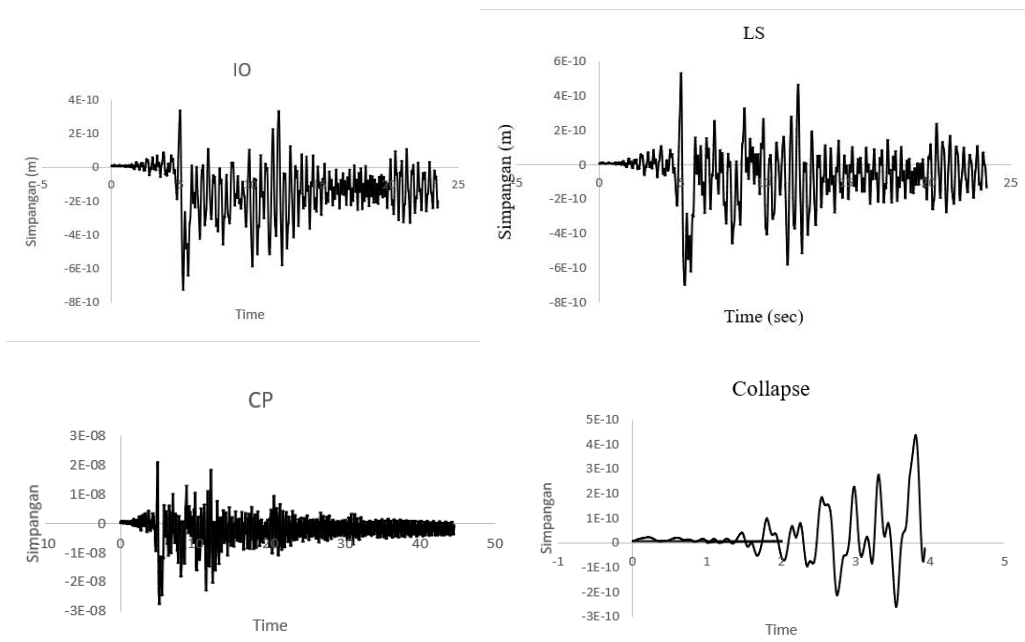
A.12 Grafik Simpangan Sisa



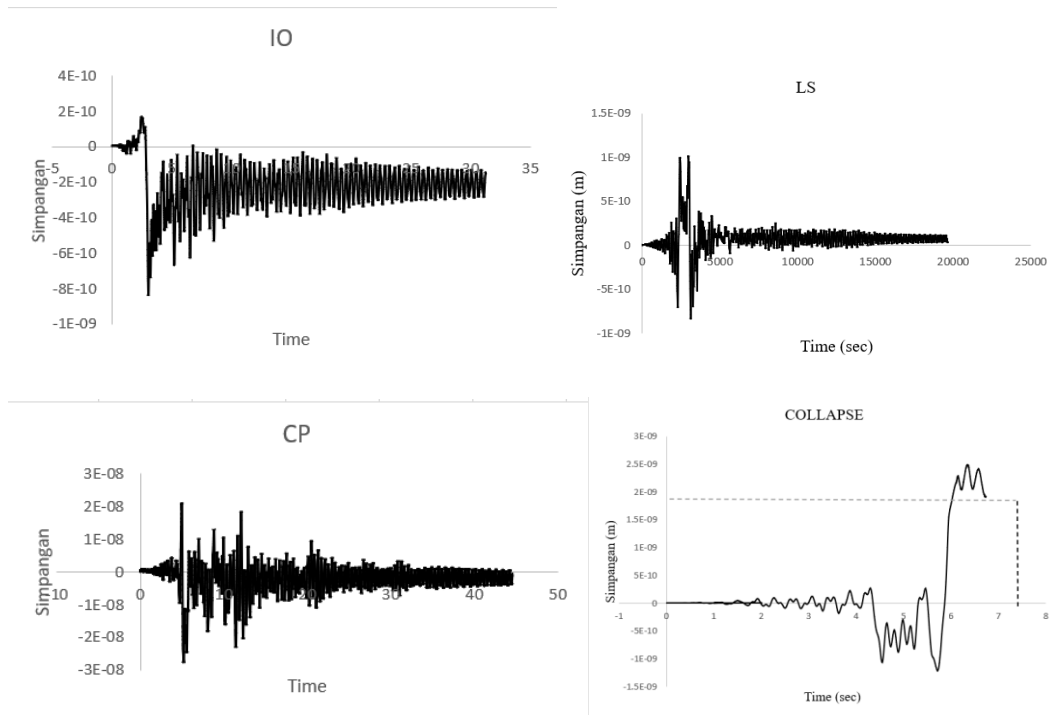
Gambar L.1: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Imperial Valley #06.



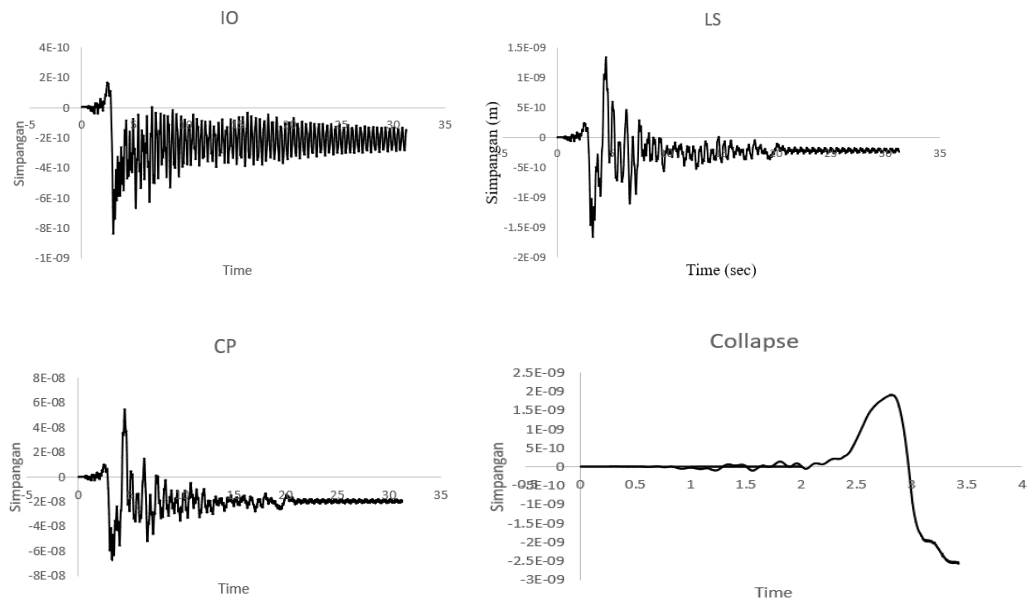
Gambar L.2: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Imperial Valley #07.



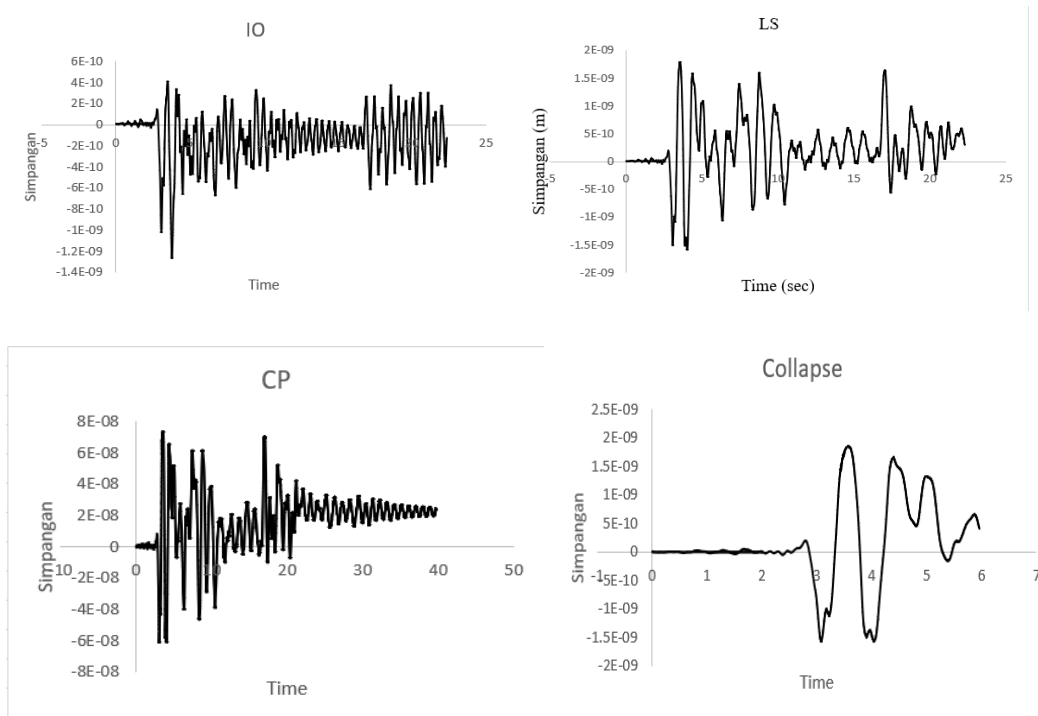
Gambar L.3: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Irphina, Italy.



