

**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN FVD ( *Fluid Viscous 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:**

**ZULFUADI NASUTION  
1307210110**



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Zulfuadi Nasution

NPM : 1307210110

Program studi : Teknik Sipil

Judul tugas akhir : Perencanaan *Fluid Viscous 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, 04 September 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 dibawah ini:

Nama : Zulfuadi Nasution  
Tempat/tgl lahir : Medan, 05 Mei 1995  
NPM : 1307210110  
Fakultas : Teknik  
Fakultas : Teknik Sipil

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

“Perencanaan *Fluid Viscous 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 faktultas 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,



( Zulfuadi Nasution )

## ABSTRAK

### PERENCANAAN *FLUID VISCOUS DAMPER* PADA STRUKTUR BANGUNAN BAJA

Zulfuadi Nasution

(1307210110)

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 *Fluid Viscous Damper*. *Fluid Viscous 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 *Fluid Viscous 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 *Fluid Viscous Damper* dapat mereduksi simpangan yang terjadi akibat gempa *pulse* sebesar 65,16 % dan gempa *no pulse* sebesar 28,38 %. Pada struktur yang menggunakan *Fluid Viscous Damper* simpangan antar tingkat dapat direduksi hingga 68,85 % ini berarti kerusakan struktur dapat direduksi.

Kata kunci: *Fluid Viscous Damper*, Riwayat waktu, *pulse*, *no pulse*, perpindahan.

## **ABSTRACT**

### **PLANNING FLUID VISCOUS DAMPER ON STEEL BUILDING STRUCTURE**

Zulfuadi Nasution  
(1307210110)

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. Pada final task is discussed energy dissipation tool with the type of Fluid Viscous Damper. Fluid Viscous 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 conventional structures with structures that use Fluid Viscous Damper against earthquake loads that are analyzed by time history method. Earthquake recording used 5 pulse earthquake recording and 5 recording no pulse earthquake. The result of analysis shows that the structure using Fluid Viscous Damper can reduce the deviation caused by the pulse earthquake of 65.16% and the quake no pulse of 28.38%. In structures using Viscous Dampers Fluid the inter-level deviation can be reduced to 68.85% this means that structural damage can be reduced.*

*Keywords: Fluid Viscous Damper, Time history, pulse, no pulse, displacement.*

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Wr.Wb.*

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 *Fluid Viscous 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.

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 Ketua Program Studi Teknik Sipil dan dosen pembimbing-I yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
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 pembeding-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. BapakRahmatullah, 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. Seluruh dosen dan staf departemen yang banyak membantu yang banyak membantu selama  $\pm 4$  tahun di departemen Teknik Sipil.

8. Kedua orang tua saya yang telah membesarkan, mendidik, dan memberikan kasih sayang yang sangat besar kepada saya serta senantiasa selalu mendoakan saya untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
9. Rekan-rekan mahasiswa teknik sipil terutama untuk mahasiswa malam yaitu: Al Akbar, Rizki Fauzan, Alif Zabawi, Agung Trisna, Diki Alamsyah, Zakaria Fadhil dan lain-lain yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, 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, 11 September 2017

Penulis

Zulfuadi Nasution

1307210110

## 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	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Ruang Lingkup	3
1.4. Tujuan	4
1.5. Metode Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Umum	6
2.2. Dinamik larakteristik Struktur	7
2.2.1. Massa	7
2.2.2. Kekakuan	7
2.2.3. Redaman	8
2.3. Pengertian Damping dan Getaran	8
2.4. Sistem Kontrol Pada Bangunan	9
2.5. Viscous Damper	11
2.6. Fluid Viscous Damper	12
2.6.1. Sejarah	12
2.6.2. Bagian-Bagian Fluid Viscous Damper	14

2.6.3.	Metode Dissipasi Energi	15
2.6.4.	Kekakuan FVD	16
2.6.5.	Pola Penempatan FVD	17
2.7.	Pembebanan	19
2.7.1.	Beban Vertikal	19
2.7.2.	Beban Horisontal (Beban Gempa)	19
2.8.	Faktor Modifikasi Respon (R)	22
2.8.1.	Definisi Faktor Modifikasi Respon (R)	24
2.8.2.	Faktor Reduksi Daktilitas	25
2.8.3.	Kuat Lebih Struktur	26
2.9.	Getaran Gempa Pulse dan Tanpa Pulse	26
2.10.	Karakteristik Getaran Gempa pulse	27
2.11.	Analisa Dinamika Struktur	28
2.11.1.	Prilaku Struktur Linier dan Non Linier	29
2.12.	Ketidakteraturan Vertikal Pada Struktur	32
2.13.	Parameter Percepatan Gempa	34
2.13.1.	Kelas Situs	35
2.13.2.	Koefisien-Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang dipertimbangkan Risiko-Tertarget ( $MCE_R$ )	36
2.13.3.	Spektrum Respon Desain	37
2.14.	Simpangan Antar Lantai Tingkat dan Deformasi	39
2.14.1.	Penentuan Simpangan Antar Tingkat	39
2.14.2.	Batasan Simpangan Antar Lantai	40
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>		41
3.1.	Diagram Alir Penelitian	41
3.2.	Tujuan Metodologi	42
3.3.	Metode perencanaan	42
3.4.	Desain Bangunan	42
3.4.1.	Pemodelan Struktur Bangunan	42
3.4.2.	Material Bangunan dan Profil Struktur	44
3.5.	Pembebanan	45

3.5.1. Data Material FVD ( <i>Fluid Viscous Damper</i> )	46
3.6. Kategori Desain Gempa	47
3.7. Beban Gempa	48
3.8. Faktor Skala Percepatan Gempa	54
3.9. Kombinasi Pembebanan	55
<b>BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	<b>56</b>
4.1. Modal Analisis	56
4.2. Perpindahan Simpangan Tiap Lantai	57
4.2.1. Perbedaan Simpangan Tiap Lantai	59
4.3. Perpindahan Pada Atap	60
4.4. Perbandingan Perpindahan/deformasi Lateral maksimum Rata rata	62
4.5. Perbedaan Simpangan Tiap Lantai Rata-Rata	64
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>66</b>
5.1. Kesimpulan	66
5.2. Saran	66
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka Tanah untuk masing-masing wilayah gempa	21
Tabel 2.2	Faktor Keutamaan I untuk berbagai kategori gedung	22
Tabel 2.3	Faktor R untuk sistem penahan gempa	23
Tabel 2.4	Ketidakteraturan vertikal pada struktur	32
Tabel 2.5	Prosedur analisis yang diperbolehkan	33
Tabel 2.6	Koefisien situs, $F_a$	36
Tabel 2.7	Koefisien situs, $F_v$	37
Tabel 2.8	Simpangan ijin antar lantai	40
Tabel 3.1	Jenis material yang digunakan	44
Tabel 3.2	Profil Struktur tanpa menggunakan damper	44
Tabel 3.3	Profil struktur menggunakan damper	44
Tabel 3.4	Daftar beban mati berdasarkan SNI 1727-2013	45
Tabel 3.5	Daftar beban hidup berdasarkan SNI 1727-2013	45
Tabel 3.6	Data untuk jenis damper	46
Tabel 3.7	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek	48
Tabel 3.8	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik	48
Tabel 3.9	Nilai respon spektrum	50
Tabel 3.10	Klasifikasi situs	51
Tabel 3.11	Daftar rekaman pulse	52
Tabel 3.12	Daftar rekaman non pulse	53
Tabel 4.1	Perioda struktur bangunan dengan damper dan tanpa damper	57
Tabel 4.2	Perpindahan tiap lantai yang terjadi akibat gempa pulse	58
Tabel 4.3	Perpindahan tiap lantai yang terjadi akibat gempa non pulse	59
Tabel 4.4	Nilai simpangan maksimum rata-rata	61
Tabel 4.5	Perbandingan perbedaan simpangan tiap lantai antara struktur konvensional dengan struktur menggunakan damper	63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Sistem kontrol pasif	1
Gambar 2.1	getaran bebas dengan damping	9
Gambar 2.2	<i>Lembar paten R.Peop's Rotary Shock Absorber</i>	13
Gambar 2.3	<i>Fluid Viscous Damper</i> yang diaplikasikan pada bangunan	13
Gambar 2.4	Bagian-bagian <i>Fluid Viscous Damper</i>	14
Gambar 2.5	Grafik hubungan gaya damping dengan kecepatan	16
Gambar 2.6	<i>Basic mounting attachment styles</i>	17
Gambar 2.7	<i>The san fransisco pasific center office building</i>	17
Gambar 2.8	Pemasangan damper <i>The hotel woodland, california</i>	18
Gambar 2.9	<i>Pasific northwest baseball stadium, Sheattle, Washington</i>	18
Gambar 2.10	Respon gaya perpindahan struktur kondisi elastis dan inelastis	23
Gambar 2.11	Hubungan antara faktor modifikasi respon (R), Faktor kuat Lebih struktur dan faktor reduksi daktilitas	24
Gambar 2.12	Tipikal Kecepatan dan perpindahan rekaman gempa	26
Gambar 2.13	Rekaman gempa kuat pulse	27
Gambar 2.14	Perilaku Struktur Linier	28
Gambar 2.15	SdoF non linier	29
Gambar 2.16	<i>Histeris loop</i> pada elemen	30
Gambar 2.17	<i>Idealizet moment-curvature hysteric loop`</i>	30
Gambar 2.18	Peta gempa dengan periode ulang 2500 tahun $T = 0.2s$	33
Gambar 2.19	Peta gempa dengan periode ulang 2500 tahun $T = 1s$	34
Gambar 2.20	PGA, gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik	34
Gambar 2.21	Spektrum respon desain	37
Gambar 2.22	Penentuan simpang antar lantai	38
Gambar 3.1	Diagram alir metodologi	40
Gambar 3.2	Denah bangunan	42
Gambar 3.3	Desai struktur bangunan tampak depan, a) model bangunan	42

	tanpa damper, b) model bangunan dengan FVD	
Gambar 3.4	Jenis damper yang digunakan	45
Gambar 3.5	Grafik respon spectra padang jenis tanah sedang	50
Gambar 3.6	Rekaman gempa Pulse	52
Gambar 3.7	Rekaman gempa no pulse	53
Gambar 4.1	Pemodelan struktur 2 dimensi	56
Gambar 4.2	Simpangan antar lantai akibat gempa pulse	58
Gambar 4.3	Simpangan antar lantai akibat gempa non pulse	59
Gambar 4.4	Perpindahan pada atap akibat gempa pulse	60
Gambar 4.5	Perpindahan pada atap akibat gempa no pulse	61
Gambar 4.6	Simpangan maksimum rata-rata	62
Gambar 4.7	Grafik perbandingan simpangan tiap lantai struktur bangunan konvensional dengan menggunakan damper	64

## DAFTAR NOTASI

$\Delta$	: Simpangan antar lantai
$\Delta_a$	: Simpangan antar lantai yang diijinkan
$A$	: Luas <i>Fluid Viscous Damper</i>
$A$	: Nilai Percepatan Puncak
$A_o$	: Percepatan puncak muka tanah
$C$	: Konstanta <i>Damping</i> dari damper
$C_d$	: Faktor pembesaran defleksi
$C_s$	: Koefisien respon seismik
$C_t$	: Nilai parameter perioda pendekatan
$C_u$	: Koefisien untuk batas atas pada perioda
$D$	: Pengaruh dari beban mati
$E$	: Modulus Elastisitas
$E$	: Pengaruh beban gempa
$F$	: Gaya <i>Damping</i>
$F_a$	: Faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran perioda pendek
$F_v$	: Faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik
$I_e$	: Faktor keutamaan gempa
$K$	: Kekakuan <i>fluid viscous damper</i>
$L$	: Panjang <i>fluid viscous damper</i>
$LL$	: Pengaruh beban hidup
$M$	; Massa
$R$	: Faktor modifikasi respon
$R_\mu$	: Faktor reduksi daktilitas
$S_I$	: Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan untuk periode 1,0 detik
$SA$	: Klasifikasi situs batuan keras
$S_a$	: Spektrum respons percepatan desain
$SB$	: Klasifikasi situs batuan
$SC$	: Klasifikasi situs tanah keras, sangat padat dan batuan lunak
$SD$	: Klasifikasi situs tanah sedang

$S_{D1}$	: Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1,0 detik
$S_{DS}$	: Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek
$SE$	: Klasifikasi situs tanah lunak
$SF$	: Klasifikasi situs tanah khusus
$S_{M1}$	: Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik yang sudah di sesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
$S_{MS}$	: Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek yang sudah di sesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
$S_S$	: Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan untuk periode pendek
$T$	: Periode getar fundamental struktur
$T_0$	: $0,2 \frac{SD1}{SDS}$
$T_{a \text{ maksimum}}$	: Nilai batas atas periode bangunan
$T_{a \text{ minimum}}$	: Nilai batas bawah periode bangunan
$T_S$	: $\frac{SD1}{SDS}$
$V_y$	: Koefisien kuat geser
$V_d$	: Koefisien kuat geser maksimum
$\dot{X}$	: Kecepatan dari ujung elemen
$\alpha$	: Nilai Eksponen
$\delta_{xe}$	: Defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastik
$\Omega$	: Faktor kuat lebih
$\delta_x$	: Defleksi pusat massa
$\mu$	: rasio perpindahan

## DAFTAR SINGKATAN

MCE <sub>R</sub>	: <i>Maximum Considered Earthquake Risk Target</i>
FVD	: <i>Fluid Viscoous Damper</i>
SDK	: <i>Sistem Derajat Kebebasan</i>
TMD	: <i>Tuned Mass Damper</i>
TLD	: <i>Tunned Liquid Damper</i>
VED	: <i>Viscolastic Damper</i>
AMD	: <i>Active Mass Damper</i>
ICBM	: <i>Intrercontinental Ballistic Missiles</i>
PEER	: <i>The Pasific Earthquake Enginering Research Center</i>

# **BAB 1**

## **PENDAHULLUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Gempa bumi merupakan pergeseran tiba-tiba dari lapisan tanah dibawah permukaan bumi. Ketika pergeseran terjadi timbul getaran yang disebut gelombang seismik. Gelombang ini menjalar menjauhi fokus gempa ke segala arah didalam bumi. Ketika gelombang itu mencapai permukaan bumi, getaran akan mampu merusak bangunan, runtuhnya gedung, hancurnya jembatan dan struktur bangunan lainnya, serta menimbulkan korban jiwa dan kerugian harta benda.

Fenomena gempa bumi sering terjadi di Indonesia, sebagai negara kepulauan yang terletak pada daerah pertemuan empat lempeng tektonik menyebabkan Indonesia mendapat anacam gempa bumi yang cukup tinggi. Keempat lempeng tektonik itu adalah lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik, dan Filipina. Hal ini membuat terjadi banyak gerakan-gerakan tanah baik dalam bentuk gempa kecil maupun gempa besar.

Gempa bumi tidak bisa dicegah dan sulit untuk memprediksi kapan terjadinya, maka dari itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk memperkecil kerugian dan kerusakan yang ditimbulkan.

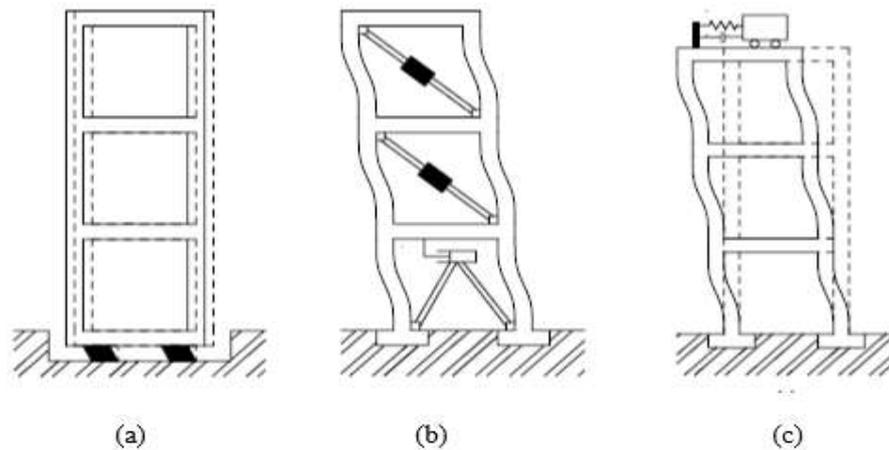
Memperhatikan masalah-masalah yang berkaitan dengan gempa yaitu runtuhnya struktur dalam merancang suatu struktur merupakan hal yang penting untuk dilakukan, mengingat kerusakan yang timbul akibat gempa dapat menyebabkan penderitaan, kehilangan nyawa, dan harta benda. Dalam skala yang lebih luas dapat menyebabkan kesulitan yang sangat serius bagi suatu negara, misalnya saja terjadi kelumpuhan ekonomi. Sampai sekarang ini manusia belum bisa menyiapkan segala sesuatu untuk mengantisipasi bencana gempa. Salah satu yang dilakukan oleh ahli struktur dalam konstruksi adalah perencanaan struktur tahan gempa. Saat ini, gaya gempa rencana yang digunakan mengacu kepada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung (SNI 03-1726-2012).

Pada perencanaan bangunan, parameter gempa bumi langsung mempengaruhi perencanaan adalah percepatan tanah yang ditimbulkan oleh gelombang seismic yang bekerja pada bangunan. Besarnya tergantung pada beberapa faktor, antara lain: besarnya kekuatan gempa, kedalam pusat gempa, jenis tanah, sistem pondasi, massa, geometri bangunan, dan sebagainya.

Menurut W.F. Tjong (2000), kontrol pada struktur diklasifikasikan dalam beberapa jenis yaitu tipe pasif, tipe aktif, dan tipe hibrid yang merupakan tipe kombinasi. Metode pengendali aktif menggunakan sensor pengukur percepatan Struktur, akuator pembangkit getar luar dan kontroller yang mengatur pemberian energi luar. Metode pasif tidak menentukan energi luar. Metode hibrid merupakan kombinasi dari kedua metode tersebut. Kelebihan kontrol aktif adalah karakteristik dinamik struktur dapat beradaptasi dengan beban dinamis yang timbul, sedangkan kelebihan kontrol pasif adalah karena kesederhanaan dalam desain, pemasangan, dan terutama pemeliharannya. Menurut Dowrick (2003), sistem kontrol pasif terdiri atas *Tuned Mass Damper*, *Energy Disappation*, *Seismic Isolation*.

Salah satu alat kontrol pasif yang tergolong dalam sistem *Energy Disappation* adalah *Fluid Viscous Damper* (FVD). FVD dapat dipasang diberbagai jenis struktur antara lain: gedung bertingkat, menara, dan jembatan dengan bentang panjang. Tujuan pemasangan FVD adalah Untuk Memperkecil nilai respon simpangan yang timbul akibat adanya getaran pada struktur yang diberikan oleh beban dinamis yang bekerja. Beban dinamis yang dimaksud dapat berupa gempa, angin, dan getaran mesin.

Dalam perencanaan struktur bangunan 5 lantai ini damper akan dipasang pada setiap lantai bangunan, tugas akhir ‘Perencanaan FVD(*Fluid Viscous Damper*) Pada Struktur Bangunan Baja” akan mencoba untuk membanding simpangan yang terjadi akibat gaya lateral atau gempa anantara bangunan tanpa menggunakan damper dengan bangunan menggunakan damper.



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

## 1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah untuk mencari nilai perbandingan simpangan (*displacement*) antara struktur bangunan baja biasa tanpa menggunakan damper dengan struktur bangunan baja menggunakan damper jenis *Fluid Viscous Damper* (FVD).

## 1.3. Ruang Lingkup

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

1. Struktur bangunan dianalisis dengan 2 dimensi, berada di wilayah gempa Indonesia daerah Padang, Sumatera Utara.
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. Tidak memperhitungkan sambungan dan tangga, analisis dilakukan dengan bantuan *software* analisis struktur.

