

TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN *METALLIC YIELDING DAMPER* PADA
STRUKTUR BANGUNAN BAJA
(*Studi Literatur*)**

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

Disusun Oleh:

**RIZKI FAUZAN
1307210132**



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2017

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Rizki Fauzan

NPM : 1307210132

Program studi : Teknik Sipil

Judul tugas akhir : Perencanaan *Metallic Yielding Damper* Pada Struktur Bangunan Baja

Bidang ilmu : Struktur

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

Medan, 17 Oktober 2017

Mengetahui dan Menyetujui:

Pembimbing I/Penguji

Pembimbing II/Penguji

Dr. Ade Faisal S.T.,M.Sc

Bambang Hadibroto, S.T.,M.T

Pembanding I/Penguji

Pembanding II/Penguji

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

Ir. Zurkiyah, M.T

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ade Faisal S.T.,M.Sc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rizki Fauzan

Tempat/tgl lahir : Sei Dua Hulu

NPM : 1307210132

Fakultas : Teknik

Fakultas : Teknik Sipil

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

“Perencanaan *Metallic Yielding Damper* Pada Struktur Bangunan Baja”,

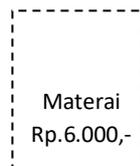
Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di program studi teknik sipil fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 2017

Saya yang menyatakan,



(Rizki Fauzan)

ABSTRAK

PERENCANAAN *METALLIC YIELDING DAMPER* PADA STRUKTUR BANGUNAN BAJA

Rizki Fauzan
(1307210132)

Dr. Ade Faisal, S.T.,MSc
Bambang Hadibroto, S.T.,M.T

Perencanaan struktur bangunan tahan gempa sangat penting di Indonesia, karena wilayah Indonesia terletak pada zona seismik aktif dan tingkat kegempaan yang tinggi. Seiring dengan berkembangnya teknologi muncul beberapa upaya untuk mengatasi kerusakan yang terjadi pada struktur akibat gempa dengan cara memberikan alat tambahan ke struktur. Salah satu alat yang berfungsi untuk membatasi energi atau mendissipasi energi gempa yang masuk ke bangunan ialah *Damper*. Pada tugas akhir ini dibahas alat dissipasi energi dengan jenis *Metallic Yielding Damper*. *Metallic yielding damper* adalah alat dissipasi pasif yang bekerja setelah energi gempa masuk ke bangunan. Dalam tugas akhir ini akan di analisis perbandingan simpangan yang terjadi pada struktur konvensional dengan struktur yang menggunakan *metallic yielding damper* terhadap beban gempa yang dianalisis dengan metode riwayat waktu. Rekaman gempa yang digunakan 5 rekaman gempa *pulse* dan 5 rekaman gempa *no pulse*. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur yang menggunakan *metallic yielding damper* dapat mereduksi simpangan yang terjadi akibat gempa *pulse* sebesar 58,656 % dan gempa *no pulse* sebesar 74,39 %. Pada struktur yang menggunakan *metallic yielding damper* simpangan antar tingkat dapat direduksi hingga 35,75 % ini berarti kerusakan struktur dapat direduksi.

Kata kunci: *Metallic yielding*, Riwayat waktu, *pulse*, *no pulse*, perpindahan.

ABSTRACT

METALLIC YIELDING DAMPER PLANNING ON STEEL BUILDING STRUCTURE

Rizki Fauzan
(1307210132)

Dr. Ade Faisal, S.T.,MSc
Bambang Hadibroto, S.T.,M.T

Planning of earthquake resistant building structures is very important in Indonesia, because the territory of Indonesia lies in the active seismic zone and high seismicity. Along with the development of technology emerged several efforts to overcome the damage that occurred in the structure due to the earthquake by providing a means of retaining to the structure. One tool that serves to limit energy or mendissipasi energy earthquake that goes into the building is Damper. In this final project discussed energy dissipation tool with Metallic Yielding Damper type. Metallic yielding damper is a passive dissipation tool that works after earthquake energy enters the building. In this final project will be analyzed the comparison of deviations that occur in the conventional structure with a structure that uses metallic yielding damper against the earthquake load which is analyzed by time history method. Earthquake recording used 5 pulse earthquake recording and 5 recording no pulse earthquake. The results showed that the structure using metallic yielding damper can reduce the deviation caused by pulse earthquake of 58.656% and the quake no pulse of 74.39%. In structures using metallic yielding dampers the intermediate deviations can be reduced to 35.75% this means that structural damage can be reduced.

Keywords: Metallic yielding, Time history, pulse, no pulse, displacement.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum warahmatullahiwabarakatuh

Alhamdulillahirabil'alamin Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagaimana yang diharapkan.

Adapun judul Tugas Akhir ini adalah “Perencanaan *Metallic Yielding Damper* Pada Struktur Bangunan Baja” yang diselesaikan selama kurang lebih 6 bulan. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil kekhususan Struktur pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Secara khusus dengan rasa hormat dan penghargaan yang setinggi-tingginya saya ucapkan terimakasih kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta, yang telah mengasuh dan mendidik dengan curahan kasih sayang serta mendoakan dengan rasa tulus untuk anakmu ini, dan saya ucapkan terima kasih kepada adik-adik saya yaitu Wahyu Widodo, M. Ardiansyah Putra, dan Khairunnisa yang telah memberikan bantuan moril dan materil untuk perkuliahan hingga selesai dalam proses perkuliahan ini. Dan juga tak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada seluruh keluarga yang telah mendoakan dan mendukung dalam setiap langkah perkuliahan hingga sampai selesai sekarang ini.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T.,M.Sc selaku dosen pembimbing-I yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam

penyusunan Tugas Akhir ini, dan sebagai ketua program studi Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

2. Bapak Bambang Hadibroto, S.T.,M.T selaku dosen pembimbing-II yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T.,M.Sc selaku dosen pembimbing-I.
4. Ibu Ir. Zurkiyah, M.T selaku dosen pembimbing-II.
5. Ibu Irma Dewi, S.T.,M.Si selaku sekretaris Program Studi Teknik Sipil.
6. Bapak Rahmatullah, S.T.,M.Sc selaku dekan Fakultas Teknik .
7. Bapak Syaifullah, S.T.,M.T yang telah ikut membantu saya dalam memberikan arahan dan bimbingan dalam hal aplikasi yang saya gunakan di tugas akhir ini.
8. Bapak Muhammad Husin Gultom, S.T.,M.T yang telah ikut membantu saya dalam memberikan arahan dan motivasi kepada saya.
9. Seluruh dosen dan staf departemen yang banyak membantu yang banyak membantu selama ± 4 tahun di departemen Teknik Sipil.
10. Rekan-rekan mahasiswa teknik sipil yang telah memberikan bantuan, saran serta dorongan dalam mengerjakan laporan tugas akhir ini.

Saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Saya sangat menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu saya sangat berharap adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi saya khususnya dan masyarakat Indonesia pada umumnya.

Medan, 17 Oktober 2017

Penulis

Rizki Fauzan

1307210132

-

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Ruang Lingkup	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Metode Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Umum	5
2.2. Konsep Perencanaan Struktur	8
2.2.1. Pembebanan	8
2.2.1.1. Beban Vertikal	8
2.2.1.2. Beban Horizontal (Beban Gempa)	8
2.2.2. Gempa Rencana	10
2.2.3. Kategori Resiko Bangunan dan Faktor Keutamaan	10
2.3. Analisa Berdasarkan Respon Spektrum	12
2.3.1. Persyaratan Jumlah Mode Ragam	12
2.4. Parameter Desain Kegempaan	12
2.4.1. Parameter Percepatan Terpetakan	14
	viii

2.4.2. Kelas Situs	14
2.4.3. Koefisien-koefisien situs dan parameter respon spektra Percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan	14
2.4.4. Spektrum Respon Desain	15
2.5. Simpangan Antar Lantai Tingkat dan Deformasi	16
2.5.1. Penentuan Simpangan Antar Tingkat	16
2.5.2. Skala Simpangan antar Lantai	17
2.6. Perioda Fundamental Struktur	17
2.7. Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Konstruksi	18
2.8. Getaran Gempa <i>Pulse</i> dan <i>No Pulse</i>	20
2.8.1. Karakteristik Getaran Gempa <i>Pulse</i>	21
2.8.2. Karakteristik Getaran Gempa <i>No Pulse</i>	23
2.9. Analisis Dinamika Struktur	23
2.10. Pengaruh damping Pada Bangunan	24
2.10.1. Pengaruh Damping Terhadap Respon Spektrum Gempa	26
2.10.2. Damping Klasik	26
2.10.3. Damping Non Klasik	26
2.11. Jenis-jenis Alat Peredam Energi Pasif	27
2.11.1. <i>Fluid Viscous Damper</i>	27
2.11.1.1. Sejarah <i>Fluid Viscous Damper</i>	27
2.11.1.2. Bagian-bagian <i>Fluid Viscous Damper</i>	28
2.11.2. <i>Friction Damper</i>	30
2.11.3. <i>Metallic Yielding Damper</i>	31
2.11.3.1. Model Analisis <i>Metallic Yielding Damper</i>	33
2.11.3.2. Efek <i>B/D Ratio</i> dan <i>Stiffness Ratio (SR)</i>	34
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	36
3.1. Diagram Alir Penelitian	36
3.2. Dasar Pemikiran Perencanaan Struktur dengan <i>Metallic Yielding Damper</i>	37
3.3. Metodologi Perencanaan	37
3.4. Desain Bangunan	37
3.4.1. Pemodelan Struktur Bangunan	37

3.4.2. Material Bangunan dan Profil Struktur	39
3.5. Pembebanan	40
3.6. Perancangan Desain Gempa	41
3.7. Beban Gempa	42
3.8. Faktor Skala Percepatan Gempa	48
3.9. Kombinasi Pembebanan	49
3.10. Desain Alat Dissipasi Energi	50
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN	52
4.1. Modal Analisis	52
4.2. Perpindahan/Simpangan Tiap Lantai	53
4.3. Perpindahan Pada Atap	56
4.4. Perbandingan Perpindahan/Deformasi Lateral Maksimum Rata- Rata	57
4.5. Perbedaan Simpangan Tiap Lantai Rata-rata	59
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1. Kesimpulan	60
5.2. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726-2012).	10
Tabel 2.2	Faktor keutamaan gempa (SNI 1726-2012)	11
Tabel 2.3	Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa (SNI 1726-2012)	13
Tabel 2.4	Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung (SNI 1726-2013)	18
Tabel 2.5	Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x (SNI 1726-2012)	18
Tabel 3.1	Jenis material yang digunakan	39
Tabel 3.2	Profil struktur	39
Tabel 3.3	Daftar beban mati berdasarkan SNI 1727-2013	40
Tabel 3.4	Daftar beban hidup SNI 1727-2013	40
Tabel 3.5	Kategori desain seismic berdasarkan parameter respon percepatan pada prioda pendek (SNI 1726-2012)	41
Tabel 3.6	Kategori desain seismic berdasarkan parameter respon percepatan pada perioda 1 detik	42
Tabel 3.7	Nilai respon spektrum	44
Tabel 3.8	Klasifikasi situs	45
Tabel 3.9	Daftar rekaman gempa <i>pulse</i>	46
Tabel 3.10	Daftar rekaman gempa <i>no pulse</i>	47
Tabel 4.1	Perioda struktur dengan damper dan tanpa damper	53
Tabel 4.2	Perpindahan tiap lantai yang terjadi akibat gempa <i>pulse</i>	54
Tabel 4.3	Perpindahan tiap lantai yang terjadi akibat gempa <i>no pulse</i>	55
Tabel 4.4	Nilai simpangan maksimum rata-rata	57
Tabel 4.5	Perbandingan perbedaan simpangan tiap lantai antara struktur konvensional dengan yang menggunakan <i>metallic yielding damper</i>	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Sistem kontrol pasif	2
Gambar 2.1	Spektrum respon desain	16
Gambar 2.2	Perilaku struktur akibat pembebanan horizontal berulang	19
Gambar 2.3	Tipikal kecepatan dan perpindahan rekaman gempa	20
Gambar 2.4	Kebutuhan siklik pada kolom	21
Gambar 2.5	Rekaman gempa kuat (<i>pulse motion</i>)	22
Gambar 2.6	Perilaku struktur linier	24
Gambar 2.7	Getaran bebas tanpa damping dan getaran bebas dengan damping	25
Gambar 2.8	<i>Fluid Viscous Damper</i> yang diaplikasikan pada bangunan	28
Gambar 2.9	Bagian-bagian <i>fluid viscous damper</i>	28
Gambar 2.10	Sumitomo <i>friction damper</i>	30
Gambar 2.11	<i>Metallic yielding damper</i>	31
Gambar 2.12	Pemasangan <i>metallic yielding damper</i> yang dihubungkan dengan bresing	31
Gambar 2.13	Aplikasi <i>metallic yielding damper</i> pada struktur	32
Gambar 2.14	Aplikasi <i>metallic yielding damper</i> pada gedung sekolah di China	32
Gambar 2.11	Deformasi plastis pada struktur bertingkat satu	33
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	36
Gambar 3.2	Denah bangunan	38
Gambar 3.3	Desain struktur bangunan tampak depan	38
Gambar 3.4	Grafik respon spektra padang jenis tanah sedang	45
Gambar 3.5	Rekaman gempa <i>pulse</i>	47
Gambar 3.6	Rekaman gempa <i>no pulse</i>	48
Gambar 4.1	Pemodelan struktur 2 dimensi	52
Gambar 4.2	Perpindahan antar lantai akibat gempa <i>pulse</i>	74

Gambar 4.3	Perpindahan antar lantai akibat gempa <i>no pulse</i>	55
Gambar 4.4	Perpindahan pada atap akibat gempa <i>pulse</i>	56
Gambar 4.5	Perpindahan pada atap akibat gempa <i>pulse</i>	57
Gambar 4.6	Simpangan maksimum rata-rata	58
Gambar 4.7	Grafik perbandingan simpangan tiap lantai	59

DAFTAR NOTASI

- Δ : Simpangan antar lantai
- Δ_a : Simpangan antar lantai yang diijinkan
- B : Bresing
- C_d : Faktor pembesaran defleksi
- C_s : Koefisien respon seismik
- 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
- K_d : Kekakuan damper
- K_b : Kekakuan bresing

K_{bd} : Kekakuan elemen gabungan *divice* dan bresing
 K_f : Kekakuan sistem frame
 K_{pelat} : Kekakuan satu pelat damper
 LL : Pengaruh beban hidup
 n : Jumlah pelat damper
 N : Nilai penetrasi standar rata-rata
 N_i : Beban notional yang digunakan pada level i
 P_x : Beban desain vertikal total padatan diatas tingkat x
 Q_E : Pengaruh gaya gempa horisontal
 R : Faktor modifikasi respon
 S_I : Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R 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_{DI} : 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_{MI} : 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 MCE_R terpetakan untuk periode pendek
 SR : *Stiffnes ratio*
 T : Perioda getar fundamental struktur
 T_0 : $0,2 \frac{SD1}{SDS}$
 $T_{a\ maksimum}$: Nilai batas atas perioda bangunan
 $T_{a\ minimum}$: Nilai batas bawah perioda bangunan

$$T_S : \frac{SD1}{SDS}$$

t_w : Tebal dari dinding geser/elemen web

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

Y_i : Beban gravitasi yang digunakan pada level i dari kombinasi DFBK atau kombinasi beban DKI, yang sesuai

α : Sudut kemiringan dari pelat bidang

β : Rasio kebutuhan geser

δ_{xe} : Defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastik

θ : Koefisien stabilitas untuk pengaruh P-delta

θ_l : Sudut antara balok dan kolom

ρ : Faktor reduksi struktur

Ω_0 : Sistem faktor kekuatan lebih

ω_i : Frekuensi sudut

DAFTAR SINGKATAN

CQC	: <i>Complete Quadratic Combination</i>
DFBK	: <i>Desain Faktor Beban dan Ketahanan</i>
DKI	: <i>Desain Kekuatan Izin</i>
FVD	: <i>Fluid Viscous Damper</i>
MCE _R	: <i>Maximum Considered Earthquake Risk Target</i>
MYD	: <i>Metallic Yielding Damper</i>
PEER	: <i>The Pacific Earthquake Engineering Research Center</i>
SRSS	: <i>Square Root the Sum of Square</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gempa merupakan salah satu beban yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur apalagi jika gedung tersebut bertingkat tinggi. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, pembangunan gedung-gedung tinggi seperti apartemen merupakan salah satu solusi dari perkembangan jumlah penduduk di Indonesia. Kini muncul beberapa upaya untuk mengatasi kerusakan-kerusakan yang terjadi pada struktur akibat gempa dan sebagainya dengan memberikan cara memberikan alat tambahan ke struktur, untuk membatasi energi atau mendissipasi energi gempa yang masuk ke bangunan. Alat-alat tersebut dikenal dengan *Seismic Devices*. Dengan menambah alat-alat tersebut, energi gempa yang masuk ke struktur dapat direduksi dan dikontrol sehingga gaya-gaya dan simpangan struktur menjadi kecil, dengan demikian bangunan dapat direncanakan dalam keadaan elastis untuk kejadian gempa besar dengan biaya yang cukup ekonomis.

Seismic devices pada umumnya dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu :

1. *Activated seismic device*
2. *Passived seismic device*
3. *Based Isolator device*

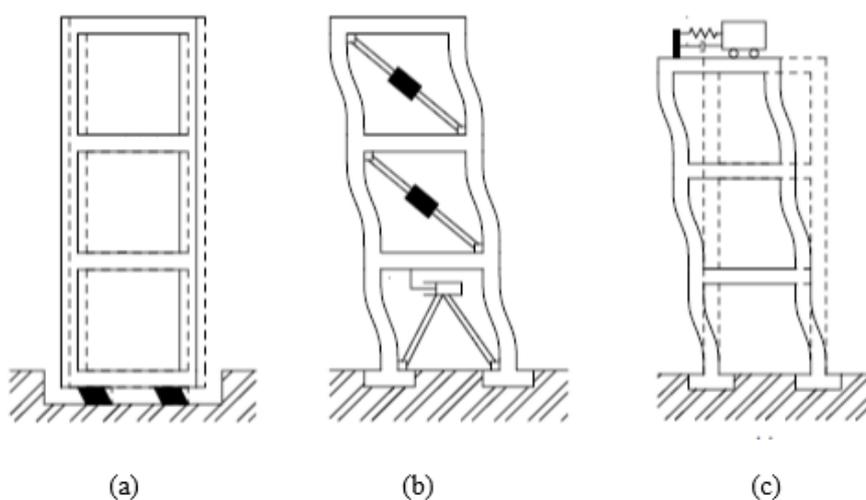
Activated seismic device bekerja pada saat gempa terjadi dengan cara menerima data getaran dari sensor yang dipasang disekeliling struktur, melalui komputer data tersebut digunakan untuk mengatur besarnya gaya gempa yang dibutuhkan untuk melawan gaya gempa yang terjadi sesuai dengan input gempa ke bangunan, namun *activated seismic device* memerlukan perawatan yang lumayan mahal.

Passived seismic devices bekerja atau bereaksi setelah energi gempa masuk ke struktur, pada umumnya reaksi *seismic device* semakin besar bila response struktur atau energi yang masuk semakin besar. *Passived seismic devices* sesuai fungsinya, secara garis besar dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu yang bersifat

isolasi dan yang bersifat dissipasi energy. Jenis yang pertama disebut seismic Isolator dan yang kedua disebut Damper , salah satunya seperti *Metallic Yeilding Damper*.

Base isolator device terbuat dari bahan bantalan karet , bantalan karet ini tergolong murah, dan bukan merupakan alat berteknologi tinggi. Bantalan yang digunakan untuk melindungi gempa bumi dibuat dari kombinasil lempengan karet alam dan lempeng baja. Bantalan tersebut dipasang disetiap kolom yaitu diantara pondasi dan bangunan. Karet alam berfungsi untuk mengurangi getaran akibat gempa bumi sedangkan lempeng baja digunakan untuk menambah kekakuan bantalan karet sehingga penurunan bangunan saat bertumpu diatas bantalan karet tidak besar.

Metallic Yeilding Damper tergolong dalam *Passive seismic devices* yang merupakan material baja ringan atau logam lainnya yang digunakan untuk mempertahankan bahan siklik dengan cara mendisipasi energi gempa dimana gaya tersebut mengalami deformasi inelastis membentuk *Hysteristic loop* dari perubahan kekakuan damper yaitu dari keadaan elastic menjadi plastis . Damper biasanya dipasang diantara tingkatan lantai untuk mengurangi perbedaan pegeseran lantai , ditinjau dari *stiffness ratio* yang merupakan perbandingan kekakuan damper yang berkisar antara 2-4.



Gambar 1.1: Sistem control pasif (a) base isolation (b) alat peredam energy (c) peredam getaran dinamis. (Moreschi, 2000)

1.1. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah untuk mencari nilai perbandingan simpangan (*displacement*) antara struktur bangunan baja biasa dengan struktur bangunan baja menggunakan *Mettalic Yielding Damper*.

1.2. Ruang Lingkup

Untuk mencapai tujuan pembahasan identifikasi ini permasalahan akan diperjelas dengan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Struktur bangunan dianalisis dengan 2 dimensi, berada di wilayah Padang, Sumatera Barat Indonesia.
2. Struktur yang direncanakan adalah portal baja 5 lantai yang memiliki dimensi profil yang sama (struktur bangunan gedung beraturan).
3. Analisis beban gempa berdasarkan Tata Cara ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012).
4. Untuk beban gravitasi menggunakan peraturan pembebanan minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727-2013).
5. Sambungan dan tangga tidak diperhitungkan, analisis dilakukan dengan bantuan software analisis struktur.

1.3. Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui besar reduksi yang diberikan *metallic yielding damper* terhadap struktur ketika terjadi gempa *pulse* dan gempa *no pulse*.
2. Untuk mengetahui perbandingan nilai simpangan antara bangunan struktur baja biasa dengan struktur bangunan baja menggunakan *Mettalic yielding damper*.
3. Untuk mengetahui efisiensi *metallic yielding damper* dalam mereduksi simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur.

1.4. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah studi literatur yaitu dengan mengumpulkan data-data dan keterangan dari buku dan jurnal yang berhubungan dengan pembahasan pada tugas akhir ini, serta masukan dari dosen pembimbing. Analisa stuktur dilakukan dengan program analisis struktur.

1.5. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini akan disusun dalam beberapa bab sehingga pembaca bisa memahami isi dari laporan tugas akhir ini. Secara garis besar tugas akhir ini disusun sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang permasalahan, rumusan permasalahan, batasan permasalahan, tujuan penulisan, manfaat penulisan dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Merupakan pembahasan tentang dasar-dasar teori yang berhubungan dengan permasalahan dan dilengkapi dengan sumber-sumber yang dikutip.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini berisikan metode dalam memodelkan struktur gedung tahan gempa dengan sistem struktur baja menggunakan dinding geser pelat baja termasuk melakukan input data pada software analisis struktur.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis dari data-data yang diperoleh melalui pemodelan struktur.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memberikan kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Perencanaan struktur bangunan gedung sangat penting di Indonesia, karena posisi Indonesia yang berada disekitar jalur subduksi lempeng yang menyebabkan wilayah Indonesia terletak pada zona seismik aktif dan tingkat kegempaan yang tinggi. Dengan kondisi Indonesia yang demikian itu maka diperlukan kemampuan untuk mengatasi permasalahan yang timbul oleh bencana gempa tersebut, khususnya runtuhnya bangunan dan menghindari jatuhnya korban.