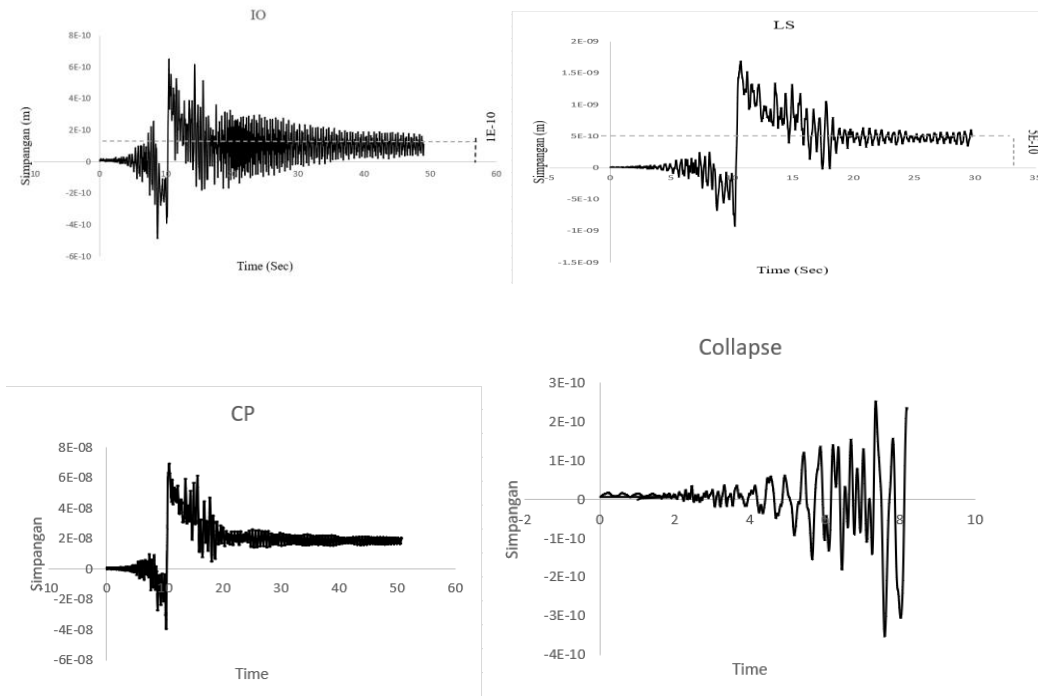
Gambar L.4: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Loma Prieta.



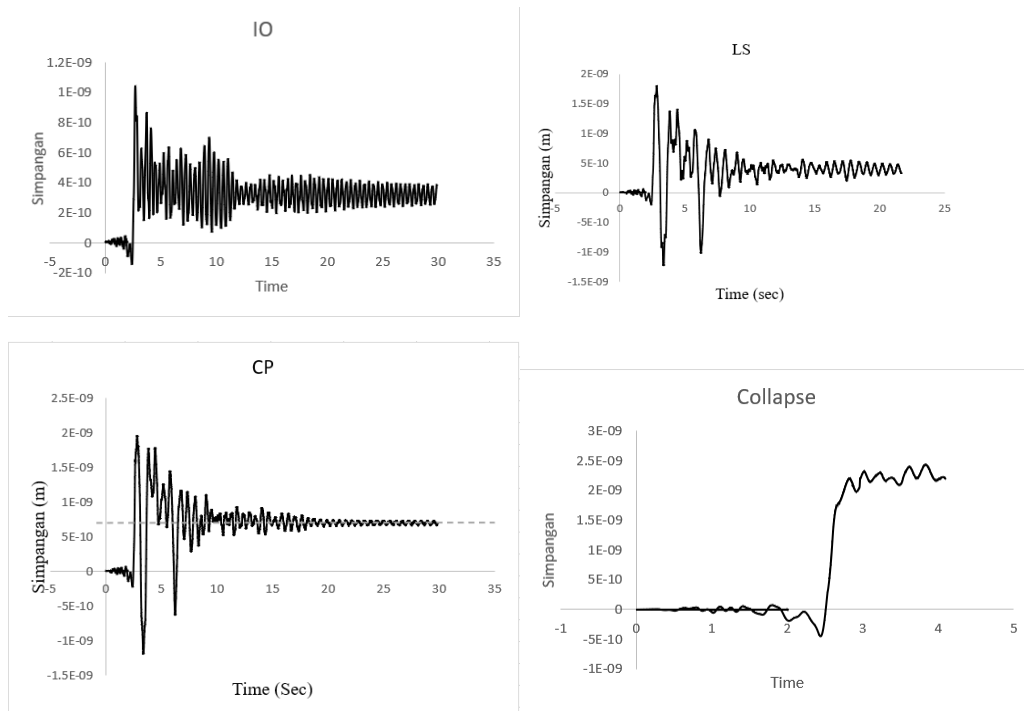
Gambar L.5: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Erizcan, Turkey.



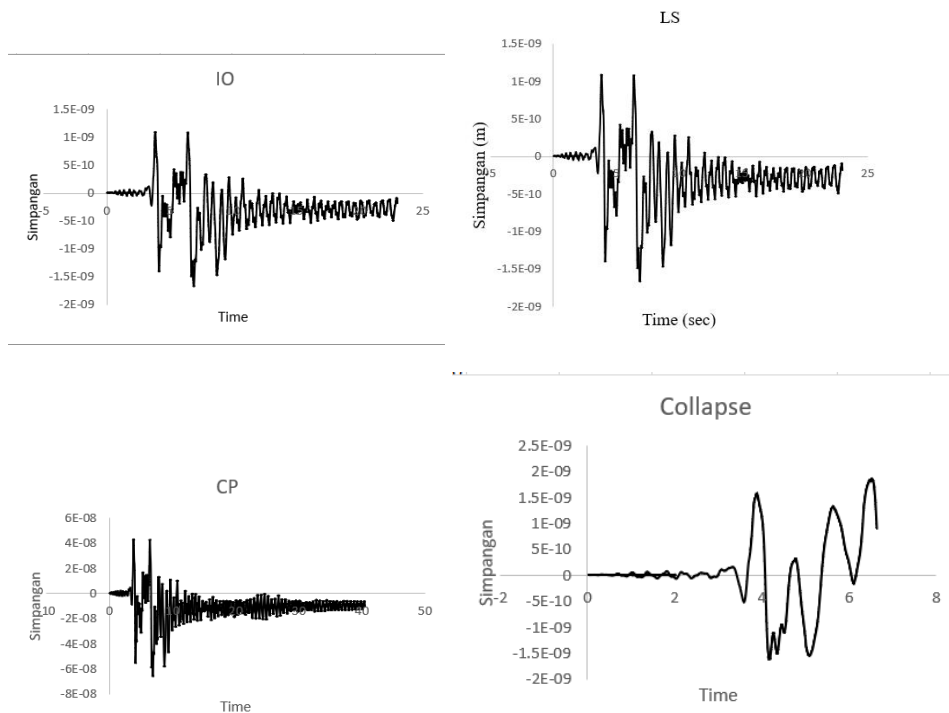
Gambar L.6: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Cape Mendocino.



