

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISIS KINERJA STRUKTUR BAJA GEDUNG TIDAK BERATURAN HORIZONTAL BILA MENGALAMI BEBAN GETARAN GEMPA**

*Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)  
Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun oleh:

**AFIF PRASETIO DARSONO**

**NPM: 1307210073**



**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

**MEDAN**

**2018**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Afif Prasetio Darsono

NPM : 1307210073

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : **Analisis Kinerja Struktur Baja Gedung Tidak Beraturan  
Horizontal Bila Mengalami Beban Getaran Gempa**

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, 21 Maret 2018

Mengetahui dan menyetujui:

Pembimbing I / Penguji



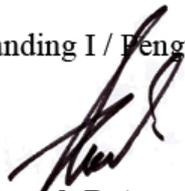
**Dr. Ade Faisal, ST, MSc**

Pembimbing II / Penguji



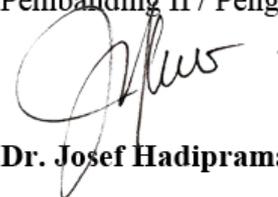
**Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc**

Pembanding I / Penguji



**Tondi Amirsyah Putera , ST, MT**

Pembanding II / Penguji



**Dr. Josef Hadipramana**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Afif Prasetio Darsono  
Tempat /Tanggal Lahir : Banda Aceh, 31 Mei 1996  
NPM : 1307210073  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Analisis Kinerja Struktur Baja Gedung Tidak Beraturan Horizontal Bila Mengalami Beban Getaran Gempa”,

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 orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, 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, \_\_\_Maret 2018

Saya yang menyatakan,



Afif Prasetio Darsono

## ABSTRAK

### ANALISIS KINERJA STRUKTUR BAJA GEDUNG TIDAK BERATURAN HORIZONTAL BILA MENGALAMI BEBAN GETARAN GEMPA

Afif Prasetio Darsono

1307210073

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

Semakin kecil ketersediaan lahan menjadikan tantangan tersendiri bagi para ahli dalam memanfaatkan lahan secara optimal dengan cara pembangunan secara vertikal sehingga lahan yang tersedia dapat digunakan dengan baik. Masalah selanjutnya adalah wilayah pembangunan di Indonesia merupakan wilayah yang rawan terjadi gempa. Oleh sebab itu proses perancangan bangunan ini dibutuhkan analisis gedung tidak beraturan horizontal dan kinerja strukturnya dalam menghadapi beban getaran gempa. Tujuan penelitian ini adalah untuk meninjau struktur gedung menggunakan analisis dinamik non-elastis dengan beban getaran gempa yang diskalakan dengan metode analisis dinamik inkremental. Untuk menganalisis kinerja struktur ini dilakukan dengan cara menganalisis struktur gedung beraturan yang dianalogikan sebagai struktur gedung tidak beraturan berbentuk L, T dan U. Penelitian ini diharapkan dapat meninjau simpangan dari gedung tidak beraturan horizontal dan dapat mengetahui pengaruh bentuk struktur gedung bila mengalami beban getaran gempa. Struktur gedung ditinjau dengan memiliki 4 lantai dan dengan elevasi 4 meter dari setiap lantainya. Bentuk gedung tersebut akan dianalisis menggunakan respon spektrum desain Kota Padang dan diasumsikan sebagai tanah sedang. Analisis respon struktur yang ditinjau adalah waktu getar, perpindahan (*displacement*), rasio simpangan antar lantai (*storydrift*), serta ketidakberaturan torsi. Untuk menganalisis kinerja struktur bila mengalami beban getaran gempa, digunakan metode *Incremental Dynamic Analysis* yaitu dengan menskalakan beban getaran gempa yang dipilih secara tepat untuk memaksa kinerja struktur melewati keseluruhan rentang perilaku sampai struktur dasarnya mengalami keruntuhan. Kemudian struktur gedung dianalogikan sebagai gedung tidak beraturan horizontal dengan memindahkan pusat massanya dan menganalisis kembali struktur yang sudah dipindahkan pusat massanya. Struktur gedung tidak beraturan horizontal ditinjau kinerjanya menggunakan variasi gempa yang memiliki nilai terbesar. Berdasarkan hasil analisis didapat simpangan pada gedung berbentuk L sebesar 60,2 m, gedung berbentuk T sebesar 68,8 m dan gedung berbentuk U sebesar 51,8 m dengan nilai skala gempa 1.

Kata Kunci: Struktur Baja, Gempa, Pusat Massa, Torsi, Gedung Tidak Beraturan.

## ABSTRACT

### PERFORMANCE ANALYSIS OF STEEL STRUCTURE OF HORIZONTAL IRREGULATION BUILDING DUE TO EFFECT OF EARTHQUAKE VIBRATION

Afif Prasetio Darsono

1307210073

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

*The smaller the availability of land makes it a challenge for the experts in optimally utilizing the land through vertical development so that the available land can be used properly. The next problem is the development area in Indonesia is an area prone to earthquakes. Therefore, the design process of this building required the analysis of horizontal irregular building and its structural performance in the face of earthquake vibration load. The purpose of this study was to review the building structure using non-elastic dynamic analysis with earthquake vibration loads scaled by incremental dynamic analysis method. To analyze the performance of this structure is done by analyzing the structure of a regular building which is analogous to the irregular building structure in the form of L, T and U. This research is expected to review the deviation from horizontal irregular building and can know the effect of building structure shape when experiencing earthquake vibration load. The structure of the building is reviewed by having 4 floors and with elevation of 4 meters from each floor. The shape of the building will be analyzed using Padang City design spectrum response and assumed as moderate soil. The analysis of structural responses under consideration is the time of vibration, displacement, the ratio of the storydrift, as well as the irregularities of torque. To analyze the performance of structures when experiencing earthquake vibration loads, the Incremental Dynamic Analysis method is used by precisely scalping the earthquake vibration load to force the performance of the structure across the entire range of behavior until its basic structure collapses. Then the structure of the building is analogous to a horizontal irregular building by moving its mass center and re-analyzing the structure that has moved its mass center. Horizontal irregular building structures are reviewed for performance using earthquake variations that have the greatest value. Based on the results of the analysis, there were deviations on the L-shaped building of 60.2 m, the T-shaped building of 68.8 m and the U-shaped building 51.8 m with the earthquake scale 1.*

*Keywords: Steel Structure, Earthquake, Mass Center, Torque, Irregular Building.*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Kinerja Struktur Baja Gedung Tidak Beraturan Horizontal Bila Mengalami Beban Getaran Gempa” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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

1. Bapak Dr. Ade Faisal selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji sekaligus sebagai Wakil Dekan I Fakultas Teknik yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Tondi Amirsyah Putera P, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Josef Hadipramana selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar ST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Irma Dewi ST, MSc, selaku sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
8. Orang tua penulis: Darsono dan Vyoletta Rindayu yang telah bersusah payah membesarkan dan mendidik penulis.
9. Saudara-saudara yang mendukung dan membantu penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Unit Kegiatan Mahasiswa Bola Basket sebagai wadah berorganisasi dan berolahraga yang banyak memberikan pengalaman bagi penulis.
11. Seluruh teman Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dikarenakan keterbatasan waktu serta kemampuan yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga teman-teman mahasiswa Teknik Sipil khususnya.

Medan, \_\_Maret 2018

Penulis,



Afif Prasetyo Darsono

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xv
<b>BAB 1</b> <b>PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	4
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
<b>BAB 2</b> <b>TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Bangunan Tidak Beraturan Horizontal	6
2.2 Gempa Bumi	8
2.2.1 Penyebab Terjadinya Gempa	9
2.2.2 Parameter Dasar Gempa Bumi	10

2.2.3 Sejarah Analisis Gempa	10
2.3 Struktur Bangunan Tahap Gempa	11
2.3.1 Konsep Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa	11
2.3.2 Perilaku Bangunan Tahan Gempa	12
2.3.3 Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa	14
2.3.3.1 Kekuatan ( <i>Strength</i> )	15
2.3.3.2 Kekakuan ( <i>Stiffness</i> )	15
2.3.3.3 Stabilitas ( <i>Stability</i> )	16
2.4 Analisis Respon Spektrum	17
2.5 Material Baja	22
2.5.1 Pengertian Baja	22
2.5.2 Jenis-jenis Baja	22
2.5.3 Klasifikasi Baja	23
2.5.4 Perilaku Baja	24
2.5.5 Daktalitas	27
2.6 Eksentrisitas dan Torsi	29
2.6.1 Eksentrisitas	29
2.6.2 Torsi	31
2.6.3 Faktor Penyebab Terjadinya Torsi pada Bangunan	33
2.6.4 Perilaku Torsi pada Struktur	33
2.7 Analisa Nonlinear	33
2.7.1 Definisi Analisa Nonlinear	34
2.7.2 Material Elastis dan Non-Elastis	36

2.7.3 Rincian dalam Analisa Nonlinear	36
2.7.4 Analisa Statis Nonlinear	38
2.7.5 Analisa Dinamis Nonlinear	40
2.8 Analisa Dinamika Inkremental	41
<b>BAB 3 METODOLOGI</b>	
3.1 Tinjauan Umum	43
3.2 Pemodelan Sistem Struktur	44
3.2.1 Data Perencanaan Struktur	47
3.2.2 Faktor Keutamaan Struktur	47
3.2.3 Properti Penampang	48
3.2.4 Tebal Pelat Lantai	48
3.3 Pembebanan Struktur	48
3.3.1 Beban Mati	49
3.3.2 Beban Hidup	49
3.3.3 Beban Gempa	49
3.4 Respon Spektrum	50
3.5 Analisa Dinamik Struktur Nonlinear	51
3.5.1 Analisis Respon Riwayat Waktu	51
3.5.2 Momen Leleh	52
3.5.3 Kapasitas Rotasi	52
3.5.4 Rotasi Leleh	53
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Tinjauan Umum	54

4.2 Hasil Analisis	54
4.2.1 Periode Getar Alami	54
4.2.2 Gaya Geser Dasar	55
4.2.3 Koreksi Faktor Redudansi	57
4.2.4 Gaya Geser Antar Lantai	57
4.2.5 Simpangan Antar Lantai	58
4.2.6 Kekauan Tingkat	59
4.2.7 Pengaruh Efek P-Delta	59
4.2.8 Pemeriksaan Ketidakberaturan Torsi	60
4.3 Hasil Analisis Nonlinear Struktur Gedung Beraturan	61
4.3.1 Perbandingan Nilai <i>Output</i>	61
4.4 Hasil Analisis Nonlinear Struktur Gedung Tidak Beraturan	
Horizontal	63
4.4.1 Perbandingan Nilai <i>Output</i>	63
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ketidakteraturan horizontal pada struktur berdasarkan SNI 1726:2012	7
Tabel 2.2	Koefisien perioda pendek ( $F_a$ ) berdasarkan SNI 1726:2012	20
Tabel 2.3	Koefisien perioda 1,0 detik ( $F_v$ ) berdasarkan SNI 1726:2012	20
Tabel 2.4	Sifat-sifat mekanis baja struktural	26
Tabel 3.1	Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012	47
Tabel 3.2	Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2012	47
Tabel 3.3	Spesifikasi profil baja yang digunakan dalam pemodelan	48
Tabel 4.1	Data perioda <i>output</i> “ <i>modal participating</i> ”	54
Tabel 4.2	Selisih persentase nilai perioda	55
Tabel 4.3	Nilai gaya geser dasar nominal analisis static ekuivalen	55
Tabel 4.4	Koreksi <i>story shear</i> dengan 35% <i>base shear</i> dengan redundansi 1	57
Tabel 4.5	Nilai gaya geser gedung pada setiap lantai	57
Tabel 4.6	Nilai simpangan antar lantai pada arah x	58
Tabel 4.7	Nilai simpangan antar lantai pada arah y	58
Tabel 4.8	Kekakuan tingkat arah x “ <i>story stiffness</i> ”	59
Tabel 4.9	Kekakuan tingkat arah y “ <i>story stiffness</i> ”	59
Tabel 4.10	Pengaruh efek P-Delta arah x pada gempa x	60
Tabel 4.11	Pengaruh efek P-Delta arah y pada gempa x	60
Tabel 4.12	Pengaruh efek P-Delta arah x pada gempa y	60
Tabel 4.13	Pengaruh efek P-Delta arah y pada gempa y	60
Tabel 4.14	Pemeriksaan ketidakberaturan torsi gempa arah x	61
Tabel 4.15	Pemeriksaan ketidakberaturan torsi gempa arah y	61

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta zonasi gempa di Indonesia	2
Gambar 2.1	Macam-macam respon akibat beban siklik (Pawirodikromo, 2012)	13
Gambar 2.2	<i>Hysteretic Loops</i> (Pawirodikromo, 2012)	17
Gambar 2.3	Grafik spektrum perbandingan percepatan dengan perioda	18
Gambar 2.4	Respon spektrum desain	21
Gambar 2.5	Perilaku tegangan dan regangan material baja	25
Gambar 2.6	Faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ) (SNI 1726:2012)	32
Gambar 2.7	Respon yang diterima terhadap pembebanan yang diberikan	35
Gambar 2.8	<i>Pushover Analysis</i> : Analisa Statis tidak linear	39
Gambar 3.1	Bagan alir penelitian	43
Gambar 3.2	Pemodelan gedung sumbu X-Y	44
Gambar 3.3	Pemodelan gedung sumbu X-Z	45
Gambar 3.4	Analogi struktur gedung tidak beraturan berbentuk L	45
Gambar 3.5	Analogi struktur gedung tidak beraturan berbentuk T	46
Gambar 3.6	Analogi struktur gedung tidak beraturan berbentuk U	46
Gambar 3.7	Respon spektrum desain SNI 1726:2012 Kota Padang	50
Gambar 4.1	Grafik perbandingan nilai <i>Displacement</i> pada variasi gempa	62
Gambar 4.2	Grafik perbandingan torsi pada variasi gempa	62
Gambar 4.3	Grafik perbandingan <i>Inter-Storey Drifts</i> pada variasi gempa	63
Gambar 4.7	Grafik perbandingan nilai <i>Displacement</i> pada gedung tidak beraturan horizontal	64
Gambar 4.8	Grafik perbandingan torsi pada gedung tidak beraturan horizontal	65
Gambar 4.9	Grafik perbandingan <i>Inter-Storey Drifts</i> pada gedung tidak beraturan horizontal	65

## DAFTAR NOTASI

$C_d$	=	Faktor kuat lebih sistem
$E$	=	Modulus elastisitas
$EQ_x$	=	Beban gempa arah x
$EQ_y$	=	Beban gempa arah y
$F$	=	Frekuensi Struktur
$F_a$	=	Koefisien perioda pendek
$F_v$	=	Koefisien perioda 1,0 detik
$F_{PGA}$	=	Nilai koefisien situs untuk PGA
$h_n$	=	Ketinggian struktur dalam m di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (meter)
$I$	=	Momen Inersia kolom/balok
$I_e$	=	Faktor keutamaan gempa
$\omega$	=	Kecepatan sudut
$k$	=	Kekakuan struktur
$l$	=	Panjang kolom/balok
$M_c$	=	Momen puncak
$M_y$	=	Momen leleh
$M_u$	=	Momen ultimit
$R$	=	Faktor koefisien modifikasi respon
$S_S$	=	Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda pendek 0,2 detik di batuan dasar ( $S_B$ ) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2016
$S_I$	=	Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda 1,0 detik di batuan dasar ( $S_B$ ) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2016
$S_{DS}$	=	Respon spektrum percepatan respon desain untuk perioda pendek
$S_{DI}$	=	Respon spektrum percepatan desain untuk perioda 1,0 detik
$T_{a\ minimum}$	=	Nilai batas bawah perioda bangunan
$T_{a\ maksimum}$	=	Nilai batas atas perioda bangunan
$V_t$	=	Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respon yang telah dilakukan

$V_l$	=	Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekivalen
$\theta_y$	=	Rotasi pada saat leleh
$\mu_p$	=	Lendutan pada titik plastis
$\mu_y$	=	Lendutan pada titik leleh
$\phi_m$	=	Lengkungan maksimum yang akan timbul
$\phi_y$	=	Lengkungan pada saat leleh
$\theta_u$	=	Rotasi pada batas ultimit
$\theta_y$	=	Rotasi pada batas leleh
$\theta_{pc}$	=	Koefisien rotasi <i>post-capping</i>
$\theta_p$	=	Koefisien rotasi plastis
$\Omega_0$	=	Faktor pembesaran defleksi
$\rho$	=	Faktor redudansi

## DAFTAR NOTASI

$C_d$	=	Faktor kuat lebih sistem
$E$	=	Modulus elastisitas
$EQ_x$	=	Beban gempa arah x
$EQ_y$	=	Beban gempa arah y
$F$	=	Frekuensi Struktur
$F_a$	=	Koefisien perioda pendek
$F_v$	=	Koefisien perioda 1,0 detik
$F_{PGA}$	=	Nilai koefisien situs untuk PGA
$h_n$	=	Ketinggian struktur dalam m di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (meter)
$I$	=	Momen Inersia kolom/balok
$I_e$	=	Faktor keutamaan gempa
$\omega$	=	Kecepatan sudut
$k$	=	Kekakuan struktur
$l$	=	Panjang kolom/balok
$M_c$	=	Momen puncak
$M_y$	=	Momen leleh
$M_u$	=	Momen ultimit
$R$	=	Faktor koefisien modifikasi respon
$S_s$	=	Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda pendek 0,2 detik di batuan dasar ( $S_B$ ) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2016
$S_l$	=	Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda 1,0 detik di batuan dasar ( $S_B$ ) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2016
$S_{Ds}$	=	Respon spektrum percepatan respon desain untuk perioda pendek
$S_{Dl}$	=	Respon spektrum percepatan desain untuk perioda 1,0 detik
$T_{a\ minimum}$	=	Nilai batas bawah perioda bangunan
$T_{a\ maksimum}$	=	Nilai batas atas perioda bangunan
$V_t$	=	Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respon yang telah dilakukan

$V_l$	=	Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekivalen
$\theta_y$	=	Rotasi pada saat leleh
$\mu_p$	=	Lendutan pada titik plastis
$\mu_y$	=	Lendutan pada titik leleh
$\phi_m$	=	Lengkungan maksimum yang akan timbul
$\phi_y$	=	Lengkungan pada saat leleh
$\theta_u$	=	Rotasi pada batas ultimit
$\theta_y$	=	Rotasi pada batas leleh
$\theta_{pc}$	=	Koefisien rotasi <i>post-capping</i>
$\theta_p$	=	Koefisien rotasi plastis
$\Omega_0$	=	Faktor pembesaran defleksi
$\rho$	=	Faktor redudansi

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1.Latar belakang

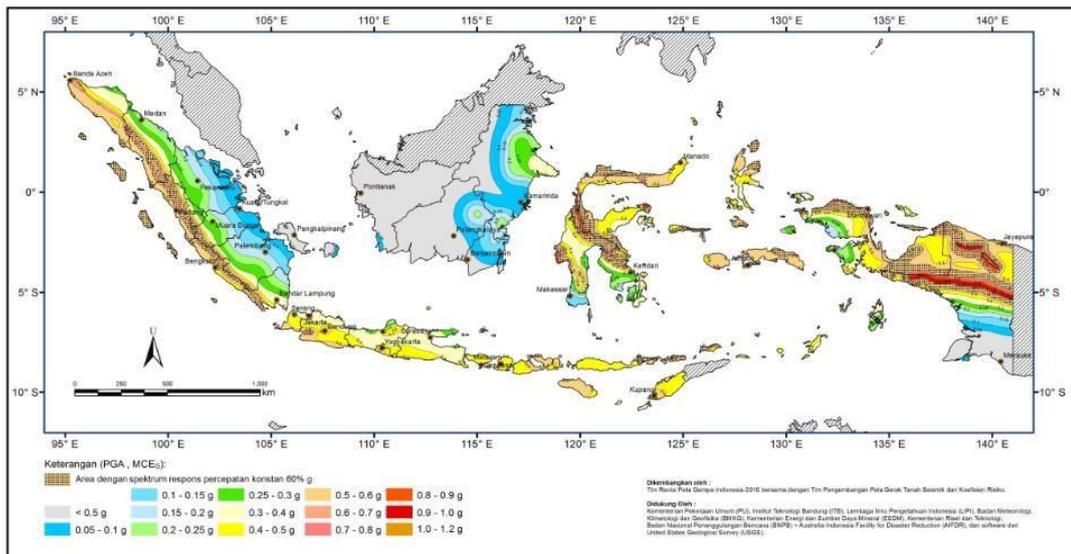
Pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin meningkat mengakibatkan pertumbuhan jumlah bangunan juga meningkat. Bangunan yang dimaksudkan adalah bangunan seperti rumah, sekolah, kantor, dan lain sebagainya. Bangunan-bangunan tersebut membutuhkan lahan yang luas, sedangkan ketersediaan lahan semakin mengecil seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang terus meningkat. Salah satu cara untuk memanfaatkan lahan secara optimal adalah dengan pembangunan secara vertikal. Hal ini dapat diwujudkan dengan pembangunan gedung bertingkat.

Perancangan struktur merupakan unsur yang penting pada pembangunan suatu gedung agar dapat menghasilkan gedung yang kuat, aman dan ekonomis. Secara keseluruhan struktur bangunan gedung terdiri dari dua bagian yaitu struktur bagian atas yang berupa lantai, balok, kolom, dinding geser (dinding struktural) dan atap sedangkan struktur bagian bawah berupa pondasi.

Dalam perancangan gedung bertingkat banyak faktor yang harus diperhatikan seperti fungsi gedung, keamanan dan kenyamanan pengguna, selain itu faktor ekonomis juga harus diperhatikan. Keamanan merupakan faktor utama yang harus diperhatikan dalam perencanaan suatu gedung bertingkat tinggi. Desain dan pendetailan komponen-komponen struktur tersebut pada umumnya dirancang untuk menahan gaya vertikal gravitasi (beban mati dan hidup), gaya horizontal angin dan gaya gempa.

