

TUGAS AKHIR

**INVESTIGASI PERBEDAAN DEFORMASI NONLINEAR
PADA PLAT BUHUL STRUKTUR BAJA RANGKA
BERBRESING AKIBAT GEMPA DEKAT DAN GEMPA JAUH
(Studi Literatur)**

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

Disusun Oleh:

MUHAMMAD FADLAN IRLIANSYAH
2007210071



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Fadlan Irliansyah

NPM : 2007210071

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Investigasi Perbedaan Deformasi Nonlinear pada Plat Buhul
Struktur Baja Rangka Berbresing Akibat Gempa Dekat dan
Gempa Jauh

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, 17 september 2024

Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Fadlan Irliansyah

NPM : 2007210071

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Investigasi Perbedaan Deformasi Nonlinear pada Plat Buhul
Struktur Baja Rangka Berbresing Akibat Gempa Dekat dan
Gempa Jauh

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.

Medan, 17 september 2024

Dosen Pembimbing



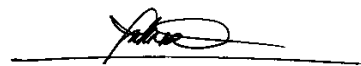
Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal S.T, M.Sc, Ph.D

Dosen Pembanding I

Dosen Pembanding II

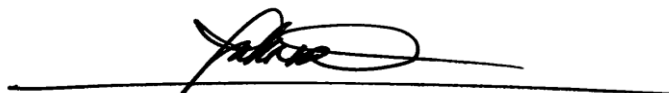


Rizki Efrida, S.T, M.T,



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

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Fadlan Irliansyah

NPM : 2007210071

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Investigasi Perbedaan Deformasi Nonlinear pada Plat Buhul Struktur Baja Rangka Berbresing Akibat Gempa Dekat dan Gempa Jauh

Bidang Ilmu : Struktur

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Investigasi Perbedaan Deformasi Nonlinear pada Plat Buhul Struktur Baja Rangka Berbresing Akibat Gempa Dekat dan Gempa Jauh”.

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 hakikatnya merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang 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, 17 September 2024

Saya yang menyatakan,

A 2000 Rupiah Indonesian postage stamp with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '2000', 'METRICAL', 'TEMPER', and 'CG22CALX330607EE7'.

Muhammad Fadlan Irliansyah

NPM: 2007210071

ABSTRAK

INVESTIGASI PERBEDAAN DEFORMASI NONLINEAR PADA PLAT BUHUL STRUKTUR BAJA RANGKA BERBRESING AKIBAT GEMPA DEKAT DAN GEMPA JAUH (STUDI LITERATUR)

Muhammad Fadlan Irliansyah

2007210071

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Letak geografis Indonesia yang berada pada jalur subduksi lempeng menyebabkan Indonesia berada pada zona seismik aktif dengan tingkat kegempaan tinggi, sehingga bangunan bertingkat dapat mengalami kehancuran. Oleh karena itu perlu adanya perencanaan struktur baja dengan sistem rangka yang tahan terhadap getaran gempa yang terjadi gempa dekat maupun gempa jauh. Dalam tugas akhir ini menggunakan 2 model struktur dengan sistem rangka baja berbresing konsentris dengan konfigurasi *multistory x-bracing*, dengan spesifikasi material dan dimensi berbeda-beda. Model 1 memiliki ketinggian 9,14 m dengan jumlah tingkat sebanyak 2 tingkat, dan model 2 memiliki ketinggian 13,7 m dengan jumlah tingkat sebanyak 3 tingkat. Analisa yang digunakan adalah Respon Spektrum sebagai tahap desain dan Respon Riwayat Waktu Linear dan Nonlinear sebagai tahap evaluasi, dimana analisa Nonlinear yang dianalisa adalah *Incremental Dynamic Analysis*, *Interstory Drift*, dan Deformasi Nonlinear pada plat buhul. Analisis menggunakan alat bantu berupa *software* OpeenSEES untuk analisa nonlinear. Hasil analisis menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi pada plat buhul yang diakibatkan gempa dekat dan gempa jauh memiliki nilai deformasi yang terjadi lebih besar didominasi oleh pengaruh gempa jauh.

Kata Kunci: Gempa, bresing, plat buhul, deformasi.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE DIFFERENCE IN NONLINEAR DEFORMATION AT THE GUSSET PLATE OF BRACED STEEL FRAME STRUCTURE DUE TO NEAR-FIELD AND FAR-FIELD EARTHQUAKES (LITERATURE STUDY)

Muhammad Fadlan Irliansyah
2007210071
Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Indonesia's geographic location on the plate subduction route causes Indonesia to be in an active seismic zone with a high level of seismicity, so that multi-storey buildings can experience destruction. Therefore, it is necessary to plan a steel structure with a frame system that is resistant to earthquake vibrations from near-field or far-field earthquakes. In this final project, 2 structural models are used with a concentric braced steel frame system with a multistory x-bracing configuration, with different material specifications and dimensions. Model 1 has a height of 9.14 m with a total of 2 levels, and model 2 has a height of 13.7 m with a total of 3 levels. The analysis used is Spectrum Response as the design stage and Linear and Nonlinear Time History Response as the evaluation stage, where the Nonlinear analysis analyzed is Incremental Dynamic Analysis, Interstory Drift, and Nonlinear Deformation on the gusset plate. Analysis uses tools in the form of OopenSEES software for nonlinear analysis. The results of the analysis show that the deformation that occurs in the gusset plate caused by near and far earthquakes has a greater dimensioned deformation value when affected by a far-field earthquake.

Keyword: Earthquake, bracing, gusset plate, deformation.

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Investigasi Perbedaan Deformasi Nonlinear pada Plat Buhul Struktur Baja Rangka Berbresing Akibat Gempa Dekat dan Gempa Jauh” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan.

Penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan berkat bimbingan, bantuan, arahan, serta motivasi dari berbagai pihak, baik secara moril maupun materi yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Semoga bimbingan, bantuan, arahan, serta motivasi yang telah diberikan akan mendapat rahmat dari Allah SWT, Amin.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T, MSc selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak berjasa membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Rizki Efrida, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Sekertaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain S.T, MSc Selaku Dosen Pembimbing II dan Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang juga telah mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Kedua orang tua penulis yang tercinta Alm. Drs. Irwansyah, M.Si dan Dra. Lili Sri Astuti, M.Pd yang telah membesarkan, mendidik serta mendukung penulis secara penuh agar dapat menyelesaikan Pendidikan menjadi Sarjana Teknik.
8. Kakak-kakak Penulis yang telah memberikan motivasi kepada penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Rekan-rekan seperjuangan digrup riset kegempaan yang telah memberikan bantuannya kepada penulis.
10. Teman-teman mahasiswa teknik sipil yang banyak memberikan bantuan, saran, serta dorongan dalam mengerjakan laporan tugas akhir ini.
11. Kepada diri penulis sendiri terima kasih karena sudah berusaha dan tidak menyerah sampai menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis. Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis sangat berharap adanya kritik dan masukan yang membangun agar menjadi bahan pertimbangan yang dapat membuat penulisan Tugas Akhir yang semakin baik kedepannya. Semoga Proposal Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi saya khususnya dan kepada para pembaca.

Medan, September 2024
Penulis

Muhammad Fadlan Irliansyah
2007210071

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xviii
DAFTAR SINGKATAN	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Umum	5
2.2. Teori Gempa	5
2.2.1. Parameter Dasar Gempa Bumi	6
2.2.2. Mekanisme Gempa Bumi	7
2.2.3. Ground Motion (Pergerakan Tanah)	8
2.2.4. Metode Modifikasi Gerak Tanah	8
2.2.5. Gempa Dekat	9
2.2.6. Gempa Jauh	10
2.3. Karakteristik Bangunan Tahan Gempa	10
2.4. Material Baja	12
2.5. Daktilitas Material Baja	12

2.6.	Baja Profil	13
2.7.	Sistem Rangka Bresing Konsentris (SRBK)	13
2.8.	Faktor Modifikasi Respon (R)	15
2.9.	Plat Buhul (<i>Gusset Plate</i>)	17
2.10.	Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726: 2019	18
2.10.1.	Peta wilayah gempa Indonesia SNI 1726:2019	18
2.10.2.	Gempa Rencana dan Faktor Keutamaan	19
2.10.3.	Klasifikasi Situs dan Parameter	22
2.10.4.	Parameter Percepatan Gempa	23
2.10.5.	Parameter Percepatan Spektral Desain	24
2.10.6.	Struktur Penahan Beban Gempa	26
2.10.7.	Perioda Alami Struktur	27
2.10.8.	Gaya Geser Dasar Seismik	28
2.10.9.	Pengaruh P-delta	29
2.10.10.	Metode Analisa	30
2.10.10.1.	Metode Analisa Respon Spektrum Ragam	31
2.10.10.2.	Metode Analisa Riwayat Waktu	32
2.10.11.	Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan	33
2.11.	Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Konstruksi	36
2.12.	Analisa Nonlinear	37
2.12.1.	Definisi Analisa Nonlinear	38
2.12.2.	Material Elastis dan Non-Elastis	39
2.12.3.	Rincian dalam Analisa Nonlinear	39
2.12.4.	Analisa Statis Nonlinear	41
2.12.5.	Analisa Dinamis Nonlinear	43
2.13.	Perilaku Struktur Linear dan Nonlinear	44
2.14.	Deformasi Nonlinear Plat Buhul	46
2.15.	Program OpenSEES	47
BAB 3	METODE PENELITIAN	49
3.1.	Umum	49
3.2.	Pemodelan Struktur	50

3.2.1.	Data Perencanaan Struktur	50
3.2.2.	Pemodelan Struktur	51
3.2.3.	Dimensi Kolom Balok	52
3.3.	Analisis Struktur	53
3.3.1.	Analisis Dinamik Struktur	53
3.3.1.1.	Pembebanan	53
3.3.1.2.	Respon Spektrum Desain Gempa	53
3.3.1.3.	Kombinasi Pembebanan	54
3.3.1.4.	Analisis Respon Spektrum Ragam	55
3.3.1.5.	<i>Groundmotion Record</i> (Data Rekaman Gempa)	56
3.3.1.6.	Analisis Respon Riwayat Waktu	58
3.3.1.7.	<i>Incremental Dynamic Analysis</i> (IDA)	59
3.3.1.8.	Momen Leleh (M_y)	59
3.3.1.9.	Kapasitas Rotasi (θ_p)	60
3.3.1.10.	Rotasi Leleh (θ_y)	60
3.3.1.11.	Deformasi Nonlinear pada Plat Buhul (<i>Gusset Plate</i>)	61
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	62
4.1.	Tinjauan Umum	62
4.2.	Hasil Analisis Nonlinear	62
4.2.1.	Metode IDA (<i>Incremental Dynamic Analysis</i>)	62
4.2.2.	<i>Interstory Drift</i> (Simpangan Antar Tingkat)	64
4.2.3.	Deformasi Nonlinear Plat Buhul	72
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	78
5.1.	Kesimpulan	78
5.2.	Saran	78
	DAFTAR PUSTAKA	80
	LAMPIRAN	82
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019	19
Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2019	21
Tabel 2.3 Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2019	22
Tabel 2.4 Koefisien perioda pendek (F_a) berdasarkan SNI 726:2019	23
Tabel 2.5 Koefisien perioda 1,0 detik (F_v) berdasarkan SNI 1726:2019	24
Tabel 2.6 Faktor R, C_d , dan Ω_o untuk sistem penahan gaya gempa	27
Tabel 2.7 Nilai parameter perioda pendekatan C_i dan x berdasarkan SNI 1726:2019	28
Tabel 2.8 Prosedur analisa yang boleh digunakan menurut SNI 1726:2019	31
Tabel 2.9 Persyaratan masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar menurut SNI 1726:2019	35
Tabel 3.1 Komponen Struktur Bangunan	52
Tabel 3.2 Beban mati dan beban hidup berdasarkan NIST, (2010)	53
Tabel 3.3 Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai $SDS = 0,356$	55
Tabel 3.4 Rekaman getaran gempa dekat dari PEER-NGA	56
Tabel 3.5 Rekaman getaran gempa jauh dari PEER-NGA	57
Tabel 4.1 Nilai <i>interstory drift</i> bangunan 2 tingkat pada kondisi IO akibat gempa dekat dan gempa jauh	70
Tabel 4.2 Nilai <i>interstory drift</i> bangunan 3 tingkat pada kondisi IO akibat gempa dekat dan gempa jauh	71
Tabel 4.3 Nilai <i>interstory drift</i> bangunan 2 tingkat pada kondisi LS akibat gempa dekat dan gempa jauh	71
Tabel 4.4 Nilai <i>interstory drift</i> bangunan 3 tingkat pada kondisi LS akibat gempa dekat dan gempa jauh	71
Tabel 4.5 Nilai <i>interstory drift</i> bangunan 3 tingkat pada kondisi CP akibat gempa dekat dan gempa jauh	72
Tabel 4.6 Nilai <i>interstory drift</i> bangunan 3 tingkat pada kondisi CP akibat gempa dekat dan gempa jauh	72

Tabel 4.7 Deformasi nonlinear plat buhul gedung 2 tingkat pada kondisi IO, LS, dan CP	77
Tabel 4.8 Deformasi nonlinear plat buhul gedung 3 tingkat pada kondisi IO, LS, dan CP	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta zonasi gempa di Indonesia	1
Gambar 2.1	Jenis-jenis pertemuan lempeng tektonik, a) pertemuan divergent; b) pertemuan Konvergent; c) pertemuan saling bergeser horizontal	7
Gambar 2.2	Respon spektra 21 rekaman ground motion dan rata-rata respons spektrum desain dengan $\zeta=5\%$ (Shakeri dkk, 2018)	8
Gambar 2.3	Contoh rekaman gempa: a) Northridge (1994); b) Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012)	9
Gambar 2.4	Gempa Meksiko (1985), direkam di, a) Tacubaya; b) La Villata (pawirodikromo, 2012)	10
Gambar 2.5	Jenis baja profil, a) profil WF; b) profil HSS. (SNI 1629:2020)	13
Gambar 2.6	Gedung 3 lantai dengan menggunakan <i>sistem Multistory X-Bracing concentric</i>	14
Gambar 2.7	Konfigurasi sistem rangka bresing konsentris (sabelli, 2013)	14
Gambar 2.8	Gaya yang bekerja pada batang diagonal sistem rangka bresing konsentris (AISC, 2005)	15
Gambar 2.9	Hubungan antara faktor modifikasi respon (R), faktor kuat lebih struktur (Ω), dan faktor reduksi daktalitas ($R\mu$)	16
Gambar 2.10	Respon gaya perpindahan struktur kondisi elastis dan inelastic	17
Gambar 2.11	Pemodelan plat buhul (gusset plate)	17
Gambar 2.12	Peta besaran nilai S_s pada SNI 1726:2019	18
Gambar 2.13	Peta besaran nilai S_I pada SNI 1726:2019	19
Gambar 2.14	Spektrum Respons Desain	26
Gambar 2.15	Perilaku Struktur akibat pembebanan horizontal berulang, a) perilaku struktur yang buruk; b) perilaku struktur yang baik	36
Gambar 2.16	Respon yang diterima terhadap pembebanan yang diberikan	38
Gambar 2.17	Pushover Analysis : Analisa Statis Tidak Linear	42
Gambar 2.18	Perilaku struktur linear a) percepatan gempa; b) lendutan struktur SDOF linear yang diberikan beban percepatan gempa (Gavin, 2014)	44

Gambar 2.19 SDoF nonlinear a) simpangan; b) gaya yang ditahan; c) interval waktu pelepasan; d) grafik hubungan gaya-simpangan (Gavin, 2014)	45
Gambar 2.20 Histerisis loop pada elemen (Gavin, 2014)	46
Gambar 2.21 <i>Idealized Moment – Curvature Hysteretic Loop</i> (Gavin, 2014)	46
Gambar 2.22 Grafik bentuk deformasi nonlinear (Nassani, 2017)	47
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	49
Gambar 3.2 Denah gedung 2 lantai	51
Gambar 3.3 Denah gedung 3 lantai	51
Gambar 3.4 Denah elevasi gedung 2 lantai	52
Gambar 3.5 Denah elevasi gedung 3 lantai	52
Gambar 3.6 Respon Spektrum Desain berdasarkan SNI 1726:2019 Kota Jayapura dengan jenis tanah sedang	54
Gambar 3.7 a) grafik IDA b) grafik penentuan <i>collapse prevention</i> pada kurva IDA (Vamvatsikos dan Cornell, 1966)	59
Gambar 3.8 Kurva kapasitas untuk ketiga faktor R	60
Gambar 3.9 Grafik bentuk deformasi nonlinear pada plat buhul (Nassani, 2017)	61
Gambar 4.1 Derajat nilai IDA (<i>Incremental Dynamic Analysis</i>) yang terdapat pada model bangunan 2 tingkat yang diakibatkan gempa dekat	62
Gambar 4.2 Derajat nilai IDA (<i>Incremental Dynamic Analysis</i>) yang terdapat pada model bangunan 3 tingkat yang diakibatkan gempa dekat	63
Gambar 4.3 Derajat nilai IDA (<i>Incremental Dynamic Analysis</i>) yang terdapat pada model bangunan 2 tingkat yang diakibatkan gempa jauh	63
Gambar 4.4 Derajat nilai IDA (<i>Incremental Dynamic Analysis</i>) yang terdapat pada model bangunan 3 tingkat yang diakibatkan gempa jauh	64
Gambar 4.5 Representasi grafik <i>interstory drift</i> pada model 2 tingkat dikondisi IO (0,5%) terhadap gempa dekat	64
Gambar 4.6 Representasi grafik <i>interstory drift</i> pada model 3 tingkat dikondisi IO (0,5%) terhadap gempa dekat	65
Gambar 4.7 Representasi grafik <i>interstory drift</i> pada model 2 tingkat dikondisi IO (0,5%) terhadap gempa jauh	65

Gambar 4.8 Representasi grafik <i>interstory drift</i> pada model 3 tingkat dikondisi IO (0,5%) terhadap gempa jauh	66
Gambar 4.9 Representasi grafik <i>interstory drift</i> pada model 2 tingkat dikondisi LS (1,5%) akibat gempa dekat	66
Gambar 4.10 Representasi grafik <i>interstory drift</i> pada model 3 tingkat dikondisi LS (1,5%) akibat gempa dekat	67
Gambar 4.11 Representasi grafik <i>interstory drift</i> pada model 2 tingkat dikondisi LS (1,5%) akibat gempa jauh	67
Gambar 4.12 Representasi grafik <i>interstory drift</i> pada model 3 tingkat dikondisi LS (1,5%) akibat gempa jauh	68
Gambar 4.13 Representasi grafik <i>interstory drift</i> pada model 2 tingkat dikondisi CP (2,0%) akibat gempa dekat	68
Gambar 4.14 Representasi grafik <i>interstory drift</i> pada model 3 tingkat dikondisi CP (2,0%) akibat gempa dekat	69
Gambar 4.15 Representasi grafik <i>interstory drift</i> pada model 2 tingkat dikondisi CP (2,0%) akibat gempa jauh	69
Gambar 4.16 Representasi grafik <i>interstory drift</i> pada model 3 tingkat dikondisi CP (2,0%) akibat gempa jauh	70
Gambar 4.17 Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 2 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi IO	73
Gambar 4.18 Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 3 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi IO	73
Gambar 4.19 Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 2 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi IO	73
Gambar 4.20 Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 3 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi IO	74
Gambar 4.21 Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 2 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi LS	74
Gambar 4.22 Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 3 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi LS	75
Gambar 4.23 Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 2 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi LS	75

Gambar 4.24 Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 3 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi LS	75
Gambar 4.25 Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 2 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi CP	76
Gambar 4.26 Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 3 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi CP	76
Gambar 4.27 Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 3 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi CP	76
Gambar 4.28 Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 3 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi CP	77

DAFTAR NOTASI

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

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

- W = Berat seismik efektif
- α = Sudut kemiringan dari pelat bidang
- β = Rasio kebutuhan geser
- δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastic
- θ_1 = Sudut antara balok dan kolom
- ρ = Faktor reduksi struktur
- Ω_0 = Sistem faktor kekuatan lebih
- ω_i = Frekuensi sudut
- I = Momen inersia kolom/balok
- ω = kecepatan sudut

DAFTAR SINGKATAN

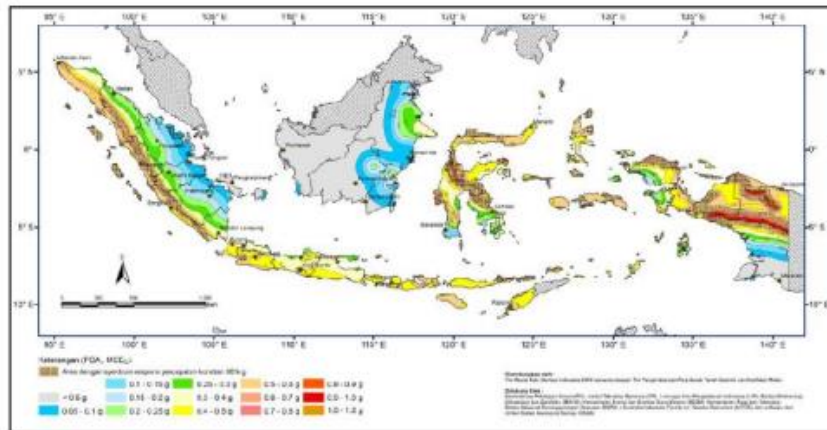
CBF	= <i>Concentrically Braced Frame</i>
CQC	= <i>Complete Quadratic Combination</i>
MCE_R	= <i>Maximum Considered Earthquake Risk Target</i>
MDoF	= <i>Multi Degree of Freedom</i>
MRF	= <i>Moment Resisting Frame</i>
PEER	= <i>The Pacific Earthquake Engineering Research Center</i>
OpenSEES	= <i>Open System for Earthquake Engineering Simulation</i>
SDoF	= <i>Single Degree of Freedom</i>
SRBK	= <i>Sistem Rangka Berbresing Konsentris</i>
SRSS	= <i>Square Root the Sum of Square</i>
IO	= <i>Immediate Occupancy</i>
LS	= <i>Limit Safety</i>
CP	= <i>Collapse Prevention</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bedasarkan letak geografisnya Indonesia terletak disekitar jalur subduksi lempeng yang menyebabkan wilayah Indonesia berada pada zona seismik aktif dengan tingkat kegempaan yang tinggi. Interaksi antar lempeng ini dapat menimbulkan terjadinya gempa dengan berbagai macam mekanisme yang mungkin terjadi. Gempa dekat biasanya dapat menimbulkan kerusakan yang lebih besar pada bangunan dibandingkan dengan gempa jauh (Rusmilawati dkk., 2019). Di Indonesia sendiri banyak kota yang berada dekat dengan sesar aktif yang dapat menjadi sumber gempa yang memungkinkan terjadinya gempa di daerah perkotaan semakin tinggi.



Gambar 1.1: Peta zonasi gempa di Indonesia.

Berangkat dari permasalahan tersebut maka menjadi keharusan untuk sebuah bangunan dapat menahan getaran akibat gempa, karena perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa sangat penting maka dibutuhkan sistem struktur penahan beban gempa. Menurut Siswanto dan Salim, (2008) pada kondisi rawan seperti ini bangunan gedung dengan material baja lebih sesuai dibandingkan material beton. Pada struktur baja, untuk mengurangi perpindahan lateral agar memperoleh kestabilan struktur, maka portal dilengkapi dengan pengaku (bresing).

Menurut SNI 1726:2019, rangka bresing adalah suatu rangka batang vertikal, atau yang setara dengan jenis konsentris, atau eksentris yang disediakan pada sistem rangka bangunan atau sistem ganda untuk menahan gaya lateral gempa. Penambahan bresing pada struktur gedung akan meningkatkan kekakuan, hal ini disebabkan karena penggunaan bresing akan memperpendek jarak balok atau kolom sehingga struktur menjadi lebih kaku (Affandi, 2020).

Bedasar dari SNI 1726:2019, ada berbagai macam sistem struktur penahan beban gempa, salah satu jenisnya adalah Struktur Baja Sistem Rangka Bresing Konsentris Khusus (SRBKK). Sistem tersebut adalah suatu sistem struktur portal baja penahan beban lateral yang merupakan peningkatan dari sistem portal konvensional yaitu Sistem Rangka Bresing Konsentris (SRBK).

Dengan rancangan lebar whitmore dan metode kekuatan seragam AISC, sambungan plat buhul (*Gusset plate*) telah banyak digunakan selama bertahun-tahun. Namun, metode ini tidak didasarkan pada prinsip desain seismic, sehingga menambah ketidakpastian dalam metode desain. Hal ini didukung oleh eksperimen seperti yang dilakukan oleh Bjorhovde dan Chakrabarti (1985); Hu dan Cheng, (1987); dan tinjauan terbaru oleh Chambers (2004) yang mengidentifikasi lebih dari ratusan referensi tentang penelitian sambungan plat buhul. Namun, penelitian ini tidak secara akurat mensimulasikan perilaku seismik sambungan plat buhul.

Tugas Akhir ini akan difokuskan kepada perbandingan pengaruh deformasi nonlinear yang terjadi akibat gempa dekat dan gempa jauh dimana tinjauan hanya dibatasi pada perilaku deformasi nonlinear yang terjadi pada plat buhul akibat beban lateral yang terjadi.

1.2. Rumusan Masalah

Pemasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah Bagaimanakah bentuk deformasi nonlinear yang terjadi di plat buhul pada struktur rangka baja berbresing konsentris yang disebabkan oleh gempa dekat dan gempa jauh ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pembahasan dalam tugas akhir ini adalah Mengidentifikasi dan membandingkan deformasi nonlinear yang terjadi di plat buhul pada bangunan

struktur baja rangka berbresing konsentris yang diakibatkan oleh gempa dekat dan gempa jauh.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah yang ditetapkan pada tugas akhir ini adalah:

1. Struktur bangunan yang direncanakan merupakan:
 - Struktur baja sistem rangka berbresing konsentris pada gedung 3 lantai yang difungsikan sebagai gedung perkantoran.
 - Struktur dianalisa dalam keadaan kondisi deformasi nonlinear yang terjadi pada plat buhul akibat gempa dekat dan gempa jauh.
1. Analisis menggunakan alat bantu berupa program yaitu:
 - PEER-NGA, COSMOS untuk mendapatkan rekaman gerakan tanah.
 - Seismolee untuk mengubah rekaman gerakan tanah menjadi respon spektrum.
 - MATLAB versi R2014b untuk melakukan pengskalaan terhadap rekaman gerakan tanah.
 - OpenSEES untuk menganalisa tahap evaluasi (analisa riwayat waktu nonlinear) yang hanya ditinjau secara 2 dimensi.
2. Parameter yang ditinjau yaitu:
 - Deformasi nonlinear yang terjadi pada plat buhul akibat terjadinya gempa dekat dan gempa jauh.

1.5. Manfaat Penelitian

Diharapkan tugas akhir ini dapat menambah pengetahuan penulis mengenai metode perkuatan struktur baja menggunakan bresing konsentris dalam menahan gaya lateral. Serta dapat memberikan kontribusi ilmiah bagi pengembangan teknologi rekayasa kegempaan pada bangunan, khususnya dalam pemodelan struktur baja berbresing konsentris.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini disesuaikan dengan sistematika yang telah ditetapkan untuk memberikan gambaran secara garis besar isi setiap bab yang akan dibahas sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan pada tugas akhir ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab ini membahas tentang landasan teori yang mencakup tentang mekanisme gempa dekat dan gempa jauh, konsep perencanaan struktur bangunan baja, analisa struktur baja sistem rangka baja berbresing konsentris, dan konsep pemodelan kemampuan bangunan baja tahan gempa.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini akan ditampilkan metode penelitian yang digunakan dari awal sampai akhir penelitian dan penjelasan mengenai cara pemodelan dan desain dari struktur baja dengan Sistem Rangka baja berbresing konsentris terhadap gempa dekat dan gempa jauh yang terjadi dengan menggunakan program Analisa Struktur.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan disajikan penjelasan mengenai perhitungan, analisis permodelan bentuk gambar, grafik atau table 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 yang dapat di terima penulis agar kedepannya penulis dapat menyajikan tulisan yang lebih baik lagi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Pada Bab ini akan membahas mengenai teori-teori dasar dan ketentuan yang berhubungan dalam perencanaan struktur bangunan yang akan dianalisa, seperti struktur beton bertulang, teori gempa, sistem struktur penahan gempa, serta cara perencanaan bangunan tahan gempa berdasarkan SNI 1726:2019, dan teori-teori terkait lainnya yang berhubungan dengan perhitungan atau analisa data yang diperlukan dalam Tugas Akhir ini.