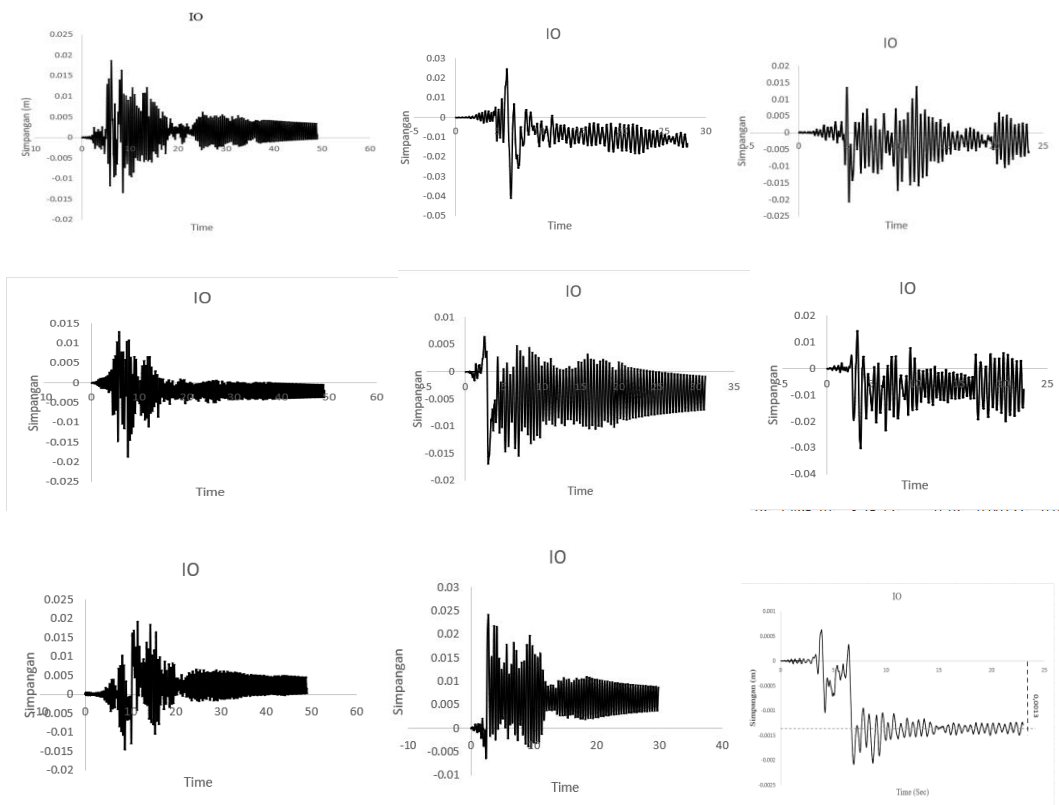
Gambar L.7: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Landers.



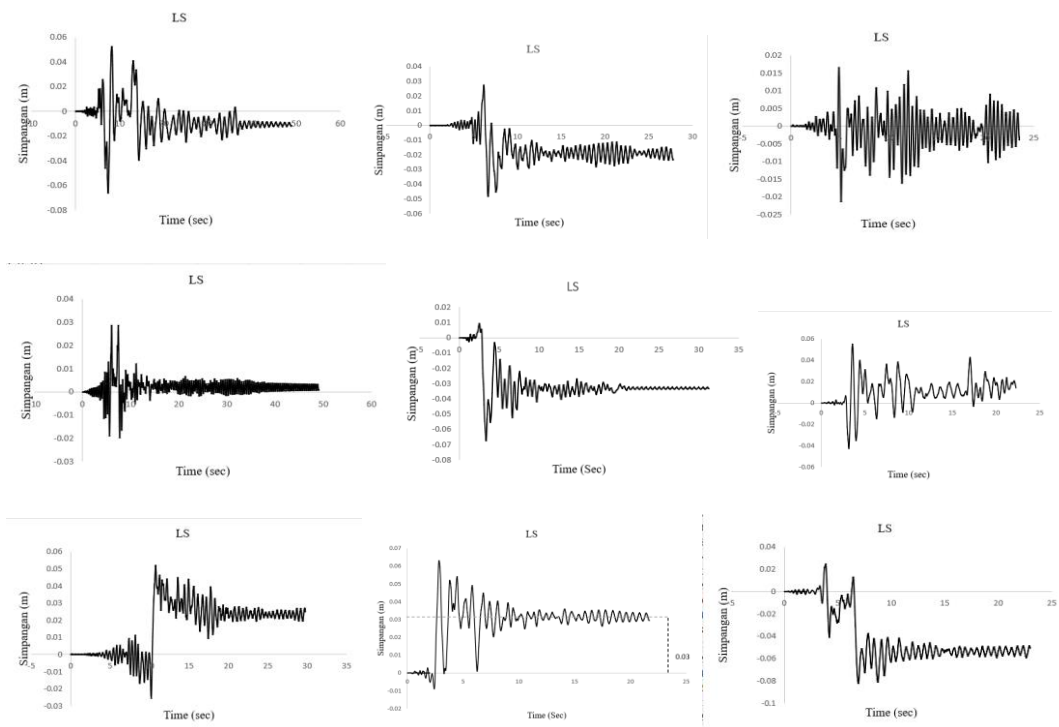
Gambar L.8: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Northridge-01R.



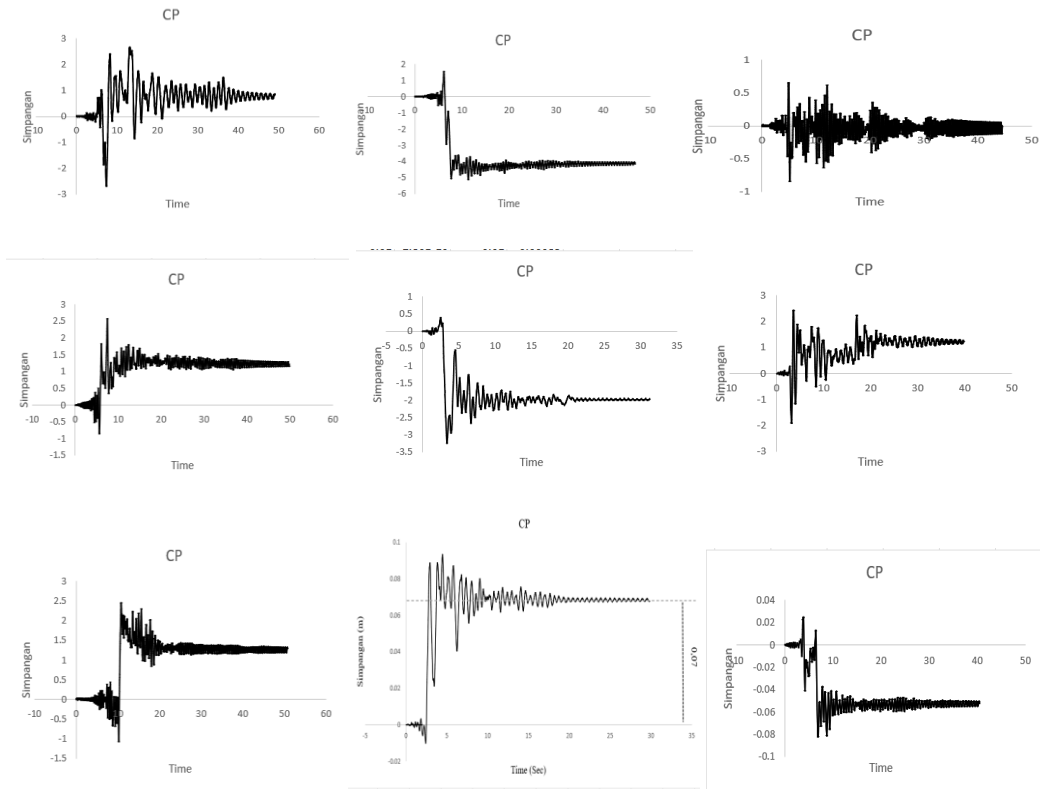
Gambar L.9: Grafik Simpangan Sisa lantai dasar pada model 2 di Northridge-01S.