Gaya gempa berpengaruh besar terhadap perencanaan struktur gedung. Wilayah Indonesia termasuk wilayah yang memiliki potensi bahaya gempa yang besar. Hal ini disebabkan oleh Lempeng Indo-Australia yang menjadi tempat bertemunya tiga lempeng besar dunia yang bertepatan pada wilayah Indonesia. Beberapa kasus gempa bumi besar yang terjadi di Indonesia antara lain di wilayah

Aceh berkekuatan sebesar 9,0 SR (26 Agustus 2004), Bengkulu sebesar 7,9 SR (12 September 2007), Papua sebesar 7,6 SR (3 Januari 2009), Mentawai sebesar 7,2 SR (26 Oktober 2010), dan di sepanjang Pulau Sumatera yang berskala 8,6 SR (11 April 2012). Di bagian terakhir ini adalah kawasan pusat pertemuan 4 lempeng besar dunia tersebut. Zonasi gempa yang terdapat di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1: Peta zonasi gempa di Indonesia.

Pada Gambar 1.1 memperlihatkan besarnya beban gempa yang terjadi di Indonesia. Beban gempa yang kecil berwarna biru hingga semakin besar bebannya ditunjukkan warna merah. Peta zonasi gempa ini menjadi patokan dalam perencanaan struktur gedung tahan gempa.

Suatu struktur bangunan dituntut harus mampu menahan gaya-gaya vertikal (beban gravitasi) dan gaya-gaya horizontal (beban angin maupun beban gempa) baik gempa dengan skala tunggal maupun berulang. Dalam merencanakan suatu struktur bertingkat tahan gempa, salah satu hal yang perlu dipahami adalah konfigurasi bangunan dan pengaruhnya terhadap beban gempa. Pengaruh yang dimaksud adalah kemungkinan perilaku/respon akibat beban gempa. Konfigurasi bangunan merupakan sesuatu yang berhubungan dengan bentuk, ukuran, dan penempatan struktur utama bangunan serta penempatan bagian pengisi atau *nonstructural element*.

Respon struktur akibat gempa sangat dipengaruhi oleh bentuk bangunan itu sendiri. Bangunan dengan bentuk beraturan, sederhana, dan simetris akan berperilaku lebih baik terhadap gempa dibandingkan dengan bangunan yang tidak beraturan (Paulay dan Priestley, 1992). Untuk mengetahui respon struktur akibat gempa, maka perlu dilakukan analisis beban gempa yang sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Untuk mengurangi resiko gempa bumi, perilaku struktur harus diketahui terlebih dahulu. Analisa ini dimaksud untuk mengetahui perilaku struktur terhadap gempa bumi bila pada struktur tersebut mempunyai eksentrisitas terhadap pusat massa dan pusat rotasi. Eksentrisitas ini terjadi karena putaran rotasi dan pusat massa pada gedung tidak berimpit. Dengan adanya hal ini mengakibatkan gedung akan mengalami momen torsi yang mengakibatkan gedung mengalami puntir.

Pusat massa adalah letak titik tangkap resultante beban mati dan beban hidup yang sesuai yang bekerja pada lantai tingkat tersebut. Sedangkan pusat rotasi (pusat kekakuan) adalah titik dimana pada suatu lantai bangunan, apabila bekerja gaya horizontal pada titik tersebut, lantai tingkat tersebut tidak mengalami rotasi tapi hanya bertranslasi (SNI, 2002).

Letak pusat massa dan pusat kekakuan, tidak selalu terletak pada tempat yang sama. Sebagai contoh adalah pada perencanaan gedung perkantoran yang terdiri dari beberapa lantai. Pada gedung perkantoran kadang kala ada beberapa bagian luas bangunan yang direncanakan sebagai ruang pertemuan (aula), dimana ruang tersebut memiliki beban hidup rencana yang lebih besar dibandingkan dengan ruang-ruang kantor. Hal ini tentu saja mengakibatkan letak pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat tidak berimpit, sehingga menimbulkan eksentrisitas.

Dengan mengubah letak pusat massa gedung pada struktur gedung dengan bentuk beraturan, maka akan di dapatkan pusat massa dan pusat kekakuan yang sama dengan struktur gedung dengan bentuk tidak beraturan horizontal. Dengan kata lain, struktur gedung dengan bentuk beraturan ini dapat dianalogikan sebagai struktur gedung dengan bentuk tidak beraturan dengan syarat letak pusat massa dan pusat kekakuannya sama. Sehingga kita dapat mengevaluasi kinerja struktur

gedung dengan bentuk beraturan yang akan dianalogikan sebagai struktur gedung tidak beraturan horizontal terhadap beban gempa.

Dalam penulisan tugas akhir ini akan mengevaluasi tentang kinerja struktur baja gedung dengan bentuk tidak beraturan horizontal bila mengalami beban getaran gempa. Adapun struktur yang dievaluasi adalah struktur baja 4 lantai dengan bentuk beraturan yang dianalogikan dengan bentuk tidak beraturan.

## **1.2.Tujuan**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui simpangan horizontal pada lantai struktur gedung tidak beraturan sampai batas keruntuhannya.
2. Untuk mengetahui pengaruh bentuk struktur gedung akibat beban getaran gempa.

## **1.3.Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana melakukan perhitungan simpangan horizontal pada lantai struktur gedung tidak beraturan?
2. Bagaimana pengaruh bentuk struktur gedung tidak beraturan terhadap gempa?

## **1.4.Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Analisis dilakukan untuk model struktur gedung di Kota Padang,
2. Kelas situs tanah berdasarkan SNI 03-1726-2012 ditetapkan sebagai kelas situs D atau tanah sedang,
3. Peluang gempa sebesar 10% dalam 50 tahun atau skala ulang 500 tahunan,
4. Desain bangunan merupakan bangunan bertingkat 4 lantai yang berbentuk persegi kemudian dianalogikan berbentuk L, T dan U,
5. Analisis dilakukan dengan membuat model tanpa dinding di *software* ETABS dan Ruaumoko,

6. Pada penelitian ini kondisi void, tangga, lift, dan balok anak tidak dimodelkan, dan diasumsikan pembebanannya tidak didistribusikan.
7. Perencanaan struktur baja gedung direncanakan berdasarkan SNI 1729:2015,
8. Beban gravitasi menggunakan SNI 1727:2013 dan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987,
9. Beban gempa dan gedung direncanakan menggunakan Standar Perencanaan Tahan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726:2012.

### **1.5.Sistematika penulisan**

Sistematika penulisan dalam penulisan tugas akhir ini disusun sebagai berikut :

1. BAB 1: Pendahuluan  
Terdiri dari latar belakang, tujuan penulisan, rumusan masalah, dan batasan masalah.
2. BAB 2: Tinjauan Pustaka  
Terdiri dari teori dasar dalam perencanaan struktur bangunan.
3. BAB 3: Metodologi Penelitian  
Merupakan sistematika dalam penyusunan tugas akhir ini dari awal hingga akhir penulisan.
4. BAB 4: Hasil dan Pembahasan  
Merupakan hasil dari pembahasan yang diperoleh.
5. BAB 5: Kesimpulan dan Saran  
Terdiri dari kesimpulan dan saran.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Bangunan Tidak Beraturan Horizontal**

Pada saat ini pembangunan gedung bertingkat semakin dibutuhkan di negara berkembang seperti Indonesia. Pada umumnya gedung-gedung bertingkat digunakan difungsikan sebagai perkantoran, sekolah dan rumah sakit. Gedung bertingkat juga dapat menjadi nilai investasi dengan menjadikannya gedung komersil yang digunakan sebagai mall, hotel, apartemen dan lain sebagainya. Kebutuhan gedung yang semakin meningkat berbanding lurus dengan semakin pertumbuhan masyarakat, sehingga mengakibatkan sulitnya memperoleh lahan yang luas. Sebagaimana lahan yang ada akan dimanfaatkan untuk pembangunan, bangunan akan mengikuti ketersediaan lahan dan menjadikan bangunan tersebut cenderung tidak beraturan dalam segi struktur bangunannya.

Perancangan struktur merupakan unsur yang penting pada pembangunan suatu gedung agar dapat menghasilkan gedung yang kuat, aman dan ekonomis. Secara keseluruhan struktur bangunan gedung terdiri dari dua bagian yaitu struktur bagian atas yang berupa lantai, balok, kolom, dinding geser (dinding struktural) dan atap sedangkan struktur bagian bawah berupa pondasi.

Konfigurasi bangunan pada hakekatnya adalah sesuatu yang berhubungan dengan bentuk, ukuran, macam dan penempatan struktur utama bangunan, serta macam dan penempatan bagian pengisi atau nonstruktural element, (Arnold dan Reitherman, 1982). Konfigurasi struktur sangat berpengaruh dalam menentukan suatu perencanaan. Konfigurasi struktur tersebut adalah struktur bangunan beraturan atau tidak beraturan. Struktur bangunan gedung diklasifikasikan sebagai bangunan beraturan dan tidak beraturan berdasarkan SNI 1726:2012. Klasifikasi tersebut didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan gedung.

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.3.2.1, kriteria struktur bangunan tidak beraturan horizontal dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Ketidakberaturan horizontal pada struktur berdasarkan SNI 1726:2012

No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a	Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	D, E dan F B, C, D, E dan F C, D, E dan F C, D, E dan F D, E dan F B, C, D, E dan F
1b	Ketidakteraturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	E dan F D B, C dan D C dan D C dan D D B, C dan D
2	Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika di dua proyeksi denah dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan	7.3.3.4 Tabel 13	D, E dan F D, E dan F
3	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari	7.3.3.4 Tabel 13	D, E dan F D, E dan F

	50% dari suatu tingkat ketinggian selanjutnya.		
4	Ketidakteraturan gesekan melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti geseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.3.3 Tabel 13 12.2.2	B, C, D, E dan F D, E dan F B, C, D, E dan F D, E dan F B, C, D, E dan F
5	Ketidakteraturan sistem non paralel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya seismik	7.5.3 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	C, D, E dan F B, C, D, E dan F D, E dan F B, C, D, E dan F

Struktur gedung ditetapkan sebagai gedung tidak beraturan jika memenuhi persyaratan struktur tidak beraturan yang telah ditetapkan. Untuk struktur gedung tidak beraturan, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik, berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.

## 2.2 Gempa Bumi

Indonesia termasuk daerah dengan tingkat resiko gempa yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan karena wilayah Indonesia berada di antara empat lempeng tektonik yang aktif yaitu lempeng Eurasia, lempeng Australia, lempeng Filipina dan lempeng Pasifik.

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi di permukaan bumi (atau di permukaan tanah). Energi yang dilepaskan tersebut merambat melalui tanah dalam bentuk gelombang getaran. Gelombang getaran yang sampai ke permukaan bumi disebut gempa bumi (Faisal, 2013).

Pada struktur bangunan beraturan, pengaruh gempa rencana dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa yang berperilaku statik, yaitu suatu representasi dari beban gempa setelah disederhanakan dan dimodifikasi. Sedangkan pada bangunan tidak beraturan harus ditinjau sebagai pengaruh beban dinamik. Beban gempa

ekivalen statik merupakan penyederhanaan dari beban gempa dinamik, yaitu berupa gaya horizontal  $F$  yang bekerja pada pusat massa bangunan dan bersifat statik.

### **2.2.1 Penyebab Terjadinya Gempa**

Banyak teori yang telah di kemukakan mengenai penyebab terjadinya gempa bumi. Sebagaimana yang kita ketahui selama ini, sebab-sebab terjadinya gempa adalah sebagai berikut:

1. Gempa Bumi Tektonik, gempa bumi ini disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi atau kerak bumi, walaupun kelihatannya diam, akan tetapi lapisan-lapisan pada bagian permukaan bumi litosfir yang materialnya bersifat padat, keras dan dingin adalah selalu bergerak. Gaya-gaya tektonik biasa disebabkan oleh proses pembentukan gunung, pembentukan patahan, gerakan-gerakan patahan lempengan bumi, dan tarikan atau tekanan bagian-bagian benua yang besar.
2. Gempa Bumi Vulkanik, gempa bumi ini terjadi akibat adanya aktivitas magam yang biasa terjadi sebelum gunung meletus. Apabila keaktifan gunung api semakin tinggi maka akan menyebabkan timbulnya ledakan dan juga terjadinya gempa bumi.
3. Gempa Bumi Buatan, gempa bumi buatan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti peledakan dinamit, bom maupun nuklir.
4. Gempa Bumi Runtuhan, gempa bumi ini disebabkan oleh keruntuhan baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Gempa ini biasanya terjadi pada daerah kapur ataupun pada daerah tambang. Gempa bumi ini jarang terjadi dan bersifat lokal.

Diantara ke empat jenis gempa di atas, gempa bumi tektonik merupakan gempa bumi yang paling sering terjadi. Secara spesifik, gempa bumi tektonik juga dapat diartikan sebagai peristiwa pelepasan energi gelombang seismik secara tiba-tiba yang diakibatkan oleh adanya deformasi lempeng tektonik yang ada di kerak bumi (Supriatna, 2011).

### 2.2.2 Parameter Dasar Gempa Bumi

Beberapa parameter dasar gempa bumi yang perlu kita ketahui, yaitu:

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

Skala gempa, yaitu suatu ukuran kekuatan gempa yang dapat diukur dengan secara kuantitatif dan kualitatif. Pengukuran kekuatan gempa secara kuantitatif dilakukan pengukuran dengan skala *Richter* yang umumnya dikenal sebagai pengukuran magnitudo gempa bumi adalah ukuran mutlak yang dikeluarkan oleh pusat gempa. Pendapat ini pertama kali dikemukakan oleh *Richter* dengan besaran antara 0 sampai dengan 9. Selama ini gempa terbesar tercatat sebesar 8,9 skala *Richter* terjadi di Columbia tahun 1906.

### 2.2.3 Sejarah Analisis Gempa

Analisis Gempa atau Seismik adalah bagian dari analisis struktur dan perhitungan respon dari sebuah bangunan struktur untuk gempa bumi. Analisis ini adalah bagian dari proses perencanaan struktur, rekayasa gempa bumi atau penilaian struktural di daerah yang memiliki riwayat atau berpotensi akan terjadinya gempa bumi.

Ketentuan awal untuk ketahanan seismik yaitu persyaratan desain untuk gaya lateral dimana beban gempa tiap tingkat sebanding dengan proporsi berat bangunan. Pendekatan ini diadopsi dalam lampiran dari 1927 Uniform Building Code (UBC),

yang digunakan di pantai barat Amerika Serikat . Hal Ini kemudian berkembang bahwa sifat dinamik struktur mempengaruhi beban yang dihasilkan selama gempa bumi. Pada Los Angeles County Building Code tahun 1943 ketentuan untuk memvariasikan beban berdasarkan jumlah tingkat lantai diadopsi (berdasarkan penelitian yang dilakukan di Caltech bekerjasama dengan Universitas Stanford dan pantai AS dan Geodetic Survey, yang dimulai pada tahun 1937). Konsep “respon spektrum” dikembangkan pada 1930-an, tapi tidak sampai 1952 bahwa komite bersama dari San Francisco Bagian dari ASCE dan *Structural Engineer Association of North California* (SEAONC) mengusulkan menggunakan periode alami bangunan untuk menentukan gaya lateral.

*University of California, Berkeley* merupakan perguruan tinggi awal yang mengembangkan analisis struktur seismik berbasis-komputer, diketuai oleh Profesor Ray Clough (yang juga menciptakan istilah elemen hingga). Diantara mahasiswanya adalah Edward L Wilson, yang kemudian menulis program SAP pada tahun 1970, generasi awal yang mengembangkan program ”Analisis Elemen Hingga“.

## **2.3 Struktur Bangunan Tahan Gempa**

### **2.3.1 Konsep Perencanaan Struktur Tahan Gempa**

Pada konsep perencanaan struktur bangunan bertingkat harus diperhitungkan kemampuannya dalam memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, diantaranya adalah beban gravitasi dan lateral serta beban angin dan beban gempa (Suyanto, 2008).

Berdasarkan kondisi wilayah Indonesia, yang terletak diantara 4 lempeng benua (merupakan daerah rawan gempa, struktural boleh jadi akan mengalami pergerakan secara vertikal maupun secara lateral).

Berdasarkan UBC 1997, tujuan desain bangunan tahan gempa adalah mencegah terjadinya kegagalan struktur dan korban jiwa, dengan tiga kriteria standar sebagai berikut:

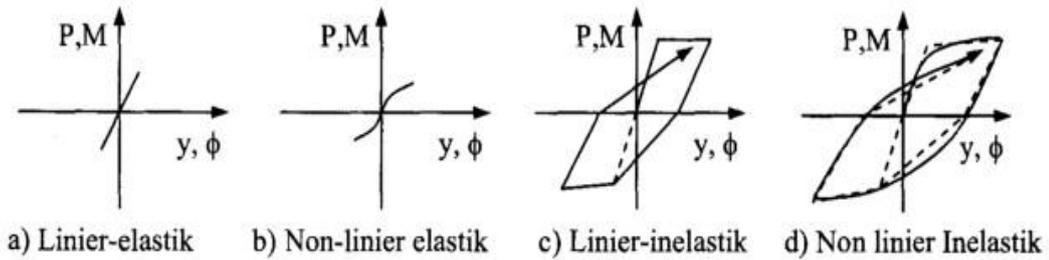
1. Ketika terjadi gempa kecil, tidak terjadi kerusakan sama sekali.
2. Ketika terjadi gempa sedang, diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektual tetapi bukan merupakan kerusakan struktur.
3. Ketika terjadi gempa kuat, diperbolehkan terjadinya kerusakan struktural dan non struktural, namun kerusakan yang terjadi tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh.

Berdasarkan hal tersebut, perencanaan struktur dapat direncanakan dengan mengetahui skenario keruntuhan dari struktur tersebut dalam menahan beban maksimum yang bekerja. Bangunan tahan gempa didesain berdasarkan pengaturan gempa yang berlaku, jenis tanah, bentuk bangunannya, faktor kegunaan bangunannya dan lain-lain. UBC 1997 mensyaratkan seluruh elemen struktur di rencanakan dengan tahanan yang sesuai untuk menahan perpindahan yang terjadi akibat *ground motion* dengan memperhatikan respon inelastik struktur, faktor redundan, kuat tekan lebih dan daktilitas struktur.

Analisis dinamik merupakan cara yang saat ini paling tepat untuk mengetahui kondisi struktur yang sebenarnya ketika terjadi gempa. Dengan analisis riwayat waktu (*time history analysis*), dapat diketahui respons struktur akibat gempa seperti simpangan, kecepatan dan percepatan untuk setiap segmen waktu yang ditentukan (Suryanto, 2008).

### **2.3.2 Perilaku Bangunan Tahan Gempa**

Menurut Pawirodikromo (2012), riset tentang perilaku bangunan, elemen struktur maupun struktur juga sangat mendukung pengembangan konsep bangunan tahan gempa. Perilaku bangunan akibat beban dapat berupa linear dan non-linear, sedangkan intensitas beban dapat mengakibatkan respon elastik maupun inelastik. Dengan demikian akan terdapat 4 kombinasi yaitu seperti yang tampak pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Macam-macam respon akibat beban siklik (Pawirodikromo, 2012).

1. Linear elastik

Adalah respon bahan/elemen struktur yang mana hubungan antara beban simpangan bersifat lurus, proporsional/linear dan apabila beban dihilangkan maka deformasi bahan akan sama dengan nol (kembali ke posisi semula). Bahan metal khususnya baja mempunyai sifat/respon linear apabila intensitas bebannya masih kecil.

2. Non-linear elastik

Adalah apabila hubungan antara beban-simpangan dari awal sudah tidak lurus/linear tetapi non-linear walaupun intensitas bebannya masih relatif kecil. Apabila beban ditiadakan maka deformasi bahan akan sama dengan nol (kembali ke posisi semula, tidak ada *permanent deformation*). Tanah dan beton pada umumnya mempunyai sifat nonlinear sejak intensitas beban masih kecil.

3. Linear inelastik

Adalah suatu kondisi yang mana intensitas beban sudah besar, tegangan yang terjadi sudah tidak lagi tegangan elastik tetapi sudah inelastik. Apabila beban ditiadakan maka benda tidak dapat lagi kembali ke posisi semula tetapi kembali secara linear/lurus di tempat yang lain (ada deformasi permanen). Walaupun beban sudah besar tetapi perilaku bahan dimodel secara linear. Struktur beton yang dibebani dengan beban siklik dengan intensitas yang besar pada hakikatnya akan berperilaku non-linear inelastik, tetapi pada umumnya dimodel sebagai linear-inelastik.

#### 4. Nonlinear inelastik

Adalah suatu kondisi pembebanan siklik yang intensitasnya besar yang diterapkan pada struktur tanah maupun beton. Hubungan antara beban dan deformasi tidak lagi bersifat lurus/linear dan apabila beban siklik ditiadakan maka akan terdapat deformasi permanen.

### 2.3.3 Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Menurut Pawirodikromo (2012), berdasarkan kekuatan gempa yang terjadi, desain filosofi bangunan tahan gempa sebagai berikut:

1. Pada saat gempa kecil (light atau minor earthquake) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non-struktur masih dibolehkan.
2. Pada gempa menengah (moderate earthquake) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tetapi masih dapat/ekonomis untuk diperbaiki. Elemen non-struktur dapat saja rusak tapi masih dapat diganti dengan yang baru.
3. Pada gempa kuat (strong earthquake) yang jarang terjadi, maka struktur bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total. Kondisi seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (great earthquake), yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diperlukan standar dan peraturan perencanaan bangunan untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi serta menghindari dan meminimalisi kerusakan struktur bangunan dan korban jiwa terhadap gempa bumi yang sering terjadi.

Oleh karena itu, struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan.

### 2.3.3.1 Kekuatan (*Strength*)

Bangunan harus mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan semua jenis kombinasi beban (beban mati, beban hidup, beban gempa dan beban angin). Untuk struktur yang relatif kaku, kriteria kekuatan ditandai oleh tegangan bahan yang terjadi, sementara lendutan/simpangannya relatif kecil (karena struktur kaku). Tegangan bahan menjadi penentu (*stress govern*) terhadap performa bangunan. Pada tingkat beban layan (*service load*), tegangan yang terjadi harus masih dalam batas elastis dengan angka keamanan tertentu. Angka keamanan yang dimaksudkan salah satunya dapat diakomodasikan melalui faktor beban (*load factor*). Dengan faktor beban (nilainya  $> 1$ ) maka bahan akan mencapai tegangan leleh hanya apabila intensitas beban gravitasi, beban hidup, dan beban sementara masing-masing naik sebesar faktor bebannya (Pawirodikromo, 2012).