#### **1.4. Tujuan**

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui besar reduksi yang diberikan *Fluid Viscous Damper* terhadap struktur ketika terjadi gempa *pulse* dan *non pulse*.
2. Untuk mengetahui perbandingan nilai simpangan antara bangunan struktur baja biasa dengan struktur bangunan baja menggunakan *Fluid Viscous Damper*.
3. Untuk mengetahui efisiensi *Fluid Viscous Damper* dalam mereduksi Simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur.

#### **1.5. 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 *Software* analisis struktur.

#### **1.6. 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, ruang lingkup, 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 konvensional bangunan tahan gempa adalah berdasarkan konsep bagaimana meningkatkan kapasitas tahan struktur terhadap gaya gempa yang bekerja padanya. Misalnya dengan menggunakan shear wall, sistem rangka pemikul momen khusus, sistem dengan menggunakan damper, dan sebagainya. Konsekuensinya, pada bangunan dimana kekakuan lateralnya cukup besar akan mengalami percepatan lantai yang besar, sedangkan pada bangunan akan mengalami kerusakan yang signifikan pada peristiwa gempa kuat. Struktur bangunan harus direncanakan berdasarkan standart acuan SNI 1726-2012.

Syarat-syarat perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa yang ditetapkan dalam standart ini tidak berlaku pada struktur bangunan berikut ini:

- a. Struktur bangunan dengan sistem struktur yang tidak umum atau yang masih memerlukan pembuktian tentang kekehalayakannya.
- b. Struktur jembatan kendaraan lalu lintas, struktur reaktor energi, struktur bangunan keairan dan bendungan, anjungan lepas pantai, dan struktur penahan gelombang.

Adapun untuk perencanaan struktur bangunan diatas harus dilakukan dengan menggunakan standart dan pedoman perencanaan yang membutuhkan tenaga-tenaga ahli dalam bidang rekayasa struktur dan geoteknik.

Kriteria standar bangunan tahan gempa menurut *Uniform Building Code* 1997, adalah sebagai berikut:

- a. Ketika terjadi gempa kecil, tidak terjadi kerusakan sama sekali
- b. Ketika terjadi gempa sedang, diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektural tetapi bukan merupakan kerusakan struktural.
- c. Ketika terjadi gempa kuat, diperbolehkan terjadinya kerusakan struktural dan non struktural, namun kerusakan yang terjadi tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh.

## **2.2. Dinamik Karakteristik Struktur Bangunan**

Dalam persamaan differensial sebuah gerakan massa pada struktur derajat kebebasan tunggal (SDOF) melibatkan tiga properti utama dalam suatu struktur yaitu massa, kekakuan, dan redaman. Ketiga properti struktur ini umumnya disebut dinamik karakteristik struktur. Properti tersebut sangat spesifik yang tidak semuanya digunakan pada problema statik. Kekakuan elemen/struktur adalah satu-satunya karakteristik yang dipakai pada problem statik. Sedangkan karakteristik yang lain yaitu massa dan redaman tidak dipakai (Nazifa,2015).

### **2.2.1. Massa**

Suatu struktur yang kontinu kemungkinan mempunyai banyak derajat kebebasan karena banyaknya massa yang mungkin dapat ditentukan. Banyaknya derajat kebebasan umumnya berasosiasi dengan jumlah massa tersebut akan menimbulkan kesulitan. Hal ini terjadi karena banyaknya persamaan differensial yang ada. Sama seperti struktur dengan derajat kebebasan tunggal, maka pada struktur dengan derajat kebebasan banyak juga, sangat diperlukan beberapa asumsi/penyederhanaan.

### **2.2.2. Kekakuan**

Pada prinsip bangunan geser (*shear buliding*) balok pada lantai tingkat dianggap tetap horisontal baik sebelum maupun sesudah terjadi penggoyangan. Adanya 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 dibanding dengan balok, namun demikian rasio tersebut tidak selalu linier dengan kekakuannya. Dengan prinsip *shear building* maka dimungkinkan pemakain *lumped mass* model (Nazifa,2015).

### 2.2.3. Redaman

Redaman merupakan peristiwa pelepasan energi oleh struktur akibat adanya berbagai macam sebab. Adapun penyebabnya diantara lain adalah pelepasan energi oleh adanya gerakan antar molekul didalam material, pelepasan energi oleh gesekan dengan udara dan pada respon inelastic pelepasan energi akibat adanya rotasi sendi plastik. Karena redaman berfungsi melepaskan energi maka hal tersebut akan mengurangi respon struktur (Nazifa, 2015).

### 2.3. Pergertian Damping Dan Getaran

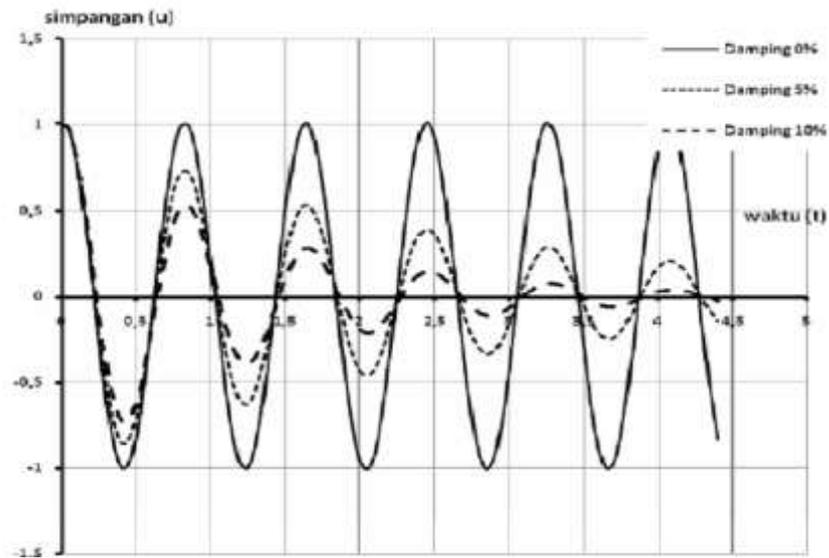
Getaran pada struktur bangunan dapat terjadi akibat adanya pengaruh gaya luar, baik beban angin maupun beban gempa. Pada umumnya bangunan-bangunan teknik sipil mempunyai kekakuan lateral yang beraneka ragam, sehingga mempunyai periode getar berlainan juga. Periode getar dari struktur bangunan teknik sipil, pada umumnya berkisar 0,2 detik untuk bangunan yang rendah atau sangat kaku, sampai 9 detik untuk bangunan yang sangat tinggi atau fleksibel. Sedangkan redaman didefinisikan sebagai oleh bagaimana respon gerakan struktur berkurang sebagai hasil dari kehilangan energi getaran tersebut.

Peran damping dalam struktur antara lain:

1. Menyebabkan getaran dapat berhenti
2. Memperkecil respon simpangan (*displacement*)
3. Mengurangi simpangan saat resonansi

*Damping* dalam struktur disebut juga *inherent damping*, yaitu *damping* yang berasal dari gesekan antara struktur dengan bagian non struktur, gesekan udara dan tutup bukannya penampang beton yang retak, dan plastisitas bahan setelah struktur mengalami deformasi inelastis. Besarnya *damping* tersebut sekitar 1% samapai 5% tergantung jenis dan kekakuan struktur.

Bila struktur tanpa *damping*, getaran struktur tidak akan berhenti. Untuk getaran bebas tanpa *damping*, atau 0% *damping*, amplitude getaran akan tetap dan berulang-ulang terus tanpa berhenti, sedangkan getaran dengan *damping* 5% dan 10% amplitude getaran akan mengecil terhadap waktu. Semakin besar *damping* maka amplitude getaran akan semakin kecil dan cepat berhenti bergetar.



Gambar 2.1: getaran bebas dengan *damping*.

Pada keadaan sebenarnya, keadaan getaran tidak pernah berhenti tersebut tidak terjadi, getaran bagaimanapun akan berhenti pada suatu waktu tertentu. Berhentinya getaran disebabkan disipasi energi suatu getaran, faktor yang membuat disipasi energi dinamakan *damping* atau redaman dari suatu sistem getaran. Dissipasi energi dapat disebabkan oleh retak pada penampang, ketidak-linear kekakuan dalam keadaan elastis, gesekan atau interaksi antara struktur dengan non struktur dan non struktur dengan non struktur, interaksi struktur dengan tanah, dan lain-lainnya.

#### 2.4. Sistem Kontrol Pada Bangunan

Menurut Irvan (2015), sistem kontrol pada bangunan adalah suatu sistem yang mereduksi respons struktur guna meningkatkan kenyamanan pada sebuah bangunan. Beberapa jenis sistem kontrol yang telah ditemukan antara lain:

##### 1. Sistem Kontrol Pasif

Suatu struktur yang menerapkan sistem kontrol pasif tidak memerlukan tambahan energi luar untuk mereduksi respons struktur. Sistem kontrol pasif memanfaatkan energi potensial suatu struktur untuk

menjalankan fungsinya. Penggunaan sistem kontrol tersebut konvensional, karena hanya mengandalkan suatu sistem dari struktur. Oleh karena itu, untuk suatu kasus tertentu, sistem kontrol tersebut tidak dapat memenuhi permintaan yang ada karena terbatasnya kapasitas yang dimiliki oleh suatu struktur. Beberapa contoh sistem kontrol pasif adalah *Tuned Mass Damper (TMD)*, *tuned liquid damper (TLD)*, *friction damper*, *metallic yield device*, *viscoelastic damper (VED)*, dan *viscous fluid damper*.

## 2. Sistem Kontrol Semi-Aktif

Tahap perkembangan sistem kontrol pada struktur selanjutnya adalah sistem kontrol semi-aktif. Hal yang dikembangkan adalah peningkatan kemampuan dan sifat adaptasi dari sistem kontrol. Sistem tersebut terdiri dari sensor, *computer control*, *aktuator*, dan *passive damper device*. Besaran respons struktur akibat beban yang bekerja dapat diketahui dari sensor. *Computer control* pada sistem tersebut berfungsi sebagai pengirim informasi dari sensor menjadi signal kontrol kepada aktuator yang berfungsi dalam pengaturan kinerja *passive damper device*. Beberapa sistem kontrol semi-aktif yang telah ditemukan adalah *semiaactive Tuned Mass Damper*, *semiaactive tuned liquid damper*, *semiaactive friction damper*, *semiaactive vibration absorber*, *semiaactive stiffness control device*, *electrorheological damper*, *magnetorheological damper*, dan *semiaactive viscous fluid damper*.

## 3. Sistem Kontrol Aktif

Sistem kontrol aktif merupakan pengembangan dari sistem kontrol semi-aktif. Kemampuan kontrol dan adaptasi dari sistem kontrol sebelumnya (semi-aktif) telah berkembang menjadi lebih baik. Hal tersebut dikarenakan fungsi aktuator tidak hanya sebagai pengatur *passive damper device*, namun dapat menghasilkan gaya kontrol yang melawan beban gempa dengan mengumpan balik data respon struktur, sehingga dapat dikatakan bahwa sistem kontrol aktif tidak hanya bergantung pada energi potensial yang dimiliki oleh sebuah struktur untuk menjalankan

fungsinya. Dalam pengaplikasian, sistem kontrol aktif memiliki beberapa kekurangan yaitu pemasangan yang rumit, membutuhkan energi luar yang cukup besar, dan memerlukan biaya yang tinggi. Contoh dari sistem kontrol aktif adalah *active mass damper* (AMD), *active tendon system*, *active brace system*, dan *pulse generation system*.

#### 4. Sistem Kontrol Hybrid

Sistem kontrol hybrid merupakan gabungan dari sistem kontrol pasif dan aktif. Dalam sistem kontrol *hybrid*, sistem kontrol aktif dapat menutupi kekurangan sistem kontrol pasif, dan sebaliknya. Contoh dari sistem kontrol *hybrid* adalah *hybrid mass damper*, *hybrid base isolation system*, dan *hybrid damper-actuator bracing control*.

### 2.5. Viscous Damper

Dengan memperhitungkan gaya-gaya dalam (*damping forces*) dalam analisa dinamis struktur, dianggap bahwa gaya-gaya ini selalu selaras (proporsional) dengan besar kecepatannya dan mempunyai arah gerak yang berlawanan. Bentuk redaman ini dikenal sebagai redaman liat (*viscous damping*), ini adalah bentuk dari gaya redam (*damping force*) yang dapat terjadi pada benda yang tertahan geraknya dalam cairan pekat (*viscous fluid*). Terdapat beberapa keadaan dimana anggapan redaman liat benar nyata dan di dalam mana mekanisme pelepasan energy mendekati kondisi liat.

Viscous damping tidak ada hubungan langsung dengan damping pada keadaan sebenarnya di struktur, tapi pemakaian konsep Viscous Damping dapat memfasilitasi semua bagian dissipasi energi dan membentuk persamaan getaran sederhana yang mudah diselesaikan. Konsep viscous damping pada awalnya digunakan sebagai suatu besaran dissipasi energi oleh struktur pada keadaan elastis.

Dalam pendekatan konvensional, struktur diharuskan untuk mengurangi atau menghilangkan akibat dari gangguan yang masuk ke struktur, dengan mengkombinasikan kekuatan, kekakuan, daya serap energi dari struktur tersebut. Tingkat redaman pada struktur bangunan konvensional sangat rendah, sehingga

jumlah energy yang di serap selama gangguan sementara juga rendah. Selama guncangan kuat, misalnya gempa, struktur konvensional biasanya berdeformasi jauh melampaui batas elastisitasnya, dan tetap pada bentuk itu disebabkan kemampuan deformasi inelastisnya. Sehingga, sebagian energy yang hilang diserap oleh struktur itu sendiri melalui kerusakan lokal.

Damper adalah alat yang ditambahkan pada struktur untuk meningkatkan redaman (damping) dari suatu struktur. Dengan adanya alat ini, simpangan terhadap struktur akan berkurang, demikian juga gaya dalam struktur akibat beban lateral, struktur dapat direncanakan secara elastis akibat gempa besar dengan biaya yang ekonomis.

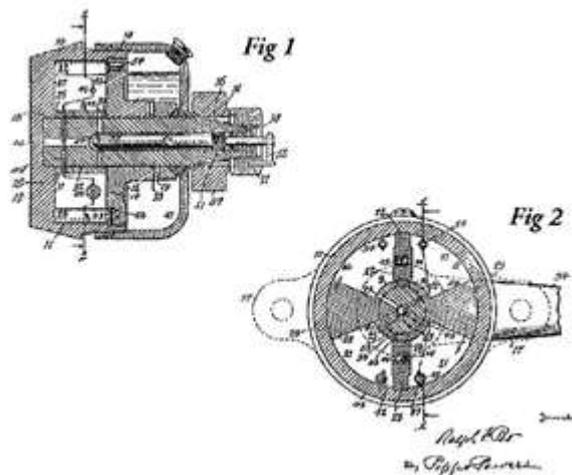
## **2.6. *Fluid Viscous Damper***

### **2.6.1. Sejarah**

Evolusi damper ukuran besar di mulai dengan munculnya meriam yang mempunyai muatan bagian belakang yang besar pada Tahun 1860. Beberapa konsep untuk meredam gerakan pada senjata setelah penembakkan telah diusahakan, termasuk gulungan pegas dan balok karet. Sementara para peneliti masa itu mulai meneliti bidang baru dari komponen hidrolis, akhir Tahun 1860, penelitian menggunakan damper hidrolis untuk meredam getaran meriam.

Pada akhir perang dunia I, puluhan ribu *fluid dampers* mulai digunakan dalam bidang militer, angkatan darat, angkatan laut, dan angkatan udara. Beberapa damper masa itu merupakan tipe semi-aktif, dimana perubahan ketinggian sudut senjata akan mengubah resultan gaya redam. Hal ini dilakukan dengan menggunakan kereta beroda diantara pengangkut senjata damper.

Tahun 1920-an dan 1930-an merupakan periode dimana mobil menjadi fitur yang dominan dalam budaya Amerika. Salah satu ciri paling menarik yang dimiliki mobil adalah dapat berjalan mulus pada semua permukaan jalan. *Fluid viscous damper* dipasang pada suspension mobil. Yaitu Houdaille rotary yang ditemukan oleh Ralph Peo dari Houdaille Company, di Buffalo, New York, U.S.A pada tahun 1925.



Gambar 2.2: Lembar Paten R. Peo's Rotary Shock Absorber.

Pada awal perang dingin, Amerika dan Rusia mulai mengembangkan *Intercontinental Ballistic Missiles (ICBM)*, dilengkapi dengan buku ledak nuklir. Dalam beberapa kasus, spring-damper digunakan untuk mengisolasi rudal tersebut dan beberapa item penting dalam kompleks peluncuran. Sementara diwaktu lain, keseluruhan struktur diisolasi baik bidang horizontal dan vertikal dengan menggunakan kumparan pegas dan *fluid damper*.

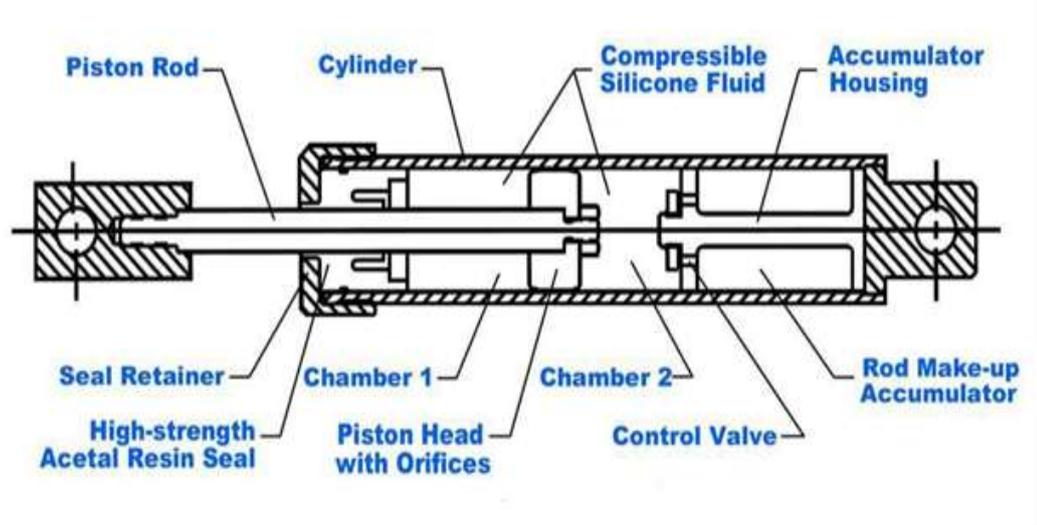
Dengan berakhirnya perang dingin pada Tahun 1987, teknologi *fluid damper* mulai dikembangkan untuk keperluan diluar kemiliteran, diantaranya untuk perlindungan struktur terhadap gangguan seismic dan angin yang kuat. Tidak banyak pengembangan yang diperlukan untuk menggunakan *fluid damper* pada struktur bangunan.



Gambar 2.3. *Fluid Viscous Damper* yang diaplikasikan pada bangunan.

### 2.6.2. Bagian-bagian *Fluid Viscous Damper*

Elemen desain penting dari *fluid viscous damper* relatif sedikit. Namun, rincian dari elemen-elemen ini dalam beberapa hal bisa jadi sulit sekaligus kompleks. Gambar 2.4 menggambarkan *fluid viscous damper* dan bagian-bagiannya.



Gambar 2.4: Bagian-bagian *Fluid Viscous Damper*.

**Piston rod.** Dikarenakan *piston rod* relatif dan harus menahan beban kolom, biasanya *piston rod* dibuat dari bahan material baja mutu tinggi. *Stainless steel* lebih dipilih untuk digunakan karena korosi pada permukaan *piston rod* dapat menyebabkan *fluid viscous damper* tidak berfungsi.

**Cylinder.** *Cylinder* berisi media cairan dan harus menerima tekanan damper beroperasi. *Cylinder* biasanya terbuat dari pipa-pipa baja. Konstruksi las dan cor tidak diizinkan untuk *cylinder* damper, mengingat kekhawatiran akan umur kelelahan dan retak tegang.