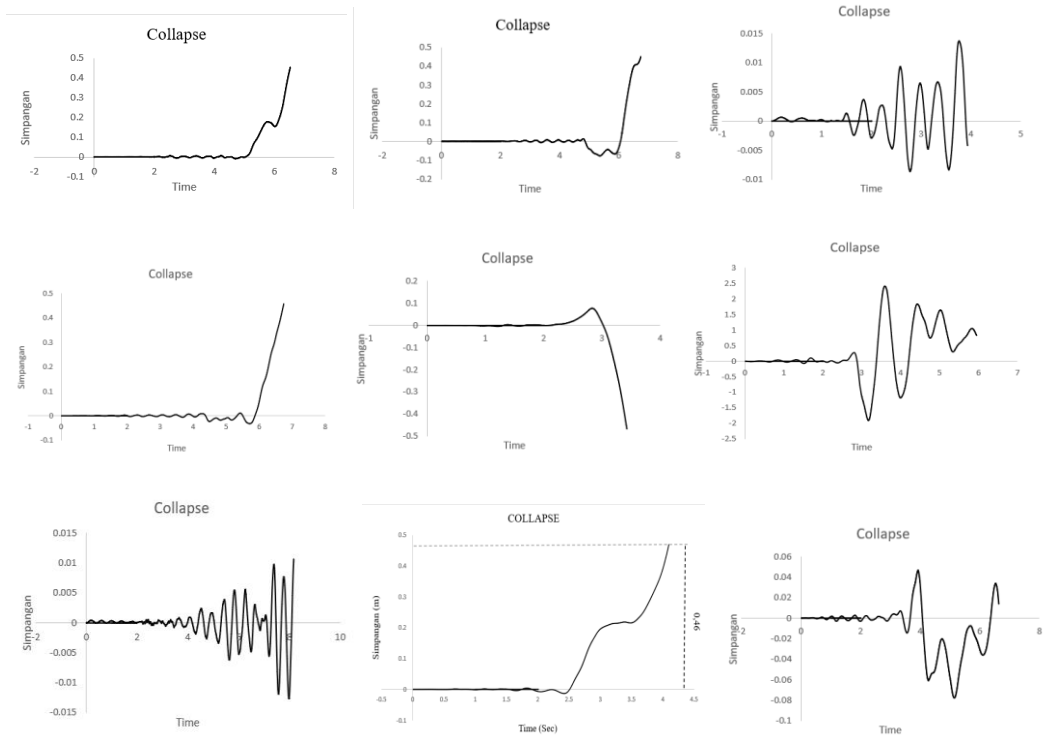
Gambar L.10: Grafik Simpangan Sisa pada kondisi IO pada semua gempa untuk model 1 (Atap).



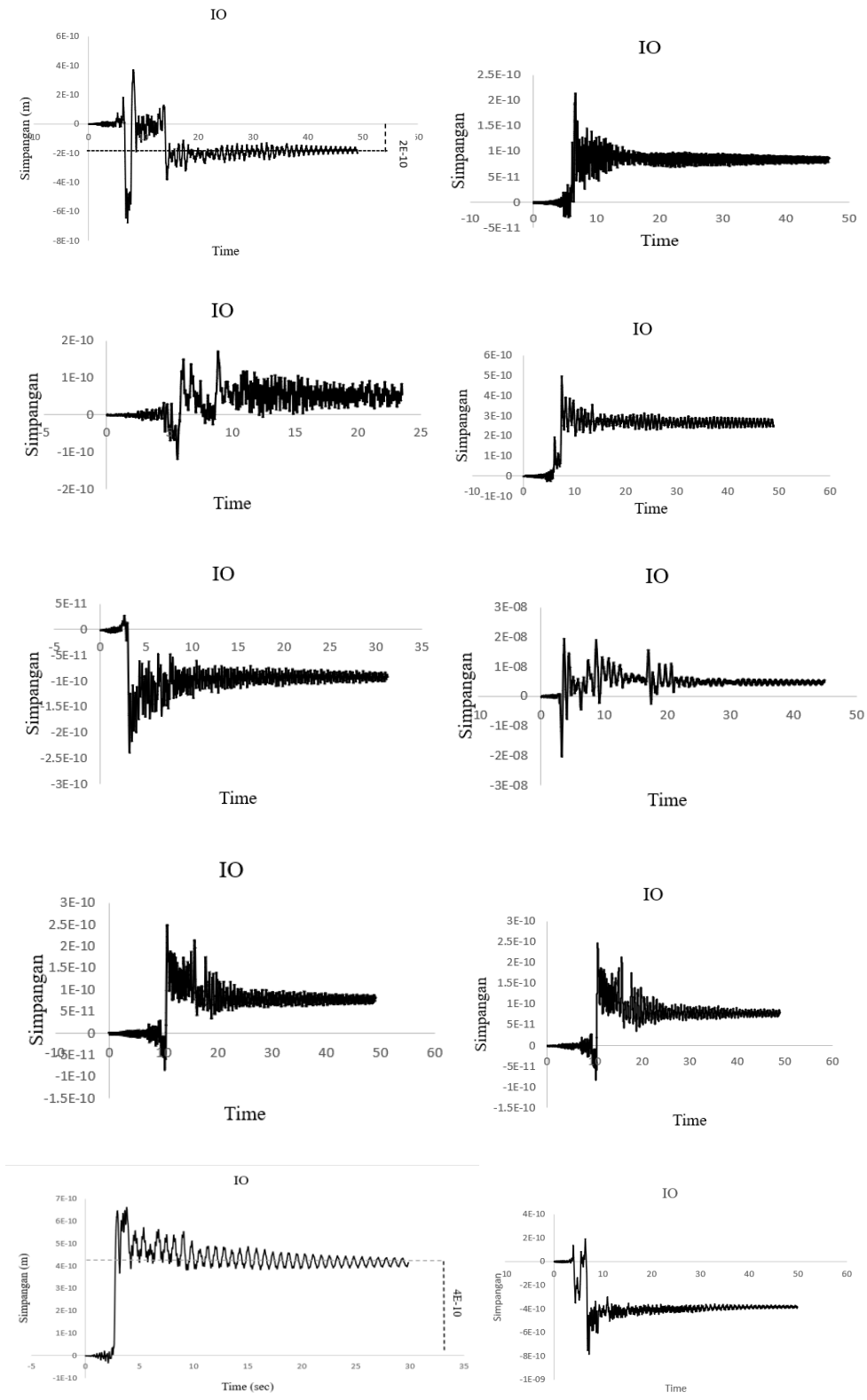
Gambar L.11: Grafik Simpangan Sisa pada kondisi LS pada semua gempa untuk model 1 (Atap).



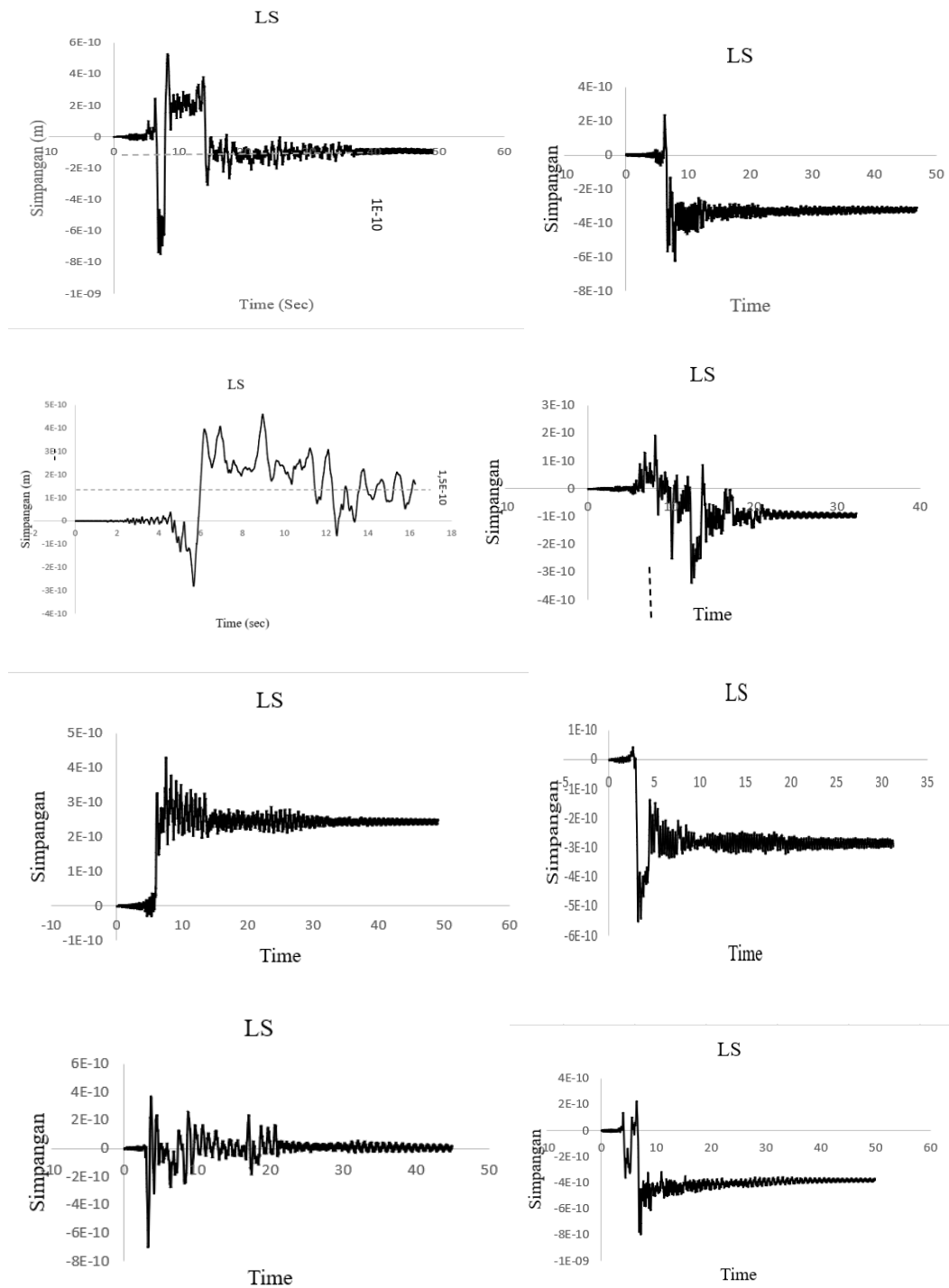
Gambar L.12: Grafik Simpangan Sisa pada kondisi CP pada semua gempa untuk model 1 (Atap).