2.2. Teori Gempa

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

1. Gempa Reruntuhan: gempa yang disebabkan oleh reruntuhan yang terjadi baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Contohnya : tanah longsor, salju longsor, batu jatuhan.
2. Gempa Vulkanik: gempa yang disebabkan oleh kegiatan gunung api baik sebelum maupun pada saat meletusnya gunung api tersebut.
3. Gempa Tektonik: gempa yang disebabkan dari pergeseran kulit bumi (*lithospher*) yang umum terjadi di daerah patahan kulit bumi. Gempa tektonik merupakan gempa yang paling menimbulkan kerusakan yang paling luas. Maka dari itu gempa bumi tektonik yang ditinjau sebagai beban siklisnya.
4. Gempa Bumi Buatan: gempa bumi buatan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktifitas manusia seperti peledakan dinamit, bom, dan nuklir.

Diantara ke empat jenis gempa di atas, gempa bumi tektonik merupakan gempa bumi yang paling sering terjadi. Secara spesifik, gempa bumi tektonik juga

dapat diartikan sebagai peristiwa pelepasan energi gelombang seismik secara tiba-tiba yang diakibatkan oleh adanya deformasi lempeng tektonik yang ada di kerak bumi (Supriatna, 2011).

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

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

2.2.1. Parameter Dasar Gempa Bumi

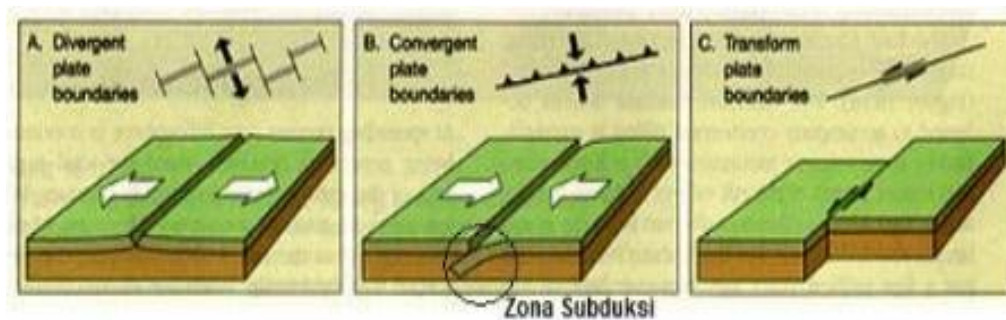
Beberapa parameter dasar gempa bumi yang perlu diketahui, yaitu :

1. *Hypocenter*: tempat terjadinya gempa atau pergeseran tanah di dalam bumi.
2. *Epicenter*: titik yang diproyeksikan tepat berada di atas *Hypocenter* pada permukaan bumi.
3. *Bedrock*: tanah keras tempat mulai bekerjanya gaya gempa.
4. *Ground acceleration*: percepatan pada permukaan bumi akibat gempa bumi
5. *Amplification factor*: faktor pembesaran percepatan gempa yang terjadi pada permukaan tanah akibat jenis tanah tertentu.

Skala gempa, yaitu suatu ukuran kekuatan gempa yang dapat diukur dengan secara kuantitatif dan kualitatif pengukuran kekuatan gempa secara kuantitatif dilakukan pengukuran skala *Richter* yang umumnya dikenal sebagai pengukuran magnitude gempa bumi yang merupakan ukuran mutlak yang dikeluarkan oleh pusat gempa. Pendapat ini pertama kali dikemukakan oleh Charles Francis Richter pada tahun 1935 dengan besaran 0 sampai dengan 9. Selama ini gempa terbesar tercatat sebesar 8,9 skala *Richter* terjadi di Colombia tahun 1906.

2.2.2. Mekanisme Gempa Bumi

Gempa bumi tektonik lebih sering terjadi dibandingkan semua jenis gempa lainnya. Gempa bumi ini disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi. Walaupun kelihatannya diam, akan tetapi lapisan-lapisan bagian permukaan bumi (*litosfer*) yang materialnya bersifat padat, keras dan dingin selalu bergerak. Ini diakibatkan oleh sejumlah energi yang menekan dan menarik lapisan tersebut sebagai hasil dari proses konveksi yang terjadi pada lapisan di bawahnya (*astenosfer*) yang sifat materialnya lebih cair, lemah dan jauh lebih panas. Lapisan terluar bumi ini bergerak melalui lempeng-lempengnya, sehingga menimbulkan tekanan, tarikan dan geseran pada lempeng-lempeng itu sendiri. Artinya lempeng-lempeng itu dapat saling bertubrukan (*konvergen*), saling menjauh (*divergen*), dan saling bergeser horizontal (*transform*) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1.

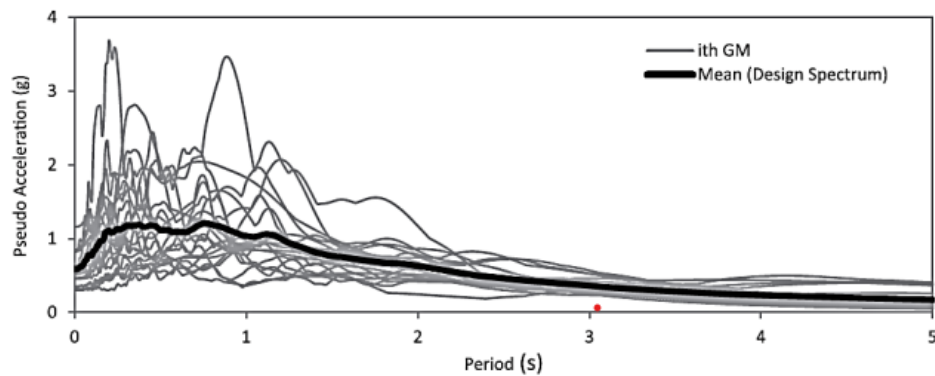


Gambar 2.1: Jenis-jenis pertemuan lempeng tektonik, a) pertemuan divergent; b) pertemuan Konvergent; c) pertemuan saling bergeser horizontal.

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

2.2.3. Ground Motion (Pergerakan Tanah)

Ground Motion adalah pergerakan permukaan bumi yang diakibatkan adanya gempa atau ledakan. Di dalam itu ilmu teknik gempa, *ground motion* juga populer dengan sebutan *strong motion* untuk lebih menekankan pada percepatan tanah akibat gempa daripada respon-respon tanah yang lain. Pada umumnya, pengertian pergerakan tanah akibat gempa lebih banyak ditujukan pada percepatan tanah. Khususnya untuk keperluan teknik, percepatan tanah akibat gempa merupakan data yang sangat penting (Pawirodikromo, 2012). Pada Gambar 2.2 akan ditunjukkan contoh dari 21 rekaman ground motion dan respon spektrum desain rata-rata yang dibuat oleh Shakeri dkk.(2018).



Gambar 2.2: Respon spektra 21 rekaman ground motion dan rata-rata respons spektrum desain dengan $\zeta=5\%$ (Shakeri dkk, 2018).

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

2.2.4. Metode Modifikasi Gerak Tanah

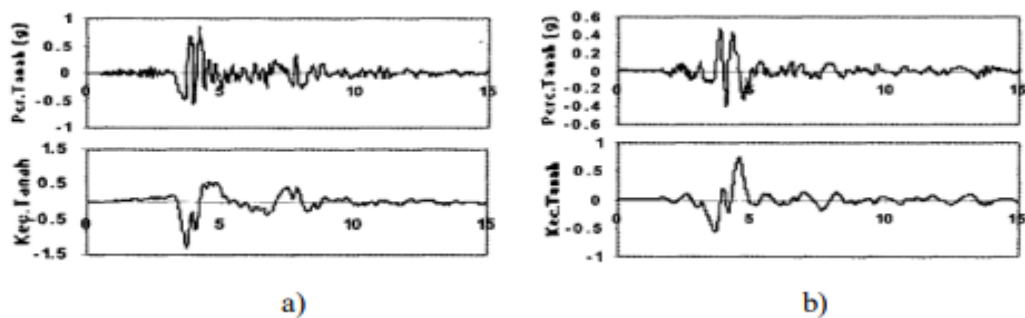
Menurut SNI 1726:2019 Metode Modifikasi Gerakan Tanah merupakan metode Dimana gerakan tanah dasar harus di skalakan amplitudonya (*amplitude-scaled*) sesuai dengan persyaratan pada penskalaan amplitude atau dicocokkan secara spectral (*spectral matching*) sesuai dengan persyaratan pada pencocokkan

spectral tidak boleh digunakan untuk lokasi near-fault kecuali karakteristik gerakan tanah dasar di pertahankan setelah proses pencocokkan selesai.

2.2.5. Gempa Dekat

Pawirodikromo (2012) mengatakan bahwa percepatan tanah gempa dekat umumnya mempunyai 1-2 kali siklus getaran kuat (*strong-vibration cycles/pulse*). Siklus getaran kuat tersebut disebabkan oleh adanya kecepatan rambat patah V_r (*fault rupture velocity*) yang relatif dekat dengan kecepatan gelombang geser V_s . Berapa batasan jarak gempa dekat tersebut tidaklah dapat ditentukan secara pasti. Namun, beberapa peneliti mengindikasikan hanya beberapa sampai belasan kilometer saja.

Kalkan, dkk. (2004) memberikan batasan bahwa rekaman gempa *near-fault* adalah gempa yang direkam ≤ 15 km dari patahan (*fault rupture*). Contoh rekaman gempa dekat dapat dilihat pada Gambar 2.3.

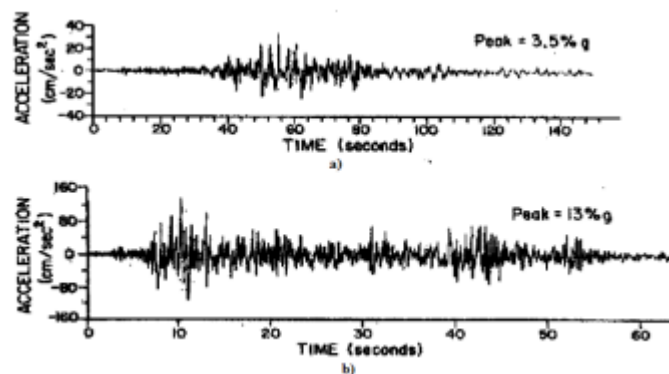


Gambar 2.3: Contoh rekaman gempa: a) Northridge (1994); b) Parkfield (1997) (Pawirodikromo, 2012).

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

2.2.6. Gempa Jauh

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



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

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

2.3. Karakteristik Bangunan Tahan Gempa

sebuah bangunan yang baik di daerah yang terletak dekat dengan daerah pertemuan lempengan benua seperti di Indonesia hendaknya didesain dengan kemungkinan beban gempa yang akan terjadi di masa mendatang yang waktunya

tidak bisa diprediksi secara akurat (Budiono dan Supriatna, 2011). Bangunan yang termasuk tahan gempa adalah sebagai berikut:

1. Ketika terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan, baik komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya.
2. Ketika terjadi gempa sedang, bangunan diperbolehkan mengalami kerusakan pada komponen non-struktural saja, tapi komponen strukturalnya tidak boleh rusak.
3. Ketika terjadi gempa kuat, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-struktural maupun komponen strukturalnya, tapi penghuni bangunan harus tetap selamat, yang artinya sebelum bangunannya runtuh masih ada waktu yang cukup untuk penghuni gedung melakukan evakuasi keluar bangunan dengan selamat.

Bangunan yang dibangun dengan perencanaan konvensional sulit untuk menghindari kerusakan akibat gempa karena hanya bergantung pada kekuatan komponen sendiri dan perilaku respon pasca elastiknya. Maka dari itu seiring dengan berkembangnya teknologi dalam perencanaan bangunan tahan gempa, dikembangkanlah suatu desain alternatif agar dapat mengurangi resiko kerusakan pada bangunan akibat terjadinya gempa, dan mampu mempertahankan integritas komponen struktural dan non-struktural terhadap gempa kuat.

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa dengan tingkat keamanan yang memadai, struktur harus dirancang agar dapat memikul gaya gempa atau gaya horizontal. Struktur harus dapat memberikan layanan sesuai dengan perencanaan. Tingkat layanan dari struktur akibat gaya gempa menurut Budiono dan Supriatna (2011) terdiri dari tiga hal, yaitu:

1. Kemampuan layan (*serviceability*): ketika terjadi gempa dengan intensitas percepatan tanah yang kecil dalam waktu ulang yang besar mengenai suatu struktur, disyaratkan tidak mengganggu fungsi bangunan, seperti aktivitas normal dalam bangunan dan perlengkapan yang ada. Artinya tidak dibenarkan terjadi kerusakan pada struktur, baik pada komponen struktur maupun pada elemen non-struktur yang ada.
2. kontrol kerusakan (*damage control*): jika struktur dikenai gempa dengan waktu ulang sesuai dengan umur (masa) rencana bangunan, maka struktur yang di

rencanakan untuk dapat menahan gempa ringan tanpa terjadi kerusakan pada komponen struktur maupun komponen non-struktural, dan diharapkan struktur masih dalam batas elastis.

3. Ketahanan (*Survival*): Jika terjadi gempa kuat pada umur (masa) bangunan yang direncanakan membebani struktur, maka struktur yang direncanakan untuk dapat bertahan pada tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami keruntuhan (*collapse*). Tujuan utama dari keadaan batas ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.

2.4. Material Baja

Pada saat ini baja menjadi menjadi material paling populer sebagai komponen utama dari bangunan-bangunan di dunia, khususnya pada bangunan tinggi (Lukmansa, 2015). Dikarenakan memiliki sifat daktil maka material ini sangat tepat digunakan untuk struktur tahan gempa. Baja memiliki keunggulan antara lain adalah:

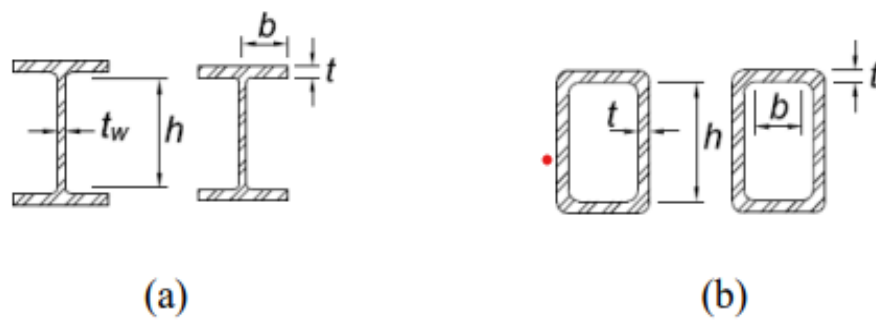
1. Mempunyai kekuatan yang sangat tinggi.
2. Keseragaman dan keawetan yang tinggi, sifat elastis dan daktilitas yang dimiliki baja cukup tinggi..
3. Kemudahan penyambungan antar elemen yang satu dengan yang lainnya menggunakan alat sambung las dan baut.

2.5. Daktilitas Material Baja

Daktilitas merupakan kemampuan struktur baja untuk mengalami simpangan inelastik berulang dan bolak-balik diatas titik leleh samapi mencapai pelelehan seluruh penampang sambil mempertahankan sebagian besar kapasitas kekuatan awal dalam memikul beban. Sifat daktil sangat identik dengan material baja yang dapat ditunjukkan oleh besarnya perbandingan atau rasio antara tegangan leleh (f_y) dengan tegangan batas (f_u). Semakin besar nilai rasio antara (f_y) dan (f_u) maka akan semakin tinggi sifat daktilitas dari suatu material.

2.6. Baja Profil

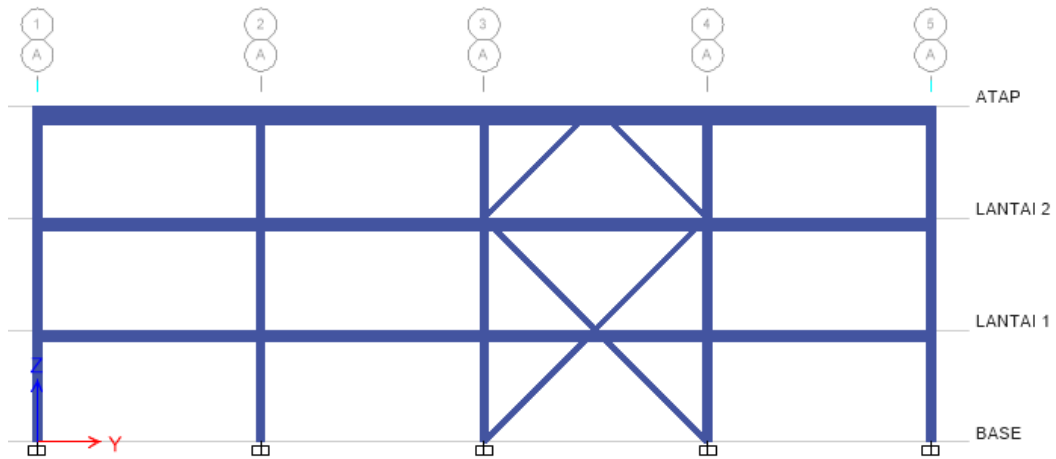
Baja profil adalah baja yang berupa Batangan (lonjoran) dengan penampang berprofil bentuk tertentu dengan Panjang umumnya 6 meter. Baja memiliki berbagai jenis profil yang biasa digunakan dalam konstruksi. Diantaranya yaitu, profil WF (*wide flange*) dan profil HSS (*Hollow Struktural Section*). Profil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



Gambar 2.5: Jenis baja profil, a) profil WF; b) profil HSS. (SNI 1629:2020).

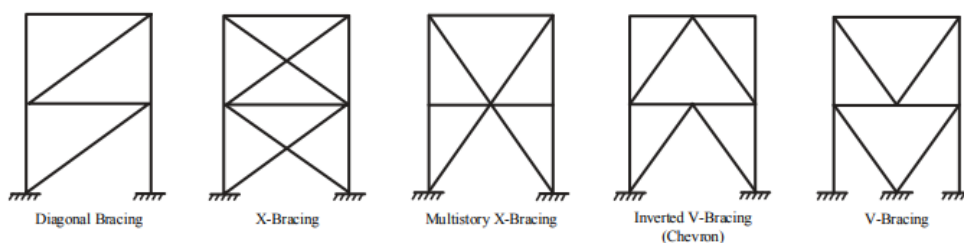
2.7. Sistem Rangka Bresing Konsentris (SRBK)

Sistem Rangka Bresing Konsentris merupakan pengembangan dari sistem portal tak berpengaku atau lebih dikenal Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). Sistem rangka bresing konsentris dikembangkan sebagai sistem penahan gaya lateral dan punya tingkat kekakuan yang cukup baik. Hal ini bertolak belakang dengan sistem rangka pemikul momen yang hanya bisa digunakan untuk menahan momen. Kekakuan sistem ini terjadi akibat adanya elemen pengaku yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral yang terjadi pada struktur. Sistem ini penyerapan energinya dilakukan melalui pelelehan yang dirancang terjadi pada plat buhul (Pudjisuryadi dkk. 2006).



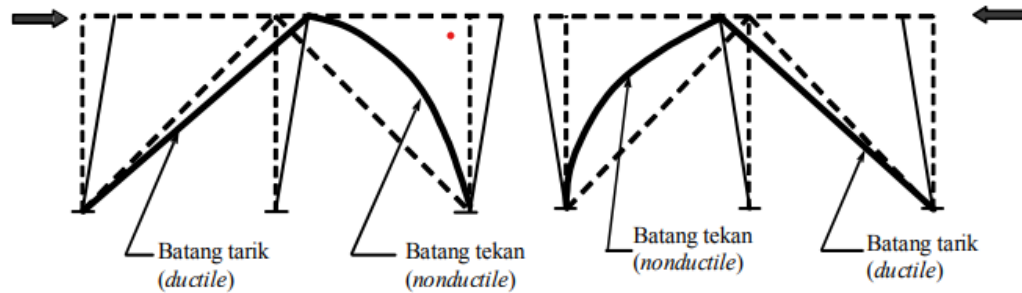
Gambar 2.6: Gedung 3 lantai dengan menggunakan *sistem Multistory X-Bracing concentric*.

SRBK adalah sistem struktur yang mampu menahan beban lateral melalui sistem truss konsentris vertikal, sumbu dari anggota menyelaraskan konsentris pada sendi. Rangka bresing konsentris cenderung efisien dalam menahan gaya lateral karena dapat memberikan kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Karakteristik ini juga bisa memberikan hasil yang kurang menguntungkan pada respon seismik, seperti kapasitas *drift* yang rendah dan percepatan tinggi. Rangka bresing konsentrik adalah baja struktural umum atau sistem komposit daerah kegempaan apapun. Sistem rangka bresing konsentrik khusus adalah kelas khusus dari sistem rangka bresing konsentrik yang proporsional dan rinci untuk memaksimalkan kapasitas *drift inelastic*. Jenis sistem SRBK didefinisikan hanya untuk baja struktural dan komposit struktur (sabelli, 2013).



Gambar 2.7: Konfigurasi sistem rangka bresing konsentris (sabelli, 2013).

Pada sistem SRBK salah satu batangnya akan berperilaku sebagai batang tekan dan batang tarik tergantung dari pengaruh beban lateral akibat gempa. Sehingga perlu direncanakan dengan baik agar rangka tidak mengalami tekuk saat terjadi beban gempa siklik (bolak balik) (poerbo, 2000).



Gambar 2.8: Gaya yang bekerja pada batang diagonal sistem rangka baja bresing konsentris (AISC, 2005).

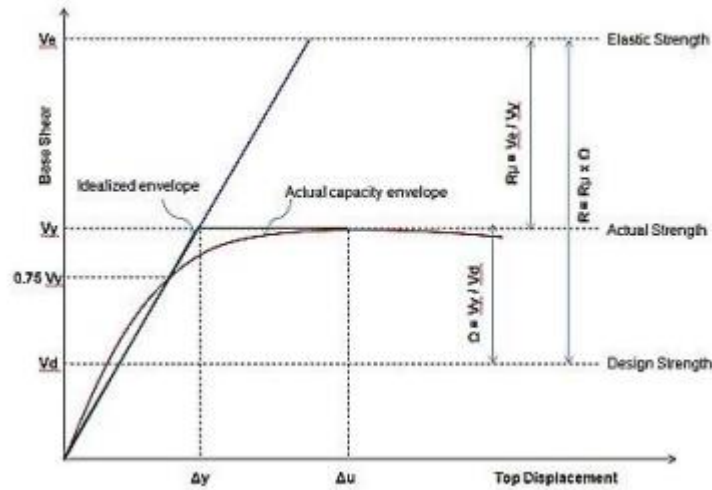
Perilaku daktail sangat diharapkan diharapkan ketika struktur digunakan untuk menyerap energi seperti ketika mengalami gerakan tanah yang kuat. Kapasitas baja tanpa fraktur dikombinasikan dengan kekuatan tinggi membuat bahan yang ideal untuk digunakan dalam sistem bresing konsentrik (Taranath, 1997).

2.8. Faktor Modifikasi Respon (R)

Faktor R merupakan parameter desain seismik yang penting dalam mendefinisikan tingkat kekakuan struktur selama terjadi gempa. NEHRP (1988) mendefinisikan faktor R sebagai faktor yang digunakan untuk memperhitungkan nilai redaman dan daktilitas pada suatu sistem struktur sehingga struktur mampu berdeformasi cukup besar mendekati deformasi maksimumnya. Faktor R mencerminkan kemampuan struktur dalam mendisipasi energi melalui perilaku inelastis.

Sesuai dengan konsep desain bangunan tahan gempa, struktur dirancang untuk beban geser dasar yang lebih kecil dari yang diperlukan agar struktur berperilaku elastis selama terjadi gempa. Hubungan antara faktor modifikasi respon

(R), faktor kuat lebih struktur (Ω), dan faktor reduksi daktilitas ($R\mu$) dapat dilihat pada Gambar 2.9.

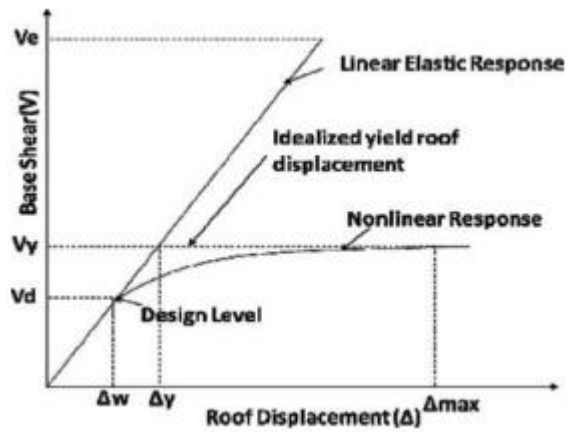


Gambar 2.9: Hubungan antara faktor modifikasi respon (R), faktor kuat lebih struktur (Ω), dan faktor reduksi daktilitas ($R\mu$).

Reduksi yang besar ini terutama disebabkan oleh dua faktor utama (Gambar 2.9), yaitu:

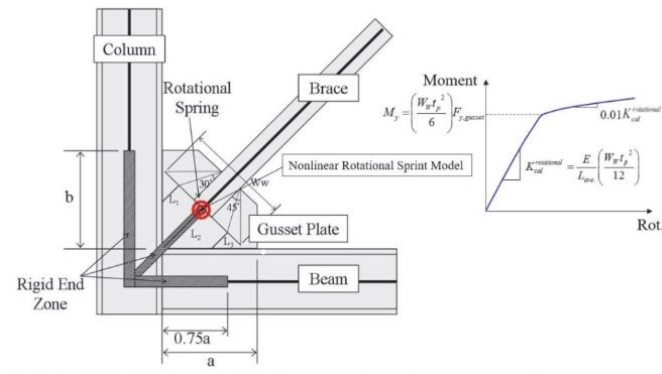
1. Faktor reduksi daktilitas (R), mengurangi kekuatan elastis yang dibutuhkan ke tingkat kuat leleh maksimum struktur.
2. Faktor kuat lebih (Ω), yang dimasukkan kedalam perhitungan sebagai kekuatan lebih seperti yang dimuat di dalam peraturan.

Persyaratan desain bangunan untuk beban-beban gravitasi akan selalu berbeda dengan beban yang bersifat lateral seperti beban angin dan gempa bumi. Beban lateral seperti angin dapat digolongkan kedalam pembebanan primer karena biasanya dirancang dengan kisaran 1% sampai 3% dari berat struktur sehingga bisa dilakukan dengan konsep desain elastisitas. Hal tersebut tidak berlaku terhadap beban gempa, beban lateral gempa biasanya dirancang dengan kisaran 30% sampai 40% dari berat struktur sehingga jika didesain dengan konsep elastisitas, struktur akan sangat berat dan tidak ekonomis. Oleh karena itu desain beban gempa lebih difokuskan kepada konsep pengendalian dan pencegahan keruntuhan. Hal ini dapat digambarkan pada Gambar 2.10 untuk respon elastis dan inelastis pada struktur dengan kondisi linier elastis dan nonlinier.



Gambar 2.10: Respon gaya perpindahan struktur kondisi elastis dan inelastic.

2.9. Plat Buhul (*Gusset Plate*)



Gambar 2.11: Pemodelan plat buhul (gusset plate).

