

TUGAS AKHIR

**KINERJA STRUKTUR BETON EMPAT LANTAI
MENGUNAKAN *BASE ISOLATOR* DENGAN
METODE ANALISIS *NON-LINEAR*
(*Studi Literatur*)**

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

Disusun Oleh:

MUHAMMAD ROZALI

1407210063



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2018

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Rozali

NPM : 1407210063

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Kinerja Struktur Beton Empat Lantai Menggunakan Isolasi Dasar Dengan Metode Analisis Non-Linear (Studi Literatur).

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, 31 Agustus 2018

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji


Dr. Ade Faisal, ST, MSc


Dosen Pembimbing II / Penguji


Bambang Hadibecoto, ST, MT

Dosen Pembimbing I / Penguji


Tondi Anwar Putra, ST, MT

Dosen Pembimbing II / Penguji


Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc



Program Studi Teknik Sipil
Ketua,


Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhamad Rozali

Tempat /Tanggal Lahir: Medan / 31 Mei 1995

NPM : 1407210063

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

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

"Kinerja Struktur Beton Empat Lantai Menggunakan Base Isolator Dengan Metode Analisa Non-Linear (Studi Literatur)",

bukan merupakan plagiarisme, pencarian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakikatnya 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/keserjanaan 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, 31 Agustus 2018



Saya yang menyatakan,

Muhamad Rozali

ABSTRAK

KINERJA STRUKTUR BETON EMPAT LANTAI MENGGUNAKAN *BASE ISOLATOR* DENGAN METODE ANALISIS *NON-LINEAR*

Muhammad Rozali

1407210063

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Bambang Hadibroto, ST, MT

Gempa bumi merupakan suatu fenomena alam yang tidak dapat dielakkan oleh manusia yang mana kejadian itu mengakibatkan kerugian material dan korban jiwa. Akibat yang ditimbulkan tersebut kebanyakan terjadi oleh kerusakan dan runtuhnya suatu bangunan. Teknologi yang dikembangkan pada pondasi belakangan ini sangat berpengaruh untuk meminimalisir keruntuhan suatu struktur bangunan akibat gempa bumi. Isolasi Dasar merupakan terobosan teknologi yang mutakhir yang diletakkan pada pondasi yang berfungsi mengurangi efek dari gempa bumi. Kekakuan pada struktur juga mempengaruhi ketahanan bangunan dari kerusakan dan keruntuhan. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan respon struktur bangunan yang menggunakan teknologi isolasi dasar dan perletakan jepit. Parameter yang ditinjau yaitu periode alami (T), gaya geser (V), dan simpangan (δ). Analisis yang dipakai adalah analisis statik ekuivalen, analisis respon spectrum dan analisis beban dorong. Terdapat 2 model yang menjadi bahan perbandingan, yaitu struktur bangunan perletakan jepit dan isolasi dasar. Struktur perletakan jepit mempunyai nilai simpangan sebesar 2.853 cm dan struktur isolasi dasar sebesar 1.275 cm. Struktur perletakan jepit mempunyai simpangan yang lebih besar dari pada struktur SRPMK isolasi dasar.

Kata kunci: Gempa bumi, Isolasi Dasar, kekakuan, teknologi pondasi, analisis beban dorong.

ABSTRACT

THE PERFORMANCE OF THE FOUR STORY CONCRETE STRUCTURE USING BASE ISOLATOR WITH THE ANALYSIS METHOD NON-LINEAR

Muhammad Rozali

1407210063

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Bambang Hadibroto, ST, MT

Earthquakes are a natural phenomenon that can't be circumvented by humans where the incident resulted in material losses and casualties. The impact was mostly occur by the damage and the collapse of a building. The technology developed in recent foundation is very influential to minimize the collapse of a structure due to the earthquake. Base Isolator is a breakthrough cutting edge technology that is placed on the foundation that serves to reduce the effects of earthquakes. Stiffness in the structure also affected the durability of building damage and collapse. This final project aims to determine and compare the response of structures using technology base isolator and fixed base. The parameters are reviewed, namely natural period (T), the shear force (V), and deviation (δ). Analysis used is equivalent static analysis, response spectrum analysis and analysis pushover. There are two models that became a point of comparison, the fixed base and base isolator. Structure Fixed base haved displacement at 2.853 cm and Structure base Isolator haved displacement at 1.275 cm. Structure Fixed base haved displacement than bigger of structure SRPMK base isolastor.

Keywords: Earthquakes, Base Isolator, stiffness, technology foundation, analysis pushover.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Kinerja Struktur Beton Empat Lantai Menggunakan Isolasi Dasar Dengan Metode Analisa *Non-Linear*” 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, ST, MSc selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc selaku Dosen Penguji II dan sekaligus Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Tondi Amirsyah Putra, ST, MT selaku Dosen Penguji I dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Ibu Irma Dewi ST, MSi, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bambang Hadibroto, ST, MT selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik sipil kepada penulis.
8. Orang tua penulis: Nuryono rahimmahumullah dan Nurjana, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
9. Kerabat dan Keluarga, yang telah memberi semangat untuk menyelesaikan studi.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Sahabat-sahabat penulis: Muhammad Fahrul Reza Lubis, Nanda Firnando, Sri Harjono, Firmansyah, Kiki Sulaiman, Agus Amrizal Tanjung, Yopi Syahputra Hia, Agustin Pradani, Tri Fauzan, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

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

Medan, 31 Agustus 2018

Muhammad Rozali

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.5.1. Manfaat Teoritis	3
1.5.2. Manfaat Praktis	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 STUDI PUSTAKA	
2.1. Gempa	5
2.2. Wilayah Gempa	7
2.3. Klasifikasi Situs, Jenis Pemanfaatan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	8
2.4. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa	11
2.5. Kategori Desain Seismik	14
2.6. Faktor Reduksi Gempa	15
2.7. Gaya Geser Dasar Seismik	17
2.8. Perioda Fundamental	18
2.9. Penentuan Distribusi Vertikal Gaya Gempa (F_i)	20
2.10. Parameter Respon Terkombinasi	21

2.11. Kekakuan	21
2.12. Pembebanan	23
2.12.1. Beban Mati	23
2.12.2. Beban Hidup	25
2.12.3. Beban Angin	29
2.12.4. Beban Gempa	29
2.13. Simpangan Antar Lantai	30
2.14. Kombinasi Beban	31
2.15. Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Berdasarkan SNI 2847;2013	33
2.16. Isolasi Dasar	33
2.16.1. Elemen Dasar Isolasi Dasar	34
2.16.2. <i>High-Dumping Rubber Bearing</i> (HDRB)	35
2.16.3. Prosedur Desain Isolasi Dasar HDRB	36
2.17. Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen Sistem Isolasi Menurut SNI 1726;2012	37
2.17.1. Perpindahan Rencana	38
2.17.2. Periode Efektif Pada Saat Perpindahan Rencana	39
2.17.3. Perpindahan Maksimum	39
2.17.4. Periode Efektif Pada Saat Perpindahan Maksimum	40
2.17.5. Perpindahan Total	40
2.17.6. Kekakuan Efektif Maksimum	41
2.17.7. Gaya Lateral Minimum	41
2.17.8. Distribusi Gaya Vertikal	42
2.17.9. Batas Simpangan Antar Lantai Pada Struktur Isolasi Dasar	42
2.18. Analisis Beban Dorong	42
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Bagan Alir / <i>Flow Chart</i> Penelitian	46
3.2. Deskripsi Model struktur	47
3.3. Data Penelitian: Data Desain Pada <i>Software</i>	47
3.3.1. Data Material	47

3.3.2.	Desain Balok dan Kolom	48
3.3.3.	Sistem Penahan Gaya Seismik	48
3.3.4.	Desain Plat	48
3.3.5.	Pembebanan	50
3.4.	Metode Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726;2012	52
3.5.	Kombinasi Beban	56
3.6.	Desain Isolasi Dasar	57
3.7.	Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen Sistem Isolasi Menurut SNI 1726;2012	59
8.6	Analisis Non-Linear Beban Dorong	59
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Tinjauan Umum	62
4.2.	Hasil Analisis	62
4.3.	Penentuan Berat Total Perlantai (W_t)	62
4.4.	Penentuan Perioda Alami Struktur	63
4.5.	Perioda Fundamental Pendekatan (T_a)	64
4.6.	Penentuan Gaya Geser Seismik (V)	65
4.7.	Penentuan Distribusi Vertikal Gaya Gempa (F_i)	66
4.8.	Spektrum Respon Ragam	67
4.9.	Gaya Geser Analisis Respon Spektrum	68
4.10.	Nilai Simpangan Gedung (Nilai Respon Bangunan)	71
4.11.	Kekakuan Struktur	72
4.12.	Analisa Isolasi Dasar	73
4.13.	Gaya Lateral Minimum	73
4.14.	Distribusi Gaya Vertikal	74
4.15.	Nilai Simpangan Gedung (Nilai Respon Bangunan)	75
4.16.	Perbandingan Respon Bangunan Tiap Model Struktur Bangunan Analisa Linear	76
4.17.	Analisa Non-Linear Beban Dorong	78
4.17.1.	Analisa Beban Dorong Perletakan Jepit	79
4.17.2.	Analisa Beban Dorong Isolasi Dasar	79
4.18.	Perbandingan Respon Bangunan Dengan Analisa Non-Linear	81

BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1.	Kesimpulan	84
5.2.	Saran	85
	DAFTAR PUSTAKA	86
	LAMPIRAN	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ekuivalen Energy Gempa Bumi Dikonversikan Kedalam Satuan Skala Richter	5
Tabel 2.2	Klasifikasi Situs (SNI 1726;2012)	8
Tabel 2.3	Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung Untuk Beban Gempa (SNI 1726;2012)	9
Tabel 2.4	Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726;2012)	11
Tabel 2.5	Koefisien Situs, F_a (SNI 1726;2012)	11
Tabel 2.6	Koefisien Situs, F_v (SNI 1726;2012)	12
Tabel 2.7	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	14
Tabel 2.8	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	14
Tabel 2.9	Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (SNI 1726;2012)	15
Tabel 2.10	Nilai Parameter Periode Pendekatan C_r , Dan x Berdasarkan SNI 1726 ;2012	19
Tabel 2.11	Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung Berdasarkan SNI 1726;2012	20
Tabel 2.12	Berat Sendiri Bahan Bangunan Dan Komponen Gedung	23
Tabel 2.13	Beban Hidup Pada Lantai Gedung	25
Tabel 2.14	Faktor Elemen Hidup	28
Tabel 2.15	Simpangan Antar Lantai Izin Berdasarkan SNI 1726;2012	30
Tabel 2.16	Nilai Dasar Material Isolasi HDRB	36
Tabel 2.17	Koefisien Redaman, B_D atau B_M	39
Tabel 2.18	Tingkat Kerusakan Struktur	45
Tabel 3.1	Beban Hidup Pada Lantai Gedung	50
Tabel 3.2	Beban Mati Tambahan Pada Lantai Gedung	51
Tabel 3.3	Interpolasi Koefisien Situs, F_a dan F_v (SNI 1726;2012)	53
Tabel 3.4	Nilai S_{DS} dan S_{D1} Untuk Kota Padang	53
Tabel 3.5	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	54

Tabel 3.6	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	54
Tabel 3.7	Data Spektrum Respons Berdasarkan SNI 1726;2012 Kota Padang Untuk Tanah Keras	55
Tabel 3.8	Tabel Kombinasi Pembebanan Untuk $\rho = 1$ dan $S_{DS} = 0.932$	57
Tabel 3.9	Nilai Dasar Material Isolasi HDRB	58
Tabel 3.10	Nilai-Nilai Parameter Desain Isolasi Dasar HDRB	58
Tabel 3.11	Nilai-Nilai Prosedur Dalam Mencari Gaya Lateral Ekuivalen	59
Tabel 4.1	Hasil Berat Sendiri Bangunan Perlantai Struktur Bangunan	62
Tabel 4.2	Rekapitulasi Berat Total Perlantai Struktur Bangunan	63
Tabel 4.3	Waktu Getar Alami Struktur Bangunan	63
Tabel 4.4	Hasil Persentase Nilai Periode	64
Tabel 4.5	Nilai Koefisien Batas Atas (Cu)	65
Tabel 4.6	Pengecekan Nilai Perioda	65
Tabel 4.7	Nilai Cs Yang Digunakan	66
Tabel 4.8	Gaya Geser Nominal Statik Ekuivalen (V)	66
Tabel 4.9	Nilai Fix dan Fiy Tiap Lantai	67
Tabel 4.10	Pengecekan <i>Story Shear</i> Dengan 35% V <i>Base Shear</i> Redudansi 1 ($\rho=1$)	68
Tabel 4.11	Gaya Geser Respon Spektrum Struktur Bangunan	68
Tabel 4.12	Pengecekan Gaya Geser Respon Spektrum	69
Tabel 4.13	Hasil Gaya Geser Respon Spektrum Setelah Dikalikan Faktor Skala	70
Tabel 4.14	Pengecekan Gaya Geser Respon Spektrum	70
Tabel 4.15	Nilai Simpangan Gedung Arah X dan Y Pada Kinerja Batas Ultimit	71
Tabel 4.16	Nilai Kekakuan Struktur Gedung Tiap Lantai	72
Tabel 4.17	Waktu Getar Alami Struktur Bangunan	72
Tabel 4.18	Distribusi Gaya Vertikal System Isolasi	74
Tabel 4.19	Nilai F_{ix} dan F_{iy} Tiap Lantai Pada Struktur Bangunan Isolasi Dasar	75
Tabel 4.20	Nilai Simpangan Gedung Isolasi Dasar Arah X dan Y	75
Tabel 4.21	Kemampuan Simpangan Gedung Perletakan Jepit	78
Tabel 4.22	Kemampuan Simpangan Gedung Isolasi Dasar di <i>Base</i>	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta Tektonik Wilayah Indonesia	6
Gambar 2.2	Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 Detik Di Batuan Dasar S_b Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun (Redaman 5%)	7
Gambar 2.3	Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik Di Batuan Dasar S_b Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun (Redaman 5%)	7
Gambar 2.4	Bentuk Tipikal Respon Spektra Desain Di Permukaan Tanah (SNI 1726-2012)	13
Gambar 2.5	Letak Isolasi Dasar Pada Struktur Bangunan Gedung	34
Gambar 2.6	Perangkat HDRB Dan Mekanisme Pergerakannya	35
Gambar 2.7	Kurva Tingkatan Sendi Plastis	44
Gambar 3.1	Bagan Alir (<i>Flow Chart</i>) Penelitian	46
Gambar 3.2	Denah Struktur Tampak Atas	49
Gambar 3.3	Model 1 Denah Struktur Perletakan Jepit Tampak Depan	49
Gambar 3.4	Model 2 Denah Struktur Dengan Isolasi Dasar	50
Gambar 3.5	Model Struktur Bangunan Pada <i>Software</i>	52
Gambar 3.6	Grafik Spektrum Respon Gempa Rencana	55
Gambar 3.7	Pemodelan Desain Isolasi Dasar Yang Akan Diinput Pada <i>software</i>	59
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan Simpangan Antar Model Struktur Bangunan Terhadap Ketinggian	76
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Simpangan Antar Model Struktur Antar Tingkat	77
Gambar 4.3	Kurva Kemampuan Gedung Berdasarkan Analisa Beban Dorong Perletakan Jepit	79
Gambar 4.4	Kurva Kemampuan Gedung Berdasarkan Analisa Beban Dorong Isolasi	81
Gambar 4.5	Perbandingan Kurva Kapasitas Berdasarkan Analisa Beban Dorong	83