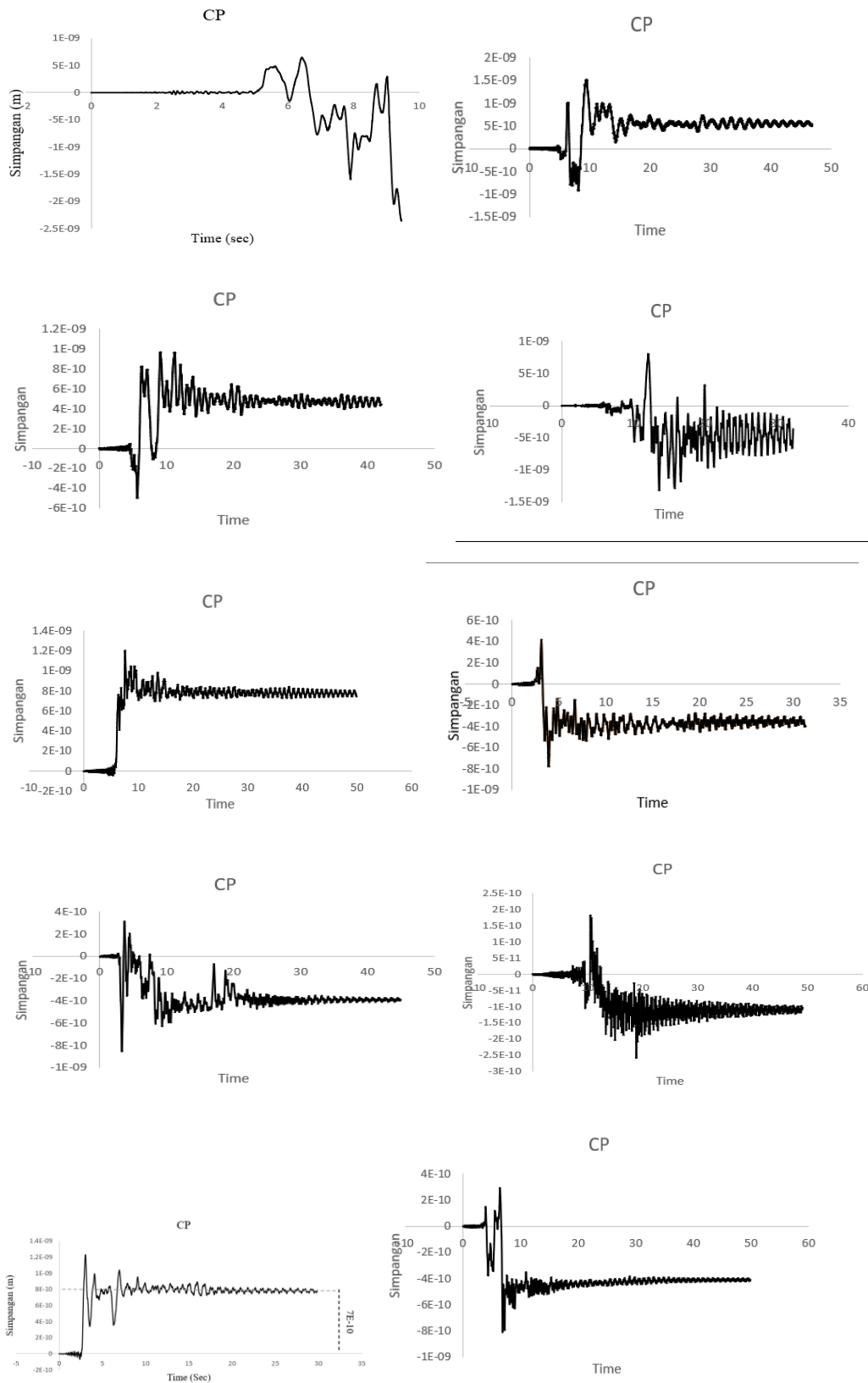
Gambar L.13: Grafik Simpangan Sisa pada kondisi Collapse pada semua gempa untuk model 1 (Atap).



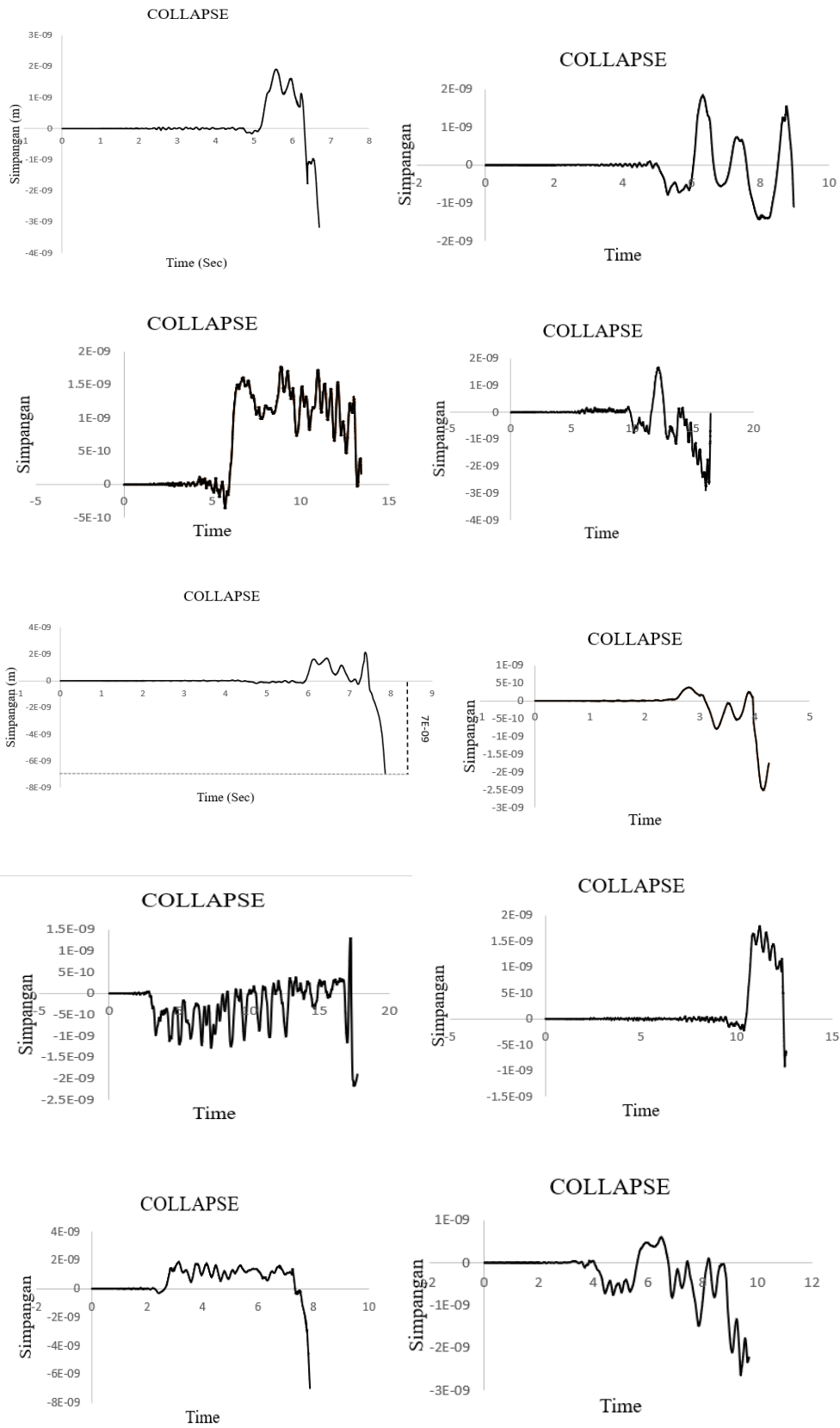
Gambar L.14: Grafik simpangan sisa untuk kondisi IO pada model 2 akibat gempa di lantai dasar.