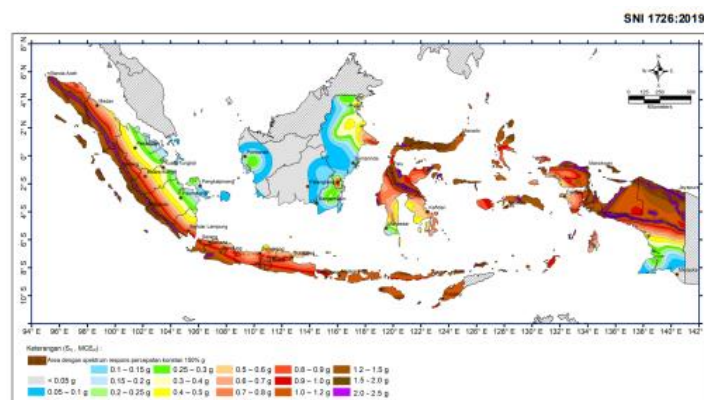
Sambungan plat buhul telah banyak digunakan dalam betahun-tahun dengan rancangan lebar whitmore dan metode kekuatan seragam AISC (*Uniform Force Methods, UFM*). Namun metode ini tidak didasari menggunakan prinsip desain seismik, sehingga menambah ketidakpastian dalam metode desain, hal ini didukung oleh eksperimen yang telah dilakukan oleh Bjorhovde dan Chakrabarti, (1985); Hu dan Cheng, (1987); dan tinjauan literatur terbaru oleh Chambers (2004) tentang penelitian sambungan plat gusset yang mengidentifikasi lebih dari ratusan referensi, namun penelitian ini tidak secara akurat menstimulasikan perilaku seismic sambungan plat gusset. Berikut adalah skema desain plat buhul pada Gambar 2.11 di bawah ini.

2.10. Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

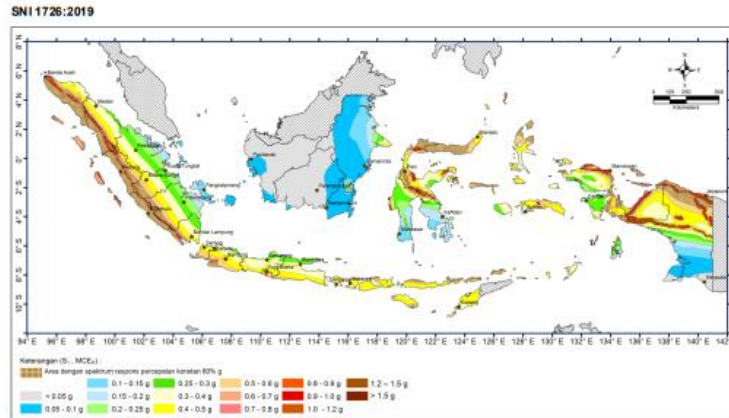
Perencanaan suatu konstruksi gedung harus memperhatikan aspek kegempaan, terutama di Indonesia karena merupakan salah satu daerah dengan zona gempa yang tinggi. Aspek kegempaan tersebut dianalisis berdasarkan peraturan yang berlaku di negara tersebut dan Indonesia memiliki peraturan sendiri dan peta gempanya. Peraturan yang berlaku saat ini ialah SNI 1726:2019 yang merupakan revisi dari SNI 1726:2012 dimana parameter wilayah gempanya sudah tidak digunakan lagi dan diganti berdasarkan dari nilai S_s (parameter respons spectral percepatan gempa pada periode pendek) dan nilai S_I (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.

2.10.1. Peta wilayah gempa Indonesia SNI 1726:2019

Dalam merencanakan beban gempa, perlu untuk mempertimbangkan lokasi atau daerah tempat struktur berada. Hal ini bersangkutan karena tiap daerah memiliki kerawannya masing-masing. Tingkat kerawanan dapat dilihat dengan besarnya nilai S_s (parameter respon spektral percepatan gempa periode pendek 0,2 detik) dan S_I (parameter respon spektra percepatan gempa maksimum periode pendek 1.0 detik) pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13.



Gambar 2.12: Peta pesaran nilai S_s pada SNI 1726:2019.



Gambar 2.13: Peta besaran nilai S_I pada SNI 1726:2019.

Pada Gambar 2.12 dan 2.13, besarnya nilai S_s dan S_I dilihat dari perbedaan warna. Warna terang menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki tingkat kerawanan gempa yang rendah. Sebaliknya tingkat kerawanan gempa menjadi tinggi ketika warna pada peta menjadi semakin gelap.

2.10.2. Gempa Rencana dan Faktor Keutamaan

Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah 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 - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industry - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	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 - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Menurut Tabel 2.2 khusus untuk struktur bangunan dengan kategori resiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori resiko IV.

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

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

2.10.3. Klasifikasi Situs dan Parameter

Prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria seismik adalah berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasi terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, berikut disajikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2019.

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{c_h}	\bar{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 : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ 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: <ul style="list-style-type: none"> • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah • Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) • Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $su < 50$ kPa		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai.

2.10.4. Parameter Percepatan Gempa

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_I (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral 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 spektral 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 (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{MI}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan menggunakan Pers. (2.1) dan (2.2).

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

$$S_{MI} = F_v \cdot S_1 \quad (2.2)$$

Dimana:

S_s = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda pendek 0,2 detik di batuan dasar (SB) mengacu pada Peta Gempa 1726:2019

S_1 = 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 perioda pendek (F_a) berdasarkan SNI 726:2019.

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ($MCER$) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8

Tabel 2.4: *Lanjutan*

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s
SF	$SS^{(a)}$

Catatan: (a) SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 2.5: Koefisien perioda 1,0 detik (F_v) berdasarkan SNI 1726:2019.

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
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.

2.10.5. Parameter Percepatan Spektral Desain

Spektrum respons adalah salah satu cara penyelesaian masalah persamaan diferensial gerakan struktur MDOF. Walaupun memakai prinsip dinamik, tetapi metode ini bukanlah kategori analisis riwayat waktu. Penggunaan metode ini hanya terbatas pada pencarian respons-respons maksimum. Dengan memakai spektrum respons yang telah disiapkan (tiap-tiap daerah gempa), maka respons-respons maksimum dapat dicari dalam waktu yang relatif singkat dibanding dengan cara analisis riwayat waktu. Namun demikian penyelesaian problem dengan cara ini hanya bersifat pendekatan artinya spektrum respons akan diperoleh dengan asumsi-asumsi tertentu.

Pada kenyataannya perlu diketahui prinsip dasar pada analisis dan desain struktur bangunan tahan gempa yaitu antara suplai (*supply*) dan kebutuhan (*demand*). Kebutuhan yang dimaksud dalam hal ini adalah kebutuhan kekuatan struktur sedemikian sehingga dengan tercukupinya kebutuhan kekuatan struktur mampu menahan beban dengan aman. Spektrum respons akan berfungsi sebagai

alat untuk mengestimasi dalam menentukan *strenght demand*. Di lain pihak, suplai kekuatan dapat dilakukan setelah melakukan desain elemen struktur. Desain elemen dapat dilakukan dengan berdasar pada kekuatan bahan hasil uji elemen di laboratorium. Dengan demikian desain kekuatan harus didasarkan atas kekuatan yang nyata/riil atas bahan yang dipakai. Estimasi kebutuhan kekuatan struktur (*strenght demand*) akibat beban gempa pada prinsipnya adalah menentukan seberapa besar beban horisontal yang akan bekerja pada tiap-tiap massa. Hal ini terjadi karena beban gempa akan mengakibatkan struktur menjadi bergetar dan pengaruhnya dapat diekivalenkan/seolah-olah terdapat gaya horisontal yang bekerja pada tiap-tiap massa. Spektrum respons dapat dipakai untuk menentukan gaya horisontal maupun simpangan struktur MDOF tersebut.

merupakan suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara perioda getar struktur, T , lawan respons-respons maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respons-respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (spektrum perpindahan, S_d) kecepatan maksimum (spektrum kecepatan, S_v) atau percepatan maksimum (spektrum percepatan, S_a) massa struktur. Terdapat dua macam spektrum yaitu spektrum elastik dan spektrum inelastik. Spektrum elastik adalah spektrum yang didasarkan atas respons elastik struktur, sedangkan spektrum inelastik (juga disebut desain spektrum respons) adalah spektrum yang direduksi dari spektrum elastik dengan nilai daktilitas tertentu. Nilai spektrum dipengaruhi oleh perioda getar, rasio redaman, tingkat daktilitas dan jenis tanah. Umumnya beban gempa, rasio redaman, daktilitas dan jenis tanah sudah dijadikan suatu variabel kontrol sehingga grafik yang ada tinggal diplot antara periode getar, T , lawan nilai spektrum, apakah simpangan, kecepatan atau percepatan maksimum. Secara umum yang dipakai adalah spektrum akselerasi.

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari speksifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus mengikuti ketentuan berikut:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus ditentukan berdasarkan Pers. (2.3).

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.3)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan SDS .
3. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spectrum respons percepatan desain, S_a , dihitung berdasarkan Pers. (2.4).

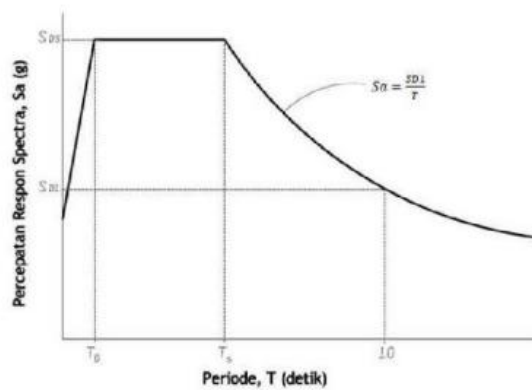
$$S_a = \frac{SD1}{T} \quad (2.4)$$

Dimana:

SDS = parameter respon spektra percepatan desain pada perioda pendek

$SD1$ = parameter respon spektra percepatan desain pada perioda 1 detik

T = perioda getar fundamental struktur



Gambar 2.14: Spektrum Respons Desain.

2.10.6. 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 (Ω_o)
- Faktor batasan tinggi sistem struktur

Tabel 2.6: Faktor R, Cd , dan Ω_o untuk sistem penahan gaya gempa.

Sistem penahan gaya gempa seismik	Koef. Modifikasi respon, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_o^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur				
				Kategori desain seismic				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
Sistem rangka baja bresing konsentris								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	$3\frac{1}{4}$	2	$3\frac{1}{4}$	TB	TB	10 ^j	10 ^j	10 ^j

2.10.7. 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 ($T_{a\ minimum}$) :

$$T_{a\ minimum} = C_t h_n^x \quad (2.5)$$

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

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u T_{a \text{ minimum}} \quad (2.6)$$

Dimana:

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

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

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

x = Ditentukan dari Tabel 2.7

C_t = Ditentukan dari Tabel 2.7

C_u = Ditentukan dari Tabel 2.8

Tabel 2.7: Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x berdasarkan SNI 1726:2019.

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilindungi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

2.10.8. Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019, geser dasar seismic (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan pers. 2.25.

$$V = C_s W \quad (2.7)$$

Dimana:

C_s = Koefisien respon seismic yang ditentukan

W = Berat seismic efektif

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1, untuk mendapatkan koefisien C_s digunakan persamaan persamaan yang terdapat pada pers. 2.26 – Pers. 2.29.

1. $C_s \text{ maksimum}$

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{T}\right)} \quad (2.8)$$

2. *Cs hasil hitungan*

$$C_s \text{ hasil hitungan} = \frac{SDS}{T\left(\frac{R}{T}\right)} \quad (2.9)$$

3. *Cs minimum*

$$C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} I \geq 0,01 \quad (2.10)$$

4. *Cs minimum tambahan*

$$C_s \text{ minimum tambahan} = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{T}\right)} \quad (2.11)$$

Dimana:

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektrum desain untuk perioda pendek 0,2 detik

S_1 = Parameter percepatan respon spektrum desain untuk perioda 1 detik

R = Faktor modifikasi respon

I = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.2

T = Perioda struktur dasar (detik)

Nilai C_s hasil hitungan yang didapatkan tidak perlu melebihi nilai C_s maksimum dan juga tidak perlu kurang dari nilai C_s minimum. Sedangkan sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 lebih besar dari 0,6 g maka C_s harus tidak kurang dari nilai C_s minimum tambahan.

2.10.9. Pengaruh P-delta

Pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan pada Pers. 2.12 berikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (2.12)$$

Dimana:

P_x = Beban devertikal total pada dan di atas tingkat x , dinyatakan dalam kilo newton (kN); bila mengjitung P_x , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

Δ = Adalah simpangan antar lantai tingkat desain seperti didefinisikan dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6, terjadi secara serentak dengan V_x , dinyatakan dalam milimeter (mm)

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 4.1.2

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antai lantai tingkat x dan x-1 (kN)

h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat x, dinyatakan dalam milimeter (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 2.6

Koefisien stabilitas (θ) harus tidak melebihi θ_{max} yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (2.13)$$

Dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x-1. Rasio ini diijinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan θ_{max} , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisa rasional. Sebagai alternatif, diijinkan untuk mengalikan perpindahan gaya komponen struktur dengan 1,0 (1 - θ). Jika θ lebih besar dari θ_{max} struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

Jika pengaruh P-delta disertakan dalam analisa otomatis, Pers 2.13 masih harus dipenuhi, akan tetapi, nilai θ yang hitung dari pers. 2.3 menggunakan hasil analisa P-delta diijinkan dibagi dengan (1 + θ) sebelum diperiksa dengan persamaan 2.13.

2.10.10. Metode Analisa

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7, analisa struktur yang disyaratkan harus terdiri dari salah satu tipe yang diijinkan dalam Tabel 2.11, berdasarkan pada kategori desain seismik struktur, sistem struktur, properti dinamis, dan keteraturan, atau dengan persetujuan pemberi ijin yang mempunyai kuasa hukum, sebuah prosedur alternatif yang diterima secara umum diijinkan digunakan. Prosedur

analisa yang dipilih harus dilengkapi sesuai dengan persyaratan dari pasal yang terkait.

Tabel 2.8: Prosedur analisa yang boleh digunakan menurut SNI 1726:2019.

Kategori desain seismik	Karakteristik Struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0	Analisis spektrum respons ragam pasal 0	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 0
B,C	Semua struktur	I	I	I
D,E,F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Catatan: I: Diiijinkan, TI: Tidak Diiijinkan.

2.10.10.1. Metode Analisa Respon Spektrum Ragam

Menurut Budiono dan Supriatna (2011) parameter respon terkombinasi respon masing-masing ragam yang ditentukan melalui spektrum respon rencana gempa merupakan respon maksimum. Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan ragam respon menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%.

Untuk penjumlahan respon ragam yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Waktu getar alami dianggap berdekatan apabila selisihnya kurang dari 15%. Sedangkan untuk struktur yang memiliki waktu

getar alami yang berjauhan, penjumlahan respon ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode yang dikenal dengan Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*).

Berdasarkan SNI 1726:2019, nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 85% nilai respon ragam yang pertama. Bila respon dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser V_t , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dalam Pers. 2.14.

$$V_t \geq 0,85 V_1 \quad (2,14)$$

Maka, apabila nilai akhir respon dinamik lebih kecil dari nilai respon ragam pertama, gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisa spektrum respon ragam dalam suatu arah tertentu harus dikalikan nilainya dengan suatu faktor skala yang ditentukan dengan Pers. 2.15.

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,85 V_1}{V_t} \geq 1 \quad (2.15)$$

Dimana :

V_t = Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisa ragam spektrum respon yang telah dilakukan.

V_1 = Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekivalen.

2.10.10.2. Metode Analisa Riwayat Waktu

Analisa riwayat waktu terbagi menjadi 2 jenis metode, yaitu:

1. Analisa respon dinamik riwayat waktu linear Adalah suatu cara analisa untuk menentukan riwayat waktu respon dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal sebagai data maksimum, dimana respon dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi langsung atau dapat juga dengan metode analisa ragam.
2. Analisa respon dinamik riwayat waktu nonlinear Adalah suatu cara analisa untuk menentukan riwayat waktu respon dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh (linear) maupun elasto-plastis (nonlinear) terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana pada taraf pembebanan gempa

nominal sebagai data maksimum, dimana respon dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi langsung.

Linear atau Non-Linear. Dibedakan terhadap sifat struktur. Struktur Linear berarti sifat struktur tersebut (Massa, Redaman, Kekakuan) tidak akan berubah terhadap waktu. Sedangkan Struktur Non-Linear berarti sifat struktur tersebut (Massa, Redaman, Kekakuan) dapat berubah pada saat/waktu tertentu.

2.10.11. Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan

Beban kerja pada struktur atau komponen struktur ditetapkan berdasarkan peraturan pembebanan yang berlaku. Berdasarkan PPPURG (1987), beban pada struktur atau komponen struktur dikelompokkan menjadi 5 jenis beban, yaitu:

1. Beban mati, yaitu berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu seperti pipa-pipa, saluran listrik, AC, lampu-lampu, penutup lantai/atap, plafon, dan sebagainya.
2. Beban hidup, yaitu semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.
3. Beban angin, yaitu semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.
4. Beban gempa, yaitu semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu.
5. Beban khusus, yaitu semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan pondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

Kombinasi beban untuk metode ultimit struktur, komponen-komponen struktur dan elemen-elemen pondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor.

Menurut Budiono dan Supriatna (2011), faktor-faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal adalah:

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3. $1,2 DL + 1 LL \pm 0,3 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL) \pm 1 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL)$
4. $1,2 DL + 1 LL \pm 1 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL) \pm 0,3 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL)$
5. $0,9 DL \pm 0,3 (\rho Q_E - 0,2 S_{DS} DL) \pm 1 (\rho Q_E - 0,2 S_{DS} DL)$
6. $0,9 DL \pm 1 (\rho Q_E - 0,2 S_{DS} DL) \pm 0,3 (\rho Q_E - 0,2 S_{DS} DL)$

Dimana:

DL = Beban mati, termasuk $SIDL$

LL = Beban hidup

Ex = Beban gempa arah-x

Ey = Beban gempa arah-y

ρ = Faktor redudansi

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektrum desain pada perioda pendek

Q_E = Pengaruh gaya seismik horizontal dari V , yaitu gaya geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau. Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain.

Faktor redudansi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya seismik masing-masing dalam kedua arah orthogonal untuk semua struktur. Kondisi dimana nilai ρ diizinkan 1 sebagai berikut:

- Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C
- Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta; desain komponen nonstruktural
- Desain struktural non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung
- Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 pada SNI 1726:2019 yang digunakan

- Desain elemen struktur atau sambungan dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 disyaratkan untuk didesain
- Beban diafragma ditentukan dengan menggunakan persamaan yang terdapat pada SNI 1726:2019, yaitu:

$$F_{px} = \frac{\sum F_i}{\sum w_i} W_{px} \quad (2.16)$$

Dimana :

F_{px} = Gaya desain diafragma

F_i = Gaya desain yang ditetapkan tingkat i

w_i = Tributari berat sampai tingkat i

W_{px} = Tributari berat sampai diafragma di tingkat x

Dimana F_{px} tidak boleh melebihi pers. 2.17.

$$F_{px} = 0,2 S_{DS} I_{ex} W_{px} \quad (2.17)$$

Dan F_{px} tidak boleh melebihi dari pers. 2.18.

$$F_{px} = 0,4 S_{DS} I_{ex} W_{px} \quad (2.18)$$

- Struktur bagian sistem peredaman
- Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkutnya untuk struktur yang dirancang bagi kategori desain seismik D, E, dan F faktor reduksi (ρ) harus sama dengan 1,3; kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi dimana ρ diizinkan diambil sebesar 1.
- Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau sesuai dengan Tabel 2.12.

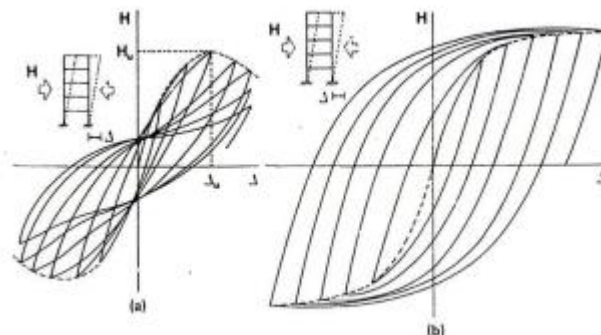
Tabel 2.9: Persyaratan masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar menurut SNI 1726:2019.

Elemen Penahan Gaya Lateral	Persyaratan
Rangka dengan bresing	Penghilangan suatu bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kekuatan tingkat lebih dari 33 %, dan tidak akan menghasilkan sistem dengan ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b).

Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal disetiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding struktur harus dihitung sebagai panjang dinding struktur dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat untuk konstruksi rangka ringan.

2.11. Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Konstruksi

Perencanaan struktur bangunan tahan gempa yang baik memerlukan pengetahuan tentang bagaimana perilaku dari struktur tersebut saat terjadi gempa. Banyak faktor yang mempengaruhi respon dari struktur pada saat terjadi gempa. Gambar 2.15 menunjukkan hubungan antara beban horisontal akibat gempa yang arahnya bolak-balik dengan perpindahan yang terjadi dari dua struktur portal (*frame structure*) yang dengan perilaku yang berbeda. Struktur pada Gambar 2.15.a menunjukkan perilaku ketahanan gempa yang buruk. Pada struktur ini, setelah tercapainya kekuatan batas (*ultimate*) dari struktur (H_u), akan terjadi penurunan kekuatan yang sangat signifikan akibat beban gempa yang berulang. Dari kurva siklus histeresis yang terbentuk terlihat bahwa struktur pada Gambar 2.15.a mempunyai kapasitas disipasi energi yang kecil atau terbatas, dengan demikian struktur ini tidak mempunyai kemampuan daya dukung yang baik di dalam menahan beban gempa. Struktur-struktur seperti ini pada umumnya bersifat getas (*brittle*).



Gambar 2.15: Perilaku Struktur akibat pembebanan horizontal berulang, a) perilaku struktur yang buruk; b) perilaku struktur yang baik.

Struktur pada Gambar 2.15.b mempunyai perilaku yang baik di dalam memikul beban gempa. Kurva siklus histeresis yang terbentuk pada struktur ini lebih besar dibandingkan dengan struktur yang pertama. Hal ini menunjukkan bahwa struktur mempunyai kapasitas disipasi energi yang besar, sehingga struktur mempunyai kemampuan daya dukung yang baik di dalam menahan beban gempa. Struktur-struktur seperti ini pada umumnya bersifat daktail (*ductile*). Perilaku daktail dari struktur merupakan hal yang sangat penting di dalam merencanakan struktur bangunan tahan gempa.

2.12. Analisa Nonlinear

Selama ini analisa gempa menggunakan metode *force based design*. Pada metode *force based design* perhitungan terhadap gaya gempa dilakukan dengan analisa linear (elastis). Setelah gaya-gaya dalam diperoleh kemudian dilakukan desain untuk mendapatkan kapasitas dari tiap elemen struktur yang harus disediakan. Perhitungan kapasitas dari tiap elemen dapat dilakukan dengan persamaan-persamaan yang tersedia dalam beberapa standar perencanaan yang ada di Indonesia. Berberapa peneliti menyimpulkan bahwa analisa linear tidak dapat digunakan untuk mengetahui perilaku struktur terhadap gempa besar, karena pada dasarnya saat terjadi gempa besar pada struktur terjadi plastifikasi di beberapa tempat. Sehingga bangunan tidak lagi berperilaku linear akan tetapi berperilaku nonlinear. Dengan begitu diperlukan analisa nonlinear untuk mengetahui perilaku struktur saat mengalami gempa besar.

Otani (1980) mengatakan bahwa karakteristik dinamik bangunan gedung sampai kondisi rusak/runtuh khususnya kekakuan dan redaman relatif sulit untuk ditentukan. Hal tersebut terjadi dengan beberapa alasan yaitu bahwa:

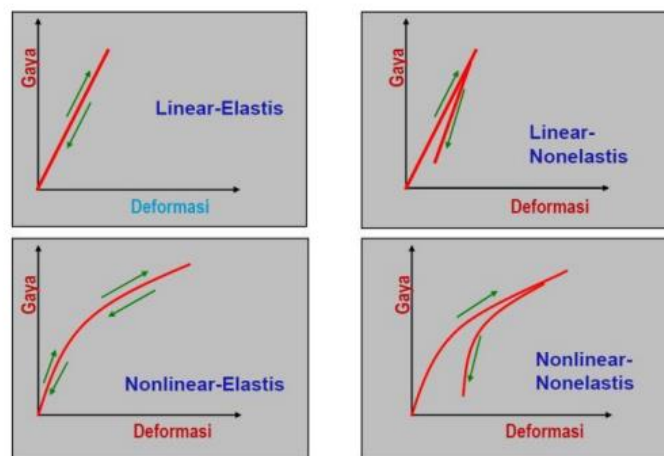
1. Sangat sulit untuk mengetahui secara eksak interaksi antara bagian-bagian struktur pada saat pembebanan dinamik,
2. diperlukan kekuatan peralatan yang sangat besar/mahal untuk membebani model bangunan skala penuh di laboratorium sampai runtuh.
3. uji laboratorium skala penuh sangatlah mahal. Oleh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

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

2.12.1. Definisi Analisa Nonlinear

Ketika terjadi gempa besar, struktur mengalami keadaan plastis di beberapa tempat. Sehingga bangunan tidak lagi berperilaku linear akan tetapi berperilaku nonlinear. Dengan begitu diperlukan analisa nonlinear untuk mengetahui perilaku struktur saat mengalami gempa besar.

Analisa linear berarti respon yang diterima struktur berbanding lurus dengan pembebanan yang diberikan. Sedangkan analisa nonlinear, respon yang diterima struktur tidak berbanding lurus dengan pembebanan yang diberikan. Respon tersebut disebabkan oleh material yang tidak linear, geometri yang tidak linear dan keduanya. Respon dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16: Respon yang diterima terhadap pembebanan yang diberikan.

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

analisa yang diperlukan untuk melakukan evaluasi kinerja bangunan adalah analisa dinamis nonlinear. Pada analisa Dinamis Nonlinear dibutuhkan beberapa data detail seperti data percepatan gempa, tingkat kenonlieneran suatu elemen, yang mana membutuhkan pengetahuan khusus untuk menganalisa tingkat kenonlinearan suatu elemen. Selain rumit running suatu model analisa dinamis nonlinear membutuhkan waktu yang tidak sedikit. Sehingga karena penggunaanya yang relatif lama dan sulit maka beberapa peneliti mengusulkan penggunaan analisa statis nonlinear untuk menggantikan analisa dinamis nonlinear riwayat waktu sebagai alat untuk mengevaluasi perilaku. Hal ini dilakukan karena analisa statis nonlinear dinilai relatif mudah dan dapat digunakan untuk meramalkan kinerja struktur terhadap beban lateral selama mode yang dominan adalah mode pertama dan periode alami struktur tidak melebihi satu detik.

2.12.2. Material Elastis dan Non-Elastis

Material elastis adalah material yang ketika dibebani dan beban dilepas, respon (gaya, deformasi, tegangan, regangan dan lain-lain) akan mengikuti jalur yang sama dan respon akan kembali ke posisi awalnya bila beban tersebut dihilangkan. Sedangkan material tidak elastis adalah material yang ketika dibebani dan beban dilepas, respon (gaya, deformasi, tegangan, regangan dan lain-lain) tidak akan mengikuti jalur yang sama dan respon bisa jadi tidak kembali ke posisi awalnya bila beban tersebut dihilangkan (Faisal, 2013).

Semua material akan berperilaku elastis ataupun tidak elastis sebagaimana material tersebut telah didefinisikan sebelumnya, semua itu tergantung kepada besar pembebanan yang diterima oleh material itu sendiri.

2.12.3. Rincian dalam Analisa Nonlinear

Untuk menjalankan analisa statis nonlinear ada beberapa hal yang perlu diperhatikan. Adapun beberapa hal tersebut adalah:

1. *Hinges Properties*

Perilaku leleh dan pasca leleh pada elemen struktur dapat dimodelkan dalam hinges properties. Hinges properties hanya dapat dipakai dalam elemen rangka saja. Adapun *type hinges* yang tersedia adalah geser (*Major shear, V_3*),

momen (*Major Moment, M_3*), aksial (*Aksial, P*), kombinasi aksial momen (*Coupled, $P-M_2-M_3$*).

2. *Load Application Control*

Ada 2 macam bentuk *load application control* untuk analisa statis nonlinear yaitu a *load-controlled* dan *displacement-controlled*. A *load-controlled* dipakai apabila kita tahu pembesaran beban yang akan diberikan kepada struktur yang diperkirakan dapat menahan beban tersebut, contohnya adalah beban gravitasi. Pada *load-controlled* semua beban akan ditambahkan dari nol hingga pebesaran yang diinginkan. *Displacement-controlled* dipakai apabila kita mengetahui sejauh mana struktur kita bergerak tetapi kita tidak tahu beban yang harus dimasukkan. Ini sangat berguna untuk mengetahui perilaku struktur tidak stabil dan mungkin kehilangan kapasitas pembawa beban selama analisa dilakukan.