DAFTAR NOTASI

A	= luasan area bantalan (mm^2)
a	= percepatan (m/s^2)
a	= lebar efektif strat (m)
A_g	= luas bruto penampang kolom (mm^2)
A_T	= luas struktur bangunan (m^2)
A_S	= luasan penyangga besi perletakan bantalan (mm^2)
b	= ukuran denah struktur tependek diukur tegak lurus terhadap d (mm)
B_D	= koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan rencana
B_M	= koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan maksimum.
b_w	= lebar komponen balok
c_2	= komponen struktur penumpu
C_d	= koefisien amplikasi defleksi
C_r	= parameter periode pendekatan
C_s	= koefisien respons seismik
C_u	= Ditentukan dari Tabel 2.12
C_{vx}	= faktor distribusi vertikal
d	= ukuran terpanjang denah struktur (mm)
D	= perpindahan horizontal maksimum (mm)
D atau DL	= beban mati
d	= perpindahan (mm)
D_D	= perpindahan rencana sistem isolasi (mm)
D_M	= perpindahan maksimum sistem isolasi (mm)
D_{TD}	= perpindahan rencana total (mm)
D_{TM}	= total perpindahan maksimum (mm)
D_y	= deformasi leleh (m)
e	= eksentrisitas sesungguhnya diukur dari denah antara titik pusat massa stuktur di atas batas pemisah isolasi dan titik pusat

kekakuan sistem isolasi, ditambah dengan eksentrisitas tak terduga, diambil sebesar 5% dari ukuran maksimum bangunan tegak lurus untuk arah gaya yang ditinjau

E	= beban gempa
E_c	= modulus elastisitas (MPa)
E_{fe}	= modulus elastisitas material portal
E_h	= beban gempa horizontal
E_{me}	= modulus elastisitas material portal
E_v	= beban gempa vertical
E_X	= beban gempa arah x
E_Y	= beban gempa arah y
F_a	= koefisien situs untuk perioda pendek
f'_c	= mutu beton (MPa)
F_i atau F_x	= bagian V yang bekerja di tingkat x (kg)
f^m	= kuat tekan rata-rata
F_v	= koefisien situs untuk perioda panjang
F_{ys}	= Tegangan leleh tulangan sengkang (MPa)
G	= modulus geser (MPa)
g	= percepatan grafitasi (m/s^2)
h atau h_n	= tinggi struktur (m)
h_{col}	= tinggi kolom diantara as-balok (m)
h_{inf}	= tinggi dinding portal (m)
h_x dan h_i	= tinggi tingkat x dari dasar (m)
I_{col}	= inersia penampang kolom (m^4)
I_e	= faktor keutamaan gempa
K_d	= kekakuan rencana (kN/m)
K_{Dmin}	= kekakuan efektif minimum sistem isolasi
K_{Dmax}	= kekakuan efektif maksimum
K_{eff}	= kekakuan efek satu unit isolasi (kN/m)
K_H	= kekakuan horizonral (N/mm)
K_i	= kekakuan di tingkat-i
K_{LL}	= faktor elemen beban hidup

K_{Mmin}	= kekakuan efektif minimum sistem isolasi, pada saat perpindahan maksimum
K_u	= kekakuan ultimit (kN/m)
K_v	= kekakuan vertical (N/mm)
L atau LL	= beban hidup rencana tereduksi
ℓ_n	= Bentang bersih komponen struktur (m)
L_o	= beban hidup rencana tanpa reduksi
N	= jumlah tingkat
\bar{N} atau \overline{Nch}	= tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata
PI	= indeks plastisitas
P_U	= gaya tekan aksial terfaktor
Q_u	= kapasitas ultimit (kN)
Q_y	= kapasitas gaya leleh (kN)
R atau R^a	= koefisien modifikasi respons
R_1	= koefisien numerik yang berhubungan dengan sistem gaya penahan
r_{inf}	= panjang diagonal dinding pengisi (m)
S	= shape faktor
S_a	= respon spektra percepatan
S_I	= parameter percepatan respon spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen
S_d	= simpangan relatif maksimum
S_{DI}	= parameter percepatan respon spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen
S_{DS}	= parameter percepatan respon spektral pada periode pendek, redaman 5 persen
S_{MI}	= parameter percepatan respon spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{MS}	= parameter percepatan respon spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_S	= parameter percepatan respon spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen

\overline{Su}	= kuat geser niralir rata-rata (kpa)
T	= periode fundamental bangunan (s)
T_0	= $0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
T_a	= Periode fundamental pendekatan minimum (s)
$T_{a \text{ maksimum}}$	= Periode fundamental pendekatan maksimum (s)
T_D	= periode efektif, pada saat perpindahan rencana (s)
T_M	= periode efektif, pada saat perpindahan maksimum (s)
t_{inf}	= tebal dinding pengisi (m)
T_S	= $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
t	= tebal karet per layer
t_r	= tebal keseluruhan bantalan (mm)
V	= gaya geser dasar (kg)
v	= kecepatan (m/s)
V_b	= gaya lateral minimum yang berada dibawah sistem isolasi (kg)
V_s	= gaya lateral minimum diatas sistem isolasi (kg)
\overline{vS}	= kecepatan rata-rata gelombang geser (m/s)
W	= berat total gedung (kg)
w	= kadar air (%)
$w_x \text{ dan } w_i$	= bagian dari W yang ditempatkan di tingkat x (kg)
y	= jarak antara titik pusat kekakuan sistem isolasi dan elemen yang diinginkan dihitung tegak lurus dengan arah yang ditinjau
ρ	= faktor redundansi struktur
ϵ_c	= renggangan pada tegangan maksimum
β	= redaman (%)
θ	= sudut yang dibentuk antara tinggi dan panjang dinding pengisi
γ	= regangan geser maksimum
λ	= faktor reduksi kekakuan
λ_1	= koefisien yang digunakan untuk menentukan lebar efektif strat
Ω_0	= faktor kuat lebih sistem

- μ = adalah konstanta yang tergantung pada peraturan perencanaan bangunan yang digunakan, misalnya untuk IBC-2009 dan ASCE 7-10 dengan gempa 2500 tahun menggunakan nilai μ sebesar $2/3$ tahun
- Δ = simpangan antar tingkat
- Δ_i = simpangan di tingkat i
- Φ = diameter lingkaran karet (mm)

DAFTAR SINGKATAN

ASCE	= American Society of Civil Engineers
BJLS	= BaJa Lapis Seng
CQC	= Complete Quadratic Combination
DKK	= Dan Kawan Kawan
SAP	= Structural Analysis Program
FEMA	= Federal Emergency Management Agency
FPS	= Friction Pendulum System
HDRB	= High-Dumping Rubber Bearing
IBC	= Intermediate Bulk Container
LRB	= Lead Rubber Bearing
PPPURG	= Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung
RBE	= Rangka Bresing Eksentris
SDOF	= Single Degree Of Freedom
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SRPMB	= Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa
SRPMK	= Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus
SRPMM	= Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah
SRSS	= Square Root of the Sum of Squares
TNT	= Tri Nitro Toluene
UBC	= Uniform Building Code

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa adalah suatu fenomena alam yang tidak dapat diprediksi kapan dan dimana terjadinya dengan akurat. Oleh karena itu, ilmu kegempaan merupakan salah satu dasar dan acuan dalam perencanaan struktur bangunan, baik itu rumah tinggal, pertokoan, hotel, mall, apartemen, rumah sakit dan lain sebagainya. Kerusakan bangunan yang terjadi saat gempa dikarenakan bangunan tersebut tidak diperkuat untuk menahan gaya gempa, konstruksi yang buruk, melemah dari segi usia atau lapuk, atau didasari oleh tanah lunak atau tidak stabil yang paling rentan terhadap kerusakan akibat gempa.

Sumatera Barat merupakan salah satu provinsi yang sering dilanda terjadinya gempa dalam kurun waktu 10 tahun belakangan ini. Pada peristiwa tersebut banyak dijumpai korban jiwa dan kerusakan bangunan. Hal ini membuat kita sadar akan kurangnya kesadaran bangsa Indonesia akan kondisi alam yang rawan akan gempa dalam merencanakan struktur bangunan yang tahan oleh gempa. Oleh karena itu, penelitian ini menguji bangunan tahan gempa dengan menggunakan isolasi dasar dan mengukur kekuatan struktur dengan analisis beban dorong. 88

Penulis memilih isolasi dasar sebagai topik penelitian karena isolasi dasar merupakan salah satu teknologi tinggi gedung penahan gempa yang dimulai dan diteliti tahun 1991 di *Uniform Building Code* (UBC), dimana teknologi isolasi dasar ini telah dipakai di berbagai negara yang berada di wilayah rawan gempa. Di berbagai penelitian, isolasi dasar dapat mengurangi respon bangunan terut pada nilai simpangan yang terjadi akibat gempa pada struktur bangunan.

Selain isolasi dasar, dinding pengisi bata juga berperan sebagai penahan gaya lateral, karena dinding pengisi bata dapat menambah nilai kekakuan struktur gedung. Di berbagai penelitian, dinding pengisi bata ini banyak diasumsikan

sebagai beban mati tambahan dan dimasukkan sebagai beban merata pada balok. Seperti halnya pada dinding geser, dinding pengisi bata juga berperan sebagai penahan gaya lateral gempa.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan diatas, maka rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil respon struktur bangunan akibat gaya gempa antara bangunan yang menggunakan perletakan jepit dengan menggunakan isolasi dasar berdasarkan analisis linear dan nonlinear?
2. Berapakah hasil dan perbandingan nilai simpangan antar tingkat bangunan (*interstory drift*) akibat gaya gempa pada struktur perletakan jepit dan isolasi dasar dengan jenis HDRB?
3. Berapa kapasitas kekuatan gedung berdasarkan analisa beban dorong?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari perluasan masalah-masalah yang tidak terkait dengan tugas akhir ini, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Struktur yang dianalisis adalah bangunan yang menggunakan material utama beton yang terdiri dari 4 lantai termasuk atap dengan denah tipikal dan beraturan. Elemen struktur yang direncanakan adalah elemen struktur balok dan kolom.
2. Menggunakan alat bantu *software* analisis struktur, dalam perencanaan struktur gedung.
3. Sistem struktur yang digunakan yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
4. Bangunan gedung diasumsikan sebagai gedung perkantoran yang terletak dikota Padang dengan klasifikasi situs Tanah keras (SC)
5. Menggunakan isolasi dasar jenis HDRB.
6. Untuk struktur bawah dan tangga diabaikan.
7. Plat lantai hanya diasumsikan menggunakan beton setebal 12 cm, serta tidak diperhitungkan secara detail dalam tugas akhir ini.

9. Penyusunan tugas akhir ini berpedoman pada peraturan-peraturan sebagai berikut:
 - a. Menggunakan peraturan *SNI 2847;2013* untuk beton.
 - b. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung *SNI 1726;2012*.
 - c. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain *SNI 1727;2013*.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisa bangunan beton 4 lantai akibat gaya gempa antara bangunan yang menggunakan perletakan jepit dengan isolasi dasar berdasarkan analisis linear dan non-linear dengan menggunakan *software* analisis struktur sebagai permodelan.
2. Untuk mengetahui perbandingan nilai simpangan pada setiap model.
3. Untuk mengetahui kemampuan bangunan dalam merespon kekuatan gempa dengan analisa beban dorong.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan skripsi ini dapat dikemukakan menjadi dua sisi:

1.5.1 Manfaat teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara teoritis, sekurang-kurangnya dapat berguna sebagai sumbangan pemikiran bagi dunia pendidikan khususnya teknik sipil.

1.5.2 Manfaat praktis

Menambah wawasan penulis mengenai pentingnya memperhatikan struktur bangunan yang kita rencanakan khususnya struktur bangunan penahan gempa dengan menggunakan isolasi dasar karena kita berada dalam daerah yang rawan akan gempa bumi.

Bagi pembaca dan masyarakat umum agar tugas akhir ini untuk selanjutnya dijadikan sebagai acuan dan pertimbangan dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa kedepannya. Terutama daerah yang dekat dengan patahan lempeng seperti Jawa dan Sumatera agar kita dapat mengurangi korban jiwa dan kerugian ekonomi yang disebabkan oleh bencana gempa bumi.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB 1: Pendahuluan

Dalam bab ini dibahas latar belakang, rumusan masalah, tujuan, ruang lingkup penelitian, manfaat penelitian, sistematika penulisan dan bagan alir.

BAB 2: Studi Pustaka

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang digunakan dalam menyelesaikan masalah-masalah yang ada.

BAB 3: Metodologi Penelitian

Bab ini berisikan rancangan penelitian, geometri model, dan analisa struktur.

BAB 4: Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang data hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan.

BAB 5: Kesimpulan dan Saran

Dalam bab ini mengenai kesimpulan mengenai hasil penelitian dan analisis. Sebagai pelengkap laporan disertakan juga beberapa data hasil analisis sebagai lampiran.

BAB 2

STUDI PUSTAKA

2.1 Gempa

Ilmu yang mempelajari tentang terjadinya gempa bumi dinamakan seismologi, dimana gempa adalah suatu getaran yang terjadi di bumi, bersumber dari dalam perut bumi dan kemudian getaran tersebut dirasakan atau berdampak pada permukaan kulit bumi.

Skala Richter adalah skala yang digunakan untuk memperlihatkan besarnya kekuatan gempa. Alat yang digunakan untuk mencatat Skala Richter disebut seismograf. Skala Richter pada mulanya hanya dibuat untuk gempa-gempa yang terjadi di daerah Kalifornia Selatan saja. Namun dalam perkembangannya skala ini banyak diadopsi untuk gempa-gempa yang terjadi di tempat lainnya. Untuk melihat besarnya energi gempa yang terjadi dalam skala richter bisa dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Ekuivalen energi gempa bumi dikonversikan kedalam satuan skala Richter.