**Fluid.** Cairan yang digunakan adalah cairan yang tahan api, tidak beracun, mempunyai temperatur yang stabil, dan tahan lama, satu-satunya cairan yang memenuhi kriteria tersebut jenis *silicone*. *Silicone* yang digunakan memiliki flash point lebih dari 340°C. Cairan *silicone* yang digunakan pada damper ini sebenarnya identik dengan *silicone* yang umum digunakan dalam kosmetik seperti krim tangan dan wajah.

**Seal.** *Seal* yang digunakan pada *fluid viscous damper* harus berfungsi minimal 25 tahun tanpa memerlukan pergantian secara periodik. Kebanyakan damper menggunakan *seal* dinamik pada permukaan piston rod, dan *seal* statik dimana ujung penutup atau penahan *seal* melekat ke *cylinder*.

**Piston Head.** *Piston head* melekat pada *piston rod*, dengan efektif membagi *cylinder* kedalam dan ruang tekan.

**Seal Retainer.** Digunakan untuk menutup dan membuka ujung silinder.

**Accumulator.** Fungsi dari *Accumulator* adalah untuk mengontrol laju pergerakan *piston rod* masuk dan keluar damper selama bekerja. Fungsi lainnya adalah untuk menyeimbangkan temperatur dan penyusutan cairan.

**Orifices.** Aliran bertekanan dari cairan melalui *piston head* diatur oleh *orifice*.

### 2.6.3. Metode Dissipasi Energi FVD

Konsep penambahan damper pada struktur mengasumsikan bahwa energi yang masuk kedalam struktur akan diserap, oleh struktur itu sendiri, melainkan oleh elemen damping tambahan. *Fluid* damper mempunyai kenaikan yaitu bisa sekaligus memperkecil tegangan dan defleksi. Hal ini dikarenakan gaya *fluid viscous damper* bervariasi hanya dengan kecepatan geraknya, yang menghasilkan respon yang berhubungan terhadap tegangan lentur struktur.

Bentuk umum dari gaya redaman yang diinput untuk analisis struktur yang menggunakan *fluid viscous damper* ditulis dengan Pers 2.1.

$$F = C\dot{X}^\alpha \quad (2.1)$$

Dimana:

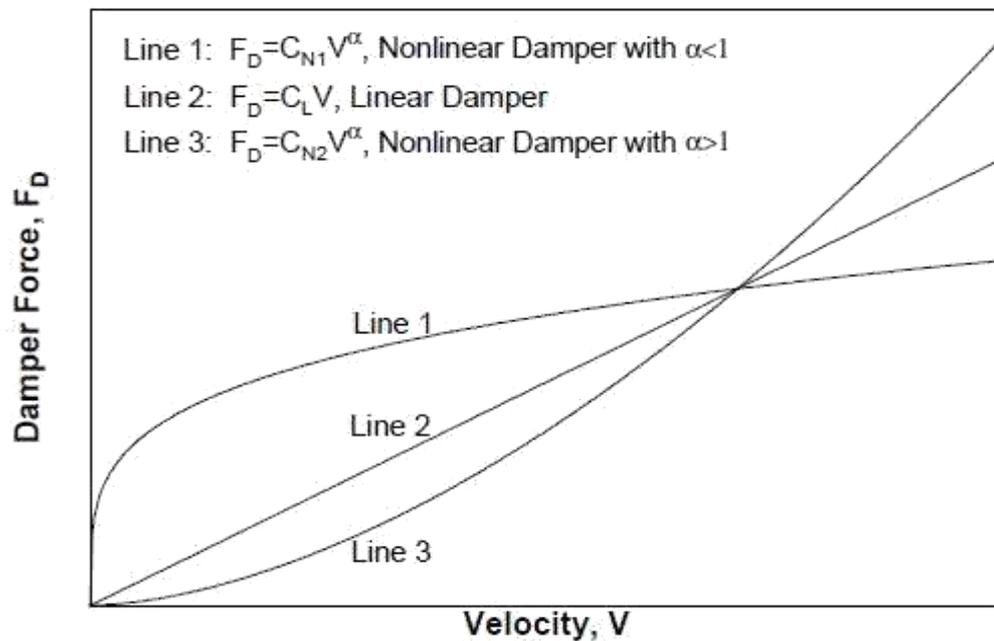
F = gaya damping

C = konstanta damping dari damper

$\dot{X}$  = kecepatan dari ujung elemen

Koefisien  $\alpha$  merupakan eksponen yang memiliki nilai spesifik dalam rentang 0,3 sampai 1,0. Rentang nilai  $\alpha$  untuk bangunan dengan desain seismic adalah 0,4 sampai 0,5. Nilai koefisien  $\alpha$  mempengaruhi kelinieran gaya damping. Damper dengan  $\alpha = 1$ , disebut *viscous damper* linier yang mana gaya damping F

damper berbanding lurus dengan kecepatan, sedangkan damper dengan  $\alpha \neq 0$  disebut *viscous damper* non-liniar, yang efektif untuk meminimalkan guncangan dengan kecepatan tinggi.



Gambar 2.5: Grafik hubungan gaya damping dengan kecepatan.

#### 2.6.4. Kekakuan FVD

Menurut Taylor (1995), kekakuan *Fluid viscous damper* adalah:

$$K = \frac{AE}{L} \tag{2.2}$$

$K$  = kekakuan *fluid viscous damper* (kg/m)

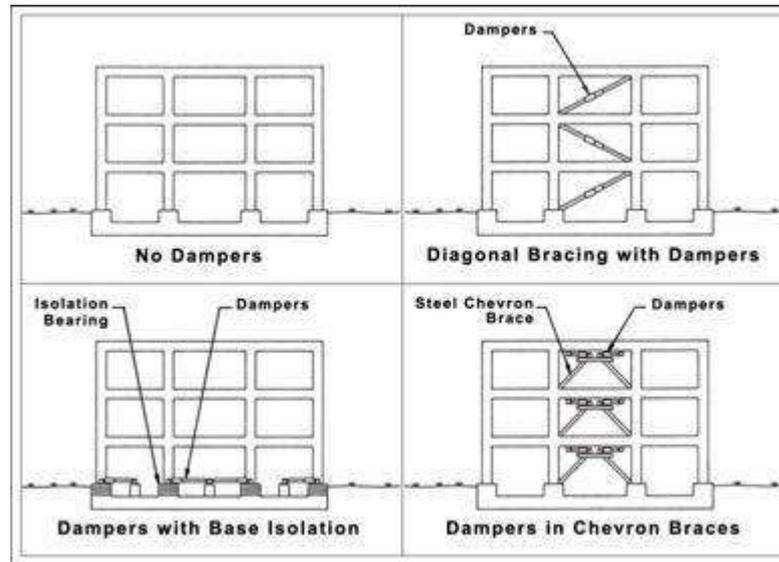
$A$  = luas *fluid viscous damper* ( $m^2$ )

$E$  = Modulus Elastisitas ( $kg/m^2$ )

$L$  = Panjang *fluid viscous damper* (m)

### 2.6.5. Pola Penempatan FVD

Dalam aplikasinya, pola penempatan FVD sangat beragam tergantung pada kebutuhan dan mempertimbangkan estetika bangunan. Umumnya pada struktur gedung, FVD dipasang sebagai diagonal bracing.



Gambar 2.5: *Basic Mounting Attachment Styles.*



Gambar 2.6: *The San Fransisco Pasific Center Office Building.*



Gambar 2.7: Pemasangan damper *The Hotel Woodland, Woodland, California.*



Gambar 2.8: *Pacific Northwest Baseball Stadium, Seattle, Washington.*

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan *software* analisis struktur mencoba menganalisis hasil respon struktur bangunan gedung beraturan yang dipasangkan damper. Bangunan bertingkat lima lantai dengan struktur baja.

## **2.7. Pembebanan**

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

### **2.7.1. 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.

#### **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.

### **2.7.2. Beban Horizontal (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  $S_l$ )
- 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  $\Omega_0$
- 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 di *software* analisis struktur dalam pembebanan gempa dinamis *response spectrum* antara lain:

- Input data *response spectrum* di *software* analisis struktur.
- 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. Untuk perencanaan struktur gedung melalui analisis dinamik linier riwayat waktu terhadap pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal, muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan ketaraf pembebanan gempa nominal tersebut, sehingga nilai percepatan puncaknya  $A$  menjadi:

$$A = \frac{A_0 I}{R} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$A_0$ = Percepatan puncak muka tanah

$R$ = Faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan

$I$ = Faktor keutamaan

Tabel 2.1: Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing wilayah gempa indonesia SNI 1726-2012.

Wilayah Gempa	Percepatan Puncak batuan dasar (g)	Percepatan muka tanah $A_0$ (g)			
		Tanah Keras	Tanah sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,3	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,3	0,33	0,36	0,38	

Tabel 2.2: Faktor keutamaan I untuk berbagai kategori gedung SNI 1726-2012.

Kategori gedung	faktor keutamaan		
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran.	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan Beracun	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki diatas menara	1,5	1,0	1,5

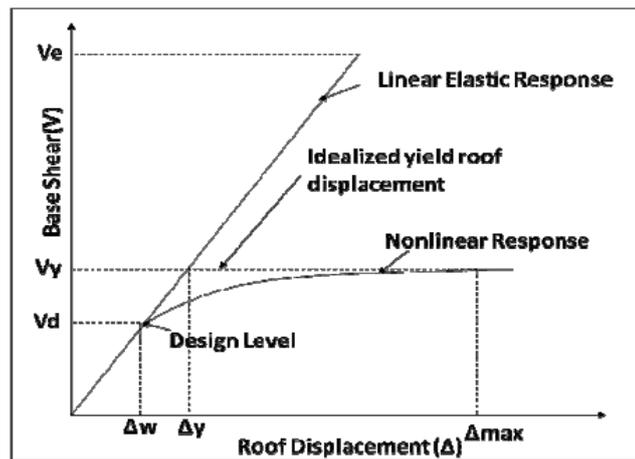
Untuk mengkaji perilaku pasca-elastik struktur gedung terhadap pengaruh gempa rencana, harus dilakukan analisis respon dinamik non-linier riwayat waktu, dimana percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan, sehingga nilai percepatan puncak muka tanah menurut Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 untuk melihat nilai I = faktor keutamaan.

Dalam prinsip ini gempa yang digunakan memiliki 2 jenis gempa yang berbeda yaitu: gempa pulse, dan gempa non pulse. Diantara rekaman gempa pulse dan non pulse diambil masing-masing 5 data rekaman gempa. Berhubung gerakan tanah akibat gempa pada suatu lokasi tidak mungkin dapat diperkirakan dengan tepat, maka sebagai gempa masukan dapat juga dipakai gerakan tanah yang disimulasikan.

## 2.8. Faktor Modifikasi Respon (R)

Persyaratan desain bangunan untuk beban-beban gravitasi akan selalu berbeda dengan beban yang bersifat lateral seperti beban angin dan gempa bumi. Beban lateral seperti angin dapat digolongkan kedalam pembebanan primer karena biasanya dirancang dengan kisaran 1% sampai 3% dari berat struktur sehingga bisa dilakukan dengan konsep desain elastisitas.

Hal tersebut tidak berlaku terhadap beban gempa, beban lateral gempa, biasanya dirancang dengan kisaran 30% sampai 40% dari berat struktur sehingga jika didesain dengan konsep elastisitas, struktur akan sangat berat dan tidak ekonomis. Oleh karena itu desain beban gempa lebih difokuskan kepada konsep pengendalian dan pencegahan keruntuhan. Hal ini dapat digambarkan pada Gambar 2.10 di bawah ini untuk respon elastis dan inelastis pada struktur (Zafar, 2009) dengan kondisi linier elastis dan nonlinier.



Gambar 2.9. Respon gaya-perpindahan struktur kondisi elastis dan inelastis (Zafar, 2009).

Berdasarkan pada Standar Nasional Indonesia (SNI 1726-2012) Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non Gedung nilai R sudah ditetapkan berdasarkan ketegori sistem penahan gaya seismik.

Tabel 2.3: Faktor  $R$ ,  $C_d$  dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa (SNI 1726-2012).

Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons $R$	Faktor kuat lebih sistem $\Omega_0$	Faktor pembedaan defleksi $C_d$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>e</sup>					
				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									
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 2.3: *Lanjutan.*

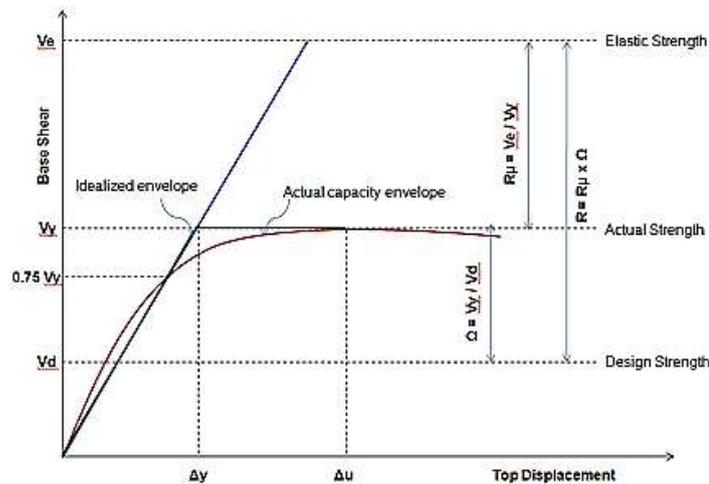
Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons R	Faktor kuat lebih sistem $\Omega_0$	Faktor pembesaran defleksi $C_d$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n(m)^c$				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2	5	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	6	2	5	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	8	2	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7	2	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2	6	TB	TB	TB	48	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2	6	TB	TB	10	TB	TB

### 2.8.1. Definisi Faktor Modifikasi Respon (R)

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

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

respon (R), faktor kuat lebih struktur ( $\Omega$ ), dan faktor reduksi daktilitas ( $R_\mu$ ) dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Hubungan antara faktor modifikasi respon (R), faktor kuat lebih struktur ( $\Omega$ ), dan faktor reduksi daktilitas ( $R_\mu$ ) (FEMA, 2007).

Reduksi yang besar ini terutama disebabkan oleh dua faktor utama (Gambar 2.11), yaitu:

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

### 2.8.2. Faktor Reduksi Daktilitas ( $R_\mu$ )

Faktor reduksi daktilitas ( $R_\mu$ ) merupakan faktor yang menunjukkan penurunan kebutuhan gaya elastis ke tingkat kuat leleh ideal dari struktur, sehingga dapat direpresentasikan pada Persamaan 2.6 di bawah ini (FEMA, 2007).

$$R_\mu = V_e / V_y \tag{2.4}$$

$V_e$  adalah koefisien gaya geser dasar maksimum jika struktur tetap elastis. Faktor reduksi daktilitas ( $R_\mu$ ) mengambil manfaat disipasi energi dari kapasitas desain dan detail struktur, sehingga pada intinya tergantung pada kebutuhan

daktalitas secara umum dari suatu struktur,  $\mu$  ( $\mu$  adalah rasio antara perpindahan saat kuat puncak dengan perpindahan saat kuat leleh). Secara matematis dapat dirumuskan (FEMA,2007):

$$R\mu = \mu \quad (2.5)$$

### 2.8.3. Kuat Lebih Struktur ( $\Omega$ )

Kuat lebih struktur ( $\Omega$ ) memiliki peran penting dalam mencegah keruntuhan bangunan. Kuat lebih struktur ( $\Omega$ ) dapat didefinisikan sebagai rasio aktual untuk kuat lateral desain (FEMA, 2007):

$$\Omega = V_y/V_d \quad (2.6)$$

Di mana  $V_y$  adalah koefisien kuat geser maksimum kondisi leleh dan  $V_d$  adalah koefisien kuat geser maksimum untuk desain.

Kuat lebih struktur terjadi setelah struktur melewati kuat leleh maksimum yang merupakan hasil dari distribusi gaya internal struktur, kuat lebih dari material, pengerasan regangan, kelebihan elemen, pendetailan tulangan, efek element non-struktural dan nilai efek regangan. Namun demikian kuat lebih struktur ini sering kurang diperhatikan dalam aplikasi di lapangan.

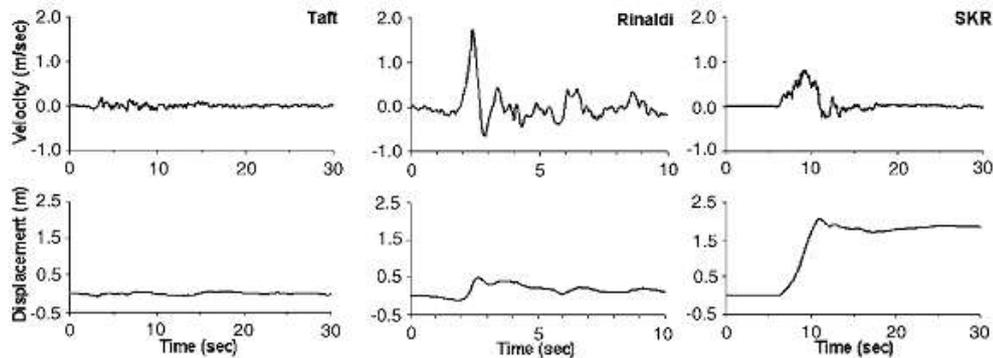
## 2.9. Getaran Gempa *Pulse* dan Tanpa-*Pulse*

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 2.12, di mana terlihat bahwa kecepatan

gempa pada Gambar 2.12b menunjukkan lonjakan yang sangat signifikan pada periode tertentu.



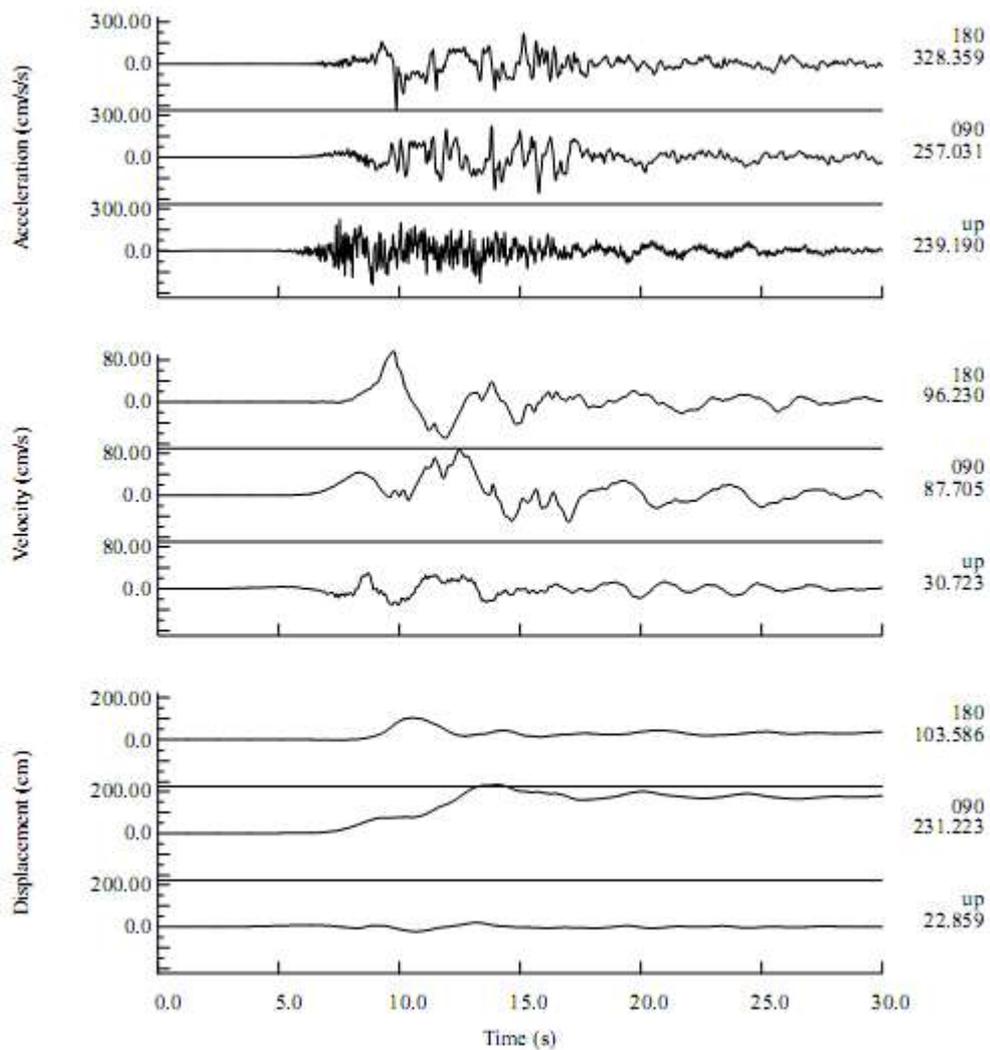
Gambar 2.12. Tipikal kecepatan dan perpindahan rekaman gempa a) *far-fault*, b) *near-fault (forward directivity)*, dan c) *near-fault (fling-step)*. (Kalkan dan Kunnath, 2006).