3. *Hinge Unloading Method*

Hinge unloading method adalah metode untuk mencari jalan untuk membawa kembali beban yang diterima oleh sendi pada saat sendi mengalami fase *unload* dan memungkinkan redistribusi beban tersebut kepada sisa struktur. *Hinge unloading* terjadi ketika kurva tegangan-regangan (gaya-deformasi atau momen-rotasi) menunjukkan penurunan kapasitas, dimana sering diasumsikan pada titik C ke D, atau titik E ke F (kehancuran total). *Hinge Unloading Method* ada 3 macam yaitu *Unload Entire Structure, Apply Local Redistribution, Restart using secant stiffness*. Metode paling efisien untuk *Hinge Unloading Method* adalah *Unload Entire Structures*.

4. Geometri Nonlinear (*Geometry Nonlinearity*)

Ketika beban bekerja pada struktur dan menghasilkan deformasi yang cukup kecil maka hubungan beban-defleksi bersifat linear. Tetapi ketika beban yang bekerja pada struktur menghasilkan deformasi yang cukup besar maka hubungan beban defleksi akan bersifat nonlinear. Untuk analisa statik nonlinear kita dapat memilih opsi geometri nonlinear yaitu:

- None

Semua persamaan kesetimbangan dipertimbangkan pada konfigurasi tak berdeformasi dari struktur.

- P Delta

Persamaan kesetimbangan diperhitungkan sebagian dalam konfigurasi deformasi. Gaya tarik cenderung menahan rotasi elemen dan memperkaku struktur, sedangkan gaya tekan cenderung mempebesar rotasi elemen dan membuat struktur menjadi tidak stabil.

- P Delta dan Large Deformation

Semua persamaan kesetimbangan diperhitungkan dalam konfigurasi deformasi.

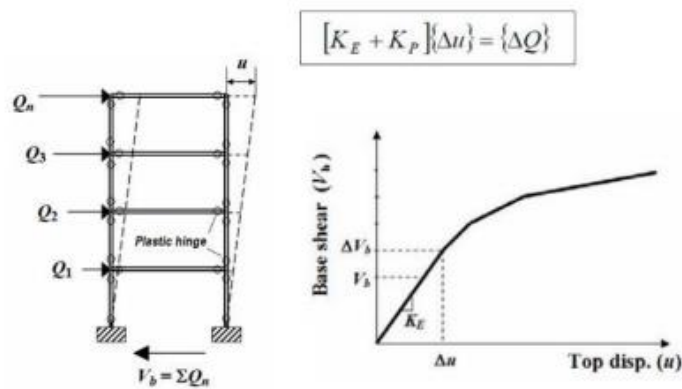
2.12.4. Analisa Statis Nonlinear

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

Untuk mengetahui penyebab perilaku nonlinier pada struktur terhadap gempa dan perilaku dari struktur sebagai kinerja yang diberikan dengan lebih baik, maka perlu menganalisa beban dorong atau *pushover analysis*. Dari analisa tersebut dapat diidentifikasi elemen yang kuat dan elemen yang tidak kuat dalam menopang

beban. Analisa ini juga dapat memperkirakan kebutuhan yang diperlukan elemen sehingga menjadi lebih sesuai dengan yang terjadi dilapangan.

Analisa struktur yang memakai analisa statis nonlinear diberikan beban yang meningkat secara bertahap sampai keseluruhan elemen mengalami sendi plastis. Analisa ini dibuat untuk mengevaluasi kinerja stuktur dengan memperkirakan kapasitas struktur dalam bentuk gaya dan simpangan global atau simpangan antar tingkat, atau deformasi dan gaya elemen. Kapasitas struktur kemudian akan dibandingkan dengan kurva kebutuhan.



Gambar 2.17: *Pushover Analysis*; Analisa Statis Tidak Linear.

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

Analisa pushover menghasilkan kurva pushover, kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) dengan *Top Displacement*. Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku nonlinear. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.

Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang

kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa analisa statis *pushover* dapat memberikan hasil mencukupi (ketika dibandingkan dengan hasil analisa dinamik nonlinear) untuk bangunan regular dan tidak tinggi.

Analisa *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu untuk perencanaan tahan gempa, asalkan menyesuaikan dengan keterbatasan yang ada, yaitu:

- Hasil analisa *pushover* masih berupa suatu pendekatan, karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik melalui suatu siklus tertentu, sedangkan sifat pembebanan pada analisa *pushover* adalah statik monotonik.
- Pemilihan pola beban lateral yang digunakan dalam analisa adalah sangat penting.
- Untuk membuat model analisa nonlinier akan lebih rumit dibanding model analisa linier. Model tersebut harus memperhitungkan karakteristik inelastik beban-deformasi dari elemen-elemen yang penting dan efek $P-\Delta$.

2.12.5. Analisa Dinamis Nonlinear

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

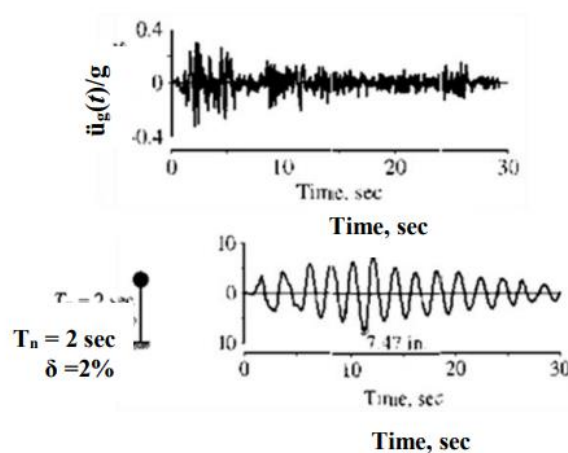
Dalam analisis dinamis non-linear sifat non-linier struktur dianggap sebagai bagian dari suatu domain analisis waktu. Pendekatan ini adalah yang paling ketat dan digunakan oleh beberapa peraturan bangunan untuk bangunan dengan konfigurasi yang tidak biasa atau untuk keperluan khusus. Namun, respon dihitung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

tanah yang berbeda untuk mencapai estimasi yang handal dari distribusi probabilistik respon struktural.

2.13. Perilaku Struktur Linear dan Nonlinear

Struktur Linear adalah struktur yang tidak mengalami perubahan Massa (M), Redaman (C), dan Kekakuan (K) dalam kondisi apapun. Analisa dalam kondisi ini biasanya digunakan dengan asumsi bahwa struktur direncanakan selalu berada dalam kondisi elastis, atau sifat struktur dapat kembali ke posisi awal setelah diberikan beban tertentu.

Dapat dilihat pada Gambar 2.18, sebuah struktur SDOF yang bersifat linear diberikan beban percepatan gempa. Simpangan akhir, setelah beban berhenti bekerja, kembali ke kekaadaan awal.

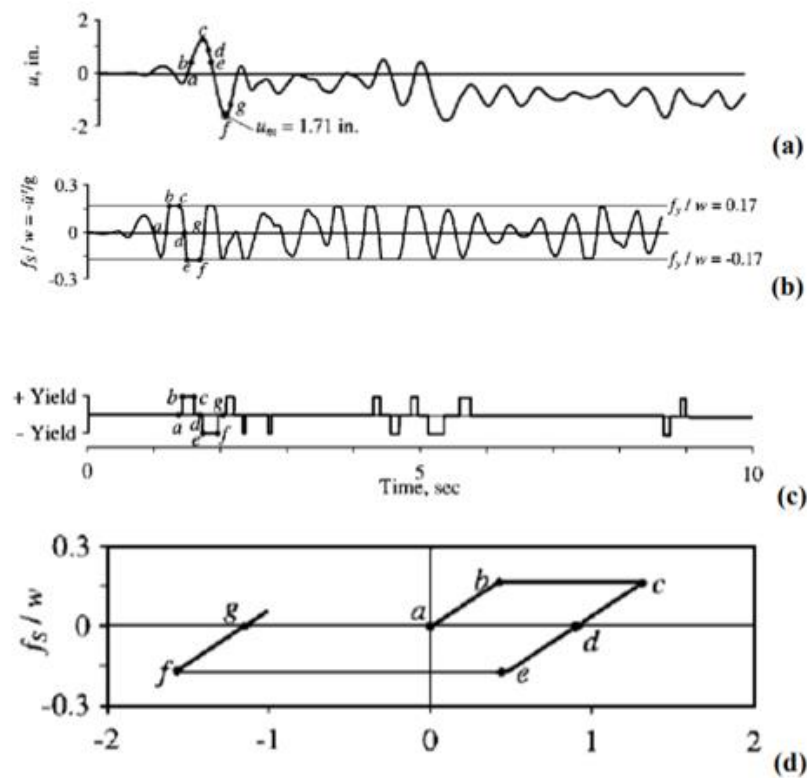


Gambar 2.18: Perilaku struktur linear a) percepatan gempa; b) lendutan Struktur SDOF linear yang diberikan beban percepatan gempa (Gavin, 2014).

Sedangkan struktur Non-Linear adalah struktur yang mengalami perubahan Massa (M), Redaman (C), dan Kekakuan (K) pada kondisi tertentu. Struktur akan berubah sifat setelah melewati batasan tertentu. Analisa seperti ini sangat membantu para perencana untuk memahami bagaimana sifat suatu struktur setelah melewati batas elastisnya dan sampai seberapa kuat struktur tersebut dapat bertahan. Nilai rasio perbandingan titik hancur struktur dengan titik pertama kali leleh struktur

disebut dengan daktilitas (μ), atau besar perbandingan antara nilai kondisi kapasitas puncak dengan kondisi leleh puncak.

Gambar 2.19 di bawah menunjukkan perilaku struktur Non-Linear bila diberikan beban tertentu. Dapat dilihat bahwa pada kondisi tertentu gaya yang bekerja melebihi kemampuan gaya elastis struktur. Simpangan akhir, setelah beban berhenti bekerja, tidak kembali ke keadaan awal.

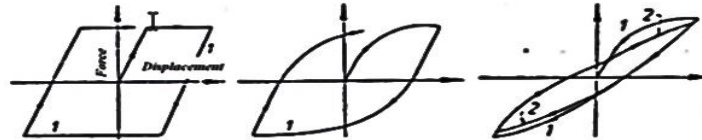


Gambar 2.19: SDoF nonlinear a) simpangan; b) gaya yang ditahan; c) interval waktu pelelehan; d) grafik hubungan gaya-simpangan (Gavin, 2014).

Kemampuan sebuah struktur atau komponen untuk menahan respon inelastik, termasuk lendutan terbesar dan menyerap energi, disebut daktilitas. Pada dasarnya daktilitas dibagi atas beberapa jenis. Hal ini terjadi karena adanya beberapa pengertian yang timbul. Pengertian daktilitas dapat ditinjau dari tiga jenis metode perhitungan. Daktilitas dapat ditinjau dari segi tegangan (strain),

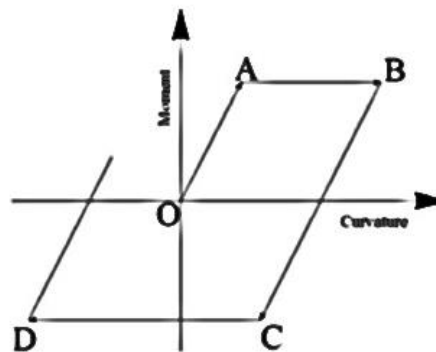
Lengkungan (curvature), dan Lendutan (displacement). Hubungan daktilitas ditunjukkan pada Pers 2.19.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\mu_{max}}{\mu_{yield}}, \text{ atau } \mu_{\phi} = \frac{\mu_{max}}{\mu_{yield}} \quad (2.19)$$



Gambar 2.20: Histerisis loop pada elemen (Gavin, 2014).

Gambar 2.20 menunjukkan gambar hysteretic loop yang terjadi pada elemen. Gambar 2.21 di bawah ini menunjukkan hubungan antara moment dan curvature yang sudah disederhanakan pada elemen struktur. Daerah O-A menunjukkan dimana elemen masih dalam keadaan elastis. A adalah titik dimana terjadi pelelehan elemen (ϕ_{yield}). A-B adalah masa dimana struktur hanya menahan beban gempa dengan respon inelastis saja. B adalah titik dimana elemen struktur mencapai respons maksimum (ϕ_{max}) dan masuk kedalam respon elastis negatif. Siklus ini terus berulang sampai elemen melewati batas kemampuannya.



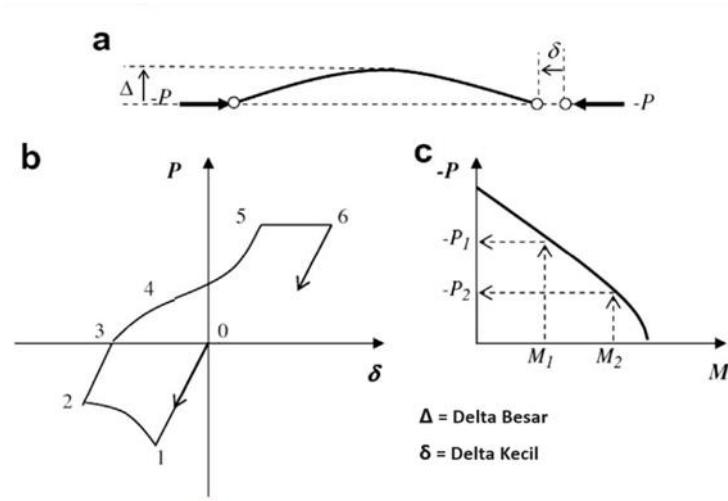
Gambar 2.21: *Idealized Moment – Curvature Hysteretic Loop* (Gavin, 2014).

2.14. Deformasi Nonlinear Plat Buhul

Pada Gambar 2.22a dibawah dijelaskan bahwa bresing mengalami tekuk lokal (deformasi lateral atau Delta besar) akibat gaya aksial P tekan yang

dialaminya secara berlebihan yang mengakibatkan deformasi (Delta kecil) secara nonlinier.

Kemudian dapat dilihat pada Gambar 2.22b bagaimana perilaku sendi plastis pada bresing dimana gaya aksial P yang berlebihan dapat menimbulkan deformasi (Delta kecil) nonlinier yang tidak elastis. Di Gambar 2.22c dijelaskan bahwa interaksi gaya aksial P dan momen lentur m , akibat adanya gaya aksial tekan P dapat menimbulkan deformasi aksial, sehingga menyebabkan terjadinya gaya dalam tambahan (yaitu momen lentur M) pada bresing. Hal inilah yang kemudian menimbulkan tekuk lokal.



Gambar 2.22: Grafik bentuk deformasi nonlinear (Nassani, 2017).

2.15. Program OpenSEES

Program *Open System for Earthquake Engineering Simulation* (OpenSEES). Dikembangkan oleh Frank McKenna dan Gregory L. Fenves. Program ini dirancang untuk melakukan analisa struktur, seperti bangunan dan/atau jembatan, yang mengalami gempa dan eksitasi dinamis lainnya. Program ini digunakan untuk studi eksitasi gempa termasuk pemodelan sistem base-isolation. Program ini juga dapat digunakan untuk menganalisa push over, baik statis maupun dinamis. Beberapa jenis analisis yang bisa dilakukan dengan program Ruauumoko, diantaranya yaitu:

- a. Analisis statis.

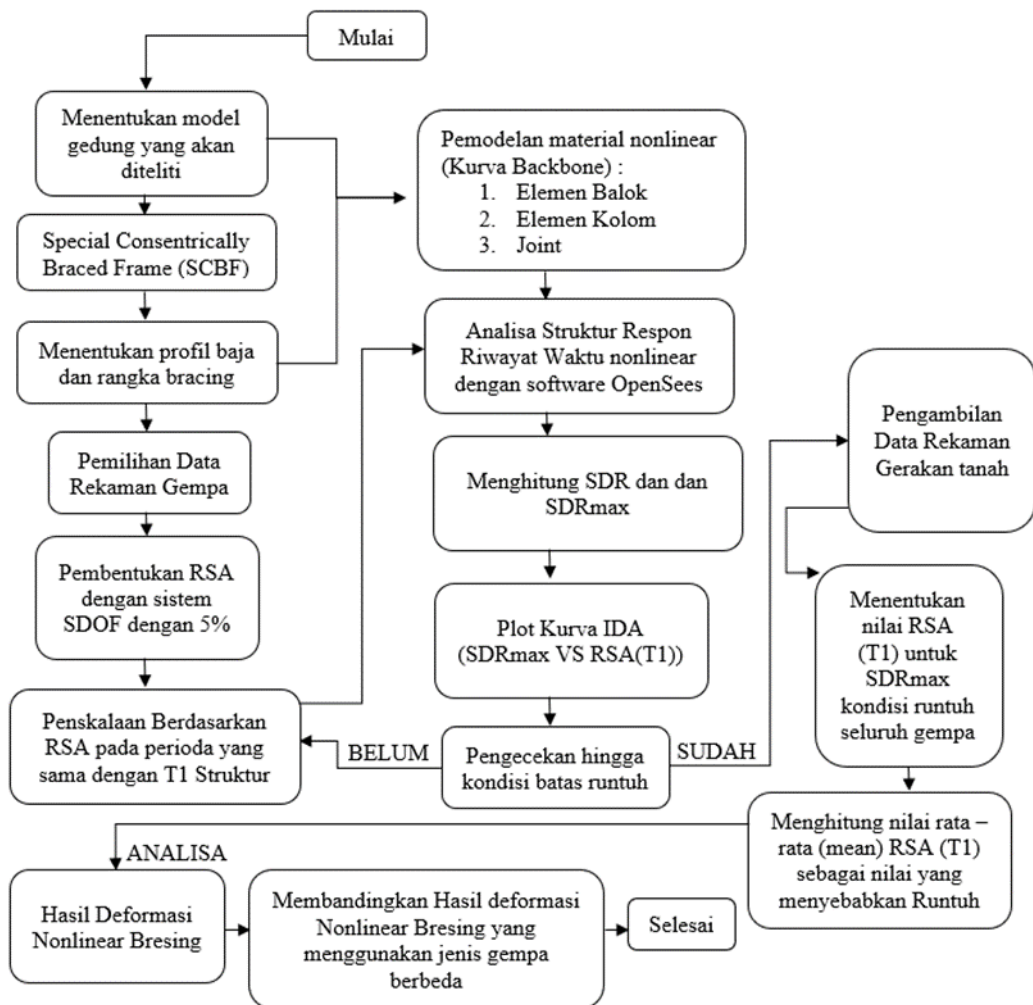
- b. Modal atau analisis eigen value untuk menemukan frekuensi dan bentuk mode getaran bebas. Program juga menghitung fraksi redaman kritis terkait dengan setiap mode natural dari getaran bebas sebagai hasil pemilihan model redaman.
- c. Analisis gempa dinamis dengan input gempa horizontal dan /atau vertikal serta beban statis awal.
- d. Respon dinamis dengan riwayat gaya dinamis serta beban statis awal.
- e. Analisis secara elastis.
- f. Analisis secara inelastis atau nonlinear analisis.
- g. Analisis elastis respon spectra dan riwayat waktu.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Umum

Secara umum metode penelitian yang akan digunakan merupakan metode kuantitatif komparatif dengan menggunakan data primer yang bersumber dari hasil metode analitis. Metode penelitian yang akan digunakan termasuk kedalam metode penelitian terapan yang memiliki basis terhadap studi literatur. Langkah-langkah yang akan di tempuh untuk mencapai tujuan dalam penelitian ini akan ditunjukkan pada diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

Tugas Akhir ini akan menganalisis model bangunan dengan sistem baja berbracing konsentris. Berdasarkan Gambar 3.1 studi ini memakai berbagai tahapan analisa struktur mulai dari analisa ragam getar, analisa nonlinear statis dan respon riwayat waktu nonlinear dengan alat bantu *software* OpenSEES untuk mendapatkan hasil deformasi nonlinear yang terjadi pada plat buhul (*Gusset plate*), pemodelan gedung akan dipaparkan dibab ini.

3.2. Pemodelan Struktur

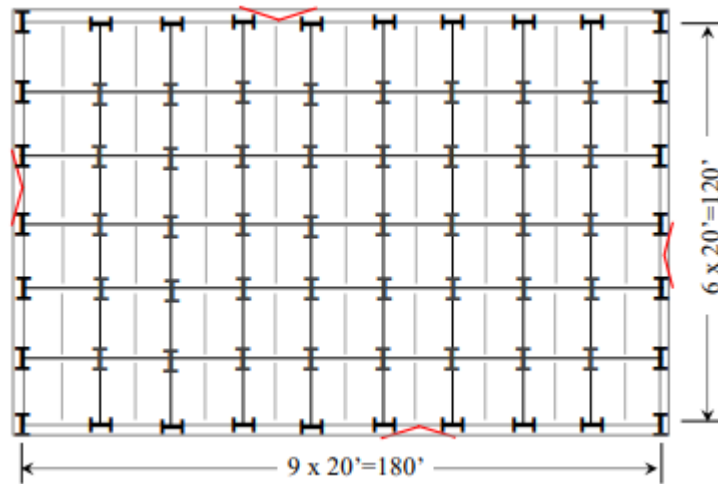
3.2.1. Data Perencanaan Struktur

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

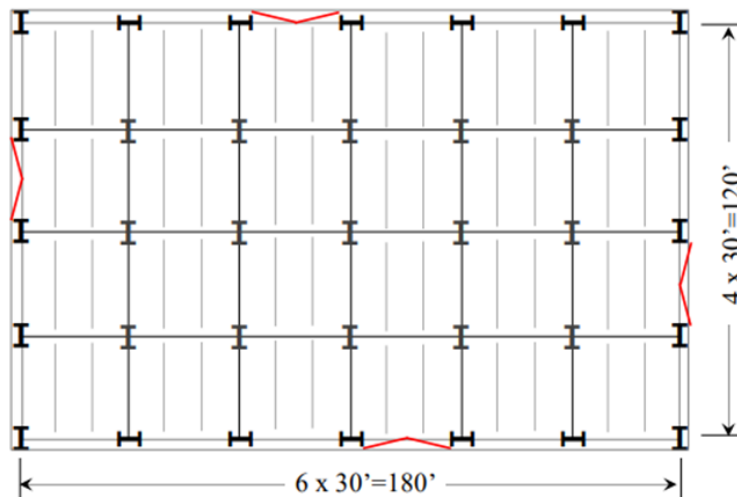
1. Jenis pemanfaatan gedung perkantoran.
2. Gedung teletak di kota dengan KDS Dmax
3. Klasifikasi situs tanah sedang (*SD*).
4. Sistem struktur yang digunakan adalah sistem rangka baja berbracing konsentris.
5. Jenis portal struktur gedung adalah struktur rangka baja berbracing.
6. Menggunakan model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

3.2.2. Pemodelan Struktur

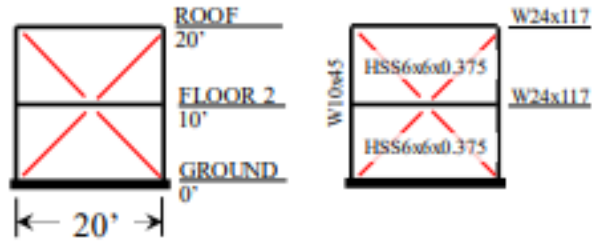
Pada tugas akhir ini model konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi *Multistory X-Bracing* dengan detail lebih lanjut tertera pada Gambar 3.2 – Gambar 3.4.



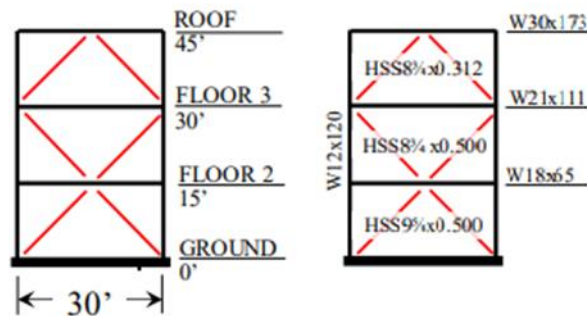
Gambar 3.2: Denah gedung 2 lantai.



Gambar 3.3 : Denah gedung 3 lantai.



Gambar 3.4: Denah elevasi gedung 2 lantai.



Gambar 3.5: Denah elevasi gedung 3 lantai.

3.2.3. Dimensi Kolom Balok

Bangunan yang direncanakan merupakan bangunan dengan struktur beraturan menggunakan dimensi penampang yang berbeda. Ukuran balok dan kolom terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Komponen Struktur Bangunan.

Model Bangunan	Lantai	Bresing	Kolom (Inch)	Balok (Inch)
2 lantai	1	Hss6x6x0.375	W10x54	W24x117
	2	Hss6x6x0.375	W10x54	W24x117
3 Lantai	1	HSS9x5/8x0.5	W12x120	W18x65
	2	HSS8x3/4x0.31	W12x120	W21x111
	3	HSS8x3/4x0.31	W12x120	W30x173

3.3. Analisis Struktur

3.3.1. Analisis Dinamik Struktur

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

3.3.1.1. Pembebanan

Beban gravitasi yang bekerja pada struktur bangunan diambil dari NIST yang telah disesuaikan dengan jenis dan fungsi bangunan. Beban-beban tersebut adalah beban hidup dan beban mati yang berhubungan dengan komponen material bangunan. Nilai beban hidup dan beban mati yang digunakan dalam perencanaan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Beban mati dan beban hidup berdasarkan NIST, (2010).

Beban	Besarnya Beban
Beban mati pada atap	3,208 kN/m ²
Beban hidup pada atap	0,958 kN/m ²
Beban mati pada lantai	4,069 kN/m ²
Beban hidup pada lantai	2,394 kN/m ²

Selanjutnya nilai-nilai tersebut dihitung dan diakumulasikan sesuai dengan luas bangunan pada masing-masing tingkat/lantai yang kemudian digunakan sebagai input dalam pemodelan Program Analisa Struktur.

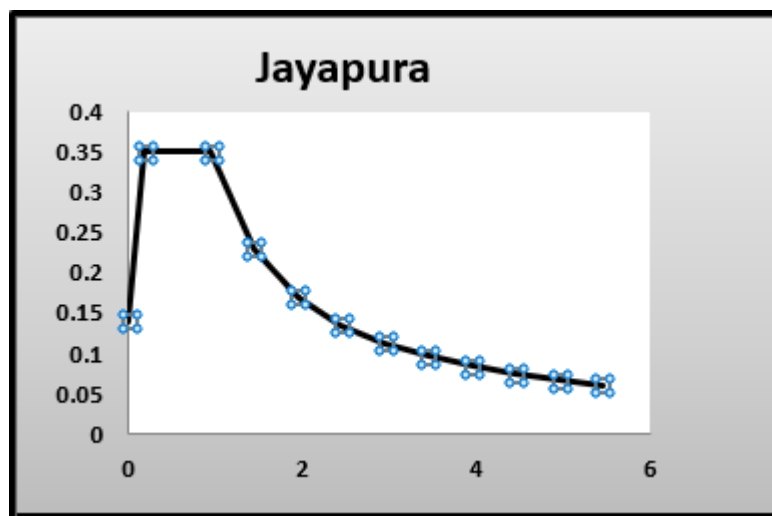
3.3.1.2. Respon Spektrum Desain Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2019, respon spektrum gempa didesai pada kondisi tanah sedang (*SD*) yang terletak di Kota Jayapura, kemudian dianalisis dengan data $PGA = 0,75$ g, $S_s = 1,349$ g dan $S_1 = 0,642$ g. Berdasarkan tahap-tahap yang telah dibahas dalam sub Bab 2.5.3 dan 2.5.4, maka akan didapatkan koefisien atau nilai-nilai yang diperlukan dalam pembuatan respon spektrum desain. Nilai-nilai tersebut yaitu :

- Nilai $F_a = 1,0$
- Nilai $F_v = 1,5$
- $S_{MS} = 0,526$

- $S_{M1} = 0,498$
- $S_{DS} = 0,351$
- $S_{D1} = 0,332$
- $T_0 = 0,189$
- $T_S = 0,946$
- Nilai $s_a = 0,351$

Respons spektrum diplot ke dalam grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.6: Respon spektrum desain berdasarkan SNI 1726:2019 Kota Jayapura dengan jenis tanah sedang.