<i>Earthquake Magnitude (SR)</i>	TNT ekuivalen	Contoh
1.0	6 ons	
1.5	2 pounds	
2.0	13 pounds	
2.5	63 pounds	
3.0	397 pounds	
3.5	1.000 pounds	
4.0	6 tons	
4.5	32 tons	
5.0	199 tons	
5.3	500 tons	
5.5	1.000 tons	
6.0	6.270 tons	
6.3	15.800 tons	Solok dan Bukit Tinggi, 2007
6.5	31.550 tons	Kepulauan Banggai, 2000

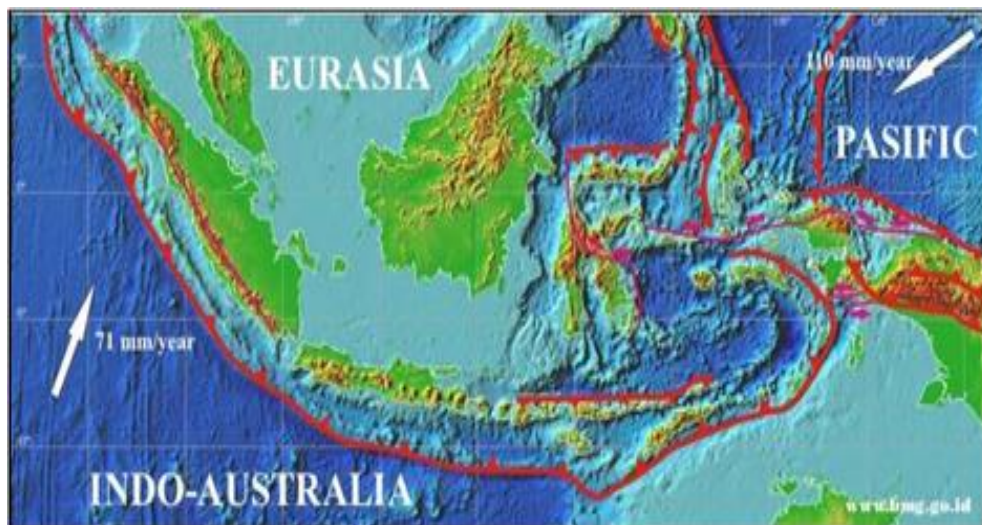
^ Tabel 2.1: Lanjutan.

<i>Earthquake Magnitude (SR)</i>	TNT Ekuivalen	Contoh
7.0	199.000 tons	
7.1	250.000 tons	Papua, 1976
7.5	1.000.000 tons	Pulau Flores, 1992
7.7	1.990.000 tons	Ciamis dan Cilacap, 2006
8.0	6.270.000 tons	Kepulauan Sunda, 1977
8.2	12.550.000 tons	Pulau Nias, 2005
8.5	31.550.000 tons	Seluruh Pulau Sumatera, 2012
9.0	199.999.000 tons	Aceh dan sebagian Sumatera Utara, 2004

- **Gempa Bumi Tektonik**

Gempa bumi tektonik disebabkan adanya pergeseran-pergeseran di dalam bumi secara tiba-tiba. Gejala ini sangat erat hubungannya dengan pembentukan pegunungan yang biasanya diikuti dengan pembentukan sesar-sesar baru.

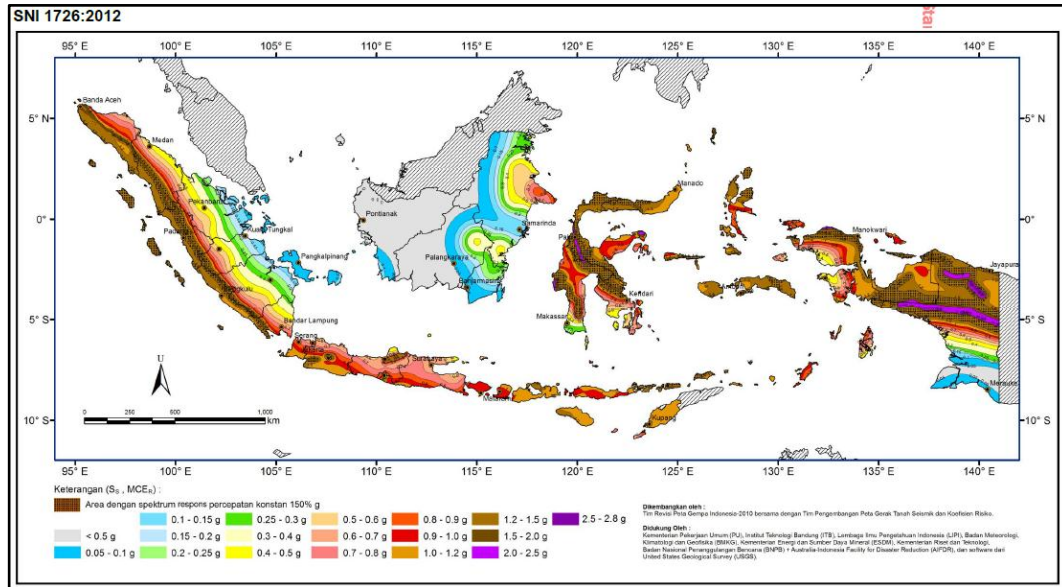
Ketegangan-ketegangan yang terjadi didalam bumi akan mengaktifkan kembali sesar-sesar lama yang sudah tidak aktif. Apabila pergerakan tersebut cukup besar dan terekam oleh seismograf akan menyebabkan terjadinya gempa bumi tektonik. Letak dan jenis lempeng yang mengapit Indonesia bisa dilihat pada Gambar 2.1.



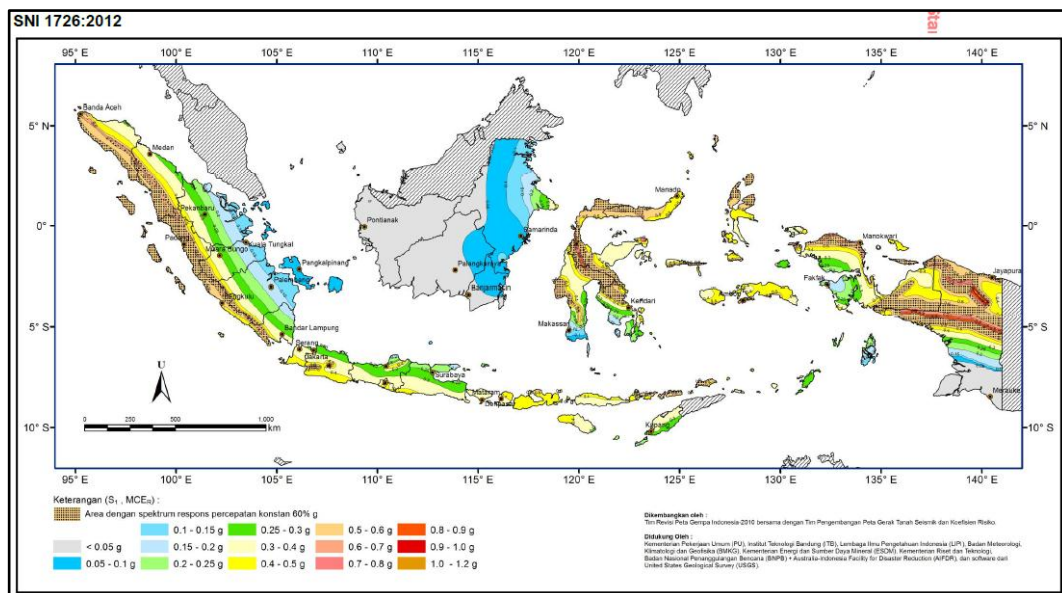
Gambar 2.1: Peta tektonik wilayah Indonesia.

2.2 Wilayah Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 14, wilayah gempa Indonesia ditetapkan berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_I (percepatan batuan tanah dasar pada periode 1 detik).



Gambar 2.2: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar s_b untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%).



Gambar 2.3: Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar s_b untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%).

2.3 Klasifikasi Situs, Jenis Pemanfaatan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Struktur bangunan direncanakan sebagai gedung perkantoran dengan kategori resiko II dan klasifikasi situs untuk desain seismik diasumsikan dengan kelas situs SC. Karena penulis tidak melakukan analisis perhitungan geoteknik, maka untuk kecepatan rata-rata gelombang geser, \bar{v}_s , tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata, \bar{N} , dan kuat geser niralir rata-rata, \bar{S}_u nilainya hanya diasumsikan.

Tabel 2.2: Klasifikasi Situs (SNI 1726;2012).

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau $\bar{N}ch$	\bar{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir, $S_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti likuifaksi, lempung sangat sensitif, dan tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

Catatan: N/A (Not Available) = tidak dapat dipakai

Tabel 2.3: Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (SNI 1726:2012).

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya. 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan /atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	III

Tabel 2.3: *Lanjutan.*

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	<p>III</p>
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas penting, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - fasilitas pemadam kebakaran, ambulan, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, badai angin, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pust pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	<p>IV</p>

Tabel 2.4: Faktor keutamaan gempa (SNI 1726;2012).

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

2.4 Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa

Respon spektra merupakan konsep pendekatan yang digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan. Definisi respons spektra adalah respons maksimum dari suatu sistem struktur *Single Degree of Freedom (SDOF)* baik percepatan (a), kecepatan (v), perpindahan (d) dengan struktur tersebut dibebani oleh gaya luar tertentu.

Absis dari respons spektra adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektra adalah respons maksimum. Kurva respons spektra akan memperlihatkan simpangan relatif maksimum (S_d), (Budiono dan Supriatna, 2011). Untuk penentuan parameter respon spektra percepatan di permukaan tanah, di perlukan faktor amplifikasi terkait spectra percepatan untuk perioda pendek (F_a) dan periode 1,0 detik (F_v).

Selanjutnya parameter respon spectra percepatan di permukaan tanah dapat diperoleh dengan cara mengalikan koefisien F_a dan F_v dengan spektra percepatan untuk perioda pendek (S_s) dan perioda 1,0 detik (S_I) di batuan dasar yang di peroleh dari peta gempa Indonesia SNI 1726;2012.

Tabel 2.5: Koefisien situs, F_a (SNI 1726;2012).

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

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

Kelas situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ detik, S_1^a				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
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	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

Catatan:

- a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- b) SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons situs-spesifik.

Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan Pers. 2.1 dan 2.2 berikut:

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

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.2)$$

dimana:

S_s adalah parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk periode pendek,

S_1 adalah parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan untuk periode 1 detik.

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{ds} dan pada perioda 1 detik, S_{D1} , ditentukan dari Pers. 2.3 dan 2.4:

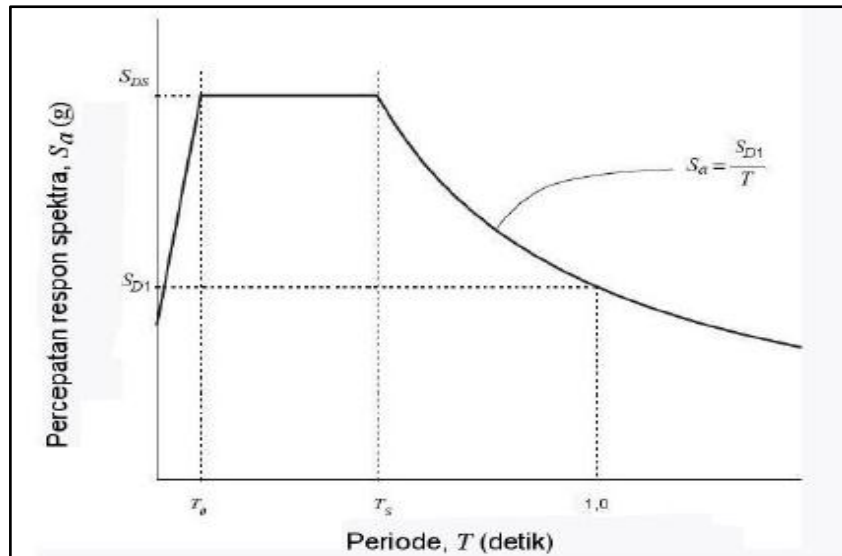
$$S_{DS} = \mu S_{MS} \quad (2.3)$$

$$S_{D1} = \mu S_{M1} \quad (2.4)$$

dimana:

S_{DS} adalah respon spektra percepatan desain untuk periode pendek,

S_{D1} adalah respons spektra percepatan desain untuk periode 1 detik,
 μ adalah konstanta yang tergantung pada peraturan perencanaan bangunan yang digunakan, misalnya untuk IBC-2009 dan ASCE 7-10 dengan gempa 2500 tahun menggunakan nilai μ sebesar 2/3 tahun.



Gambar 2.4 Bentuk tipikal respons spektra desain di permukaan tanah (SNI 1726;2012).

Kurva spektrum respons desain harus mengikuti ketentuan berikut ini:

1. Untuk periode lebih kecil dari T_0 , respons spektra percepatan desain, S_a harus diambil dari Pers. 2.5 berikut:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.5)$$

2. Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 , dan lebih kecil atau sama dengan T_s , respons spektra percepatan, S_a adalah sama dengan S_{DS} .
3. Untuk periode lebih besar dari T_s , respons spektra percepatan, S_a didapatkan dari Pers. 2.6.

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T} \quad (2.6)$$

Untuk nilai T_0 dan T_s dapat ditentukan dengan Pers. 2.7 dan 2.8.

$$T_0 = 0.2 T_s \quad (2.7)$$

$$T_s = \frac{S_{DI}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$

Keterangan:

T adalah periode getar fundamental struktur.

2.5 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu katagori desain seismik mengikuti pada Tabel 2.7 dan 2.8. Struktur dengan katagori risiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_I , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan katagori desain seismik E.

Tabel 2.7: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek.

Nilai S_{DS}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2.8: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.

Nilai S_{DI}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0.067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

2.6 Faktor Reduksi Gempa

Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur. Koefisien modifikasi respons yang sesuai, R , faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan koefisien amplikasi defleksi, C_d , harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain.

Pada perencanaan tugas akhir ini penulis memakai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Berdasarkan SNI 1726;2012, nilai koefisien modifikasi respons (R^a), Faktor kuat lebih sistem (Ω_0^g), Faktor pembesaran defleksi (C_d^b) untuk sistem ganda adalah sebagai berikut:

Tabel 2.9: Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa (SNI 1726;2012).

Sistem Penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^d
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^h	TI ^h	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 2.9: Lanjutan.