### 2.3.3.2 Kekakuan (*Stiffness*)

Kekakuan struktur adalah gaya yang diperlukan struktur bila mengalami deformasi sebesar satu satuan baik itu perpanjangan, perpendekan, perputaran sudut, atau deformasi-deformasi lainnya. Nilai kekakuan struktur ini sangat tergantung dari material yang digunakan, dimensi elemen struktur, penulangan, modulus elastisitas ( $E$ ) dan modulus elastisitas geser ( $G$ ), serta momen inersia polar struktur tersebut (Budiono dan Supriatna, 2011).

Menurut Budiono dan Supriatna (2011), kekakuan struktur dapat dilihat dari persamaan berikut:

$$T = 1/F = 2\pi/\omega \quad (2.1)$$

dan

$$\omega = \sqrt{(k/m)} \quad (2.2)$$

maka

$$T \approx 1/\sqrt{k} \quad (2.3)$$

dimana:

$T$  = Periode struktur

$F$  = Frekuensi struktur

$\omega$  = Kecepatan sudut

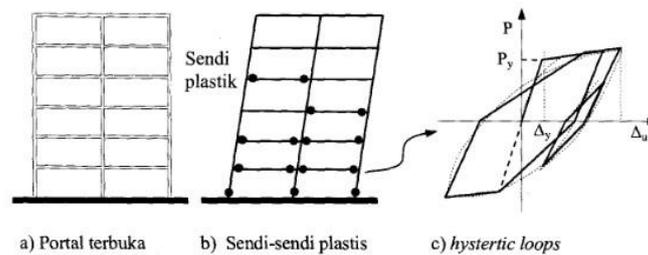
$k$  = Kekakuan struktur

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

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

### **2.3.3.3 Stabilitas (*Stability*)**

Stabilitas juga merupakan salah satu kriteria yang penting dan sangat berhubungan erat dengan sifat daktilitas. Akibat beban statik pada umumnya struktur tidak mempunyai masalah. Masalah baru muncul setelah beban dinamik misalnya bangunan digoncang oleh pergerakan tanah akibat gempa bumi. Pada saat mengalami gempa, bangunan akan bergetar, tegangan bahan akan meningkat dan mencapai tegangan plastis secara bolak-balik. Pada daerah-daerah sendi plastis akan mengalami hubungan antara beban dan simpangan (load deformation) secara berubah-ubah sepanjang durasi pembebanan yang disebut hysteretic loops, seperti yang disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2: *Hysteretic Loops* (Pawirodikromo, 2012).

Struktur yang stabil adalah apabila hysteretic loops tersebut mampu bertahan pada simpangan inelastik yang cukup besar tanpa adanya penurunan kekuatan yang berarti (maksimum penurunan kekuatan sebesar 20% dari kekuatan maksimum). Apabila ini dapat dicapai maka struktur secara keseluruhan akan bersifat stabil, daktil, dan tidak mudah runtuh pada durasi dan simpangan yang cukup lama/besar (Pawirodikromo, 2012).

## 2.4 Analisis Respon Spektrum

Pendekatan ini memperhitungkan beberapa mode respons bangunan. Hal ini diperlukan dalam banyak peraturan bangunan kecuali untuk bangunan yang sangat sederhana atau sangat kompleks struktur. Respons struktur dapat didefinisikan dari kombinasi dari banyak mode khusus sehingga dalam rangkaian getaran sesuai dengan beban harmonik. Analisis dengan komputer dapat digunakan untuk menentukan mode untuk struktur. Untuk setiap mode, respon dibaca dari spektrum desain, berdasarkan pada frekuensi modal dan massa modal dan kemudian dikombinasikan untuk memberikan perkiraan total respon struktur.

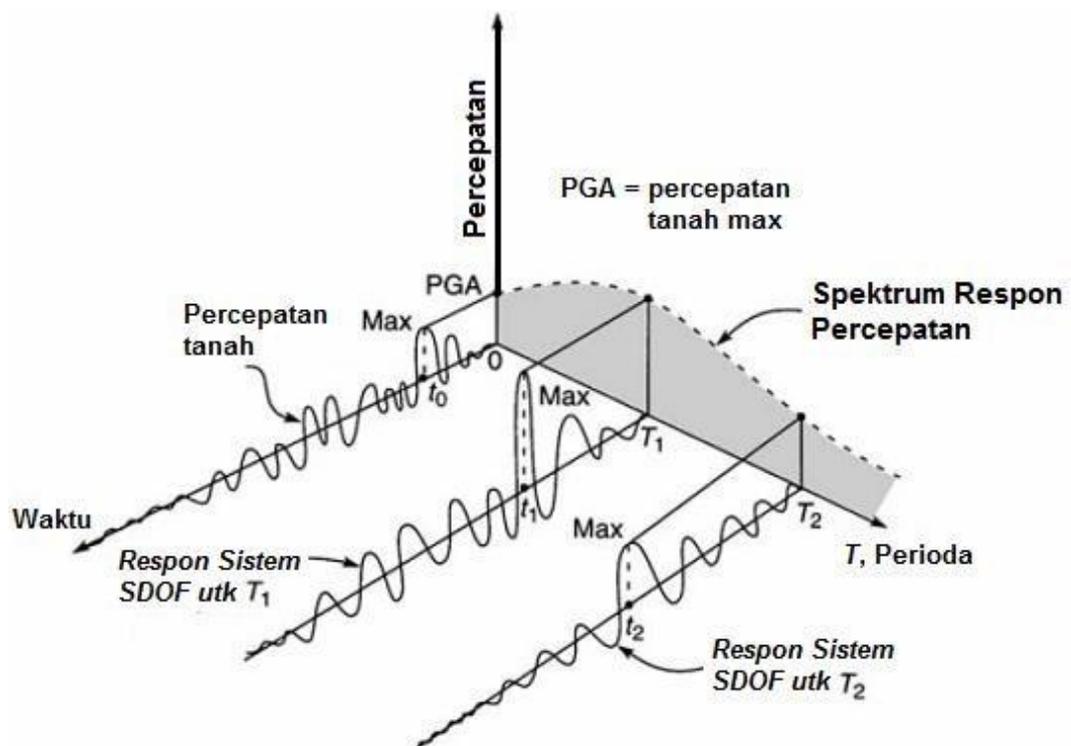
Kombinasi Modal terdiri atas:

- Metode absolut – puncak: nilai yang ditambahkan bersama-sama
- Kuadrat akar dari jumlah kuadrat (SRSS)
- Kombinasi Kuadrat Lengkap (CQC) – sebuah metode yang merupakan perbaikan pada SRSS untuk mode berjarak dekat.

Hasil dari analisis respon spektrum dengan menggunakan respon spektrum gerakan tanah biasanya berbeda dari yang akan dihitung langsung dari analisis linier

dinamik menggunakan gerakan tanah langsung, karena terdapat tahapan informasi yang hilang dalam proses menghasilkan respon spektrum. Dalam kasus di mana struktur sangat tidak teratur, sangat tinggi atau sangat penting bagi masyarakat di respon bencana, pendekatan respon spektrum tidak lagi sesuai, dan analisis kompleks analisis dibutuhkan, seperti non-linear analisis statis atau dinamis.

Menurut Faisal (2015), respon spektrum adalah spektrum (plot) yang memuat nilai-nilai amplituda max dari sebuah nilai respon sistem teredam untuk beragam variasi perioda (frekuensi) alami.



Gambar 2.3: Grafik spektrum perbandingan percepatan dengan perioda.

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 6 tentang Wilayah Gempa dan Respon Spektrum, desain respon spektrum harus ditentukan dan dibuat terlebih dahulu berdasarkan data-data yang ada. Data-data yang dibutuhkan dan prosedur pembuatan respon spektrum antar lain:

- a. Parameter percepatan batuan dasar

Parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar perioda pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-

masing dari respon spektrum percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

b. Parameter kelas situs

Ditentukan berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklarifikasikan sesuai dengan klasifikasi situs.

- c. Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respon spektrum percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget ( $MCE_R$ ). Berdasarkan SNI 1726:2012 untuk menentukan respon spektrum percepatan gempa di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi seismik pada perioda pendek 0,2 detik ( $F_a$ ) dan perioda 1,0 detik ( $F_v$ ). Selanjutnya parameter respon spektrum percepatan gempa di permukaan tanah dapat diperoleh dengan cara mengalikan koefisien  $F_a$  dan  $F_v$  yang terdapat dalam Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 dengan spektrum percepatan untuk perioda pendek 0,2 detik ( $S_S$ ) dan perioda 1,0 detik ( $S_I$ ) di batuan dasar yang diperoleh dari peta gempa Indonesia SNI 1726:2012 sesuai Pers. 2.4 dan 2.5.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_S \quad (2.4)$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I \quad (2.5)$$

dimana:

$S_S$  = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda pendek 0,2 detik di batuan dasar ( $S_B$ ) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2012 (Gambar 2.14)

$S_I$  = Nilai parameter respon spektrum percepatan gempa perioda 1,0 detik di batuan dasar ( $S_B$ ) mengacu pada peta Gempa SNI 1726:2012 (Gambar 2.13)

$F_a$  = Koefisien perioda pendek

$F_v$  = Koefisien perioda 1,0 detik

Tabel 2.2: Koefisien perioda pendek ( $F_a$ ) berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi situs (sesuai Tabel 2.3)	PGA				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 0,4$	$S_s \geq 1,25$
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	Memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respon situs-spesifik				

Tabel 2.3: Koefisien perioda 1,0 detik ( $F_v$ ) berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi situs (sesuai Tabel 2.3)	PGA				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
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	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	Memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respon situs-spesifik				

d. Parameter percepatan spektrum desain

Parameter percepatan spektrum desain untuk perioda pendek ( $S_{DS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{D1}$ ) harus ditetapkan melalui Persamaan 2.6 - 2.9.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.6)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.7)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.8)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.9)$$

dimana:

$S_{DS}$  = Respon spektrum percepatan respon desain untuk perioda pendek

$S_{D1}$  = Respon spektrum percepatan desain untuk perioda 1,0 detik

$T$  = Periode getar fundamental struktur

Untuk mendapatkan spektrum respon desain harus dikembangkan dengan mengikuti ketentuan berikut:

1. Untuk perioda yang lebih kecil  $T_0$ , spektrum respon percepatan desain,  $S_a$  didapatkan dari Persamaan 2.10,

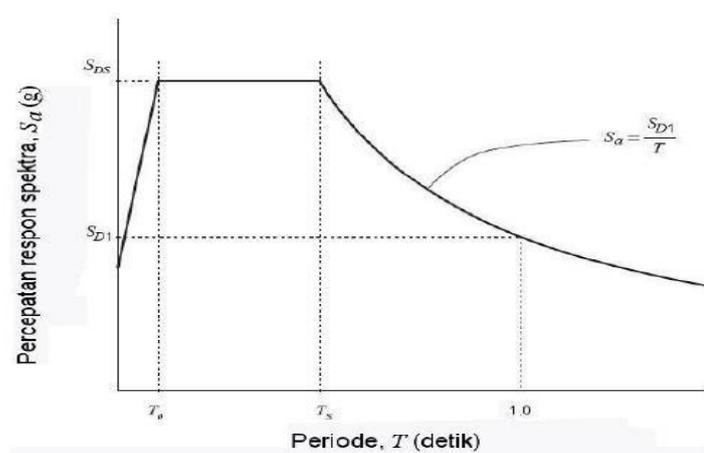
$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.10)$$

2. 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 perioda lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respon percepatan desain  $S_a$  diambil berdasarkan Persamaan 2.11.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.11)$$

Selanjutnya, semua parameter respon desain diplot di dalam grafik dan akan menghasilkan respon spektrum desain seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4: Respon spektrum desain.

Gambar 2.4 memperlihatkan grafik yang dihasilkan respon spektrum desain. Nilai respon spektrum ini didapat dari SNI 1726:2012 yang kemudian didasari wilayah gempanya. Bentuk grafik tersebut adalah bentuk tipikal respon spektra di semua wilayah gempa.

## 2.5 Material Baja

### 2.5.1 Pengertian Baja

Baja merupakan material campuran (*alloy*) dengan komponen utama berupa besi (Fe) beserta sejumlah karbon dan sebagian kecil senyawa lainnya. Berbagai variasi properti baja tersebut (kekuatan dan daktilitas) ditentukan oleh komposisi kimiawi dari sejumlah komponen pembentuknya.

Karbon merupakan komponen pendukung yang penting selain besi. Senyawa ini sangat signifikan dalam memberikan kontribusi peningkatan nilai kekuatan (*strength*) namun cenderung menurunkan sifat daktilitas (*ductility*). Sejumlah komponen lain yang ikut berkontribusi dalam pembentukan senyawa baja adalah mangan, tembaga, nikel, krom, molybdenum dan silikon.

### 2.5.2 Jenis-jenis Baja

Berdasarkan komponen kimiawi kandungan baja, maka ketentuan ASTM A.6 secara umum menjadikannya sebagai dasar terhadap pengklasifikasian material baja dalam 5 jenis, yaitu:

- a. *Carbon Steel* dengan tegangan leleh berkisar antara 33 s/d 36 ksi (228 dan 248 MPa), yaitu kategori baja yang beberapa klasifikasinya berdasarkan pada persentasi karbon. *Carbon Steel* terbagi menjadi empat, yaitu: *low carbon* (kurang dari 0,15%), *mild carbon* (0,15-0,29%), *medium carbon* (0,3-0,59%) dan *high carbon* (0,6-1,7%). Tipe yang umum digunakan untuk jenis ini adalah grade A36 dan Fe37, dengan tegangan leleh nominal 250 MPa.
- b. *High strength steel* dengan tegangan leleh berkisar antara 42 dan 50 ksi (290 dan 345 MPa).
- c. *High strength Low-Alloy Steel*, baja ini mempunyai tegangan leleh berkisar 40-65 ksi (278-448 MPa).
- d. *Quenched and Tempered carbon steel*, dengan tegangan leleh berkisar antara 50 dan 60 ksi (345 dan 414 MPa).

- e. *Alloy Steel*, baja jenis ini mempunyai tegangan leleh berkisar 90-100 ksi (621-689 MPa).

### 2.5.3 Klasifikasi Baja

Baja panduan dapat diklasifikasikan sesuai dengan:

- a. Komposisi

Berdasarkan komposisi baja paduan dibagi menjadi:

- Baja tiga komponen: terdiri dari satu unsur pemandu dalam penambahan Fe dan C
- Baja empat komponen: terdiri dari dua unsur pemandu dst.

- b. Struktur

Baja diklasifikasikan berdasarkan:

- Baja pearlit (sorbit dan trostit)

Didapat jika unsur-unsur paduan relatif kecil maksimum 5%, baja ini mampu diolah dengan mesin, sifat mekaniknya meningkat oleh *heat treatment (hardening & tempering)*

- Baja martensit

Unsur pemandunya lebih dari 5%, sangat sukar dan sukar diolah dengan mesin.

- Baja Austensit

Terdiri dari 10-30% unsur pemandu tertentu (Mi, Mn atau Co) misalnya: baja tahan karat (*stainless steel*), non *magnetic* dan baja tahan panas (*heat resistant steel*).

- Baja ferrit

Terdiri dari sejumlah besar unsur pemaadu (Cr, W atau Si) tetapi karbonnya rendah. Tidak dapat dikeraskan.

- Baja karbit/ ledeburit

Terdiri sejumlah karbon dan unsur-unsur pembentuk karbit (Cr, W, Mn, Ti, Zr).

### c. Penggunaan

Berdasarkan penggunaan dan sifat-sifatnya, baja paduan diklasifikasikan:

- Baja konstruksi (*structural steel*)
- Baja perkakas (*tool steel*)
- Baja dengan sifat fisik khusus

Baja konstruksi, dibedakan lagi menjadi tiga golongan tergantung persentase unsur pemaadunya, yaitu:

- Baja paduan rendah (maksimum 2%)
- Baja paduan menengah (2-5%)
- Baja paduan tinggi (lebih dari 5%)

Setelah di *heat treatment* baja jenis ini sifat-sifat mekaniknya lebih baik dari baja karbon biasa. Baja perkakas, dipakai untuk alat pemotong, komposisinya tergantung bahan dan tebal benda yang dipotong/ disayat pada kecepatan potong, suhu kerja. Baja paduan rendah, kekerasannya tidak berubah hingga pada suhu 250°C. Baja paduan tinggi, kekerasannya tidak berubah hingga pada suhu 600°C.

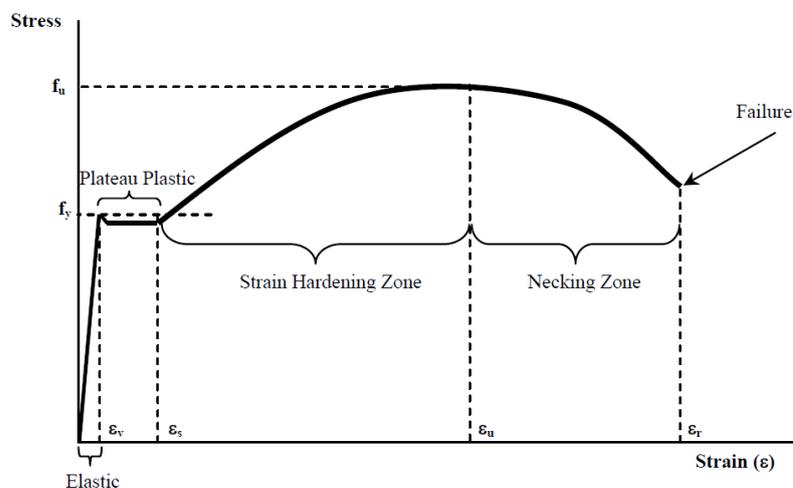
#### **2.5.4 Perilaku Baja**

Pengetahuan mengenai data properti material merupakan persyaratan utama untuk analisis dari sejumlah sistem struktur. Parameter kekuatan dan daktilitas dari

material adalah dua karakteristik yang sangat dibutuhkan oleh para desainer. Properti material sering dideskripsikan dalam bentuk hubungan tegangan regangan yang merupakan karakteristik dari sejumlah baja struktural.

Dari Gambar 2.5 terlihat 4 zona perilaku yaitu: zona elastik, zona plastik, zona *strain hardening* dan zona sepanjang peristiwa terjadinya *necking* serta diakhiri dengan kegagalan (*failure*). Keterangan berikut merupakan penjelasan dari Gambar 2.5 dibawah:

- Dalam zona awal regangan, tegangan dan regangan bersifat proporsional, kemiringan linier yang ada merupakan modulus young (E) yang disebut juga sebagai modulus elastisitas. Daerah ini dinamakan sebagai zona elastis, zona ini berakhir dengan ditandai tercapainya material ( $f_y$ ).
- Setelah awal kelelahan terjadi zona berbentuk garis datar (*flat plateau*), pada zona ini setiap peningkatan nilai regangan yang terjadi tidak ada peningkatan tegangan yang mengiringinya. Daerah ini disebut sebagai zona plato plastik.
- Saat zona plasto plastik berakhir, *strain hardening* mulai terjadi dan secara bertahap meningkatkan nilai tegangan sampai mencapai ultimit ( $f_u$ ). Setelah itu tegangan cenderung menurun dengan bertambahnya regangan sebagai indikasi masuknya daerah *necking* yang akan diakhiri dengan kegagalan fraktur.



Gambar 2.5: Perilaku tegangan dan regangan material baja.

Bahan baja yang dinilai baik dalam kontribusinya terhadap perilaku struktur terutama dalam memikul beban gempa (siklik) yaitu yang dimiliki daerah *strain hardening* dan daerah *necking* yang panjang. Sifat ini menyebabkan baja akan berperilaku daktil sehingga secara struktural akan berperan besar dalam proses redistribusi tegangan saat terjadinya plastifikasi.

Dalam perencanaan struktur baja, SNI 03-1729-2015 mengambil beberapa sifat mekanik dari material baja yang sama yaitu:

Modulus Elastisitas,  $E$  = 200.000 MPa

Modulus Geser,  $G$  = 80.000 MPa

Angka poisson = 0,30

Koefisien muai panjang,  $\alpha$  =  $12,10^{-6}$  °C

Sedangkan berdasarkan tegangan leleh dan tegangan putusnya, mutu dari material baja diklasifikasikan menjadi 5 kelas mutu sebagai berikut:

Tabel 2.4: Sifat-sifat mekanis baja struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan Leleh Minimum, $f_y$ (MPa)	Regangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Pengklasifikasian yang telah dijelaskan pada Tabel 2.4 berdasarkan SNI 03-1729-2015. Sifat-sifat mekanis baja ini sangat dibutuhkan dalam perencanaan gedung. Nilai-nilai tersebut menjadi patokan dasar mutu baja yang digunakan untuk merencanakan sebuah struktur.

### 2.5.5 Daktalitas

Sebelum tahun 1960-an istilah daktalitas hanya dipergunakan untuk menggambarkan karakteristik perilaku material, namun setelah kajian yang dilakukan Housner tentang masalah gempa dan kajian masalah disain plastis oleh Baker konsep daktalitas diperluas ke permasalahan struktural.

Penggunaan secara umum dalam disain tahanan gempa istilah daktalitas dipakai untuk keperluan evaluasi tentang kinerja (performance) struktur. Hal ini di indikasikan dengan jumlah energi gempa yang dapat di disipasikan melalui deformasi plastis. Penggunaan konsep daktalitas ini memberikan kemungkinan untuk mereduksi gaya gempa disain dan mengizinkan untuk menghasilkan sejumlah kontrol terhadap kerusakan dalam struktur terutama dalam kasus gempa kuat.

Secara praktis dalam konsep disain plastik struktur, daktalitas didefinisikan sebagai kemampuan struktur mengalami deformasi setelah leleh awal (initial yield) tanpa mengalami reduksi kekuatan ultimit yang signifikan. Daktalitas struktur mengizinkan kita untuk memprediksi kapasitas ultimit dari struktur yang merupakan kriteria paling penting untuk mendisain struktur dibawah beban konvensional.

Beberapa klasifikasi daktalitas yang sering dipergunakan di dalam sejumlah literatur adalah:

- Daktalitas material (*material ductility*),

Merupakan karakteristik material dalam deformasi plastis untuk sejumlah tipe beban yang berbeda serta mempertimbangkan hubungan antara tegangan dan regangan.

- Daktalitas penampang (*curvature ductility*),

Mengacu kepada deformasi plastis dari penampang yang mempertimbangkan interaksi diantara sejumlah bagian yang menyusun penampang itu. Hubungan

yang mesti dibentuk dalam penentuan nilainya merupakan keterkaitan antara besaran momen dengan *curvature*.