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

3.3.1.3. Kombinasi Pembebanan

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

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

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

3.3.1.4. Analisis Respon Spektrum Ragam

Analisis ini merupakan tahap desain yang harus memenuhi syarat-syarat batas berdasarkan SNI 1726:2019. Analisis telah memenuhi syarat jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi yaitu sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Nilai untuk masing-masing parameter terkait gaya yang ditinjau, termasuk simpangan antar lantai tingkat, gaya dukung, dan gaya elemen struktur individu untuk masing-masing respon ragam telah dihitung menggunakan properti masing-masing ragam dan respon spektrum dibagi dengan kuantitas (R/I_e). Nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar lantai harus dikalikan dengan kuantitas (Cd/I_e) yang nilainya telah tertera pada Tabel 2.5 untuk nilai I_e dan Tabel 2.9 untuk nilai R dan Cd . Nilai untuk

masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, telah dikombinasikan menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) atau metode kombinasi kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Metode akar kuadrat jumlah kuadrat diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang lebih dari 15%, sementara metode kombinasi kuadrat lengkap diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang kurang dari 15%. Sehingga metode yang digunakan dalam analisis respon spektrum ragam adalah CQC pada Model yang dianalisa. Perhitungan mendetail pemilihan metode yang digunakan dalam pemodelan struktur dapat dilihat pada Bab 4.

3.3.1.5. *Groundmotion Record (Data Rekaman Gempa)*

Data rekaman gempa diperoleh dari website resmi Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Next Generation Attenuation (NGA), COSMOS Strongmotion Data Center.

Dalam pengambilan data rekaman gempa melalui PEER NGA, diperlukan data Station, Date, dan Magnitude agar terdapat korelasi antara data gempa yang diambil dari website tersebut dengan data gempa dari bangunan yang direncanakan.

Data rekaman gempa yang diambil sebanyak 10 rekaman gempa diantaranya rekaman gempa jauh dengan jarak epicentral diatas 15 km diambil sebanyak 10 data rekaman gempa dan rekaman gempa dekat diambil sebanyak 10 rekaman. Semua rekaman gempa diperoleh dari PEER NGA tertera pada Tabel 3.4 untuk rekaman gempa dekat dan Tabel 3.5 untuk rekaman gempa jauh.

Tabel 3.4: Rekaman getaran gempa dekat dari PEER-NGA.

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

Tabel 3.4: *Lanjutan.*

Gempa	Nama Gempa	Tahun	Nama Stasiun Gempa	Mag
9	Northridge-01	1994	Rinaldi Receiving Sta	6.7
10	Northridge-01	1994	Sylmar - Olive View Med FF	6.7

Tabel 3.5: Rekaman getaran gempa jauh dari PEER-NGA.

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

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

Selanjutnya data rekaman gempa yang diperoleh tersebut diskalakan terhadap respon spektrum desain. Pada proses penskalaan dibutuhkan data respon spektrum desain agar data rekaman gempa original disesuaikan dengan kondisi geologis pada Kota Jayapura (tanah sedang). Selain itu, rentang perioda alami (T) juga dibutuhkan dalam proses penskalaan agar hasil skala lebih detail.

Kemudian data rekaman gempa yang telah diskalakan digunakan sebagai input pada software OpenSEES. untuk Analisis Dinamik Non Linier Inelastis dengan Metode Analisa Riwayat Waktu.

3.3.1.6. Analisis Respon Riwayat Waktu

Analisis ini merupakan tahap evaluasi yang dijadikan sebagai perbandingan terhadap analisis linear sebelumnya, sehingga tidak perlu seluruhnya memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2019. Karena model yang digunakan merupakan model yang seluruhnya telah memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2019 pada analisis linier sebelumnya yaitu dengan Metode Respon Spektrum. Pada Metode Respon Riwayat Waktu ini dianalisis secara dua dimensi. Alat bantu *software* yang digunakan adalah OpenSEES. Sebelum dianalisis dengan OpenSEES terdapat beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. pengambilan rekaman gempa dari PEER NGA dan COSMOS. Daerah-daerah rekaman yang diambil tertera pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.
- b. mengubah rekaman gempa menjadi respon spektrum dengan bantuan *software* Seismosignal. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses penskalaan.
- c. kemudian respon spektrum diskalakan dengan respon spektrum yang direncanakan untuk wilayah Indonesia. Respon spektrum akan diskalakan terhadap perioda gedung, Kemudian nilai skala akan digunakan untuk penskalaan rekaman gempa yang diambil dari PEER NGA dan COSMOS.
- d. Menskalakan rekaman gempa dengan menggunakan *software* MATLAB, rekaman gempa akan dijadikan gempa tunggal dan gempa berulang. Data- data rekaman yang telah diskalakan dan digabungkan dengan MATLAB akan digunakan sebagai input data pada analisis menggunakan OpenSEES.

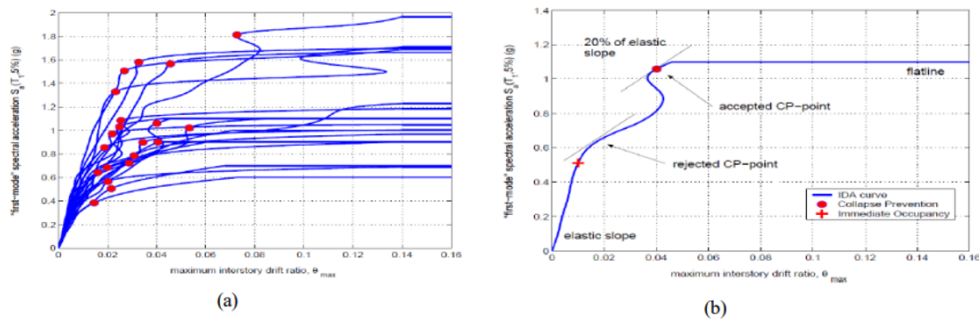
Adapun data-data yang dibutuhkan dalam analisis respon riwayat waktu nonlinier menggunakan *software* OpenSEES antara lain:

- I = Momen inersia penampang
- E = Modulus elastisitas penampang
- M_y = Momen leleh
- M_c = Momen puncak
- K_o = Kekakuan rotasi elastis
- θ_p = Koefisien rotasi plastis
- θ_y = Koefisien rotasi leleh

- θ_c = Koefisien rotasi kapasitas plastis
- θ_{pc} = Koefisien rotasi post-capping
- θ_u = Koefisien rotasi ultimit
- $\mu\theta_c$ = Daktilitas rotasi kapasitas plastis
- r = Rasio kekakuan post-yield

3.3.1.7. Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Incremental Dynamic Analysis (IDA) adalah analisis komputasi beban gempa untuk melakukan penilaian menyeluruh terhadap perilaku struktur dibawah beban gempa. Metode ini digunakan untuk membangun hasil analisis bahaya seismik probabilistik untuk memperkirakan resiko seismik yang dihadapi oleh struktur bangunan (Faisal dan Darsono, 2019).



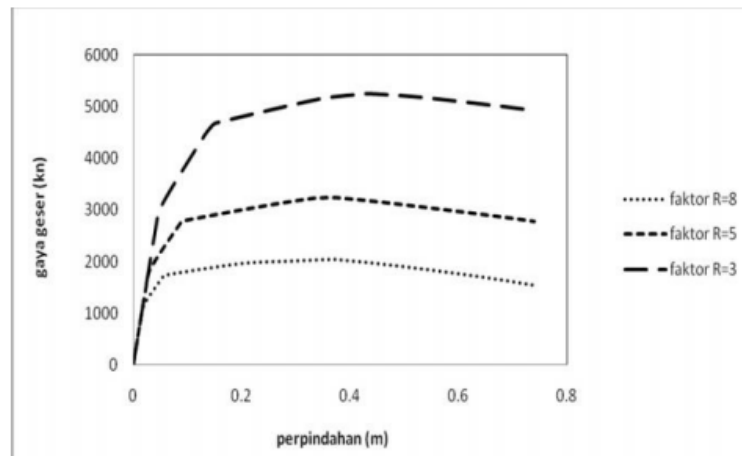
Gambar 3.7: a) grafik IDA b) grafik penentuan *collapse prevention* pada kurva IDA (Vamvatsikos dan Cornell, 1966).

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

3.3.1.8. Momen Leleh (M_y)

Berdasarkan Metode FEMA, momen leleh yang digunakan sebagai input analisis nonlinear pada program OpenSEES adalah momen maksimum pada analisis

linier respon riwayat waktu menggunakan Program Analisa Struktur. Nilai tersebut sebelumnya diambil dari Program Analisa Struktur dan disesuaikan dengan sistem bangunan yang direncanakan. Pengambilan momen leleh diambil setelah menyesuaikan kurva kapasitas pada analisa beban dorong (*push over*), Dimana untuk melihat perilaku dari ketiga sistem yang direncanakan.



Gambar 3.8: Kurva kapasitas untuk ketiga faktor R.

3.3.1.9. Kapasitas Rotasi (θ_p)

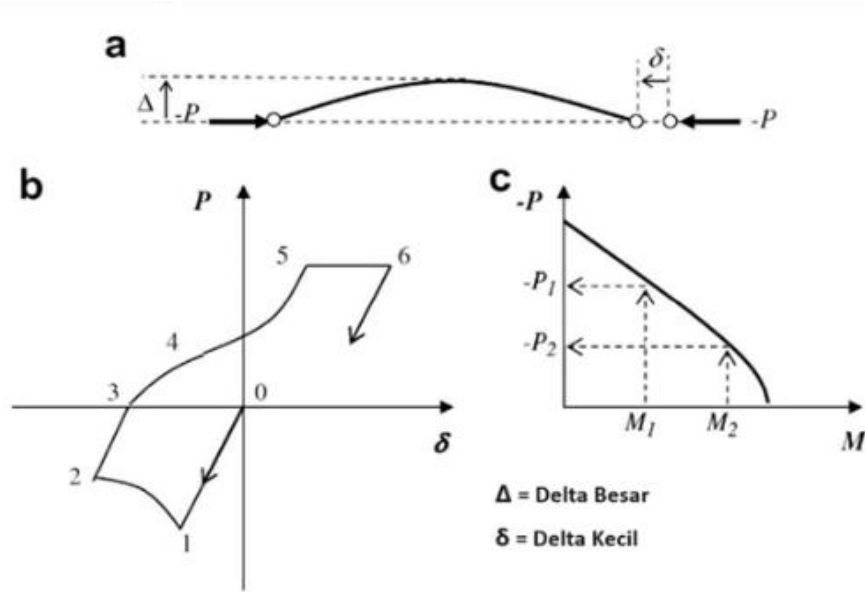
- Kapasitas rotasi plastis (θ_p) Menurut Zareian dan Krawinkler (2009), terdapat 3 kategori kapasitas rotasi plastis yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Dalam tugas akhir ini nilai θ_p yang digunakan adalah kapasitas rendah yaitu 0,04.
- Rotasi pasca-puncak (θ_{pc}) Pada pemodelan nonlinear ini memilih $\theta_{pc} = 0,06$ berdasarkan rata-rata Zareian dan studi Krawinkler (2009), sedangkan $M_c/M_y = 1,13$ berdasarkan nilai rata-rata Haselton, dkk., (2007).

3.3.1.10. Rotasi Leleh (θ_y)

Rotasi pada saat leleh digunakan untuk mendapatkan nilai daktalitas yang dibutuhkan sebagai *input* dalam *software* OpeenSEES. Nilai rotasi sendi plastis tersebut dihitung berdasarkan Pers. 2.6 dan dihitung untuk semua frame (balok-kolom) pada struktur gedung yang direncanakan. Nilai θ_y untuk semua frame dapat dilihat pada pembahasan selanjutnya.

3.3.1.11. Deformasi Nonlinear pada Plat Buhul (*Gusset Plate*)

Pada Gambar 3.9a dibawah dijelaskan bahwa bresing mengalami tekuk lokal (deformasi lateral atau Delta besar) akibat gaya aksial P tekan yang dialaminya secara berlebihan yang mengakibatkan deformasi (Delta kecil) secara nonlinier.



Gambar 3.9: Grafik bentuk deformasi nonlinear pada plat buhul (Nassani, 2017).

Kemudian dapat dilihat pada Gambar 3.9b bagaimana perilaku sendi plastis pada bresing dimana gaya aksial P yang berlebihan dapat menimbulkan deformasi (Delta kecil) nonlinier yang tidak elastis. Di Gambar 3.9c dijelaskan bahwa interaksi gaya aksial P dan momen lentur m , akibat adanya gaya aksial tekan P dapat menimbulkan deformasi aksial, sehingga menyebabkan terjadinya gaya dalam tambahan (yaitu momen lentur M) pada bresing. Hal inilah yang kemudian menimbulkan tekuk lokal.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

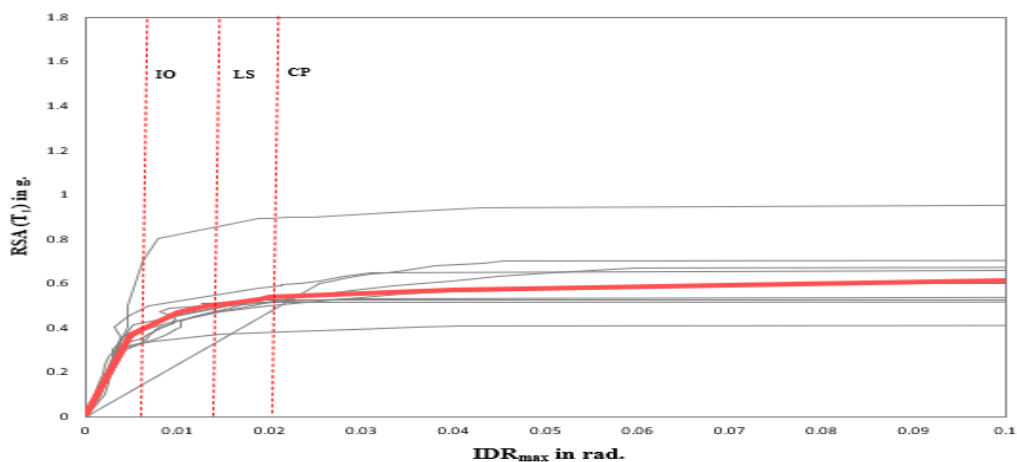
4.1. Tinjauan Umum

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

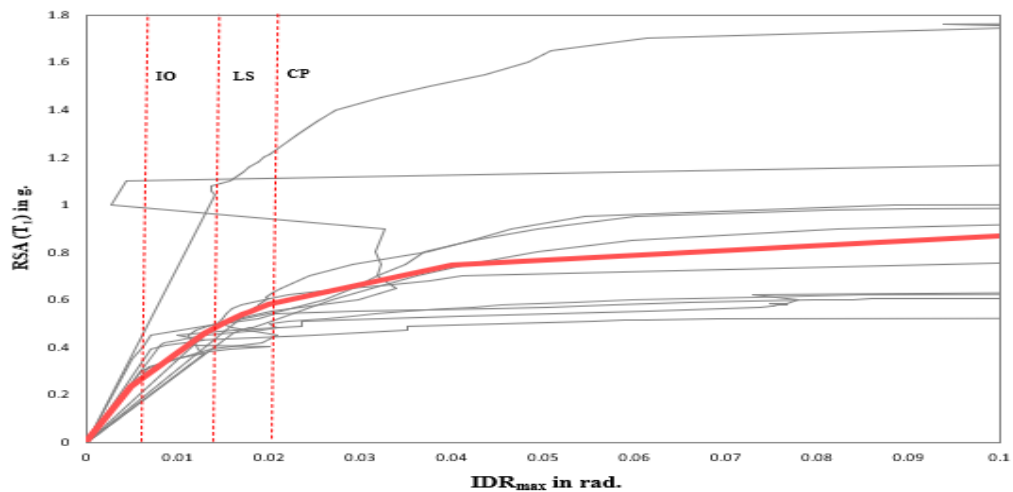
4.2. Hasil Analisis Nonlinear

4.2.1. Metode IDA (*Incremental Dynamic Analysis*)

Analisis ini digunakan untuk pemeriksaan struktur SRBK 2 dan 3 tingkat dengan parameter yang telah disebutkan diatas. Penilaian respons struktural terhadap gempa dekat dan gempa jauh serta mentukan nilai *drift* maksimum antar lantai, yang ditentukan dari nilai RSA minimum hingga RSA maksimum yang menyebabkan keruntuhan struktur baja bresing konsentris. Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 4.1 – 4.4.

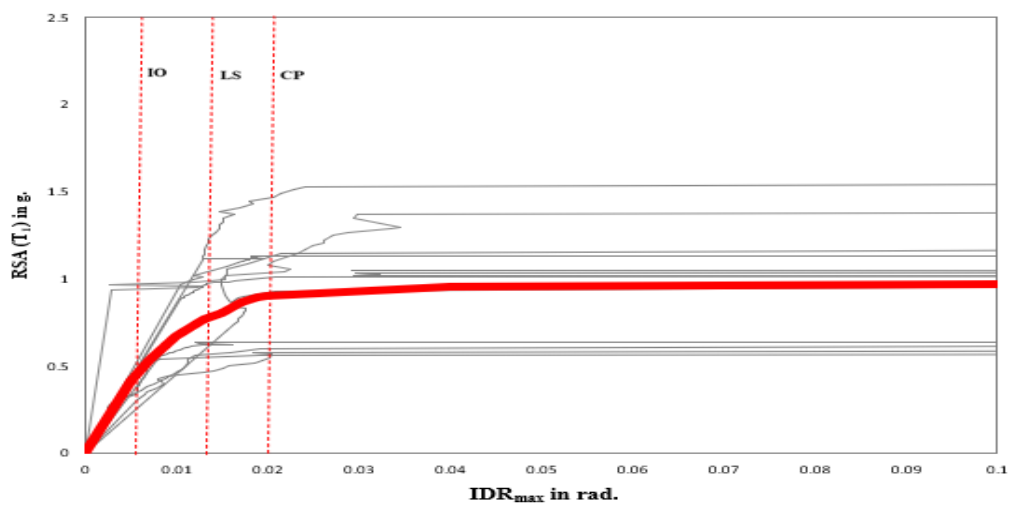


Gambar 4.1: Derajat nilai IDA (*Incremental Dynamic Analysis*) yang terdapat pada model bangunan 2 tingkat yang diakibatkan gempa dekat.

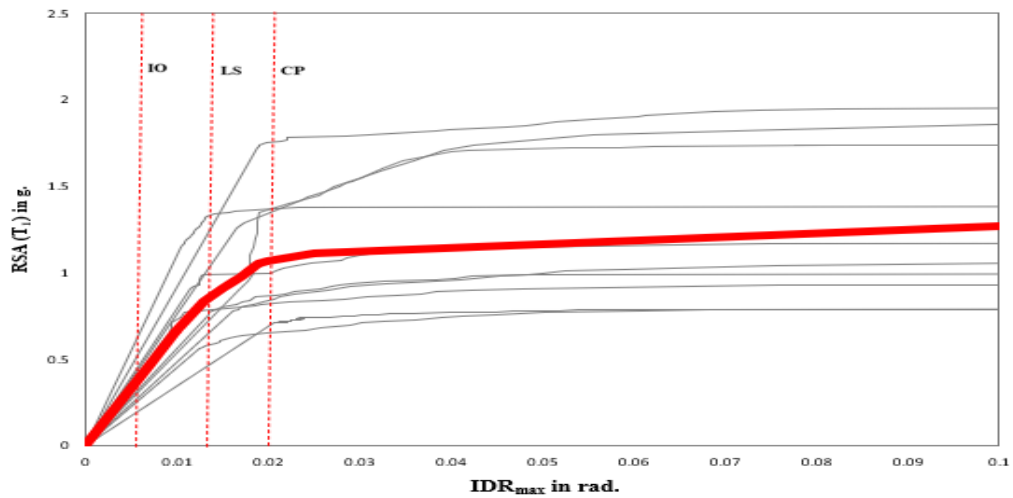


Gambar 4.2: Derajat nilai IDA (*Incremental Dynamic Analysis*) yang terdapat pada model bangunan 3 tingkat yang diakibatkan gempa dekat.

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



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

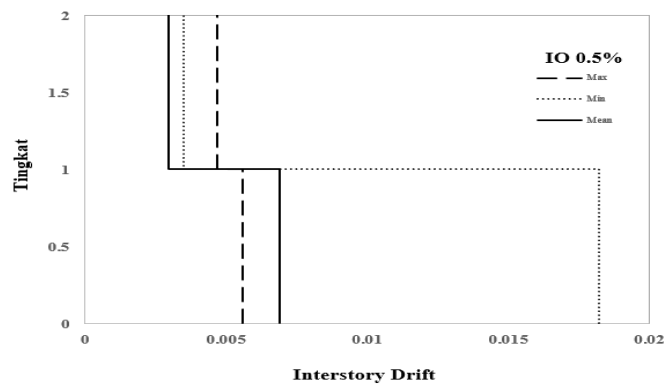


Gambar 4.4: Derajat nilai IDA (*Incremental Dynamic Analysis*) yang terdapat pada model bangunan 3 tingkat yang diakibatkan gempa jauh.

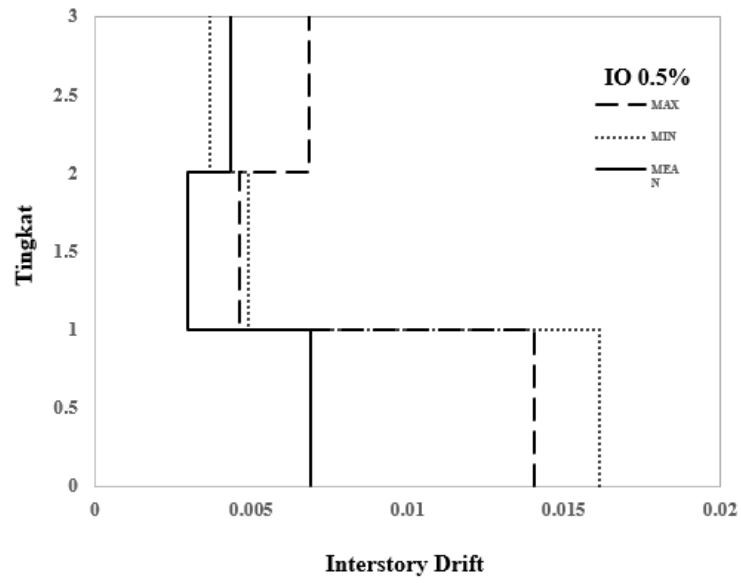
4.2.2. *Interstory Drift* (Simpangan Antar Tingkat)

Dari analisis *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) diperoleh nilai RSA untuk rekaman tanah gempa jauh dan dekat. Setelah nilai *mean* IDA diperoleh, maka data *interstory drift* diekstraksi dari nilai *mean* IDA. Representasi grafik dari nilai dapat diperoleh pada Gambar 4.5-4.16 yang menunjukkan plot hasil analisis *interstory drift* Pada rekaman gempa yang berbeda. Grafik yang ditampilkan dihitung untuk menentukan nilai IO, LS, CP, dari *groundmotion* untuk menghasilkan data *interstory drift*.

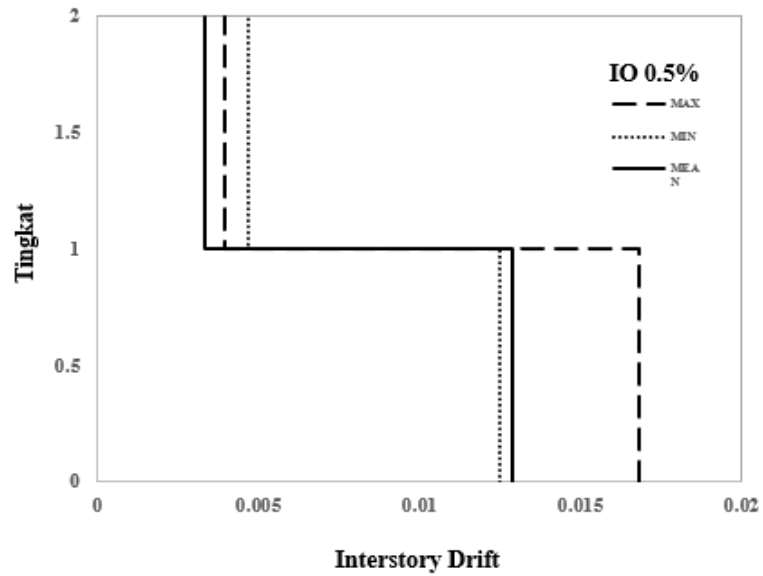
a. *Interstory drift* akibat pengaruh gempa pada kondisi IO



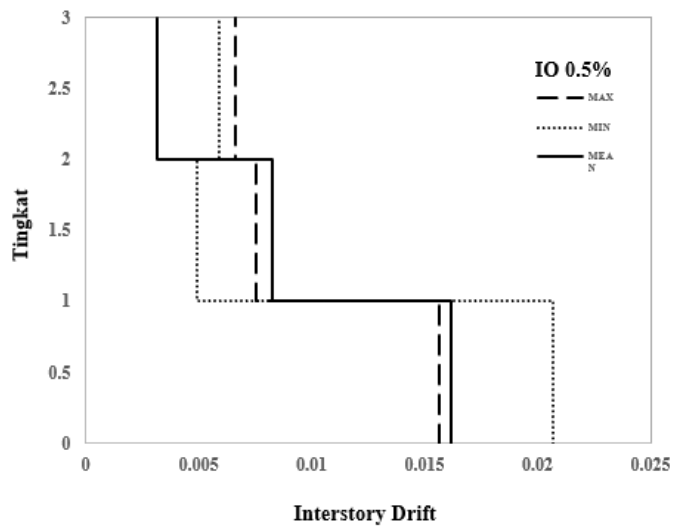
Gambar 4.5: Representasi grafik *interstory drift* pada model 2 tingkat dikondisi IO (0,5%) terhadap gempa dekat.



Gambar 4.6: Representasi grafik *interstory drift* pada model 3 tingkat dikondisi IO (0,5%) terhadap gempa dekat.



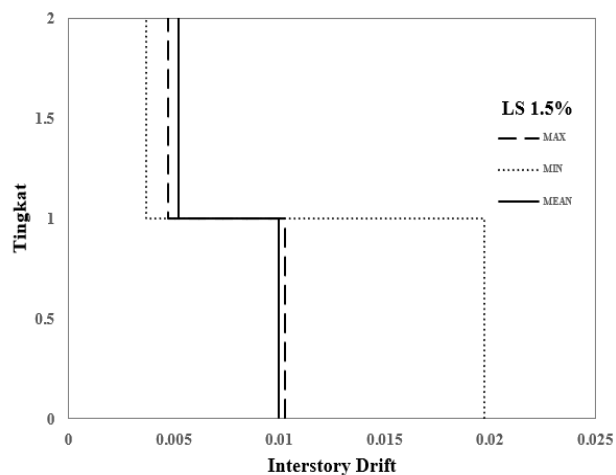
Gambar 4.7: Representasi grafik *interstory drift* pada model 2 tingkat dikondisi IO (0,5%) terhadap gempa jauh.



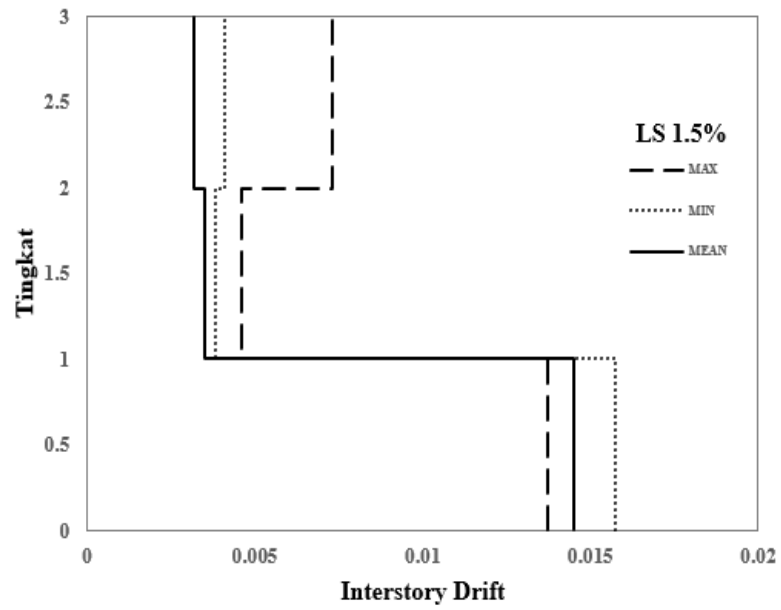
Gambar 4.8: Representasi grafik *interstory drift* pada model 3 tingkat dikondisi IO (0,5%) terhadap gempa jauh.