Sistem Penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^d
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 2.9: *Lanjutan.*

Sistem Penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^d
7.Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8.Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9.Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10.Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11.Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12.Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13.Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

Catatan : ^cTB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Dijinkan

^a faktor modifikasi respon, ^b faktor pembesaran defleksi, ^d sistem penahan gaya gempa yang dibatasi, ^e harga tabel faktor kuat lebih, ^h untuk struktur yang dikenai kategori disain seismik D atau E, ⁱ untuk struktur yang dikenai kategori disain seismic E.

2.7 Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726;2012 Pasal 7.8.1, gaya geser dasar (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Pers. 2.9.

$$V = C_s \cdot W \quad (2.9)$$

dimana:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat total gedung

Untuk nilai C_s menurut SNI 1726;2012 Pasal 7.8.1.1, persamaan yang digunakan untuk menentukan koefisien C_s adalah:

- Koefisien respon seismik, C_s

Untuk koefisien respons seismik C_s ditentukan berdasarkan rumus berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.10)$$

dimana:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek.

R = faktor modifikasi respons berdasarkan Tabel 2.9

I_e = faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.4

Nilai C_s diatas tidak perlu melebihi C_s hitungan berdasarkan rumus berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.11)$$

C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.12)$$

dimana:

S_{D1} = parameter percepatan respons spektrum desain pada periode 1 detik

T = periode getar struktur (detik)

S_I = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan

Sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_I sama dengan atau lebih besar dari $0,6 g$ maka C_s harus tidak kurang dari Pers. 2.13.

$$C_s = \frac{0,5 \cdot S_I}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.13)$$

2.8 Periode Fundamental

Menurut SNI 1726;2012 pasal 7.8.2.1 menyatakan bahwa periode struktur fundamental (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang

teruji. Periode struktur fundamental memiliki nilai batas minimum dan nilai batas maksimum. Nilai batas tersebut adalah:

1. Periode fundamental pendekatan minimum (T_a)

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (2.14)$$

dimana:

T_a = Nilai batas bawah periode bangunan

h_n = Ketinggian struktur dalam m diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

C_t = Koefisien fundamental

x = Ditentukan dari Tabel 2.10

Sebagai alternatif diizinkan untuk menentukan periode fundamental (T_a) dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka pemikul momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m menurut Pers. 2.15.

$$T_a = 0.1 N \quad (2.15)$$

dimana:

N = jumlah tingkat

2. Periode fundamental pendekatan maksimum ($T_{a \text{ maksimum}}$)

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u \cdot T_a \quad (2.16)$$

dimana:

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

C_u = Ditentukan dari Tabel 2.11

Tabel 2.10: Nilai parameter periode pendekatan C_t , dan x berdasarkan SNI1726 ;2012.

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% seismik yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika gaya gempa:		

Tabel 2.10: *Lanjutan.*

Tipe Struktur	C_t	x
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

^a faktor modifikasi respon.

Tabel 2.11: Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung berdasarkan SNI 1726;2012.

Parameter Percepatan Respons Spektra Desain pada 1 Detik S_{D1}	Koefisien (C_u)
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

2.9 Penentuan Distribusi Vertikal Gaya Gempa (F_i)

Distribusi vertikal gaya gempa ditentukan berdasarkan Pers. 2.17 dan 2.18.

$$F_x = C_{vx}V \quad (2.17)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.18)$$

dimana:

F_x = bagian V yang bekerja di tingkat x.

C_{vx} = faktor distribusi vertikal.

V = gaya geser lateral struktur sesuai Pers 2.9.

w_x dan w_i = bagian dari W yang ditempatkan di tingkat x.

h_x dan h_i = tinggi tingkat x dari dasar.

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

- Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$.

- Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih , $k = 2$.
- Untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antar 1 dan 2.

2.10 Parameter Respon Terkombinasi

Menurut (Budiono dan Supriatna, 2011), respons masing-masing ragam yang ditentukan melalui spektrum respons rencana gempa merupakan respons maksimum. Pada umumnya, respons masing-masing ragam mencapai nilai maksimum pada saat yang berbeda sehingga respons maksimum ragam-ragam tersebut tidak dapat dijumlahkan begitu saja. Terdapat dua cara metode superposisi, yaitu metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) dan Kombinasi Kuadrat Lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*).

Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan ragam respons menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus sekurang-kurangnya 90%. Untuk penjumlahan respons ragam yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode yang telah disebutkan sebelumnya yaitu Kombinasi Kuadrat Lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan apabila selisihnya kurang dari 15%. Untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode yang dikenal dengan metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*).

2.11 Kekakuan (*stiffness*)

Struktur bangunan harus diberikan kekakuan secukupnya, sehingga gaya inersia ($F = m.a$) yang terjadi tidak besar dan lendutan atau simpangan (*deviasi/sway-drift*) antar tingkat bangunan/lantai bangunan masih terletak pada batas yangizinkan.

Apabila kekakuan bangunan sangat kecil, maka pada saat tanah bergerak akibat gempa bangunan praktis tidak mengalami percepatan atau tidak terbawa untuk bergerak, bangunan lebih terasa mengayun secara fleksibel atau dengan istilah bangunan lebih elastis. Bangunan yang demikian dikatakan memiliki respons yang kecil terhadap gempa. Apabila kekakuan bangunan sangat besar, maka massa bangunan akan dipaksa untuk mengikuti sepenuhnya pergerakan tanah, sehingga percepatan yang dialami bangunan akan persis sama percepatan tanah. Bangunan yang demikian dikatakan mempunyai respons yang besar terhadap gempa. Optimasi yang ideal adalah gabungan komposisi kedua prinsip diatas dalam batas yang diizinkan dengan tidak terlalu kaku dan tidak terlalu lentur. Dalam hal ini material struktur, sistem sambungan struktur sangat berpengaruh terhadap pergerakan massa bangunan.

Untuk bangunan bertingkat *displacement govern* dapat terjadi pada balok biasa atau balok kantilever yang bentangnya panjang serta pada bangunan gedung yang jumlah tingkatnya sangat banyak (*high rise building*). Lendutan balok umumnya diproporsikan terhadap bentang, sedangkan simpangan tingkat biasanya diproporsikan terhadap tinggi tingkat dalam istilah *drift ratio*. *Drift ratio* adalah rasio antara simpangan antar tingkat dengan tinggi tingkat, seperti ditunjukkan pada Pers. 2.19.

$$Drift\ ratio = \frac{\Delta}{h} \quad (2.19)$$

Yang mana Δ adalah simpangan antar tingkat dan h adalah tinggi tingkat.

Apabila simpangan antar tingkat (Δ) terlalu besar maka akan timbul efek P- Δ . Efek P- Δ pada umumnya akan sangat membahayakan kesetabilan struktur, karena akan menimbulkan momen kolom yang sangat besar (akibat P yang umumnya sangat besar). Selain pembatasan lendutan dan simpangan yang terjadi sebagai bentuk dari design kriteria, maka struktur bangunan hendaknya jangan terlalu fleksibel. Sistem pengaku dapat dipakai untuk mengurangi/mengendalikan lendutan/simpangan.

Menurut (Tumilar, 2015) kekakuan struktur dapat juga dihitung dengan Pers. 2.20.

$$K_i = \frac{V}{\Delta i} \quad (2.20)$$

2.12 Pembebanan

Menurut SNI 1727;2013, struktur gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap pembebanan-pembebanan oleh beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa.

2.12.1 Beban Mati

Menurut SNI 1727;2013 pasal 3.1.1 bahwa beban mati adalah berat dari seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Nilai berat bahan dan konstruksi yang digunakan adalah nilai yang disetujui oleh pihak yang berwenang. Oleh karena itu berat bahan dan konstruksi diambil dari PPPURG 1987. Berat sendiri dari bahan bangunan adalah merupakan salah satu beban mati yang mana di jabarkan dalam Tabel 2.12.

Tabel 2.12: Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung.

<i>BAHAN BANGUNAN</i>	<i>Berat Jenis</i>
Baja	7.850 kg/m ³
Batu alam	2.600 kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m ³
Batu pecah	1.450 kg/m ³
Besi tuang	7.250 kg/m ³
Beton	2.200 kg/m ³
Beton bertulang	2.400 kg/m ³
Kayu (Kelas I)	1.000 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650 kg/m ³
Pasangan bata merah	1.700 kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200 kg/m ³

Tabel 2.12: *Lanjutan.*

<i>BAHAN BANGUNAN</i>	<i>Berat Jenis</i>
Pasangan batu cetak	2.200 kg/m ³
Pasangan batu karang	1.450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m ³
Timah hitam (timbel)	11.400 kg/m ³
<i>KOMPONEN GEDUNG</i>	
Adukan, per cm tebal:	
- dari semen	21 kg/m ²
- dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah	
- satu bata	450 kg/m ²
- setengah batu	250 kg/m ²
Dinding pasangan batako, berlubang:	
- tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²
Dinding pasangan batako, tanpa lubang:	
- tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:	
- semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
- kaca, dengan tebal 3-5 mm	10 kg/m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup 200 kg/m ²	40 kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,8 m	7 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	50 kg/m ²
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40 kg/m ²

Tabel 2.12: *Lanjutan.*

<i>BAHAN BANGUNAN</i>	<i>Berat Jenis</i>
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10 kg/m ²
Penutup lantai dab ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²

2.12.2 Beban Hidup

Menurut SNI 1727;2013, beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati. Beban hidup pada lantai gedung harus diambil menurut Tabel 2.13.

Tabel 2.13: Beban hidup pada lantai gedung.

Hunian atau Penggunaan	Beban Merata psf (kN/m ²)	Beban terpusat lb (kN)
Apartemen dan hotel (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2.4)	2000 (8.9)
Ruang komputer	100 (4.79)	2000 (8.9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7.18) ^a	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat dilantai)	100 (4.79) ^a	
Lobi	100 (4.79) ^a	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4.79) ^a	
Panggung pertemuan	100 (4.79) ^a	
Lantai podium	150 (7.18)	
Balkon dan dek	1.5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4.79 kN/m ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1.92)	300 (1.33)
Koridor		
Lantai pertama	100 (4.79)	
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4.79) ^a	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in x 2 in [50 mm x 50 mm])		300 (1.33)

Tabel 2.13: *Lanjutan.*

Hunian atau Penggunaan	Beban Merata psf (kN/m ²)	Beban terpusat lb (kN)
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 1in x 1in. [25 mm x 25 mm])		200 (0.89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran Hunian satu keluarga saja	100 (4.79) 40 (1.92)	
Tangga permanen	SNI 1727;2013 pasal 4.5	
Garasi/parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus	40 (1.92) ^{a,b,c}	
Susunan tangga, rel pengaman dan batang pegangan	SNI 1726;2013 pasal 4.5	
Helipad	60 (2.87) ^{de} Tidak boleh direduksi	^{e,f,g}
Rumah sakit: Ruang operasi laboratorium Ruang pasien Koridor diatas lantai pertama	60 (2.87) 40 (1.92) 80 (3.83)	1000 (4.45) 1000 (4.45) 1000 (4.45)
Perpustakaan Ruang baca Ruang penyimpanan Koridor diatas lantai pertama	60 (2.87) 150 (7.18) ^{a,h} 80 (3.83)	1000 (4.45) 1000 (4.45) 1000 (4.45)
Pabrik Ringan Berat	125 (6.00) ^a 250 (11.97) ^a	2000 (8.9) 3000 (13.4)
Gedung perkantoran Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian Lobi dan koridor lantai pertama kantor koridor diatas lantai pertama	100 (4.79) 50 (2.4) 80 (3.83)	2000 (8.9) 2000 (8.9) 2000 (8.9)
Lembaga hukum Balok sel Koridor	40 (1.92) 100 (4.79)	
Tempat rekreasi Tempat bowling, kolam renang, dan penggunaan yang sama Bangsal dansa dan ruang dansa Gymnasium Tempat menonton baik terbuka atau tertutup Stadium dan tribun / arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	75 (3.59) ^a 100 (4.79) ^a 100 (4.79) ^a 100 (4.79) ^{a,k} 60 (2.87)	
Rumah tinggal Hunian (satu keluarga dan dua keluarga) Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur Semua ruang terkecuali tangga dan balkon Semua hunian rumah tinggal lainnya Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka Ruang publik ^a dan koridor yang melayani mereka	10 (0.48) ^l 20 (0.96) ^m 30 (1.44) 40 (1.92) 40 (1.92) 100 (4.79)	
Atap Atap datar, berbubung dan lengkung Atap digunakan untuk taman atap	20 (0.96) ⁿ 100 (4.79)	

Tabel 2.13: *Lanjutan.*

Hunian atau Penggunaan	Beban Merata psf (kN/m ²)	Beban terpusat lb (kN)
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	Sama seperti hunian dilayani ^a	i
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya Awning dan kanopi Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan Rangka tumpu layar penutup	5 (0.24) tidak boleh direduksi 5 (0.24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributary dari atap yang ditumpu oleh rangka	200 (0.89)
Semua konstruksi lainnya Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai Titik panel tunggal dari batang bawah rangka	20 (0.96)	2000 (8.9) 300 (1.33)
atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi Semua komponen struktur atap utama lainnya Semua permukaan atap dengan beban pekerja Pemeliharaan		300 (1.33)
Sekolah Ruang kelas Koridor diatas lantai pertama Koridor lantai pertama	40 (1.92) 80 (3.83) 100 (4.79)	1000 (4.5) 1000 (4.5) 1000 (4.5)
Bak-bak/ <i>scuttles</i> . Rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0.89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11.97) ^{a,p}	8000 (35.6) ^q
Tangga dan jalan keluar Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	100 (4.79) 40 (1.92)	300 ^r 300 ^r
Gudang diatas langit-langit Gudang penyimpanan barang sebelum disalurkan ke pncecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat) Ringan Berat	20 (0.96) 125 (6.00) ^a 250 (11.97) ^a	
Toko Eceran Lantai pertama Lantai diatasnya Grosir, disemua lantai	100 (4.79) 75 (.59) 125 (6.00) ^a	1000 (4.45) 1000 (4.45) 1000 (4.45)
Penghalang kendaraan	Lihat pasal 4.5	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2.87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4.79) ^a	

Berhubungan dengan peluang untuk terjadinya beban hidup penuh yang membebani semua bagian dari semua unsur struktur pemikul secara serempak

selama umur gedung tersebut adalah sangat kecil, maka untuk hal-hal tersebut beban hidup tersebut dianggap tidak efektif sepenuhnya, sehingga beban hidup terbagi rata dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi. Menurut SNI 1727;2013 pasal 4.7.2, bahwa koefisien reduksi beban hidup dapat dilihat pada Pers. 2.21.

$$L = L_o \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{K_{LL}A_T}} \right) \quad (2.21)$$

Dimana:

L = beban hidup rencana tereduksi.

L_o = beban hidup rencana tanpa reduksi.

K_{LL} = faktor elemen beban hidup.

A_T = luas struktur bangunan.