Sebagai masalah utama yang sering ditemui dalam merancang struktur dimasa sekarang adalah keadaan dimana struktur yang dibangun sifatnya semakin fleksibel dan tinggi. Dengan fleksibilitas yang makin besar, level vibrasi yang tidak diinginkan mungkin saja akan terjadi jika struktur tersebut dikenai beban lingkungan yang besar.

Struktur suatu bangunan bertingkat tinggi harus dapat memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, diantaranya beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi adalah beban mati struktur dan beban hidup, sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa.

Perencanaan konvensional bangunan tahan gempa adalah berdasarkan konsep bagaimana meningkatkan kapasitas tahanan struktur terhadap gaya gempa yang bekerja padanya. Misalnya dengan menggunakan shear wall, sistem rangka pemikul momen khusus, sistem rangka dengan bracing dan sebagainya. Konsekwensinya, pada bangunan dimana kekakuan lateralnya cukup besar akan mengalami percepatan lantai yang besar, sedangkan pada bangunan fleksibel akan mengalami perpindahan lateral yang cukup besar, sehingga bangunan akan mengalami kerusakan yang signifikan pada peristiwa gempa kuat.

Dengan perkembangan teknologi sekarang ini muncul beberapa upaya untuk mengatasi kerusakan-kerusakan yang terjadi pada struktur akibat gempa dan sebagainya dengan memberikan cara memberikan alat tambahan ke struktur, untuk membatasi energi atau mendissipasi energi gempa yang masuk ke

bangunan. Alat-alat tersebut dikenal dengan *Seismic Devices*. Dengan menambah alat-alat tersebut, energi gempa yang masuk ke struktur dapat direduksi dan dikontrol sehingga gaya-gaya dan simpangan struktur menjadi kecil, dengan demikian bangunan dapat direncanakan dalam keadaan elastis untuk kejadian gempa besar dengan biaya yang cukup ekonomis.

Seismic device bekerja dengan cara merubah kekakuan, damping dan menambah massa ke struktur. Salah satu *system seismic device* adalah dengan menggunakan alat *yielding damper* atau disebut juga *hysteretic-yield damper* yang bekerja dengan cara mendissipasi energi melalui pembentukan sendi plastis atau pelelehan bahan damper.

Dalam perencanaan struktur atau bangunan yang mempunyai ketahanan terhadap gempa dengan tingkat keamanan yang memadai, struktur yang harus dirancang dapat memikul gaya horizontal atau gaya gempa. Yang harus diperhatikan adalah bahwa struktur dapat memberikan layanan yang sesuai dengan perencanaan.

Filosofi perencanaan bangunan tahan gempa konvensional yang diadopsi oleh hampir semua peraturan mengenai perencanaan bangunan tahan gempa yang mengutamakan segi keselamatan jiwa dan segi ekonomis yang dikenal dengan perencanaan kapasitas, mempunyai dasar sebagai berikut:

1. Struktur berperilaku elastis jika terjadi gempa kecil.

Jika gempa dengan intensitas percepatan tanah yang kecil dalam waktu ulang yang besar mengenai struktur, disyaratkan tidak mengganggu fungsi bangunan, seperti aktivitas normal didalam bangunan dan perlengkapan yang ada.

2. Bangunan akan mengalami kerusakan jika terjadi gempa sedang, namun terbatas pada kerusakan struktural atau non struktural yang dapat diperbaiki. Jika struktur dikenai gempa dengan waktu ulang sesuai dengan umur atau masa rencana bangunan maka struktur direncanakan untuk menahan gempa sedang tanpa kerusakan pada komponen struktur namun pada komponen non-struktural boleh terjadi kerusakan yang dapat diperbaiki dan diharapkan struktur dalam batas elastis.
3. Bangunan tidak runtuh bila terjadi gempa besar. Jika gempa kuat yang mungkin terjadi pada umur/ masa bangunan yang direncanakan membebani struktur,

maka struktur direncanakan untuk dapat bertahan dengan tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami kerusakan dan keruntuhan (*collapse*). Tujuan utama dari keadaan batas ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.

2.2. Prinsip Umum Desain Mengatasi Gaya Lateral

Pemilihan struktur untuk bangunan tinggi didasarkan kepada faktor fungsi yang dikaitkan dengan kebutuhan budaya, social, ekonomi, dan teknologi. Struktur itu sendiri hanyalah satu diantara berbagai pertimbangan. Beberapa faktor yang terutama berkaitan dengan perencanaan teknologi dari bangunan adalah :

1. Pertimbangan ekonomi
2. Kondisi tanah
3. Rasio tinggi lebar suatu bangunan
4. Pertimbangan fabrikasi dan pembangunan
5. Pertimbangan mekanis
6. Pertimbangan tingkat bahaya kebakaran
7. Pertimbangan setempat
8. Ketersediaan dan harga bahan konstruksi utama

Semakin tinggi suatu bangunan, pengaruh aksi gaya lateral menjadi semakin berarti. Pada ketinggian tertentu ayunan lateral bangunan menjadi sedemikian besar sehingga pertimbangan kekakuan, mutu bahan, menentukan rancangan. Dengan demikian optimasi suatu struktur untuk kebutuhan ruang tertentu haruslah menghasilkan kekakuan maksimum, tetapi dengan berat sekecil mungkin sehingga akan dihasilkan struktur yang inovatif dan dapat diterapkan pada ambang ketinggian tertentu. Struktur bangunan harus memiliki kemampuan untuk menahan berbagai jenis gaya lateral seperti oleh angin atau gaya gempa. Gaya lateral gempa beresiko cukup tinggi untuk mengakibatkan kegagalan struktur, seperti keruntuhan gedung yang dapat mengakibatkan banyak korban jiwa.

2.3. Pembebanan

Beban yang bekerja pada struktur dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu beban vertikal dan beban horisontal. Beban vertikal meliputi beban mati dan beban hidup. Untuk beban horisontal dalam hal ini yaitu berupa beban gempa.

2.3.1. Beban Vertikal

a. Beban Mati

Beban mati merupakan semua berat sendiri gedung dan segala unsur tambahan yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Sesuai SNI 1727-2013, yang termasuk beban mati adalah seperti dinding, lantai, atap, plafon, tangga dan *finishing*.

b. Beban Hidup

Beban hidup merupakan semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah.

2.3.2. Beban Horisontal (Beban Gempa)

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut (PPIUG, 1983). Beban gempa merupakan beban yang timbul akibat pergerakan tanah dimana struktur tersebut berdiri. Terdapat beberapa metode analisa perhitungan besarnya beban gempa yang bekerja pada struktur gedung. Secara umum metode analisa ini terdiri dari:

1. Analisis gempa statik ekuivalen

Metode ini digunakan untuk menganalisa beban gempa pada struktur beraturan dimana beban yang bekerja merupakan hasil penyederhanaan dan modifikasi pergerakan tanah. Beban tersebut bekerja pada suatu pusat massa lantai-lantai struktur gedung.

Langkah-langkah perhitungan beban gempa tersebut terdiri dari:

- Menentukan parameter spectral percepatan (S_s dan S_I)
- Menentukan spektrum respon desain

- Menentukan kelas situs lokasi bangunan
- Menentukan kategori resiko bangunan dan faktor keutamaan bangunan (I_e)
- Menentukan faktor R , C_d , dan Ω_o
- Menentukan periode fundamental alami (T)
- Penentuan massa struktur
- Mendefinisikan pelat lantai sebagai diafragma
- Menambahkan kombinasi pembebanan
- Melakukan analisis.

2. Analisis dinamis

a. Analisa modal

Metode ini dipakai untuk menyelesaikan analisa dinamik suatu struktur dengan syarat bahwa respon spektrum masih elastis dan struktur mempunyai standar *mode shape*.

b. Analisa respons spektrum

Merupakan suatu analisis dengan menentukan respons dinamik struktur gedung yang berperilaku elastis penuh terhadap pengaruh suatu gempa. Metode ini merupakan suatu pendekatan terhadap beban gempa yang mungkin terjadi. Menurut SNI 1726-2012, respons spektrum adalah suatu diagram hubungan antara percepatan respons maksimum suatu sistem satu derajat kebebasan (SDK) akibat gempa tertentu, sebagai fungsi dari faktor redaman dan waktu getar alami.

Langkah-langkah aplikasi ETABS dalam pembebanan gempa dinamis *response spectrum* antara lain:

- Input data *response spectrum* di ETABS.
- Mendefinisikan tipe analisis *response spectrum*.
- Analisis modal.
- Penentuan massa struktur.
- Defenisi pelat lantai sebagai diafragma.
- Menambahkan kombinasi pembebanan.
- Melakukan analisis.

c. Analisa riwayat waktu (*time history analysis*)

Merupakan suatu analisis dalam menentukan riwayat waktu respons dinamik struktur gedung yang berperilaku elastik penuh (linier) maupun elastik-plastis (non-linier) terhadap pergerakan tanah akibat gempa rencana.

2.4. Konsep Perencanaan Struktur

Konsep perencanaan struktur diperlukan sebagai dasar teori bagi perencanaan dan perhitungan struktur. Konsep ini meliputi permodelan struktur, pembebanan dan pengaruh gempa pada struktur.

2.4.1. Tinjauan Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Tinjauan ini diperlukan untuk mengetahui metode analisis yang akan digunakan untuk perencanaan struktur terhadap pengaruh gempa.

2.4.1.1. Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Metode analisis yang dapat digunakan untuk memperhitungkan pengaruh beban gempa terhadap struktur adalah sebagai berikut:

a. Metode analisis statik

Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh gempa secara statis, pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horisontal yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah dengan gaya-gaya statis ekuivalen, dengan tujuan penyederhanaan dan kemudahan di dalam perhitungan. Metode ini disebut metode gaya lateral statik ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Method*). Pada metode ini diasumsikan bahwa gaya horisontal akibat gempa yang bekerja pada suatu elemen struktur, besarnya ditentukan berdasarkan hasil perkalian antara suatu konstanta berat atau massa dari elemen tersebut.

b. Metode analisis dinamis

Analisis dinamis untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa. Analisis dinamis dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis. Pada acara elastis dibedakan analisis ragam riwayat waktu (*time history modal analysis*),

dimana pada cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan analisis ragam spektrum respons (*response spectrum modal analysis*), dimana pada cara ini respons maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari spektrum respons rencana (*design spectra*). Sedangkan pada analisis dinamis inelastis digunakan untuk mendapatkan respons struktur akibat pengaruh gempa yang sangat kuat dengan cara integrasi langsung (*direct integration method*).

2.5. Gempa Rencana, Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan

2.5.1. Gempa rencana

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

2.5.2. Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.1 untuk pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan menurut Tabel 2.2.

Tabel 2.1: Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726-2012).

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan dan perikanan Fasilitas sementara Gudang penyimpanan Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, III, IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: Perumahan Rumah toko dan rumah kantor Pasar	II

Tabel 2.1: *Lanjutan.*

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung perkantoran Gedung apartemen/rumah susun Pusat perbelanjaan/mall Bangunan industri Fasilitas manufaktur Pabrik</p>	<p>II</p>
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: Bioskop Gedung pertemuan Stadion Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat Fasilitas penitipan anak Penjara Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko 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: Pusat pembangkit listrik biasa Fasilitas penanganan air Fasilitas penanganan limbah Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko 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 dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	<p>III</p>
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: Bangunan-bangunan monumental Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan 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, angin badai, dan tempat perlindungan lainnya Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tsnggsp darurat. Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat. Struktur</p>	<p>IV</p>

Tabel 2.2: Faktor keutamaan gempa (SNI 1726-2012).

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

2.6. Analisa Berdasarkan Respon Spektrum

2.6.1. Persyaratan Jumlah Mode (ragam)

Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

2.7. Parameter Desain Kegempaan

Dalam perencanaan gempa diperlukan penentuan parameter-parameter desain kegempaan yang menggambarkan tingkat toleransi perubahan inelastik maupun kemampuan struktur dalam mereduksi gaya gempa elastis menjadi gaya gempa yang digunakan dalam perencanaan. Saat ini, ada beberapa pertimbangan informasi dalam literatur maupun *US codes* yang dapat digunakan secara rasional untuk desain kegempaan dinding geser pelat baja. Secara khusus, *US codes* tidak mempunyai nilai spesifik untuk nilai parameter desain gempa seperti faktor modifikasi respon atau faktor reduksi daktilitas (R), faktor kuat lebih struktur (Ω_0), dan faktor amplifikasi defleksi (Cd).

Faktor modifikasi respon R menggambarkan porsi kuat lebih struktur dan pengurangan gaya gempa karena aksi inelastik struktur. Menyadari banyak parameter kompleks yang mempengaruhi R , yang mana tidak secara baik dipahami dan dikembangkan dengan cara yang dipercaya saat ini, pendekatan matematikal untuk menentukan nilai R saat ini bisa menjadi pendekatan terbaik.

Faktor kuat lebih struktur Ω_0 , digunakan untuk mengamplifikasi gaya gempa dalam merencanakan elemen struktur secara spesifik dan detail sambungannya pada elemen lain yang saling berhubungan. Dengan membandingkan pada sistem struktur lain dan pertimbangan hasil penelitian yang ada, nilai Ω_0 sama dengan 2,5

ditujukan baik untuk dinding geser pelat baja dengan pengaku maupun dengan tidak pengaku baik itu terpasang pada sistem ganda maupun sistem standar (Astaneh, 2001).

Faktor amplifikasi defleksi C_d , digunakan untuk menaksir perpindahan lateral desain struktur hingga fraktur yang mana hanya diketahui perpindahan lateral elastik struktur yang diperoleh dari analisis elastik. Penentuan dari nilai tersebut dapat berdasarkan dengan konsistensi nilai untuk tiap sistem yang menunjukkan kekakuan, kekuatan dan perilaku pasca leleh maupun daktilitas sistem struktur yang serupa (Astaneh, 2001).

Tabel 2.3: Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa (SNI 1726-2012).

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons R	Faktor kuat lebih sistem Ω_0	Faktor pembebasan defleksi C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^e				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser beton bertulang khusus	6	2	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser beton bertulang biasa	6	2	5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	8	2	4	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7	2	6	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2	6	TB	TB	TB	48	TB
Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2	5	TB	TB	TI	TI	TI
Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	3	5	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 2.3: *Lanjutan*

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons R	Faktor kuat lebih sistem Ω_0	Faktor pembebanan defleksi C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^e				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2	5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser pelat baja khusus	8	2	6	TB	TB	10	TB	TB

2.7.1. Parameter Percepatan Terpetakan

Pembagian wilayah gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana yaitu parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_I (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respon spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik. Dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_I \leq 0,04g$ dan $S_s \leq 0,15g$, maka struktur bangunan boleh dimasukkan kedalam kategori seismik A dan cukup memenuhi persyaratan perancangan untuk kategori desain seismik A.

2.7.2. Kelas Situs

Berdasarkan SNI 1726-2012 sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasikan sebagai kelas situs SA , SB , SC , SD , SE , atau SF yang mengikuti definisi kelas situs. Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs-nya maka kelas situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF .

2.7.3. Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)

Berdasarkan SNI 1726-2012 untuk penentuan respon spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{MI}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan Pers. 2.3 dan 2.4.

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

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

Keterangan:

S_S : parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek;

S_I : parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

2.7.4. Spektrum Respon Desain

Untuk menentukan pengaruh gempa rencana pada struktur gedung, yaitu berupa beban geser dasar nominal statik ekuivalen pada struktur bangunan gedung beraturan, dan gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik ragam pertama pada struktur bangunan gedung tidak beraturan, untuk masing-masing wilayah gempa ditetapkan Spektrum Respons Gempa Rencana.

Secara umum spektrum respons adalah suatu diagram yang memberi hubungan antara percepatan respons maksimum suatu sistem satu derajat kebebasan (SDK) akibat suatu gempa masukan tertentu, sebagai fungsi dari faktor redaman dan waktu getar alami sistem SDK tersebut. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari Pers. 2.3.

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

1. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respon percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}
2. Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respon percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan Pers. 2.4.

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

Keterangan:

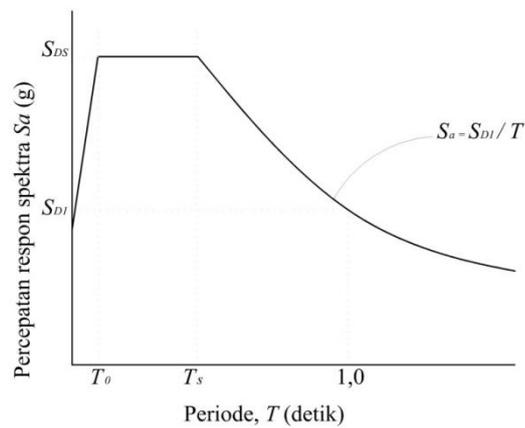
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1,0 detik

T = perioda getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} \quad (2.5)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \quad (2.6)$$



Gambar 2.1: Spektrum respon desain.

2.8. Properti Dinamik Struktur

2.8.1. Massa

Struktur bangunan yang tinggi dapat saja terjadi atas struktur bangunan gedung bertingkat banyak. Masing-masing struktur tersebut mempunyai distribusi massa yang berbeda-beda. Pada struktur bangunan gedung, beban struktur lebih banyak terkonsentrasi pada masing-masing tingkat dan dapat dianggap tersalur secara langsung ke masing-masing tingkat. Oleh karena itu massa struktur dapat dikatakan terkonsentrasi pada masing-masing tingkat.

Suatu struktur bangunan mempunyai beberapa karakter, ada yang massanya terkumpul menjadi satu dan ada juga yang terkumpul bebrapa tempat. Semakin banyak massa yang dapat didefinisikan maka umumnya semakin banyak derajat kebebasan yang terjadi. Dengan demikian banyaknya derajat kebebasan pada umumnya dapat dikaitkan dengan jumlah massa.

2.8.2. Kekakuan (*Stiffness*)

Kekakuan adalah salah satu dinamik karakteristik struktur bangunan yang sangat penting disamping massa bangunan. Antara massa dan kekakuan struktur mempunyai hubungan yang unik yang umumnya disebut karakteristik diri atau *eigenproblem*. Hubungan tersebut akan menentukan nilai frekuensi sudut (ω_i) dan perioda getar struktur (T_i). Kedua nilai ini merupakan parameter yang sangat penting dan sangat akan mempengaruhi respons dinamik struktur. Oleh karena itu permodelan struktur dalam menghitung kekakuan tingkat sangat diperlukan.

Menurut Budiono dan Supriatna (2011), kekakuan struktur dapat dilihat dari Pers. 2.8.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.7)$$

Dan

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.8)$$

Dimana:

T = Perioda struktur
F = Frekuensi struktur
 ω = Kecepatan sudut
K = Kekakuan struktur

Dengan demikian, semakin besar perioda struktur maka nilai kekakuan dari struktur tersebut semakin kecil, begitu pula sebaliknya.

Pada struktur yang kaku yang menjadi kriteria penentu adalah tegangan (*stress govern*). Pada struktur yang fleksibel kriteria penentu sudah akan menjadi *displacement govern*, yaitu nilai lendutan/simpangan yang terjadi. Pada kondisi seperti itu tegangan bahkan mungkin masih dalam kategori elastik, tetapi lendutan sudah cukup besar sehingga sudah tidak nyaman untuk ditempati (Pawirodikromo, 2012).

2.8.3. Distribusi Kekakuan Secara Vertikal

Kekakuan merupakan salah satu unsur penting terhadap kestabilan struktur bangunan. Struktur bangunan harus cukup kaku agar mampu menahan beban. Baik beban gravitasi maupun beban horisontal dengan nilai simpangan/*displacement* yang masih relatif kecil. Simpangan yang relatif besar walaupun tegangan bahannya masih relatif aman akan menjadi bangunan yang kurang/tidak nyaman untuk ditempati. Struktur atau elemen yang pendek umumnya akan ditentukan oleh keterbatasan tegangan sedangkan struktur/elemen yang besar/panjang umumnya simpangan akan menjadi penentu tingkat layanan.

Sebagaimana pada denah dan potongan, distribusi kekakuan secara vertikal menurut tinggi bangunan dipandang sebagai sesuatu yang sangat penting untuk diperhatikan. Menurut pengamatan kerusakan bangunan akibat gempa distribusi banyak diantaranya bersumber pada distribusi kekakuan secara vertikal yang tidak baik.

2.9. Simpangan Antar Lantai Tingkat dan Deformasi (*displacement*)

2.9.1. Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau seperti Gambar 2.5.

Defleksi pusat massa ditingkat x (δ_x) harus ditentukan sesuai dengan Pers. 2.9.

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.9)$$

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran defleksi

δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e = faktor keutamaan gempa

2.9.2. Skala Simpangan Antar Lantai

Jika respons terkombinasi untuk geser dasar ragam (V_i) kurang dari 85 persen dari $C_s W$, simpangan antar lantai harus dikalikan dengan $0,85 \frac{C_s W}{V_t}$.

2.10. Periode Fundamental 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 frekuensi alami struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur (Budiono dan Supritna, 2011).

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.2 tentang penentuan periode, Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.7 dan periode fundamental pendekatan, T_a .

Perioda fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari Pers. 2.10 dan 2.11.

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

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.10)$$

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

$$T_a = C_u T_{a \text{ minimum}} \quad (2.11)$$

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, diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

x = Ditentukan dari Tabel 2.5

C_t = Ditentukan dari Tabel 2.5

C_u = Ditentukan dari Tabel 2.4

Tabel 2.4: Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung (SNI 1726-2013).

Parameter percepatan respons	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Tabel 2.5: Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x (SNI 1726-2012).

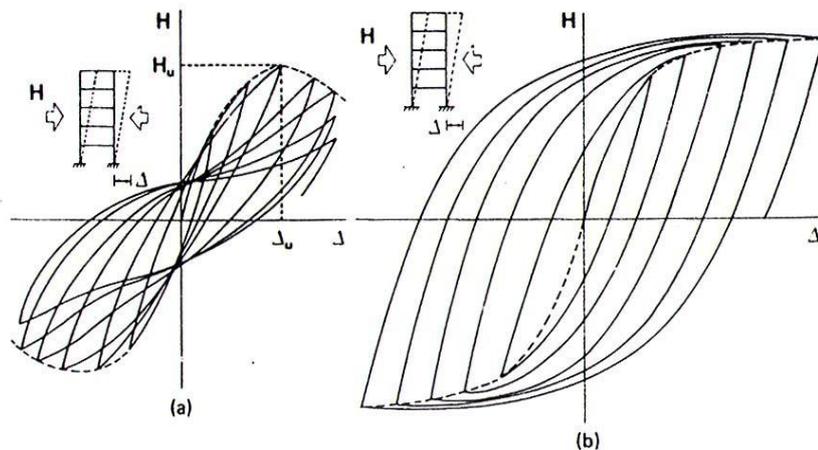
Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa :		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9

Tabel 2.5: *Lanjutan*

Tipe Struktur	Ct	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa :		
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

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 2.3 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 2.2.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 2.2.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 2.2: Perilaku struktur akibat pembebanan horisontal berulang, (a). Perilaku struktur yang buruk, (b). Perilaku struktur yang baik.