## 2.10. Karakteristik Getaran Gempa *Pulse*

*Pulse motion* berasal dari istilah *velocity pulse*. Getaran gempa dengan yang memiliki karakteristik pulse merupakan sebuah akibat dari kondisi yang disebut *forward directivity* yang berasal dari gempa dekat ( $R_{rup} < 10$  KM). Gempa ini terjadi ketika regangan elastis yang secara bertahap terakumulasi pada suatu patahan melepaskan energinya yang biasanya disebut proses *elastic rebound*. Energi yang dilepaskan ini akan menghasilkan gerakan tanah yang dinamis dan berlangsung selama beberapa detik hingga beberapa menit (Sommerville, 2003).

Gerakan tanah yang kuat pernah direkam pada akselerograf digital di Michoacan-Meksiko (1985), Chi Chi-Taiwan (1999), dan Kocaeli-Turki (1999) yang memiliki gerakan tanah dinamis dan perpindahan tanah statis.

Gambar 2.13 merupakan rekaman gempa Kocaeli-Turki (1999) dengan mekanisme *strike-slip* yang mengalami perpindahan tanah dari sekitar 2 m ke Timur.



Gambar 2.13. Rekaman gempa kuat (*pulse motion*) 1999 di Kocaeli, Turki-Yarimca (Sommerville P, 2003).

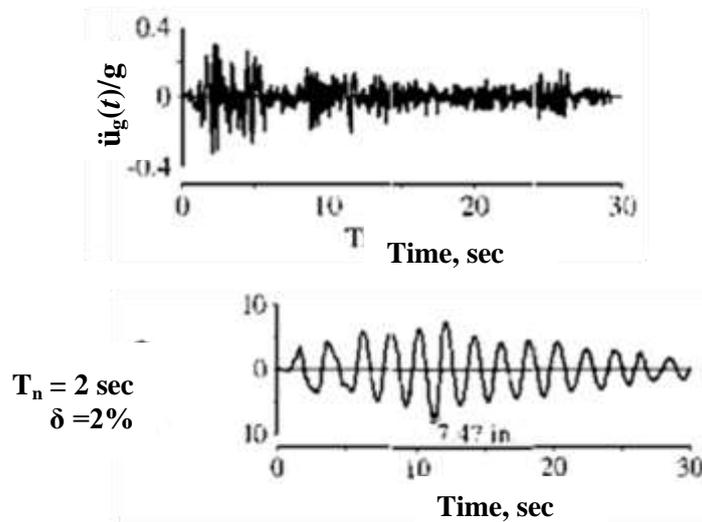
### 2.11. Analisis Dinamika Struktur

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.

### 2.11.1. Perilaku Struktur Linear dan Non-Linear

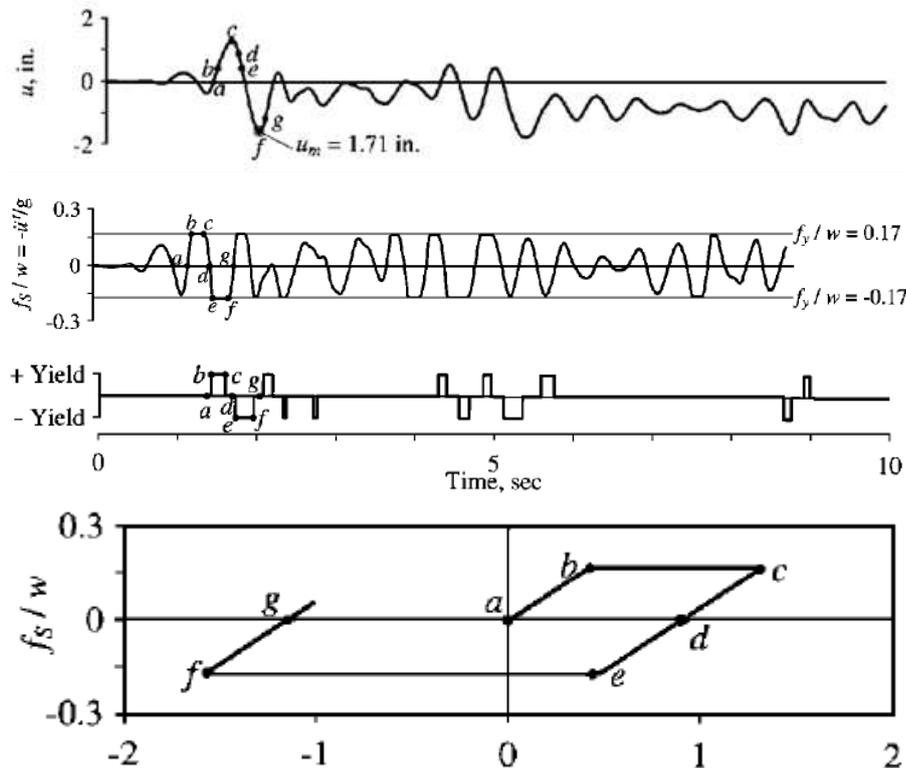
Struktur Linear adalah struktur yang tidak mengalami perubahan Massa ( $M$ ), Redaman ( $C$ ), dan Kekakuan ( $K$ ) dalam kondisi apapun. Analisa dalam kondisi ini biasanya digunakan dengan asumsi bahwa struktur direncanakan selalu berada dalam kondisi elastis, atau sifat struktur dapat kembali ke posisi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

Dapat dilihat pada Gambar 2.14, sebuah struktur SDOF yang bersifat linear diberikan beban percepatan gempa. Simpangan akhir, setelah beban berhenti bekerja, kembali ke kekaadaan awal.



Gambar 2.14. Perilaku Struktur Linear (a) Percepatan Gempa; (b) Lendutan Struktur SDOF Linear Yang Diberikan Beban percepatan Gempa. (Gavin, 2014).

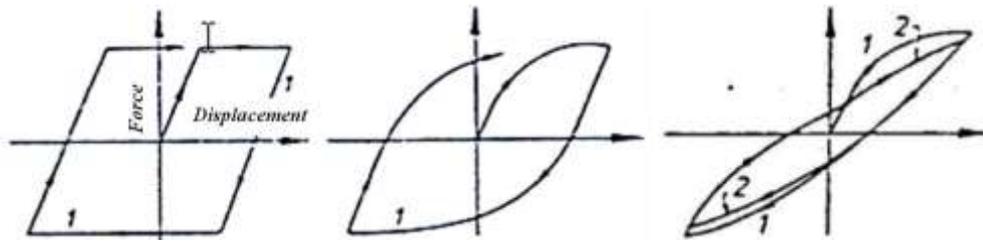
Sedangkan struktur Non-Linear adalah struktur yang mengalami perubahan Massa ( $M$ ), Redaman ( $C$ ), dan Kekakuan ( $K$ ) pada kondisi tertentu. Struktur akan berubah sifat setelah melewati batasan tertentu. Analisa seperti ini sangat membantu para perencana untuk memahami bagaimana sifat suatu struktur 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 ( $\mu$ ), atau besar perbandingan antara nilai kondisi kapasitas puncak dengan kondisi leleh puncak.



Gambar 2.15. SDoF Non-Linear (a) Simpangan; (b) Gaya Yang ditahan; (c) Interval Waktu Pelelehan; (d) Grafik Hubungan Gaya-Simpangan (Gavin, 2014).

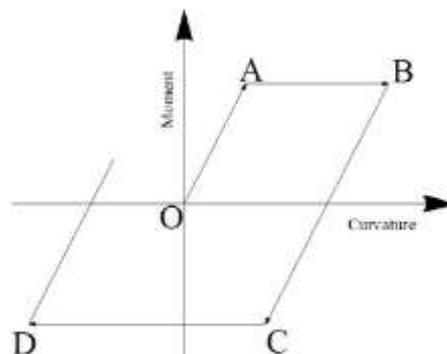
Gambar 2.15 di atas menunjukkan perilaku struktur Non-Linear bila diberikan beban tertentu. Dapat dilihat bahwa pada kondisi tertentu gaya yang bekerja melebihi kemampuan gaya elastis struktur. Simpangan akhir, setelah beban berhenti bekerja, tidak kembali ke keadaan awal.

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*).



Gambar 2.16. *Histerisis loop* pada elemen (Gavin, 2014).

Gambar 2.16 menunjukkan gambar *hysteretic loop* yang terjadi pada elemen. Gambar 2.17 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 ( $\phi_{yield}$ ). A-B adalah massa dimana struktur hanya menahan beban gempa dengan respon inelastis saja. B adalah titik dimana elemen struktur mencapai respons maksimum ( $\phi_{max}$ ) dan masuk kedalam respon elastis negatif. Siklus ini terus berulang sampai elemen melewati batas kemampuannya.



Gambar 2.17. *Idealized Moment - Curvature Hysteretic Loop* (Gavin, 2014).

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 berkerja 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.

## 2.12. Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur

Struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdaftar dalam Tabel 2.4 harus dianggap mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik sebagaimana harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel.

Tabel 2.4: Ketidakberaturan vertikal pada struktur (SNI 1726-2012).

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata	Tabel 13	D, E dan F
1b.	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 13	E dan F D, E dan F
2.	Ketidakberaturan berat (massa) didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat didekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau	Tabel 13	D,E dan F

Tabel 2.4: Lanjutan.

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
3.	Ketidakberaturan geometri vertikal didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.	Tabel 13	D, E dan F
4.	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal Didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan ditingkat dibawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 13	B, C, D, E dan F D, E dan F D, E, dan F
5a.	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 13	E dan F D, E dan F
5b.	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 13	D, E dan F B dan C D, E, dan F

Tabel 2.5: Prosedur analisis yang dibolehkan (SNI 1726-2012).

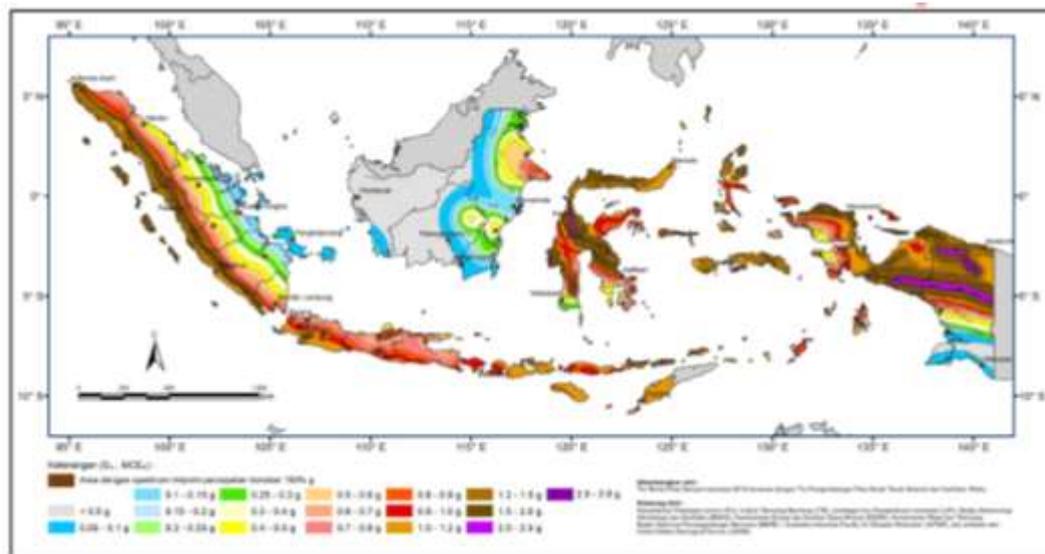
Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekivalen pasal 7.8	Analisis spektrum respon ragam pasal 7.9	Prosedur riwayat respon seismik pasal 11
B, C	Bangunan dengan kategori resiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat.	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan kategori resiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat.	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori resiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat.	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan kategori resiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat.	I	I	I
	Struktur beraturan dengan $T < 3,5 T_s$ dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan.	I	I	I

Tabel 2.6: Lanjutan.

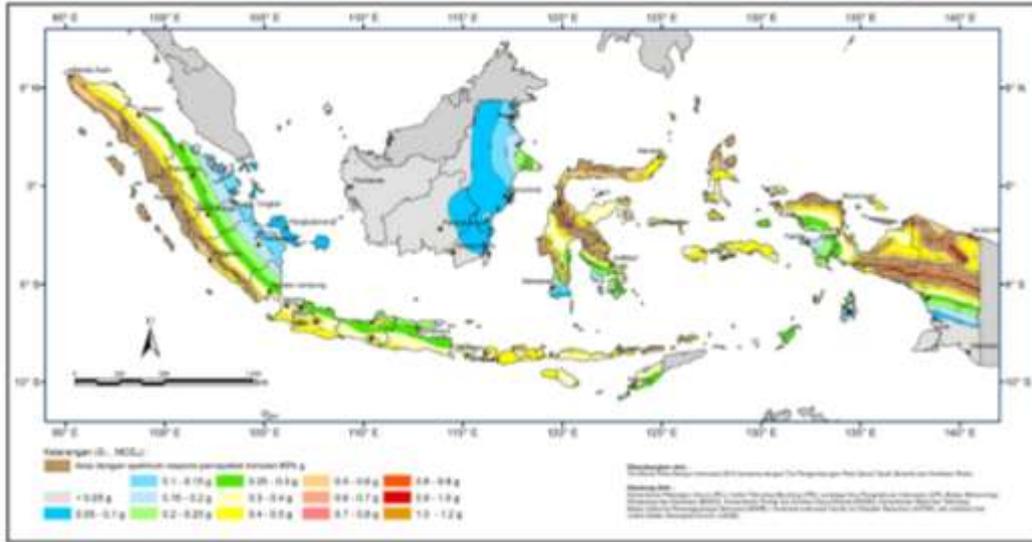
Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 7.8	Analisis spektrum respon ragam pasal 7.9	Prosedur riwayat respon seismik pasal 11
	Struktur tidak beraturan dengan $T < 3,5 T_s$ dan mempunyai hanya ketidakberaturan horizontal tipe 2, 3, 4 atau 5 dari tabel 10 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b dari tabel 11.	I	I	I
	Semua sistem struktur lainnya.	TI	TI	TI

### 2.13. Parameter Percepatan Gempa

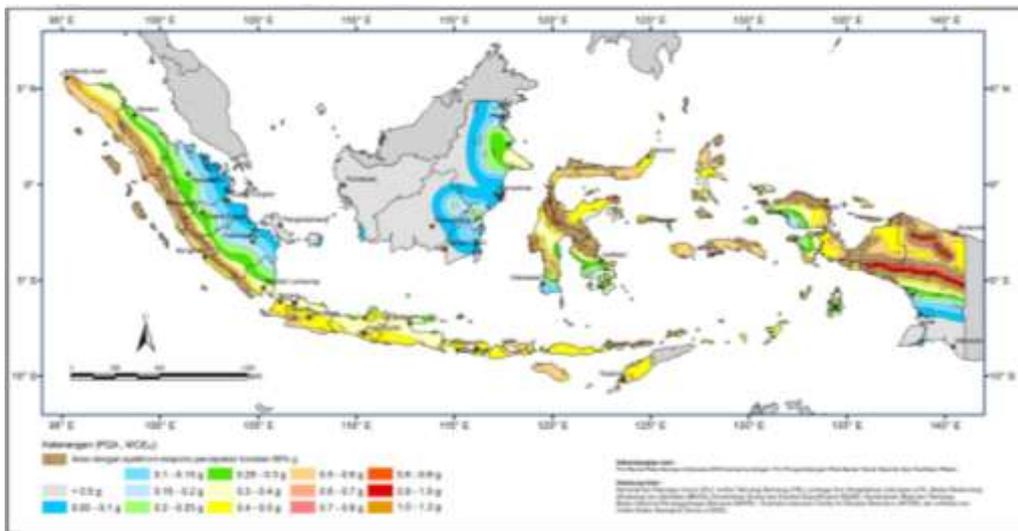
Parameter percepatan gempa mengacu pada SNI 1726:2012 pasal 14 ditetapkan berdasarkan parameter  $S_S$  dan  $S_1$ . Parameter  $S_S$  dan  $S_1$  harus ditetapkan masing-masing dari respon spektral percepatan 0.2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2% dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.



Gambar 2.17: Peta gempa dengan periode ulang 2500 tahun dan  $T = 0,2$  s (SNI 1726:2012).



Gambar 2.18: Peta gempa dengan periode ulang 2500 tahun  $T = 1$  s (SNI 1726;2012).



Gambar 2.19: PGA, Gempa Maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCEG)(SNI 1726:2012).

### 2.13.1. 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*.

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

Untuk penentuan respon spektra percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget dipermukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. 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 perumusan sebagai beriku ini:

$$S_{MS} = F_a S_S \tag{2.7}$$

$$S_{MI} = F_v S_I \tag{2.8}$$

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.

Berdasarkan SNI 1726:2012, nilai  $F_a$  dan  $F_v$  diperoleh dari tabel berikut:

Tabel 2.6: Koefisien situs,  $F_a$  (SNI 1726-2012).

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, $S_S$				
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1$	$S_S \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	$SS^b$				

Catatan:

- a) Untuk nilai-nilai antara  $S_S$  dapat dilakukan interpolasi linear
- b)  $SS$  = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pasal 6.10.1.

Tabel 2.6: Koefisien situs,  $F_v$  (SNI 1726-2012).

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T=1$ detik, $S_I$				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

Catatan:

- Untuk nilai-nilai antara  $S_I$  dapat dilakukan interpolasi linear
- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pasal 6.9.1.

### 2.13.3. 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 seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.21.

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. Maka kurva spektrum respon desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.21 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

- Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari Pers. 2.9.

$$S_a = S_{DS} \cdot \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.9)$$

- 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  $S_{DS}$

3. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respon percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan Pers. 2.10.

$$S_a = \frac{SD1}{T} \quad (2.10)$$

Keterangan:

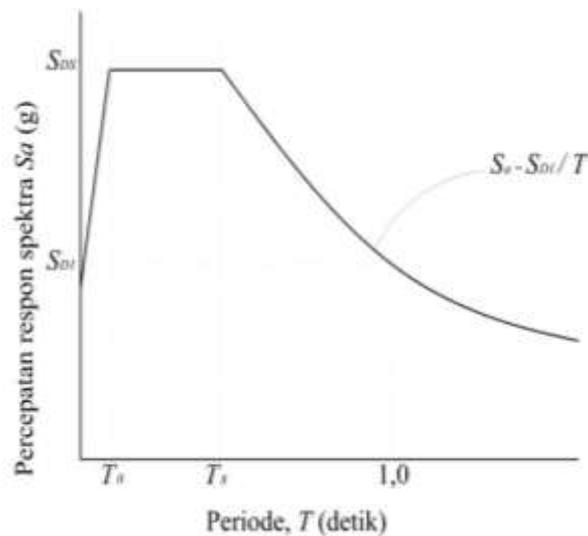
$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

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

$T$  = periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} \quad (2.11)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \quad (2.12)$$



Gambar 2.21: Spektrum respon desain.

## 2.14. Simpangan Antar Lantai Tingkat dan Deformasi (*displacement*)

### 2.14.1. Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan anatar tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa ditingkat teratas dan terbawah yang ditinjau seperti Gambar 2.22.

Defleksi pusat massa ditingkat  $x$  ( $\delta_x$ ) harus ditentukan sesuai dengan Pers. 2.13.