L tidak boleh kurang dari $0.4L_o$ untuk komponen struktur yang mendukung dua lantai atau lebih. Nilai faktor elemen hidup (K_{LL}) dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14: Faktor elemen hidup.

Elemen	K_{LL}^a
Kolom-kolom interior	4
Kolom-kolom eksterior tanpa pelat kantilever	4
Kolom-kolom tepi dengan pelat kantilever	3
Kolom-kolom sudut dengan pelat kantilever	2
Balok-balok tepi tanpa pelat-pelat kantivaler	2
Balok-balok interior	2
Semua komponen struktur yang tidak disebut diatas: Balok-balok tepi dengan pelat-pelat kantiveler Balok-balok kantilever Pelat-pelat satu arah Pelat-pelat dua arah Komponen struktur tanpa ketentuan-ketentuan untuk penyaluran Geser menerus tegak lurus terhadap bentangnya	1

Beban hidup penuh tanpa dikalikan dengan koefisien reduksi tetap harus ditinjau pada:

- Lantai gedung, ruang arsip, perpustakaan dan ruang-ruang penyimpanan lain sejenis.
- Lantai ruang yang memikul beban berat tertentu yang bersifat tetap, seperti alat-alat dan mesin-mesin.

2.12.3 Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin berpengaruh pada gedung yang berlantai 25 atau lebih. Jadi dalam masalah ini beban angin dihiraukan dikarenakan struktur bangunan hanya 5 lantai < 25 lantai dan struktur bangunan tidak memakai atap segitiga dengan menggunakan kuda-kuda.

2.12.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang timbul akibat percepatan getaran tanah pada saat gempa terjadi. Untuk merencanakan struktur bangunan tahan gempa, sesuai dengan pasal-pasal yang ditentukan oleh SNI 1726;2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, maka terlebih dahulu harus menganalisis faktor keutamaan dan kategori resiko struktur bangunan serta kelas situs desain seismik.

Struktur bangunan gedung harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas energi yang lengkap, untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Gerak tanah desain harus diasumsikan terjadi disepanjang setiap arah horizontal struktur bangunan gedung. Kecukupan sistem struktur harus ditunjukkan dari pembentukan model matematik dan pengevaluasian model tersebut untuk pengaruh gerak tanah desain.

Gaya gempa desain, dan distribusinya disepanjang ketinggian struktur bangunan gedung, harus ditetapkan berdasarkan salah satu prosedur yang sesuai dan gaya dalam serta deformasi yang terkait pada komponen-elemen struktur tersebut harus ditentukan.

2.13 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726;2012 pasal 7.8.6, simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja, yaitu kinerja batas ultimit. Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris, dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi didasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa di atasnya.

Jika digunakan desain tegangan izin, Δ harus dihitung memakai gaya gempa tingkat kekuatan tanpa reduksi. Simpangan antar lantai, nilainya harus diperbesar dengan menggunakan Pers. 2.22 dibawah ini

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.22)$$

Dimana:

δ_x = defleksi pusat massa di tingkat x.

δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan.

C_d = Faktor pembesaran defleksi.

I_e = Faktor keutamaan gempa.

Dari nilai simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin (Δ_a), sesuai dengan peraturan SNI 1726;2012, bahwa struktur gedung harus berada dalam simpangan yang diizinkan.

Tabel 2.15: Simpangan antar lantai izin berdasarkan SN 1726;2012.

Struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem mengakomodasi simpangan antarlantai tingkat.	0,025 h_{sx}^c	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Catatan: h_{sx} = tinggi tingkat yang bersangkutan

^c = tidak boleh ada batasan simpangan antar lantai

2.14 Kombinasi Beban

Menurut Budiono dan Supriatna (2011), standar kombinasi pembebanan sebagai berikut:

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

Keterangan :

D Adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan tetap;

L Adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain;

E Adalah beban gempa.

- Pengaruh beban gempa, E , untuk penggunaan dalam kombinasi beban 3 dan 4 harus ditentukan sesuai dengan Pers. 2.23 dibawah ini:

$$E = E_h + E_v \quad (2.23)$$

- Pengaruh beban gempa, E , untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 dan 6 harus ditentukan sesuai dengan Pers. 2.24 dibawah ini:

$$E = E_h - E_v \quad (2.24)$$

Dimana:

E adalah pengaruh beban seismik

E_h adalah pengaruh beban seismik horizontal

E_v adalah pengaruh beban seismik vertikal

- Untuk pengaruh beban seismik horizontal, E_h , harus ditentukan dengan Pers. 2.25 dibawah ini:

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.25)$$

- Untuk pengaruh beban seismik vertikal, E_v , harus ditentukan dengan Pers. 2.26 dibawah ini:

$$E_v = 0,2S_{DS}DL \quad (2.26)$$

Faktor redundansi, ρ , harus dikenakan pada sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur.

Nilai ρ diijinkan sama dengan 1,0 untuk hal-hal berikut:

1. Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C
2. Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta
3. Desain komponen struktural
4. Desain struktur non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung
5. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan dan sambungan dimana kombinasi beban dengan faktor kuat lebih digunakan
6. Desain elemen struktur atau sambungan dimana kombinasi beban dengan faktor kuat lebih disyaratkan untuk desain
7. Struktur dengan sistem peredaman

Sedangkan nilai ρ sama dengan 1,3 untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, dan F, kecuali jika satu dari dua kondisi berikut terpenuhi, dimana ρ diijinkan diambil sebesar 1,0:

1. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau
2. Struktur dengan denah beraturan disemua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri paling sedikit dua bentang parameter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal disetiap tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, h_{sx} , untuk konstruksi rangka ringan.

Karena struktur direncanakan dengan denah beraturan dan di desain dengan dinding geser, maka diambil nilai ρ adalah 1,0.

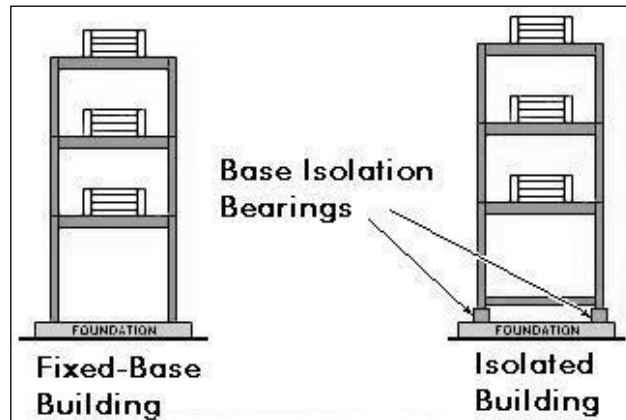
2.15 Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Berdasarkan SNI 2847;2013

Komponen struktur lentur pada SRPMK harus memenuhi syarat-syarat dibawah ini:

- 1) Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur, P_u , tidak boleh melebihi $A_g f'_c / 10$.
- 2) Bentang bersih komponen struktur, ℓ_n , tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
- 3) Lebar komponen, b_w , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari $0,3h$ dan 250 mm.
- 4) Lebar komponen struktur, b_w , tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu, c_2 , ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan yang lebih kecil dari (a) dan (b) :
 - a. Lebar komponen struktur penumpu, c_2 , dan
 - b. 0,75 kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu, c_1 .

2.16 Isolasi Dasar

Isolasi dasar adalah suatu desain struktur bangunan yang dilakukan dengan memasang jenis isolator tertentu pada dasar bangunan dengan tujuan membatasi respons struktur bangunan saat terjadi gempa dan merupakan teknologi yang digunakan untuk meredam kekuatan seismik, meminimalisir terjadinya kerusakan bangunan dan jumlah jatuhnya korban jiwa akibat terjadinya gempa bumi. Isolasi dasar diletakkan diantara kolom dan pondasi bangunan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5: Letak isolasi dasar pada struktur bangunan gedung.

Prinsip isolasi dasar adalah membedakan struktur bawah dengan struktur atas agar gaya gempa yang diterima struktur bawah (pondasi) tidak masuk ke struktur atas bangunan. Untuk mencegah terjadinya gaya gempa, struktur bangunan dibuat tidak mengikuti percepatan gempa (Muliadi dkk., 2014).

2.16.1 Elemen Dasar Isolasi dasar

Menurut Mayes & Naeim (2000), terdapat tiga elemen dasar pada sistem isolasi dasar, yaitu:

1. Pemasangan yang flexibel, sehingga getaran perioda total diperpanjang.
2. *Damper* atau energi peredam, sehingga lendutan relatif antar bangunan dan tanah dapat dikendalikan untuk desain praktis.
3. Alat untuk memberikan kekakuan pada bagian bawah struktur berdasarkan beban angin dan gempa ringan.

Menurut Taruna dan Singarimbun (2010), Prinsip utama cara kerja isolasi dasar jenis *elastomeric bearing* (HDRB atau LRB) adalah dengan memperpanjang waktu getar alami struktur diluar frekuensi dominan gempa sampai 2.5 atau 3 kali dari waktu getar struktur tanpa isolasi (*fixed base structures*) dan memiliki damping antara 10 s/d 20%. Akibatnya gaya gempa yang disalurkan ke struktur menjadi lebih kecil.

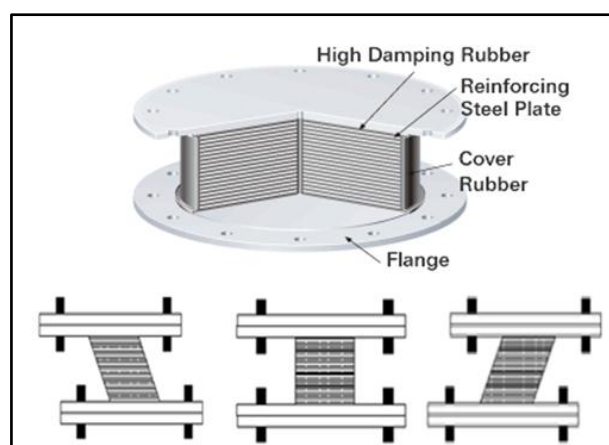
Sedangkan pada *friction pendulum system* (FPS), parameter yang berpengaruh terhadap besarnya reduksi gaya gempa yang bekerja pada struktur

adalah koefisien gesekan dan radius kelengkungan dari permukaan cekung bidang gelincir sistem FPS. Disamping itu satu hal yang unik dari sistem ini adalah waktu getar struktur tidak tergantung kepada massa bangunan tetapi tergantung kepada radius kelengkungan dan percepatan gravitasi Bumi.

2.16.2 High-Damping Rubber Bearing (HDRB)

High-damping rubber bearing merupakan salah satu jenis dari *Elestomeric Isolasi*. Menurut Budiono & Setiawan (2014), *High-damping rubber bearing* merupakan salah satu jenis *laminated rubber bearing* yang terbuat dari campuran senyawa karet dengan nilai rasio redaman yang tinggi. *High damping rubber bearing* memiliki nilai kekakuan awal yang tinggi sehingga mampu mengakomodasi gaya angin dan gempa ringan tanpa berdeformasi secara signifikan.

Dengan meningkatnya eksitasi gempa maka deformasi lateral akan meningkat dan modulus geser dari rubber akan menurun dan menghasilkan sistem isolasi dasar yang efektif (cukup fleksibel untuk memperpanjang periode struktur). Pada nilai regangan geser 250 hingga 300%, kekakuan horizontal akan meningkat kembali akibat pengaruh *hardening effects*. Pengaruh ini berfungsi sebagai “sekring” untuk membatasi deformasi yang melebihi batas gempa maksimum yang direncanakan. Perangkat HDRB dan mekanisme pergerakannya dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6: Perangkat HDRB dan mekanisme pergerakannya.

2.16.3 Prosedur Desain Isolasi dasar HDRB

Dalam mendesain isolasi dasar untuk jenis HDRB. Harus memperhatikan nilai yang terdapat pada material yang akan digunakan, seperti modulus geser dan dimensi yang akan digunakan. Menurut penelitian Farissi dan Budiono, nilai material yang dimaksud terdapat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16: Material isolasi jenis HDRB

HDRB <i>Material Properties</i>	
Diameter	1100 mm
Ketebalan karet	250 mm
Ketebalan tiap lapis	10 mm
Modulus Geser (G)	0.624 MPa
<i>Poition Ratio</i>	0.49
Berat jenis	1522 kg/m ³
Berat isolasi dasar	361.747 kg
K _{eff} (kekakuan efektif)	2359.10 kN/m
Q _y (kapasitas gaya leleh)	217.05 kN
K _d (kekakuan rencana)	1469.74 kN/m
K _u (kekakuan ultimit)	14697.42 kN/m
D _y (deformasi leleh)	0.02 m
Q _u (kapasitas ultimit)	575.74 kN
B (redaman)	24.89%

Salah satu parameter yang paling penting dalam mendesain isolasi HDRB adalah mencari nilai *shape factor* dengan Pers. 2.27.

$$S = \frac{\Phi}{4t} \quad (2.27)$$

dimana:

S = *shape factor*.

Φ = diameter lingkaran karet.

t = tebal karet per 1 lembar.

Umumnya desain yang bagus memiliki nilai *shape factor* antara 10-20. Selanjutnya mencari nilai kekakuan horizontal dan vertikal menurut Pers. 2.28 dan 2.29.

$$K_H = \frac{GA}{t_r} \quad (2.28)$$

$$K_V = \frac{E_c A_s}{t_r} \quad (2.29)$$

dimana:

K_H = kekakuan arah horizontal.

K_V = kekakuan arah vertikal.

A = luasan area bantalan.

t_r = tebal keseluruhan bantalan.

E_c = modulus elastisitas material.

A_s = luasan penyangga besi perletakan bantalan.

Pada Pers. 2.29 terdapat nilai modulus elastisitas (E_c) yang didapat dengan menggunakan Pers. 2.30 seperti dibawah ini:

$$E_c = 6GS^2 \quad (2.30)$$

Selain mencari kekakuan, *shape factor*, dan modulus elastisitas yang akan digunakan dalam mendesain isolasi HDRB, perlu mencari nilai regangan geser maksimum (γ) dengan menggunakan Pers. 2.31 seperti dibawah ini:

$$\gamma = \frac{D}{t_r} \quad (2.31)$$

dimana:

D = perpindahan horizontal maksimum.

2.17 Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen Sistem Isolasi Menurut SNI 1726;2012

Menurut SNI 1726;2012 pasal 12.4.1, prosedur gaya lateral ekuivalen sistem isolasi boleh digunakan untuk perencanaan struktur dengan isolasi seismik dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Struktur terletak disitus dengan S_1 kurang atau sama dengan 0.60g.
2. Struktur terletak pada kelas situs SA, SB, SC, atau SD.