- Daktilitas elemen (*rotation ductility*),

Properti dari elemen yang dijadikan pertimbangan. Hubungan yang mesti dibentuk dalam penentuan nilai daktilitasnya adalah keterkaitan besaran momen terhadap rotasi elemennya.

- Daktilitas Struktur (*displacement ductility*),

Mempertimbangkan perilaku secara keseluruhan dari struktur. Parameter penentu nilai daktilitas ini ditentukan dari bentuk hubungan gaya geser horizontal struktur terhadap besaran perpindahan atapnya (*roof drift*).

- Daktilitas Energi,

Mempertimbangkan tingkatan dari disipasi energi gempa.

Dari seluruh tipe daktilitas tersebut terdapat hubungan yang sangat erat yaitu, daktilitas energi merupakan akumulasi dari daktilitas struktur dan elemen sedangkan daktilitas elemen tergantung dari daktilitas penampang serta material. Ada sejumlah perdebatan dalam pendefinisian diatas, hal ini berkenaan dengan kenyataan bahwasanya definisi tersebut akurat dalam arti secara kuantitatif hanya untuk kasus yang ideal dari perilaku bersifat *linier elasto perfectly plastic* yang monotonik. Penggunaannya akan menghasilkan dualisme dan keragu-raguan dalam kasus aktual dimana perilaku struktur berbeda secara signifikan dari yang di idealisasikan.

Nilai yang sangat penting dalam disain gempa adalah pembatasan daktilitas (*ductility limit*). Batasan tersebut tidak memerlukan kemungkinan terbesar dari disipasi energi, tetapi diharapkan mesti adanya perubahan yang signifikan dari perilaku struktur pada nilai daktilitas yang lebih besar dari daktilitas batasnya. Dua tipe batas daktilitas dapat didefinisikan sebagai berikut:

- Daktilitas tersedia (*available ductility*), dihasilkan dari perilaku struktur yang mencakup perhitungan properti material, tipe penampang, beban gravitasi, degradasi kekakuan dan berkenaan dengan simpangan plastis.
- Daktilitas diperlukan (*required ductility*), dihasilkan dari aksi gempa yang seluruh faktornya dipengaruhi oleh aksi yang mempertimbangkan: besaran dan tipe pergerakan tanah, pengaruh tanah, perioda natural dari struktur dengan perioda pergerakan tanah, jumlah siklus yang dominan dan lain sebagainya.

Perilaku plastis struktur tergantung dari jumlah momen yang di redistribusikan. Pencapaian beban runtuh yang diprediksikan berhubungan dengan posisi dari sendi plastis, dimana penampang mencapai momen plastis penuh serta rotasi plastis dan sendi plastis lainnya dapat terbentuk dimanapun. Oleh karena itu perilaku sendi plastis yang baik mensyaratkan jumlah tertentu dari daktilitas, sebagai tambahan untuk persyaratan kekuatannya. Kapasitas rotasi plastis merupakan pengukuran daktilitas yang lebih rasional.

Persyaratan untuk analisis plastis dari struktur statis tak tentu adalah rotasi besar yang mungkin tanpa adanya perubahan yang signifikan dari momen tahanan. Tetapi teori rotasi plastis yang besar tidak bisa dicapai karena sejumlah efek sekunder yang terjadi. Pembatasan terhadap rotasi plastis biasanya diperoleh dari ketidakstabilan (instabilitas) lentur–torsional, tekuk lokal dan fraktur getas dari elemen.

## **2.6 Eksentrisitas dan Torsi**

### **2.6.1 Eksentrisitas**

Salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan tahan gempa adalah timbulnya momen torsi pada elemen bangunan. Timbulnya momen torsi tersebut disebabkan adanya eksentrisitas antara pusat massa bangunan dengan pusat rotasi bangunan. Pusat massa adalah letak titik tangkap resultan beban mati dan beban hidup yang sesuai yang bekerja pada lantai tingkat tersebut. Sedangkan pusat rotasi (pusat kekakuan) adalah titik dimana pada suatu lantai bangunan,

apabila bekerja gaya horizontal pada titik tersebut, lantai tingkat tersebut tidak mengalami rotasi tapi hanya bertranslasi (BSN, 2002).

Eksentrisitas terjadi karena pusat rotasi dan pusat massa pada gedung tidak berimpit, dengan adanya hal ini mengakibatkan gedung akan mengalami momen torsi yang mengakibatkan gedung mengalami punter, contohnya pada struktur yang tidak beraturan.

Pusat massa adalah letak titik tangkap resultan beban mati dan beban hidup yang sesuai yang bekerja pada lantai tingkat tersebut. Sedangkan pusat rotasi (pusat kekakuan) adalah titik dimana pada suatu lantai bangunan, apabila bekerja gaya horizontal pada titik tersebut, lantai tingkat tersebut tidak mengalami rotasi tapi hanya bertranslasi. Untuk menghitung besarnya eksentrisitas pada bangunan, persamaan yang digunakan tidak selalu sama tergantung pada bentuk denah bangunan itu sendiri atau perbedaan akibat beban mati maupun beban hidup pada lantai yang sama.

Kontrol terhadap besarnya respons struktur adalah salah satu kriteria dasar dalam mendesain struktur bangunan bertingkat. Besar respons struktur antara lain dipengaruhi oleh eksentrisitas pusat massa bangunan yang ditentukan oleh bentuk denah struktur bangunannya. Sebuah bangunan dikategorikan sebagai bangunan yang beraturan jika denah strukturnya berbentuk persegi atau persegi panjang tanpa tonjolan. Ketika bangunan memiliki tonjolan yang melebihi 25% dari bentuknya, maka akan terjadi perubahan nilai respons struktur (deformasi) yang signifikan, sehingga struktur bangunan demikian tidak bisa lagi didesain dengan cara yang sama seperti mendesain struktur bangunan beraturan.

Struktur suatu bangunan didesain sedemikian rupa sehingga struktur bangunan yang dibuat dianggap cukup kuat untuk menahan pembebanan yang terjadi pada struktur sesuai dengan model struktur. Kebanyakan gedung bertingkat yang dibuat saat ini memiliki beberapa bentuk yang tidak simetris, sehingga sekalipun beban yang bekerja pada suatu lantai itu sama akan menimbulkan eksentrisitas karena denah, sehingga titik pusat pembebanannya berubah. Struktur gedung seperti ini dikategorikan sebagai struktur gedung yang tidak beraturan.

## 2.6.2 Torsi

Torsi merupakan efek momen termasuk putaran / puntiran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama dari elemen. Beban lateral dapat mengakibatkan torsi pada bangunan ketika beban lateral tersebut cenderung memutar bangunan tersebut dengan arah vertikal. Hal ini terjadi ketika pusat beban tidak tepat dengan pusat kekakuan elemen vertikal beban lateral – sistem ketahanan struktur tersebut. Eksentrisitas diantara pusat kekakuan dan massa bangunan dapat menyebabkan gerakan torsi selama terjadinya gempa. Torsi ini dapat meningkatkan displacement pada titik ekstrim bangunan dan menimbulkan masalah pada elemen penahan lateral yang berlokasi pada tepi gedung.

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.4.1; pasal 7.8.4.2. dan pasal 7.8.4.3, terdapat dua jenis torsi yang terjadi, yaitu:

### a. Torsi bawaan

Untuk diafragma yang tidak fleksibel atau kaku, distribusi gaya lateral di masing-masing tingkat harus memperhitungkan pengaruh momen torsi bawaan,  $M_t$  yang dihasilkan dari eksentrisitas antar lokasi pusat massa dan pusat kekakuan. Untuk diafragma fleksibel, distribusi gaya ke elemen vertikal harus memperhitungkan posisi dan distribusi massa yang didukung.

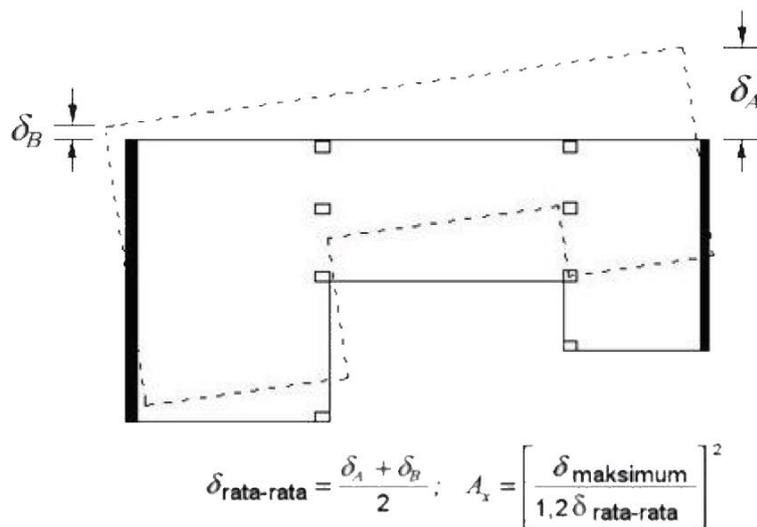
### b. Torsi tak terduga

Jika diafragma tidak fleksibel, desain harus menyertakan momen torsi bawaan ( $M_t$ ) yang dihasilkan dari lokasi massa struktur ditambah momen torsi tak terduga ( $M_{ta}$ ) yang diakibatkan oleh perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan pada masing-masing arah dengan jarak sama dengan 5% dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan.

Jika gaya gempa diterapkan secara serentak dalam dua arah ortogonal, perpindahan pusat massa 5% yang disyaratkan tidak perlu diterapkan dalam kedua arah ortogonal pada saat bersamaan, tetapi harus diterapkan dalam arah yang menghasilkan pengaruh lebih besar.

Torsi di dalam SNI 1726:2012 termasuk kedalam ketidakberaturan horizontal. Definisi untuk ketidakberaturan horizontal dapat dilihat pada Tabel 2.1. untuk mengetahui ada tidaknya ketidakberaturan torsi pada suatu struktur dapat ditentukan dengan melihat defleksi maksimum ( $\delta_{max}$ ) dan defleksi rata-rata ( $\delta_{avg}$ ) pada struktur tersebut seperti pada Gambar 2.2. berikut ini merupakan tipe dari ketidakberaturan torsi yang ditentukan berdasarkan defleksi maksimum ( $\delta_{max}$ ) dan defleksi rata-rata ( $\delta_{avg}$ ):

1.  $\delta_{max} < 1,2 \delta_{avg}$  : Tanpa ketidakberaturan torsi
2.  $\delta_{max} 1,2 < \delta_{max} < 1,4 \delta_{avg}$  : Ketidakberaturan torsi 1a
3.  $\delta_{max} > 1,4 \delta_{avg}$  : Ketidakberaturan torsi 1b



Gambar 2.6: Faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ) (SNI 1726:2012).

Di dalam SNI 1726:2012, terdapat parameter pembesaran momen torsi tak terduga ( $A_x$ ). Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E dan F, dimana tipe 1a atau 1b ketidakberaturan torsi terjadi harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan  $M_{ta}$  di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran ( $A_x$ ) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.6.

### **2.6.3 Faktor Penyebab Terjadinya Torsi pada Bangunan**

Torsi yang timbul pada bangunan dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu: bentuk bangunan, efek gangguan bangunan lain, pengaruh dinamis, ketidaksimetrisan dalam struktur simetris secara nominal, ketidaktepatan dalam ukuran dimensi elemen struktural atau ketiadaan data dalam material properties seperti modulus elastisitas, juga torsi dihasilkan dari gerakan rotasi dalam tanah pada arah sumbu vertikal.

### **2.6.4 Perilaku Torsi pada Struktur**

Momen torsi yang bekerja pada suatu komponen struktur balok tepi dapat dihitung dengan menggunakan prosedur analisis struktur yang biasa. Desain komponen struktural ini harus didasarkan atas keadaan limit runtuh (*limit state of failure*). Dengan demikian perilaku sistem struktural setelah mengalami retak akibat torsi harus diidentifikasi dengan menggunakan kondisi dimana tidak ada redistribusi tegangan torsional ke batang struktural lain setelah terjadinya retak mempengaruhi keserasian (*compatibility*) antara batang-batang yang bertemu.

Resultan-resultan tegangan akibat torsi pada balok statis tertentu dapat diperoleh dari kondisi keseimbangan saja. Kondisi yang demikian memerlukan suatu desain terhadap momen torsi luar rencana penuh karena tidak adanya kemungkinan redistribusi tegangan. Keadaan demikian sering disebut sebagai torsi keseimbangan.

Pada sistem statis tidak tentu, asumsi-asumsi kekakuan, keserasian regangan pada titik-titik kumpul, dan redistribusi tegangan-tegangan dapat mempengaruhi resultan-resultan tegangan sehingga terjadi reduksi tegangan geser torsional. Dengan demikian boleh saja dilakukan reduksi momen rencana pada desain suatu batang struktural apabila bisa diharapkan terjadi redistribusi ke batang-batang lainnya yang bertemu.

## **2.7 Analisa Nonlinear**

Selama ini analisa gempa menggunakan metode force based design. Pada metode force based design perhitungan terhadap gaya gempa dilakukan dengan

analisa linear (elastis). Setelah gaya-gaya dalam diperoleh kemudian dilakukan desain untuk mendapatkan kapasitas dari tiap elemen struktur yang harus disediakan. Perhitungan kapasitas dari tiap elemen dapat dilakukan dengan persamaan-persamaan yang tersedia dalam beberapa standar perencanaan yang ada di Indonesia.

Berberapa peneliti menyimpulkan bahwa analisa linear tidak dapat digunakan untuk mengetahui perilaku struktur terhadap gempa besar, karena pada dasarnya saat terjadi gempa besar pada struktur terjadi plastifikasi di beberapa tempat. Sehingga bangunan tidak lagi berperilaku linear akan tetapi berperilaku nonlinear. Dengan begitu diperlukan analisa nonlinear untuk mengetahui perilaku struktur saat mengalami gempa besar.

Otani (1980) mengatakan bahwa karakteristik dinamik bangunan gedung sampai kondisi rusak/ runtuh khususnya kekakuan dan redaman relatif sulit untuk ditentukan. Hal tersebut terjadi dengan beberapa alasan yaitu bahwa: 1) sangat sulit untuk mengetahui secara eksak interaksi antara bagian-bagian struktur pada saat pembebanan dinamik; 2) diperlukan kekuatan peralatan yang sangat besar/ mahal untuk membebani model bangunan skala penuh di laboratorium sampai runtuh dan 3) uji laboratorium skala penuh sangatlah mahal. Oleh karena itu, perlu dicari jalan keluar untuk mengatasi-problem-problem tersebut.

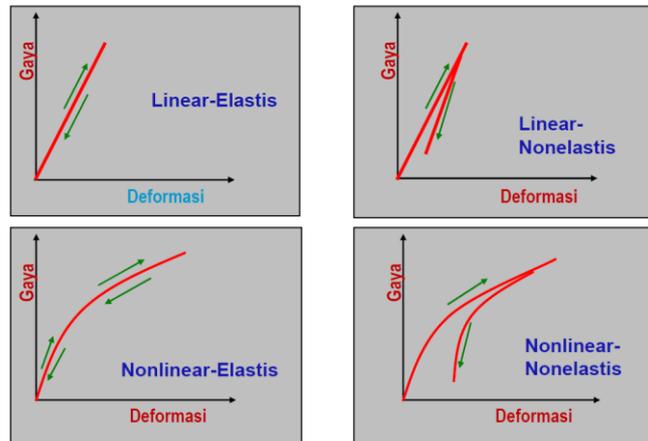
Salah satu cara untuk menyelesaikan masalah adalah dengan melalui pemodelan beban dinamik, pemodelan struktur dan simulasi numerik respons struktur akibat beban dinamik yang bekerja.

### **2.7.1 Definisi Analisa Nonlinear**

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

Analisa linear berarti respon yang diterima struktur berbanding lurus dengan pembebanan yang diberikan. Sedangkan analisa nonlinear, respon yang diterima

struktur tidak berbanding lurus dengan pembebanan yang diberikan. Respon tersebut disebabkan oleh material yang tidak linear, geometri yang tidak linear dan keduanya. Respon dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7: Respon yang diterima terhadap pembebanan yang diberikan.

Analisa nonlinear yang dapat dilakukan antara lain analisa statis nonlinear dan analisa dinamis nonlinear. Analisa Statis nonlinear adalah analisa yang menggunakan beban statis yang ditingkatkan hingga struktur mencapai keruntuhan. Sedangkan analisa Dinamis nonlinear adalah analisa yang menggunakan input akselerogram untuk mendapatkan respon dinamis suatu struktur. Deformasi plastis yang terjadi pada elemen stuktur tergantung pada sejarah pembebanan, sehingga analisa yang diperlukan untuk melakukan evaluasi kinerja bangunan adalah analisa Dinamis nonlinear. Pada analisa Dinamis Nonlinear dibutuhkan beberapa data detail seperti data percepatan gempa, tingkat kenonlieneran suatu elemen, yang mana membutuhkan pengetahuan khusus untuk menganalisa tingkat kenonlinearan suatu elemen. Selain rumit running suatu model analisa dinamis nonlinear membutuhkan waktu yang tidak sedikit. Sehingga karena penggunaanya yang relatif lama dan sulit maka beberapa peneliti mengusulkan penggunaan analisa statis nonlinear untuk menggantikan analisa dinamis nonlinear riwayat waktu sebagai alat untuk mengevaluasi perilaku. Hal ini dilakukan karena analisa statis nonlinear dinilai relatif mudah dan dapat digunakan untuk meramalkan kinerja struktur terhadap beban lateral selama mode yang dominan adalah mode pertama dan periode alami struktur tidak melebihi satu detik.

### 2.7.2 Material Elastis dan Non-Elastis

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

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

### 2.7.3 Rincian dalam Analisa Nonlinear

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

- *Hinges Properties*

Perilaku leleh dan pasca leleh pada elemen struktur dapat dimodelkan dalam hinges properties. Hinges properties hanya dapat dipakai dalam elemen rangka saja.

Adapun type hinges yang tersedia adalah geser (*Major shear,  $V_3$* ), momen (*Major Moment,  $M_3$* ), aksial (*Aksial,  $P$* ), kombinasi aksial momen (*Coupled,  $P - M_2 - M_3$* ).

- *Load Application Control*

Ada 2 macam bentuk *load application control* untuk analisa statis nonlinear yaitu *a load-controlled* dan *displacement-controlled*.

*A load-controlled* dipakai apabila kita tahu pembesaran beban yang akan diberikan kepada struktur yang diperkirakan dapat menahan beban tersebut,

contohnya adalah beban gravitasi. Pada *load-controlled* semua beban akan ditambahkan dari nol hingga pebesaran yang diinginkan.

*Displacement-controlled* dipakai apabila kita mengetahui sejauh mana struktur kita bergerak tetapi kita tidak tahu beban yang harus dimasukkan. Ini sangat berguna untuk mengetahui perilaku struktur tidak stabil dan mungkin kehilangan kapasitas pembawa beban selama analisa dilakukan.

- *Hinge Unloading Method*

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

- Geometri Nonlinear (*Geometry Nonlinearity*)

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

- a. None

Semua persamaan kesetimbangan dipertimbangkan pada konfigurasi tak berdeformasi dari struktur.

- b. P Delta

Persamaan kesetimbangan diperhitungkan sebagian dalam konfigurasi deformasi. Gaya tarik cenderung menahan rotasi elemen dan memperkaku

struktur, sedangkan gaya tekan cenderung mempebesar rotasi elemen dan membuat struktur menjadi tidak stabil.

c. P Delta dan *Large Deformation*

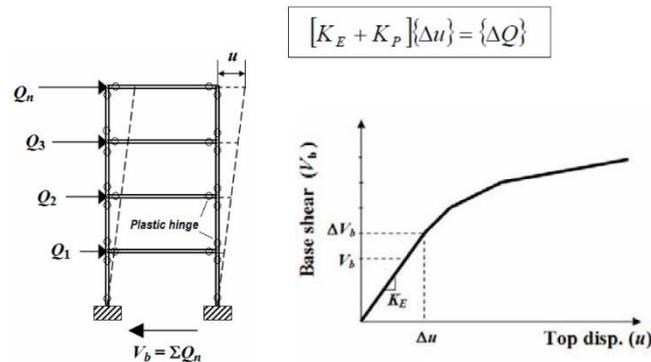
Semua persamaan kesetimbangan diperhitungkan dalam konfigurasi deformasi.

#### 2.7.4 Analisa Statis Nonlinear

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

Untuk mengetahui penyebab perilaku nonlinier pada struktur terhadap gempa dan perilaku dari struktur sebagai kinerja yang diberikan dengan lebih baik, maka perlu menganalisa beban dorong atau *pushover analysis*. Dari analisa tersebut dapat diidentifikasi elemen yang kuat dan elemen yang tidak kuat dalam menopang beban. Analisa ini juga dapat memperkirakan kebutuhan yang diperlukan elemen sehingga menjadi lebih sesuai dengan yang terjadi dilapangan.

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



Gambar 2.8: *Pushover Analysis*: Analisa Statis tidak linear.

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

Analisa pushover menghasilkan kurva pushover (Gambar 2.6), kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar ( $V$ ) dengan *Top Displacement*. Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku nonlinear. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.

Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa analisa statis *pushover* dapat memberikan hasil mencukupi (ketika

dibandingkan dengan hasil analisa dinamik nonlinear) untuk bangunan regular dan tidak tinggi.

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

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

### **2.7.5 Analisa Dinamis Nonlinear**

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

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

probabilistik respon struktural. Karena sifat-sifat respon gempa tergantung pada intensitas, atau keparahan, dari getaran seismik, penilaian yang komprehensif untuk berbagai analisis dinamik nonlinear pada berbagai tingkat intensitas untuk mewakili skenario yang mungkin untuk gempa yang berbeda. Hal ini mengakibatkan munculnya metode seperti Incremental Dynamic Analysis.

## 2.8 Analisa Dinamika Inkremental

*Incremental dynamic analysis* (IDA) atau dalam bahasa Indonesia disebut analisa dinamis meningkat bertahap adalah metode analisis komputasi teknik gempa untuk melakukan penilaian menyeluruh terhadap perilaku struktur di bawah beban gempa. Metode ini dikembangkan untuk membangun hasil analisis bahaya seismik probabilistik untuk memperkirakan risiko seismik yang dihadapi oleh struktur.