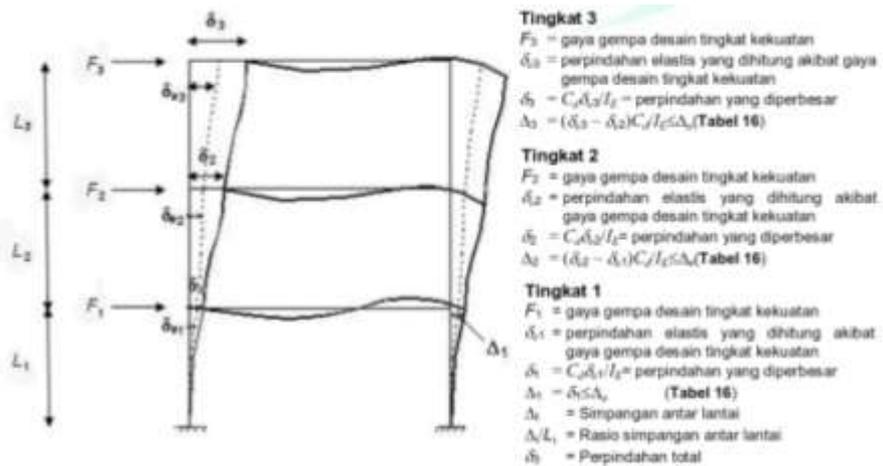
$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.13)$$

Keterangan:

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi

$\delta_{xe}$  = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastik

$I_e$  = faktor keutamaan gempa



Gambar 2.22: Penentuan simpang antar lantai (SNI 1726-2102).

### 2.14.2. Batasan Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) seperti yang telah ditentukan sebelumnya tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin didapat pada Tabel 2.8 untuk semua tingkat.

Tabel 2.8: Simpangan ijin antar lantai  $\Delta_a^{a,b}$ .

Struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, setelah dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasikan simpangan antar lantai tingkat.	0,025 $h_{xx}^c$	0,020 $h_{xx}$	0,015 $h_{xx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 $h_{xx}$	0,010 $h_{xx}$	0,010 $h_{xx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 $h_{xx}$	0,007 $h_{xx}$	0,007 $h_{xx}$
Semua struktur lainnya.	0,020 $h_{xx}$	0,015 $h_{xx}$	0,010 $h_{xx}$

$h_{xx}$  adalah tinggi tingkat dibawah tingkat x.

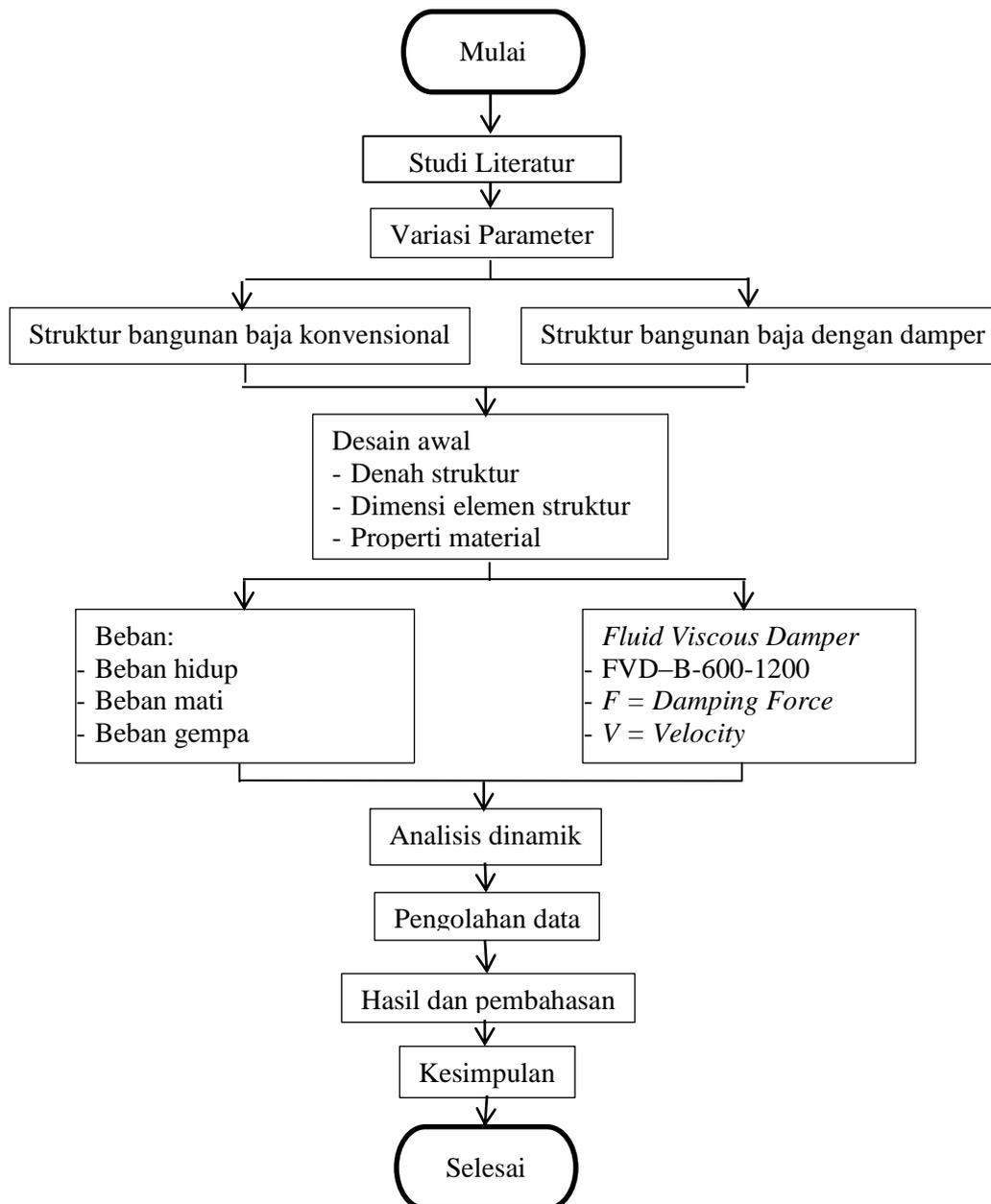
Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E dan F, simpangan antar tingkat ijin sesuai dengan persyaratan 7.12.1.1.

### BAB 3

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah perencanaan dapat dilihat pada gambar alir Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1: Diagram alir metodologi.

### **3.2. Tujuan Metodologi**

Tujuan metodologi ini adalah melihat perbandingan simpangan struktur bangunan, antara struktur bangunan baja dengan menggunakan tambahan alat peredam damper dengan FVD (*Fluid Viscous Damper*) dengan jenis FVD-B-600-1200 dan struktur bangunan konvensional.

### **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 *Software* analisis struktur.

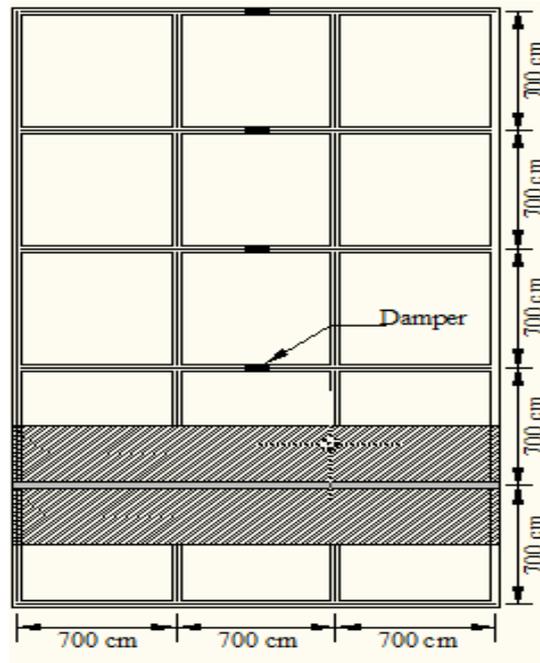
### **3.4. Desain Bangunan**

Bangunan yang akan didesain pada penelitian ini adalah gedung perkantoran dan memiliki 5 lantai dengan tinggi tipikal 3,5 m. Denah yang 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 konvensional dengan struktur bangunan menggunakan damper FVD-B-600-1200, dimana faktor modifikasi respon rangka baja dengan bresing konsentris khusus yang diizinkan sebesar  $R = 8$  (SNI 1726-2012).

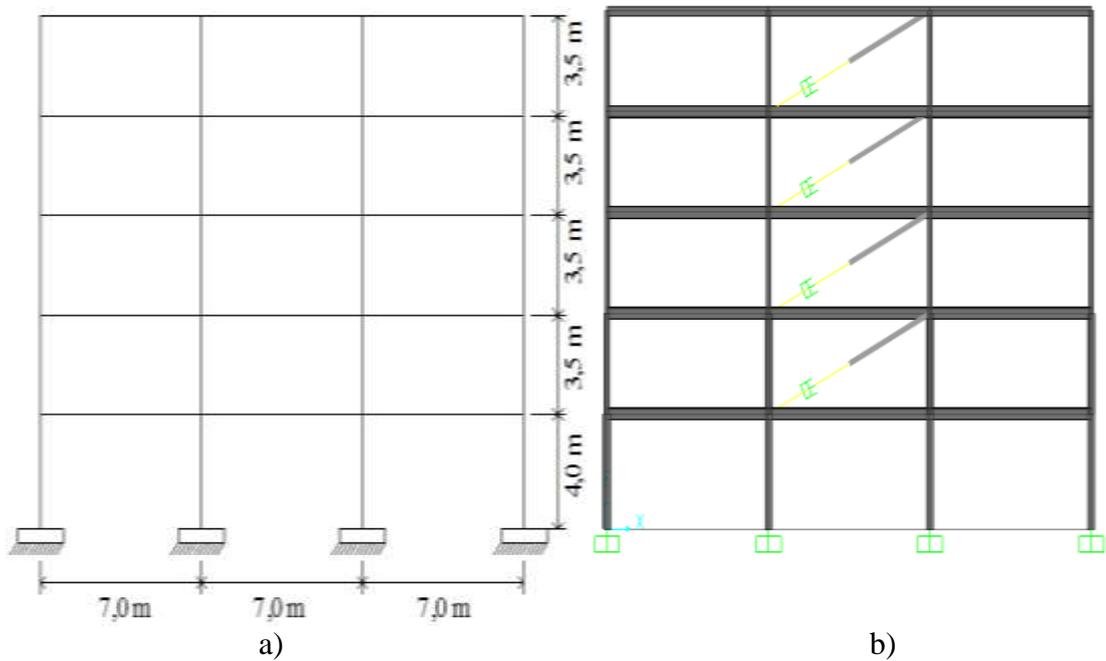
#### **3.4.1. Pemodelan Struktur Bangunan**

Bangunan yang digunakan bangunan 3 dimensi dan dianalisis menggunakan 2 dimensi dengan mengambil bagian-bagian ditengah struktur bangunan. Bagian-bagian yang akan diambil dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



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 *Fluid Viscous Damper*.

### 3.4.2. Material Bangunan dan Profil Struktur

#### a. Material bangunan

Dalam perencanaan struktur bangunan ini material struktur bangunan dapat dilihat pada tabel 3.1 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 3.2 dan 3.3 dibawah ini.

Tabel 3.2: Profil struktur tanpa menggunakan damper.

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

Tabel 3.3: Profil struktur dengan menggunakan damper.

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

### 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, seangkan untuk beban mati tambahan pada lantai yang meliputi berat spesi + keramik, plafond + penggantung dan peralatan mekanik dan instalasi listrik, dan lain-lain.

Beban hidup menggunakan type gedung perkantoran, dimana plat lantai menerima beban sebesar 240 Kg/m<sup>2</sup> dan khusus plat lantai sebesar 100 Kg/m<sup>2</sup>. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

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

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

Tabel 3.5: Daftar beban hidup berdasarkan SNI 1727-2013.

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

Untuk 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.

- 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.

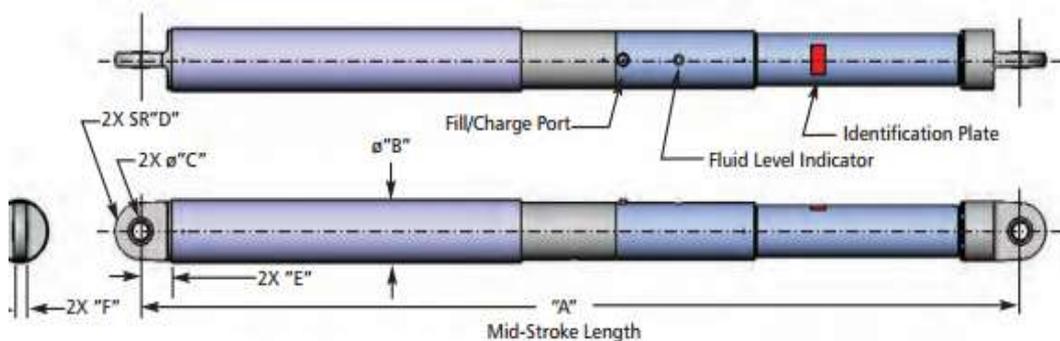
Untuk struktur-struktur bangunan yang disebutkan dalam batasan tersebut diatas, perencanaan harus dilakukan dengan menggunakan standar dan pedoman perencanaan yang terkait.

### 3.5.1. Data Material FVD (*Fluid Viscous Damper*)

Data untuk damper sendiri menggunakan produk dari perusahaan ITT Enidine Inc, USA. Untuk jenis damper yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.6 dibawah ini.

Tabel 3.6: Data untuk jenis damper.

Model	Max. Damping Force (Kn)	Stroke (mm)	Mild Stroke "A" (mm)	Max.O.D. "B" (mm)	Mounting pin Diameter "C" (mm)	Clevis Radius "D" (mm)	Clevis Depth "E" (mm)	Clevis/Bearing Width "F" (mm)	Unit Weight (Kg)
FVD-B-300-1200	300	600	3790	166	40	74	70	35	262
FVD-B-450-1200	450	600	3851	185	50	90	83	46	344
FVD-B-600-1200	600	600	3874	210	50	96	83	46	437
FVD-B-800-1200	800	600	3950	242	70	120	108	55	593
FVD-B-1000-1200	1000	600	4011	267	80	130	121	60	735
FVD-B-1200-1200	1200	600	4062	286	80	134	121	60	855
FVD-B-1500-1200	1500	600	4124	318	90	150	134	65	1085
FVD-B-2000-1200	2000	600	4244	356	110	180	166	80	1445



Gambar 3.4: Jenis damper yang digunakan.

Dalam hal ini jenis damper yang digunakan dalam perencanaan adalah FVD-B-600-1200 dengan data masukan sebagai berikut:

1. FVD-B-600-1200

- Diameter (d) : 0,210 m
- Berat (*weight*) : 437 kg
- Gaya damping (F) : 600 kN
- Kecepatan (V) : 2 m/s
- Ratio damping ( $\alpha$ ) : 0,5
- Modulus elastisitas (E) :  $2 \times 10^{10}$  kg/m<sup>2</sup>

Data masukan untuk SAP 2000 yaitu:

- Kekakuan (*stiffness*)

- $$K = \frac{AE}{L} = \frac{3,14 \times 0,201 \times 7,826 \times 20000000000}{7,826} = 1,3188 \times 10^{10} \text{ kg/m}$$

- Koefisien Damping (*damping coefficient*)

- $$F = CV^\alpha$$

$$C = \frac{F}{V^\alpha} = \frac{60000}{02^{0,5}} = 42426 \text{ kg.m/s}$$

### 3.6. Kategori 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 pendeatailan 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 3.7: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 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
$0,33 \leq S_{Ds} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{Ds}$	D	D

Tabel 3.8: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 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 perioda 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), seperti yang terdapat pada Gambar 2.18 dan Gambar 2.19, 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:

- 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
- 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  $F_v = 1,5$
- Menghitung  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$   
 $S_{MS}$  (parameter respon spektrum percepatan pada perioda pendek) dan  $S_{M1}$  (parameter respon spektrum percepatan pada perida 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  $S_a = 1$

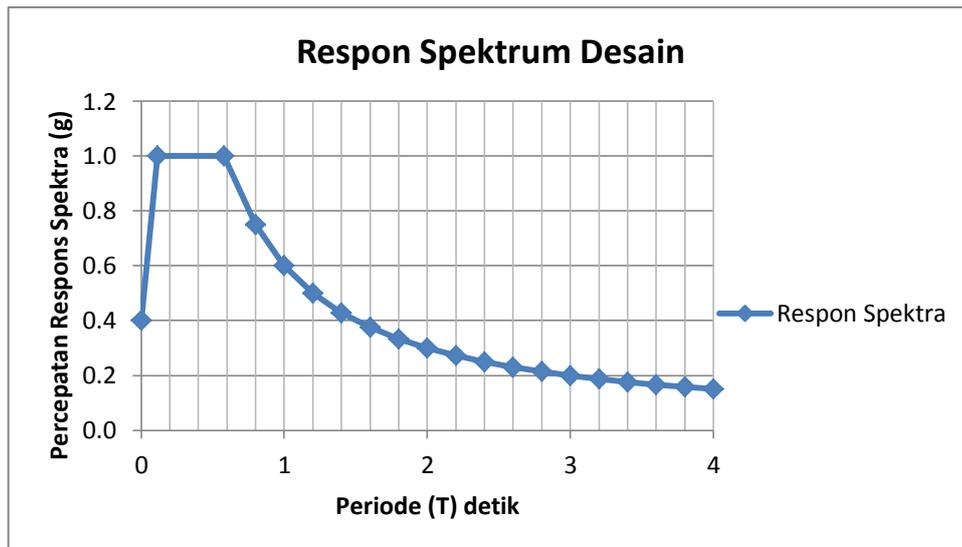
Untuk periode yang lebih besar dari  $T_s$ ,  $S_a$  berdasarkan Pers. 2.9. maka didapat nilai dan grafik respon spektrum seperti dibawah ini.

Tabel 3.9: 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

Tabel 3.9: Lanjutan.

Perioda	Percepatan
2,600	0,231
2,800	0,214
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 3.5: 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 3.10: Klasifikasi situs (SNI 1726-2012)

Kelas situs	$\hat{v}_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{ch}$	$\hat{S}_u$ (kpa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50

Tabel 3.10: *Lanjutan.*

Kelas situs	$\hat{v}_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{ch}$	$\hat{S}_u$ (kpa)
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser nilai air $\hat{S}_u < 25$ kpa		
<i>SF</i> (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-sitis yang mengikuti)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - 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 $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\hat{S}_u < 50$ kpa		

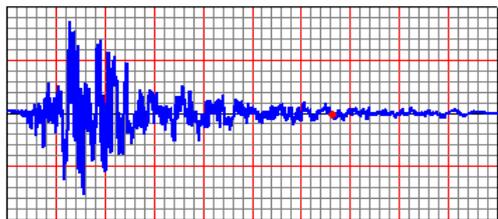
Catatan: N/A = tidak dapat dipakai.

## 2. *Time History* (Riwayat waktu).

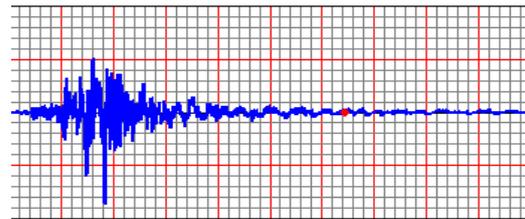
Data *time history* diambil dari *The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)* dan dibedakan menjadi jenis gempa yaitu gempa pulse dan gempa non pulse. Pembagian gempa pulse dan non pulse dapat dilihat pada tabel 3.11 dan 3.12 dibawah ini.