3. Tinggi struktur diatas pemisah isolasi kurang atau sama dengan 4 lantai, atau 19.8 m dari tinggi struktur, h_n , diukur dari dasar.
4. Periode efektif struktur dengan isolasi pada perpindahan maksimum, T_M , kurang atau sama dengan 3.0 detik.
5. Periode efektif struktur dengan isolasi dengan perpindahan rencana, T_D , lebih besar 3 kali periode elastik struktur terjepit dari struktur diatas sistem isolasi.
6. Konfigurasi struktur diatas sistem isolasi adalah beraturan.
7. Sistem isolasi harus memenuhi semua kriteria berikut:
 - a. Kekakuan efektif sistem isolasi pada perpindahan rencana lebih besar dari 1/3 kekakuan efektif pada saat 20% perpindahan rencana.
 - b. Sistem isolasi mampu menghasilkan suatu gaya pemulih.
 - c. Sistem isolasi tidak membatasi perpindahan gempa maksimum yang dipertimbangkan lebih kecil dari perpindahan maksimum total.

2.17.1 Perpindahan Rencana

Menurut SNI 1726;2012 pasal 12.5.3.1 sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan perpindahan gempa lateral minimum (D_D) yang dicari menggunakan Pers. 2.32.

$$D_D = \frac{gS_{D1}T_D}{4\pi^2B_D} \quad (2.32)$$

dimana:

g = percepatan gravitasi.

S_{D1} = parameter percepatan spektral rencana dengan dengan redaman 5% pada periode 1 detik.

T_D = periode efektif struktur dengan isolasi seismik pada perpindahan rencana dalam arah yang ditinjau.

B_D = koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan rencana.

Koefisien redaman (B_D) yang termasuk pada Pers. 2.32 dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17: Koefisien redaman, B_D atau B_M .

Redaman Efektif, β_D atau β_M	Faktor B_D atau B_M
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2.0

2.17.2 Periode Efektif Pada Saat Perpindahan Rencana

Menurut SNI 1726;2012 pasal 12.5.3.2, periode efektif struktur yang di isolasi pada perpindahan rencana (T_D) di hitung dengan menggunakan Pers. 2.33.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Dmin}g}} \rightarrow K_{Dmin} = \frac{Wg}{\left(\frac{T_D}{2\pi}\right)^2} \quad (2.33)$$

dimana:

W = berat seismik efektif struktur diatas pemisah isolasi.

K_{Dmin} = kekakuan efektif minimum sistem isolasi.

g = percepatan gravitasi.

T_D = periode efektif struktur dengan isolasi seismik pada perpindahan rencana dalam arah yang ditinjau.

2.17.3 Perpindahan Maksimum

Menurut SNI 1726;2012 pasal 12.5.3.3, perpindahan maksimum sistem isolasi (D_M) arah yang paling menentukan dari respons horizontal sesuai Pers. 2.34 seperti dibawah ini:

$$D_M = \frac{gS_{M1}T_M}{4\pi^2 B_M} \quad (2.34)$$

dimana:

g = percepatan gravitasi.

S_{M1} = parameter percepatan spektral gempa maksimum yang dipertimbangkan dengan redaman 5% pada periode 1 detik.

T_M = periode efektif struktur dengan isolasi seismik pada perpindahan maksimum dalam arah yang ditinjau.

B_M = koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan maksimum.

2.17.4 Periode Efektif Pada Saat Perpindahan Maksimum

Menurut SNI 1726;2012 pasal 12.5.3.4, periode efektif struktur yang di isolasi pada perpindahan rencana (T_D) dihitung dengan menggunakan Pers. 2.35.

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Mmin}g}} \rightarrow K_{Mmin} = \frac{Wg}{\left(\frac{T_M}{2\pi}\right)^2} \quad (2.35)$$

dimana:

W = berat seismik efektif struktur diatas pemisah isolasi.

K_{Mmin} = kekakuan efektif minimum sistem isolasi, pada saat perpindahan maksimum.

g = percepatan gravitasi.

2.17.5 Perpindahan Total

Menurut SNI 1726;2012 pasal 12.5.3.5, bahwa perpindahan rencana total (D_{TD}) dan total perpindahan maksimum (D_{TM}) dari elemen sistem isolasi dengan distribusi spasial kekakuan lateral yang seragam tidak boleh diambil kurang dari nilai yang ditentukan oleh Pers. 2.36 dan 2.37.

$$D_{TD} = D_D \left(1 + y \frac{12e}{b^2+d^2}\right) \quad (2.36)$$

$$D_{TM} = D_M \left(1 + y \frac{12e}{b^2+d^2}\right) \quad (2.37)$$

dimana:

D_D = perpindahan rencana dititik pusat kekakuan sistem isolasi diarah yang ditinjau.

D_M = perpindahan maksimum dititik pusat kekakuan sistem isolasi diarah yang ditinjau.

y = jarak antara titik pusat kekakuan sistem isolasi dan elemen yang diinginkan dihitung tegak lurus dengan arah yang ditinjau.

- e = eksentrisitas sesungguhnya diukur dari denah antara titik pusat massa struktur di atas batas pemisah isolasi dan titik pusat kekakuan sistem isolasi, ditambah dengan eksentrisitas tak terduga, diambil sebesar 5% dari ukuran maksimum bangunan tegak lurus untuk arah gaya yang ditinjau.
- b = ukuran denah struktur tependek diukur tegak lurus terhadap d.
- d = ukuran terpanjang denah struktur.

2.18.6 Kekakuan Efektif Maksimum

Menurut Mayes dan Naeim (2000) pasal 14.7.9, nilai kekakuan efektif maksimum (K_{Dmax}) dan kekakuan efektif maksimum pada saat perpindahan maksimum (K_{Mmax}) diambil dari nilai K_{Dmin} dan K_{Mmin} ditambahkan 10% dari nilai tersebut.

2.17.7 Gaya Lateral Minimum

Menurut SNI 1726;2012 pasal 12.5.4 terdapat dua gempa gaya lateral minimum yang bekerja pada struktur isolasi, yaitu gaya lateral minimum yang berada dibawah sistem isolasi (V_b) dan gaya lateral minimum diatas sistem isolasi (V_s). Kedua gaya lateral minimum tersebut menggunakan Pers. 2.38 dan 2.39.

$$V_b = K_{Dmax}D_D \quad (2.38)$$

$$V_s = \frac{V_b}{R_1} \quad (2.39)$$

dimana:

K_{Dmax} = kekakuan efektif maksimum.

D_D = perpindahan rencana.

R_1 = koefisien numerik yang berhubungan dengan sistem gaya penahan.

Faktor R_1 harus bernilai 3/8 dari nilai R dengan nilai maksimum tidak lebih besar dari 2 dan nilai minimum tidak lebih kecil dari 1.

2.17.8 Distribusi Gaya Vertikal

Menurut SNI 1726;2012 pasal 12.5.5, gaya geser V_s harus di distribusikan ke seluruh tinggi struktur diatas batas pemisah isolasi sesuai Pers. 2.40.

$$F_x = \frac{V_s w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (2.40)$$

dimana:

V_s = gaya geser lateral gempa sesuai Pers 2.37.

w_x = bagian dari W yang ditempatkan di tingkat x.

h_x = tinggi tingkat x dari dasar.

F_x = bagian V yang bekerja di tingkat x.

2.17.9 Batas Simpangan Antar Lantai Pada Struktur Isolasi Dasar

Menurut SNI 1726;2012 pasal 12.5.6, bahwa simpangan antar lantai struktur diatas sistem isolasi tidak boleh melebihi 0.015 h_{sx} .

2.18 Analisis Beban Dorong

Analisis beban dorong statik (*static Pushover Analysis*) merupakan analisis perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk elastoplastis yang besar sampai ambang posisi keruntuhan.

Tujuan analisis beban dorong adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetilan atau stabilitasnya.

Dalam pengerjaan analisa beban dorong dilakukan terlebih dahulu asumsi sendi plastis (*hinges*) pada *software* analisis struktur, untuk mengetahui bentuk ketidak mampuan elemen struktur (balok dan kolom) menahan gaya dalam. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat balok lemah. Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh dahulu, maka struktur langsung hancur.

Menentukan metode yang digunakan untuk prosedur statik non-linier biasanya digunakan Metode Koefisien Perpindahan atau *Displacement Coefficient Method* (DCM) yaitu FEMA 356. Metode FEMA 356 dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C0, C1, C2 dan C3 sehingga dapat dihitung target perpindahan (δ_t) seperti Pers 3.6 sebagai berikut:

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 \cdot g \quad (2.41)$$

Dimana:

δ_t = target perpindahan

T_e = waktu getar alami efektif

C0= koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spectral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356.

C1 = faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastic maksimum dengan perpindahan respons elastis linier. Nilai

C1 = 1,0 untuk $T_e \geq T_s$ dan

$$C1 = \frac{[1 + (R-1) \frac{T_s}{T_e}]}{R} \text{ untuk } T_e < T_s$$

C2 = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 356.

C3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek Pdelta. Untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca leleh bernilai positif maka C3 = 1,0. Sedangkan untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh negatif,

$$C_3 = 1,0 + \frac{|a|(R-1)^{3/2}}{T_e}$$

rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastis efektif.

R = rasio “kuat elastis perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”.

S_a = akselerasi respon spektrum yang bekerja sesuai dengan waktu getar alami efektif pada arak yang ditinjau.

V_y = gaya geser dasar pada saat leleh.

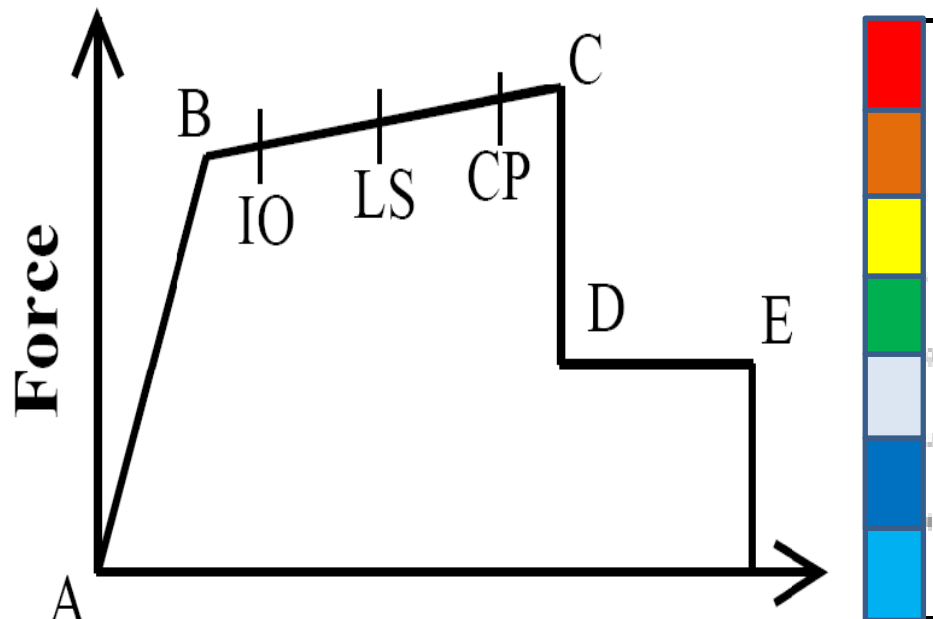
W = total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi.

C_m = faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356.

g = percepatan gravitasi 9,81 m/det².

Melakukan analisis respons struktur gedung saat menerima beban gempa, maka akan memikul *base shear*. *Base shear* tiap lantai merupakan fungsi dari massa (m) dan kekakuan (k) dari tiap lantai tersebut. *Base shear* mengakibatkan tiap lantai bergeser/*displacement* dari kedudukan semula. Saat gaya gempa bekerja, maka gedung akan merespon beban gempa tersebut dengan memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya-gaya dalam tersebut melebihi kemampuan/kapasitas gedung, maka gedung akan berperilaku in-elastis jika sifat struktur cukup daktail, tetapi langsung hancur apabila kurang daktail.

Sesudah dilakukan analisis maka dapat melihat kemampuan gedung dalam menahan gaya-gaya dalam berdasarkan kurva yang dikeluarkan dalam analisa beban dorong. Kurva tersebut akan membentuk suatu gambaran antara gaya geser yang bekerja (V) versus simpangan yang terjadi berdasarkan tingkatan sendi plastis.



Gambar 2.7 : Kurva tingkatan sendi plastis.

Dalam kerusakan sendi plastis terdapat tingkat-tingkatannya, penjelasan untuk tingkat-tingkatannya dapat dilihat pada Tabel 2.18 sebagai berikut:

Tabel 2.18: Tingkat kerusakan Struktur.