Pada grafik *interstory drift* kondisi IO pada Gambar 4.5-4.8 perpindahan antar lantai terbesar terjadi pada tingkat bawah, dalam gambar terlihat terjadi variasi nilai perpindahan antar tingkat tiap tingkatnya dengan karakteristik yang berbeda-beda. Dimana Perpindahan antar tingkat yang terjadi dikondisi IO memiliki nilai yang terbesar terjadi akibat dari gempa jauh.

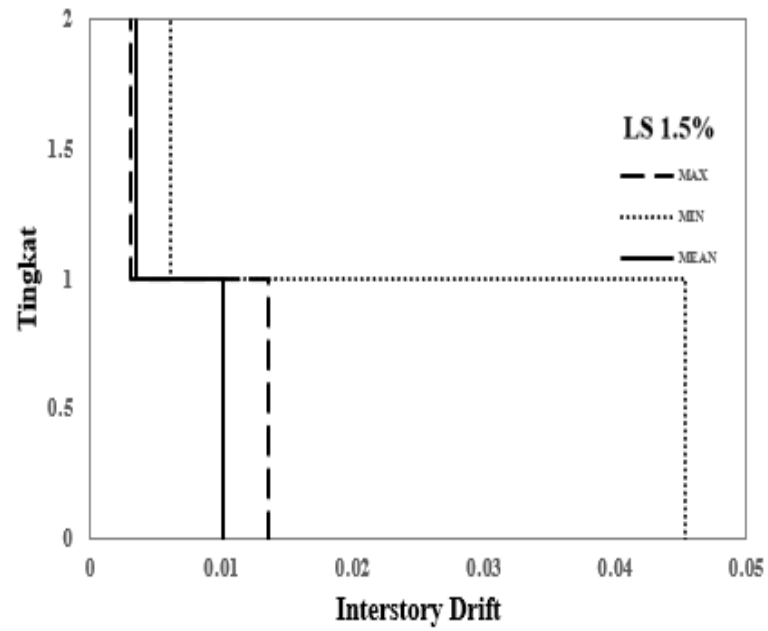
b. *Interstory drift* akibat pengaruh gempa pada kondisi LS



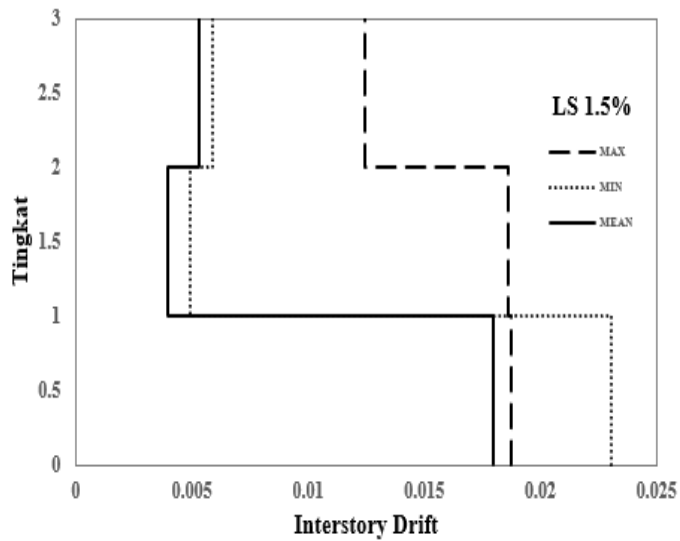
Gambar 4.9: Representasi grafik *interstory drift* pada model 2 tingkat dikondisi LS (1,5%) akibat gempa dekat.



Gambar 4.10: Representasi grafik *interstory drift* pada model 3 tingkat dikondisi LS (1,5%) akibat gempa dekat.



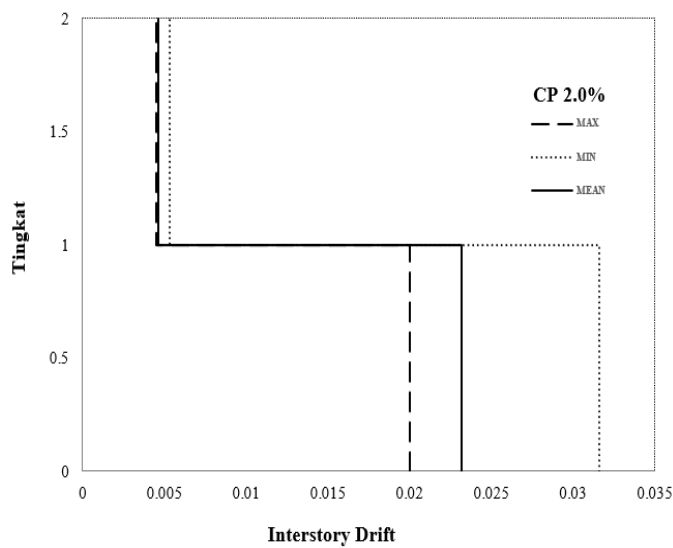
Gambar 4.11: Representasi grafik *interstory drift* pada model 2 tingkat dikondisi LS (1,5%) akibat gempa jauh.



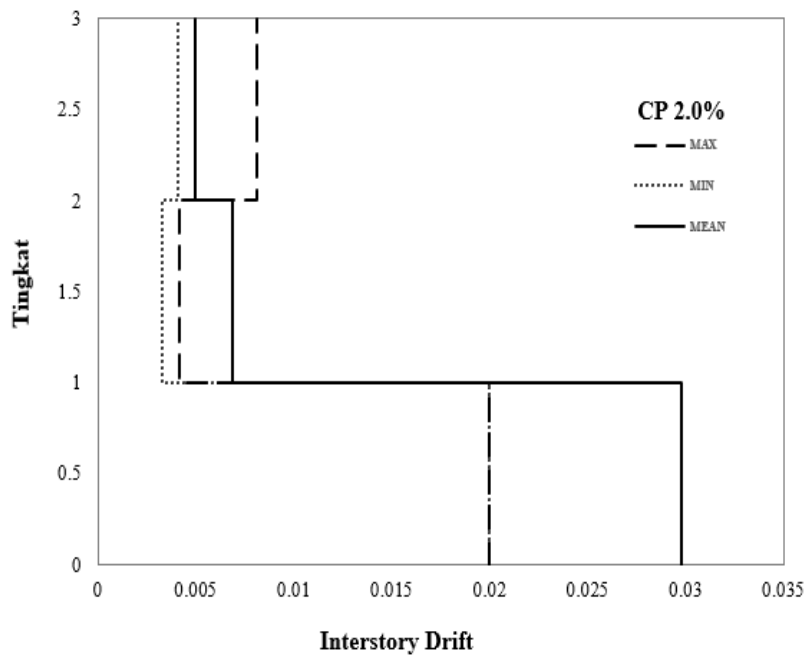
Gambar 4.12: Representasi grafik *interstory drift* pada model 3 tingkat dikondisi LS (1,5%) akibat gempa jauh.

Pada grafik *interstory drift* kondisi LS pada Gambar 4.9-4.12 perpindahan antar lantai terbesar juga terjadi pada tingkat bawah, dalam gambar terlihat terjadi variasi nilai perpindahan antar tingkat tiap tingkatnya dengan karakteristik yang berbeda-beda. Dimana Perpindahan antar tingkat yang terjadi dikondisi LS memiliki nilai yang terbesar terjadi akibat dari gempa jauh.

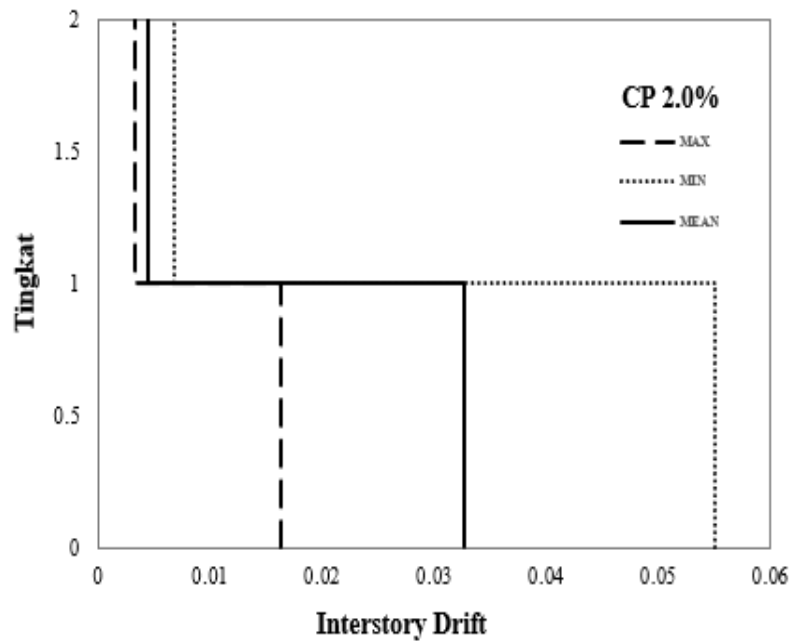
c. *Interstory drift* akibat pengaruh gempa pada kondisi CP



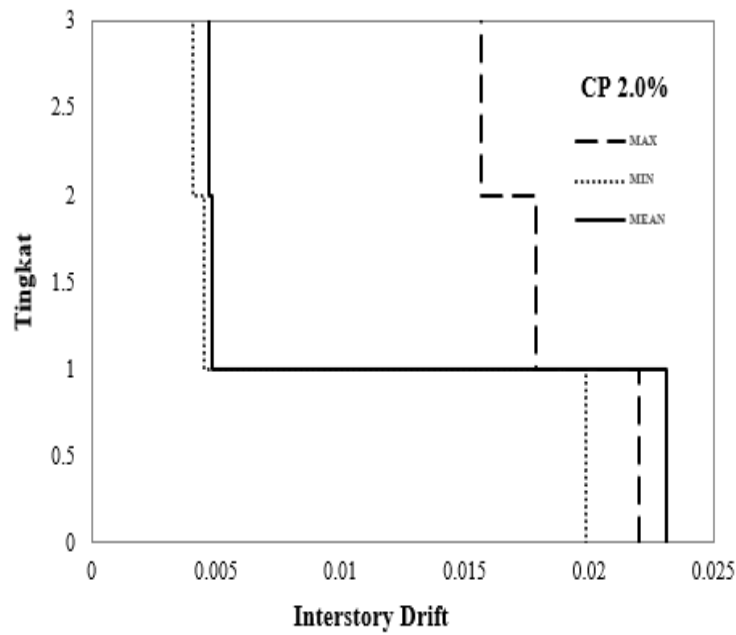
Gambar 4.13: Representasi grafik *interstory drift* pada model 2 tingkat dikondisi CP (2,0%) akibat gempa dekat.



Gambar 4.14: Representasi grafik *interstory drift* pada model 3 tingkat dikondisi CP (2,0%) akibat gempa dekat.



Gambar 4.15: Representasi grafik *interstory drift* pada model 2 tingkat dikondisi CP (2,0%) akibat gempa jauh.



Gambar 4.16: Representasi grafik *interstory drift* pada model 3 tingkat dikondisi CP (2,0%) akibat gempa jauh.

Pada grafik *interstory drift* kondisi CP pada Gambar 4.13-4.16 perpindahan antar lantai terbesar juga terjadi pada tingkat bawah, dalam gambar terlihat terjadi variasi nilai perpindahan antar tingkat tiap tingkatnya dengan karakteristik yang berbeda-beda. Berbeda dengan kondisi I_0 , dan L_s dimana Perpindahan antar tingkat yang terjadi dikondisi CP memiliki nilai yang terbesar terjadi akibat dari gempa dekat.

Tabel 4.1: Nilai *interstory drift* bangunan 2 tingkat pada kondisi IO akibat gempa dekat dan gempa jauh.

STORY	Gempa Dekat			Gempa Jauh		
	MAX	MIN	MEAN	MAX	MIN	MEAN
0	0.005582	0.018193	0.006897	0.016832	0.012515	0.012893
1	0.005582	0.018193	0.006897	0.016832	0.012515	0.012893
1	0.004677	0.00349	0.002961	0.003946	0.004683	0.003338
2	0.004677	0.00349	0.002961	0.003946	0.004683	0.003338

Tabel 4.2: Nilai *interstory drift* bangunan 3 tingkat pada kondisi IO akibat gempa dekat dan gempa jauh.

STORY	Gempa Dekat			Gempa Jauh		
	MAX	MIN	MEAN	MAX	MIN	MEAN
0	0.014066	0.016162	0.006897	0.015681	0.020702	0.016154
1	0.014066	0.016162	0.006897	0.015681	0.020702	0.016154
1	0.004629	0.004903	0.002961	0.007541	0.004908	0.00825
2	0.004629	0.004903	0.002961	0.007541	0.004908	0.00825
2	0.00683	0.003683	0.004363	0.006625	0.00592	0.003149
3	0.00683	0.003683	0.004363	0.006625	0.00592	0.003149

Tabel 4.3: Nilai *interstory drift* bangunan 2 tingkat pada kondisi LS akibat gempa dekat dan gempa jauh.

STORY	Gempa Dekat			Gempa Jauh		
	MAX	MIN	MEAN	MAX	MIN	MEAN
0	0.010279	0.019741	0.009986	0.013562	0.045341	0.010174
1	0.010279	0.019741	0.009986	0.013562	0.045341	0.010174
1	0.004743	0.003666	0.005207	0.003086	0.006117	0.003471
2	0.004743	0.003666	0.005207	0.003086	0.006117	0.003471

Tabel 4.4: Nilai *interstory drift* bangunan 3 tingkat pada kondisi LS akibat gempa dekat dan gempa jauh.

STORY	Gempa Dekat			Gempa Jauh		
	MAX	MIN	MEAN	MAX	MIN	MEAN
0	0.013722	0.015722	0.014482	0.018771	0.023084	0.017958
1	0.013722	0.015722	0.014482	0.018771	0.023084	0.017958
1	0.004604	0.003841	0.003522	0.018622	0.004894	0.003972
2	0.004604	0.003841	0.003522	0.018622	0.004894	0.003972
2	0.00731	0.004096	0.0032	0.012453	0.005881	0.005312
3	0.00731	0.004096	0.0032	0.012453	0.005881	0.005312

Tabel 4.5: Nilai *interstory drift* bangunan 3 tingkat pada kondisi CP akibat gempa dekat dan gempa jauh.

STORY	Gempa Dekat			Gempa Jauh		
	MAX	MIN	MEAN	MAX	MIN	MEAN
0	0.019996	0.031608	0.023165	0.016333	0.055012	0.032683
1	0.019996	0.031608	0.023165	0.016333	0.055012	0.032683
1	0.004495	0.005315	0.004646	0.003303	0.006829	0.004457
2	0.004495	0.005315	0.004646	0.003303	0.006829	0.004457

Tabel 4.6: Nilai *interstory drift* bangunan 3 tingkat pada kondisi CP akibat gempa dekat dan gempa jauh.

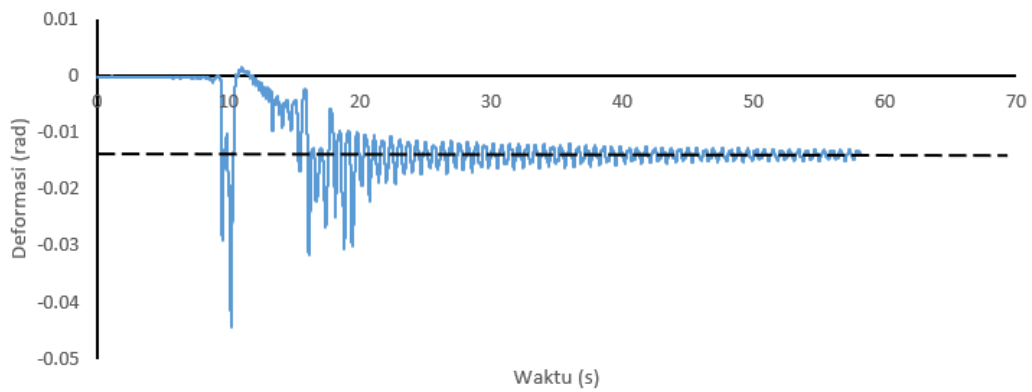
STORY	Gempa Dekat			Gempa Jauh		
	MAX	MIN	MEAN	MAX	MIN	MEAN
0	0.020017	0.020006	0.029797	0.02204	0.019853	0.023114
1	0.020017	0.020006	0.029797	0.02204	0.019853	0.023114
1	0.004166	0.003298	0.006885	0.017852	0.004502	0.004843
2	0.004166	0.003298	0.006885	0.017852	0.004502	0.004843
2	0.008135	0.004072	0.004996	0.015675	0.00405	0.00472
3	0.008135	0.004072	0.004996	0.015675	0.00405	0.00472

4.2.3. Deformasi Nonlinear Plat Buhul

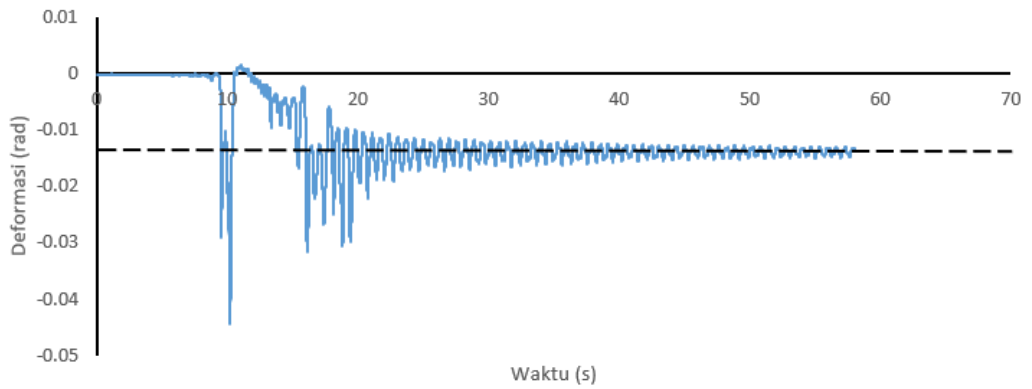
Setelah melakukan perhitungan dengan metode *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) dan telah mendapatkan nilai-nilai yang diinginkan pada tabel 4.1-4.6 diatas, maka kemudian membuat grafik deformasi nonlinear yang terjadi pada plat buhul. Grafik deformasi nonlinear pada plat buhul didapat dari hasil analisis menggunakan *software* OpeenSEES, dan diperoleh hasil berupa nilai *Immediate Occupancy* (IO), *Limit Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP) yang digambarkan pada Gambar 4.17-4.28 Untuk model struktur baja berbrenging konsentris 2 tingkat dan 3 tingkat.

a. Deformasi nonlinear pada plat buhul akibat gempa pada kondisi IO

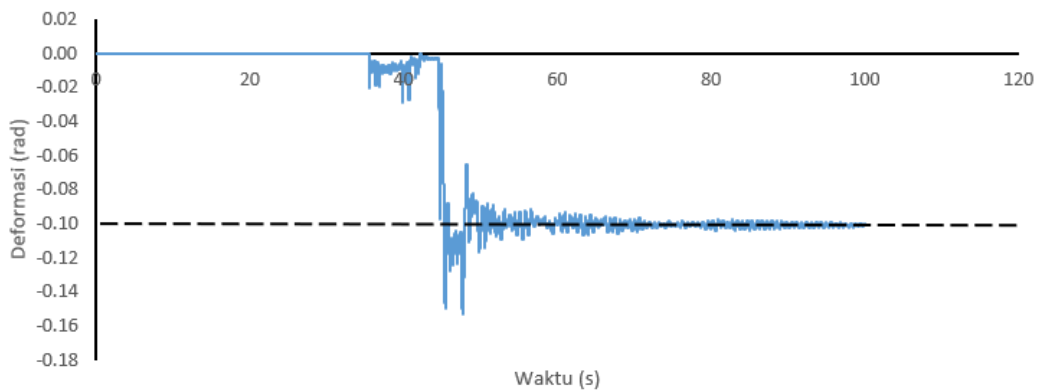
Deformasi nonlinear yang terjadi pada plat buhul yang diakibatkan dari gempa dekat dan gempa jauh pada kondisi *Immediate Occupancy* (IO) dapat dilihat pada grafik *accelogram* deformasi pada Gambar 4.17-4.20.



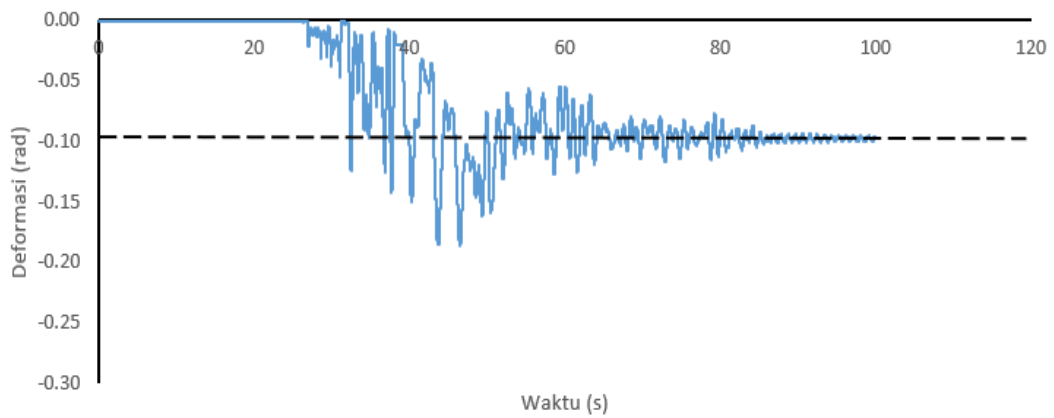
Gambar 4.17: Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 2 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi IO.



Gambar 4.18: Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 3 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi IO.

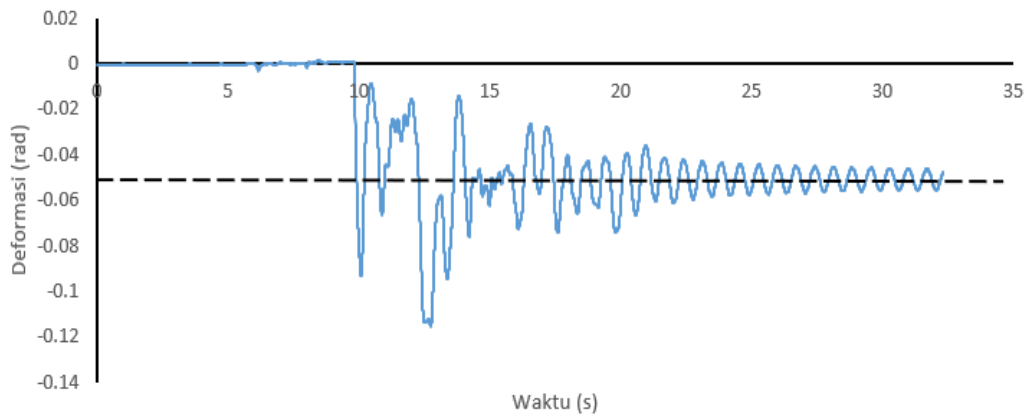


Gambar 4.19: Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 2 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi IO.

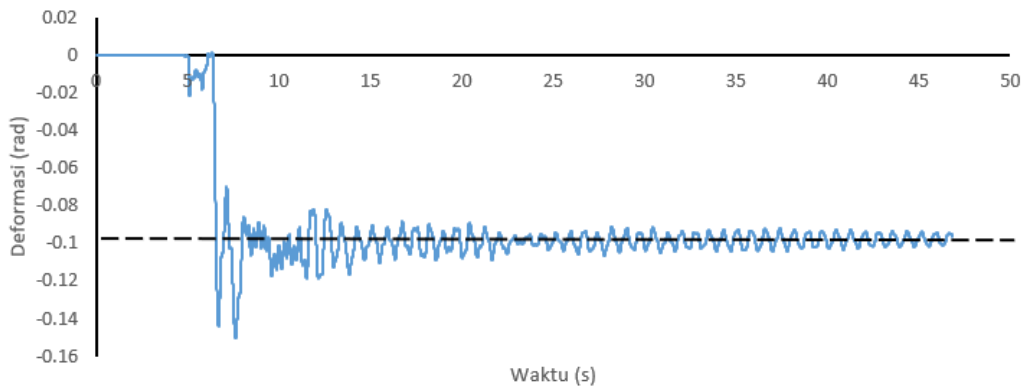


Gambar 4.20: Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 3 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi IO.

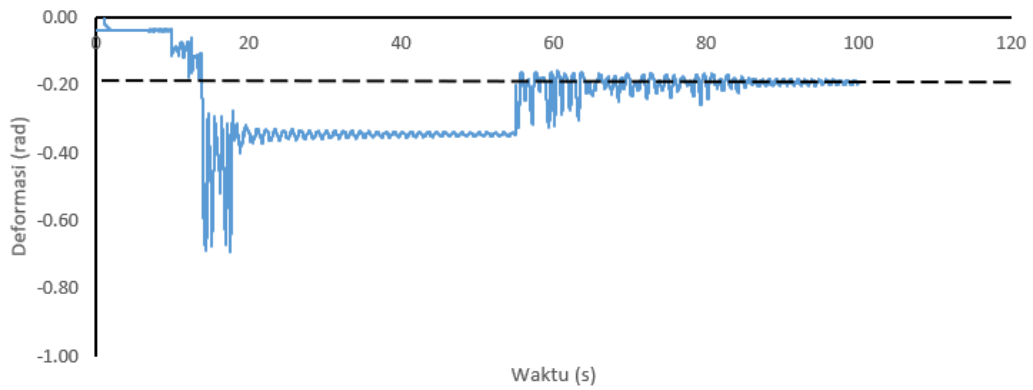
b. Deformasi nonlinear pada plat buhul akibat gempa pada kondisi LS
 Deformasi nonlinear yang terjadi pada plat buhul yang diakibatkan dari gempa dekat dan gempa jauh pada kondisi *Limit Safety* (LS) dapat dilihat pada grafik *accelogram* deformasi pada Gambar 4.21-4.24.



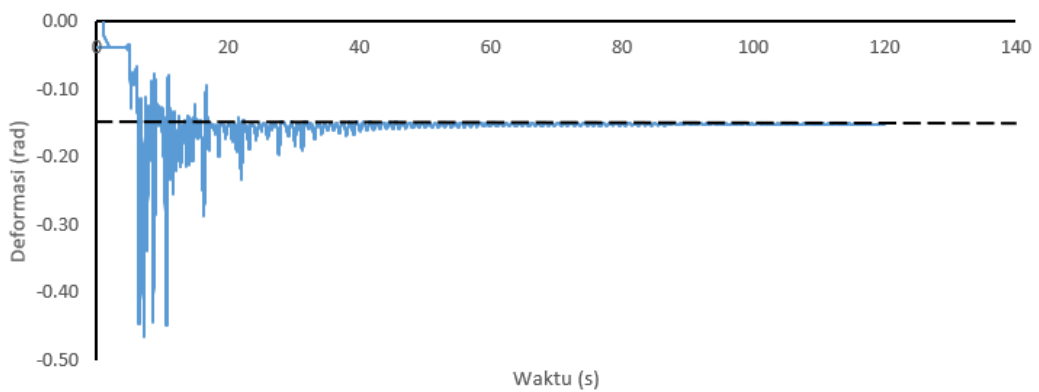
Gambar 4.21: Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 2 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi LS.



Gambar 4.22: Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 3 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi LS.

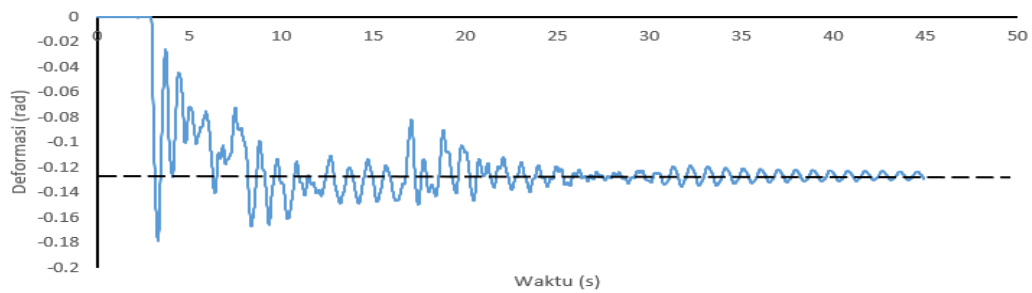


Gambar 4.23: Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 2 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi LS.