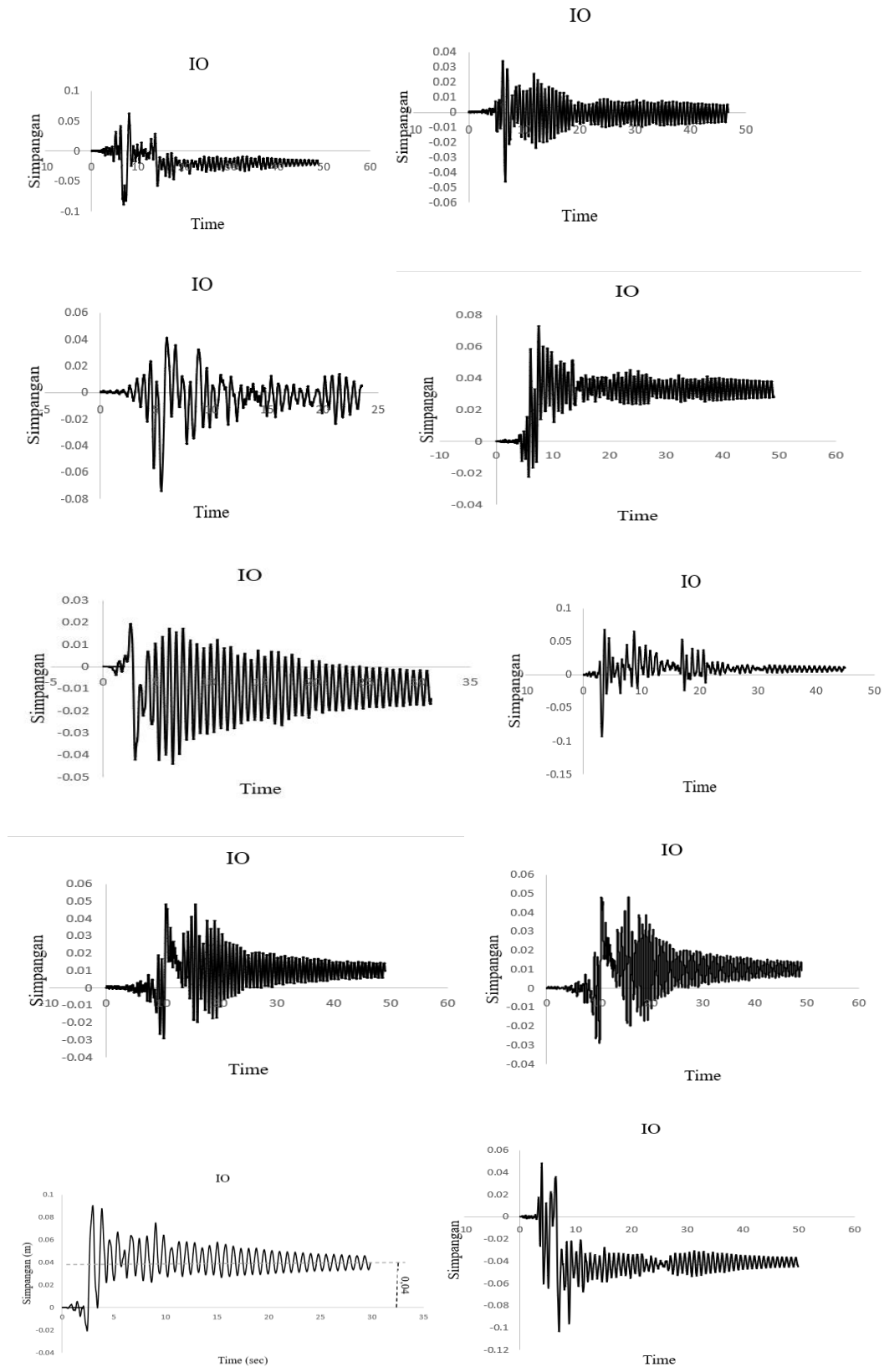
Gambar L.15: Grafik simpangan sisa untuk kondisi LS pada model 2 akibat gempa di lantai dasar.



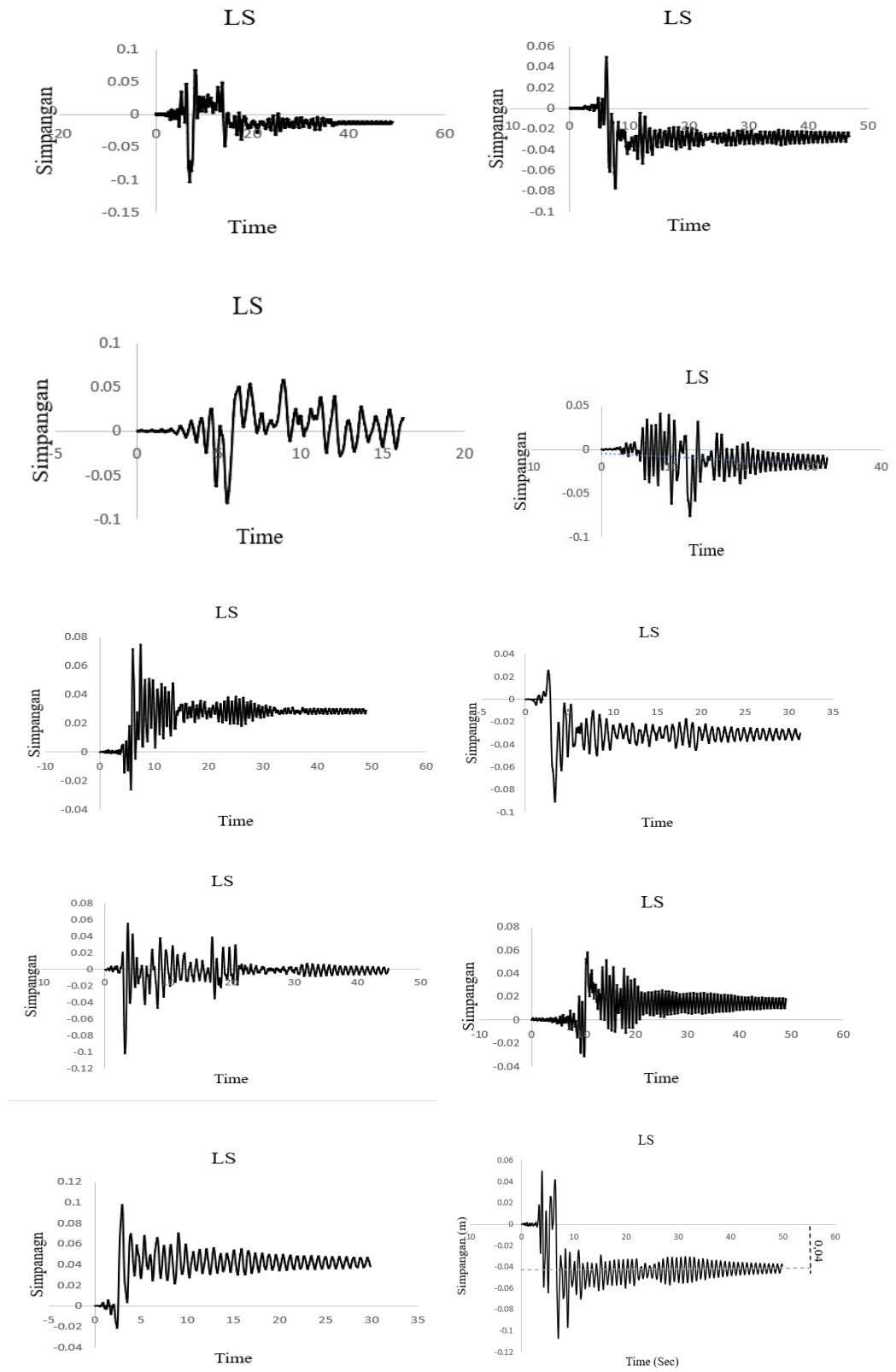
Gambar L.16: Grafik simpangan sisa untuk kondisi CP pada model 2 akbat gempa di lantai dasar.