Struktur pada Gambar 2.2.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.

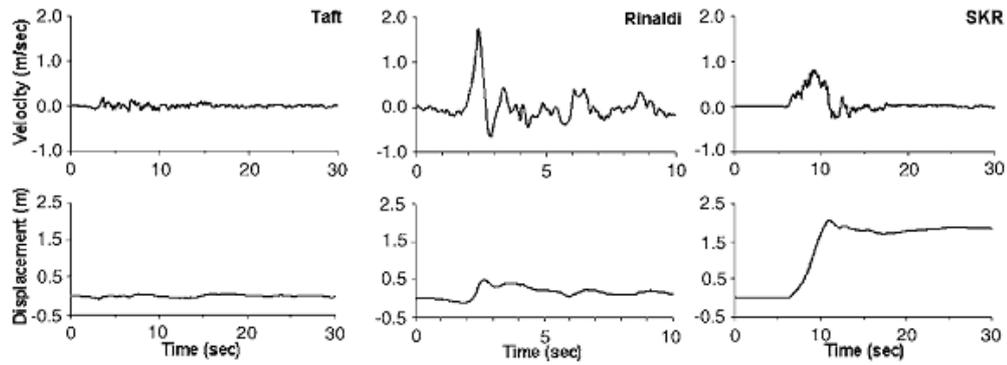
2.11.1. Getaran Gempa Pulse dan No Pulse

Respon struktur terhadap getaran gempa di dekat patahan dapat dibedakan menjadi dua bagian berdasarkan perbedaan pola perpindahan riwayat rekamannya yaitu bergantung pada proses patahan dan efek kesesuaian direktivitas.

Ketika rambatan patahan menuju lokasi dan arah slip patahan sejajar dengan lokasi, maka pola getaran gempa dapat menyebabkan perioda panjang, perioda pendek dan amplitudo yang besar yang kesemuanya memiliki lonjakan yang signifikan.

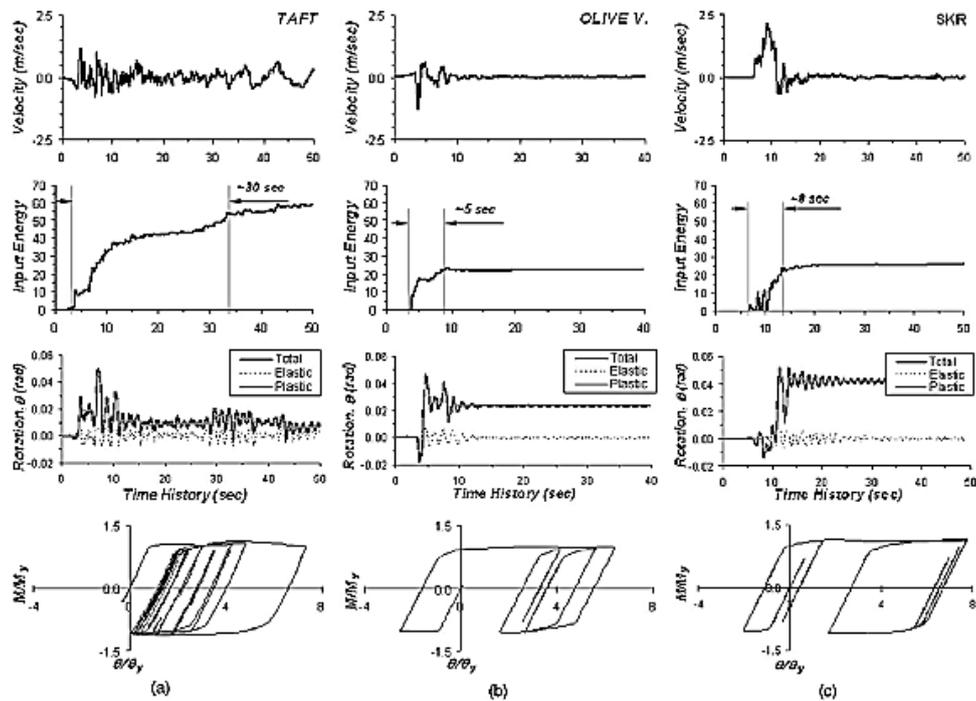
Salah satu karakteristik gempa *fling step* merupakan jenis gempa dekat yang tidak sekuat getaran gempa *forward directivity* namun memiliki lonjakan/perpindahan yang ditandai bersifat monotonik dan amplitudo kecepatan

yang besar ditunjukkan pada Gambar 2.3, di mana terlihat bahwa kecepatan gempa pada Gambar 2.3b menunjukkan lonjakan yang sangat signifikan pada periode tertentu.



Gambar 2.3. Tipikal kecepatan dan perpindahan rekaman gempa a) *far-fault*, b) *near-fault (forward directivity)*, dan c) *near-fault (fling-step)*. (Kalkan dkk, 2006)

Dalam penelitiannya, Kalkan dan Kunnath (2006) membuat pemodelan struktur yang terbuat dari kolom baja mendapatkan hasil model histerisis dan kurva rotasi kolom seperti pada Gambar 2.3 di bawah ini. Gambar 2.3 menunjukkan hasil perilaku siklik yang berbeda akibat jenis getaran gempa yang berbeda juga. Perilaku siklik yang ditunjukkan pada Gambar 2.3a merupakan akibat gempa jauh dengan pola perpindahan yang teratur, namun akibat gempa forward directivity dan gempa dekat (Gambar 2.3b & Gambar 2.3c) menunjukkan perilaku siklik yang sangat signifikan lonjakan perpindahannya. Hal ini dapat berakibat fatal bagi struktur.



Gambar 2.4. Kebutuhan siklik pada kolom akibat a) *far-fault* TAFT, b) *near-fault* (*forward directivity*) Olive V., dan c) *near-fault* (*fling-step*) SKR. (Kalkan dkk. 2006).

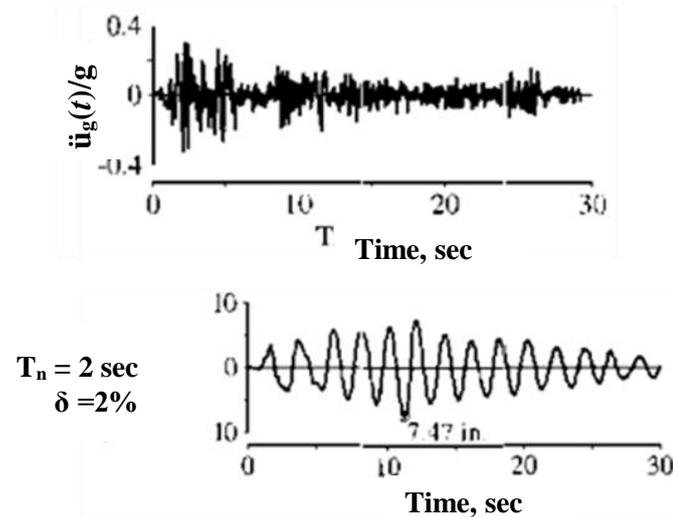
2.12. Analisis Dinamika Struktur

Analisis dinamik riwayat waktu adalah analisis dinamik dimana pada model struktur diberikan catatan rekaman gempa dan respons struktur dihitung langkah demi langkah pada interval waktu tertentu. Pada analisa dinamik riwayat waktu, beban gempa yang dimasukkan dalam pembebanan struktur adalah rekaman gerakan tanah (*ground motion*) dari gempa-gempa yang telah terjadi.

2.12.1. Perilaku Struktur Linear dan Non-Linear

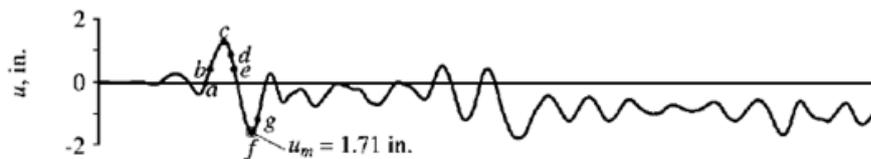
Struktur Linear adalah struktur yang tidak mengalami perubahan Massa (M), Redaman (C), dan Kekakuan (K) dalam kondisi apapun. Analisa dalam kondisi ini biasanya digunakan dengan asumsi bahwa struktur direncanakan selalu berada dalam kondisi elastis, atau sifat struktur dapat kembali ke posisi awal setelah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

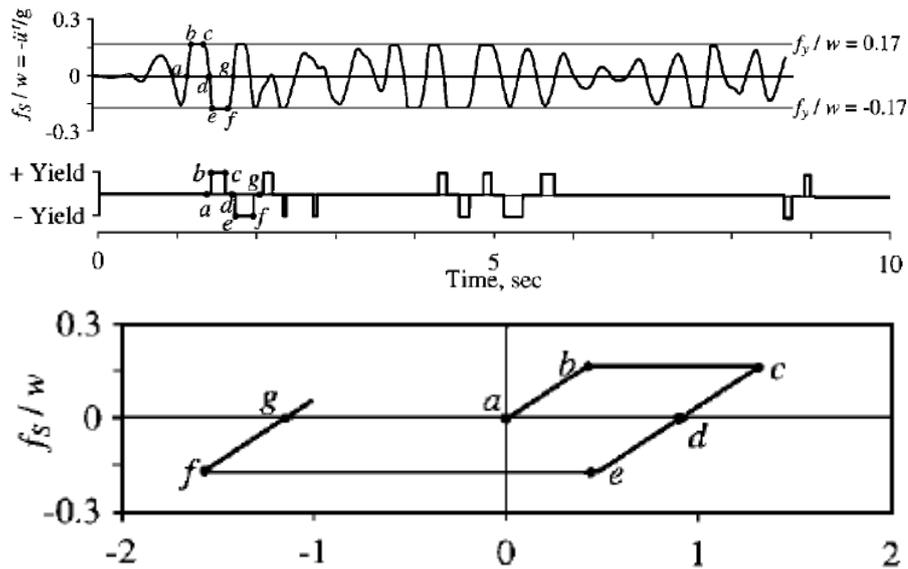
Dapat dilihat pada Gambar 2.5, sebuah struktur SDOF yang bersifat linear diberikan beban percepatan gempa. Simpangan akhir, setelah beban berhenti bekerja, kembali ke kekaadaan awal.



Gambar 2.5: 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.



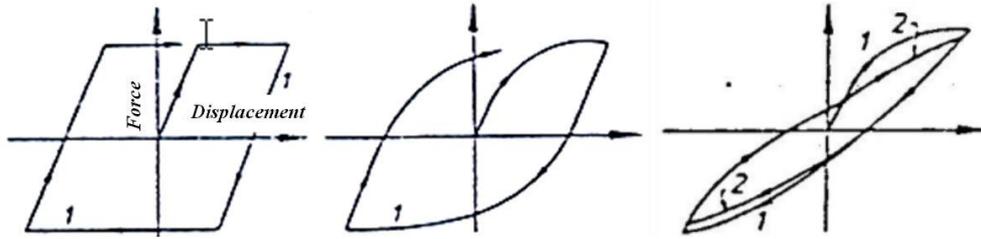


Gambar 2.6: SDoF Non-Linear (a) Simpangan; (b) Gaya Yang ditahan; (c) Interval Waktu Pelelehan; (d) Grafik Hubungan Gaya-Simpangan (Gavin, 2014).

Gambar 2.6 di atas 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.

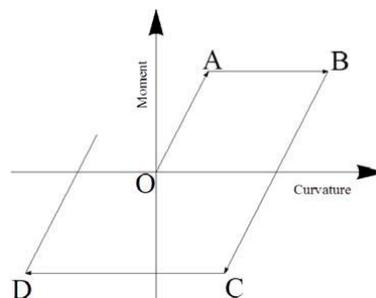
Kemampuan sebuah struktur atau komponen untuk menahan respon inelastik, termasuk lendutan terbesar dan menyerap energi, disebut daktilitas. Pada dasarnya daktilitas dibagi atas beberapa jenis. Hal ini terjadi karena adanya beberapa pengertian yang timbul. Pengertian daktilitas dapat ditinjau dari tiga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

$$\mu_{\Delta} = \frac{\mu_{max}}{\mu_{yield}}, \text{ atau } \mu_{\phi} = \frac{\mu_{max}}{\mu_{yield}} \quad (2.12)$$



Gambar 2.7: *Histerisis loop* pada elemen (Gavin, 2014)

Gambar 2.7 menunjukkan gambar *hysteretic loop* yang terjadi pada elemen. Gambar 2.30 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 2.8: *Idealized Moment - Curvature Hysteretic Loop* (Gavin, 2014)

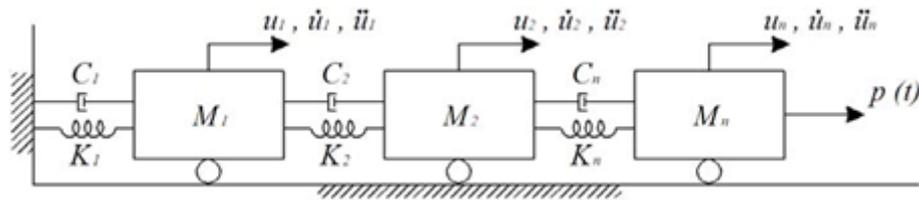
2.13. Sistem Planar Asimetris: Getaran Gempa Translasi

Perhitungan respons dinamik struktur terhadap pengaruh Gempa Rencana, dapat dilakukan dengan metoda analisis dinamik tiga dimensi berupa analisis respons dinamik linier dan non-linier riwayat waktu dengan suatu akselerogram gempa yang dianggakan sebagai gerakan tanah masukan. Respon dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode integrasi langsung.

Analisa Riwayat waktu digunakan untuk menganalisa respons dinamik struktur yang menerima beban yang berubah-ubah terhadap waktu. Persamaan dinamik dari struktur seperti ini ditunjukkan dengan (Chopra, 2000):

$$[M]\ddot{u}(t) + [C]\dot{u}(t) + [K, K_{nc}]u(t) = \{p(t)\} \quad (2.13)$$

Di mana $[M]$ adalah matriks massa struktur; $[C]$ adalah matriks redaman struktur; $[K, K_{nc}]$ adalah matriks kekakuan struktur dan kekakuan pada saat struktur mengalami kondisi plastis; $u(t)$ adalah simpangan yang berubah terhadap waktu; $\dot{u}(t)$ adalah kecepatan yang berubah terhadap waktu; $\ddot{u}(t)$ adalah percepatan dari struktur yang berubah terhadap waktu; dan $p(t)$ adalah vektor gaya yang bekerja pada struktur yang berubah terhadap waktu.



Gambar 2.9: Sistem Massa – Kekakuan – Redaman.

Dari persamaan dinamik (2.13) di atas, dapat dilihat bahwa elemen penting dari suatu struktur adalah Massa (M), Redaman (C), dan Kekakuan (K) struktur. Gambar 2.10 menggambarkan model sistem Massa-Kekakuan-Redaman untuk struktur dengan banyak derajat kebebasan.

Nilai M , C , dan K terbentuk dalam sebuah matriks yang mewakili bentuk dan sistem struktur. Untuk struktur sederhana dan beraturan biasanya matriks M akan tersusun seperti berikut (Chopra, 2000):

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \ddots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & m_n \end{bmatrix} . \quad (2.14)$$

Sedangkan matrix K untuk struktur sederhana dan beraturan biasanya akan terbentuk seperti berikut (Chopra, 2000):

$$[M] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_1 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_2 + k_3 & -k_2 & 0 \\ 0 & -k_2 & \ddots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & k_n \end{bmatrix} \cdot \quad (2.15)$$

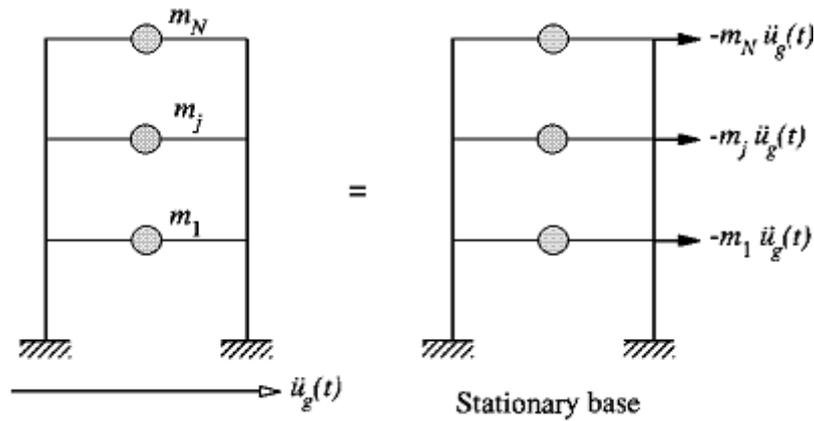
Dengan 1, 2,..., n adalah tingkat ke-n, pada struktur dengan banyak derajat kebebasan. Pada umumnya nilai pada matriks $[M]$ dan $[K]$ akan mengisi diagonal matriks, seperti pada contoh matriks di atas. Sedangkan nilai C pada struktur akan berpengaruh pada bagaimana struktur menyerap energi yang bekerja pada struktur. Hal ini ditunjukkan oleh simpangan yang terjadi pada struktur tersebut.

Semakin kecil redaman struktur, semakin besar simpangan yang terjadi. Begitu juga sebaliknya, semakin besar redaman struktur, semakin kecil simpangan yang terjadi. Nilai C pada dasarnya akan bekerja efektif pada daerah resonansi struktur saja, selebihnya besarnya nilai C tidak akan memberikan efek yang sangat signifikan.

Ada beberapa pilihan tipe Analisa Riwayat waktu yang dapat digunakan, yaitu:

1. 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. Transien atau Periodik. Analisa Transien terjadi jika beban yang diberikan memiliki waktu yang dibatasi, dengan kata lain beban berhenti pada waktu tertentu. Sedangkan analisa Periodik terjadi jika beban yang diberikan berulang-ulang dengan batas waktu yang tidak ditentukan.
3. Modal Analysis atau *Direct-integration*. Ada dua tipe metode penyelesaian, masing metode mempunyai kelebihan dan kekurangan. Tetapi pada dalam keadaan yang ideal, kedua metode ini memberikan hasil yang kurang lebih sama.

Sistem dengan *Multi Degree of Freedom* (MDoF) dengan kasus sederhana adalah perpindahan pada arah yang sama akibat getaran gempa seperti yang ditunjukkan Gambar 2.32 bangunan penahan lateral.



Gambar 2.10: Gaya efektif gempa (Chopra, 2000).

Percepatan getaran gempa \ddot{u}_g , total perpindahan dari massa m_j adalah u_j^t . Maka dapat dibuat persamaan gerak untuk MdoF kondisi elastik linier sebagai berikut (Chopra, 2000):

$$\mathbf{m}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{c}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{k}\mathbf{u}(t) = -\mathbf{m}\mathbf{1}\ddot{u}_g(t) \quad (2.16)$$

Di mana gaya eksternal $= -\mathbf{m}\mathbf{1}\ddot{u}_g(t)$ adalah satu dan sama, sehingga gaya efektif gempa (\mathbf{P}_{eff}) dapat dirumuskan (Chopra, 2000):

$$\mathbf{P}_{eff}(t) = -\mathbf{m}\mathbf{1}\ddot{u}_g(t) \quad (2.17)$$

2.14. Pengaruh Damping Pada Bangunan

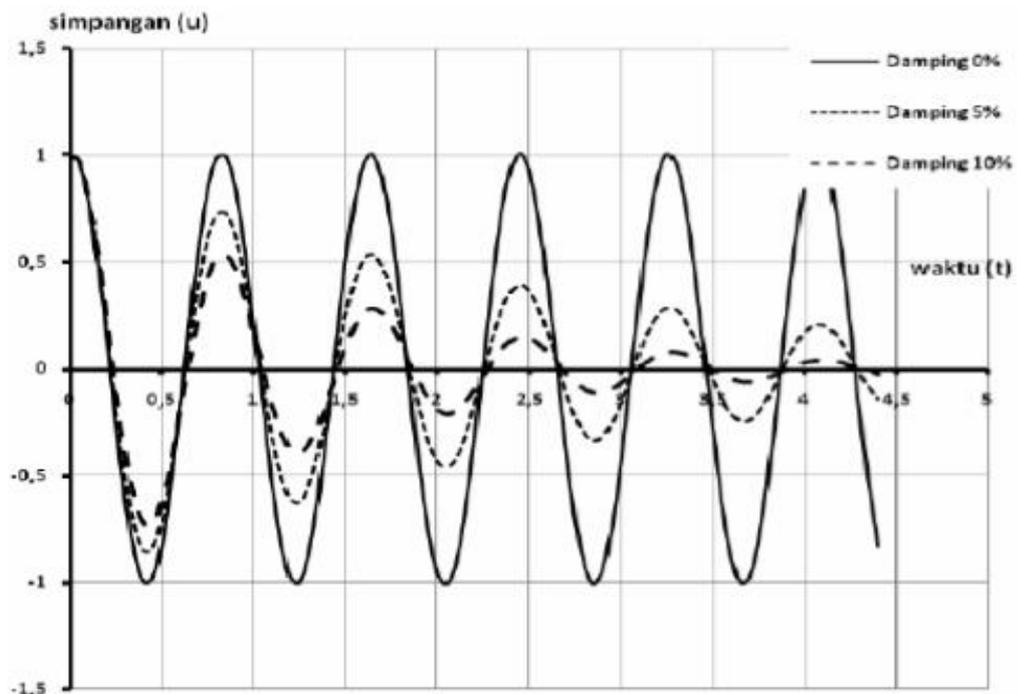
Damping dalam struktur yang juga disebut inherent damping, yaitu damping yang berasal dari gesekan antara struktur dengan bagian non struktur, gesekan udara dan plastisitas bahan setelah struktur mengalami deformasi inelastic. Besarnya damping tersebut sekitar 1% sampai 5% bergantung pada jenis dan kekakuan struktur.

Damper mendissipasi energi yang masuk ke struktur dengan cara merubah energi tersebut menjadi kalor (panas), sehingga simpangan struktur menjadi kecil.

Peran damping antara lain adalah:

1. Menyebabkan getaran berhenti
2. Mengurangi simpangan saat resonansi
3. Memperkecil respon simpangan

Bila suatu struktur tanpa damping, getaran struktur tidak akan berhenti, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3 untuk getaran bebas tanpa damping (undamped free vibration) atau 0% damping, amplitude getaran akan tetap dan berulang – ulang terus tanpa berhenti, sedangkan getaran dengan damping (damped vibration) yang ditunjukkan oleh kurva dengan damping 5% dan kurva dengan 10%, amplitude getaran semakin mengecil terhadap waktu. Makin besar damping dari suatu sistem, semakin cepat amplitude getaran berkurang dan semakin cepat berhenti bergetar.



Gambar 2.11: Getaran bebas tanpa damping dan getaran bebas dengan damping (Mahadianto; 2000)

Rentang frekuensi gempa yang berdekatan dengan frekuensi struktur akan mengakibatkan resonansi atau pembesaran respon struktur yang dikenal dengan istilah factor amplikasi struktur. Percepatan gempa akan menimbulkan gaya inersia yang menyebabkan struktur berespon relatif terhadap tanah. Besarnya amplikasi ditentukan dengan faktor dinamis (magnification factor) yang berbanding terbalik dengan besarnya faktor damping ξ , yaitu, $R_d = \frac{1}{2\xi}$.