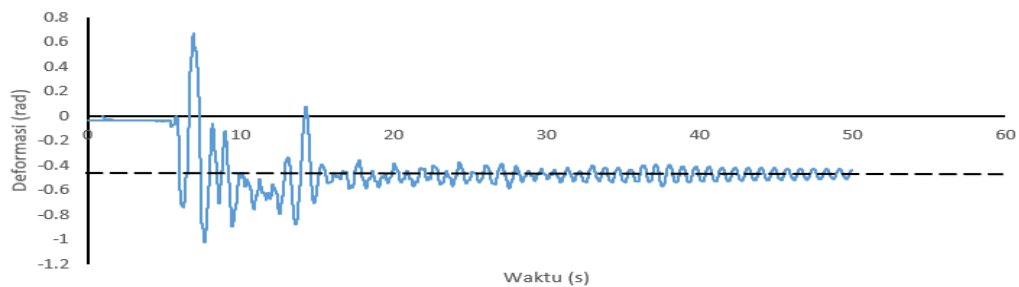


Gambar 4.24: Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 3 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi LS.

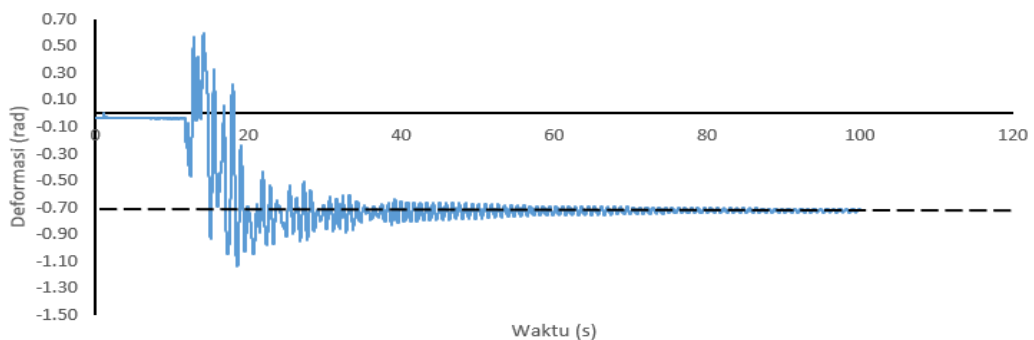
- c. Deformasi nonlinear pada plat buhul akibat gempa pada kondisi CP
Deformasi nonlinear yang terjadi pada plat buhul yang diakibatkan dari gempa dekat dan gempa jauh pada kondisi *Collapse Prevention* (CP) dapat dilihat pada grafik *accelogram* deformasi pada Gambar 4.25 dan 4.28.



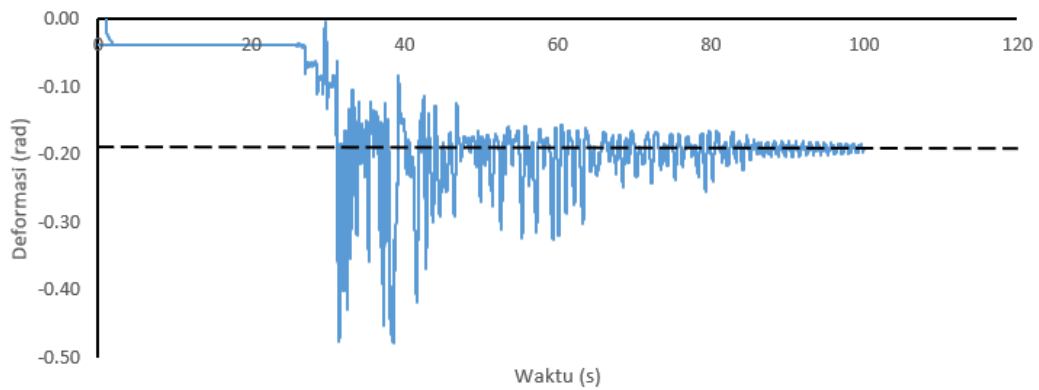
Gambar 4.25 Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 2 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi CP.



Gambar 4.26: Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 3 tingkat akibat gempa dekat pada kondisi CP.



Gambar 4.27: Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 2 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi CP.



Gambar 4.28: Deformasi nonlinear plat buhul pada bangunan 3 tingkat akibat gempa jauh pada kondisi CP.

Tabel 4.7: Deformasi nonlinear plat buhul gedung 2 tingkat pada kondisi IO, LS, dan CP.

No	Jenis Gempa	IO (rad)	LS (rad)	CP (rad)
1	gempa dekat	0,01	0,05	0,12
2	gempa jauh	0,1	0,2	0,7
3	selisih (1)/(2)	-0,09	-0,15	-0,58
	%	90%	75%	83%

Catatan: Hasil positif menyatakan nilai deformasi terbesar terjadi pada gempa dekat; hasil negatif menyatakan nilai deformasi terbesar terjadi pada gempa jauh.

Tabel 4.8: Deformasi nonlinear plat buhul gedung 3 tingkat pada kondisi IO, LS, dan CP.

No	Jenis Gempa	IO (rad)	LS (rad)	CP (rad)
1	gempa dekat	0,01	0,1	0,4
2	gempa jauh	0,09	0,15	0,19
3	selisih (1)/(2)	-0,08	-0,05	0,21
	%	89%	50%	53%

Catatan: Hasil positif menyatakan nilai deformasi terbesar terjadi pada gempa dekat; hasil negatif menyatakan nilai deformasi terbesar terjadi pada gempa jauh.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa yang dilakukan program analisis struktur pada bangunan 2 tingkat dan 3 tingkat pada struktur rangka baja berbresing konsentris yang dipengaruhi oleh gempa dekat dan gempa jauh, dapat disimpulkan berdasarkan analisis nonlinear bila struktur bangunan rangka baja bresing konsentris mengalami gempa dekat dan gempa jauh, maka deformasi nonlinear pada plat buhul memiliki nilai besaran deformasi yang bervariasi. Berdasarkan hasil analisis pada bangunan 2 tingkat pada kondisi *Immediate Occupancy* (IO) deformasi terbesar terjadi akibat dari pengaruh gempa jauh dengan nilai sebesar 0,1 rad, pada kondisi *Limit Safety* (LS) deformasi terbesar terjadi akibat dari pengaruh gempa jauh dengan nilai sebesar 0,2 rad, pada kondisi *Collapse Prevention* (CP) deformasi terbesar terjadi akibat dari pengaruh gempa jauh dengan nilai sebesar 0,7 rad. kemudian berdasarkan hasil analisis pada bangunan 3 tingkat pada kondisi *Immediate Occupancy* (IO) deformasi terbesar terjadi akibat dari pengaruh gempa jauh dengan nilai sebesar 0,09 rad, pada kondisi *Limit Safety* (LS) deformasi terbesar terjadi akibat dari pengaruh gempa jauh dengan nilai sebesar 0,15 rad, pada kondisi *Collapse Prevention* (CP) deformasi terbesar terjadi akibat dari pengaruh gempa dekat dengan nilai sebesar 0,4 rad.

5.2. Saran

1. Dalam tugas akhir ini, penggunaan fungsi bangunan perkantoran diseragamkan tiap ruang dan lantainya. Disarankan untuk selanjutnya agar penganalisaan ruangan juga dianalisis dengan fungsi yang berbeda sesuai data kondisi yang ada lapangan agar dapat menghasilkan data yang lebih akurat.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penggunaan profil baja, serta mutu baja yang berbeda. Apakah akan mempengaruhi tingkat pelayanan dan *performance point* dari struktur.

3. Tugas akhir ini menggunakan bresing dengan konfigurasi *Multistory X-Bracing*, disarankan untuk penelitian selanjutnya agar penganalisaan menggunakan konfigurasi bresing lainnya sebagai bahan perbandingan dalam perencanaan.

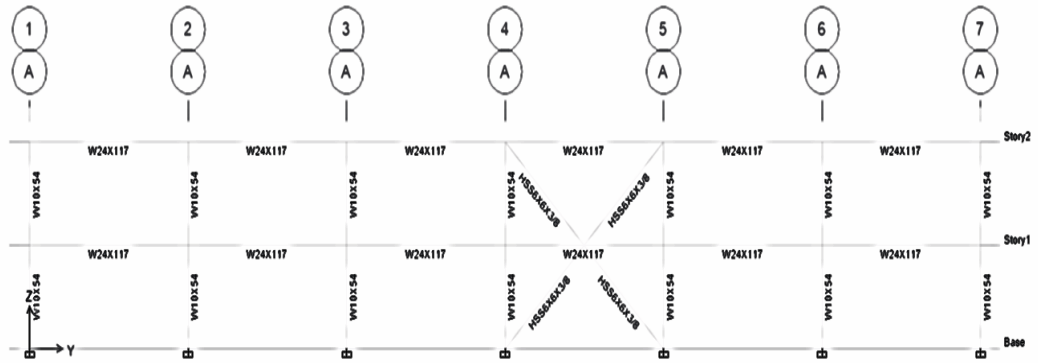
DAFTAR PUSTAKA

- AISC (2005). *Spesification for Struktural Stell Buildings, American Institute of Steel construction*, Chicago, IL.
- Ansari, A. (2019) *Respom SRPM Beton Bertulang Terhadap Getaran Gempa Berulang Yang Mengandung Pulse*. Medan: Program Studi Teknik Sipil, UMSU.
- ASCE, (2006), *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-05*, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- Badan Standarisasi Nasional (2019) *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2019*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2020) *Tata Cara Perhitungan Struktur baja untuk Bangunan Gedung SNI 1629:2020*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Batubara, (2018) *Kinerja Struktur SRPM Baja Memakai Bracing Konsentris Yang Dipengaruhi Gempa Jauh Dan Gempa Dekat*. Medan: Program Studi Teknik Sipil, UMSU
- Budiono, B. dan Supriatna, L. (2011) *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012*. Bandung: ITB.
- Faisal, A. (2014) *Catatan Kuliah M.K. Vibrasi dan Teori Gempa*. Medan: UMSU.
- Faisal, A. (2015) *Torsi Aktual pada SRPM Simetris*. Medan: Seminar Nasional HAKI Komda SUMUT.
- Kalkan, E., & Gu'ulkan, P. (2004). *Site-Dependent Spectra Derived from Ground Motion Records in Turkey*. *Earthquake Spectra*, 20(4), 1111–1138.
- Kalkan, E., & Kunnanth, S.K. (2006) *Effects of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings*. *Earthquake Spectra*, 22(2), 367-390
- Nassani, D. E., Hussein, A. K., Mohammed, A. H. (2017). *Comparative Response Assesment of Steel Frame with Diffeerent Bracing System Under Seismic Effect*.
- NIST, (2010) *Evaluation of the FEMA P695 methodology for quantification of building seismic performance factors*. NIST GCR 10-917-8, NEHRP consultants Joint Venture, 2010.
- Pacific Earthquake Engineering Research* (2008). PEER NGA Database, tersedia di <http://peer.berkeley.edu/nga/>. Diakses 2023

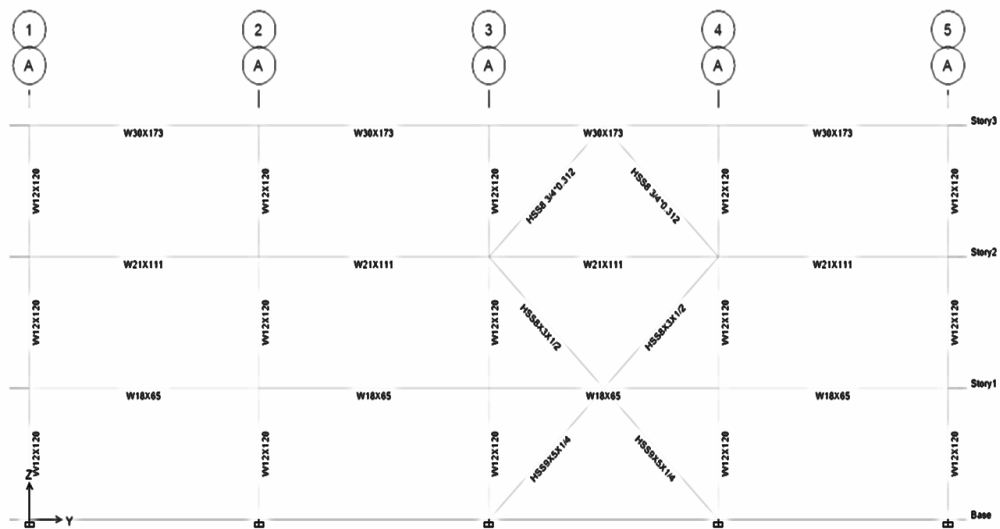
- Pawirodikromo, W. (2012) *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Poerbo, Hartono. (2000). *Struktur dan Konstruksi bangunan Tinggi*. Jakarta : Djambatan
- Pudjisuryadi, Pamuda. (2006). *Studi Tentang Daktilitas Struktur Pada Sistem Shearwall Frame Dengan Belt Truss*. Surabaya : Jurusan Teknik Sipil Universitas Petra.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman – Kementrian pekerjaan umum (2011). database gempa Indonesia, tersedia di [Http://puskim.pu.go.id/](http://puskim.pu.go.id/), diakses 2023
- Rusmilawati, D., Djayus., Lepong, P., Hendrawanto. (2019). *Studi Mekanisme Sumber Gempa Bumi Di Wilayah Kalimantan Berdasarkan Gerak awal Gelombang P*. *Jurnal Geosains Jutai Basin Volume 2 Nomor 2*, Agustus 2019. Geofisika FMIPA UNMUL.
- Sabelli, R. Roeder, C. W., Hajjar, J. F. (2013). *Seismic Design of Steel Special Concentrically Braced Frame System*. NEHRP, USA : Gaitherburg
- Shakeri, K., Khansoltani, E., & Pessiki, S. (2018). *Ground motion scaling for seismic response analysis by considering inelastic response and contribution of the higher modes*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 110(August 2017), 70–85.
- Siswanto, B., & Salim, M., (2018), *Rekayasa Gempa*, K-Media, Yogyakarta.
- Taranath, Bungale S. (1997). *Steel, Concrete, And Composite Design Of Tall Building*. New York : MC Grow Hill.
- Vamvatsikos, D., & Cornell, C. A. (2002). *Incremental dynamic analysis*. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 31(3), 491-514.
- Vamvatsikos, D., & Cornell, C. A. (2004). *Applied incremental dynamic analysis*. *Earthquake spectra*, 20(2), 523-553.

LAMPIRAN

Input Data Profil Struktur

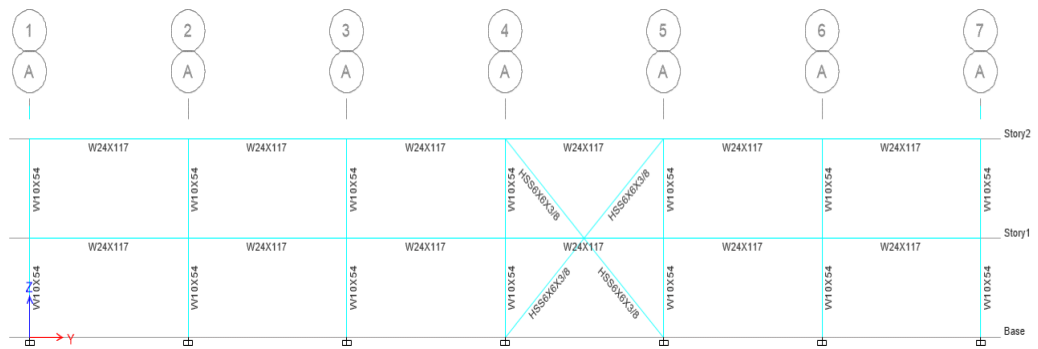


Gambar L.1: Data profil yang dimasukkan dalam software analisis struktur pada model 1.

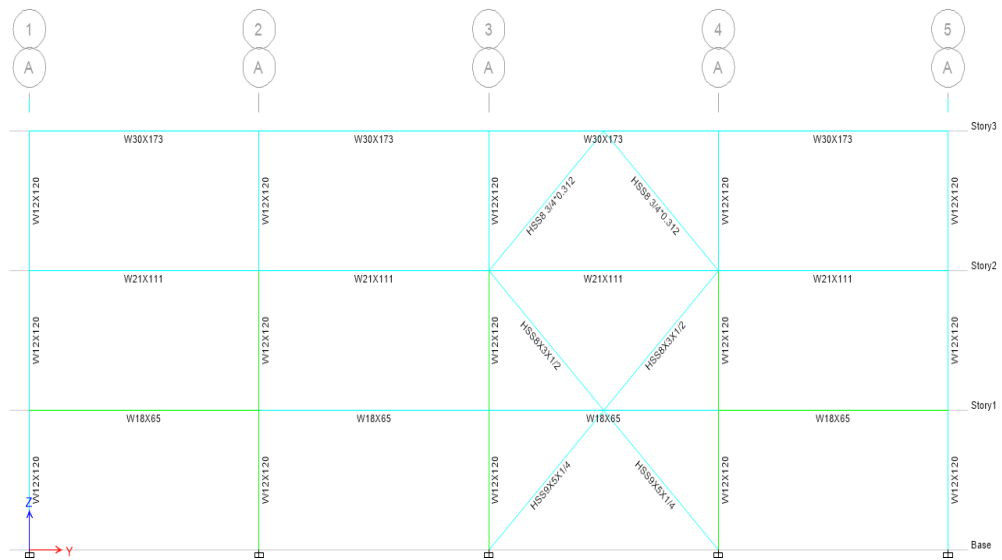


Gambar L.2: Data profil yang dimasukkan dalam software analisis struktur pada model 2.

Cek Kekuatan Material Struktur

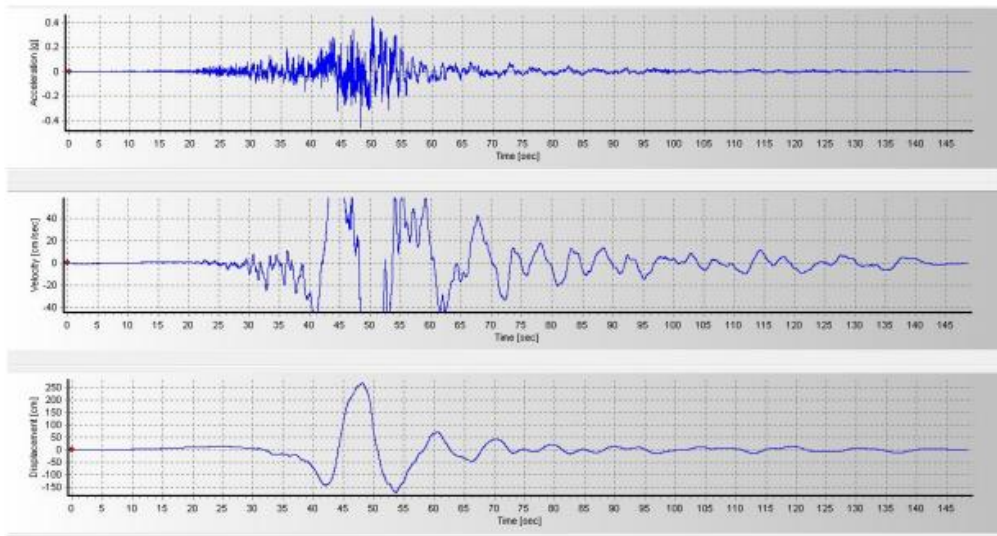


Gambar L.3: Cek nilai rasio kekuatan bahan yang dianalisa dalam software analisis pada model 1.

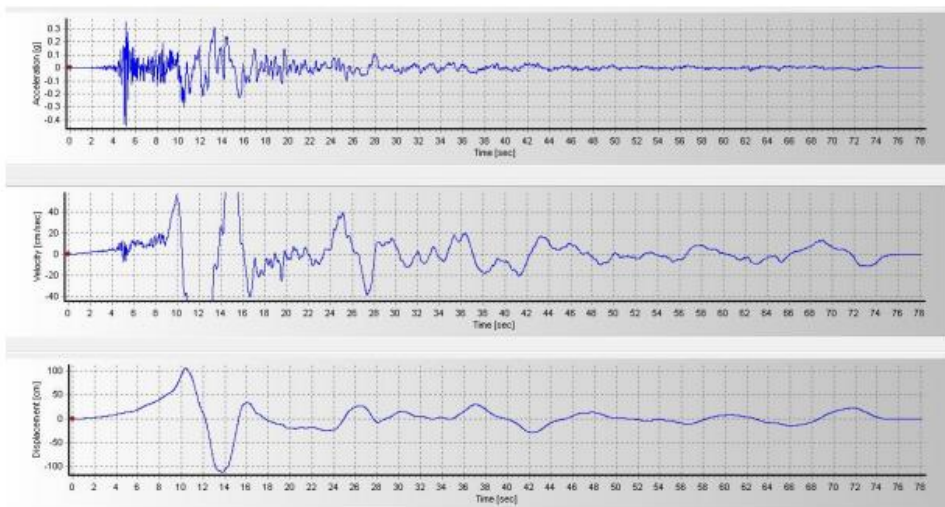


Gambar L.4: Cek nilai rasio kekuatan bahan yang dianalisa dalam software analisis pada model 2.

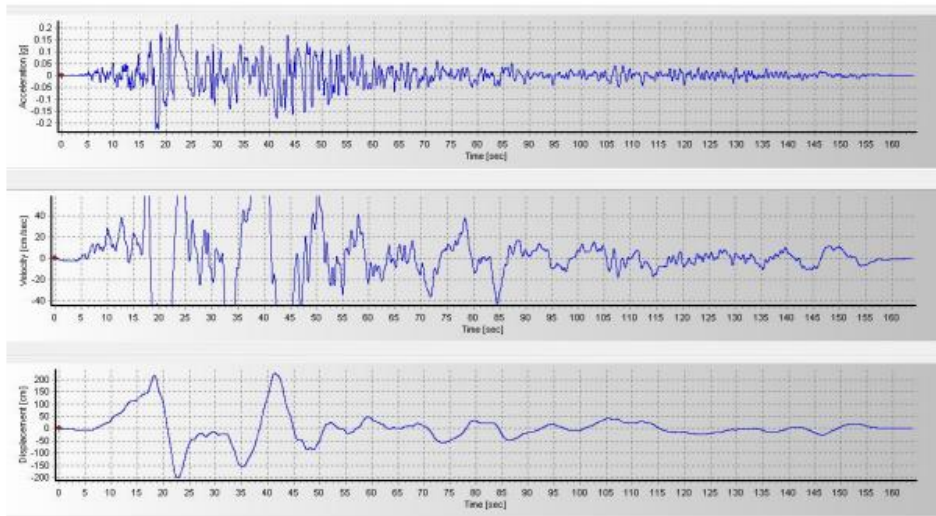
Output Seismosignal



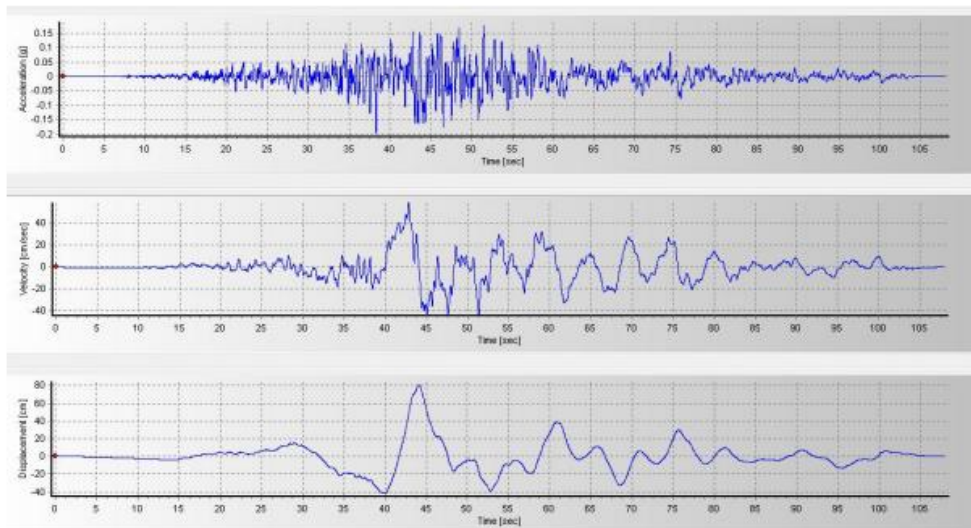
Gambar L.5: hasil output seismosignal gempa Capemend, PET090.



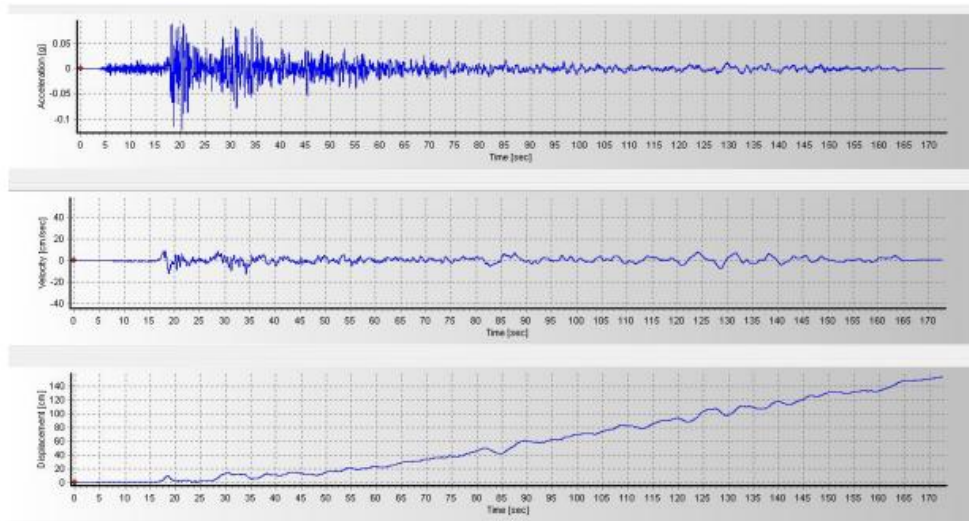
Gambar L.6: hasil output seismosignal gempa ChiChi, CHY101.



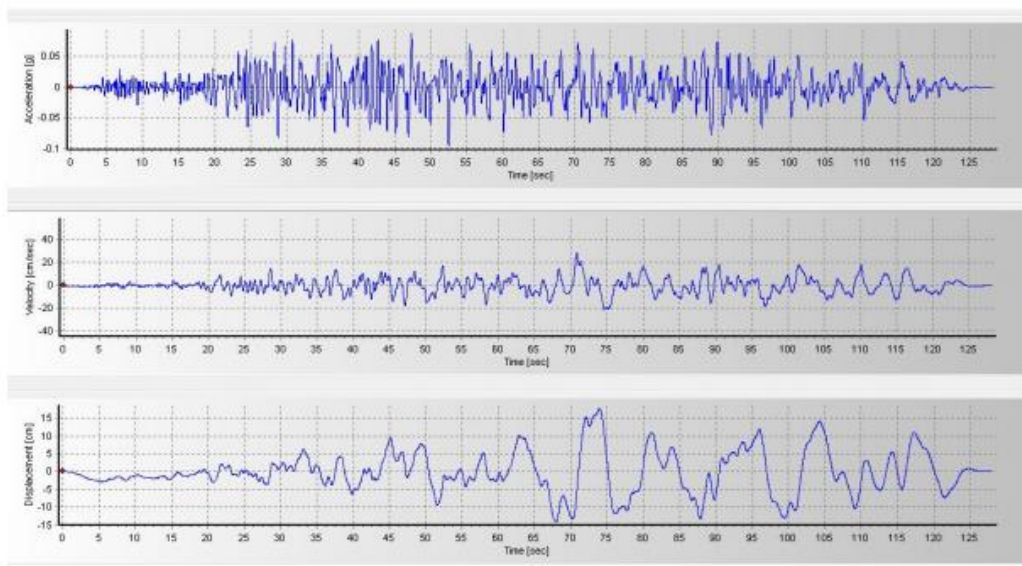
Gambar L.7: hasil output seismosignal gempa Chichi, TCU045.