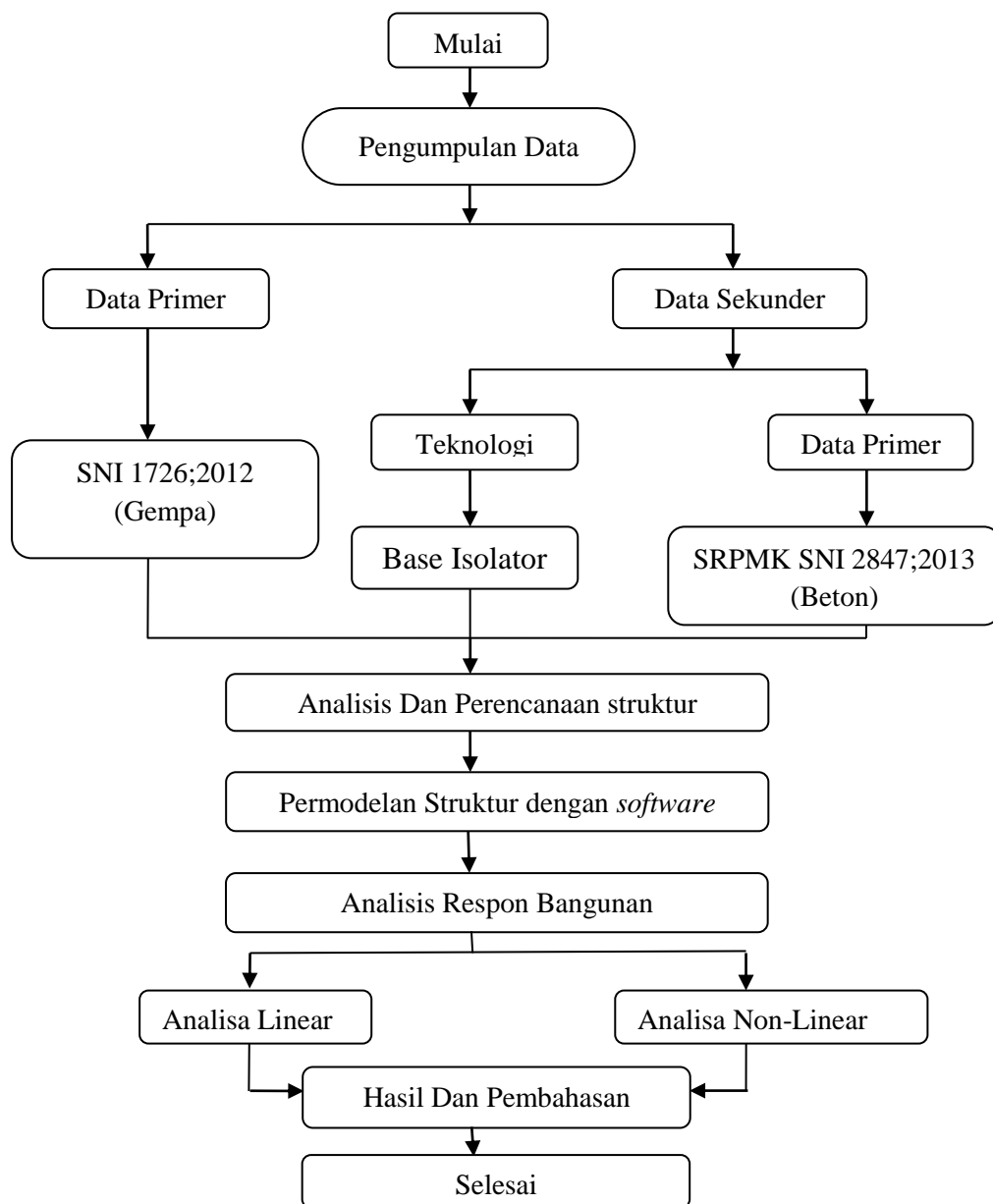
Keterangan	Simbol	Penjelasan
B		Menunjukkan batas linear yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur
10		Terjadinya kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa
1.S		Terjadinya kerusakan mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP		Terjadinya kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak
C		Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung
D		Terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir <i>collapse</i>
E		Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Bagan Alir/Flow Chart Penelitian

Langkah-langkah dalam pengerjaan penelitian ini disajikan dalam bentuk bagan alir (*flow chart*) yang mana bagan alir ini sebagai pedoman penelitian yang akan dilakukan dalam penulisan ini. Bagan alir tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Bagan alir (*flow chart*) penelitian.

3.2 Deskripsi Model Struktur

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisis statik non-linear struktur menggunakan struktur *open frame* guna untuk melihat kinerja dan perilaku struktur. Struktur dimodelkan tiga dimensi sebagai portal terbuka dengan menggunakan *software* analisis struktur.

Dimensi dari model struktur yang dibuat adalah 15 m x 15 m, dengan arah x dan arah y serta memiliki 3 segmen dengan masing-masing bentang sepanjang 5 meter sedangkan tinggi antar lantai sebesar 4 meter dan jumlah lantai 4 lantai menggunakan teknologi isolasi dasar yang berjenis HDRB.

Konstruksi bangunan yang akan dirancang merupakan bangunan gedung beton bertulang SRPMK. Pemodelan struktur terdiri dari 2 model, yaitu:

1. Perletakan jepit 4 lantai.
2. Isolasi dasar 4 lantai.

Bangunan gedung terletak di wilayah Padang. Fungsi gedung adalah untuk perkantoran yang terletak di tengah kota dan bangunan terletak diatas tanah keras.

3.3 Data Penelitian: Data Desain Pada *Software*

Data penelitian yang digunakan adalah data material, data desain balok dan kolom, desain plat dan pembebanan.

3.3.1 Data Material

a) Beton

- Kuat tekan beton $f_c = 30$ MPa.
- Modulus elastisitas beton $= 4700 \sqrt{f_c} = 25742.96$ MPa.
- Poison Ratio = 0.2.
- Berat jenis = 2400 kg/m^3 .

b) Tulangan

- Tegangan leleh tulangan utama (F_y) BJ40 = 400 MPa.
- Tegangan leleh tulangan sengkang (F_{ys}) BJ24 = 240 MPa.

3.3.2 Desain Balok dan Kolom

- a) Dimensi balok induk = 0.30 x 0.45 m, panjang balok = 5 m.
- b) Dimensi kolom lantai = 0.50 x 0.50 m, panjang kolom = 4 m.

3.3.3 Sistem Penahan Gaya Seismik

Struktur bangunan diasumsikan untuk gedung perkantoran dikota Padang yang memiliki klasifikasi tanah keras (*SC*) dan memiliki nilai S_{DS} sebesar 0.932 dan S_{D1} sebesar 0.52 dan termasuk dalam katagori risiko D, maka sistem penahan gaya seismik menggunakan SRPMK.

3.3.4 Desain Plat

- a) Selimut beton (SNI 2847;2013 Pasal 7.7.1)
 - Untuk plat yang tidak berhubungan langsung dengan cuaca = 40 mm.
 - Untuk plat yang berhubungan langsung dengan cuaca = 50 mm.
 - Untuk balok dan kolom = 40 mm.

- b) Tebal plat lantai (SNI 2847;2013 Pasal 9.5.3.3)

Plat yang digunakan diperhitungkan berdasarkan tebal minimum plat dengan Pers. 3.1 sebagai berikut:

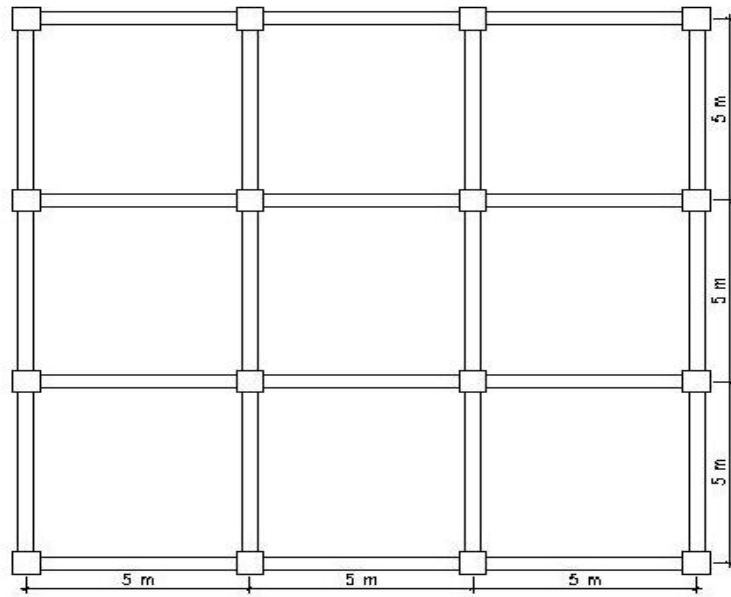
$$h = \ln x \frac{0.8 + \frac{fy}{1400}}{36+9x\beta} \quad (3.1)$$

$$h = 500 x \frac{0.8 + \frac{400}{1400}}{36+9x\beta}$$

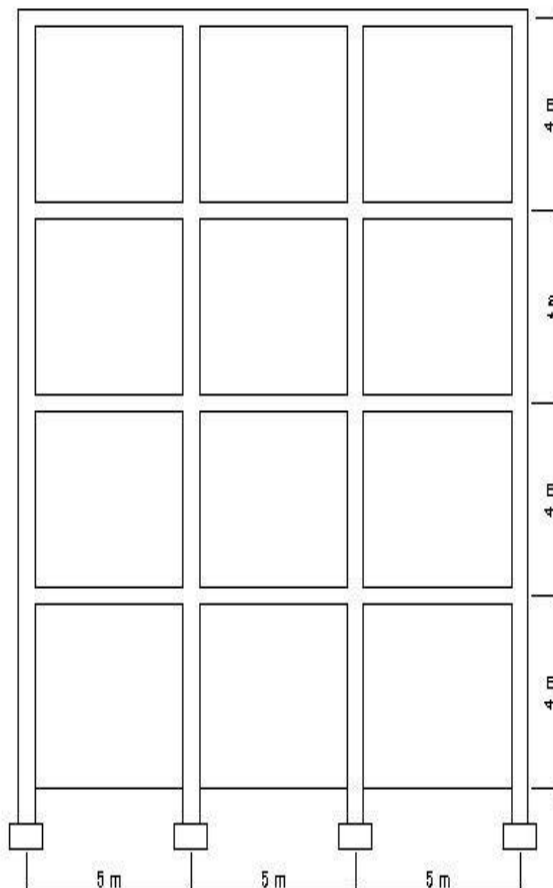
$$h = 11.85 \text{ cm}$$

Tebal pelat minimum 11.85 cm, maka tebal plat lantai yang dipakai pada setiap lantai diasumsikan 12 cm.

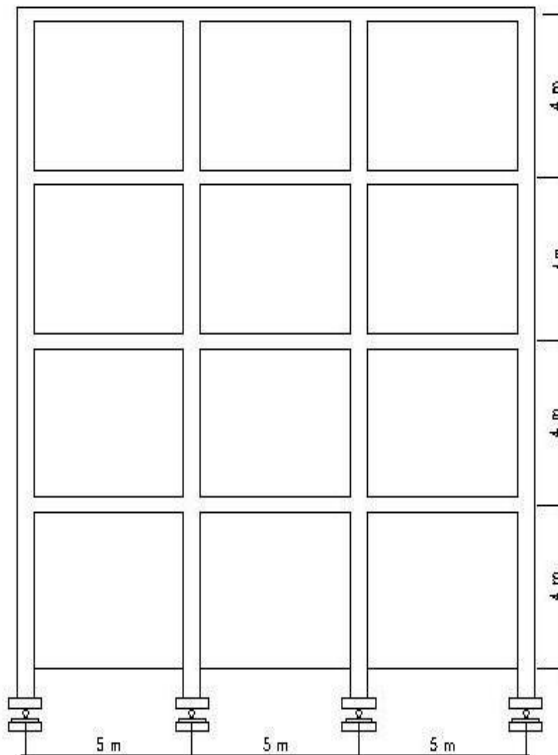
Gambar denah dalam perancangan struktur bangunan tampak atas dan depan dapat dilihat pada Gambar 3.2 sampai 3.4 sebagai berikut:



Gambar3.2: Denah struktur tampak atas.



Gambar 3.3: Model 1 denah struktur perletakan jepit tampak depan.



Gambar 3.4: Model 2 denah struktur dengan isolasi dasar.

3.3.5 Pembebanan

Berdasarkan sub SNI 727;2013 diperoleh data beban hidup seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Beban hidup pada lantai gedung.

Hunian atau Penggunaan	Beban Merata (kg/m ²)
Gedung perkantoran	
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian	
Lobi dan koridor lantai pertama	479
kantor	240
koridor diatas lantai pertama	383
Tangga dan jalan keluar	479
Atap datar	96

Nilai reduksi beban hidup menurut SNI 1727;2013 pasal 4.7.2 dengan menggunakan Pers 3.2 seperti berikut.

$$L = L_o \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right) \quad (3.2)$$

$$L = L_o \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{4 \times 225}} \right)$$

$$L = 0.4L_o$$

Berat sendiri struktur sudah dihitung secara otomatis oleh *software* berdasarkan input data dimensi dan karakteristik material. Untuk beban mati tambahan berdasarkan PPPURG 1987 Pasal 2.1.1 diperoleh data seperti pada Tabel 3.2.

Table 3.2: Beban Mati tambahan pada lantai gedung.

Jenis Material	Berat Jenis Material
Keramik	24 kg/m ²
Plafond dan penggantung	18 kg/m ²
<i>Water proofing</i>	5 kg/m ²
Spesi/adukan, per cm tebal dari semen	21 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah (1/2 batu)	250 kg/m ²

Beban-belan gravitasi dapat dirangkum pada masing-masing lantai sebagai berikut:

a) Untuk lantai 1-3:

Beban mati tambahan

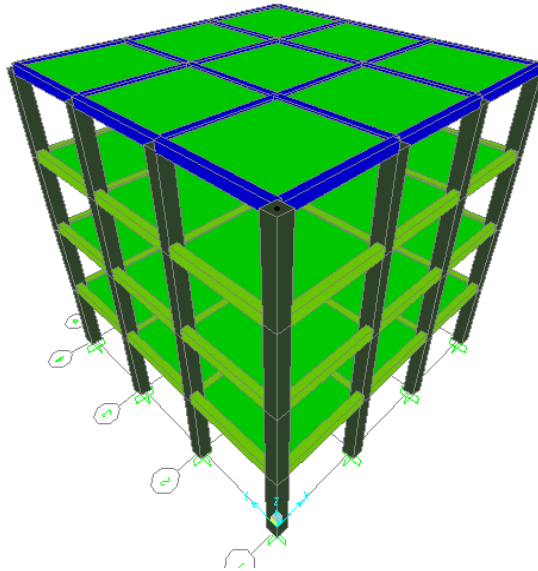
- Spesi (tebal 3cm) = 63 kg/m²
- Keramik = 24 kg/m²
- Plafond dan penggantung = 18 kg/m²
- Total beban mati tambahan = 105 kg/m²

b) Untuk lantai atap:

Beban mati tambahan

- Spesi (tebal 3cm) = 63 kg/m²
- Plafond dan penggantung = 18 kg/m²
- *Water proofing* = 5 kg/m²
- Total beban mati tambahan = 86 kg/m²

Gambar desain struktur bangunan pada *software* dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5: Model struktur bangunan dengan menggunakan *software* analisa struktur.

3.4 Metode Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726;2012

Berdasarkan SNI 1726;2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, terlebih dahulu harus ditentukan kategori resiko bangunan yang akan direncanakan yaitu bangunan yang digunakan sebagai gedung perkantoran, dengan kategori resiko II dan faktor keutamaan gempa adalah 1,0. Bangunan direncanakan berada dikota Padang.

Penentuan kategori desain seismik dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menentukan nilai spektral percepatan (S_s) dan spektral percepatan (S_1) untuk kota Padang yang dapat dilihat pada Peta Zonasi Gempa tahun 2012 yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dibawah ini.

Berdasarkan Peta Zonasi Gempa 2012 dan menurut Puskim, maka:

- $PGA = 0.515 \text{ g}$
- $S_s = 1.398 \text{ g}$
- $S_1 = 0.6 \text{ g}$

Untuk kategori resiko bangunan adalah II dan faktor keutamaan gempa I_e adalah 1,0. Karena tidak dilakukannya penyelidikan geoteknik, maka diasumsikan klasifikasi situs berada di SC (tanah keras). Langkah-langkah yang dilakukan dalam membuat spektrum respon gempa rencana sebagai berikut:

- 1) Penentuan faktor amplikasi terkait spektra percepatan untuk periode pendek (F_a) dan periode 1,0 detik (F_v)

Tabel 3.3: Interpolasi koefisien situs, F_a dan F_v (SNI 1726;2012).