2.14.1. Pengaruh Damping Terhadap Respon Spektrum Gempa

Metode analisa dinamis respon spektrum gempa merupakan metode yang paling sederhana dalam menentukan respon suatu sistem struktur, untuk menentukan respon maksimum tersebut hanya diperlukan variabel waktu getar (T). Kurva respon spektrum gempa digambarkan dari hubungan respon maksimum terhadap waktu getar, respon maksimum tersebut dihitung dari suatu sistem SDOF dengan berbagai waktu getar dan suatu input gempa tertentu.

Nilai persentase damping ξ yang digunakan untuk penentuan kurva response spektrum biasanya sebesar 5 %. Pada penjelasan sebelumnya kita ketahui bahwa damping akan memperkecil respon dari getaran, jadi semakin tinggi nilai damping maka semakin kecil pula response yang terjadi yaitu termasuk respon simpangan.

Untuk menentukan pengurangan nilai respon akibat besar damping yang berbeda digunakan suatu faktor pengali yang disebut juga faktor damping. Faktor tersebut merupakan faktor pengali atau koreksi terhadap respon spektrum getaran dengan damping 5 %.

2.14.2. Damping Klasik

Apabila dalam sistem struktur memakai bahan yang sama bahannya mempunyai rasio redaman (damping ratio) yang relative kecil dan struktur damping dijepit didasarnya maka sistem struktur tersebut mempunyai damping yang bersifat klasik (classical damping). Damping dengan sistem ini akan memenuhi kaidah kondisi orthogonal (orthogonality condition).

2.14.3. Damping Nonklasik

Damping dengan sistem ini akan terbentuk pada suatu sistem struktur yang memakai bahan yang berlainan yang mana bahan-bahan yang bersangkutan mempunyai rasio redaman yang berbeda secara signifikan. Sebagai contoh suatu bangunan yang bagian bawahnya dipakai struktur beton bertulang sedangkan bagian atasnya memakai struktur baja. Antara keduanya mempunyai kemampuan disipasi energi yang berbeda sehingga keduanya tidak bias membangun redaman yang klasik. Adanya interaksi antara tanah dengan struktur juga akan membentuk sistem redaman yang non-klasik, karena tanah mempunyai redaman yang cukup besar misalnya antara 10-25 %, sedangkan struktur atasnya mempunyai rasio redaman yang relative kecil, misalnya 4-7 %.

2.14.4. Kekakuan

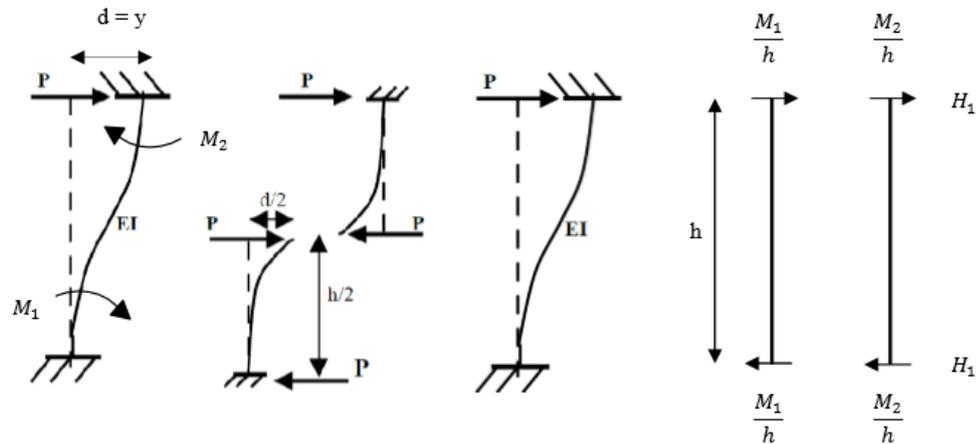
Kekakuan adalah salah satu dinamik karakteristik struktur bangunan yang sangat penting disamping massa bangunan. Antara massa dan kekakuan struktur akan mempunyai hubungan yang unik yang umumnya disebut karakteristik diri atau Eigenproblem. Hubungan tersebut akan menentukan nilai frekuensi sudut ω , dan periode getar struktur T . Kedua nilai ini merupakan parameter yang sangat penting dan akan sangat mempengaruhi respon dinamik struktur.

2.14.4.1. Kekakuan Kolom

Pada prinsip bangunan geser (shear building) balok pada lantai tingkat dianggap tetap horizontal baik sebelum maupun sesudah terjadi pergoyangan. Adanya plat lantai yang menyatu secara kaku dengan balok diharapkan dapat membantu kekakuan balok sehingga anggapan tersebut tidak terlalu kasar. Pada prinsip desain bangunan tahan gempa dikehendaki agar kolom lebih kuat dibandingkan dengan balok, namun demikian rasio tersebut tidak selalu linear dengan kekakuannya. Dengan prinsip shear building maka dimungkinkan pemakaian lumped mass model. Pada prinsip ini, kekakuan setiap kolom dapat dihitung berdasarkan rumus yang telah ada. Pada prinsipnya, semakin kaku balok maka semakin besar kemampuannya dalam mengekang rotasi ujung kolom,

sehingga akan menambah kekuatan kolom. Perhitungan kekakuan kolom akan lebih teliti apabila pengaruh plat lantai diperhitungkan sehingga diperhitungkan sebagai balok T.

Kekakuan kolom jepit-jepit dirumuskan sebagai berikut:



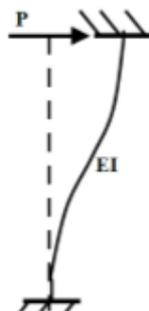
$$M_1 = \frac{6EI}{h^2} y \quad \text{dan} \quad M_2 = \frac{6EI}{h^2} y$$

$$H_1 = \frac{12EI}{h^3} y$$

Karena $K = \frac{P}{y}$ dan $P = H_1$, maka :

$$K = \frac{H_1}{y} = \frac{12EI}{h^3} \quad (2.2)$$

Sedangkan kekakuan jepit-sendi dapat dihitung sebagai berikut:



$$M = \frac{3EI}{h^2} y \quad \text{dan} \quad H = \frac{M}{h} = \frac{3EI}{h^3} y$$

$$K = \frac{H}{y} = \frac{3EI}{h^3}$$

Dimana:

K = Kekakuan kolom (Kg/cm)

E = Elastisitas (Kg/cm²)

I = Inersia kolom (cm⁴)

h = tinggi kolom (cm)

Struktur bangunan umumnya didukung oleh beberapa kolom. Kolom – kolom tersebut fungsi utamanya adalah bersama – sama menahan beban baik secara vertical maupun horizontal. Kolom – kolom tersebut berarti akan memperkuat satu sama lain dalam menahan beban. Kolom pada bangunan dimodelkan sebagai pegas yang dalam menahan beban dapat dianggap sebagai rangkaian seri maupun parallel tergantung arah beban vertical atau horizontal. Ciri – ciri rangkaian kolom parallel adalah apabila kolom – kolom tersebut berhubungan dengan massa secara bersamaan. Pegas parallel menganut prinsip persamaan regangan, artinya seluruh pegas mengalami regangan yang sama, sehingga kekakuan total yang merupakan kekakuan ekuivalen dapat dihitung menurut rumus :

$$K_{eq} = \sum_{i=1}^n K_i \quad (2.18)$$

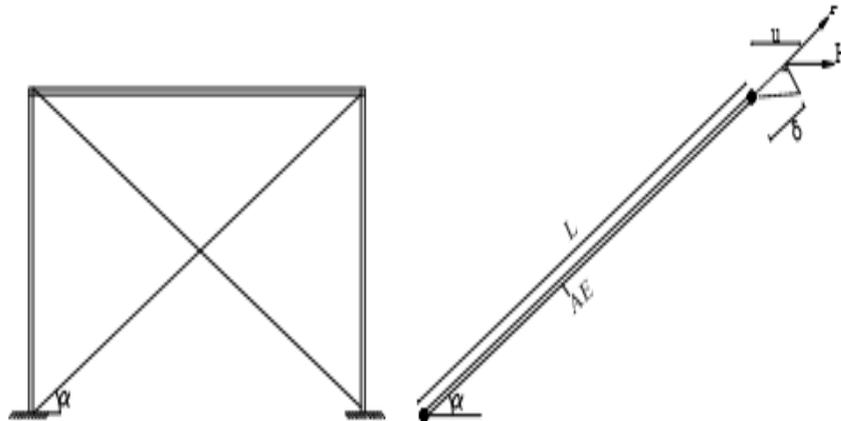
Pada rangkaian pegas seri, didapat kekakuan ekuivalen menurut rumus,

$$\frac{1}{K_{eq}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i} \quad (2.19)$$

Yang mana $i = 1, 2, 3, \dots, n$ adalah jumlah kolom, K_i adalah kekakuan kolom i menurut pers. (2.18) atau pers. (2.19).

2.14.4.2. Kekakuan Elemen Bresing

Untuk mengurangi terjadinya simpangan horizontal yang berlebihan, suatu struktur kadang – kadang dipasang sistem bresing, terutama pada struktur baja. Dengan adanya sistem ini maka struktur akan menjadi kaku, karena bresing mempunyai kekakuan yang cukup besar. Walaupun sistem bresing dibuat bersilangan (dua arah), namun demikian sistem ini hanya akan bekerja dalam satu arah saja yaitu arah tarik. Hal ini terjadi karena pada arah desak struktur, elemen bresing akan mudah sekali mengalami tekuk (buckling).



Gambar 2.12: Struktur dengan bresing.

Menurut prinsip mekanika, pada suatu batang tarik akan diperoleh hubungan,

$$P = \frac{A.E}{L} \delta \quad (2.20)$$

Dimana $\delta = u \cos \alpha$, dan $H = P \cos \alpha$, maka akan diperoleh,

$$H = P = \frac{A.E}{L} u \cos^2 \alpha \quad (2.21)$$

Kekakuan merupakan gaya/perpindahan, $K = \frac{H}{u}$, maka

$$Kb = \frac{A.E}{L} \cdot \cos^2 \alpha \quad (2.22)$$

Dimana nilai $\alpha = \text{arc.tan} \frac{h}{a}$ (2.23)

2.15. Model Struktur Sebagai Sistem Derajat-Kebebasan Tunggal

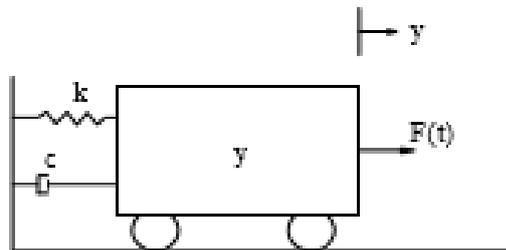
2.15.1. Sistem Derajat Kebebasan-Tunggal (SDOF) Tak Teredam

Dalam dinamika struktur, jumlah kordinat bebas,(independent coordinates) diperlukan untuk menetapkan susunan atau posisi sistem setiap saat, yang berhubungan dengan jumlah derajat-kebebasan (degrees of freedom). Pada umumnya struktur berkesinambungan (continuous structure) mempunyai jumlah

derajat kebebasan (number of degrees of freedom) tak berhingga. Namun dengan proses idealisasi atau seleksi, sebuah model matematis yang tepat dapat mereduksi jumlah derajat kebebasan menjadi suatu jumlah diskrit dan pada beberapa keadaan dapat menjadi berderajat-kebebasan-tunggal (SDOF). Pada analisa dinamis SDOF dimodelisasikan sebagai sistem dengan koordinat perpindahan tunggal. Secara matematis sistem berderajat – kebebasan – tunggal ini dapat dimodelkan pada gambar 2.2 yang mempunyai elemen – elemen sebagai berikut:

1. Elemen massa m menyatakan massa dan sifat inersia struktur.
2. Elemen pegas k menyatakan kapasitas gaya balik elastic (elastic restoring force) dan kapasitas energy potensial dari struktur.
3. Elemen redaman c yang menyatakan sifat geseran dan kehilangan energy dari struktur.
4. Gaya pengaruh $F(t)$ yang menyatakan gaya luar yang bekerja ada sistem struktur.

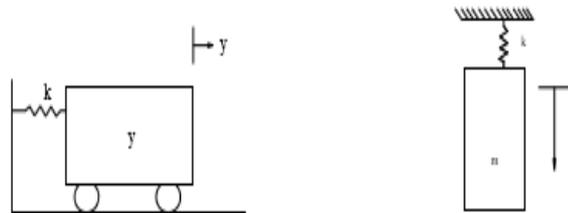
Dengan mengambil model matematis pada Gambar 2.13 dianggap bahwa tiap elemen dalam sistem menyatakan suatu sifat khusus, yaitu massa m yang hanya dianggap menyatakan sifat khusus inersia bukan elastisitas dan redaman, pegas k menyatakan elastisitas bukan inersia atau redaman, dan redaman c menyatakan kehilangan energi.



Gambar 2.13: Model matematis untuk sistem berderajat-kebebasan-satu.

Pada sistem yang tak teredam elemen c dianggap tidak ada atau diabaikan pada struktur tersebut. Sistem berderajat – kebebasan satu tak teredam sering dihubungkan dengan osilator sederhana tak teredam (simple undamped oscillator

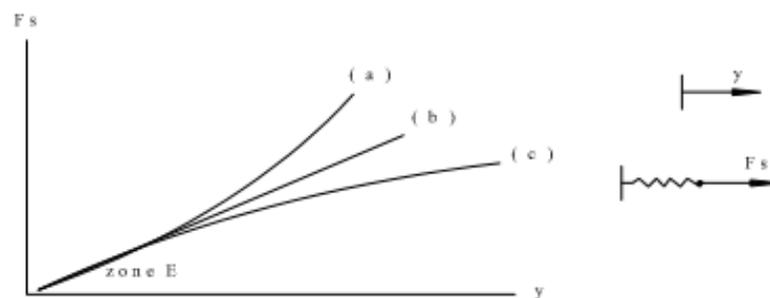
) yang selalu disajikan seperti Gambar 2.3(a) atau Gambar 2.3(b). Pada model ini massa m dihangatkan oleh pegas k dan bergerak menurut garis lurus sepanjang satu sumber koordinat. Karakteristik mekanis dari pegas digambarkan antara besar gaya F_s yang bekerja pada ujung pegas dengan hasil perpindahan y seperti Gambar 2.14 yang menunjukkan grafis tiga jenis pegas yang berbeda.



Gambar 2.14: Beberapa bentuk alternative dari model matematis sistem derderajat kebebasan-satu.

Lengkungan (a) pada gambar 2.15 menyatakan sifat dari pegas kuat (hardspring) dimana gaya harus memberikan pengaruh lebih besar dari pada suatu perpindahan yang disyaratkan seiring dengan terdefomasinya pegas. Pegas kedua (b) disebut pegas linear (linear spring), karena deformasinya selaras (proporsional) dengan gaya dan gambaran grafisnya mempunyai karakteristik garis lurus. Konstanta keselarasan (constant of roportionalitiy) antara gaya dan perpindahan [kemiringan garis (b) dari pegas linear disebut konstanta pegas (spring constant), yang biasanya dinyatakan dengan huruf k . Sehingga, kita dapat menulis hubungan antara gaya dan perpindahan pegas linier sebagai berikut.

$$F_s = K \cdot y \tag{2.24}$$



Gambar 2.15: Hubungan gaya dan perpindahan (a) pegas kuat, (b) pegas linier, (c) pegas lemah.

Pegas dengan karakteristik lengkungan (c) pada gambar 2.15 disebut pegas lemah (soft spring). Untuk pegas jenis ini, penambahan gaya untuk memperbesar perpindahan cenderung mengecil pada saat deformasi pegas menjadi semakin besar. Pegas linier adalah bentuk yang paling sederhana untuk dianalisa. Karena karakteristik elastic dari sistem struktur pada dasarnya linear, atau mungkin karena kemudahan dalam menganalisa, selalu diasumsikan sifa deformasi gaya dari sistem adalah linier. Perlu dicatat bahwa dalam praktek banyak kondisi dimana perpindahan akibat gaya luar struktur adalah kecil (zona E) jadi pendekatan linier sangat dekat dengan sifat asli struktur.

2.15.2. Sistem Derajat Kebebasan-Tunggal (SDOF) Teredam

Pada osilator sederhana dengan kondisi ideal tak teredam akan tetap bergetar dengan amplitudo konstan pada frekuensi naturalnya. Pengalaman menyatakan bahwa tidak ada suatu alat yang bergetar dengan kondisi yang ideal ini. Gaya – gaya yang dinyatakan sebagai gesekan (friction) atau gaya redam (damping force) selalu ada pada tiap sistem yang bergerak. Gaya – gaya ini melepaskan (dissipate) energy, adanya gaya – gaya geser yang tak dapat diabaikan, membentuk suatu mekanisme energi mekanis, energi kinetic maupun energi potensial yang ditransformasikan ke bentuk energy lain, misalnya panas.

2.16. Pengenalan Jenis-Jenis Seismic Device

Upaya untuk mengatasi kerusakan-kerusakan yang terjadi pada struktur akibat gempa dan sebagainya dengan memberikan alat tambahan ke struktur, untuk membatasi energi atau mendissipasi energi gempa yang masuk ke bangunan. Alat-alat tersebut dikenal dengan *Seismic Devices*. Dengan menambah alat-alat tersebut, energi gempa yang masuk ke struktur dapat direduksi dan dikontrol sehingga gaya-gaya dan simpangan struktur menjadi kecil, dengan demikian bangunan dapat direncanakan dalam keadaan elastis untuk kejadian gempa besar dengan biaya yang cukup ekonomis.

Hal ini diterapkan dikarenakan bertambahnya jumlah penduduk yang sangat pesat tidak sebanding dengan lahan untuk tinggal yang tersedia sehingga sangat diperlukannya gedung-gedung bertingkat tinggi.

Seismic devices pada umumnya dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu :

1. *Actived seismic device*
2. *Passived seismic device*
3. *Based Isolator device*

Actived seismic device bekerja pada saat gempa terjadi dengan cara menerima data getaran dari sensor yang dipasang disekeliling struktur, melalui komputer data tersebut digunakan untuk mengatur besarnya gaya gempa yang dibutuhkan untuk melawan gaya gempa yang terjadi sesuai dengan input gempa ke bangunan, namun *actived seismic device* memerlukan perawatan yang lumayan mahal

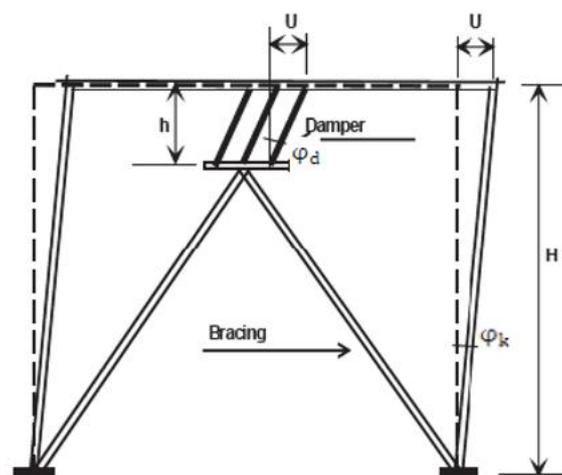
Passived seismic devices bekerja atau bereaksi setelah energi gempa masuk ke struktur, pada umumnya reaksi *seismic device* semakin besar bila response struktur atau energi yang masuk semakin besar. *Passived seismic devices* sesuai fungsinya, secara garis besar dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu yang bersifat isolasi dan yang bersifat *dissipasi energy*. Jenis yang pertama disebut *seismic Isolator* dan yang kedua disebut *Damper* , salah satunya seperti *Metallic Yeilding Damper*, *Base isolator device* terbuat dari bantalan karet , bantalan karet ini tergolong murah, dan bukan merupakan alat berteknologi tinggi. Bantalan yang digunakan untuk melindungi gempa bumi dibuat dari kombinasil empengan karet alam dan lempeng baja. Bantalan tersebut dipasang disetiap kolom yaitudiantara pondasi dan bangunan. Karet alam berfungsi untuk mengurangi getaran akibat gempa bumi sedangkan lempeng baja digunakan untuk menambah kekakuan bantalan karet sehingga penurunan bangunan saat bertumpu diatas bantalan karet tidak besar.

Seismic device yang umum digunakan adalah *Passived seismic devices* hal ini dikarenakan metode tersebut lebih praktis diterapkan dan biaya yang lebih murah jika dibandingkan dengan *Actived seismic device*. *Seismic device* ini dibagi menjadi beberapa sesuai dengan cara pemasangannya yaitu *friction damper, metallic damper, viscoelastic damper, viscous damper*.

2.16.1. *Mettalic Yeilding Damper*

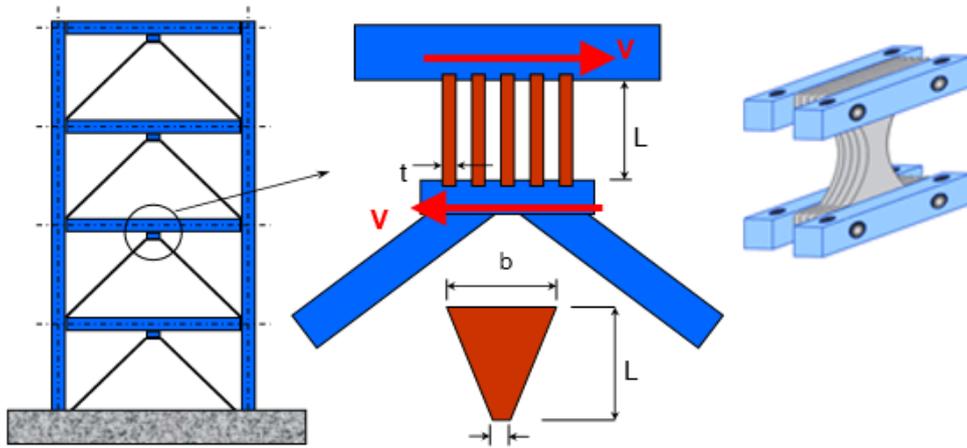
2.16.1.1. *Cara Kerja dan Jenis-Jenis Mettalic Yeilding Damper*

Alat ini bekerja atau bereaksi setelah energi gempa masuk ke struktur, pada umumnya reaksi seismic device semakin besar bila response struktur atau energi yang masuk semakin besar kemudian suatu elemen struktur akan mengalami kelelahan sehingga suatu struktur akan tetap aman ketika gempa atau guncangan keras terjadi.