Gambar L.8: hasil output seismosignal gempa Friuli, A-TMZ70.

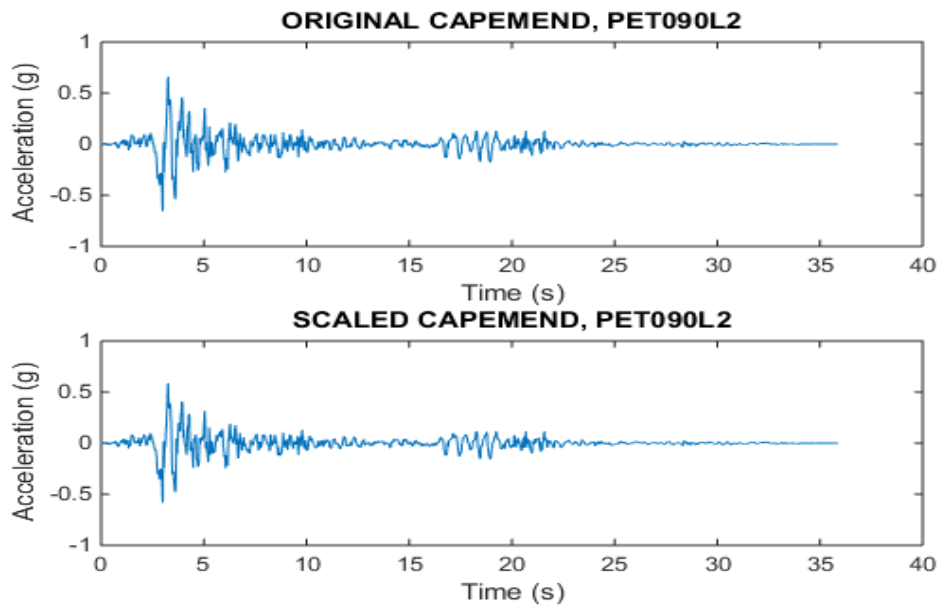


Gambar L.9: hasil output seismosignal gempa Sfern, PEL090.

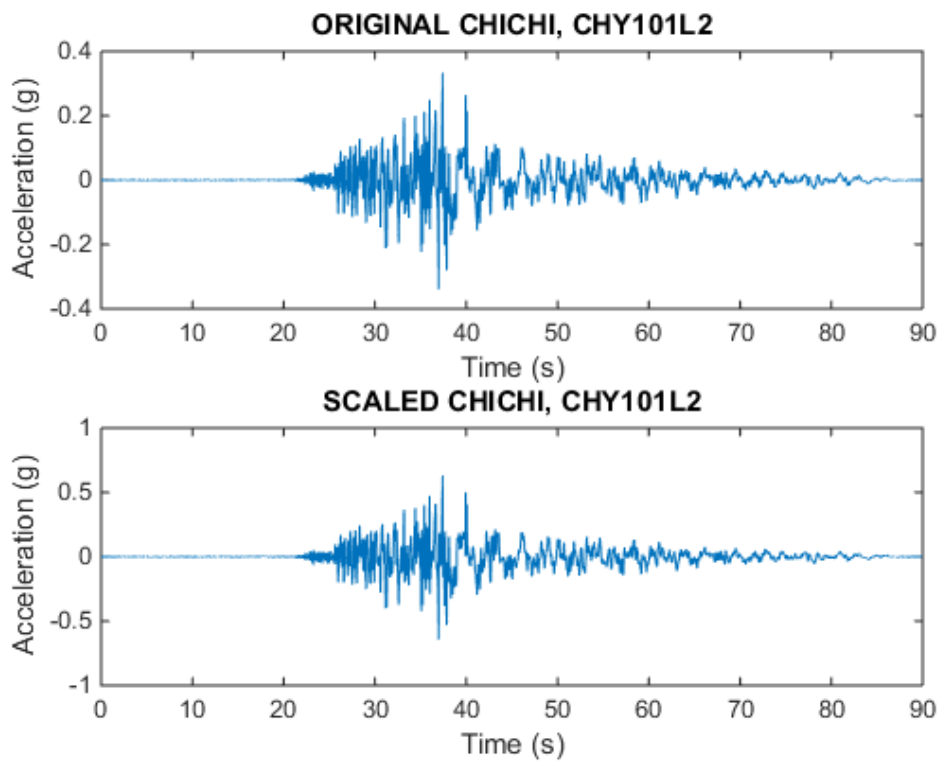


Gambar L.10: hasil output seismosignal gempa Superst, B-POE270.

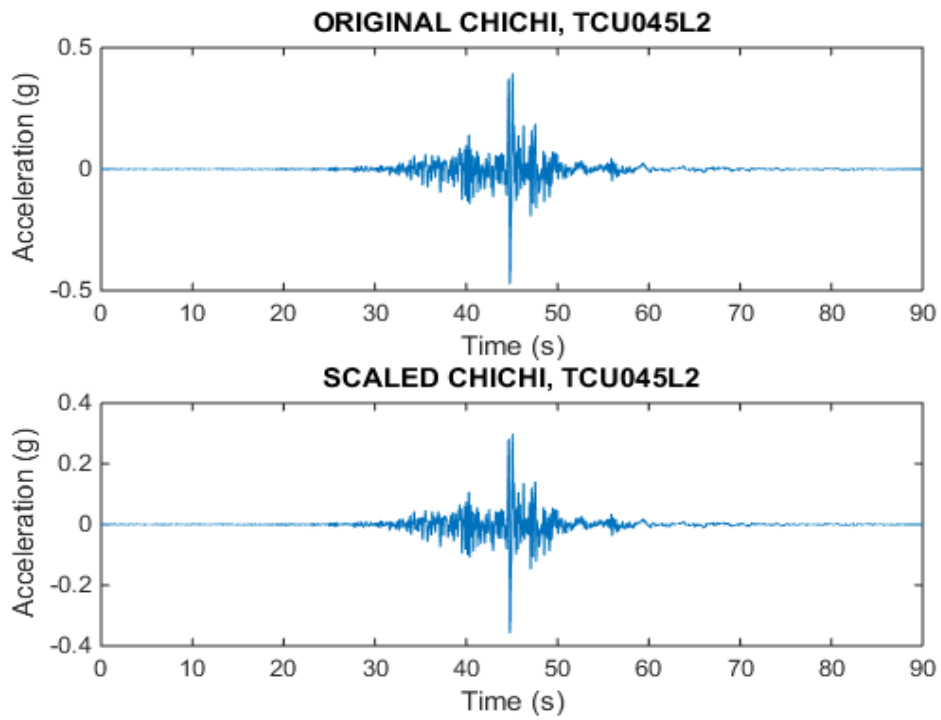
Output Matlab 2 Lantai



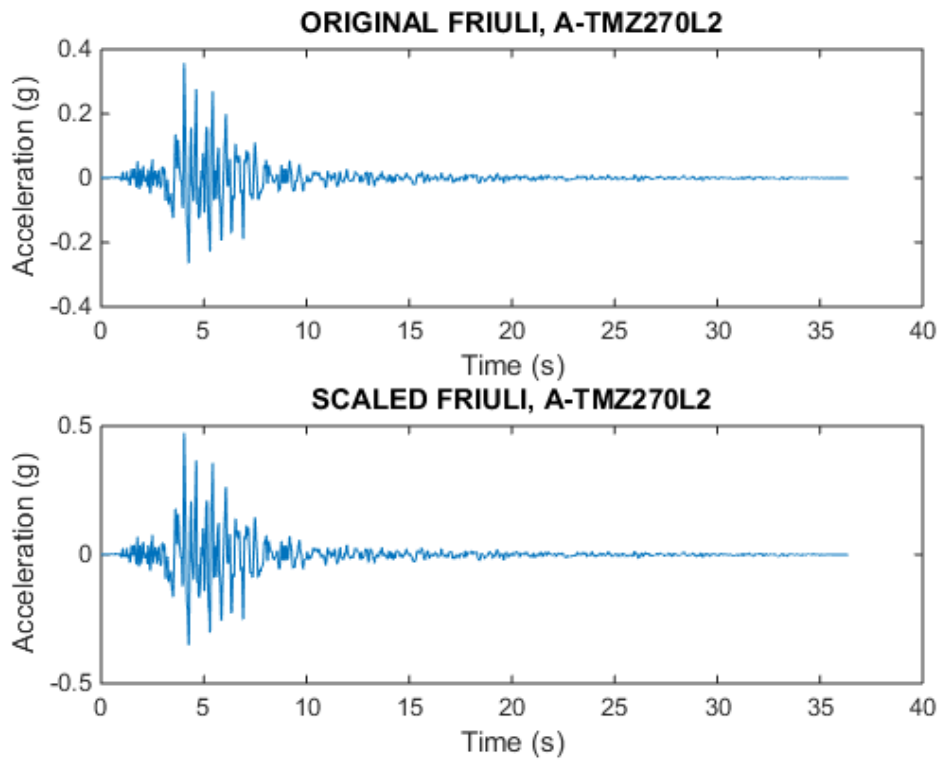
Gambar L.11: hasil output Matlab gempa Capemend, PET090L2.



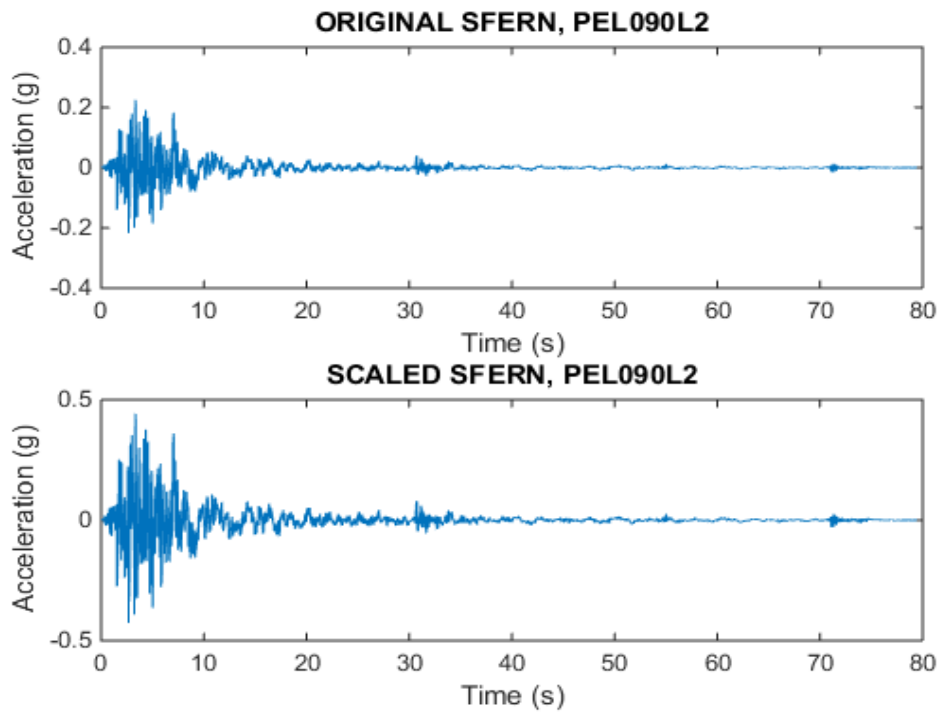
Gambar L.12: hasil output Matlab gempa ChiChi, CHY101L2.



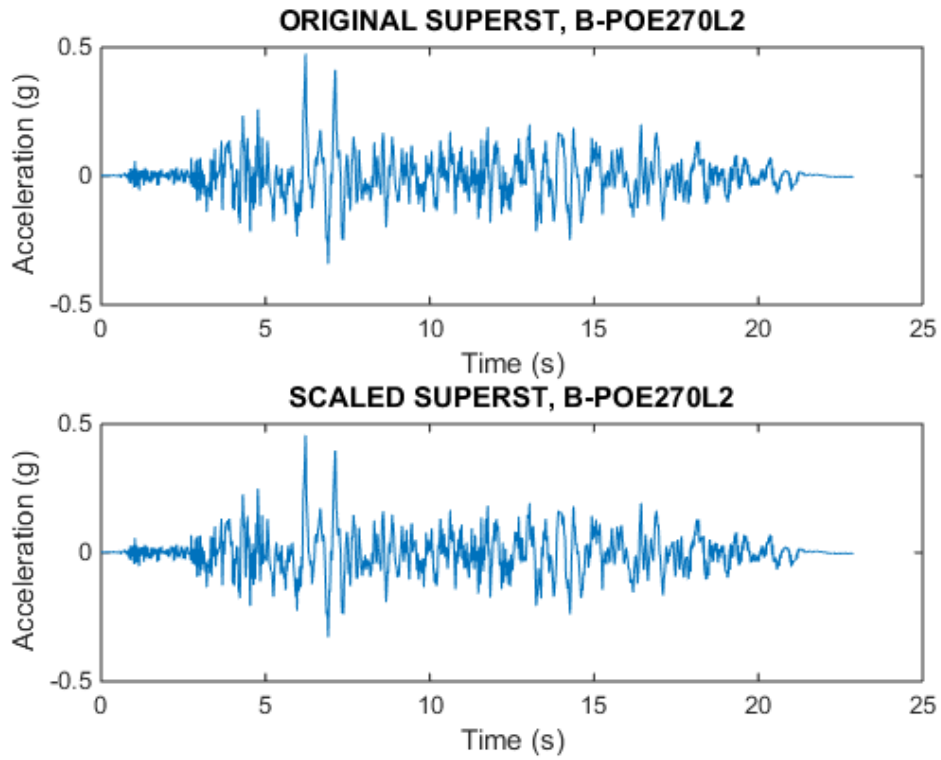
Gambar L.13: hasil output Matlab gempa Chichi, TCU045L2.



Gambar L.14: hasil output Matlab gempa Friuli, A-TMZ70L2.

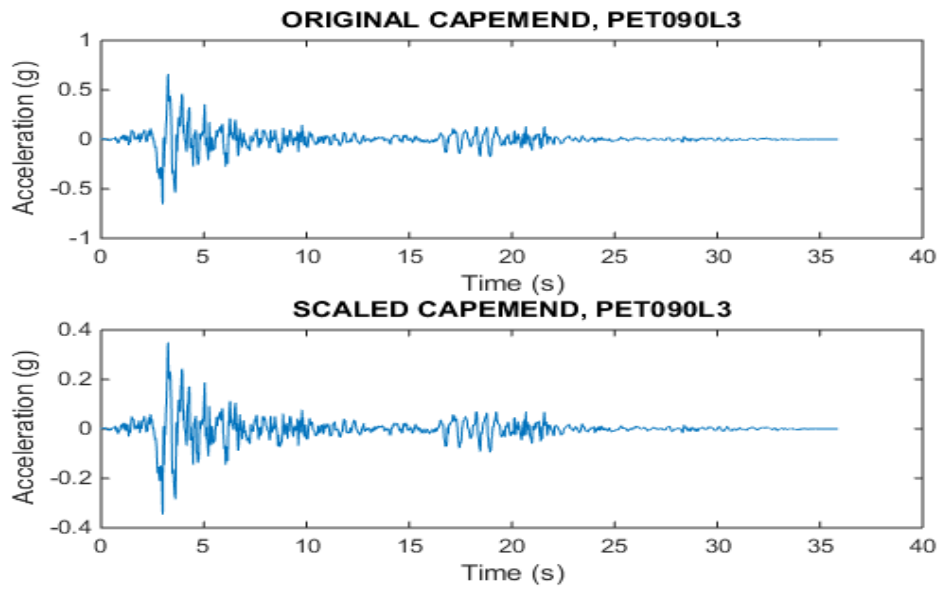


Gambar L.15: hasil output Matlab gempa Sfern, PEL090L2.

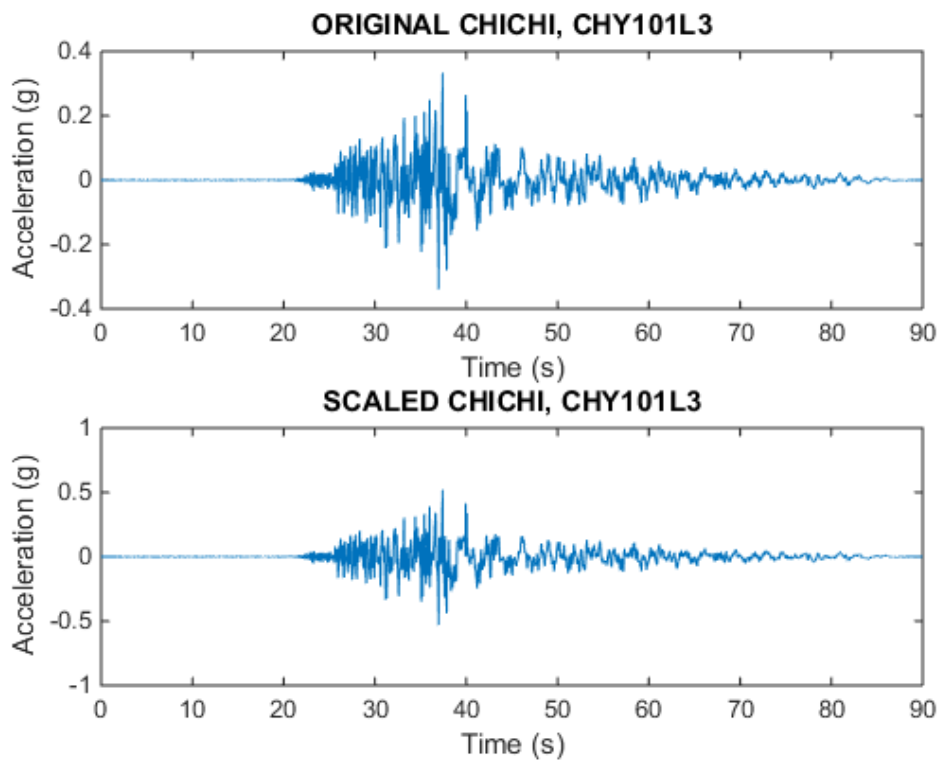


Gambar L.16: hasil output Matlab gempa Superst, B-POE270L2.

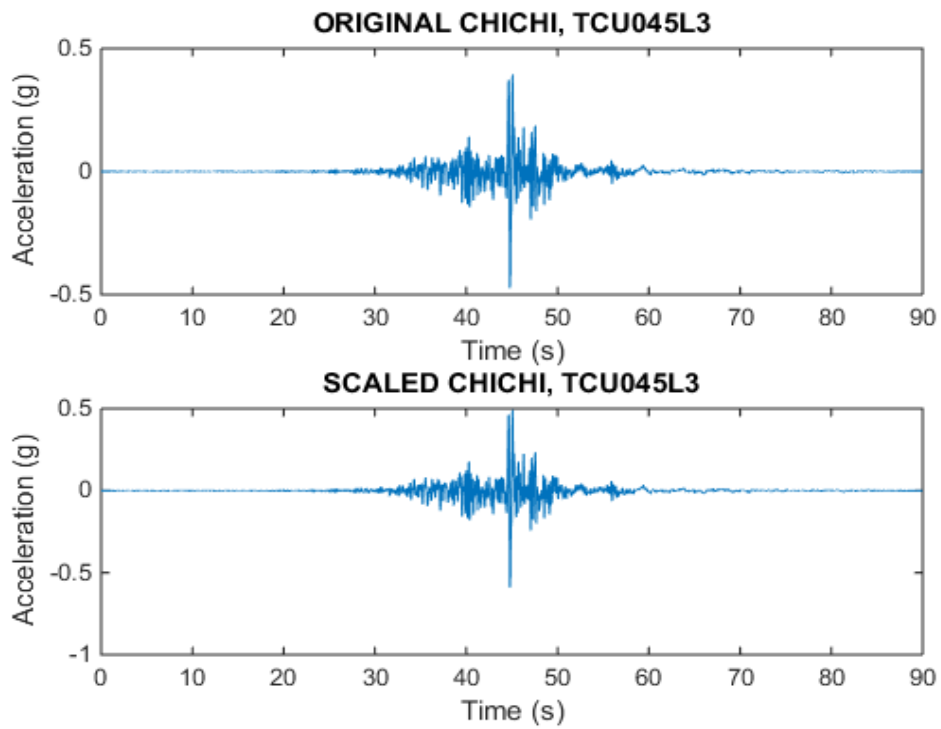
Output Matlab 3 Lantai



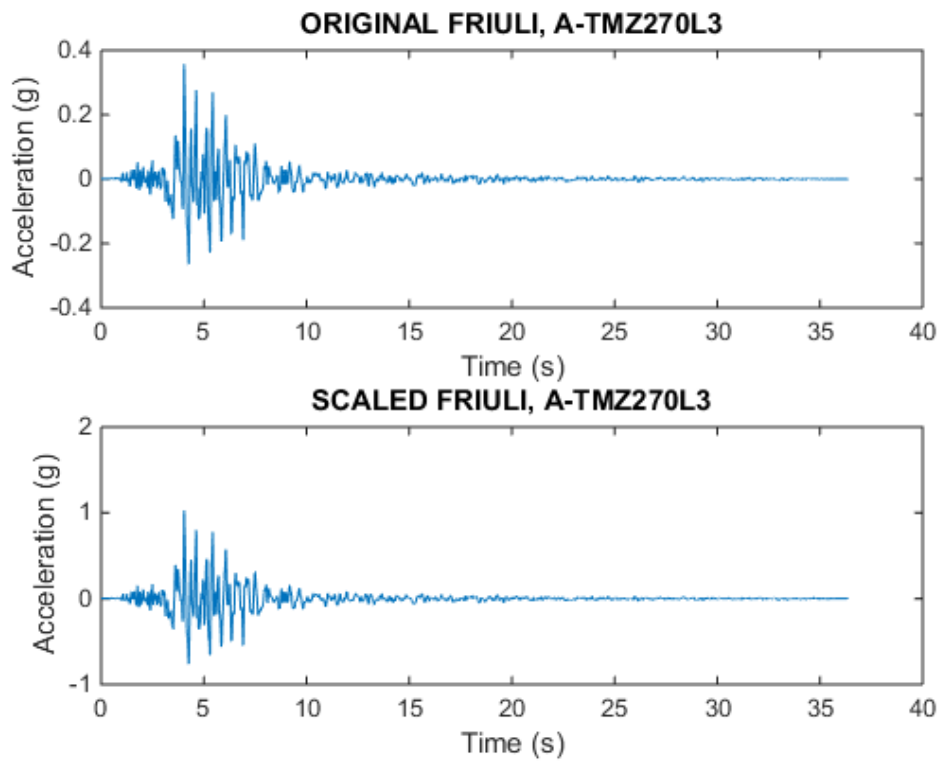
Gambar L.17: hasil output Matlab gempa Capemend, PET090L3.



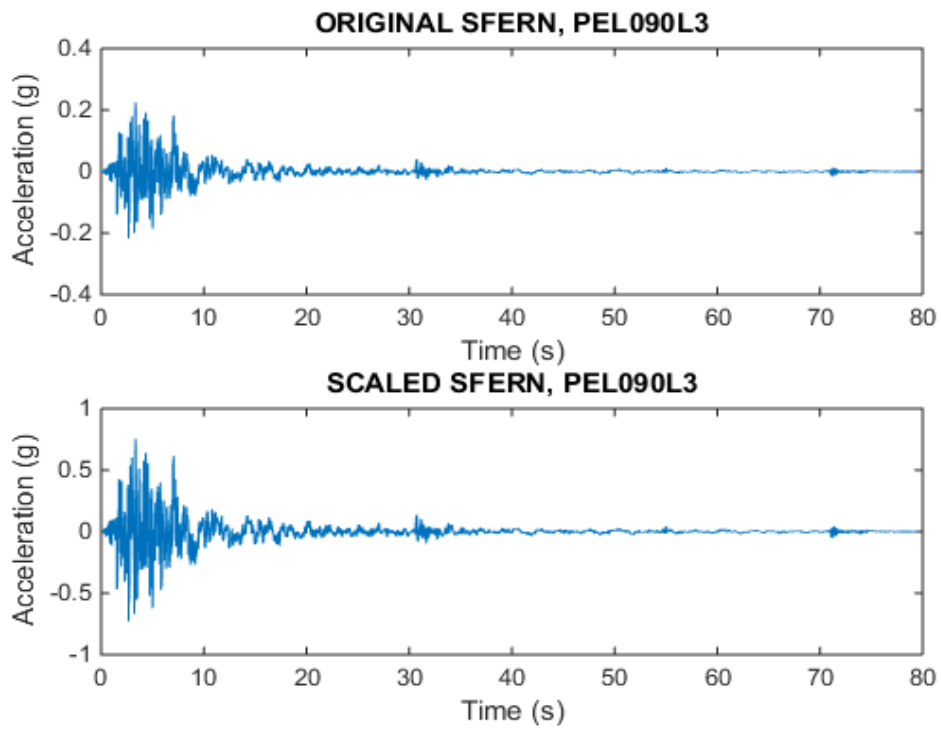
Gambar L.18: hasil output Matlab gempa ChiChi, CHY101L3.



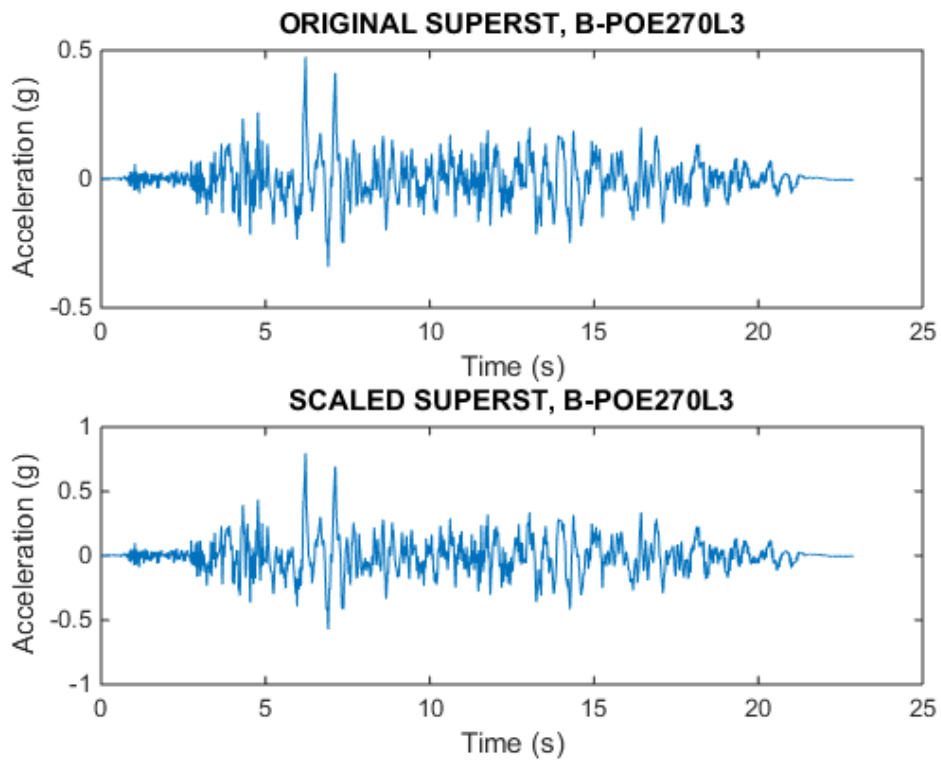
Gambar L.19: hasil output Matlab gempa Chichi, TCU045L3.



Gambar L.20: hasil output Matlab gempa Friuli, A-TMZ70L3.



Gambar L.21: hasil output Matlab gempa Sfern, PEL090L3.



Gambar L.22: hasil output Matlab gempa Superst, B-POE270L3.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Muhammad Fadlan Irliansyah
Panggilan : Fadlansyah
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 19 Maret 2002
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat Sekarang : Jl. Kawat 3 Gg. Kadhi No. 42A, Tj. Mulia Hilir, Kec.
Medan Deli
Nama Ayah : Alm. Drs. H. Irwansyah M.Si.
Nama Ibu : Dra. Hj. Lili Sri Astuti M.Pd.
No.HP : 081374947515
E-mail : Irliansyahf4@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 2007210071
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Mughtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	Budi Mulia Medan	2014
2	SMP	Negri 39 Medan	2017
3	SMA	Kemala Bhayangkari I Medan	2020
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2020 sampai selesai		