IDA melibatkan beberapa analisis respon riwayat waktu nonlinear terhadap model struktural di bawah rangkaian catatan gerak tanah, masing-masing diukur pada beberapa tingkat intensitas seismik. Tingkat penskalaan dipilih untuk memaksa struktur melewati keseluruhan rentang perilaku, dari elastis hingga inelastis dan akhirnya sampai ke kondisi ketidakstabilan dinamis global, dimana struktur mengalami keruntuhan. Hasil *postprocessing* yang tepat dapat menyajikan hasilnya dalam bentuk kurva IDA, satu untuk setiap catatan gerak tanah. Kurva IDA biasanya ditunjukkan oleh Skalar *Intensity Measure* (IM), dengan bandingan respon struktural.

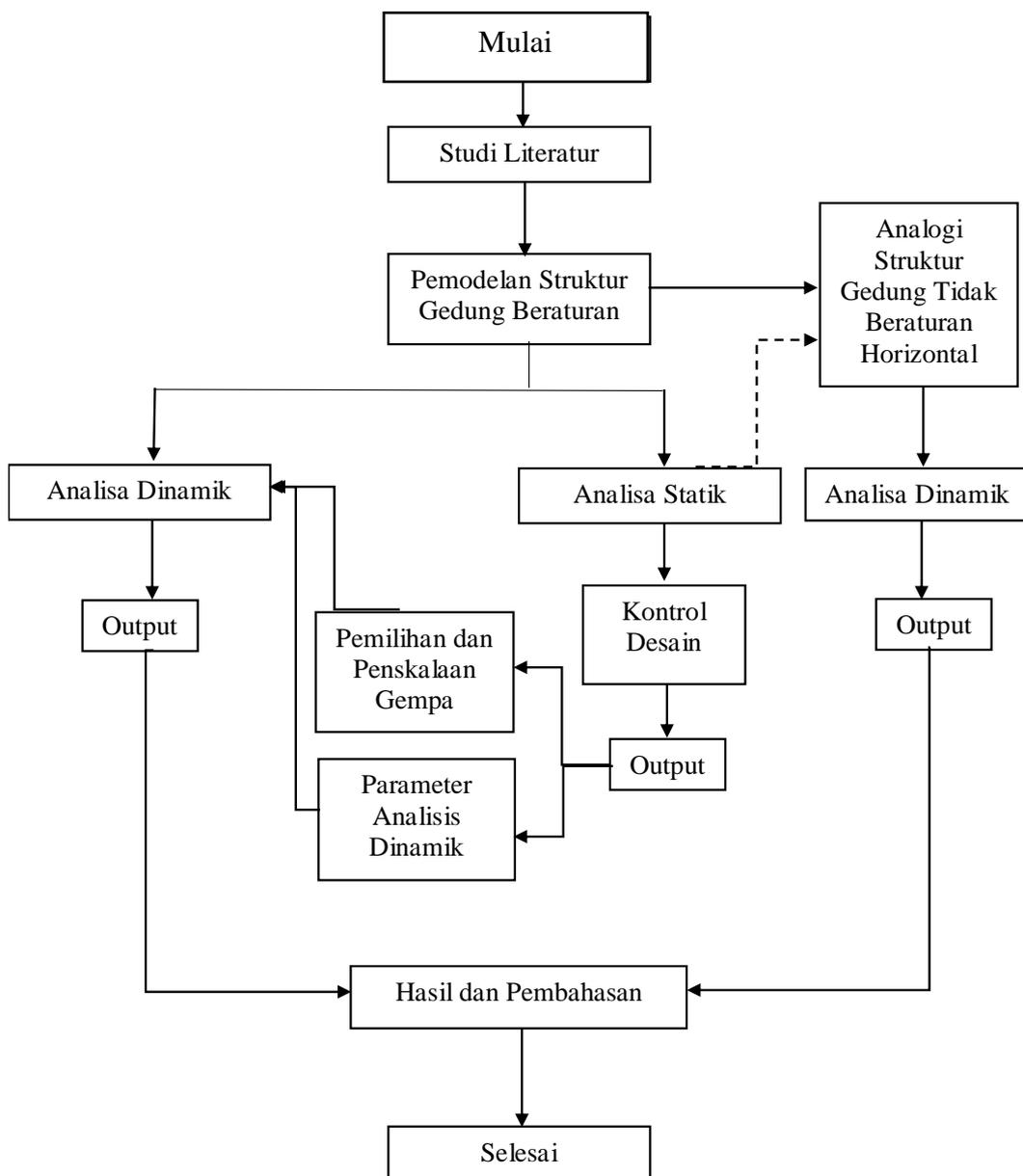
Pilihan yang mungkin untuk IM adalah jumlah skalar (atau jarang vektor) yang berhubungan dengan tingkat keparahan gerak tanah yang direkam dan skala secara linier atau nonlinear dengan amplitudonya. IM dipilih dengan benar sehingga peta bahaya yang tepat (kurva bahaya) dapat diproduksi untuk mereka dengan analisis bahaya seismik probabilistik. Selain itu, IM harus berkorelasi dengan respon struktural yang diminati untuk mengurangi jumlah analisis riwayat respon yang dibutuhkan. Kemungkinan pilihan adalah percepatan puncak, kecepatan puncak, namun yang paling banyak digunakan adalah percepatan spektral 5% pada periode mode pertama struktur seperti yang dipakai pada studi ini.

Parameter permintaan teknik dapat berupa kuantitas respons struktural yang berhubungan dengan kerusakan structural atau non-struktural. Pilihan tipikal adalah simpangan antar tingkat maksimum, puncak puncak individu dan percepatan lantai puncak.

**BAB 3**  
**METODOLOGI**

**3.1 Tinjauan Umum**

Secara umum, metode penelitian dalam Tugas Akhir ini dibuat dalam suatu diagram alir seperti yang tampak pada Gambar 3.1.



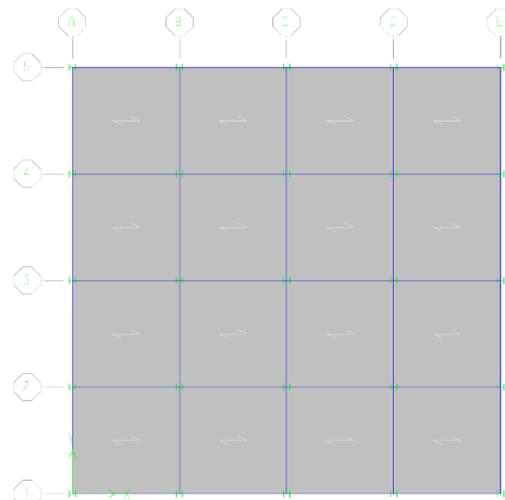
Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.

Pada Gambar 3.1 menjelaskan langkah-langkah dari analisis yang dilakukan mulai dari pemodelan struktur hingga hasil dan pembahasan. Tugas akhir ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh simpangan lantai terhadap variasi pusat massa yang dianalogikan sebagai struktur gedung tidak beraturan horizontal berbentuk L, T dan U yang dimana dari struktur tersebut mempunyai 4 lantai. Struktur gedung adalah portal baja yang dimodelkan sebagai *element frame* 3 dimensi pada *ETABS* dengan berpedoman pada standar SNI 1726:2012.

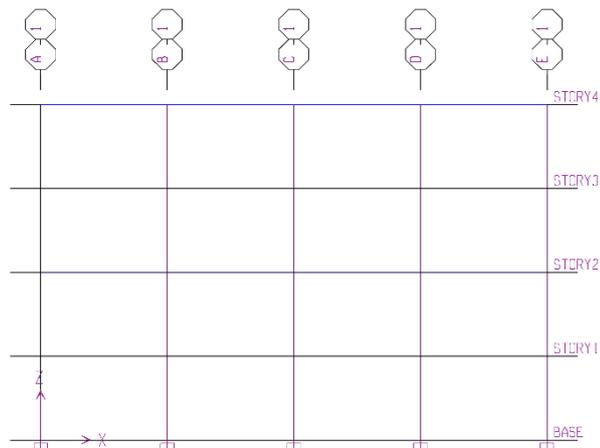
Dari peraturan SNI 1726:2012 untuk kelas situs SD dengan menggunakan jenis tanah sedang. Berdasarkan hasil dari perhitungan untuk respons spektrum untuk gempa horizontal dengan gempa rencana untuk SNI 1726:2012.

### 3.2 Pemodelan Sistem Struktur

Struktur pada tugas akhir ini dimodelkan sebagai struktur gedung rangka baja 4 lantai dalam 3 dimensi. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software ETABS*. Model gedung dibuat dengan bentuk gedung beraturan seperti pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



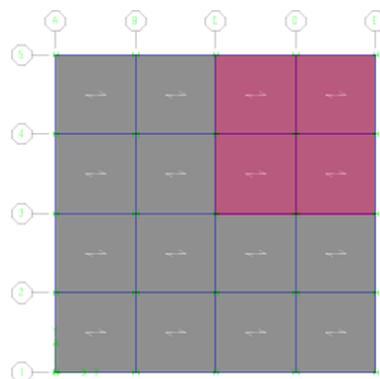
Gambar 3.2: Pemodelan gedung sumbu X-Y



Gambar 3.3: Pemodelan gedung sumbu X-Z

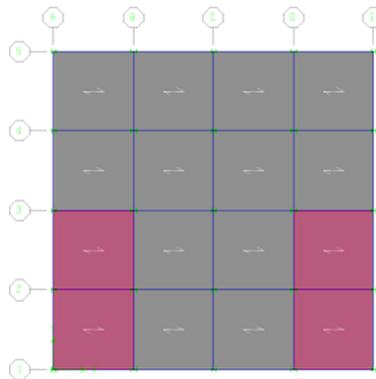
Pada pemodelan ini terdapat 1 bentuk struktur utama yang akan dianalisis terlebih dahulu yaitu struktur 4 lantai dengan ketinggian keseluruhan 16 meter dengan tinggi setiap lantai 4 meter. Pada struktur diatas digunakan bentang 6 meter pada jarak horizontal setiap kolom.

Analogi struktur gedung tidak beraturan berbentuk L dapat dilihat pada Gambar 3.4 berdasarkan bentuk awal gedung beraturan. Warna merah pada Gambar 3.4 menjelaskan bagian dari gedung yang diabaikan sehingga Bergeraknya pusat massa. Perhitungan perpindahan koordinat pusat massa dari bentuk gedung ini dapat dilihat pada Lampiran H.



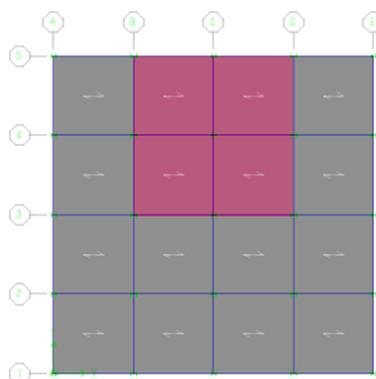
Gambar 3.4: Analogi struktur gedung tidak beraturan berbentuk L.

Analogi struktur gedung tidak beraturan horizontal berbentuk T dapat dilihat pada Gambar 3.5 berdasarkan bentuk awal gedung beraturan. Warna merah pada Gambar 3.5 menjelaskan bagian dari gedung yang diabaikan sehingga Bergeraknya pusat massa. Perhitungan perpindahan koordinat pusat massa dari bentuk gedung ini dapat dilihat pada Lampiran H.



Gambar 3.5: Analogi struktur gedung tidak beraturan berbentuk T.

Analogi struktur gedung tidak beraturan horizontal berbentuk U dapat dilihat pada Gambar 3.6 berdasarkan bentuk awal gedung beraturan. Warna merah pada Gambar 3.6 menjelaskan bagian dari gedung yang diabaikan sehingga Bergeraknya pusat massa. Perhitungan perpindahan koordinat pusat massa dari bentuk gedung ini dapat dilihat pada Lampiran H.



Gambar 3.6: Analogi struktur gedung tidak beraturan berbentuk U.

### 3.2.1 Data Perencanaan Struktur

Data perencanaan struktur dijabarkan sebagai berikut:

- Jenis portal struktur baja
- Fungsi gedung perkantoran
- Gedung terletak di Kota Padang
- Kelas situs tanah berdasarkan SNI 03-1726-2012 ditetapkan sebagai kelas situs D atau tanah sedang.
- Mutu baja yang digunakan adalah mutu baja BJ-37
- Mutu beton untuk plat lantai adalah beton  $f_c' 30$
- Luas gedung sebesar 24 meter x 24 meter
- Tinggi antar lantai sebesar 4 meter

### 3.2.2 Faktor Keutamaan Struktur

Berdasarkan SNI 1726:2012, digunakan untuk nilai faktor keutamaan berdasarkan kategori resiko yang sesuai Tabel 3.1 dengan fungsi gedung perkantoran pada kategori resiko II, berdasarkan ketentuan itu didapat nilai faktor keutamaan ( $I_e$ ) = 1 pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1: Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, II, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"><li>- Perumahan</li><li>- Rumah toko dan rumah kantor</li><li>- Pasar</li><li>- Gedung perkantoran</li></ul>	II

Tabel 3.2: Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2012

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0

### 3.2.3 Properti Penampang

Penampang dari material baja yang digunakan adalah profil WF 350 x 350, berdasarkan tabel profil konstruksi baja dengan spesifikasi profil yang akan dijabarkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Profil baja yang digunakan dalam pemodelan

Index	Berat	<i>Depth of Section</i>	<i>Flange Width</i>	Tebal <i>Web</i>	Tebal <i>Flange</i>	<i>Corner Radius</i>	Luas Penampang
mm	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>
350 x 350	159	356	352	14	22	20	202,2

### 3.2.4 Tebal Pelat Lantai

Menggunakan tebal pelat yaitu 150 mm = 15 cm digunakan pada setiap lantai, untuk pelat atap juga menggunakan tebal pelat yang sama seperti lantai-lantai lainnya. Analisis perhitungan tebal pelat lantai dapat dilihat pada Lampiran B.

Untuk memodelkan, pelat lantai dianggap lantai mampu menahan gaya-gaya horizontal/ gempa maupun arah vertikal. Dalam *ETABS*, pada menu *Define Wall/ Slab/ Deck sections*, disini dipilih *solid slab* karena pelat lantai masih didominasi oleh lentur, disamping itu pelat lantai sebagai pelat kaku yang mampu berperan untuk menahan gaya gempa, dengan cara lantai tersebut harus dikekang (*diaphragm*).

### 3.3 Pembebanan Struktur

Beban-beban yang diperhatikan dalam mendesain struktur gedung yang didefinisikan diatas, yaitu:

- Beban mati dan beban mati tambahan (*DEAD*)
- Beban hidup (*LIVE*)
- Beban gempa (*EQX* dan *EQY*)
- Beban sendiri (*SW*)

### 3.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap plafon, partisi tetap, tangga dan peralatan layan yang tetap. Berikut beban mati yang didefinisikan akan bekerja pada konstruksi gedung, yaitu:

- Berat sendiri struktur, berat ini langsung dihitung secara otomatis oleh *software* yang digunakan.
- Berat mati tambahan (*Superimposed dead load*), beban mati yang mulai bekerja setelah struktur utama selesai, seperti:
  - Dinding setengah bata = 250 kg/m<sup>2</sup>
  - Spesi = 32 kg/m<sup>2</sup>
  - Plafon dan penggantung = 18 kg/m<sup>2</sup>
  - *Mechanical and Electrical* = 40 kg/m<sup>2</sup>

### 3.3.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang terjadi secara temporer dan tidak permanen, artinya tidak pasti terjadi setiap saat. Beban hidup merupakan beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat dipindahkan, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa layan dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan pembebanan lantai dan atap.

Beban hidup yang bekerja pada lantai gedung direncanakan sesuai dengan pedoman SNI 1721:2013 Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, maka didapat beban hidup untuk gedung perkantoran adalah sebesar 250 kg/m<sup>2</sup> dan beban hidup untuk atap gedung perkantoran adalah sebesar 100 kg/m<sup>2</sup>.

### 3.3.3 Beban Gempa

- Beban gempa adalah beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung.

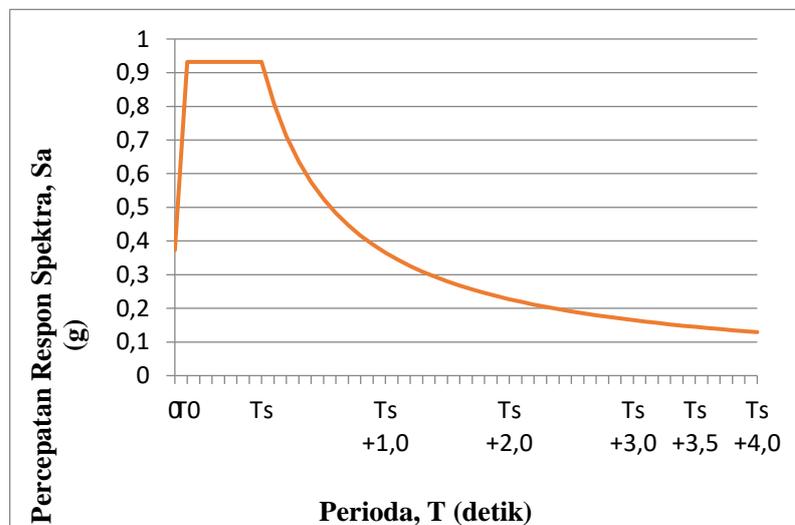
- Nilai beban gempa yang peluang dilampauinya selama masa layan gedung 50 tahun adalah 10.
- % atau nilai beban gempa yang periode ulangnya sebesar 500 tahun.

### 3.4 Respon Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2012, respon spektrum gempa didesain pada kondisi tanah sedang yang terletak di Kota Padang, kemudian dianalisis dengan data-data  $PGA = 0.515$  g,  $S_s = 1.398$  g dan  $S_1 = 0.6$  g Berdasarkan tahap-tahap dalam perencanaan struktur gedung penahan gempa, maka akan didapatkan koefisien atau nilai-nilai yang diperlukan dalam pembuatan respon spektrum desain. Nilai-nilai tersebut yaitu:

- Nilai  $F_a$  = 1
- Nilai  $F_v$  = 1.5
- $S_{MS}$  = 1.398
- $S_{M1}$  = 0.9
- $S_{DS}$  = 0.932
- $S_{D1}$  = 0.6
- $T_0$  = 0.129
- $T_s$  = 0.644

Respon spektrum percepatan disajikan dalam grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7: Respon spektrum desain SNI 1726-2012 Kota Padang.

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

### 3.5 Analisis Dinamik Struktur Nonlinear

Analisis dinamik struktur nonlinear ini menggunakan Metode Respon Riwayat Waktu dan dianalisis secara dua dimensi. *Software* yang digunakan untuk membantu analisis ini adalah Ruaumoko.

Menurut Faisal (2013), analisis nonlinear dapat dikerjakan setelah analisis linear selesai dikerjakan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan tahapan sebagai berikut:

1. Analisis modal (cek perioda; partisipasi massa  $> 90\%$ ; kekakuan tidak direduksi)
2. Analisis linear statik ekuivalen
3. Analisis linear dinamik respon spektrum

Catatan: Kekakuan direduksi pada analisis linear. Hasil simpangan dari Kedua analisis linear harus mendekati.

Pemodelan struktur dibuat dengan menggunakan Metode Model Sendi Plastis Terkonsentrasi (*Lumped Plasticity*). Model ini menggunakan *line+spring element* sebagai model pengganti (*constitutive model*) dalam bentuk gaya deformasi yang diintegrasikan ke ujung-ujung (namun ada juga di tengah) elemen. Pemodelan ini digunakan agar analisis dapat dilakukan dengan lebih mudah dan cepat.

#### 3.5.1 Analisis Respon Riwayat Waktu

Data-data yang dibutuhkan dalam analisis respon riwayat waktu nonlinear menggunakan *software* Ruaumoko antara lain:

- I : Momen inersia penampang
- E : Modulus elastisitas penampang
- $M_y$  : Momen leleh

- $M_c$  : Momen puncak
- $K_o$  : Kekakuan rotasi elastis
- $\theta_p$  : Koefisien rotasi plastis
- $\theta_y$  : Koefisien rotasi leleh
- $\theta_c$  : Koefisien rotasi kapasitas plastis
- $\theta_{pc}$  : Koefisien rotasi *post-capping*
- $\theta_u$  : Koefisien rotasi ultimit
- $\mu\theta_c$  : Daktilitas rotasi kapasitas plastis
- $r$  : Rasio kekakuan *post-yield*

### 3.5.2 Momen Leleh ( $M_y$ )

Berdasarkan Metode FEMA, momen leleh yang digunakan sebagai *input* analisis nonlinear pada program Ruaumoko adalah momen maksimum pada analisis linear respon riwayat waktu menggunakan Program Analisis Struktur. Nilai  $M_c/M_y = 1,18$  untuk semua jenis gempa yang dihitung berdasarkan Persamaan 3.1. Nilai tersebut sebelumnya telah dikontrol dan dikoreksi menggunakan konsep *strong coloumn weak beam*.

$$\frac{M}{M_p} = \left(1 - \frac{p}{py}\right) \quad (3.1)$$

### 3.5.3 Kapasitas Rotasi

- Kapasitas rotasi plastis ( $\theta_p$ )

Dalam tugas akhir ini nilai  $\theta_p$  yang digunakan adalah 10,12 berdasarkan perhitungan dari Persamaan 3.2 berikut ini.

$$\theta_p = 5,63 \left(\frac{h}{tw}\right)^{-0,565} \left(\frac{bf}{2tf}\right)^{-0,8} \left(\frac{c^1_{unit} d}{533}\right)^{-0,28} \left(\frac{c^2_{unit} fy}{355}\right)^{-0,43} \quad (3.2)$$

- Rotasi pasca-puncak ( $\theta_{pc}$ )

Pada pemodelan nonlinear ini memilih  $\theta_{pc} = 2,54$  yang dihitung berdasarkan Persamaan 3.2, sedangkan  $M_c/M_y = 1,18$  yang dihitung berdasarkan Persamaan 3.3.

$$\theta_p = 7,5 \left(\frac{h}{tw}\right)^{-0,61} \left(\frac{bf}{2tf}\right)^{-0,71} \left(\frac{lb}{ry}\right)^{-0,11} \left(\frac{c^1_{unit} d}{533}\right)^{-0,161} \left(\frac{c^2_{unit} fy}{355}\right)^{-0,32} \quad (3.3)$$

#### 3.5.4 Rotasi Leleh ( $\theta_y$ )

Rotasi pada saat leleh digunakan untuk mendapatkan nilai daktilitas yang dibutuhkan sebagai *input* dalam *software* Ruaumoko. Nilai rotasi sendi plastis tersebut dihitung berdasarkan Persamaan 3.4 dan dihitung untuk semua *frame* (balok-kolom) pada struktur gedung yang direncanakan.

$$\theta_y = \frac{M_y}{6EI} l \quad (3.4)$$

Dimana:

E = Modulus elastisitas

I = Momen Inersia kolom/balok

l = Panjang kolom/balok

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Tinjauan Umum

Bab ini akan menjabarkan beberapa nilai dari hasil analisis dari program *software* yang digunakan untuk mendapatkan nilai-nilai diantaranya perioda getar, nilai simpangan dan gaya-gaya dalam struktur gedung yang menjadi model analisis. Model yang dianalisis adalah struktur gedung beraturan dengan data-data yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya.