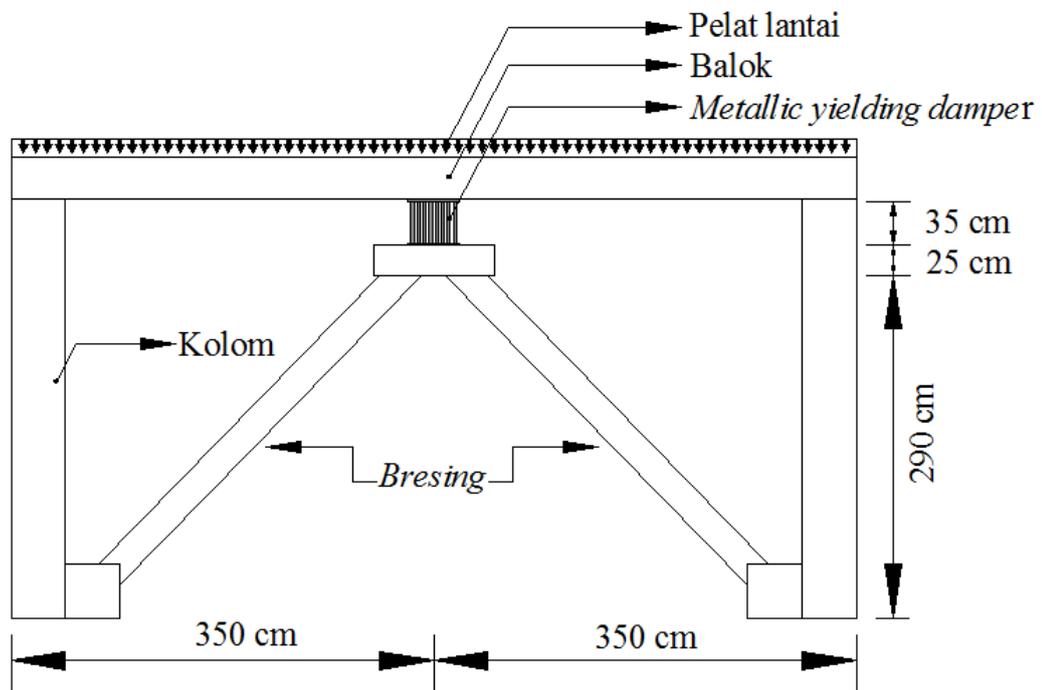
Gambar 2.16: Deformasi plastis pada struktur bertingkat satu.

Simpangan antar lantai akan menyebabkan bagian atas pelat ADAS berpindah secara horizontal yang relatif terhadap pelat bawah damper tersebut. Dengan melelehnya suatu volume yang besar dari pelat ADAS tersebut energi gempa dapat didissipasi. ADAS harus memiliki daktailitas yang besar karena pada damper akan terjadi deformasi sebesar u yang sama besar dengan deformasi kolom. Pada kolom yang berdeformasi memiliki sudut rotasi sebesar ϕ_k yang mana jika tinggi kolom tersebut adalah 3,75 m dan ketinggian dari metallic yielding damper adalah 50cm dengan sudut rotasi sebesar ϕ_d , maka $\phi_k \cdot 3,75 = \phi_d \cdot 50$, akan didapat bahwa $\phi_d = 7,5 \times \phi_k$. Dapat dilihat bahwa damper harus dapat mengalami sudut putaran yang jauh lebih besar dari sudut putaran penampang kolom.



Gambar 2.16: Bentuk metallic yielding damper (FEMA, 2004)

Pemasangan damper ini dihubungkan dengan sebuah bracing maka ketika gempa atau guncangan kuat terjadi kekuatan struktur akan bertambah dan mengurangi deformasi yang akan terjadi sehingga struktur akan lebih kuat.



Gambar 2.17: Pemasangan metallic yielding damper yang dihubungkan dengan bracing.

Pada Gambar 2.18 dapat dilihat aplikasi *metallic yielding damper* pada struktur dengan cara menghubungkan alat damper dengan bresing.



Gambar 2.18: Aplikasi metallic yielding damper pada struktur (FEMA,2004)

2.16.1.2. Model Analitis *Metallic Yeilding Damper*

Hubungan Antara gaya dan perpindahan pada *metallic yielding damper* dalam suatu siklus pembebanan sering disederhanakan menjadi model multi-linier seperti trilinear, bilinear,dll. Pada penelitian ini,digunakan model bilinear untuk menentukan karakteristik desain damper. Kombinasi kekakuan antara sebuah damper yang dihubungkan dengan 2 buah bracing disebut *device-braces stiffness* (K_{bd}). Karena damper dan bracing dihubungkan secara seri maka dapat digunakan persamaan :

$$K_{bd} = \frac{1}{\frac{1}{kb} + \frac{1}{kd}} = \frac{kd}{1 + \frac{1}{B/D}} \quad (2.25)$$

Dimana, B/D adalah rasio dari kekakuan 2 buah bracing dan kekakuan damper

$$B/D = \frac{kb}{kd} \quad (2.26)$$

Xia dan Hanson dalam D.R Teruna,dkk (2014) mendefinisikan stiffness ratio (SR) sebagai rasio dari kekakuan elemen horizontal damper dengan kekakuan elemen tanpa damper . Secara matematis dirumuskan :

$$SR = K_{bd} / K_f \quad (2.27)$$

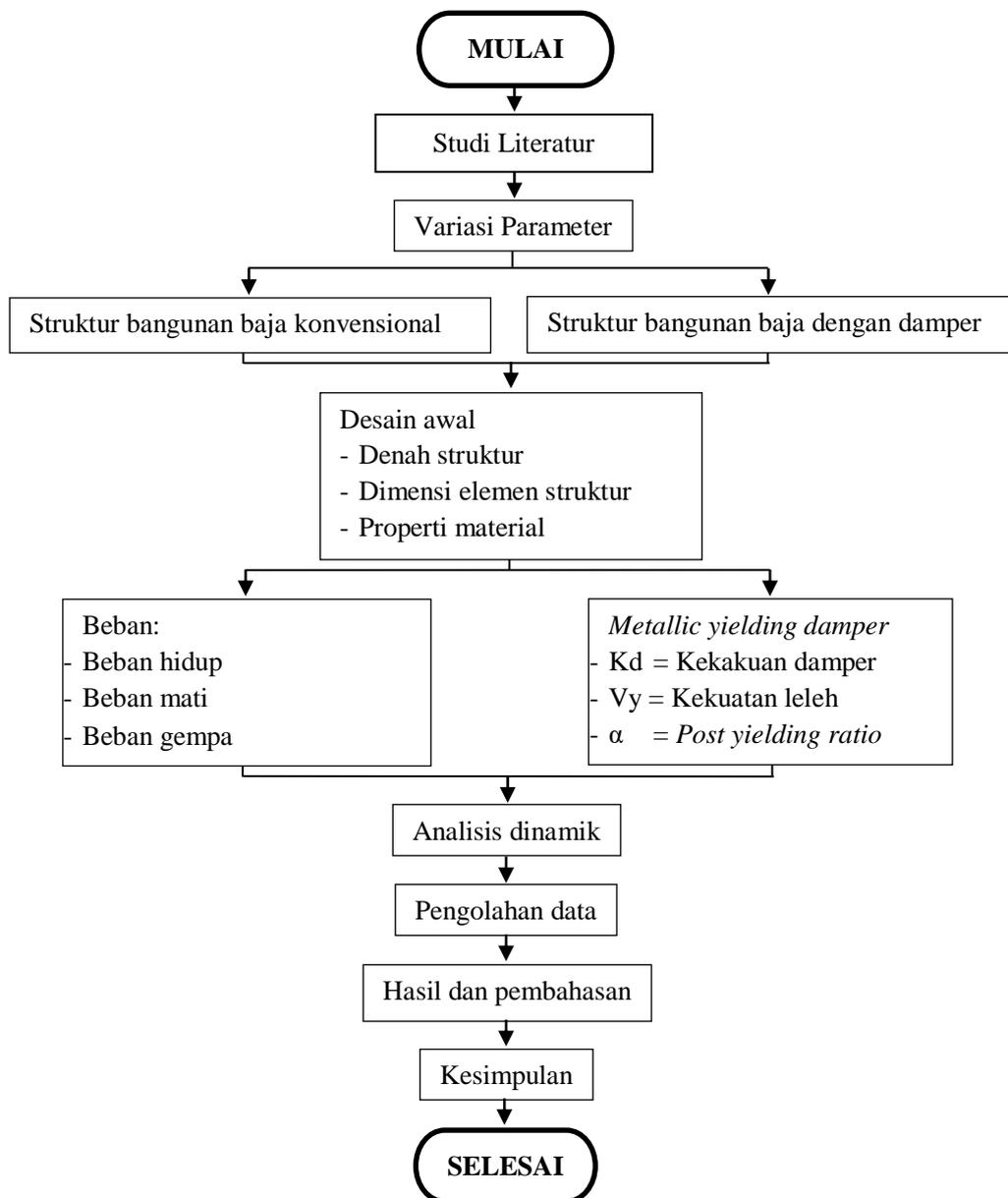
Dimana : K_{bd} = kekakuan elemen gabungan devices bracing
 K_f = kekakuan sistem frame

Menurut Xia dan Hanson dalam D.R Teruna,dkk (2014) nilai SR yang baik tidak berada di bawah 2 meskipun parameter ini kurang efektif dalam mengontrol rasio maksimum daktilitas dari device.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Flowchart/Diagram alir dalam studi parametrik yang digunakan sebagai tahap-tahap dalam pelaksanaan studi ini dapat diuraikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1: Diagram alir metodologi.

3.2. Dasar pemikiran untuk perencanaan Struktur dengan Yielding Damper

Tujuan penelitian ini adalah melihat perbandingan simpangan struktur bangunan, antara struktur bangunan baja dengan menggunakan tambahan alat peredam *Metallic yielding damper* dan struktur bangunan baja biasa.

3.3. Metode perencanaan

Perencanaan ini merupakan perencanaan terapan, dimana semua indikator-indikator perencanaan struktur bangunan baik perilaku maupun kinerja struktur bangunan tersebut akan direncanakan dengan bantuan program komputer analisis struktur.

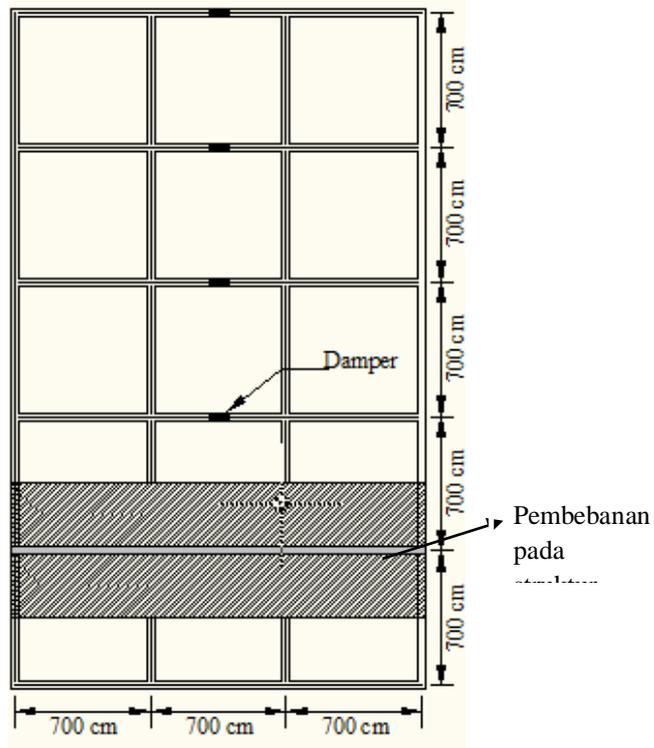
3.4. Desain Bangunan

Bangunan yang akan didesain pada penelitian ini adalah perkantoran 5 lantai dengan tinggi tipikal 3,5 m. Denah yang digunakan untuk bangunan ini berukuran 35 m x 21 m, dengan rentang antar kolom memanjang 7 m. Perencanaan lokasi bangunan akan dilakukan di Padang, Sumatera Barat dengan jenis tanah sedang.

Dalam perencanaan ini akan dilakukan 2 jenis desain struktur bangunan yang berbeda, yaitu struktur bangunan baja konvensional dengan struktur baja dengan *Mettalic Yielding Damper*, dimana faktor modifikasi respon rangka baja dengan bresing konsentris khusus yang diijinkan sebesar $R = 8$ (SNI 1726-2012). Data gempa yang digunakan 5 gempa *pulse* dan 5 data gempa *no pulse*. Untuk perbandingan nilai simpangan per lantai diambil nilai rata-rata simpangan pada setiap rekaman gempa yang telah dianalisis.

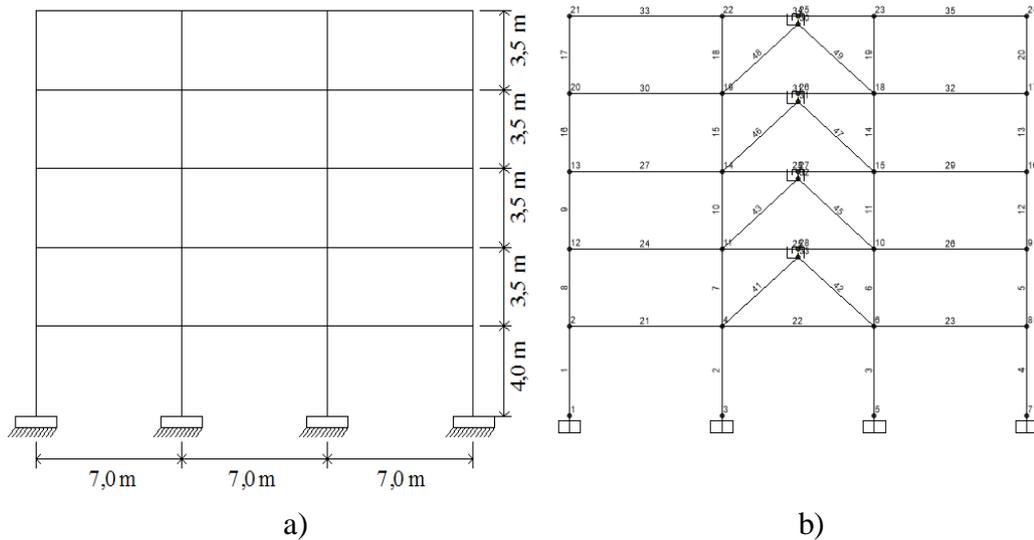
3.4.1. Pemodelan Struktur Bangunan

Pada tugas akhir ini struktur di desain 3 dimensi dan dianalisis dengan menggunakan software analisis struktur dengan pemodelan 2 dimensi. Untuk pembebanan diambil rata-rata beban dari balok bagian tengah, seperti yang terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2: Denah bangunan

Daerah yang diarsir pada gambar adalah asumsi nilai beban yang di input pada model 2 dimensi.



Gambar 3.3: Desain struktur bangunan tampak depan, a). Model bangunan tanpa damper, b). Model bangunan dengan *Metallic yielding damper*.

3.4.2. Material Bangunan dan Profil Struktur

a. Material bangunan

Dalam perencanaan struktur bangunan ini digunakan material baja untuk rangka struktur dan beton sebagai pelat lantai. Untuk spesifikasi material struktur bangunan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.1: jenis material yang digunakan.

No.	Material	Mutu	Karakteristik	Modulus Elastisitas
1	Baja	BJ 37	$f_y = 240 \text{ Mpa}$	$E_s = 200000 \text{ Mpa}$
			$f_u = 370 \text{ Mpa}$	
2	Beton	$f'_c = 21$	$K = 250$	

b. Profil struktur bangunan

Dalam pemodelan pada struktur bangunan ini profil yang diambil adalah profil baja WF dan HWF sedangkan untuk pelat lantai sendiri diasumsikan adalah pelat beton bertulang. Detail profil bangunan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.2: Profil struktur.

No	Elemen Struktur		Profil	Mutu
1	Kolom	Lantai 1 dan 2	H 350 x 350	BJ 37
2		Lantai 3	H 300 x 300	BJ 37
3		Lantai 4 dan 5	H 200 x 200	BJ 37
4	Balok	Lantai 1,2,3, dan 4	WF 450 x 300	BJ 37
5		Lantai 5	WF 400 x 200	BJ 37
6	Pelat Lantai 1-4		Tebal = 15cm	K 250
7	Pelat Lantai Atap		Tebal = 10cm	K 250

Pemodelan pada struktur konvensional dan struktur dengan *metallic yielding damper* untuk balok, kolom dan pelat lantai digunakan profil yang sama. Pada struktur yang menggunakan *metallic yielding damper* digunakan breising profil H 200 x 200 sebagai penghubung antara *metallic yielding damper* dengan balok dan kolom.

3.5. Pembebanan

Untuk pembebanan kedua struktur ini sama, akan mengacu pada standart SNI 1727-2013, 'Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain'. Untuk beban mati yaitu berat struktur itu sendiri, sedangkan untuk beban mati tambahan pada lantai yang meliputi berat spesi + keramik, plafond + penggantung dan peralatan mekanik dan instalasi listrik, dan lain-lain.

Tabel 3.3: Daftar beban mati berdasarkan SNI 1727-2013.

Beban Mati (DL)	Berat	Satuan
Berat sendiri struktur, BJ beton	2400	Kg/m ²
Berat sendiri struktur, BJ baja	7850	Kg/m ²
Dinding pas.bata merah bata	250	Kg/m ²
Spesi lantai keramik t = 2cm	63	Kg/m ²
Penutup lantai keramik	24	Kg/m ²
Plafond + penggantung	18	Kg/m ²
Mechanical, Elektrical, & Plumbing	30	Kg/m ²
Beban partisi	100	Kg/m ²

Beban hidup menggunakan type gedung perkantoran, dimana plat lantai menerima beban sebesar 240 Kg/m² dan khusus plat lantai sebesar 100 Kg/m². Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.4: Daftar beban hidup berdasarkan SNI 1727-2013.

Beban Hidup (LL)	Berat	Satuan
Lantai perkantoran	240	Kg/m ²
Lantai Atap	100	Kg/m ²

Beban gempa pada struktur bangunan ini akan mengacu pada peraturan gempa Indonesia, yaitu SNI 1726-2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Adapun syarat-syarat perencanaan struktur bangunan gedung dan non gedung tahan gempa yang ditetapkan dalam standar ini tidak berlaku untuk bangunan sebagai berikut:

1. Struktur bangunan dengan sistem struktur yang tidak umum atau yang masih memerlukan pembuktiannya tentang kelayakannya.
2. Struktur jembatan kendaraan lalu lintas (jalan raya dan kereta api), struktur reaktor energi, struktur bangunan irigasi dan bendungan, struktur menara transmisi listrik, serta anjungan pelabuhan, anjungan lepas pantai, dan struktur penahan gelombang.

Untuk struktur-struktur bangunan yang disebutkan dalam batasan tersebut di atas, perencanaan harus dilakukan dengan menggunakan standar dan pedoman perencanaan yang terkait.

3.6. Perancangan Desain Gempa

Perancangan desain besarnya gaya gempa rencana dan analisis perhitungan dinyatakan oleh besarnya gaya geser dasar gempa itu sendiri, adapun ketentuan mengenai syarat dan pendetailan tulangan serta fleksibilitas ketidakberaturan bentuk hubungan dan limitasi tinggi tidak lagi ditentukan oleh peta zona gempa sebagaimana halnya yang telah ditetapkan dalam SNI 1726-2012. Ketentuan pada SNI 1726-2012 telah tergantikan oleh kriteria perancangan baru yang disebut kategori desain gempa (*seismic design category*) dan dikaitkan dengan kategori fungsi bangunan.

Tabel 3.5: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SNI 1726-2012).

Nilai S_{D1}	Kategori resiko	
	I atau II atau II	IV
$S_{Ds} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{Ds} < 0,33$	B	C

Tabel 3.5: *Lanjutan.*

Nilai S_{D1}	Kategori resiko	
	I atau II atau II	IV
$0,33 \leq S_{Ds} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{Ds}$	D	D

Tabel 3.6: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (SNI 1726-2012).

Nilai S_{D1}	Kategori resiko	
	I atau II	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sesuai pasal 4.1.2 khusus untuk struktur bangunan dengan kategori IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai kategori resiko IV.

3.7. Beban Gempa

Pada pemodelan ini beban gempa terdiri dari *respon spektra* dan *time history* (riwayat waktu).

1. *Respon spektra*

Gempa respon spektra didesain berdasarkan acuan standart SNI 1723-2012 tentang perencanaan gempa menggunakan *respon spektra*.

Karakteristik gempa *respon spektra* adalah:

- Lokasi gempa : Padang, Sumatera Barat
- Jenis tanah : Sedang
- Nilai reduksi gempa : 8 (SNI 1726-2012)

Perencanaan gempa ini akan mengacu berdasarkan SNI 1726-2012, gempa rencana yang ditetapkan mempunyai periode 2500 tahun, agar probabilitas terjadinya terbatas pada 2% selama umur gedung 50 tahun. Terdapat 2 buah peta wilayah gempa, yaitu untuk gempa dengan periode sangat singkat ($T=0,2$ detik), dan gempa dengan periode 1 detik ($T=1$ detik), sedangkan untuk grafik respons spectrum tidak disediakan melainkan dirancang sendiri dengan parameter-parameter percepatan gempa berdasarkan wilayah gempa struktur bangunan yang akan dibangun. Adapun langkah-langkah dalam membuat respon spektrum desain yang terdapat pada pasal 6:

- a. Menentukan S_s (didapat dari peta gempa dengan periode ulang 2500 tahun dan $T=0,2$ detik) dan S_1 (didapat dari peta gempa dengan periode ulang 2500 tahun dan $T=1$ detik). Jika dilihat dari peta gempa pada Gambar 2.18, Gambar 2.19, dan Gambar 2.20 maka zona wilayah yang memiliki pengaruh gempa tinggi adalah Padang, Sumatera Barat.
 - Wilayah Padang memiliki nilai $S_s = 1,5$ g
 - Wilayah Padang memiliki nilai $S_1 = 0,6$ g
 - Wilayah Padang memiliki nilai $PGA = 0,5$ g
- b. Menentukan jenis tanah dan koefisien situs
 Jenis tanah dalam perencanaan struktur bangunan ini yaitu tanah sedang, menurut SNI 1726-2012 (pasal 6.2) maka didapat nilai F_a dan F_v , dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.
 - Untuk nilai $S_s = 1,5$ g maka diperoleh nilai $F_a = 1$
 - Untuk nilai $S_1 = 0,6$ g maka diperoleh nilai $F_v = 1,5$
- c. Menghitung S_{MS} dan S_{M1}
 S_{MS} (parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek) dan S_{M1} (parameter respon spektrum percepatan pada periode 1 detik) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:
 - $S_{MS} = F_a \times S_s = 1 \times 1,5 = 1,5$
 - $S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,5 \times 0,6 = 0,9$
- d. Menghitung parameter percepatan spectral desain

Parameter percepatan spektral didesain dengan S_{DS} (periode pendek), dan S_{D1} (periode 1 detik), harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

- $S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 1,5 = 1$
- $S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 2/3 \times 0,9 = 0,6$

e. Spektrum desain

- Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain, S_a , harus diambil dari Pers. 2.9.
- Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respon percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .
- Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respon percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan Pers. 2.10, 2.11, dan 2.12.