Tabel 3.11: Daftar rekaman gempa pulse

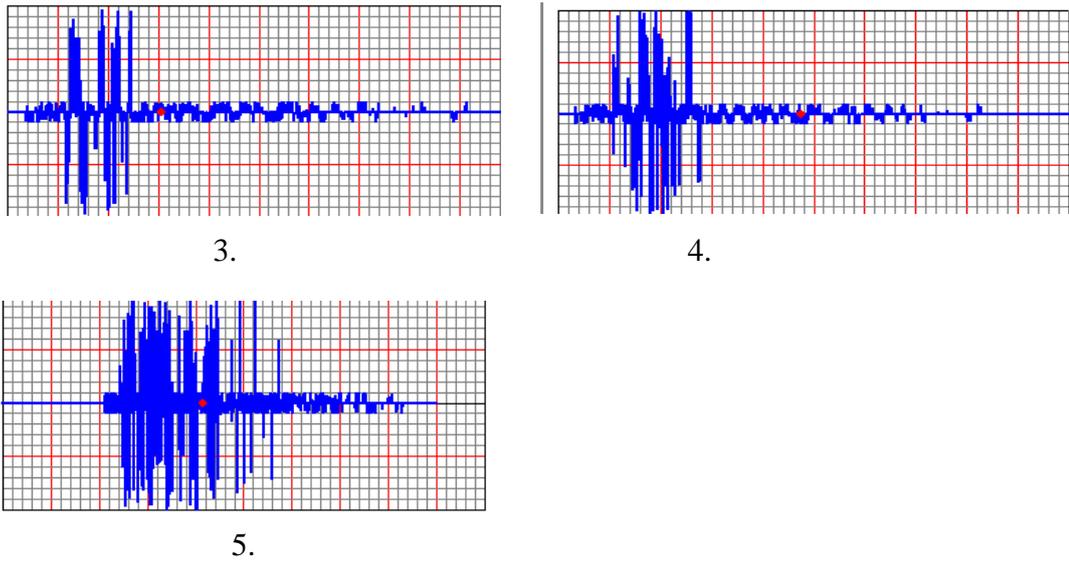
Rekaman Gempa Pulse			
No.	Nama Rekaman	Tahun	Magnitude
1	Saratoga- Aloha Ave	1989	6,93
2	Saratoga-W Valley Coll	1989	6,93
3	TCU076	199	7,62
4	El Centro Array #12	2010	7,2
5	Westside Elementary School	2010	7,2



1.



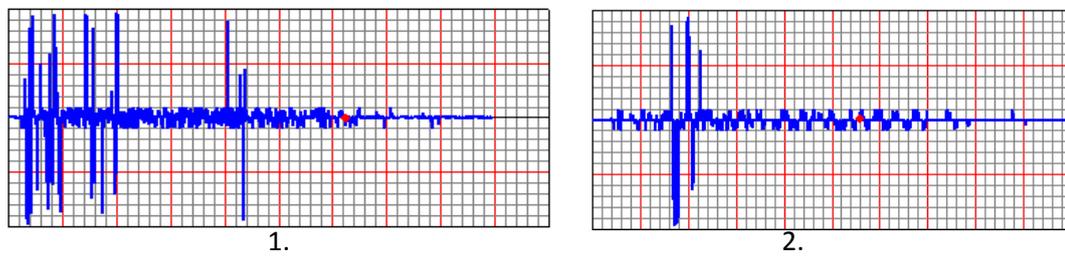
2.

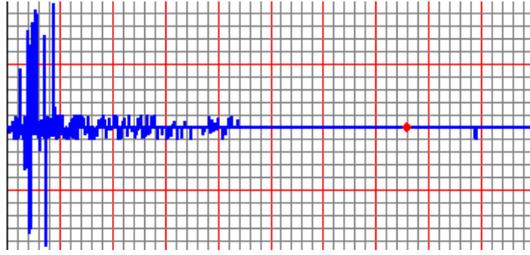


Gambar 3.6: Rekaman gempa pulse diambil dari *The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)*.

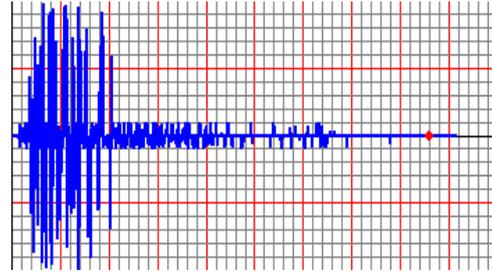
Tabel 3.12: Daftar rekaman gempa non pulse.

No.	Nama Rekaman	Tahun	Magnituted
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

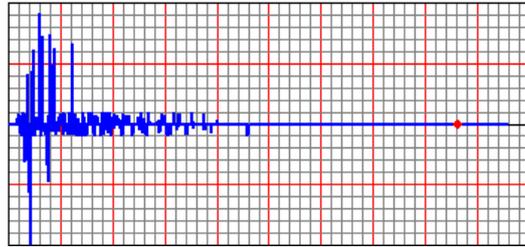




3.



4.



5.

Gambar 3.7: 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 *Saratoga W Valley Coll* = 0,257

$$A = \frac{A_0 I}{R}$$

$$A = \frac{0,28 \times 1}{8} = 0,035$$

Maka, Faktor Skala =  $\frac{\text{Nilai Percepatan Puncak}}{\text{Puncak Rekaman Gempa}} \times \text{gravitasi}$

$$= \frac{0,035}{0,257} \times 9.81 = 1.33 \text{ m/s}^2$$

Maka pada saat penginputan di *software* analisis struktur menggunakan metode analisis riwayat waktu faktor skala yang digunakan adalah  $1.33 \text{ m/s}^2$ .

### **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)

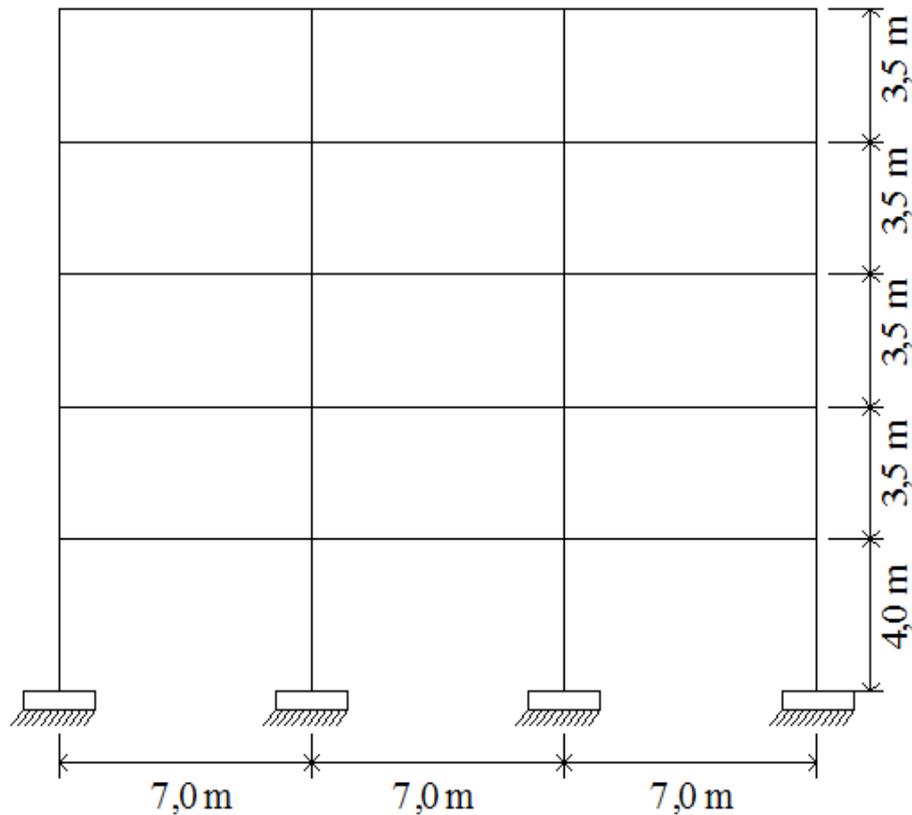
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Modal Analisis

Pada penelitian ini akan di paparkan perbandingan simpangan yang terjadi antara struktur konvensional dengan struktur yang menggunakan *fluid viscous 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	Periode		Frekwensi	
		Damper	No damper	Damper	No damper
1	T1	0.2740	0.2509	3.644	3.985
2	T2	0,1246	0.1142	8.024	8.752
3	T3	0,1111	0.0668	8.998	14.95
4	T4	0,1046	0.0222	9.558	44.988
5	T5	0,1017	0.0175	9.832	57.096
6	T6	0,1001	0.0124	9.984	80.198
7	T7	0.0724	0.0114	13.796	87.097
8	T8	0.0493	0.0101	20.282	99.024
9	T9	0.0299	0.0082	33.373	121.654
10	T10	0.0255	0.0059	39.427	169.253
11	T11	0.0218	0.0046	45.817	216.906
12	T12	0.01751	0.00017	57.108	562.999

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

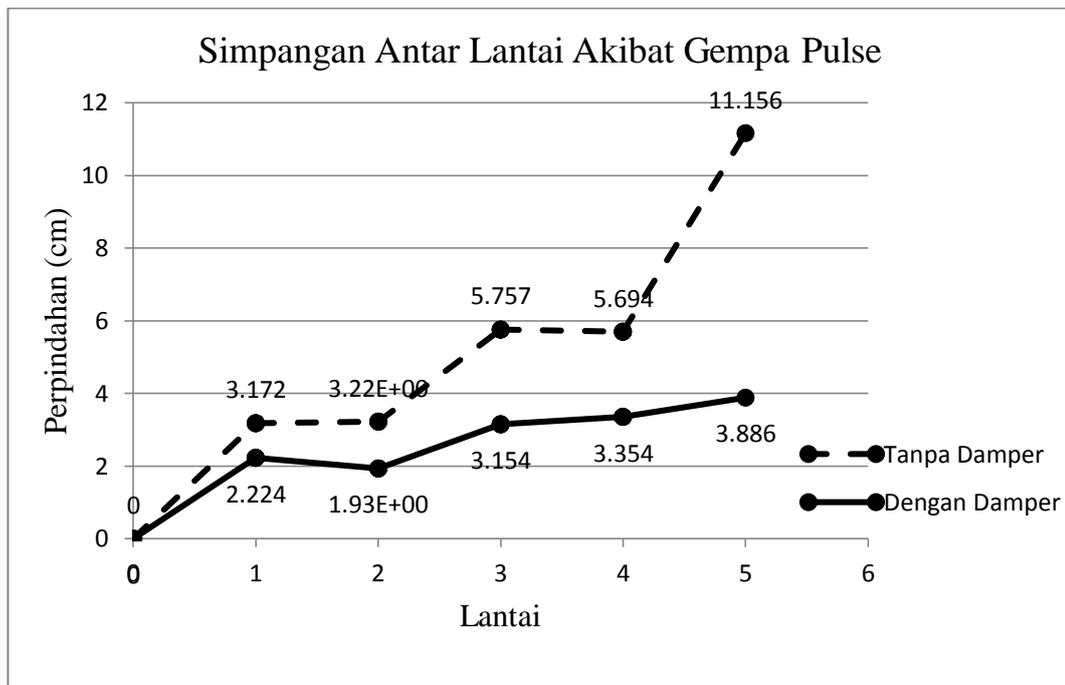
#### 4.2. Perpindahan/Simpangan Tiap Lantai

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	Perpindahan (cm)		Perbedaan simpangan Tiap lantai (cm)	
		No Damper	Damper	No Damper	Damper
1	0	0	0	0	0
2	1	3.172	2.224	3.172	2.224
3	2	6.392	4.158	3.222	1.934
4	3	8.977	5.448	5.757	3.154
5	4	11.451	6.868	5.694	3.354
6	5	16.85	7.240	11.156	3.886

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



Gambar 4.2: Simpangan antar lantai akibat gempa pulse.

#### 4.2.1. Perbedaan Simpangan Tiap Lantai

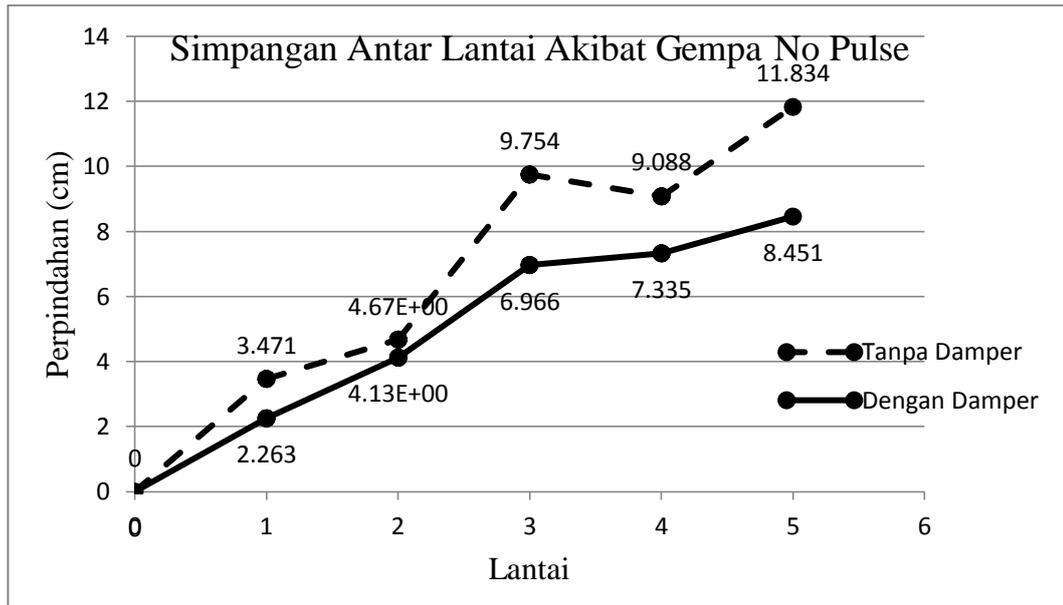
Berdasarkan dari Tabel 4.2 dapat diketahui perbedaan simpangan tiap lantai untuk setiap lantai pada gempa pulse dari rekaman Saratoga W Valley Coll dan dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

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 65,16%.

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

No	Lantai	Perpindahan (cm)		Perbedaan simpangan Tiap lantai (cm)	
		No Damper	Damper	No Damper	Damper
1	0	0	0	0	0
2	1	3.47	2.76	3.471	2.263
3	2	8.14	6.38	4.673	4.125
4	3	14.37	11.08	9.754	6.966
5	4	18.78	14.29	9.088	7.335
6	5	20.88	15.78	11.834	8.451

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



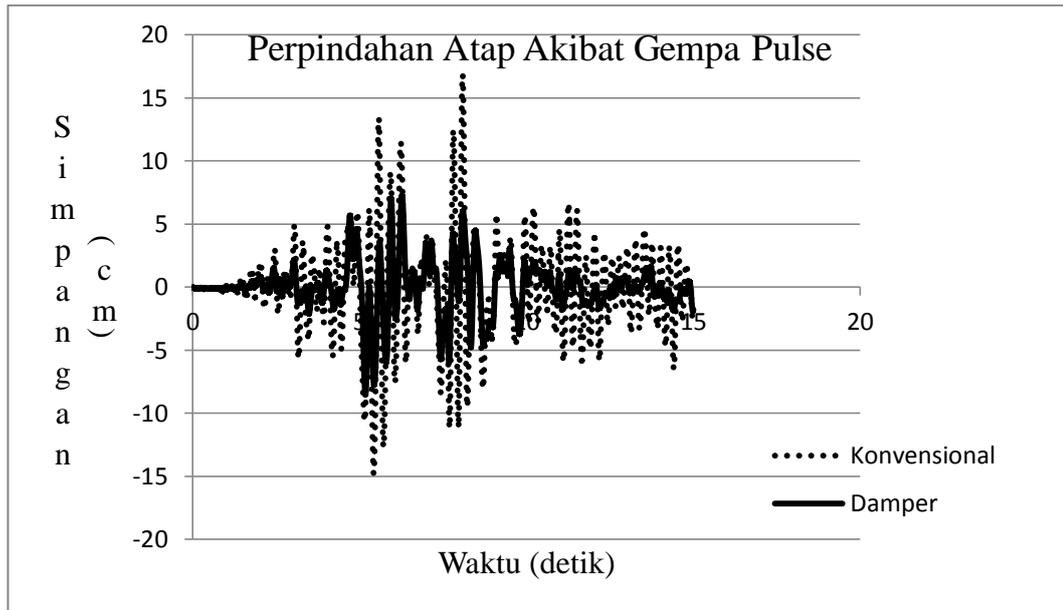
Gambar 4.3: Simpangan antar lantai akibat gempa no pulse.

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 28.38%.

### 4.3. Perpindahan Pada Atap

#### a. Perpindahan Akibat Gempa Pulse

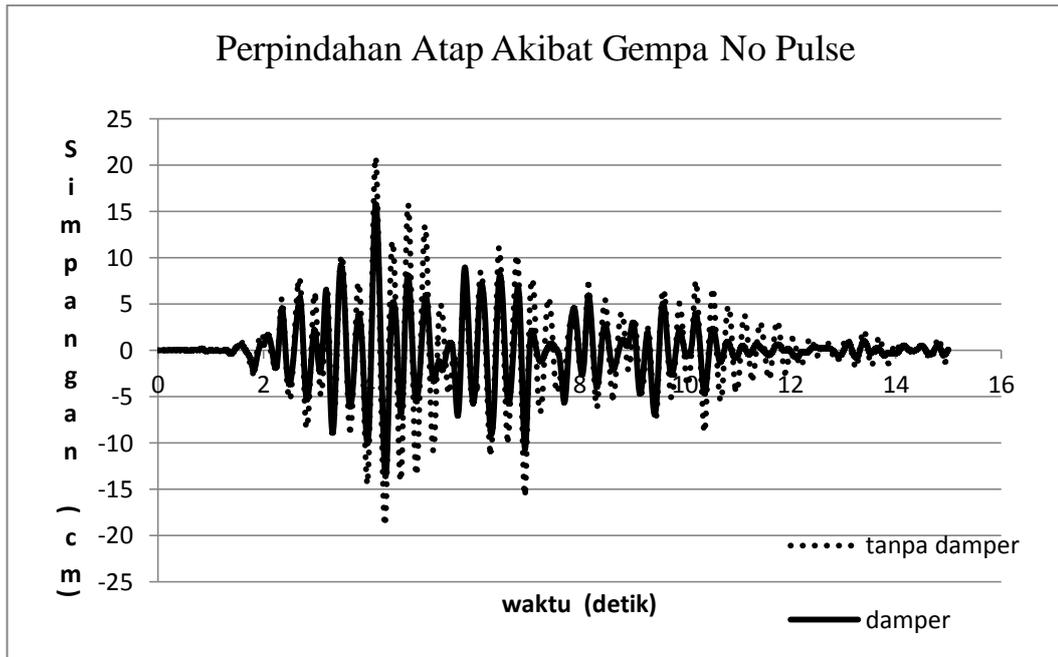
Perpindahan pada atap akibat gempa pulse paling maksimum terjadi pada rekaman gempa *Saratoga W Valley Coll* yang direkam pada tahun 1989 dengan Magnitude 6.93. Perpindahan yang terjadi pada struktur tanpa damper sebesar 16.85 cm dan struktur dengan damper sebesar 7.240 cm. Berdasarkan simpangan tersebut maka damper dapat mereduksi pengaruh gempa pulse sebesar 65.16 %. 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 *LA Hollywood Stor* yang direkam pada tahun 1971 dengan Magnitude 6.61. Perpindahan yang terjadi pada struktur tanpa damper sebesar 20.88 cm dan struktur dengan damper sebesar 15.78 cm. Berdasarkan simpangan tersebut maka damper dapat mereduksi pengaruh gempa *no pulse* sebesar 28.38 %. 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

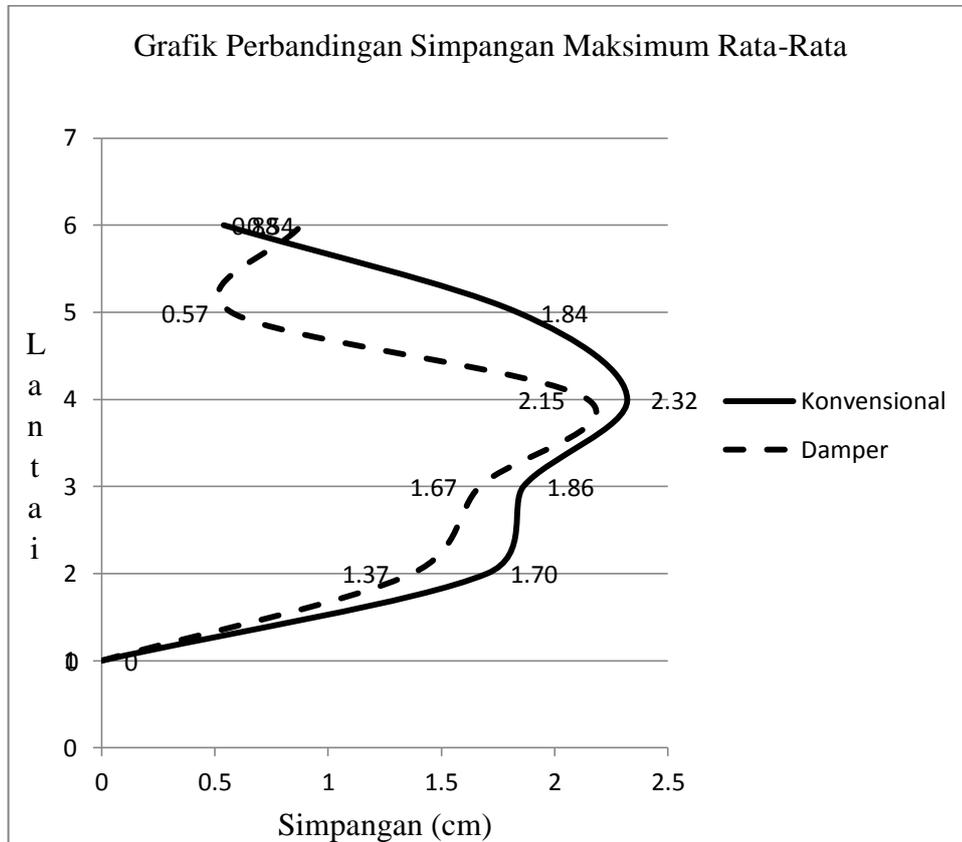
Perbandingan perpindahan maksimum diambil dari nilai perpindahan maksimum yang terjadi pada setiap rekaman gempa lalu di rata-ratakan untuk dibandingkan simpangan yang terjadi antara struktur konvensional dengan struktur yang menggunakan *fluid viscous damper*.