#### 4.2 Hasil Analisis

##### 4.2.1 Periode Getar Alami

Berdasarkan SNI 1726:2012, analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Pada pemodelan ini, kombinasi ragam modal partisipasi massa telah mencapai 90% (*Sum Ux dan Sum Uy*) pada *mode 4*, sehingga partisipasi massa telah memenuhi syarat. Data modal partisipasi massa dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Data perioda *output* “*Modal Participating*”.

Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
1	0,957447	0	86,6374	0	86,6374
2	0,729638	84,5232	0	84,5232	86,6374
3	0,721459	0	0	84,5232	86,6374
4	0,317295	0	9,6664	84,5232	96,3037
5	0,232793	0	0	84,5232	96,3037
6	0,231393	10,6452	0	95,1684	96,3037
7	0,192263	0	2,9659	95,1684	99,2696
8	0,146729	0	0,7304	95,1684	100
9	0,13525	0	0	95,1684	100
10	0,131149	3,7727	0	98,9411	100
11	0,099389	0	0	98,9411	100
12	0,094672	1,0589	0	100	100

Jenis perhitungan menggunakan CQC atau SRSS berdasarkan persentase nilai perioda ditentukan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Selisih persentase nilai perioda.

Mode	%	CQC	SRSS
T1-T2	24%	-	OK
T2-T3	1%	OK	-
T3-T4	56%	-	OK
T4-T5	27%	-	OK
T5-T6	1%	OK	-
T6-T7	17%	-	OK
T7-T8	24%	-	OK
T8-T9	8%	OK	-
T9-T10	3%	OK	-
T10-T11	24%	-	OK
T11-T12	5%	OK	-

Pada mode 4 memiliki nilai persentase selisih lebih besar dari 15%, maka digunakan metode *Square Root of the Sum of Square* (SRSS).

#### 4.2.2 Gaya Geser Dasar

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, kombinasi respon untuk geser dasar ragam ( $V_t$ ) lebih kecil 85% dari geser dasar yang dihitung ( $V_1$ ) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala yaitu:

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

Dimana:

$V_1$  = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

$V_t$  = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Tabel 4.3: Nilai gaya geser dasar nominal analisis statik ekuivalen.

Arah Gempa	$V_1$ (Kg)
Gempa X	23450,992
Gempa Y	23450,992

Pada hasil gaya geser dasar nominal pada pemodelan dengan *software* ETABS berdasarkan SNI 1726:2012 diatas sebesar 998,098 kg pada kedua arah gempa. Nilai yang sama pada kedua arah gempa disebabkan oleh bentuk struktur gedung yang simetris atau beraturan.

Berikut perhitungan koreksi nilai akhir pada gaya geser dasar nominal untuk pemodelan yang didasari oleh SNI 1726:2012 untuk arah x dan arah y.

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{DS}}{(R/I)} \quad (4.2)$$

$$= \frac{0,932}{(8/1)} = 0,117$$

$$C_s \text{ hitungan} = \frac{S_{D1}}{T(R/I)} \quad (4.3)$$

$$= \frac{0,6}{1,762(8/1)} = 0,043$$

$$C_s \text{ minimum} = 0,44 * S_{D1} * I \quad (4.4)$$

$$= 0,44 * 0,6 * 1 = 0,026$$

$$\text{Maka, } Vt = 0,043 * 23450,992 = 998,098$$

Dari ketiga persamaan di atas maka dapat diambil  $C_s \text{ hitungan}$  yang digunakan senilai 0,043. Nilai tersebut untuk perhitungan arah x dan arah y yang nilainya sama kerana bentuk gedung yang simetris atau berturan.

Dengan menggunakan menggunakan Persamaan 4.1 maka persyaratan gaya geser dasar tersebut sebagai berikut:

$$0,85 \frac{3179,799}{998,098} \geq 1$$

$$2,708 \geq 1$$

Dari hasil yang didapat, maka gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam respon spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa dikalikan dengan faktor skala.

### 4.2.3 Koreksi Faktor Redundansi

Nilai gaya geser dengan redundansi 1 per lantainya harus dikoreksi dengan 35% gaya geser dasar dengan redundansi 1 pada masing-masing arah. Jika persyaratan tersebut tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1 harus diganti dengan redundansi 1,3. Tabel 4.4 merupakan hasil koreksi untuk setiap gaya geser pada masing-masing lantainya dengan nilai redundansi 1.

Tabel 4.4: Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1.

Lantai	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> kN	35 % V <sub>x</sub> Base Shear	35 % V <sub>y</sub> Base Shear	Kontrol	Kontrol
4	458.088	458.088	349.334	349.334	OK	OK
3	778.989	778.989	349.334	349.334	OK	OK
2	944.624	944.624	349.334	349.334	OK	OK
1	998.098	998.098	349.334	349.334	OK	OK

Dari Tabel 4.4, gaya geser pada setiap lantai dengan redundansi 1 telah memenuhi syarat lebih besar dari 35% gaya geser dasar. Sehingga nilai faktor redundansi yang digunakan pada pemodelan struktur dengan menggunakan Program Analisis Struktur adalah 1.

### 4.2.4 Gaya Geser Antar Lantai

Nilai gaya geser pada setiap lantai gedung berbeda-beda, gaya geser terbesar yaitu pada lantai 1, dimana daerah lantai 1 paling terdekat dengan elevasi 0 atau dasar tanah, selanjutnya diikuti pada tingkat 2, begitu seterusnya secara linear. Nilai gaya geser antar lantai untuk pemodelan ini dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Nilai gaya geser gedung pada setiap lantai.

Story	Elevation	Location	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>
	m		kN	kN
STORY4	16	Top	4,7318	3,7478
		Bottom	4,7318	3,7478
STORY3	12	Top	8,477	6,5567

		Bottom	8,477	6,5567
STORY2	8	Top	11,1153	8,555
		Bottom	11,1153	8,555
STORY1	4	Top	12,5275	9,8259
		Bottom	12,5275	9,8259
BASE	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

#### 4.2.5 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Pada Tabel 4.6 dan 4.7, tertera hasil nilai simpangan gedung untuk pemodelan pada arah x dan arah y.

Tabel 4.6: Nilai simpangan antar lantai pada arah x.

Tingkat	h (m)	Total Drift		Simpangan Antar Tingkat		$(\delta_i * C_d) / I_e$		Syarat	Cek	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		X	Y
								$0,015 * h_{sx}$ (m)		
4	16.000	0.013	0.000	0.002	1.67E-16	0.01045	9.185E-16	0.24	OK	OK
3	12.000	0.011	0.000	0.003	1.03E-15	0.0187	5.692E-15	0.18	OK	OK
2	8.000	0.007	0.000	0.004	0	0.0231	0	0.12	OK	OK
1	4	0.0032	0	0.0032	0	0.0176	0	0.06	OK	OK
Base	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-

Tabel 4.7: Nilai simpangan antar lantai pada arah y.

Tingkat	h (m)	Total Drift		Simpangan Antar Tingkat		$(\delta_i * C_d) / I_e$		Syarat	Cek	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		X	Y
								$0,015 * h_{sy}$ (m)		
4	16.000	0.000	0.016	0.000	0.0023	0	0.01265	0.24	OK	OK
3	12.000	0.000	0.014	0.000	0.0041	0	0.02255	0.18	OK	OK
2	8	0	0.01	0	0.0053	0	0.02915	0.12	OK	OK
1	4	0	0.0047	0	0.0047	0	0.02585	0.06	OK	OK
Base	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-

Berdasarkan Tabel 4.6 sampai dengan Tabel 4.7, dapat dilihat nilai simpangan antar lantai pada arah x dan pada arah y yang seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu  $\Delta a$  (simpangan antar tingkat izin) tidak lebih kecil dari nilai syarat.

#### 4.2.5 Kekakuan Tingkat

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan melalui *software*, maka didapat nilai kekakuan antar tingkat pada arah x dan arah y. Dijelaskan pada SNI 1726:2012, kekakuan tingkat lunak (*soft story*) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Nilai kekakuan tingkat untuk pemodelan struktur akan dijabarkan pada Tabel 4.8 dan 4.9.

Tabel 4.8: Kekakuan tingkat arah x “*story stiffness*”.

story	$\Sigma k_{ix}$	$\Sigma k_{iy}$	$\% \Sigma k_{ix+1}$	$\% \Sigma k_{iy+1}$	$\% \Sigma k_{ix+3}$	$\% \Sigma k_{iy+3}$	$\% \Sigma k_{ix-1}$	$\% \Sigma k_{iy-1}$	$\% \Sigma k_{ix-3}$	$\% \Sigma k_{iy-3}$
	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)
1	216560,5	0	149,401	0	157,4361	0	-	-	-	-
2	144952,5	0	104,6553	0	105,3782	0	0,669339	0	86,96841	0
3	138504,8	0	107,1965	0	100,6908	0	0,955518	0	100,6908	0
4	129206,5	0	-	-	-	-	0,932867	0	96,52674	0

Tabel 4.9: Kekakuan tingkat arah y “*story stiffness*”.

story	$\Sigma k_{ix}$	$\Sigma k_{iy}$	$\% \Sigma k_{ix+1}$	$\% \Sigma k_{iy+1}$	$\% \Sigma k_{ix+3}$	$\% \Sigma k_{iy+3}$	$\% \Sigma k_{ix-1}$	$\% \Sigma k_{iy-1}$	$\% \Sigma k_{ix-3}$	$\% \Sigma k_{iy-3}$
	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)
1	0	84666,8	0	976,878	0	61,5514	-	-	-	-
2	0	86670,8	0	989,287	0	63,0083	0	1,02367	0	100,411
3	0	87609,4	0	783,805	0	63,6906	0	1,01083	0	91,8804
4	0	111774	-	-	-	-	0	1,27583	0	112,12

Kekakuan tingkat pada pemodelan yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan 4.9 dihitung berdasarkan *output* dari pemodelan yang dapat dilihat pada Lampiran F di Tabel L.5.

#### 4.2.6 Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai *stability ratio* lebih kecil dari 0,1. Kontrol pengaruh P-delta untuk arah x dan y pada gempa x tertera pada Tabel 4.10 dan 4.11, untuk gempa y tertera pada Tabel 4.12 dan 4.13.

Tabel 4.10: Pengaruh efek P-Delta arah x pada gempa x.

Lantai	Tinggi	Story Drift	Gaya Geser	Beban Vertikal	Beban Vertikal	Stability	Cek
	(m)	(m)	Seismik, Vx (kN)	Total (kN)	Kumulatif (kN)	Ratio ( $\theta_x$ )	X
4	16	0,000118	-254,9421	481,1008	481,1008	-2,546E-06	OK
3	12	0,000283	-469,0887	481,1008	962,2016	-8,806E-06	OK
2	8	0,000525	-611,8531	481,1008	1443,3024	-2,8146E-05	OK
1	4	0,0008	-683,2353	429,5636	1872,866	-9,9679E-05	OK

Tabel 4.11: Pengaruh efek P-Delta arah y pada gempa x.

Lantai	Tinggi	Story Drift	Gaya Geser	Beban Vertikal	Beban Vertikal	Stability	Cek
	(m)	(m)	Seismik, Vx (kN)	Total (kN)	Kumulatif (kN)	Ratio ( $\theta_x$ )	X
4	16	1,0437E-17	0	481,1008	481,1008	0	OK
3	12	8,625E-17	0	481,1008	962,2016	0	OK
2	8	0	0	481,1008	1443,3024	0	OK
1	4	0	0	429,5636	1872,866	0	OK

Tabel 4.12: Pengaruh efek P-Delta arah x pada gempa y.

Lantai	Tinggi	Story Drift	Gaya Geser	Beban Vertikal	Beban Vertikal	Stability	Cek
	(m)	(m)	Seismik, Vx (kN)	Total (kN)	Kumulatif (kN)	Ratio ( $\theta_x$ )	X
4	16	0	0	481,1008	481,1008	0	OK
3	12	0	0	481,1008	962,2016	0	OK
2	8	0	0	481,1008	1443,3024	0	OK
1	4	0	0	429,5636	1872,866	0	OK

Tabel 4.13: Pengaruh efek P-Delta arah y pada gempa y.

Lantai	Tinggi	Story Drift	Gaya Geser	Beban Vertikal	Beban Vertikal	Stability	Cek
	(m)	(m)	Seismik, Vy (kN)	Total (kN)	Kumulatif (kN)	Ratio ( $\theta_y$ )	X
4	16	0,000144	-193,9479	481,1008	481,1008	-4,1E-06	OK
3	12	0,000342	-356,8605	481,1008	962,2016	-1,4E-05	OK
2	8	0,000663	-465,4689	481,1008	1443,3024	-4,7E-05	OK
1	4	0,001175	-519,7731	429,5636	1872,866	-0,00019	OK

Berdasarkan Tabel 4.10 sampai dengan 4.13, efek P-delta dapat diabaikan karena syarat *stability ratio* telah terpenuhi untuk kedua arah. Pada Tabel 4.11 dan 4.12 terlihat bahwa gaya geser yang bernilai 0 berarti tidak berpengaruh pada arah gempanya.

#### 4.2.7 Pemeriksaan Ketidakberaturan Torsi

Di dalam SNI 1726-2012, terdapat parameter pembesaran momen torsi tak terduga ( $A_x$ ). Kontrol pemeriksaan ketidakberaturan torsi gempa untuk arah x dan y tertera pada Tabel 4.14 dan 4.15.

Tabel 4.14: Pemeriksaan ketidakberaturan torsi gempa arah x.

Lantai	Elevasi	dxmin	Dxmax	$\Delta x$ min	$\Delta x$ max	Ratio	Biasa	Berlebih
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(1A)	(1B)
4	16	12,7	12,7	1,9	1,9	1	Tidak Ada	Tidak Ada
3	12	10,8	10,8	3,4	3,4	1	Tidak Ada	Tidak Ada
2	8	7,4	7,4	4,2	4,2	1	Tidak Ada	Tidak Ada
1	4	3,2	3,2	3,2	3,2	1	Tidak Ada	Tidak Ada

Tabel 4.15: Pemeriksaan ketidakberaturan torsi gempa arah y.

Lantai	Elevasi	dxmin	Dxmax	$\Delta x$ min	$\Delta x$ max	Ratio	Biasa	Berlebih
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(1A)	(1B)
4	16	16,4	16,4	2,3	2,3	1	Tidak Ada	Tidak Ada
3	12	14,1	14,1	4,1	4,1	1	Tidak Ada	Tidak Ada
2	8	10	10	5,3	5,3	1	Tidak Ada	Tidak Ada
1	4	4,7	4,7	4,7	4,7	1	Tidak Ada	Tidak Ada

Dilihat pada Tabel 4.14 dan 4.15 diatas terlihat bahwa  $\delta_{max} < 1,2 \delta_x$  sehingga struktur bangunan termasuk ke dalam kategori tanpa ketidakberaturan torsi.

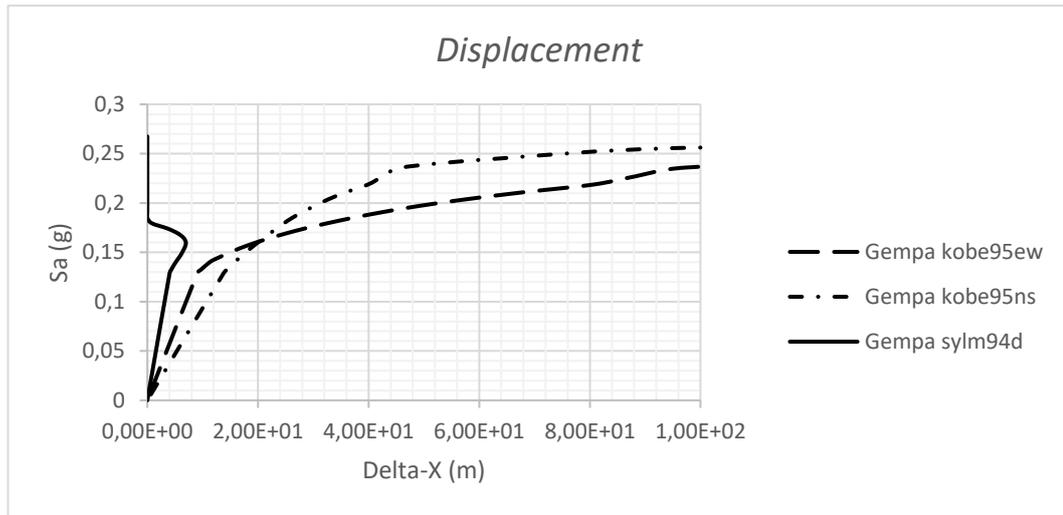
### 4.3 Hasil Analisis Nonlinear Struktur Gedung Beraturan

Analisis respon riwayat waktu nonlinear adalah suatu cara analisis untuk menentukan riwayat waktu respon dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh (linear) maupun elasto-plastis (nonlinear) terhadap gerakan tanah akibat gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal sebagai data maksimum, dimana respon dinamik dalam setiap interval waktu dihitung dengan metode *Incremental Dynamic Analysis*.

Pada analisis ini menggunakan 3 variasi gempa yaitu gempa “*kobe95ew*”, “*kobe95ns*” dan “*sylm94d*”. Gempa ini didapat dari riwayat gempa dari *software Ruaumoko*. Riwayat waktu dan besar nilai gempa dapat dilihat pada Lampiran G.

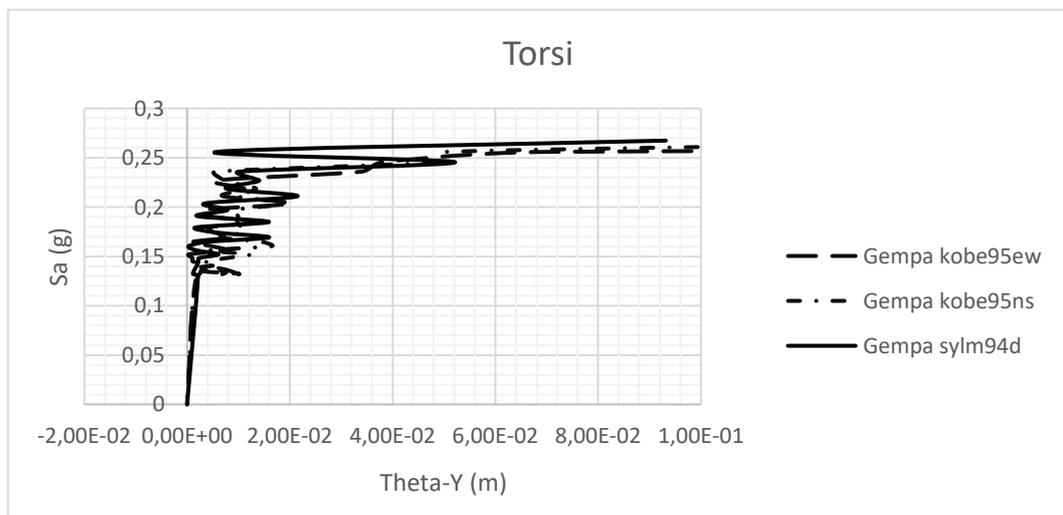
#### 4.4.1 Perbandingan Nilai Output

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana, Berikut ini disajikan perbandingan grafik simpangan pada gedung beraturan yang telah dimodelkan berdasarkan 3 variasi gempa yang digunakan.



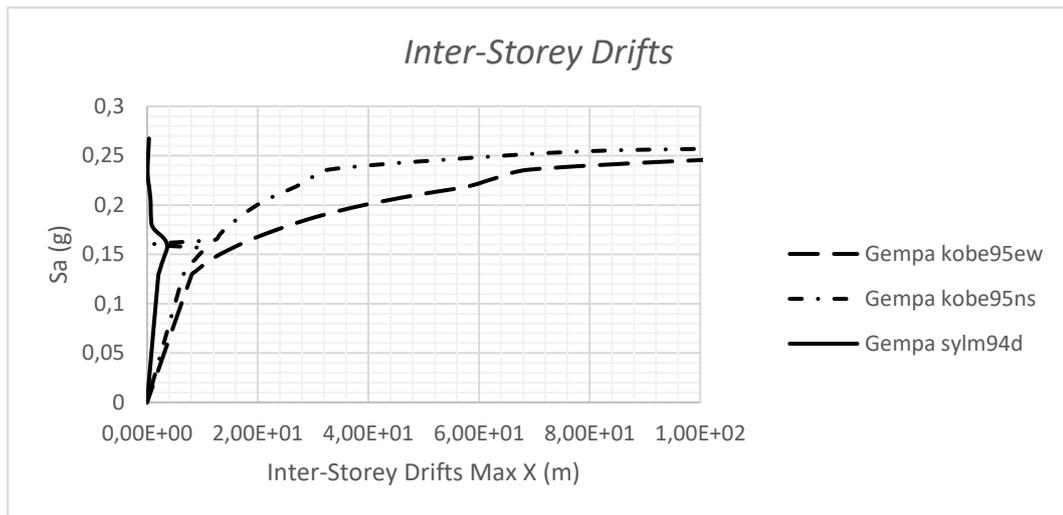
Gambar 4.1: Grafik perbandingan nilai *Displacement* pada variasi gempa.

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat kinerja dari struktur gedung yang diberikan beban gempa. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa respon lebih besar terjadi saat diberikan beban gempa *kobe95ew*. Struktur yang dimodelkan mengalami sendi plastis lebih cepat bila mengalami gempa *kobe95ew* dibandingkan dengan variasi gempa lain.



Gambar 4.2: Grafik perbandingan torsi pada variasi gempa.

Dapat dilihat pada Gambar 4.2 respon torsi struktur gedung terhadap gempa. Dari grafik perbandingan untuk gempa *kobe95ew* lebih besar daripada variasi gempa lainnya. Dapat disimpulkan bahwa nilai besaran gempa mempengaruhi besarnya torsi, semakin besar gempa yang terjadi maka semakin besar pula nilai torsinya.