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} = 0,2 \frac{0,6}{1} = 0,12$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} = \frac{0,6}{1} = 0,6$$

Maka untuk $T = 0$ dapat diambil nilai $S_a = 1$

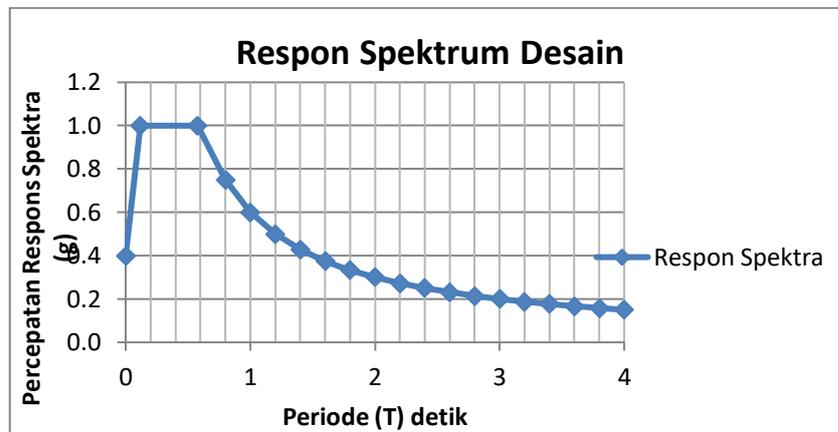
Untuk periode yang lebih besar dari T_s , S_a berdasarkan Pers. 2.9. maka didapat nilai dan grafik respon spektrum seperti dibawah ini.

Tabel 3.7: Nilai respon spektrum.

Periode	Percepatan
0,115	1,000
0,577	1,000
0,800	0,750
1,000	0,600
1,200	0,500
1,400	0,429
1,600	0,375
1,800	0,333
2,000	0,300
2,200	0,273
2,400	0,250
2,600	0,231
2,800	0,214

Tabel 3.7: Lanjutan.

Perioda	Percepatan
3,000	0,200
3,200	0,188
3,400	0,176
3,600	0,167
3,800	0,158
4,000	0,150



Gambar 3.4: Grafik respon spektra Padang jenis tanah sedang.

Adapun sesuai pasal 5.3 jenis tanah dikelompokkan menjadi 6 bagian, dimana pembagiannya berdasarkan kecepatan rambat gelombang geser rata-rata (v_s), nilai hasil test penetrasi srtandar rata-rata (N), dan kuat geser nilai rata-rata.

Tabel 3.8: Klasifikasi situs (SNI 1726-2012).

Kelas situs	\tilde{v}_s (m/detik)	N atau N_{ch}	\tilde{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

Tabel 3.8: *Lanjutan.*

<p><i>SF</i> (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-sitis yang mengikuti)</p>	<p>Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser nilai air $\dot{S}_u < 25$ kpa <p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <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 $H > 7$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) <p>Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\dot{S}_u < 50$ kpa</p>
--	---

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai.

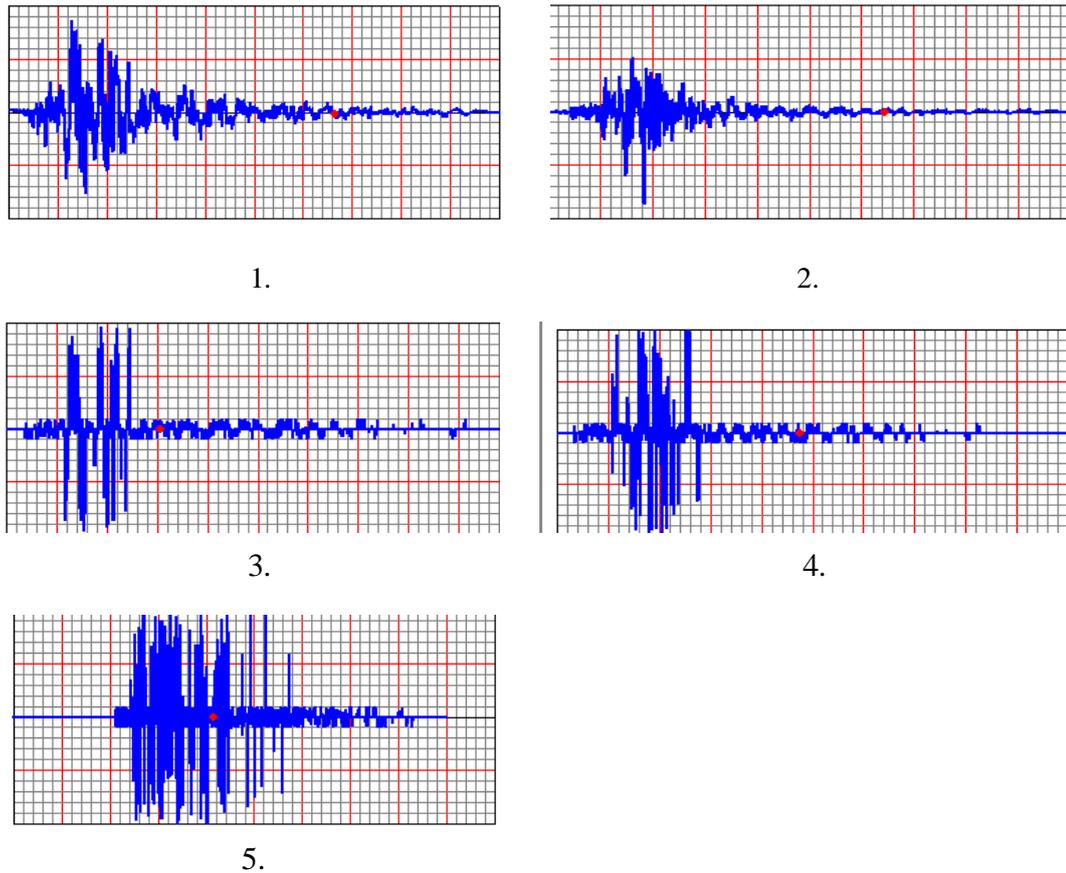
2. *Time History* (Riwayat waktu).

Data *time history* diambil dari *The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)* dan dibedakan menjadi jenis gempa yaitu gempa pulse dan gempa non pulse. Pembagian gempa pulse dan non pulse dapat dilihat pada tabel 3.6 dan 3.7 dibawah ini.

Tabel 3.9: Daftar rekaman gempa *pulse*

Rekaman Gempa <i>Pulse</i>			
No.	Nama Rekaman	Tahun	Magnitude
1	Saratoga- Aloha Ave	1989	6,93
2	Saratoga-W Valley Coll	1989	6,93
3	TCU076	199	7,62
4	El Centro Array #12	2010	7,2
5	Westside Elementary School	2010	7,2

Pada Gambar 3.5 dapat dilihat Diagram rekaman gempa pulse diambil dari *The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*.



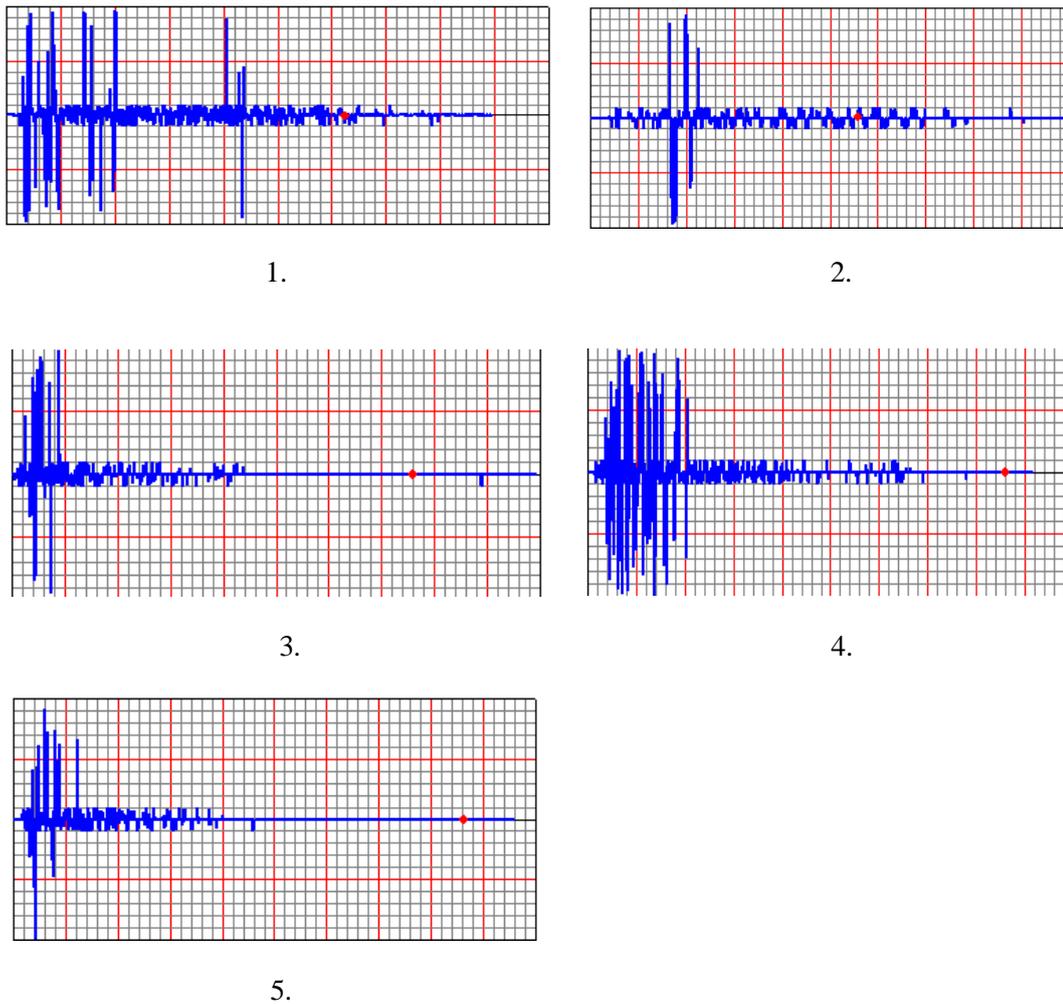
Gambar 3.5: Rekaman gempa pulse diambil dari *The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*.

Untuk rekaman gempa no pulse dapat dilihat pada Tabel 3.7, rekaman gempa ini juga diambil dari *The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*.

Tabel 3.10: Daftar rekaman gempa *non pulse*.

No.	Nama Rekaman	Tahun	Magnituded
1	El Centro Array #9	1940	6,95
2	Ferndale City Hall	1954	6,5
3	LA-Hollywood Stor FF	1971	6,61
4	Managua_Esso	1972	6,24
5	Managua_Esso	1972	5,2

Pada Gambar 3.6 dapat dilihat Diagram rekaman gempa pulse diambil dari *The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*.



Gambar 3.6: Rekaman gempa no pulse diambil dari *The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*.

3.8. Faktor Skala Percepatan Gempa

Untuk faktor percepatan gempa data rekaman gempa harus diskalakan menggunakan Pers.

$A_0 = 0,28$ (tanah sedang wilayah 4)

$I = 1,0$ (faktor keutamaan)

$R = 8$ (nilai faktor reduksi)

Puncak rekaman gempa *El Centro* = 0,331

$$A = \frac{A_o I}{R}$$

$$A = \frac{0.28 \times 1}{8} = 0,035$$

$$\text{Faktor skala} = \frac{0,035}{0,331} \times 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)} = 1,036 \text{ m/s}^2$$

Nilai faktor skala di input pada *software* analisis struktur menggunakan metode analisis riwayat waktu faktor skala yang digunakan adalah 1,036 m/s².

3.9. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi yang akan digunakan pada struktur ini akan mengacu kepada SNI-1726-2012 pada pasal 4.2 yaitu:

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3. 0,9 DL + 1,0 E
4. 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 E

Keterangan:

DL : *Dead load* (Beban mati)

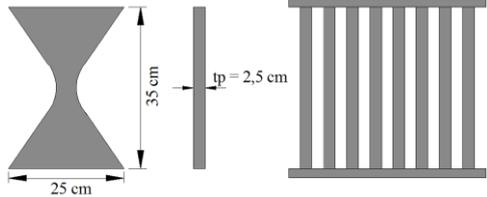
LL : *Live load* (Beban hidup)

E : *Earthquake* (Beban gempa)

3.10. Desain Alat Dissipasi Energi

Alat dissipasi energi yang digunakan dalam perencanaan adalah *Mettalic yielding damper* dengan bentuk X.

Yielding damper di idealisasikan sebagai berikut :



Keterangan:

Tinggi pelat (h) = 35 cm

Lebar pelat (b1) = 25 cm

Tebal pelat (tp) = 2,5 cm

Material yielding damper direncanakan sebagai baja lunak yaitu BJ 34 (SNI 03-1729-2002, material) dengan:

1. Elastisitas (E) = 2000000 Kg/cm²
2. Tegangan putus (Fu) = 340 Mpa = 3400 Kg/cm²
3. Tegangan leleh (Fy) = 210 Mp = 2100 Kg/cm²

- Kekakuan damper

Rumus kekakuan satu plat damper:

$$K_{\text{pelat}} = \frac{8.E.I}{h^3}, \text{ dimana } I = \frac{b1.t^3}{12}, \text{ sehingga:}$$

$$K_{\text{pelat}} = \frac{2.E.b1.t^3}{3.h^3}$$

$$K_{\text{pelat}} = \frac{2.(2 \times 10^3).25.2,5^3}{3 \times 35^3}$$

$$K_{\text{pelat}} = 12147,7 \text{ Kg/cm}$$

Pada desain struktur direncanakan menggunakan 8 pelat damper, sehingga

$$K_d = n \times K_{\text{pelat}}$$

$$K_d = 12.147,7 \times 8 = 97.181,73 \text{ Kg/cm}$$

- Kekakuan Bresing dan Damper

Kekakuan bresing direncanakan 2 kali lebih besar dari kekakuan damper, maka, $K_{bd} = 2 \times K_d$

$$Kbd = 2 \times 97.181,73 = 24295,4 \text{ Kg/cm}$$

- Yielding Strength

$$Vp = Kd \times ud, \text{ dimana } ud = \frac{\sigma_y \times h^3}{2.E.tp} \text{ dan } Kd = \frac{2.E.b1.tp^2}{3.h^3}, \text{ sehingga:}$$

$$Vp = \frac{2.E.b1.t^2}{3.h^3} \times \frac{\sigma_y \times h^3}{2.E.t} = \frac{\sigma_y \times b1.tp^2}{3.h}$$

$$Vp = \frac{2100 \times 25 \times 1,5}{3 \times 35} = 3.125 \text{ Kg/cm}$$

Digunakan 8 Pelat damper, maka:

$$Vp = n \times V_{pelat}$$

$$Vp = 8 \times 3.125 = 25.000 \text{ Kg/cm}$$

- Kekakuan Gabungan Bresing dan Damper

$$Kbd = \frac{Kb \times Kd}{Kb + Kd} = \frac{24295,4 \times 97.181,73}{24295,4 + 97.181,73} = 1.399.416,907 \text{ Kg/m}$$

- *Post Yielding Stiffness Ratio* (α) = 0,5

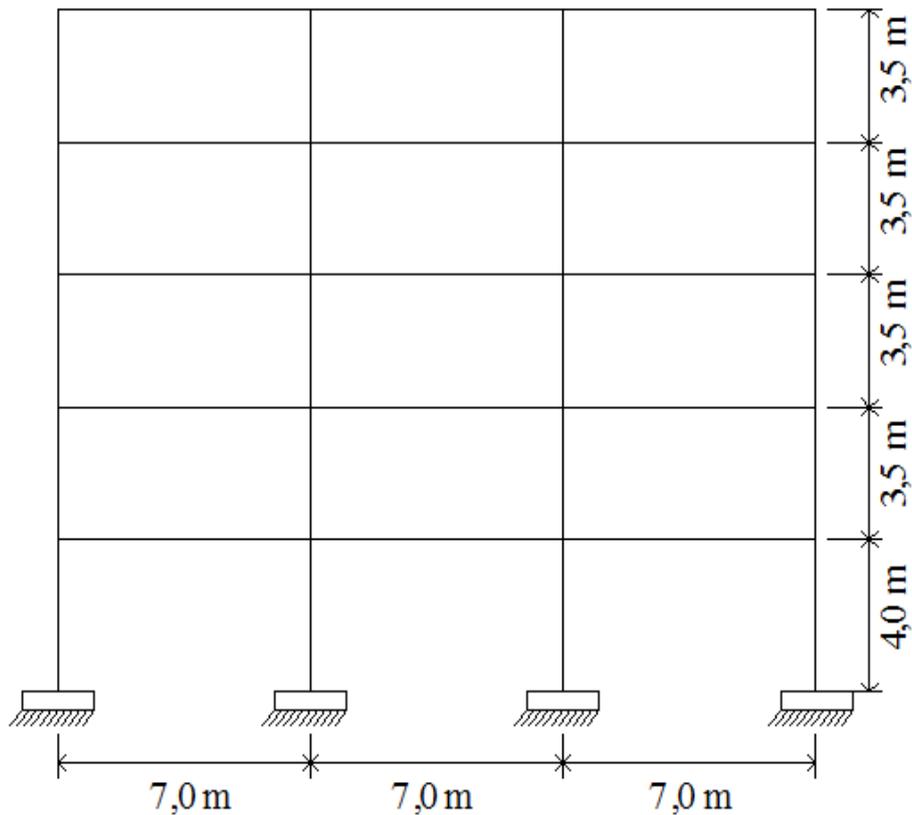
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Modal Analisis

Pada penelitian ini akan di paparkan perbandingan simpangan yang terjadi antara struktur konvensional dengan struktur yang menggunakan *metallic yielding damper*. Data-data gempa yang digunakan adalah 5 rekaman gempa pulse dan 5 rekaman gempa no pulse. Untuk perbandingan simpangan diambil nilai rata-rata dari rekaman gempa yang dianalisa dengan software analisis struktur.

Struktur dimodelkan 3 bentang dengan lebar 7 meter dan tinggi 4 meter untuk lantai 1 dan 3,5 meter untuk lantai 2,3,4 dan 5. Struktur dibandingkan dengan profil dan pembebanan yang sama.



Gambar 4.1: Pemodelan struktur 2 dimensi.

Dari hasil analisis modal didapat mode sebanyak 12 untuk struktur dengan damper dan tanpa damper.

Tabel 4.1: Periode struktur dengan damper dan tanpa damper.

No	Mode	Prioda		Frekwensi	
		Damper	No damper	Damper	No damper
1	T1	0,1739	0,312	5,748	3,205
2	T2	0,05	0,111	19,79	8,95
3	T3	0,025	0,0707	39,69	14,14
4	T4	0,0231	0,052	43,223	19,242
5	T5	0,0166	0,04	60,0388	24,92
6	T6	0,0141	0,023	70,887	42,803
7	T7	0,0135	0,0227	73,6135	44,01
8	T8	0,006	0,0187	164,94	53,47
9	T9	0,00143	0,0187	679,159	53,54
10	T10	0,00133	0,0125	749	79,713
11	T11	0,00129	0,0116	773,56	85,862
12	T12	0,00104	0,0113	963,19	88,365

Berdasarkan tabel 4.1 nilai prioda pada struktur menggunakan damper lebih kecil dari struktur yang tanpa menggunakan damper. Akan tetapi frekwensi bertambah besar.

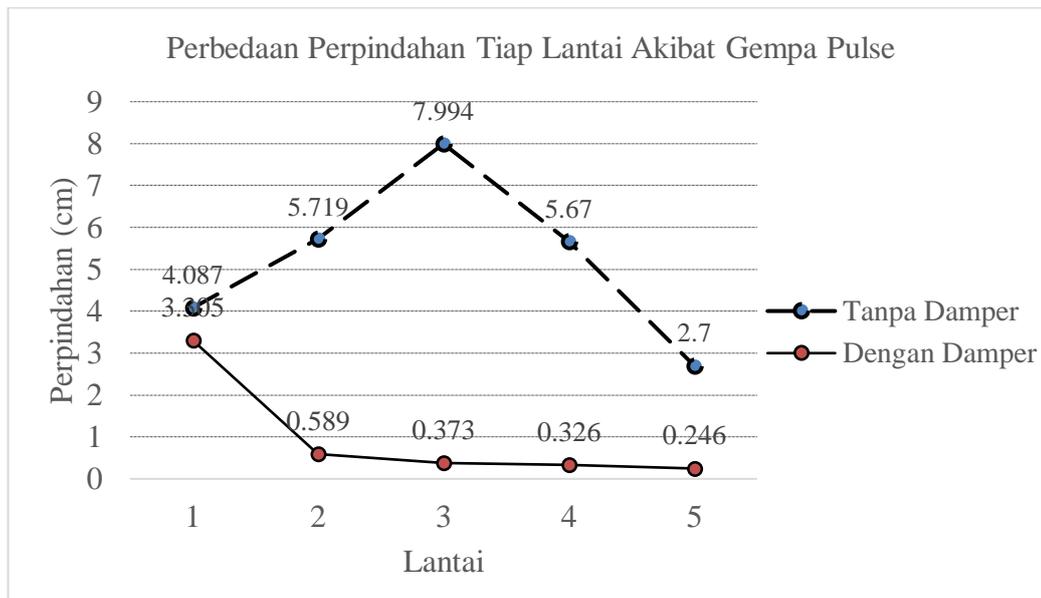
4.2. Perpindahan/Simpangan Tiap Lantai

Perpindahan pada struktur untuk setiap lantai diambil berdasarkan akibat gempa pulse dan no pulse. Data gempa yang digunakan untuk perbandingan ini adalah data rekaman gempa yang paling besar pengaruhnya terhadap struktur. Simpangan yang terjadi pada struktur ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Perpindahan tiap lantai yang terjadi akibat gempa pulse.

No	Lantai	Simpangan (cm)		Perbedaan Perpindahan Tiap lantai (cm)	
		No Damper	Damper	No Damper	Damper
1	0	0	0	0	0
2	1	4,087	3,305	4,087	3,305
3	2	9,806	3,894	5,719	0,589
4	3	17,8	4,267	7,994	0,373
5	4	23,47	4,593	5,67	0,326
6	5	26,17	4,839	2,7	0,246

Berdasarkan data diatas maka didapat grafik perbandingan simpangan antar tingkat struktur tanpa damper dengan struktur yang menggunakan damper akibat gempa pulse.



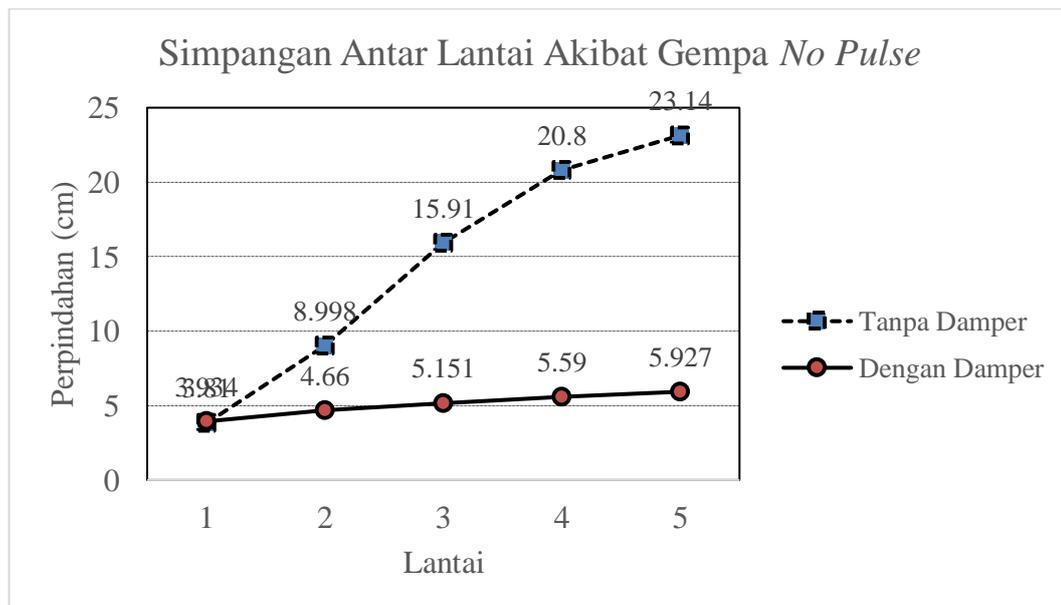
Gambar 4.2: Perpindahan antar lantai akibat gempa pulse.