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	1.70	1.36
3	2	3.56	3.03
4	3	5.88	5.18
5	4	7.71	5.75
6	5	8.25	6.63

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 *fluid viscous damper* dapat mereduksi pengaruh gempa terhadap struktur. Dari analisa yang telah dilakukan didapat bahwa pada struktur yang menggunakan *fluid viscous damper* mereduksi gaya gempa rata-rata sebesar 19.63 %.

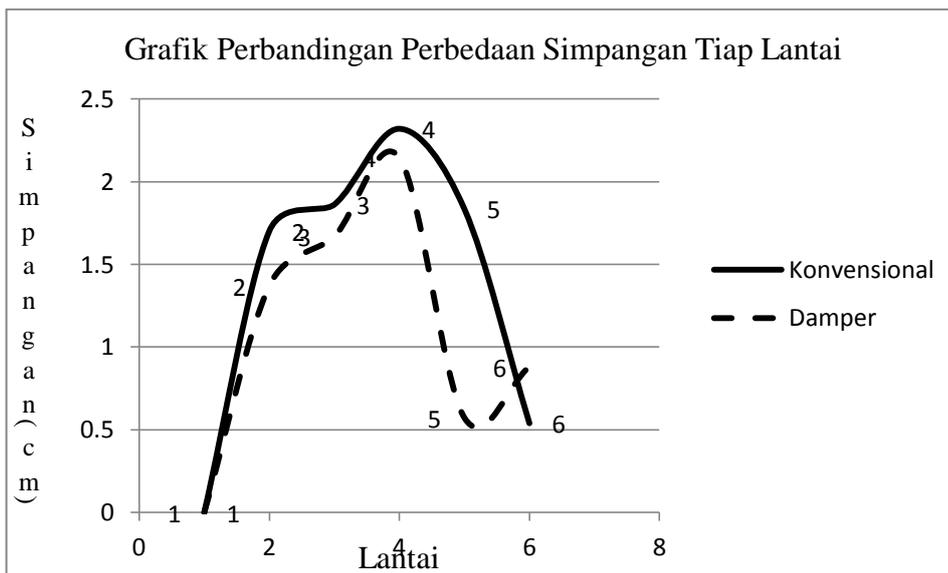
#### 4.5. Perbedaan Simpangan Tiap Lantai Rata-Rata

Untuk nilai rata-rata perbedaan simpangan tiap lantai bisa dilihat pada tabel 4.5.

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

No	Lantai	Tanpa Damper	Dengan Damper
1	0	0	0
2	1	1.70	1.36
3	2	1.86	1.66
4	3	2.32	2.14
5	4	1.83	0.57
6	5	0.88	0.53

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa simpangan antar tingkat maksimum terjadi pada struktur tanpa damper di lantai 3 dengan nilai simpangan 2.32cm. Dan pada struktur yang menggunakan *fluid viscous damper* simpangan antar tingkat maksimum terjadi pada lantai 3 sebesar 2.14 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 *fluid viscous damper*.



Gambar 4.7: Grafik perbandingan simpangan tiap lantai struktur konvensional dengan struktur yang menggunakan *fluid viscous 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 *fluid viscous damper*, maka didapat kesimpulan:

1. Pada struktur yang menggunakan *fluid viscous damper* pengaruh gempa pulse terhadap perpindahan antar lantai dapat direduksi sebesar 65,16 %.  
Dan terhadap gempa no pulse struktur dengan menggunakan metallic yielding damper dapat mereduksi perpindahan antar lantai sebesar 28.38 %.
2. Dari hasil analisis dan perhitungan struktur yang menggunakan *fluid viscous damper* dapat memperkecil simpangan yang terjadi pada struktur. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.6, maka dapat disimpulkan pada struktur yang menggunakan *fluid viscous damper* besar simpangan berkurang pada lantai 1 sebesar 20% %, pada lantai 2 berkurang 10.75 %, pada lantai 3 berkurang 7.75 %, pada lantai 4 berkurang 68.85 % dan pada atap berkurang 39.72%.

#### 5.2. Saran

Dari hasil analisis diatas perlu ada saran dari penulis, adapun saran yang ingin disampaikan sebagai berikut:

1. Diharapkan ada penelitian lebih lanjut mengenai pola penempatan *fluid viscous damper 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.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2010). *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010*, Departemen Pekerjaan Umum.
- Douglas P, Taylor. (1995). *Seismic Protection With Fluid Viscous Damper For The Torre Mayor, A 57-Story Office Tower In Mexico City*. Mexico, North Tonawanda: NY 14120-0748.
- Dowrick. (2003). *Earthquake Resistant Design And Risk Reduction*. Selandia Baru.
- 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 System*. CEE Structural Dynamics. Departement Of Civil Engineering: Duke University.
- Gunawan, R. Morisco. (1988). *Tabel Profil Kontruksi Baja*. Yoyakarta: Kanisius (Anggota IKAPI).
- Irvan. (2015). *Desain Gedung Baja 25 Lantai Dengan Peredam Pasif Tuned Mass Damper*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- ITT Enidine Inc. *Seismic Control And Infrastructur Solutions*. Orchard Park: NY 14127 USA.
- Kunnath SK, Erduran E, Chai YH, Yashinky M. *Effect Of Near Fault Vertical Ground Motions On Seismic Response Of Highway Overcrossing*. J Bridge Engineering ASCE 2008.
- Moreschi. (2000). *Seismic Design Of Energy Dissipation System For Optimal Structural Performance*. Disertation Faculty Of The Virginia Polytechnic Instituted And State University.
- Nazifa, N. (2015). *Analisis Pengaruh Penempatan Fluid Viscous Danper Terhadap Respon Struktur Gedung Akibat Gaya Gempa*. Laporan Tugas Akhir. Sumatera Utara: Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara.
- PEER. (2008). *Pasific Earthquake Engineering Research*. PEER NGA Database, Available at <http://peer.berkeley.edu/nga/>.
- Standar Nasional Indonesia. (2015). *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729-2015)*. Jakarta: BSN.

- Standar Nasional Indonesia. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)*. Jakarta: BSN
- Somerville, P. (2002). *Characterizing Near Fault Ground Motion For The Design And Evaluation Of Bridges*. Third National Seismic Conference & Workshop on Bridges & Highways Portland, Oregon.
- WF Tjong. (2000). *Aplikasi Statistik Ekstrim dan Simulasi Montecarlo Dalam Penentuan Beban Rencana Pada Struktur Dengan Umur Guna Tertentu*. Surabaya: Petra Christian University.

## LAMPIRAN

### LAMPIRAN 1.

#### Perhitungan untuk resume beban SAP2000

##### Beban Mati pada Lantai 1 – 4

- spesi ( tebal = 3 cm) =  $3 \times 21 \text{ kg/m}^2 =$  **63 kg/m<sup>2</sup>**
- penutup lantai ( keramik) = **24 kg/m<sup>2</sup>**
- plafond + Penggantung = **18 kg/m<sup>2</sup>**
- Mechanical elektrik & plumbing = **30 kg/m<sup>2</sup>**
- Beban partisi = **100 kg/m<sup>2</sup>**
- **TOTAL** **235 kg/m<sup>2</sup>**

##### Beban Hidup pada Lantai 1 – 4

- beban hidup pada lantai perkantoran = **240 kg/m<sup>2</sup>**

##### Beban Mati pada Lantai 5 (atap)

- spesi (tebal 3 cm) =  $3 \times 21 \text{ kg/m}^2 =$  **63 kg/m<sup>2</sup>**
- plafond + Penggantung = **18 kg/m<sup>2</sup>**
- genangan air = **16 kg/m<sup>2</sup>**
- **TOTAL** **97 kg/m<sup>2</sup>**

##### Beban Hidup pada Lantai 5 (atap)

- Pekerja untuk lantai atap = **100 kg/m<sup>2</sup>**

##### Total Resume Beban Sap 2000

- Beban Mati lantai 1 – 4 =  $235 \text{ kg/m}^2 \times 7\text{m} =$  **1645 kg/m<sup>2</sup>**
- Beban Hidup Lantai 1 – 4 =  $240 \text{ kg/m}^2 \times 7\text{m} =$  **1680 kg/m<sup>2</sup>**
- Beban Mati Atap =  $97 \text{ kg/m}^2 \times 7\text{m} =$  **679 kg/m<sup>2</sup>**
- Beban Hidup atap =  $100 \text{ kg/m}^2 \times 7\text{m} =$  **700 kg/m<sup>2</sup>**

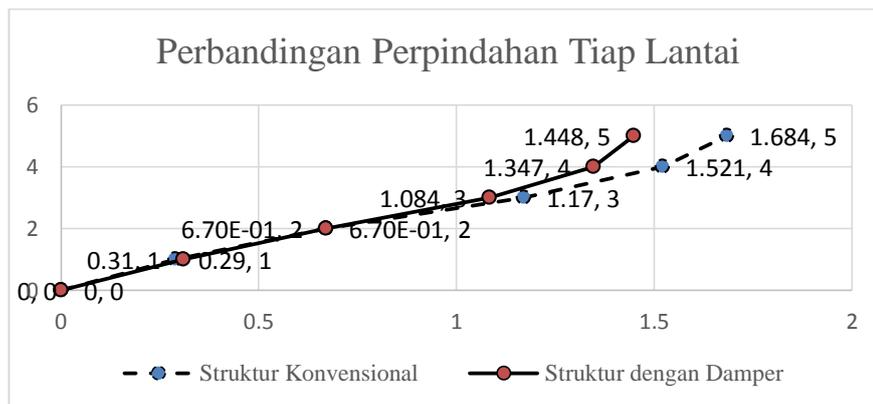
## Lampiran 2

### Hasil Perpindahan Maksimum untuk Semua Rekaman Gempa

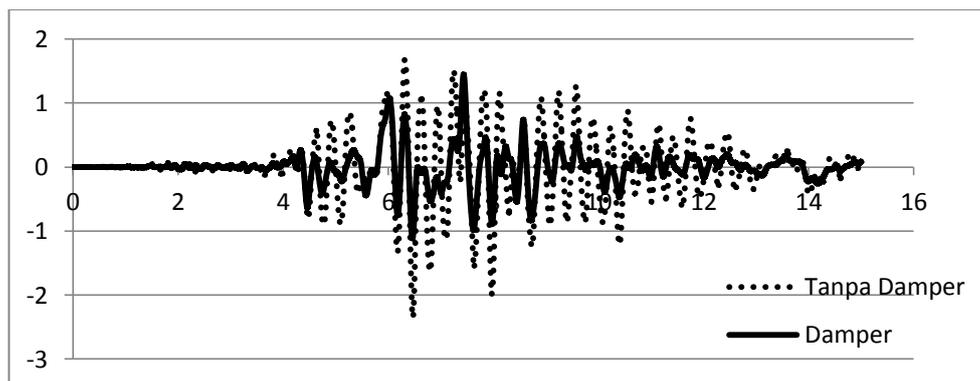
- Rekaman gempa pulse
- Rekaman gempa *saratoga aloha ave*

LOMAPRITA STG000				
Lantai	Struktur Konvensional		Struktur Dengan Damper	
	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)
0	0	0	0	0
1	7,26E+00	0,29	7,40E+00	0,31
2	7,26E+00	6,70E-01	7,41E+00	6,70E-01
3	6,32E+00	1,17	7,43E+00	1,084
4	6,32E+00	1,521	7,43E+00	1,347
5	6,32E+00	1,684	7,43E+00	1,448

### Grafik perbandingan perpindahan



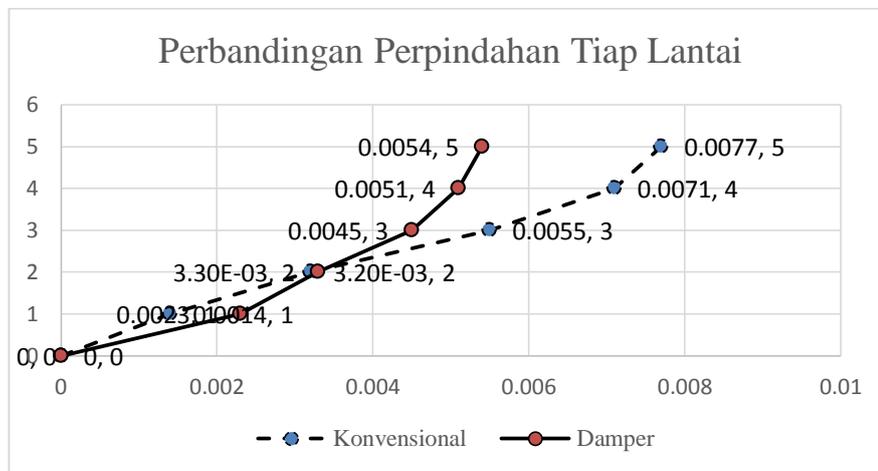
### Grafik perbandingan accelogram



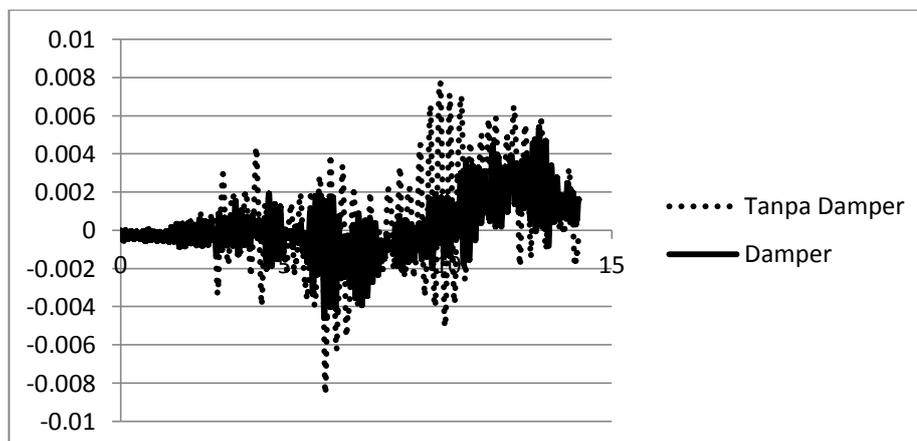
- Rekaman gempa TCU076

TCU076				
Lantai	Struktur Konvensional		Struktur Dengan Damper	
	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)
0	0	0	0	0
1	9,77E+00	0,0014	1,28E+01	0,0023
2	9,74E+00	3,20E-03	1,28E+01	3,30E-03
3	9,74E+00	0,0055	1,28E+01	0,0045
4	9,75E+00	0,0071	1,28E+01	0,0051
5	9,75E+00	0,0077	1,28E+01	0,0054

### Grafik perbandingan perpindahan



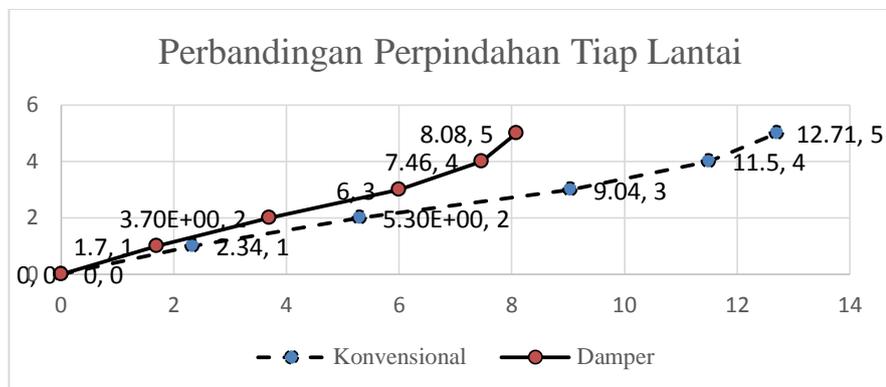
### Grafik perbandingan accelogram



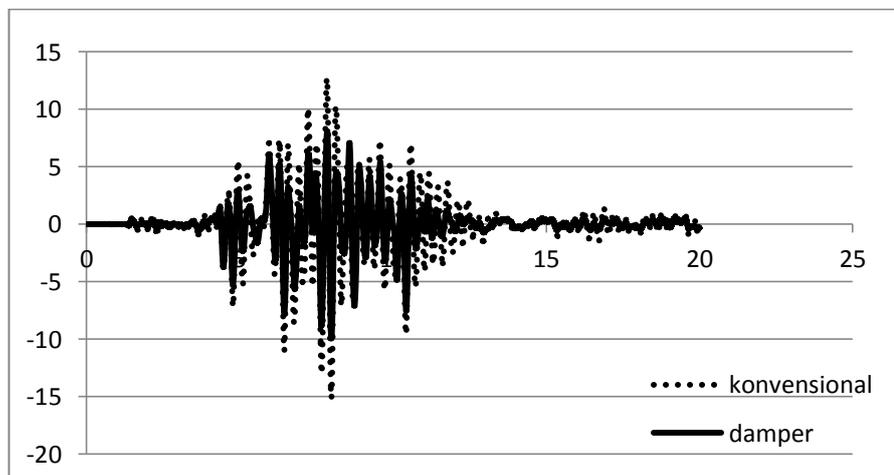
- Rekaman gempa *Elcentro Array*

<i>Elcentro Array</i>				
Lantai	Struktur Konvensional		Struktur Dengan Damper	
	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)
0	0	0	0	0
1	7,82E+00	2,34	7,83E+00	1,7
2	7,83E+00	5,30E+00	7,83E+00	3,70E+00
3	7,83E+00	9,04	7,84E+00	6
4	7,84E+00	11,5	7,85E+00	7,46
5	7,84E+00	12,71	7,85E+00	8,08