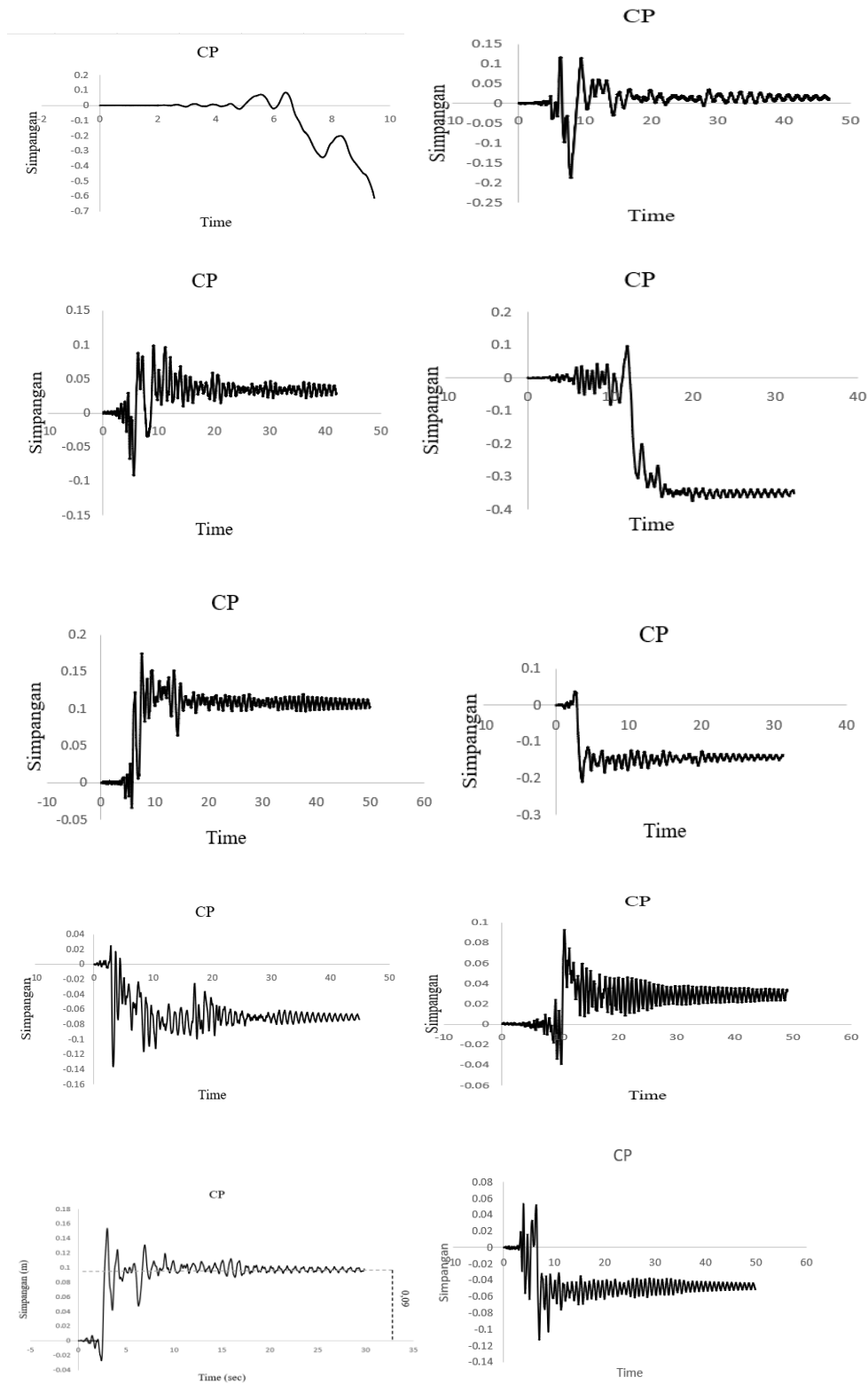
Gambar L.17: Grafik simpangan sisa untuk kondisi *Collapse* pada model 2 akibat gempa di lantai dasar.



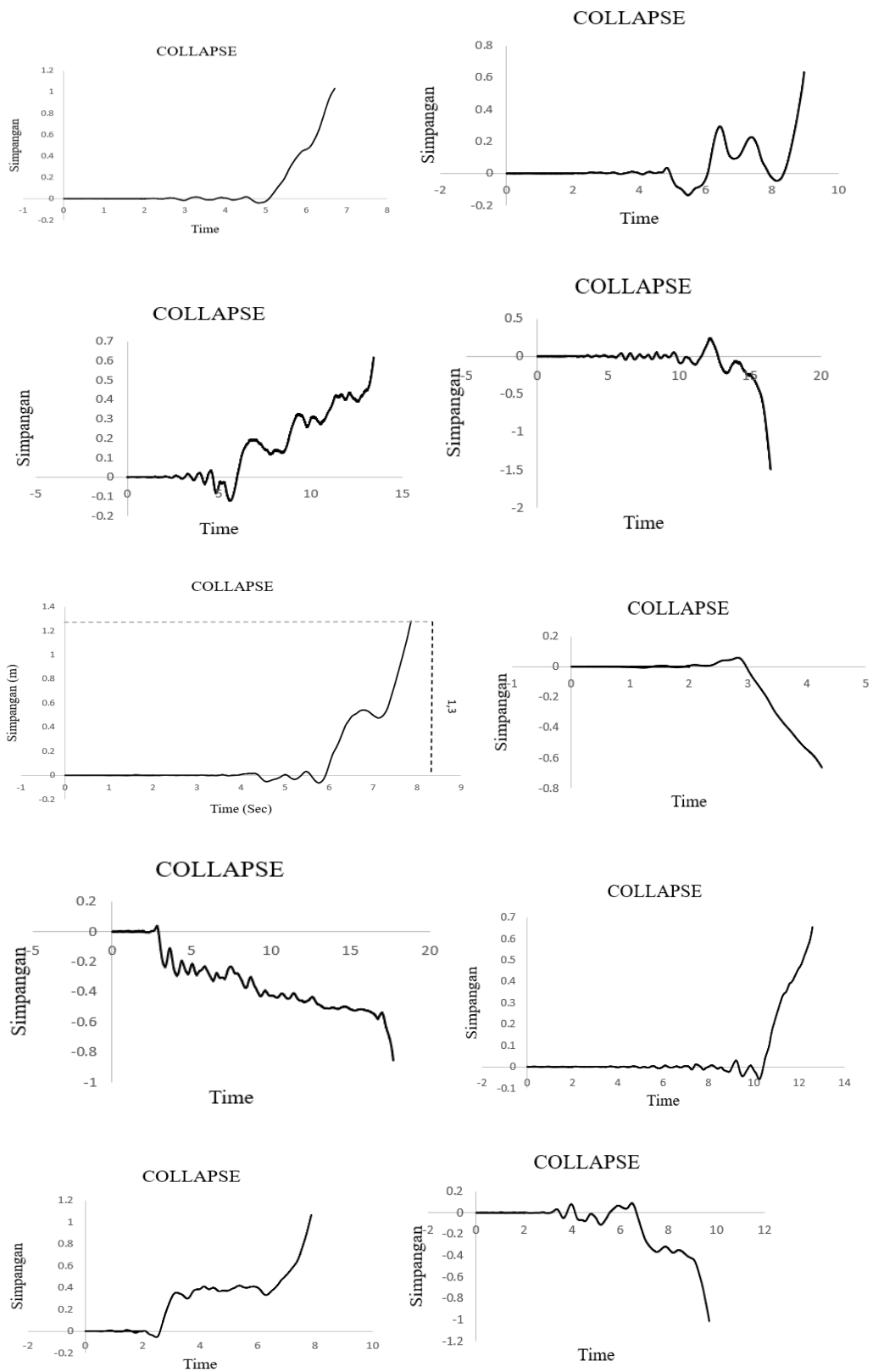
Gambar L.18: Grafik simpangan sisa untuk kondisi *IO* pada model 2 akibat gempa di lantai atap.



Gambar L.19: Grafik simpangan sisa untuk kondisi *LS* pada model 2 akibat gempa di lantai atap.