Berdasarkan Gambar 4.2 perpindahan maksimum yang disebabkan gempa pulse terjadi pada lantai 3 untuk struktur tanpa damper dan lantai 1 pada struktur dengan damper. Berdasarkan grafik maka dapat disimpulkan pemasangan damper pada struktur dapat mereduksi simpangan antar lantai yang terjadi akibat gempa pulse sebesar 58,656 %.

Tabel 4.3: Perpindahan tiap lantai yang terjadi akibat gempa *pulse*.

No	Lantai	Simpangan (cm)		Perbedaan Perpindahan Tiap lantai (cm)	
		No Damper	Damper	No Damper	Damper
1	0	0	0	0	0
2	1	3,81	3,934	3,81	3,934
3	2	8,998	4,66	5,188	0,726
4	3	15,91	5,151	6,912	0,491
5	4	20,8	5,59	4,89	0,439
6	5	23,14	5,927	2,34	0,337

Berdasarkan data diatas maka didapat grafik perbandingan simpangan antar tingkat struktur tanpa damper dengan struktur yang menggunakan damper akibat gempa *no pulse*.



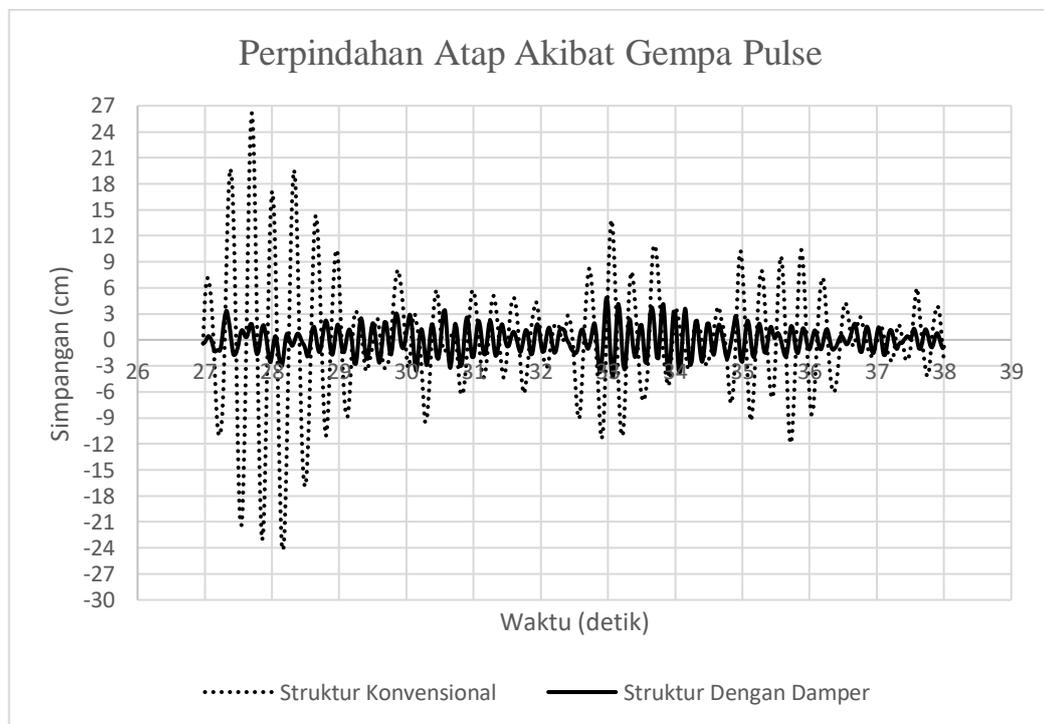
Gambar 4.3: Simpangan antar lantai akibat gempa *no pulse*.

Berdasarkan Gambar 4.3 perpindahan maksimum yang disebabkan gempa *no pulse* terjadi pada lantai 5 untuk struktur tanpa damper dan struktur dengan damper. Berdasarkan grafik maka dapat disimpulkan pemasangan damper pada struktur dapat mereduksi simpangan antar lantai yang terjadi akibat gempa *pulse* sebesar 74,39 %.

4.3. Perpindahan Pada Atap

a. Perpindahan Akibat Gempa Pulse

Perpindahan pada atap akibat gempa pulse paling maksimum terjadi pada rekaman gempa Chi-Chi Taiwan yang direkam pada tahun 1999 dengan Magnitude 7,62. Perpindahan yang terjadi pada struktur tanpa damper sebesar 26,170 cm dan struktur dengan damper sebesar 4,84 cm. Berdasarkan simpangan tersebut maka damper dapat mereduksi pengaruh gempa pulse sebesar 81,50 %. Pada Gambar 4.4 dapat dilihat grafik accelogram perpindahan pada atap pada saat menggunakan damper dan tanpa damper.

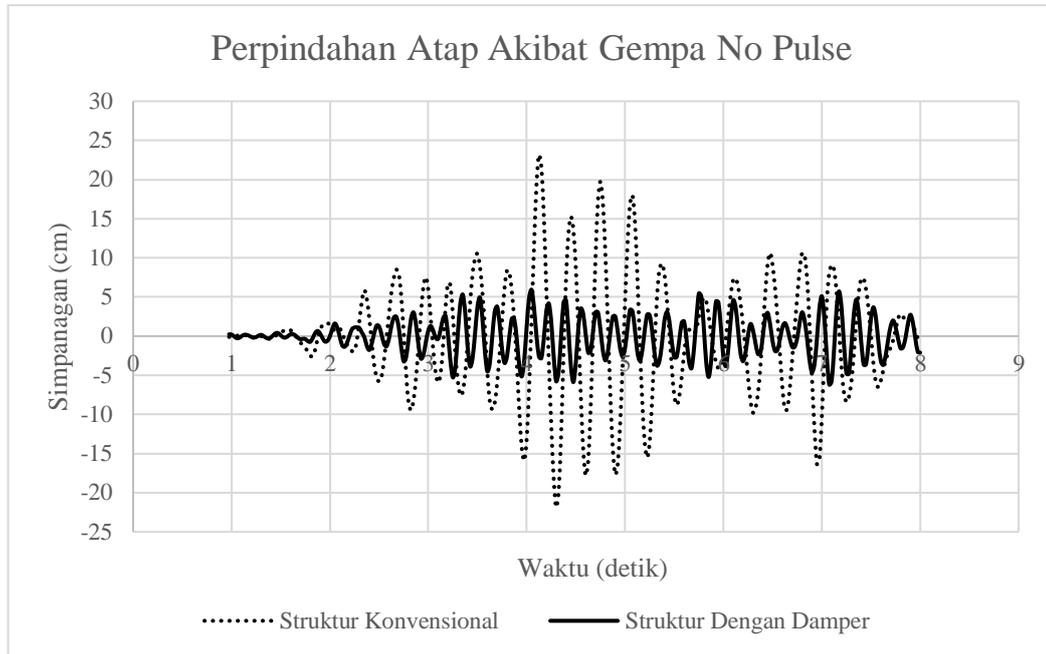


Gambar 4.4: Perpindahan pada atap akibat gempa pulse.

b. Perpindahan Akibat Gempa *No Pulse*

Perpindahan pada atap akibat gempa pulse paling maksimum terjadi pada rekaman gempa Managua ESSO yang direkam pada tahun 1972 dengan Magnitude 6,24. Perpindahan yang terjadi pada struktur tanpa damper sebesar 23,140 cm dan struktur dengan damper sebesar 5,927 cm. Berdasarkan simpangan tersebut maka damper dapat mereduksi pengaruh gempa *no pulse* sebesar 74,39 %. Pada Gambar 4.5 dapat

dilihat grafik accelogram perpindahan pada atap pada saat menggunakan damper dan tanpa damper.



Gambar 4.5: Perpindahan pada atap akibat gempa *no pulse*.

4.4. Perbandingan perpindahan/deformasi Lateral maksimum rata-rata

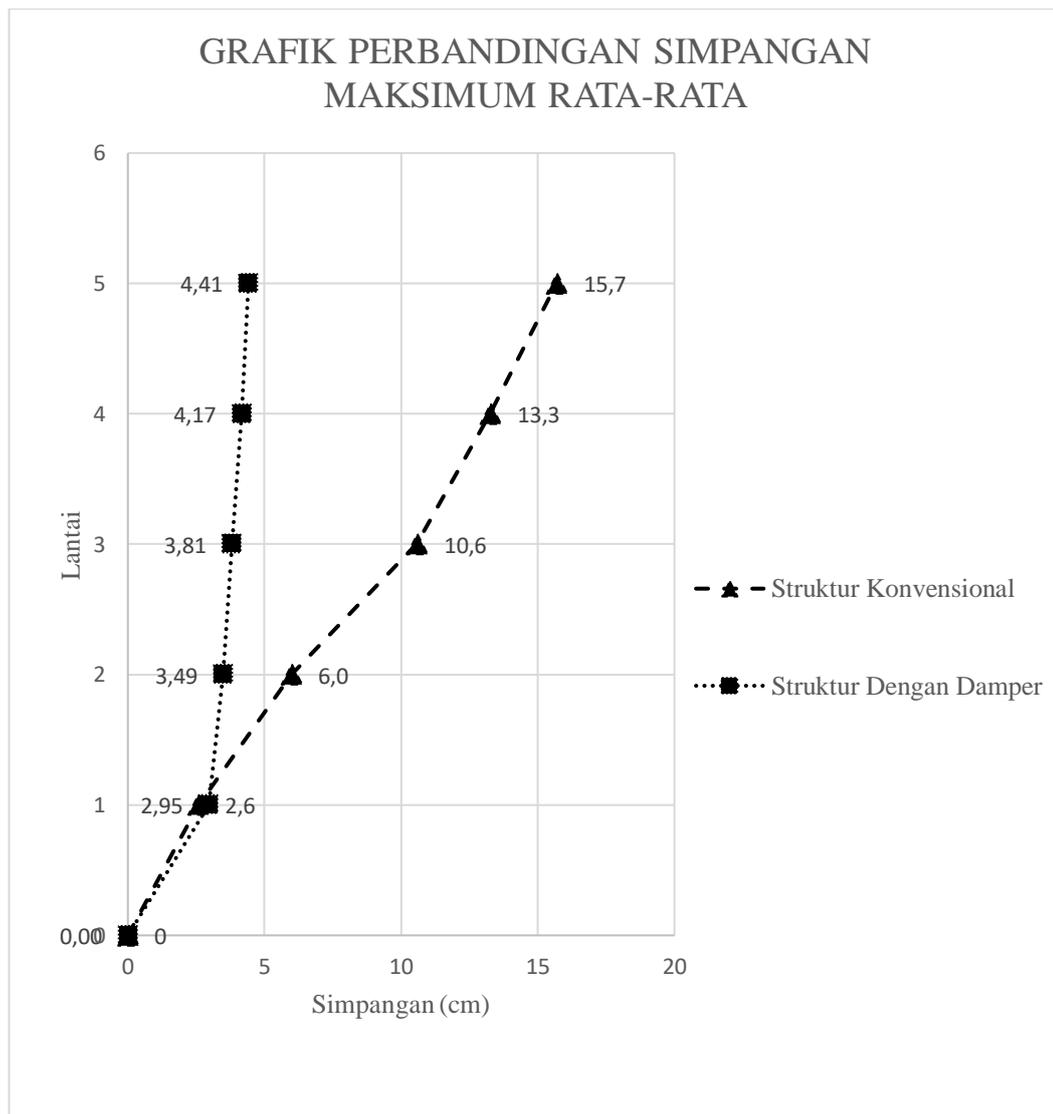
Perbandingan perpindahan maksimum diambil dari nilai perpindahan maksimum yang terjadi pada setiap rekaman gempa lalu di rata-ratakan untuk dibandingkan simpangan yang terjadi antara struktur konvensional dengan struktur yang menggunakan *metallic yielding damper*.

Dari hasil analisis rata-rata simpangan maksimum yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Nilai simpangan maksimum rata-rata.

No	Lantai	Tanpa Damper	Dengan Damper
1	0	0,00	0,00
2	1	2,58	2,95
3	2	5,98	3,49
4	3	10,58	3,81
5	4	13,26	4,17
6	5	15,68	4,41

Berdasarkan data diatas maka didapat grafik perbandingan simpangan rata-rata maksimum struktur tanpa damper dengan struktur yang menggunakan damper akibat gempa.



Gambar 4.6: Simpangan maksimum rata-rata

Dari grafik pada Gambar 4.6 nilai rata-rata simpangan maksimum terletak pada lantai 5. Simpangan struktur yang menggunakan damper lebih kecil daripada struktur tanpa damper, ini berarti pemasangan *metallic yielding damper* dapat mereduksi pengaruh gempa terhadap struktur. Dari analisa yang telah dilakukan

didapat bahwa pada struktur yang menggunakan *metallic yielding damper* mereduksi gaya gempa rata-rata sebesar 71,91 %.

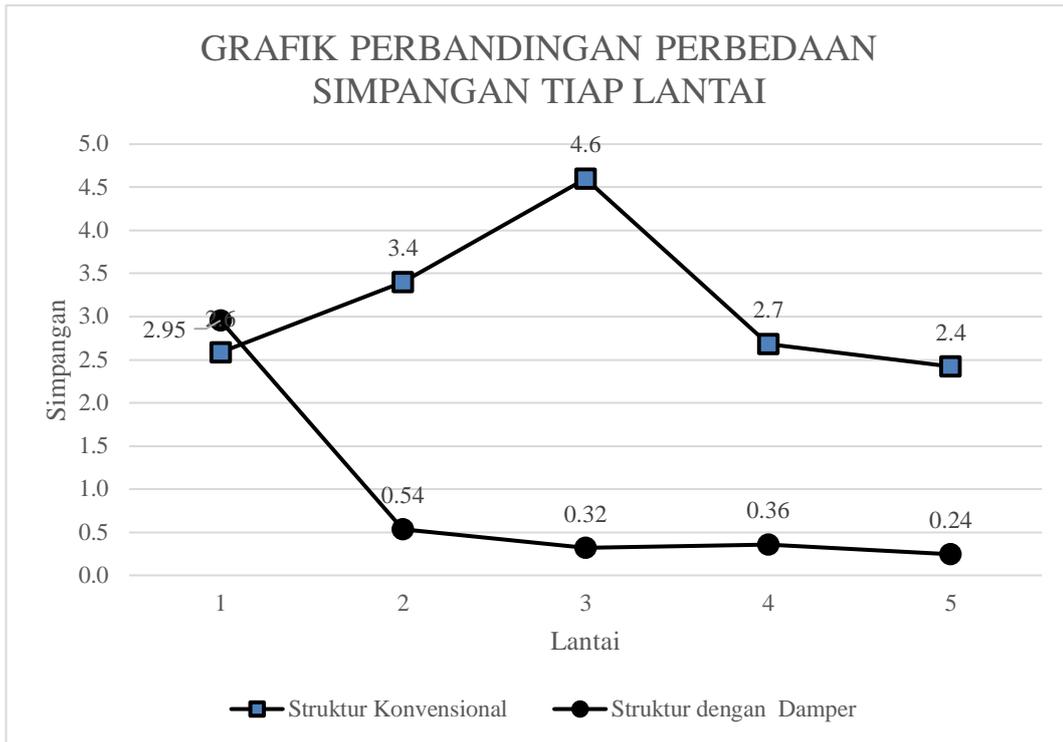
4.5. Perbedaan Simpangan Tiap Lantai Rata-rata

Untuk nilai rata-rata perbedaan simpangan tiap lantai dapat dilihat pada tabel 4.5. Nilai ini didapat berdasarkan penjumlahan dari semua simpangan maksimum yang terjadi akibat gempa pulse dan no pulse dan kemudian dirata-ratakan.

Tabel 4.5: Perbandingan perbedaan simpangan tiap lantai antara struktur konvensional dengan struktur yang menggunakan *metallic yielding damper*.

No	Lantai	Tanpa Damper	Dengan Damper
1	0	0	0
2	1	2,6	2,95
3	2	3,4	0,54
4	3	4,6	0,32
5	4	2,7	0,36
6	5	2,4	0,24

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa simpangan antar tingkat maksimum terjadi pada struktur tanpa damper di lantai 3 dengan nilai simpangan 4,6. Dan pada struktur yang menggunakan *metallic yielding damper* simpangan antar tingkat maksimum terjadi pada lantai 2 sebesar 2,95 cm, hal ini terjadi karena pada lantai dua, damper tidak dipasang. Berdasarkan Tabel 4.5 maka didapat grafik perbandingan simpangan tiap lantai struktur konvensional dengan struktur yang menggunakan *metallic yielding damper*.



Gambar 4.7: Grafik perbandingan simpangan tiap lantai struktur konvensional dengan struktur yang menggunakan *metallic yielding damper*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa yang dilakukan dengan program analisis struktur pada bangunan 5 lantai dengan membandingkan struktur konvensional dengan struktur yang menggunakan *metallic yielding damper*, maka didapat kesimpulan:

1. Pada struktur yang menggunakan *metallic yielding damper* pengaruh gempa pulse terhadap perpindahan antar lantai dapat direduksi sebesar 58,656 %. Dan terhadap gempa no pulse struktur dengan menggunakan *metallic yielding damper* dapat di reduksi perpindahan antar lantai sebesar 74,39 %.
2. Dari hasil analisis dan perhitungan struktur yang menggunakan *metallic yielding damper* dapat memperkecil simpangan yang terjadi pada struktur. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.6, maka dapat disimpulkan pada struktur yang menggunakan *metallic yielding damper* besar simpangan berkurang pada lantai 1 sebesar 11,86 %, pada lantai 2 berkurang 41,83 %, pada lantai 3 berkurang 64,06 %, pada lantai 4 berkurang 68,65 % dan pada atap berkurang 71,91 %.
3. Simpangan antar tingkat dapat direduksi sebesar 35,75 % bila bangunan menggunakan *metallic yielding damper*. Ini berarti kerusakan bangunan dapat direduksi.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan masih banyak masalah yang belum di teliti, oleh sebab itu disarankan untuk penelitian selanjutnya:

1. Diharapkan ada penelitian lebih lanjut mengenai pola penempatan *metallic yielding damper*, karena pola penempatan juga dapat berpengaruh dalam memperkecil nilai simpangan struktur dan memperkecil nilai getaran gempa pada struktur.
2. Diharapkan ada penelitian lebih lanjut untuk analisa struktur tiga dimensi.

3. *Metallic yielding damper* direncanakan hanya dengan memasukkan data kekakuan dan gaya geser, tidak ada dimensi *Yielding Damper*, sehingga hasil yang ditunjukkan tidak seperti kondisi sebenarnya, perhitungan dapat lebih detail dengan melakukan eksperimen maupun menggunakan program yang dapat mengikutsertakan dimensi *yielding damper*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aiken, I.D., Nims, D.K., Whittaker, A.S., Kelly, J.M., (1992), *Testing of Passive Energy Dissipation Systems. Earthquake Spectra*, Vol 9(3), pp.xx
- A, A. Astaneh-Asl. (2001) *Seismic Behavior and Design of Steel Shear Walls*. San Fransisco. University of California.
- CRSD, (2017), *Changzhou Road Structure Damping*. Dalian University of teknologi. China
- FEMA 451B. (2007). *NEHRP Recomenen Provision for New Building and Other Structure: Training and Instructional Materials*.
- Gavin, H. P., (2014). *Vibration of Single Degree of Freedom Systems*. CEE Structural Dynamics. Department of Civil Engineering. Duke University.
- Iskandarsyah, H (2009) Analisis Respon Spektrum Pada Bangunan Yang Menggunakan *Yielding Damper* Akibat Gaya Gempa. *Laporan Tugas Akhir*. Medan: Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara.
- Kunnath SK, Erduran E, Chai YH, Yashinsky M. Effect of near fault vertical ground motions on seismic response of highway overcrossings. *J Bridge Engineering ASCE* 2008; 13(3):282-90.
- Mahadianto, (2008) Pendekatan Analisa Linier *Metallic Yielding Damper*. Tesis. Medan: Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara.
- M.C. Constantinu et al, (1998), *Passive Energy Dissipation Systems for Structural Design and Retrofit*, New York: MCEER.
- Moreschi et al, (2000), "*Seismic Design of Energy Dissipation Systems for Optimal Structural Performance*", Dissertation Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Rais, S et al, (2013), *Study and Modelling of Dynamic Behaviour of Structures with Energy Dissipation Devices Type ADAS*, 2nd Turkish Conference on Earthquake Engineering and Seismology-TDMSK-2013.
- Somerville, P. (2003). *Magnitude Scaling of The Forward Rupture Directivity Pulse in Near-Fault Ground Motions*. URS Group Inc. Award Number: 01HQGR0048.
- Standar Nasional Indonesia (2011) *Baja Profil H (Bj P H-Beam) (SNI 2610:2011)*. Jakarta, BSN.

- Standar Nasional Indonesia (2011) *Baja Profil WF – beam proses canai panas (Bj P WF – beam) (SNI 07-7178-2006)*. Jakarta, BSN.
- Standar Nasional Indonesia (2013) *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)*. Jakarta, BSN.
- Standar Nasional Indonesia (2012) *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)*. Jakarta, BSN.
- Standar Nasional Indonesia (2015) *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729-2015)*. Jakarta, BSN.
- Standar Nasional Indonesia (2015) *Ketentuan Seismik untuk Struktur Bangunan Gedung Baja (RSNI 3 03-1729.2-201X)*. Jakarta, BSN.
- Teruna, D.R., (2005), “*Analisis Respon Bangunan dengan Base Isolator Akibat Gaya Gempa*”, Jurnal system Teknik Industri Volume 6 No. 4, Oktober.
- Pacific Earthquake Engineering Research (2008). PEER NGA Database, available at <http://peer.berkeley.edu/nga/>.
- Xia, C. and Hanson, R.D.,(1992), *Influence of ADAS element parameters on building seismic response*, Journal of Structural Engineering (ASCE), Vol.118(7),pp.1903 - 1918.