Gambar 4.3: Grafik perbandingan *Inter-Storey Drifts* pada variasi gempa.

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat perbandingan simpangan struktur gedung beraturan dengan diberikan beban gempa. Kecilnya gempa *sylv94d* membuat simpangan yang terjadi pada struktur gedung tidak begitu terlihat nilainya.

#### 4.4 Hasil Analisis Nonlinear Struktur Gedung Tidak Beraturan Horizontal

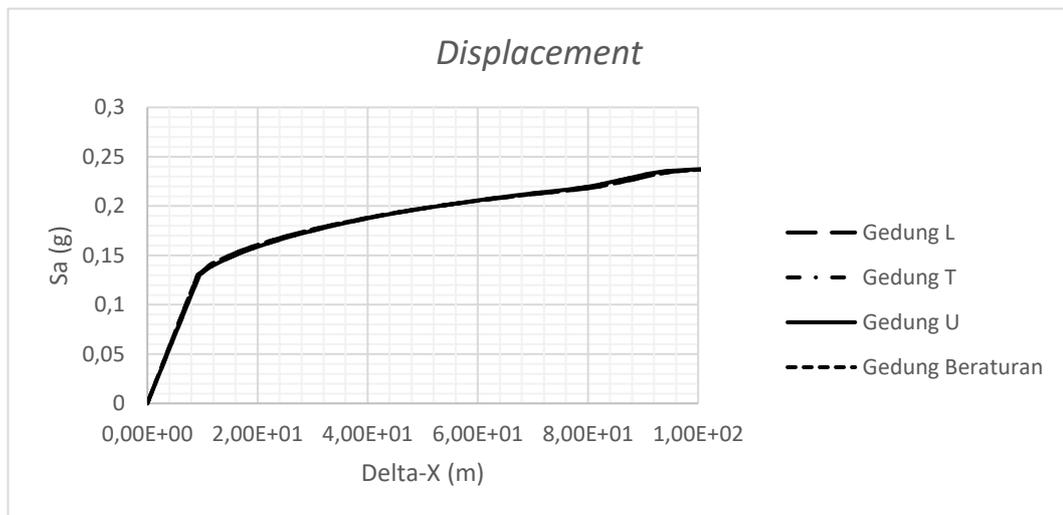
Seperti yang terdapat pada batasan masalah pada bab 1, gedung yang beraturan dianalogikan sebagai gedung tidak beraturan horizontal. Dengan mengubah *Centre Mass* maka didapat gedung yang beraturan itu memiliki sifat yang sama dengan gedung tidak beraturan horizontal. Model yang dibuat pada gedung tidak beraturan ini adalah model gedung berbentuk L, T dan U. Pusat massa diubah berdasarkan bentuk yang dimodelkan, dengan mencari titik beratnya dari sebagian massa yang dilemahkan.

Untuk menghitung kinerja gedung tidak beraturan horizontal ini menggunakan variasi gempa *kobe95ew* karena variasi gempa ini memiliki nilai yang lebih besar

diantara gempa yang lain. Kemudian kinerja setiap bentuk gedung akan dibandingkan berdasarkan spektrum gempa.

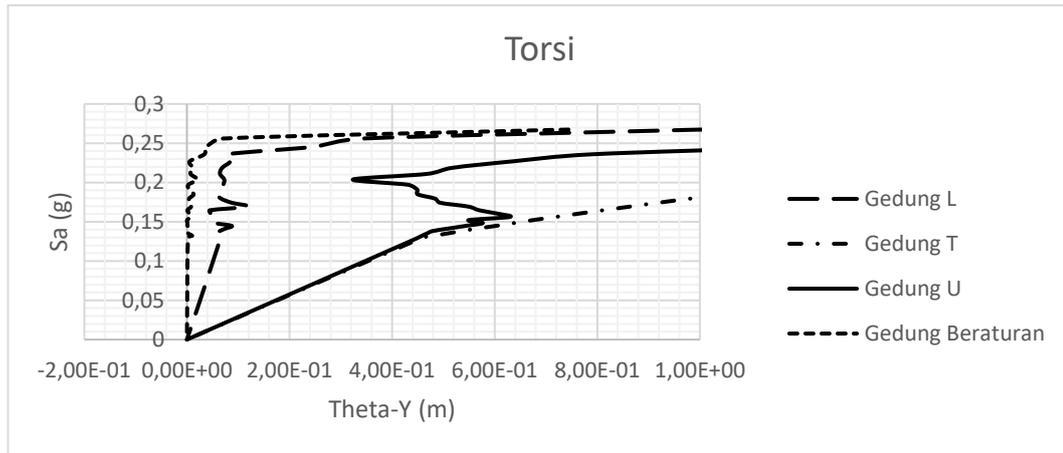
#### 4.5.1 Perbandingan Nilai *Output*

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana, Berikut ini disajikan perbandingan grafik simpangan pada gedung tidak beraturan horizontal yang telah dianalogikan berbentuk L, T dan U berdasarkan variasi gempa *kobe95ew* yang digunakan.



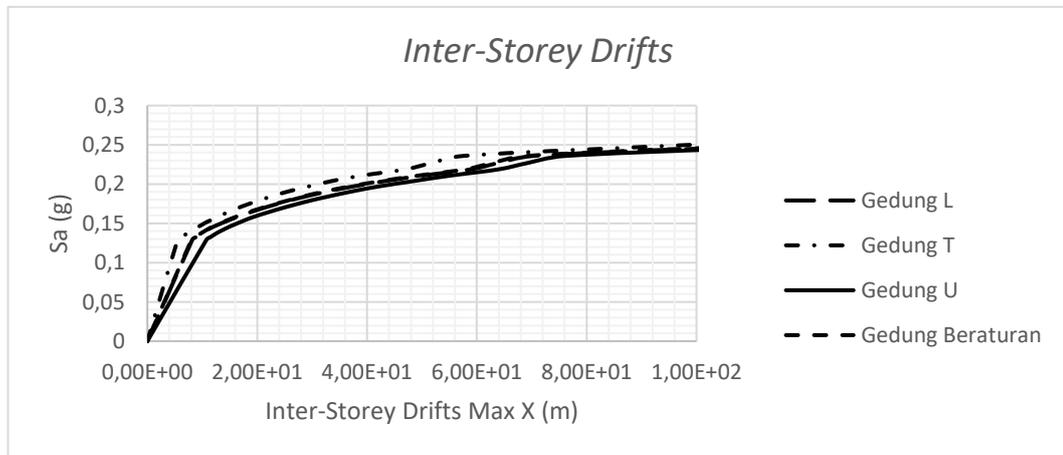
Gambar 4.4: Grafik perbandingan nilai *Displacement* pada gedung tidak beraturan horizontal.

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat kinerja dari struktur gedung yang diberikan beban gempa. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa besarnya respon struktur gedung terhadap gempa memiliki nilai yang sama. Dengan massa bangunan yang sama dan mengganti *Centre Mass*, maka tidak mengubah besarnya simpangan yang terjadi pada struktur sebuah bangunan.



Gambar 4.5: Grafik perbandingan torsi pada gedung tidak beraturan horizontal.

Dapat dilihat pada Gambar 4.5 bahwa terjadi respon nilai torsi struktur gedung akibat dibebani gempa. Dari grafik perbandingan dapat dilihat bahwa nilai torsi sangat berbeda. Terlihat bahwa gedung beraturan memiliki kekuatan yang paling besar diantara bentuk gedung yang lain. Sedangkan gedung berbentuk T mengalami sendi plastis lebih dahulu.



Gambar 4.6: Grafik perbandingan *Inter-Storey Drifts* pada gedung tidak beraturan horizontal.

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat perbandingan simpangan struktur gedung beraturan dengan diberikan beban gempa. Seluruh bentuk gedung yang dimodelkan mengalami sendi plastis pada waktu yang hampir bersamaan, namun terlihat gedung berbentuk U yang lebih dulu mengalami sendi plastis. Gedung berbentuk T memiliki kekuatan yang lebih besar diantara bentuk gedung yang lainnya. Sedangkan gedung yang memiliki kekakuan yang lebih besar adalah gedung berbentuk U.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan mengenai perbandingan kinerja struktur gedung tidak beraturan horizontal terhadap gempa, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil dan analisis nonlinear struktur baja gedung beraturan bila mengalami 3 variasi gempa rencana, didapat nilai simpangan yaitu:
  - Simpangan pada gempa variasi 1 dengan skala 1 = 61,4
  - Simpangan pada gempa variasi 2 dengan skala 1 = 28,3
  - Simpangan pada gempa variasi 3 dengan skala 1 = 0,39
2. Berdasarkan hasil dan analisis nonlinear struktur baja gedung tidak beraturan horizontal bila mengalami gempa rencana variasi 1, didapat nilai simpangan yaitu:
  - Simpangan pada gedung berbentuk L dengan skala 1 = 60,2
  - Simpangan pada gedung berbentuk T dengan skala 1 = 68,8
  - Simpangan pada gedung berbentuk U dengan skala 1 = 51,8
3. Dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa setiap struktur gedung tidak beraturan horizontal memiliki nilai *displacement* yang sama. Sehingga bentuk ketidakberaturan itu artinya tidak mempengaruhi *displacement* bangunan tersebut. Sedangkan perbedaan yang terlihat terletak pada nilai torsi yang sangat jauh, artinya yang menjadi pembeda struktur gedung tidak beraturan horizontal ini adalah nilai torsinya.
4. Dari nilai simpangan yang didapat dalam pen-skala-an dapat disimpulkan bahwa semakin besar angka skala, maka semakin kecil pula hasil responnya.

## 5.2 Saran

1. Dalam Tugas Akhir ini, komponen gedung seperti tangga, void, lift, dan semacamnya tidak dimodelkan, dan diasumsikan pembebanannya tidak didistribusikan. Komponen tersebut akan berpengaruh pada nilai *Centre Mass* yang ada di struktur gedung. Disarankan untuk penganalisaan selanjutnya komponen tersebut direncanakan/dianalisis agar data yang dihasilkan lebih akurat dan sesuai data kondisi yang ada di lapangan.
2. Analisa kinerja struktur gedung tidak beraturan horizontal menggunakan model struktur gedung beraturan yang dianalogikan sebagai struktur gedung tidak beraturan horizontal dengan mengganti *Centre Mass*-nya. Disarankan agar studi berikutnya memodelkan kembali struktur gedung tidak beraturan yang dianalisis tanpa menganalogikan bentuknya untuk mendapatkan data yang dihasilkan sesuai dengan lapangan.
3. Perlu dilakukan kajian tambahan mengenai perbedaan hasil yang diperoleh antara analisis struktur secara 3 dimensi dengan 2 dimensi pada struktur gedung yang mengalami beban gempa. Pemilihan model hendaknya dilakukan pada struktur yang telah ada dengan nilai eksentrisitas yang besar dan kemudian dicari perbedaan dari hasil yang telah diperoleh.

## DAFTAR PUSTAKA

- Standar Nasional Indonesia. (2002), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726-2002*, Jakarta: Badan Standar Nasional Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. (2012), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726-2012*, Jakarta: Badan Standar Nasional Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. (2002), *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002*, Jakarta: Badan Standar Nasional Indonesia.
- Paulay, Tom dan M.J.N Priestley. (1991), *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*, New York: John Wiley and Sons.
- Budiono, B. dan Supriatna, L. (2011) *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012*. Bandung: ITB.
- Pawirodikromo, W. (2012) *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Otani, S. (2004) *Earthquake Resistant Design of Reinforced Concrete Building, Past and Future, Journal of Advance Concrete Technology, Vol.2, No.1 hal.3-24*.
- Purba, Hotma L. (2014) *Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidakberaturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2012*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Vol. 2, No. 4, Desember 2014. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Komarudin, R. dan Khoeri, H. (2017) *Analisis Pemodelan Bentuk Gedung T dan L Dengan Inersia Yang Sama Terhadap Respons Spektrum*. Jurnal Teknik Sipil. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.

Faisal, A. (2014) *Catatan Kuliah M.K. Vibrasi dan Teori Gempa*. Medan: UMSU.

Faisal, A. (2015) *Torsi Aktual pada SRPM Simetris*. Medan: Seminar Nasional HAKI Komda SUMUT.

Zareian, F., Krawinkler, H. (2009) *Simplified performance-based earthquake engineering*. Stanford: Report No.169, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University.

Rizky, M. (2016) *Analisis Perbandingan Efektivitas Variasi Penempatan Bracing X dan Belt Truss pada Gedung Rangka Baja Tingkat Tinggi*. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

## LAMPIRAN

### A. Perhitungan Pembebanan

Dalam Tugas Akhir ini, jenis pembebanan yang digunakan adalah beban gravitasi. Beban gravitasi dihitung berdasarkan beban hidup dan beban mati yang bekerja pada struktur bangunan kemudian akan dijadikan sebagai beban yang bekerja di pelat lantai pada analisis menggunakan Program Analisa Struktur.

#### 1. Lantai 1-3

- Spesi Lantai Keramik (t = 1,5 cm)	=	32 Kg/m <sup>2</sup>	=	0,32 kN/m <sup>2</sup>
- Penutup lantai keramik	=	24 Kg/m <sup>2</sup>	=	0,24 kN/m <sup>2</sup>
- Plafon + penggantung	=	18 Kg/m <sup>2</sup>	=	0,18 kN/m <sup>2</sup>
- M & E	=	40 Kg/m <sup>2</sup>	=	0,4 kN/m <sup>2</sup>
Total beban mati	=	114 Kg/m <sup>2</sup>	=	1,14 kN/m <sup>2</sup>
- Beban hidup perkantoran	=	250 Kg/m <sup>2</sup>	=	2,5 kN/m <sup>2</sup>
Total beban hidup	=	250 Kg/m <sup>2</sup>	=	2,5 kN/m <sup>2</sup>

#### 2. Lantai 4/ Atap

- Plafon + penggantung	=	18 Kg/m <sup>2</sup>	=	0,18 kN/m <sup>2</sup>
- Plaster	=	32 Kg/m <sup>2</sup>	=	0,32 kN/m <sup>2</sup>
- Waterproof	=	5 Kg/m <sup>2</sup>	=	0,05 kN/m <sup>2</sup>
- M & E	=	40 Kg/m <sup>2</sup>	=	0,4 kN/m <sup>2</sup>
Total beban mati	=	95 Kg/m <sup>2</sup>	=	0,95 kN/m <sup>2</sup>
- Beban hidup perkantoran	=	100 kg/m <sup>2</sup>	=	1 kN/m <sup>2</sup>
Total beban hidup	=	100 kg/m <sup>2</sup>	=	1 kN/m <sup>2</sup>

#### 3. Berat Dinding

Beban dinding dijadikan sebagai beban terbagi rata yang ditumpu oleh balokbalok yang berhubungan pada masing-masing lantai. Nilai berat dinding yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Data struktur: Bs. Dinding ½ bata	=	250 kg/m <sup>2</sup>
Tinggi tiap lantai	=	4,0 m

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding Base} &= (0,5 (\text{tinggi lantai base}) + 0,5 (\text{tinggi lantai 1})) \times 250 \\ &= (0,5 (4) + 0,5 (4)) \times 250 \\ &= 1000 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding lt.1-3} &= (0,5 (\text{tinggi lantai 1}) + 0,5 (\text{tinggi lantai 2})) \times 250 \\ &= (0,5 (4) + 0,5 (4)) \times 250 \\ &= 1000 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding atap} &= 0,5 (\text{tinggi lantai 4}) \times 250 \\ &= 0,5 (4) \times 250 \\ &= 500 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

## B. Perhitungan Tebal Pelat Lantai

Tebal pelat lantai dihitung berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 9.5.3.3.(c), untuk  $\alpha_{fm}$  lebih besar dari 2,0 maka ketebalan pelat lantai ditentukan dengan rumus berikut:

$$h \text{ maks} = \frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1500})}{36}$$

$$h \text{ min} = \frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1500})}{36 + 9\beta}$$

Dimana:

$h \text{ min}$  = ketebalan pelat beton minimum (mm)

$h \text{ maks}$  = ketebalan pelat beton maksimum (mm)

$\ln$  = bentang terpanjang (mm)

$fy$  = mutu baja tulangan yang hendak digunakan (MPa)

$\beta$  = koefisien =  $ly / lx$

Dengan Data:

$ly$  = 6000 mm

$$l_x = 6000 \text{ mm}$$

$$f_y = 6000 \text{ mm}$$

$$\beta = 1$$

Maka didapat:

$$h_{\text{min}} = 142,222 \text{ mm}$$

$$h_{\text{maks}} = 177,778 \text{ mm}$$

Tebal pelat yang digunakan:

$$h = 160 \text{ mm}$$

### C. Berat Sendiri Struktur

Tabel L.1: Hasil output berat sendiri struktur pemodelan.

Group	Self Mass	Self Weight	Total Mass X	Total Mass Y	Total Mass Z	Beban Total (kN)	Z (m)	W x Z (kNm)
BASE	0	0	0	0	0	2144	0	0
LANTAI 1	272,1976	2671,548	481,1008	481,1008	0	5472,188	4	21888,752
LANTAI 2	272,1976	2671,548	481,1008	481,1008	0	5472,188	8	43777,504
LANTAI 3	272,1976	2671,548	481,1008	481,1008	0	5472,188	16	87555,008
LANTAI 4	272,1976	2671,548	437,3917	437,3917	0	4890,428	24	117370,272
ALL	1088,7906	10686,193	1880,694	1880,694	0	23450,992		270591,536

Dapat dilihat pada tabel sebelumnya bahwa massa total struktur gedung yang dianalisa adalah 270591,536.

### D. Perhitungan Gaya Geser Dasar dan Gaya Lateral Statik Ekuivalen

Gaya geser dasar yang digunakan untuk menghitung gaya lateral statik ekuivalen ditentukan berdasarkan SNI 1726:2012.

Data struktur:

- $S_{D1} = 0,600$
- $S_{DS} = 0,932$
- $R = 8$

- $I_e = 1$
- $S_1 = 0,6$

Kemudian perhitungan akan dijelaskan pada Tabel L.2 dibawah ini:

Tabel L.2: Perhitungan Nilai Cs

PERHITUNGAN NILAI CS					
Arah	Cs Max = SDS / (R/I)	CS Hitungan = SD1 / (T*(R/I)	CS Min = 0.044*SD1*I	CS Min Tambahan = (0.5*S1) / (R/I)	CS yang digunakan
T1(Arah X)	0,1165	0,042561015	0,0264	0,0375	0,042561015
T2 (Arah Y)	0,1165	0,042561015	0,0264	0,0375	0,042561015

Pada peraturan SNI 1726:2012. Pemilihan nilai Cs di dapat karena nilai  $C_{shitungan}$  berada diantara  $C_{sminimum}$  dan  $C_{smaksimum}$ . Maka yang digunakan adalah  $C_{shitungan}$ .

Maka gaya geser dasar struktur gedung adalah  $V = C_s \times W_t$

$$V = 0,0425 \times 23450,9$$

$$V = 998,098 \text{ kN}$$

### E. Centre Mass Rigidity

Tabel L.3: Centre Mass Rigidity pemodelan gedung.

Story	Diaphragm	MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
1	D1	481.1	481.1	12	12	481.1	481.1	12	12	12	12
2	D2	481.1	481.1	12	12	481.1	481.1	12	12	12	12
3	D3	481.1	481.1	12	12	481.1	481.1	12	12	12	12
4	D4	429.6	429.6	12	12	429.6	429.6	12	12	12	12
Total		1872.9	1872.9								

Tabel L.4: Distribusi vertikan pemodelan gedung.