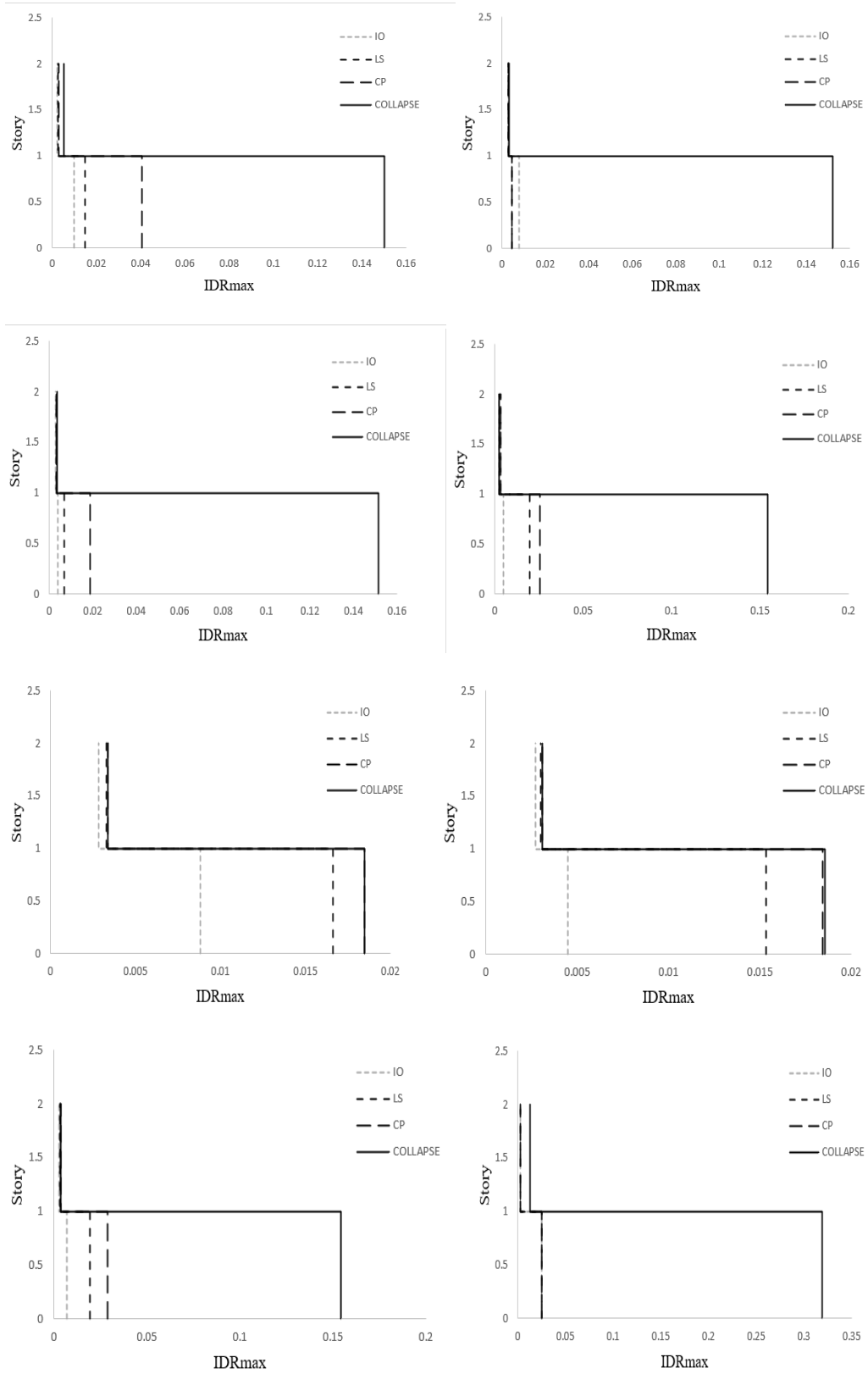
Gambar L. 20: Grafik simpangan sisa untuk kondisi *CP* pada model 2 akibat gempa di lantai atas.



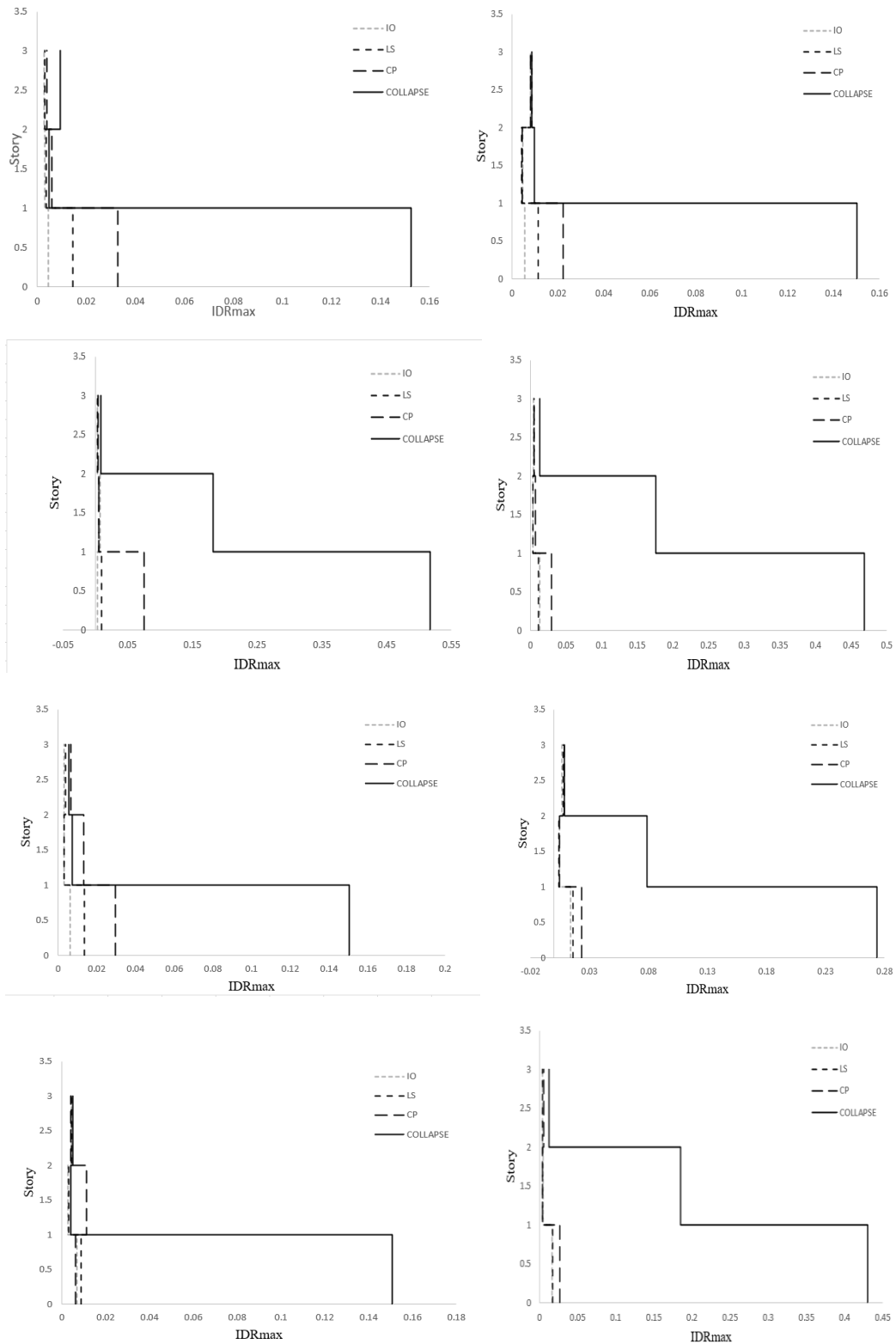
Gambar L.21: Grafik simpangan sisa untuk kondisi *Collapse* pada model 2 akibat gempa di lantai atap.

A.13 Grafik Interstorydrift

Grafik IDR untuk model 1



Grafik IDR untuk model 2.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PENULIS

Nama Lengkap : Afif Irman Tambunan
Tempat Tanggal Lahir : Batam, 22 Desember 2001
Alamat : Jln. Alfalah 1 No.26, Glugur
Darat II, Kec. Medan Timur,
Kota Medan, Sumatera Utara.
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Sofyan Tambunan
Ibu : Siti Sulastri
No. Telp : 082288960001
Email : afifirman51@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

SD Negeri 004 Batam	Tahun Lulus 2014
SMP Negeri 6 Batam	Tahun Lulus 2017
SMA Negeri 1 Sibolga	Tahun Lulus 2020
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2020 - Selesai