**L
A
M
P
I
R
A
N**

Perhitungan Tebal Plat Lantai

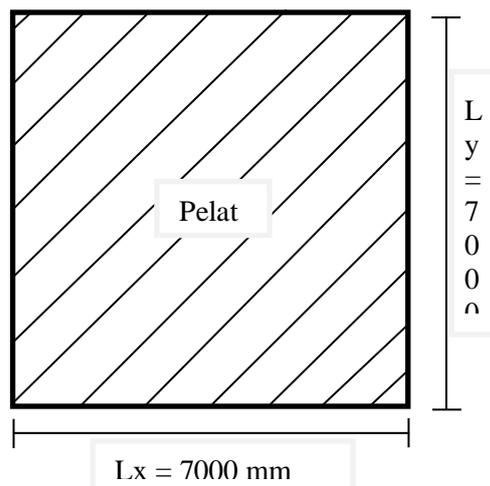
$$\text{Rumus : } H(\text{max}) \leq \frac{ln \left(0,8 + \frac{fy}{1500} \right)}{36}$$

$$H(\text{min}) \geq \frac{ln \left(0,8 + \frac{fy}{1500} \right)}{36 + 9 \beta}$$

Sumber: SK SNI 2002 ayat 11 butir 5 sub butir 3

Keterangan:

- H = Ketebalan plat (mm)
Ln = Bentang terpanjang (mm)
Fy = Mutu baja tulangan (Mpa)
 β = L_y/L_x



Diketahui:

$$Ly \text{ dan } Lx = 7000 \text{ mm}$$

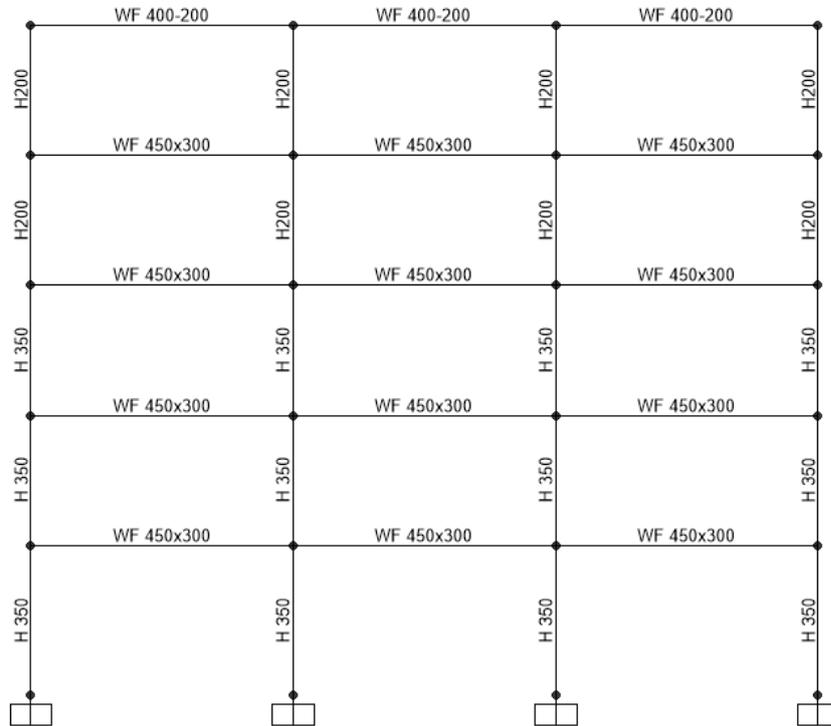
$$Fy = 240 \text{ Mpa}$$

$$H(\text{max}) \leq \frac{7000 \left(0,8 + \frac{240}{1500} \right)}{36} = 186,667 \text{ mm}$$

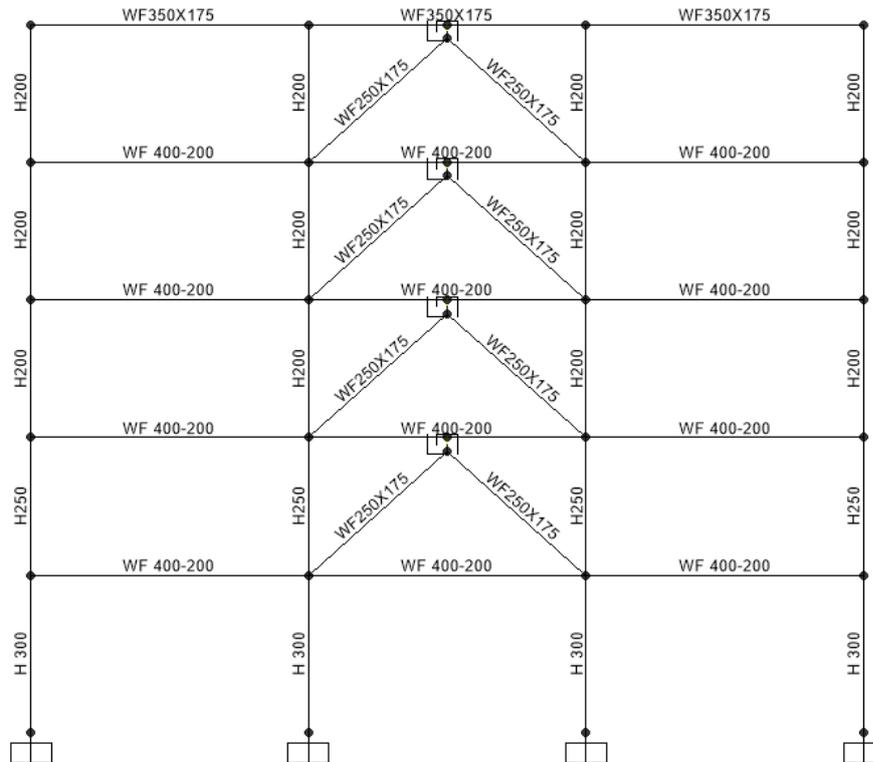
$$H(\text{min}) \geq \frac{7000 \left(0,8 + \frac{240}{1500} \right)}{36 + 9 \left(\frac{7000}{7000} \right)} = 149,333 \text{ mm}$$

Maka, diambil tebal pelat lantai rencana untuk lantai 1-4 150 mm dan untuk lantai atap 100 mm.

Input Profil dan Beban Pada software Analisis Struktur



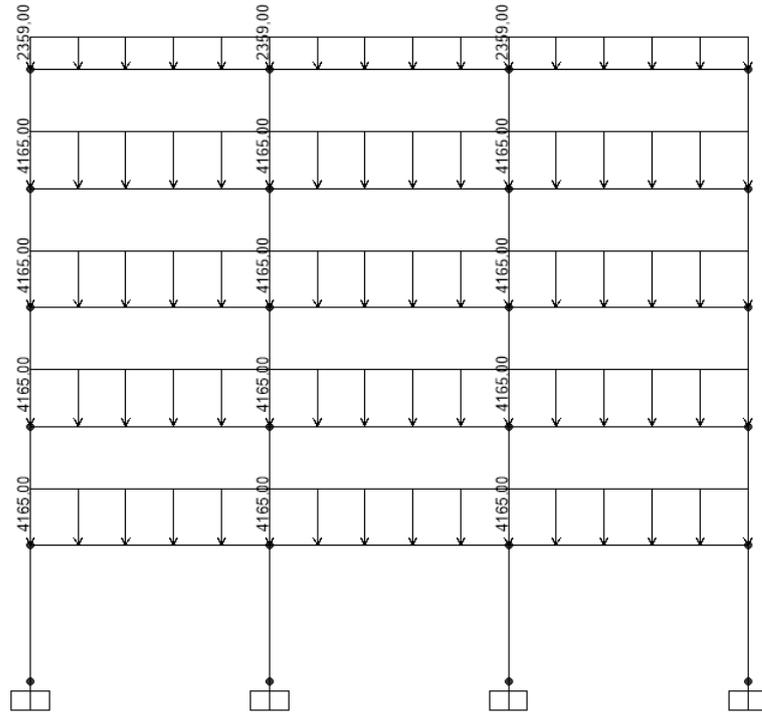
Gambar data profil yang dimasukkan dalam software analisis struktur tanpa damper.



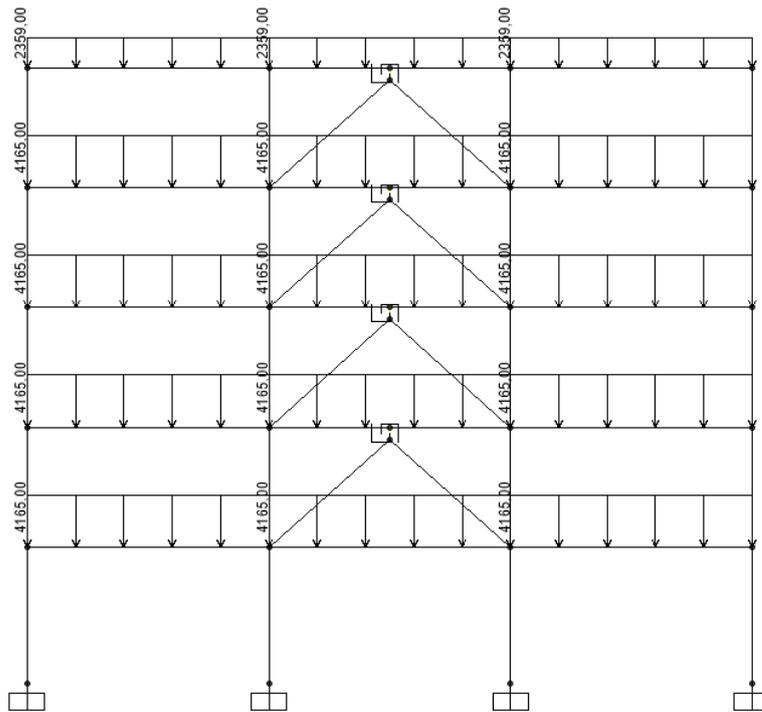
Gambar data profil yang dimasukkan dalam software analisis struktur dengan damper.

Input Beban

➤ Beban Mati

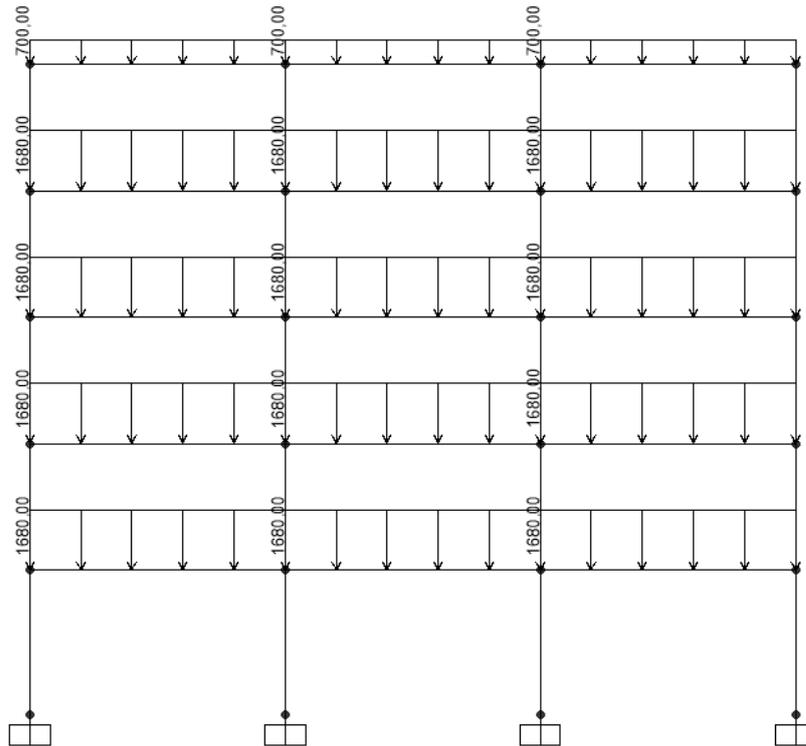


Gambar nilai beban mati yang dimasukkan dalam software analisis struktur tanpa damper.

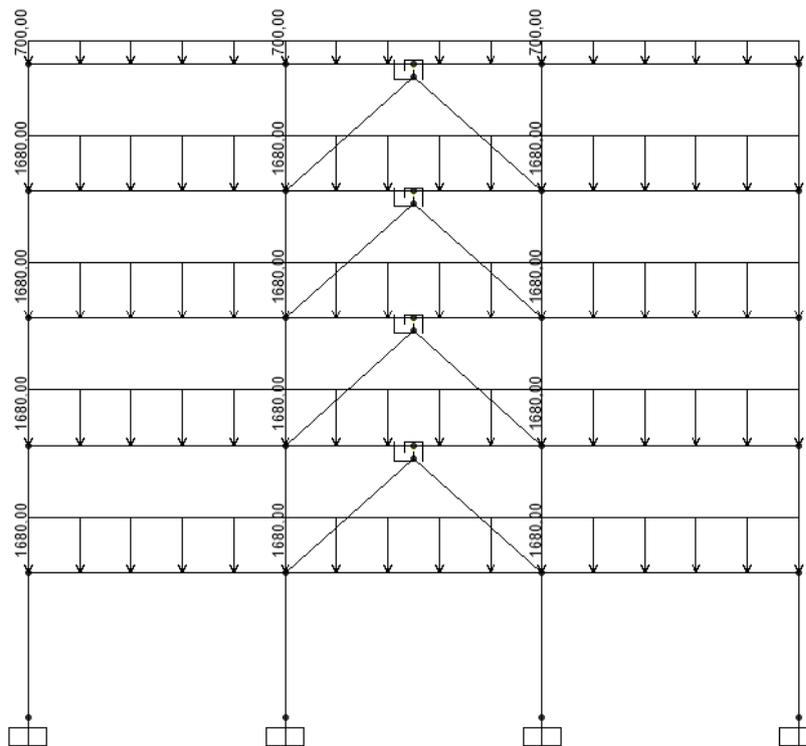


Gambar nilai beban mati yang dimasukkan dalam software analisis struktur dengan damper.

➤ Beban Hidup

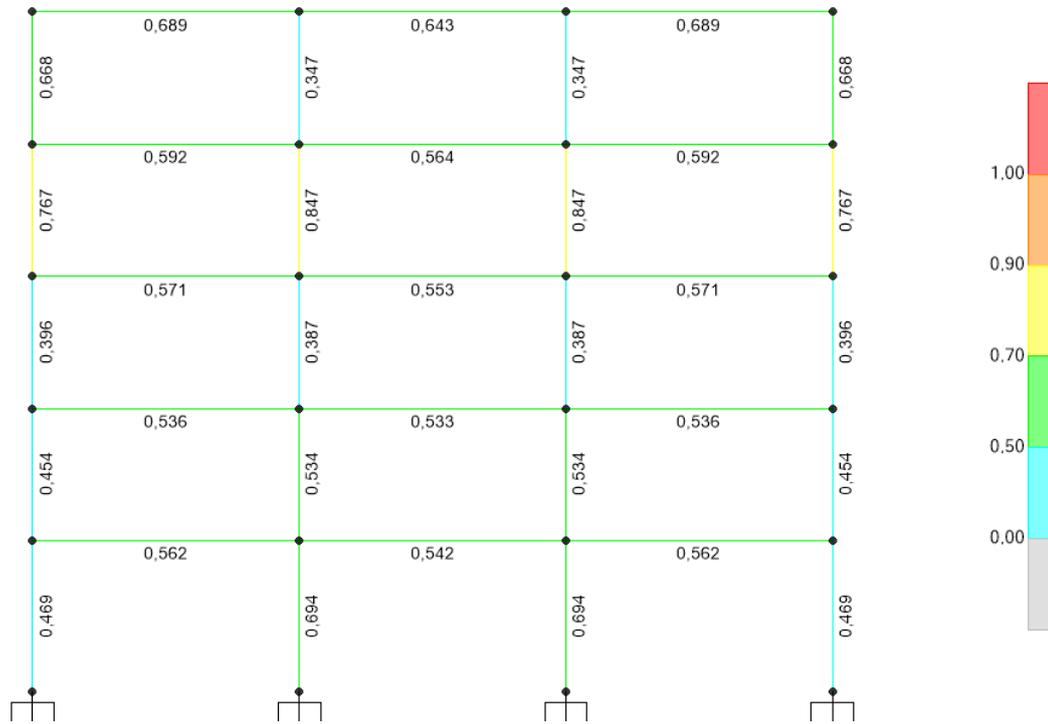


Gambar nilai beban hidup yang dimasukkan dalam software analisis struktur tanpa damper.

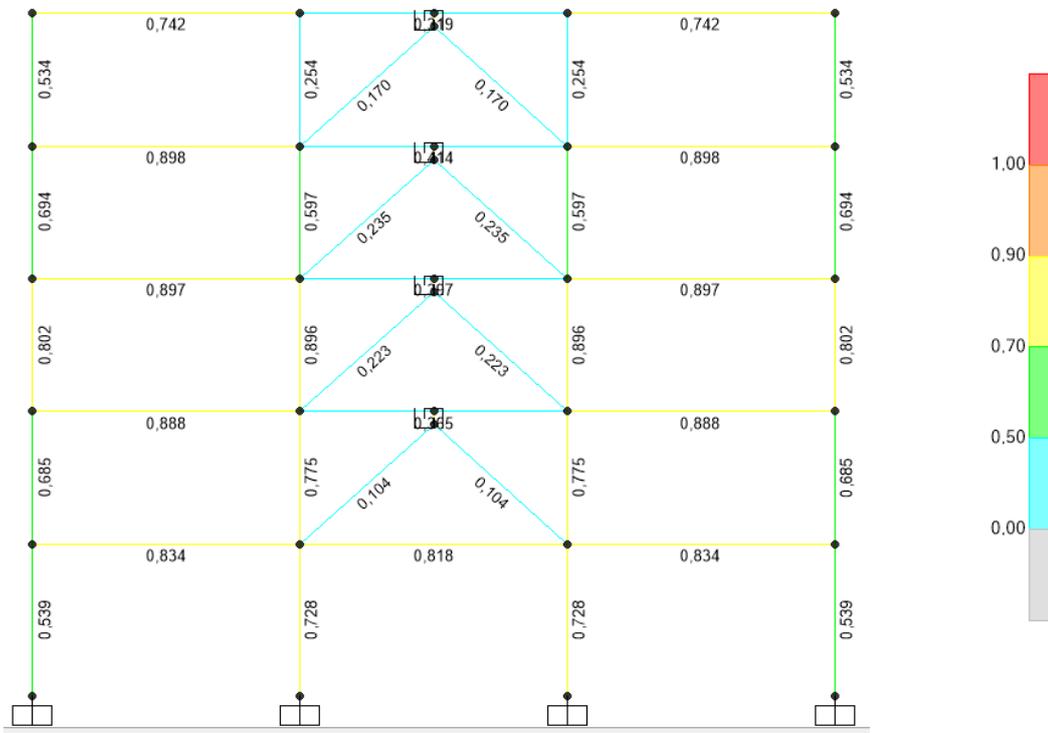


Gambar nilai beban hidup yang dimasukkan dalam software analisis struktur dengan damper.

Cek Kekuatan Material Struktur

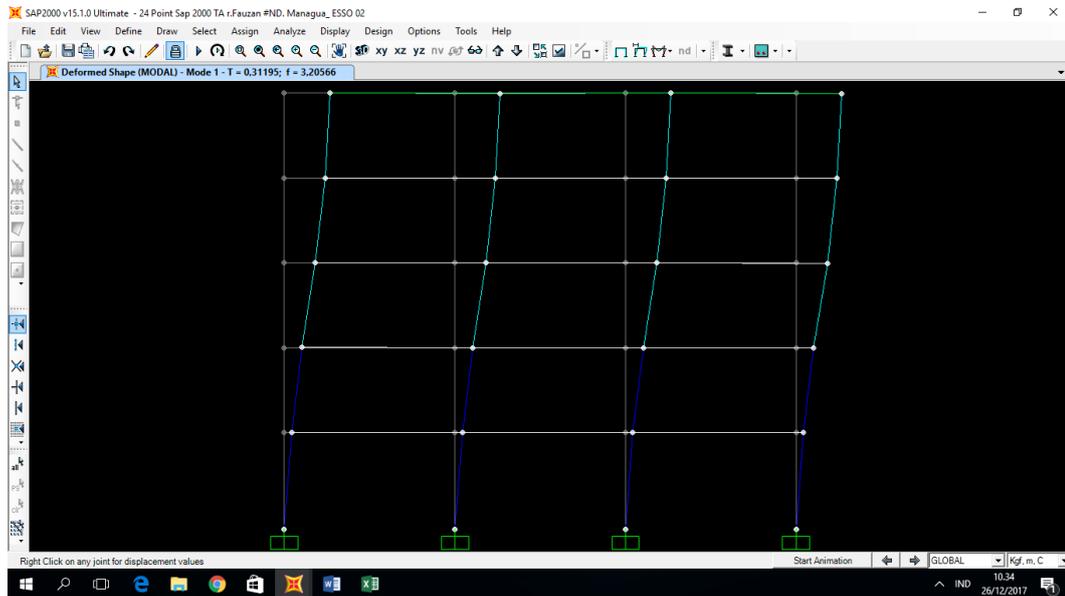


Gambar cek nilai rasio kekuatan bahan yang dianalisa dalam software analisis struktur tanpa damper.

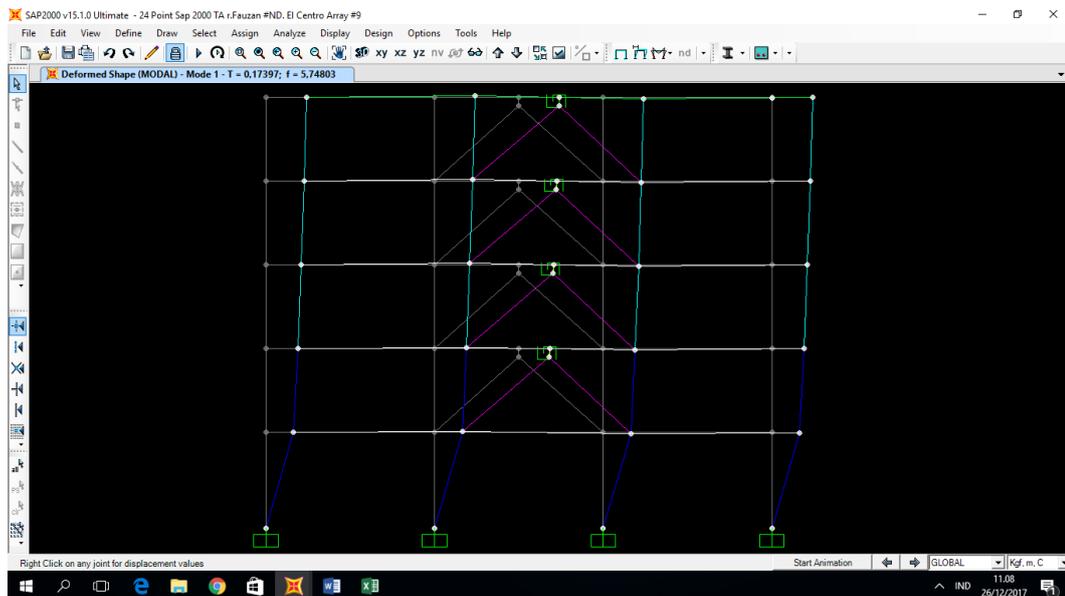


Gambar cek nilai rasio kekuatan bahan yang dianalisa dalam software analisis struktur dengan damper.

Output Simpangan yang Terjadi



Gambar simpangan yang terjadi pada struktur tanpa damper.



Gambar simpangan yang terjadi pada struktur dengan damper.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Rizki Fauzan
Tempat/Tanggal Lahir : Sei Dua Hulu, 26 Mei 1994
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Jalan Letda Sujono gang. Amban No.4
Kel. Bandar Selamat, Kota Medan
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Khairuddin
Ibu : Jamilah

JENJANG PENDIDIKAN

- SD Negeri 016538 Simpang Empat Asahan : Berijazah Tahun 2006
- MTS Binaan KEMENAG Tanjung Balai : Berijazah Tahun 2009
- SMK Negeri 1 Percut Sei Tuan : Berijazah Tahun 2012
- Melanjutkan kuliah di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tahun 2013 sampai selesai.