Lantai	Tingkat (hi)	Berat (wi)	wi hik	Cvx	Fx	Vx
	(m)	(kN)			(kN)	(kN)
4	16	429.5636	39541.49936	0.458960878	458.0879474	458.0879474
3	12	481.1008	27699.73819	0.321512749	320.9012409	778.9891884
2	8	481.1008	14297.34259	0.16595023	165.6345973	944.6237857
1	4	481.1008	4615.820472	0.053576143	53.4742425	998.0980282
Total		1872.866	86154.40062	1	998.0980282	3179.79895

## F. Story Stiffness

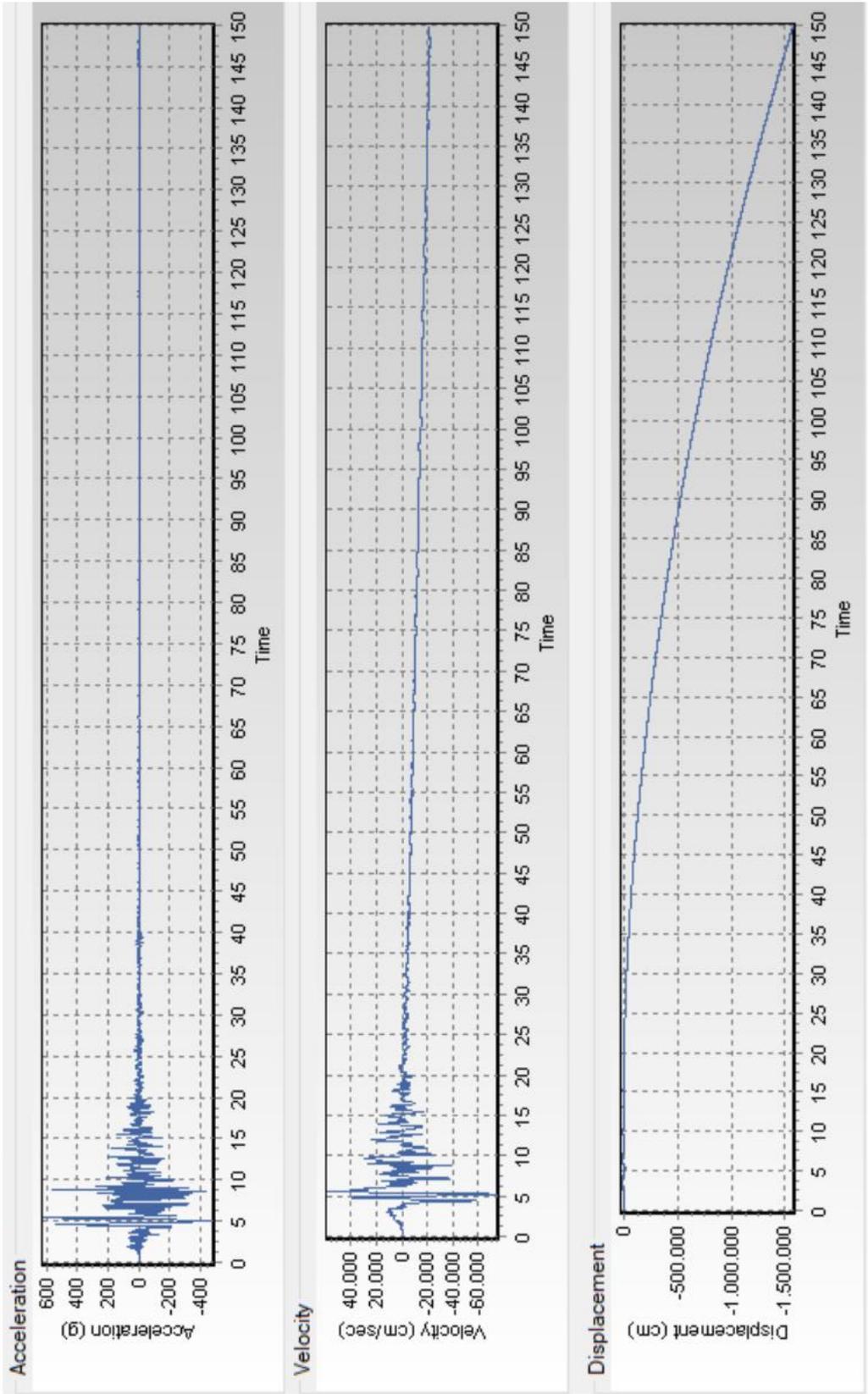
Tabel L.5: Story Stiffness

TABLE: Story Stiffness							
Story	Load Case	Shear X	Drift X	Stiffness X	Shear Y	Drift Y	Stiffness Y
		kN	mm	kN/m	kN	mm	kN/m
STORY4	EQX 1	254.9421	2	129206.5	0	0	0
STORY3	EQX 1	469.0887	3.4	138504.8	0	0	0
STORY2	EQX 1	611.8531	4.2	144952.5	0	0	0
STORY1	EQX 1	683.2353	3.2	216560.5	0	0	0
STORY4	EQY 1	0	0	0	193.9479	2.3	84666.8
STORY3	EQY 1	0	0	0	356.8605	4.1	86670.77
STORY2	EQY 1	0	0	0	465.4689	5.3	87609.35
STORY1	EQY 1	0	0	0	519.7731	4.7	111774.4

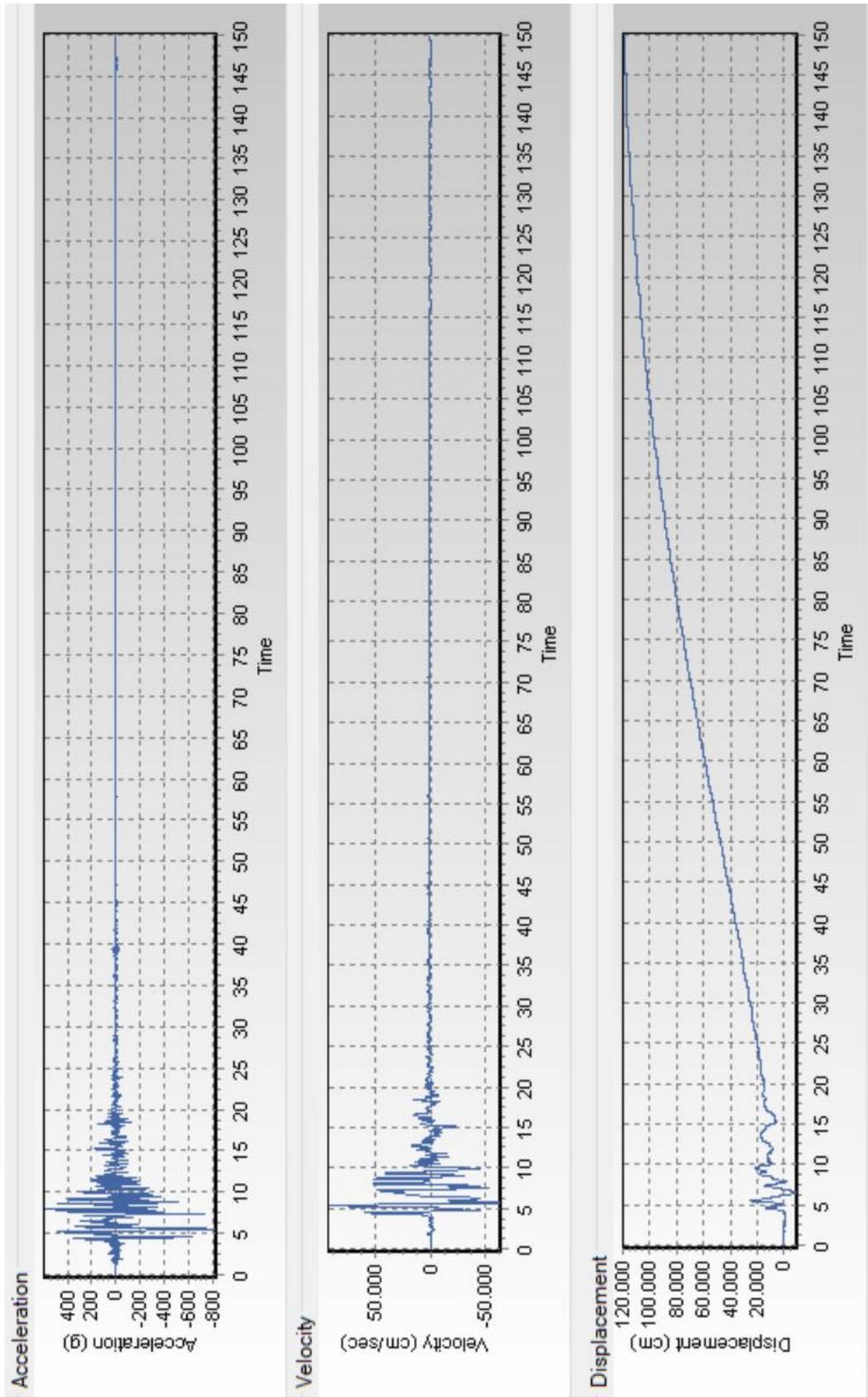
## G. Variasi Gempa

Pada pembebanan gempa untuk analisa nonlinear menggunakan 3 variasi gempa. Variasi gempa didapatkan dari *software Ruaumoko* yang menjadi riwayat gempa yang telah terekam *software* tersebut. Ketiga variasi gempa yang digunakan yaitu gempa “*kobe95ew*”, “*kobe95ns*” dan “*sylm94d*”. Besar gaya gempa tersebut dapat dilihat pada Gambar L.1 sampai dengan Gambar L.3.

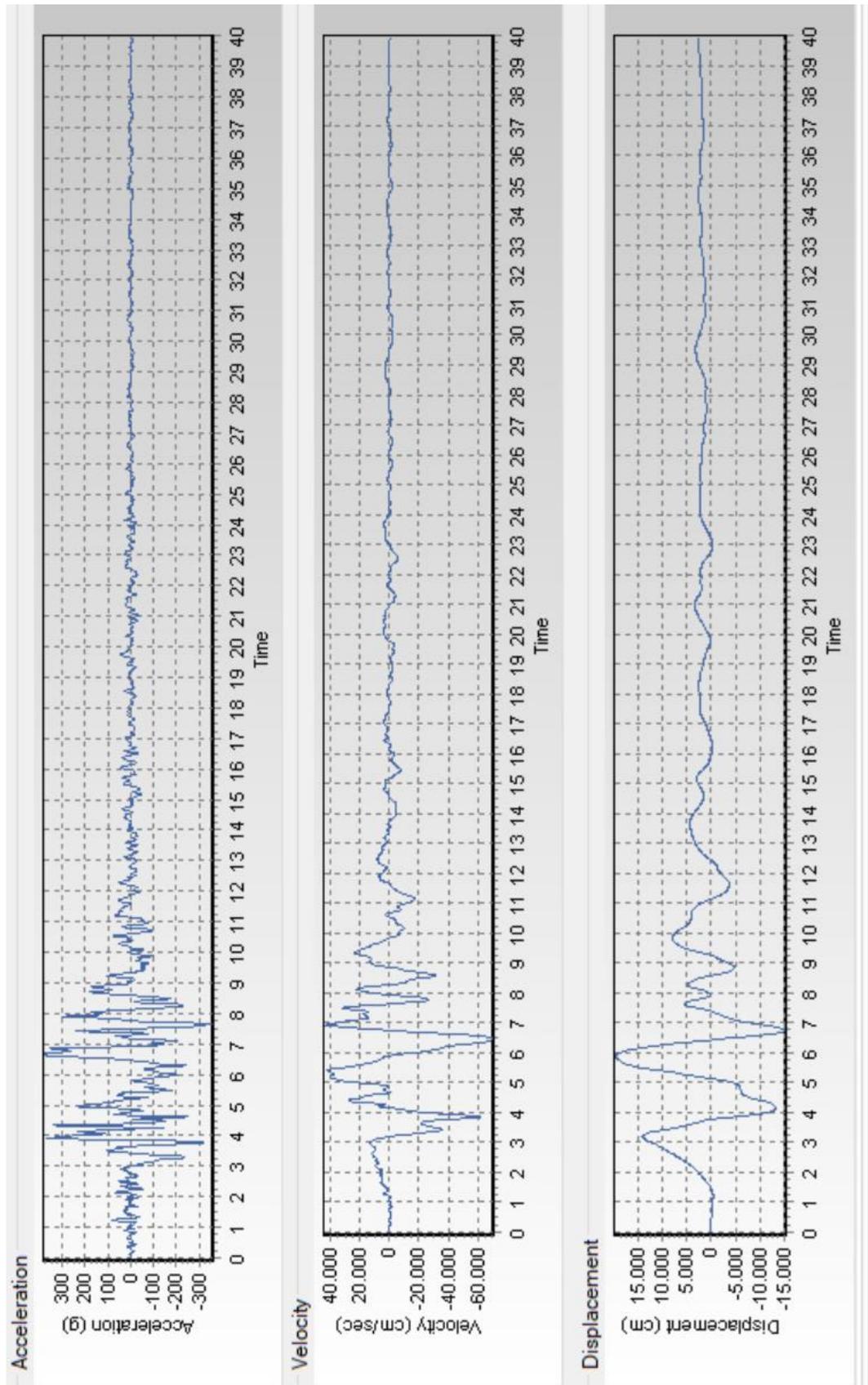
“*kobe95ew*” dan “*kobe95ns*” adalah gempa yang terjadi di Kota Kobe, Jepang pada tahun 1995 dengan perbedaan diantara kedua gempa tersebut yaitu arah datang gempunya. Sedangkan gempa “*sylm94d*” adalah gempa yang terjadi di Perkampungan Sylmar di Los Angeles, California pada tahun 1994. Pemilihan ketiga variasi gempa ini karena pada *software* Ruaumoko yang digunakan sudah menyediakan rekaman gempa ini.



Gambar L.1: Beban Gempa Variasi 1 “kobe95ew”.



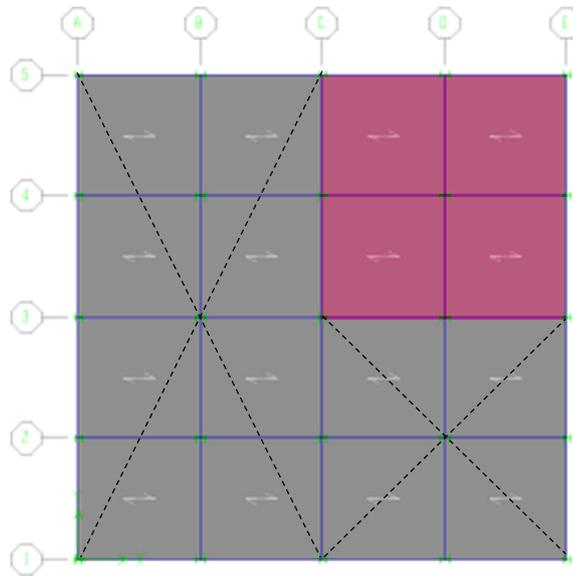
Gambar L.2: Beban Gempa Variasi 2 “kobe95ns”.



Gambar L.3: Beban Gempa Variasi 3 “sylv94d”.

## H. Perhitungan Pusat Massa Gedung Tidak Beraturan Horizontal

Untuk perhitungan perpindahan koordinat pusat massa gedung berbentuk L berdasarkan Gambar L.4 sebagai berikut:



Gambar L.4: Denah gedung yang dianalogikan berbentuk L

Luasan 1:

$$X_1 = 6 \text{ m}$$

$$Y_1 = 12 \text{ m}$$

$$A_1 = 12 \times 24 = 288 \text{ m}^2$$

Luasan 2:

$$X_2 = 18 \text{ m}$$

$$Y_2 = 6 \text{ m}$$

$$A_2 = 12 \times 12 = 144 \text{ m}^2$$

$$X_L = \frac{X_1 A_1 + X_2 A_2}{A_1 + A_2}$$

$$= \frac{6 \cdot 288 + 18 \cdot 144}{288 + 144}$$

$$= 10$$

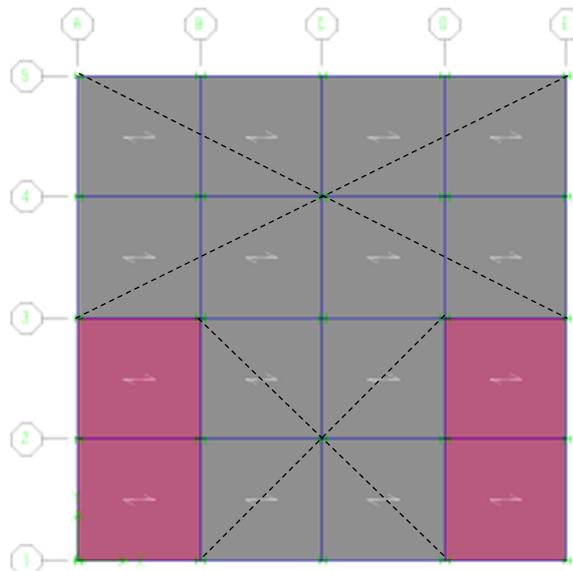
$$Y_L = \frac{Y_1 A_1 + Y_2 A_2}{A_1 + A_2}$$

$$= \frac{12 \cdot 288 + 6 \cdot 144}{288 + 144}$$

$$= 10$$

Maka koordinat gedung berbentuk L dipindahkan dari yang sebelumnya berada pada 12,12 (X,Y) menjadi 10,10 (X,Y). Kemudian koordinat ini diinput pada *software* Ruaumoko3D untuk analisis kinerja struktur yang dimodelkan.

Untuk perhitungan perpindahan koordinat pusat massa gedung berbentuk T berdasarkan Gambar L.5 sebagai berikut:



Gambar L.5: Denah gedung yang dianalogikan berbentuk T.

Luasan 1:

$$X_1 = 12 \text{ m}$$

$$Y_1 = 18 \text{ m}$$

$$A_1 = 24 \times 12 = 288 \text{ m}^2$$

Luasan 2:

$$X_2 = 12 \text{ m}$$

$$Y_2 = 6 \text{ m}$$

$$A_2 = 12 \times 12 = 144 \text{ m}^2$$

$$X_T = \frac{X_1 A_1 + X_2 A_2}{A_1 + A_2}$$

$$= \frac{12 \cdot 288 + 12 \cdot 144}{288 + 144}$$

$$= 12$$

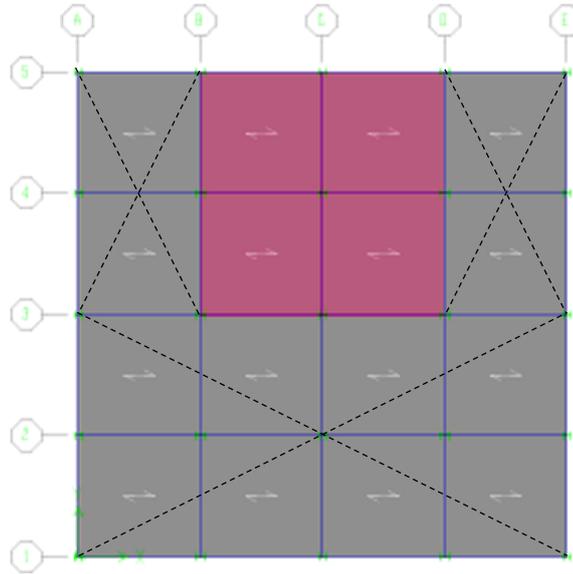
$$Y_T = \frac{Y_1 A_1 + Y_2 A_2}{A_1 + A_2}$$

$$= \frac{18 \cdot 288 + 6 \cdot 144}{288 + 144}$$

$$= 14$$

Maka koordinat gedung berbentuk T dipindahkan dari yang sebelumnya berada pada 12,12 (X,Y) menjadi 12,14 (X,Y). Kemudian koordinat ini diinput pada *software* Ruaumoko3D untuk analisis kinerja struktur yang dimodelkan.

Untuk perhitungan perpindahan koordinat pusat massa gedung berbentuk U berdasarkan Gambar L.6 sebagai berikut:



Gambar L.6: Denah gedung yang dianalogikan berbentuk U.

Luasan 1:

$$X_1 = 3 \text{ m}$$

$$Y_1 = 18 \text{ m}$$

$$A_1 = 6 \times 12 = 72 \text{ m}^2$$

Luasan 2:

$$X_2 = 21 \text{ m}$$

$$Y_2 = 18 \text{ m}$$

$$A_2 = 6 \times 12 = 72 \text{ m}^2$$

Luasan 3:

$$X_3 = 12 \text{ m}$$

$$Y_3 = 6 \text{ m}$$

$$A_3 = 24 \times 12 = 288 \text{ m}^2$$

$$X_U = \frac{X_1A_1 + X_2A_2 + X_3A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$= \frac{3 \cdot 72 + 21 \cdot 72 + 12 \cdot 288}{72 + 72 + 288}$$

$$= 12$$

$$Y_U = \frac{Y_1A_1 + Y_2A_2 + Y_3A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$= \frac{18 \cdot 72 + 18 \cdot 72 + 6 \cdot 288}{72 + 72 + 288}$$

$$= 10$$

Maka koordinat gedung berbentuk U dipindahkan dari yang sebelumnya berada pada 12,12 (X,Y) menjadi 12,10 (X,Y). Kemudian koordinat ini diinput pada *software* Ruaumoko3D untuk analisis kinerja struktur yang dimodelkan.



TUGAS AKHIR

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Jalan Kapten Mukhtar Basri, BA No. 3 Tel. 061-66190565, 6622400

MEDAN – SUMATERA UTARA

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : AFIF PRASETIO DARSONO  
 NPM : 1307210073  
 JUDUL : "ANALISIS KINERJA STRUKTUR BAJA GEDUNG TIDAK BERATURAN HORIZONTAL AKIBAT BEBAN GETARAN GEMPA"

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
		- perbaiki Bab 1 ) - lanjutkan	21/07/17
		- perbaiki Bab 2 & Bab 3 ) - buat pemodelan linear ) - lakukan desain!	20/08/17
		- perbaiki model & desain ) - perbaiki Bab 3 ) - lanjutkan	10/09/17
		- perbaiki desain! - perbaiki model linear ) - perbaiki Bab 3	01/10/17
		- buat laporan utk hasil desain ) - buat model nonlinear! - buat Bab 4	12/11/17
		- perbaiki model nonlinear ) - perbaiki Bab 4 )	17/12/17
		- perbaiki model nonlinear ) - lengkapi Bab 4 hasil ) nonlinear	02/01/17
		- buat kesimpulan ) Daftar isi, Gbr, tabel ) Camp.	26/02/17

DOSEN PEMBIMBING II

*Ade Faisal*

(Dr. Ade Faisal, ST, MSc)

*all utk diselesaikan*

*Ade Faisal*



TUGAS AKHIR

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Jalan Kapten Mukhtar Basri, BA No. 3 Tel. 061-66190565, 6622400

MEDAN – SUMATERA UTARA

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : AFIF PRASETIO DARSONO

NPM : 1307210073

JUDUL : "ANALISIS KINERJA STRUKTUR BAJA GEDUNG TIDAK BERATURAN HORIZONTAL AKIBAT BEBAN GETARAN GEMPA"

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
I	18/12 - 2017	Lanjutan ke bab II	m.
II	26/12 - 2017	Lesup gambar & partikel tabel pada bab II	Ja.
III	17/1 - 2018	Lesup literatur pada bab III & teori & pendahuluan	ym.
IV	9/2 - 2018	Lesup lampiran dan dokumen jurnal & Deskripsi tugas akhir	Ja.
V	16/2 - 2018	Lesup lampiran gambar & tabel & tabel tabel.	
VI	24/2 - 2018	Acc (libra) dokumen  24/2/18	Ja.

DOSEN PEMBIMBING II



(Dr. FAHRIZAL ZULKARNAIN ST, M.Sc)



TUGAS AKHIR

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Jalan Kapten Mukhtar Basri, BA No. 3 Tel. 061-66190565, 6622400

MEDAN – SUMATERA UTARA

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : AFIF PRASETIO DARSONO

NPM : 1307210073

JUDUL : "ANALISIS KINERJA STRUKTUR BAJA GEDUNG TIDAK BERATURAN HORIZONTAL BILA MENGALAMI BEBAN GETARAN GEMPA"

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
①	14/3-2018	- Peran dari H&I analisis bkn joles	
②	17/3-2018	Perbaikan kembali <u>Note:</u> Caraan unow diperbaiki sedem Sideny	
③	20/4-2018	Aku	

DOSEN PEMBANDING - I

(Tordi Amrillah P., ST, MT)



TUGAS AKHIR

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Jalan Kapten Mukhtar Basri, BA No. 3 Tel. 061-66190565, 6622400

MEDAN – SUMATERA UTARA

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : AFIF PRASETIO DARSONO

NPM : 1307210073

JUDUL : "ANALISIS KINERJA STRUKTUR BAJA GEDUNG TIDAK BERATURAN HORIZONTAL BILA MENGALAMI BEBAN GETARAN GEMPA"

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	16/3 - 2018	ACC dengan catatan : perbaikan : - AGItrah - typo error - keterangan tabel dan gambar, semua.	
2	2/5 - 2018	ACC.	

DOSEN PEMBANDING - II

(DR. Josef Hadipramana)