### Grafik perbandingan perpindahan



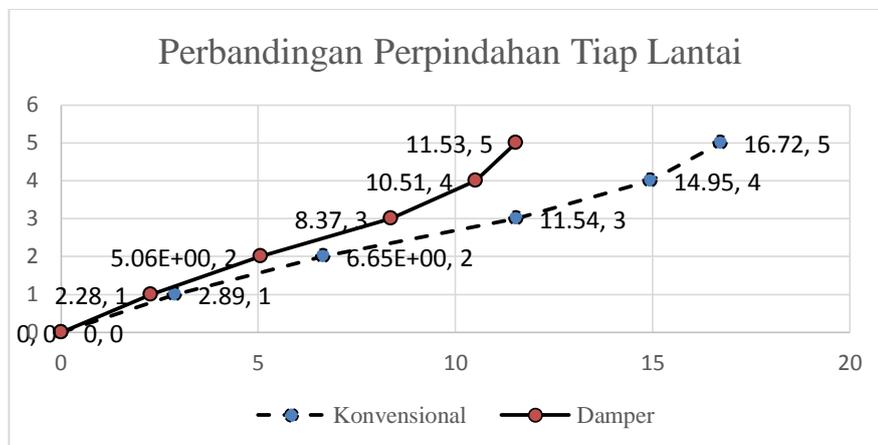
### Grafik perbandingan accelogram



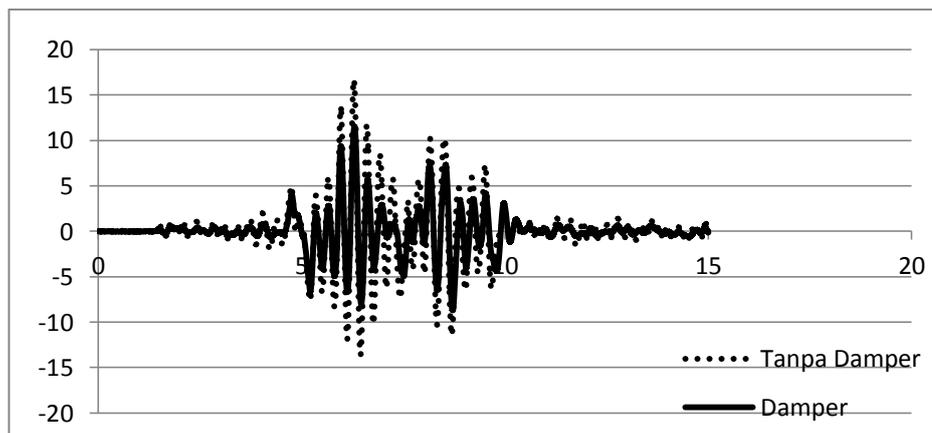
- Rekaman gempa *Westside Elementary School*

<i>Westside Elementary School</i>				
Lantai	Struktur Konvensional		Struktur Dengan Damper	
	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)
0	0	0	0	0
1	6,29E+00	2,89	6,29E+00	2,28
2	6,29E+00	6,65E+00	6,29E+00	5,06E+00
3	6,29E+00	11,54	6,29E+00	8,37
4	6,29E+00	14,95	6,29E+00	10,51
5	6,28E+00	16,72	1,28E+01	11,53

### Grafik perbandingan perpindahan



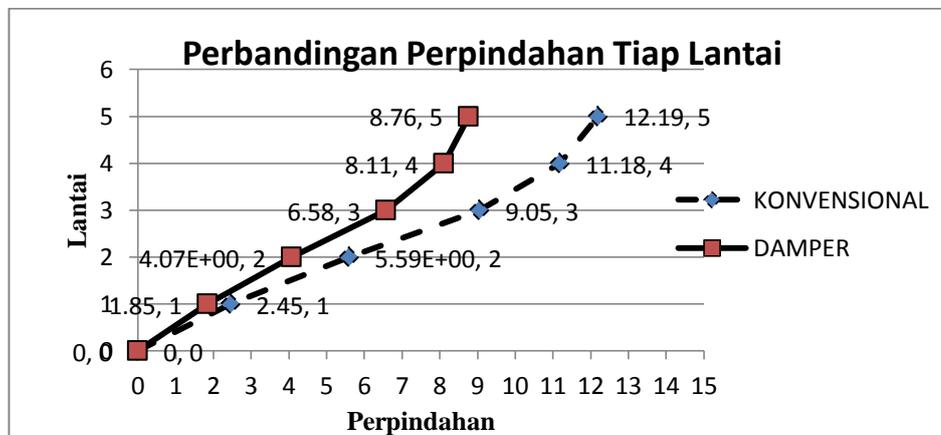
### Grafik perbandingan accelogram



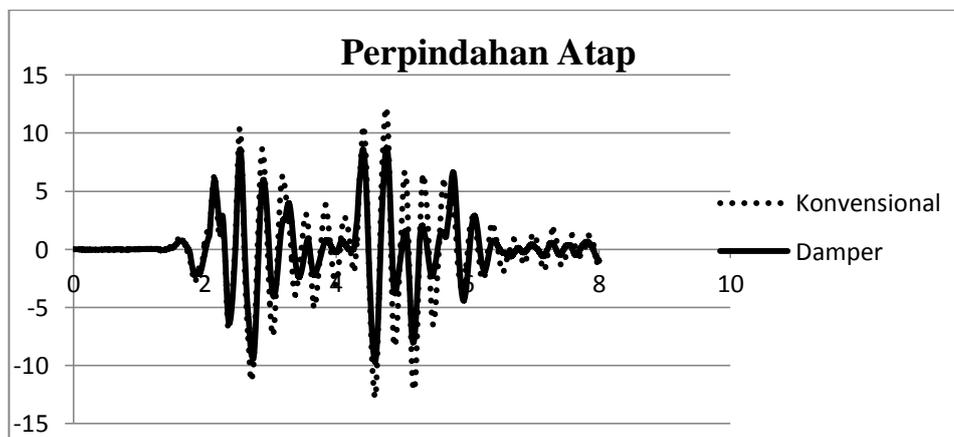
- Rekaman gempa non pulse
- Rekaman gempa Elcentro Array

Elcentro Array				
Lantai	Struktur Konvensional		Struktur Dengan Damper	
	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)	Waktu (detik)	Perpindahan
0	0	0	0	0
1	4,74E+00	2,45	4,39E+00	1,85
2	4,74E+00	5,59E+00	4,75E+00	4,07E+00
3	4,75E+00	9,05	4,76E+00	6,58
4	4,75E+00	11,18	4,76E+00	8,11
5	4,75E+00	12,19	4,76E+00	8,76

**Grafik perbandingan perpindahan**



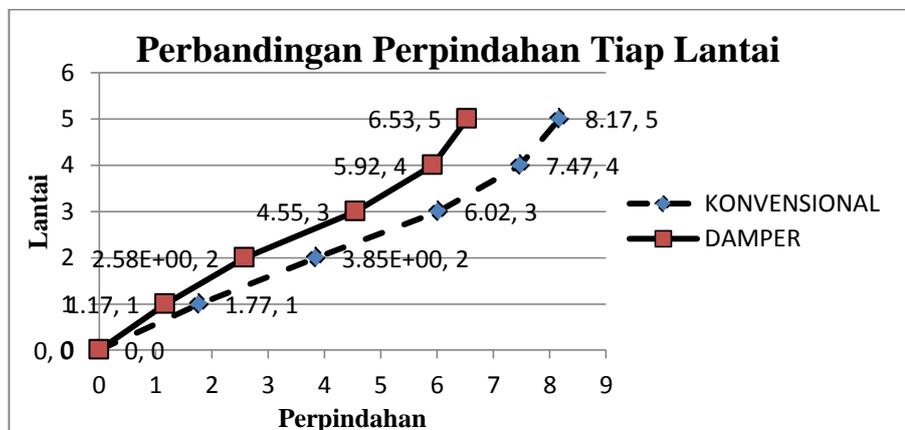
**Grafik perbandingan accelogram**



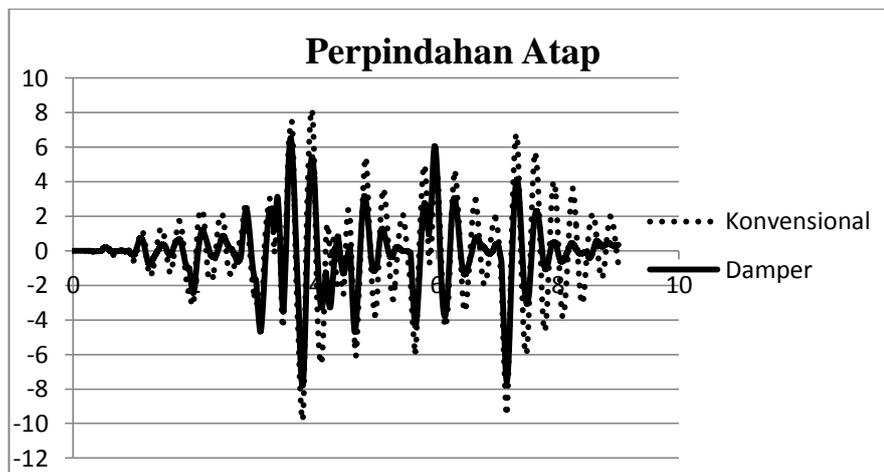
- Rekaman gempa Ferndale City Hall

Ferndale City Hall				
Lantai	Struktur Konvensional		Struktur Dengan Damper	
	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)
0	0	0	0	0
1	3,91E+00	1,77	5,94E+00	1,17
2	3,91E+00	3,85E+00	5,95E+00	2,58E+00
3	3,92E+00	6,02	3,58E+00	4,55
4	3,93E+00	7,47	3,58E+00	5,92
5	3,93E+00	8,17	3,58E+00	6,53

Grafik perbandingan perpindahan



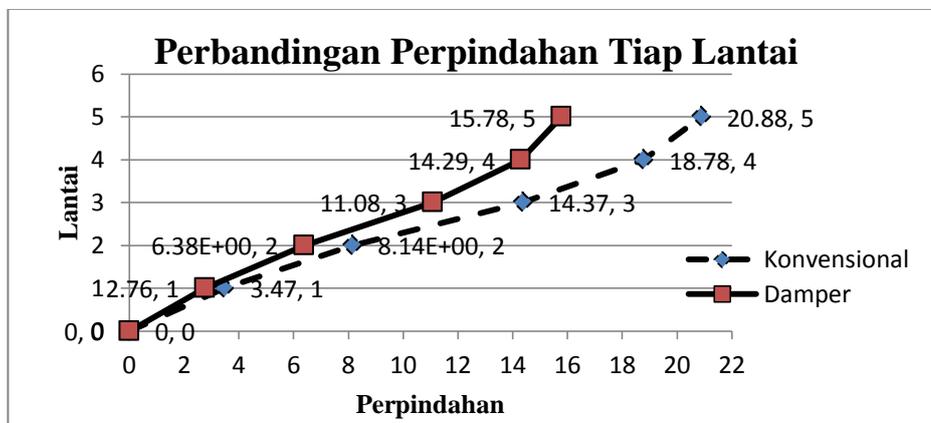
Grafik perbandingan accelogram



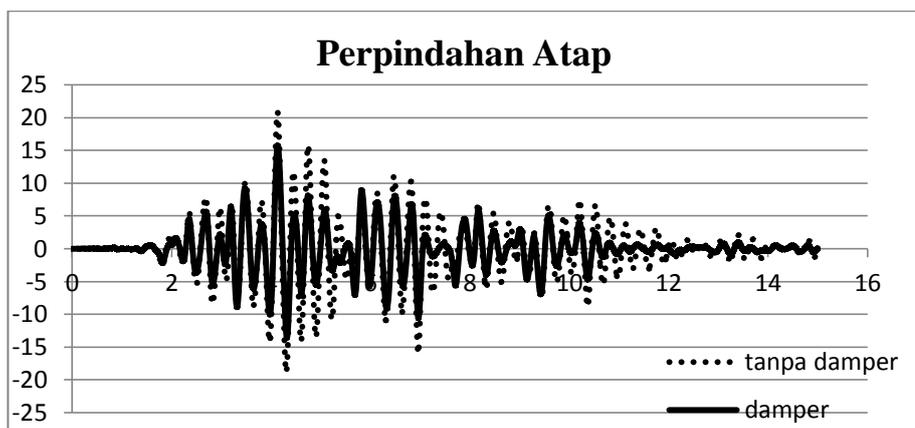
- Rekaman gempa LA-Hollywood Stor FF

LA-Hollywood Stor FF				
Lantai	Struktur Konvensional		Struktur Dengan Damper	
	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)
0	0	0	0	0
1	4,12E+00	3,47	4,12E+00	2,76
2	4,12E+00	8,14E+00	4,12E+00	6,38E+00
3	4,12E+00	14,37	4,13E+00	11,08
4	4,12E+00	18,78	4,13E+00	14,29
5	4,12E+00	20,88	4,13E+00	15,78

**Grafik perbandingan perpindahan**



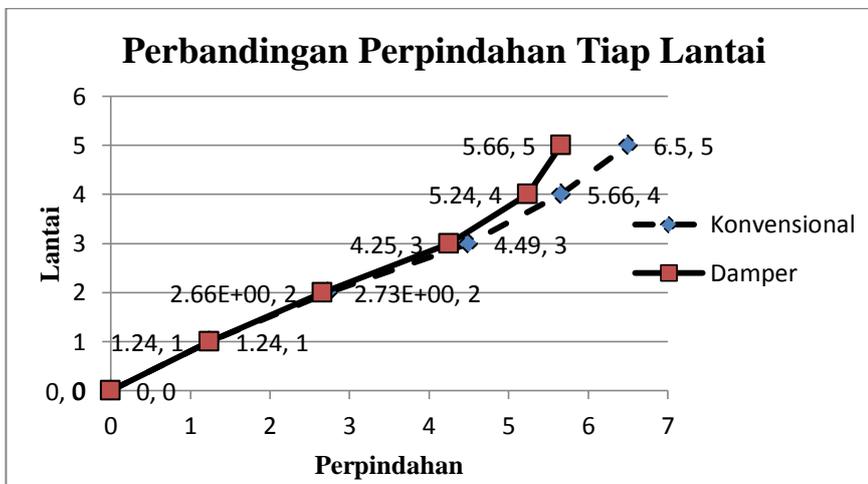
**Grafik perbandingan accelogram**



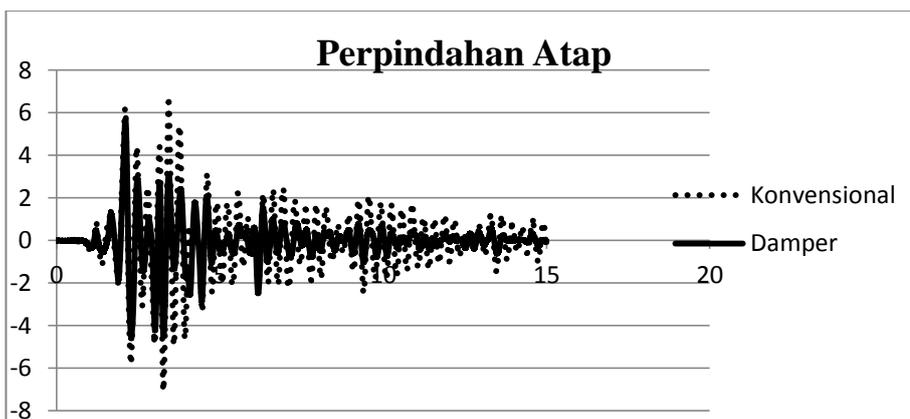
- Rekaman gempa Managua \_ Esso

Managua _ Esso				
Lantai	Struktur Konvensional		Struktur Dengan Damper	
	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)
0	0	0	0	0
1	2,07E+00	1,24	2,07E+00	1,24
2	2,08E+00	2,73E+00	2,09E+00	2,66E+00
3	2,09E+00	4,49	2,09E+00	4,25
4	3,43E+00	5,66	2,10E+00	5,24
5	3,43E+00	6,5	2,10E+00	5,66

**Grafik perbandingan perpindahan**



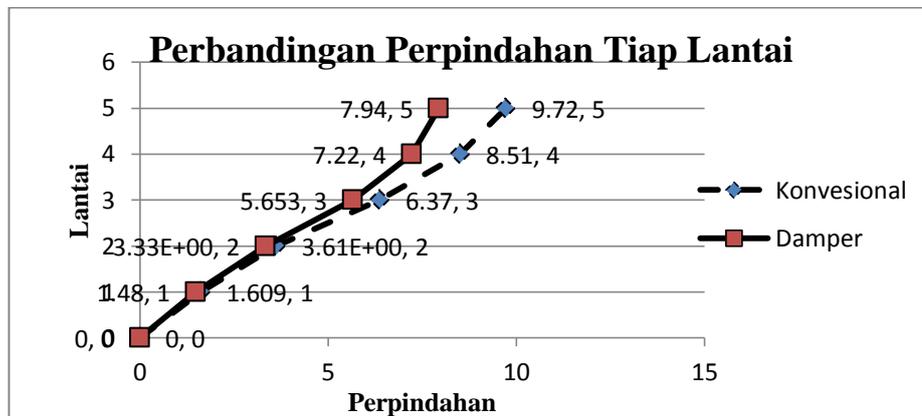
**Grafik perbandingan accelogram**



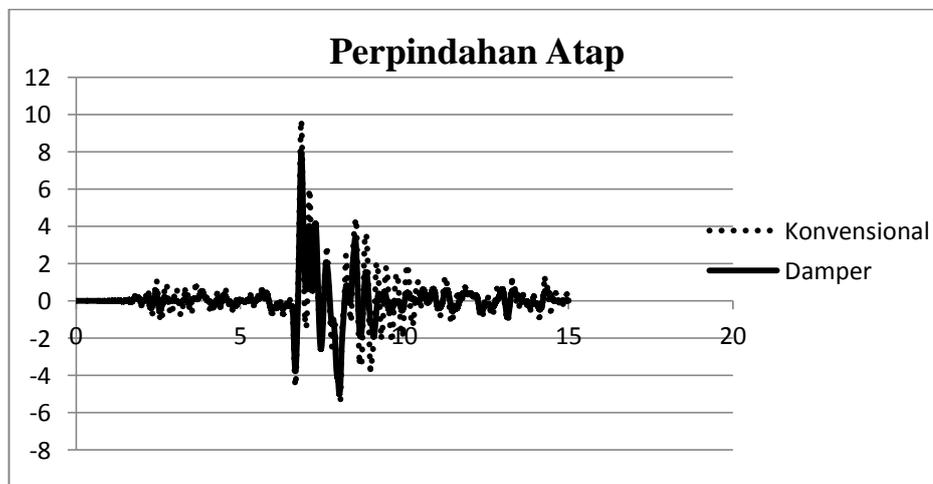
- Rekaman gempa Managua\_Esso

Managua_Esso				
Lantai	Struktur Konvensional		Struktur Dengan Damper	
	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)
0	0	0	0	0
1	6,82E+00	1,609	6,82E+00	1,48
2	6,83E+00	3,61E+00	6,84E+00	3,33E+00
3	6,85E+00	6,37	6,85E+00	5,653
4	6,85E+00	8,51	6,85E+00	7,22
5	6,85E+00	9,72	6,86E+00	7,94

**Grafik perbandingan perpindahan**



**Grafik perbandingan accelogram**



- Perbandingan seluruh stasiun rekaman gempa

Nama Stasiun Gempa	Struktur Konvensional		Struktur Dengan Damper	
	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)	Waktu (detik)	Perpindahan (cm)
Saratoga, Aloha Ave	6,32E+00	1,68E+00	7,43E+00	1,45E+00
Saratoga, w Valley Coll	6,270	3,190	6,280	1,120
TCU076	9,751	0,008	12,790	0,005
Elcentro Array	7,840	12,710	7,850	8,080
Westside Elementary School	6,280	16,720	12,790	11,530
Elcentro Array	4,750	12,190	4,760	8,760
Ferndale City Hall	3,930	8,170	3,580	6,530
LA-Hollywood Stor FF	4,120	20,880	4,130	15,780
Managua_Esso	3,430	6,500	2,100	5,660
Managua_Esso	6,850	9,720	6,860	7,940

**Grafik perbandingan simpangan maksimum seluruh rekaman gempa**