Koefisien situs F_a dan F_v , untuk kota Padang		
Kelas situs	F_a ($S_s = 1.398$)	F_v ($S_1 = 0,515$)
SC – tanah keras	1.00	1.30

- 2) Penentuan nilai spektra percepatan untuk periode pendek (S_{MS}) dan periode 1,0 detik (S_{M1})

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{MS} = 1,00 \times 1.398 = 1.398$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

$$S_{M1} = 1.30 \times 0.6 = 0.780$$

- 3) Penentuan respons spektra percepatan desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1,0 detik (S_{D1})

$$S_{DS} = \mu \times S_{MS}$$

$$S_{D1} = \mu \times S_{M1}$$

dimana:

μ merupakan konstanta yang tergantung pada peraturan perencanaan bangunan yang digunakan, misalnya untuk IBC-2009 dan ASCE 7-10 dengan gempa 2500 tahun menggunakan nilai μ sebesar $2/3$ tahun.

Tabel 3.4: Nilai S_{DS} dan S_{D1} untuk kota Padang.

Nilai S_{DS} , dan S_{D1} untuk kota Padang		
Kelas situs	$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS}$	$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1}$
SC – tanah keras	$2/3 \times 1.398 = 0.932$	$2/3 \times 0.780 = 0.520$

Tabel 3.5: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek.

Nilai S_{DS}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} > 0.167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 3.6: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.

Nilai S_{D1}	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} > 0.067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Berdasarkan tabel diatas untuk penentuan kategori desain seismik untuk kota Padang adalah kategori desain seismik D.

4) Penentuan nilai T_0 dan T_s

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{0.520}{0.932} = 0.558$$

$$T_0 = 0.2 \times T_s$$

$$T_0 = 0.2 \times 0.558 = 0.112$$

5) Penentuan nilai S_a

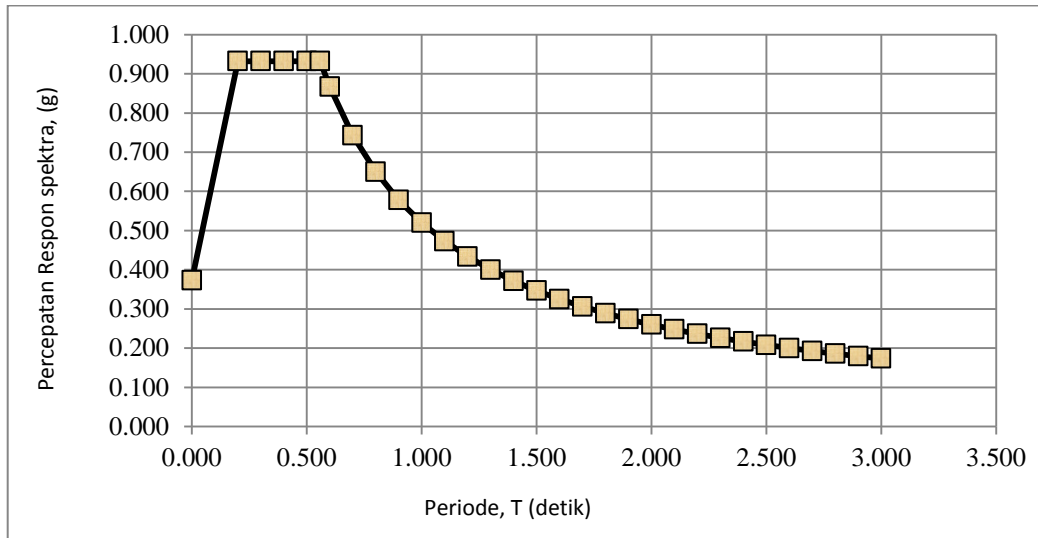
- Untuk periode lebih kecil dari T_0 , respon spektrum percepatan desain (S_a) diperoleh dari Pers. 3.3 seperti berikut:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.3)$$

- Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respon percepatan desain (S_a) sama dengan S_{DS}

- Untuk periode yang lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain (S_a) diperoleh dari Pers. 3.4 seperti berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.4)$$



Gambar 3.6: Grafik spektrum respons gempa rencana.

Nilai yang dimasukkan ke *software* untuk *Define Response Spektrum Function* adalah nilai yang ada pada tabel dibawah ini yang dilakukan dengan cara *copy* data dan *paste* ke dalam *Notepad*, karena dalam *software* tidak bisa menerima data dalam format *Ms-Excel*.

Tabel 3.7: Data spektrum respons berdasarkan SNI 1726;2012 Kota Padang untuk tanah keras.

Data yang Diperoleh	
T (detik)	KoefisienGempa C
0.000	0.373
$T_0 = 0.112$	0.932
0.200	0.932
0.300	0.932
0.400	0.932
$T_s = 0.558$	0.932
0.600	0.867
0.700	0.743
0.800	0.650
0.900	0.578

Tabel 3.7: *Lanjutan.*

Data yang Diperoleh	
T (detik)	Koefisien Gempa C
1.000	0.520
1.100	0.473
1.200	0.433
1.300	0.400
1.400	0.371
1.500	0.347
1.600	0.325
1.700	0.305
1.800	0.289
1.900	0.274
2.000	0.260
2.100	0.248
2.200	0.236
2.300	0.226
2.400	0.217
2.500	0.208
2.600	0.200
2.700	0.193
2.800	0.186
2.900	0.179
3.000	0.173

Nilai spektrum respons tersebut dikalikan dengan faktor skala yang besarnya ditentukan dengan Pers. 3.5 berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor skala} &= \frac{I}{R} \times g && (3.5) \\
 &= 1/8 \times 9.81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 1.226
 \end{aligned}$$

3.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang akan diinput kedalam *software* untuk $\rho = 1$ dan $S_{DS} = 0,932$ adalah sebagai berikut:

Tabel 3.8: Tabel kombinasi pembebanan untuk $\rho = 1$ dan $S_{DS} = 0.932$.

KOMBINASI PEMBEBANAN									
Kombinasi	Koefisien		Koefisien		Koefisien		Koefisien		
Kombinasi 1	1.4	DL							
Kombinasi 2	1.2	DL	1.6	LL					
Kombinasi 3	1.44	DL	1	LL	0.3	EX	1	EY	
Kombinasi 4	0.96	DL	1	LL	-0.3	EX	-1	EY	
Kombinasi 5	1.07	DL	1	LL	0.3	EX	-1	EY	
Kombinasi 6	1.33	DL	1	LL	-0.3	EX	1	EY	
Kombinasi 7	1.44	DL	1	LL	1	EX	0.3	EY	
Kombinasi 8	0.96	DL	1	LL	-1	EX	-0.3	EY	
Kombinasi 9	1.33	DL	1	LL	1	EX	-0.3	EY	
Kombinasi 10	1.07	DL	1	LL	-1	EX	0.3	EY	
Kombinasi 11	1.14	DL			0.3	EX	1	EY	
Kombinasi 12	0.66	DL			-0.3	EX	-1	EY	
Kombinasi 13	0.77	DL			0.3	EX	-1	EY	
Kombinasi 14	1.03	DL			-0.3	EX	1	EY	
Kombinasi 15	1.14	DL			1	EX	0.3	EY	
Kombinasi 16	0.66	DL			-1	EX	-0.3	EY	
Kombinasi 17	1.03	DL			1	EX	-0.3	EY	
Kombinasi 18	0.77	DL			-1	EX	0.3	EY	

SNI 1726;2012 pasal 7.3.4.2 menyebutkan bahwa untuk katagori dasain seismic D, E atau F nilai ρ dapat diambil = 1 bila masing masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar pada arah yang ditinjau memenuhi persyaratan, selain dari persyaratan tersebut nilai ρ harus diambil = 1,3. Dalam penulisan ini menggunakan $\rho = 1$ karena memenuhi syarat berdasarkan pengecekan $35\% \text{ Base shear} < \text{strory shear}$.

3.6 Desain Isolasi Dasar

Isolasi dasar yang digunakan adalah jenis HDRB, material jenis HDRB adalah suatu produk pabrikan yang mana material-material sudah ditentukan oleh pihak produksinya. Adapun material isolasi jenis HDRB yang dimaksud terdapat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9: Nilai dasar material isolasi HDRB (Farissi dan Budiono).

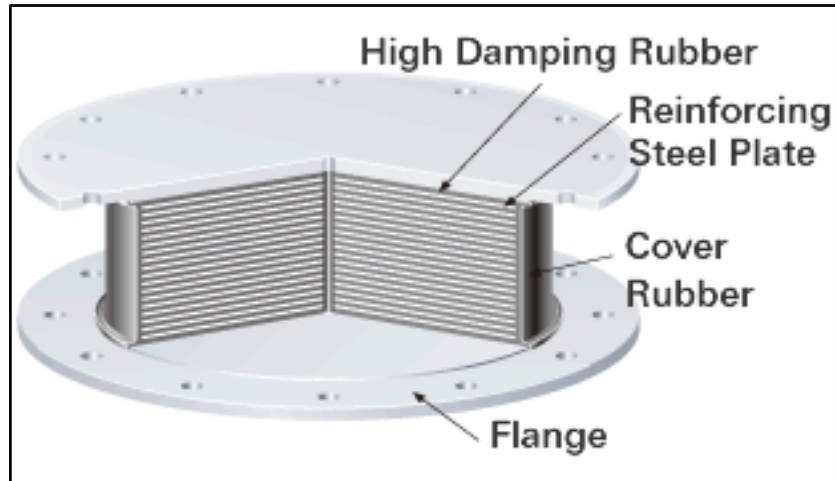
HDRB Material Properties	
Diameter	1100 mm
Ketebalan karet	250 mm
Ketebalan tiap lapis	10 mm
Modulus Geser (G)	0.624 Mpa
Poitio Ratio	0.49
Berat jenis	1522 kg/m ³
Berat isolasi dasar	361.747 kg
K _{eff} (kekakuan efektif)	2359.10 kN/m
Q _y (kapasitas gaya leleh)	217.05 Kn
K _d (kekakuan rencana)	1469.74 kN/m
K _u (kekakuan ultimit)	14697.42 kN/m
D _y (deformasi leleh)	0.02 m
Q _u (kapasitas ultimit)	575.74 Kn
B (redaman)	24.89%

Sesuai sub bab 2.17.3, nilai-nilai parameter yang diambil dalam mendesain isolasi dasar terdapat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10: Nilai-nilai parameter desain isolasi dasar HDRB.

Isolasi dasar tanpa dinding bata dan dengan dinding bata		
Variabel yang dicari	Persamaan	Hasil
<i>Shape factor</i> (S)	Pers. 2.27	27.5
Kekakuan horizontal (K _H)	Pers. 2.28	2372.98 N/mm
Kekakuan vertikal (K _V)	Pers. 2.29	4077216 N/mm
Modulus elastisitas (E _C)	Pers. 2.30	2831 Mpa
Regangan geser maksimum (γ)	Pers. 2.31	0.9277

Pemodelan desain isolasi dasar HDRB pada *software* dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7: Pemodelan desain isolasi dasar yang akan diinput pada *software*.

3.7 Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen Sistem Isolasi Menurut SNI 1726;2012.

Sesuai sub bab 2.18, nilai-nilai yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11: Nilai-nilai prosedur dalam mencari gaya lateral ekuivalen.

Struktur isolasi dasar		
Variabel yang dicari	Persamaan	Hasil
Kekakuan efektif minimum (K_{Dmin})	Pers. 2.33	702829.30 kg/m
Kekakuan efektif minimum saat perpindahan maksimum (K_{Mmin})	Pers. 2.35	488075.90 kg/m
Kekakuan efektif maksimum (K_{Dmax})	Sub bab 2.18.6	773112.26 kg/m
Kekakuan efektif maksimum saat perpindahan maksimum (K_{Mmax})	Sub bab 2.18.6	536883.51 kg/m
Perpindahan rencana total (D_{TD})	Pers. 2.36	0.231928 m
Total perpindahan maksimum (D_{TM})	Pers. 2.37	0.278314 m
Gaya lateral minimum yang berada dibawah sistem isolasi (V_b)	Pers. 2.38	155918.91 kg
Gaya lateral minimum diatas sistem isolasi (V_s)	Pers. 2.39	77959.46 kg

3.8 Analisis Non Linear Beban Dorong

Analisis beban dorong statik (*static Pushover Analysis*) merupakan analisis perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa dimana pengaruh gempa

rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menampak pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk elastoplastis yang besar sampai ambang posisi keruntuhan.

Adapun tahapan analisis beban dorong (*pushover*) dengan menggunakan *software* analisis struktur sebagai berikut:

1. Menentukan identitas analisis *static PUSH*.
2. Memasukan data gravitasi.
 - Input Pembebanan.
 - Mati = faktor pengali = 1
 - *SDL (Super dead load)* = faktor pengali = 1
 - Hidup = faktor pengali = 1
3. Distribusi beban dorong *PUSH* pada struktur gedung.
 - Distribusi beban dorong *PUSH* yang di input pada *software* adalah 1kN.
4. Menentukan properti sendi.
 - Properti sendi pada balok

Balok menggunakan Auto M3 balok efektif menahan momen pada sumbu 3, angka 0 dan 1 merupakan identitas dua titik nodal balok, *case/combo* di pilih *COMB 19*, karena *COMB 19* merupakan penggabungan dari semua kombinasi menurut SNI 1726;2013.

- Properti sendi pada kolom

Kolom menggunakan kolom menggunakan Auto P-M2-M3 (hubungan aksial dengan momen), angka 0 dan 1 merupakan identitas dua titik nodal balok, *case/combo* di pilih *COMB 19*, karena *COMB 19* merupakan penggabungan dari semua kombinasi menurut SNI 1726;2013.

5. Memasukan data *static non-linier*.

adapun perletakan titik tinjau dari 2 gedung yang akan dianalisis sebagai berikut:

1. Model A dengan titik tinjau di *joint* 80 yang terletak pada lantai atap gedung.

2. Model B dengan titik tinjau di *joint* 80 yang terletak pada lantai atap gedung dan dengan titik tinjau di *joint* 36 yang terletak pada lantai base.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.8 Tinjauan Umum

Dalam bab ini akan membahas beberapa nilai hasil analisis yang didapat dari *software* analisis struktur.

1. Perletakan jepit SRPMK 4 lantai.
2. Isolasi dasar SRPMK 4 lantai.

Data yang hasil diperoleh diantaranya berat sendiri bangunan, berat total bangunan, perioda struktur alami, gaya geser seismik dasar, distribusi vertikal gaya gempa, kekakuan struktur, nilai simpangan, kurva kemampuan gedung berdasarkan beban dorong, simpangan non linear.

3.9 Hasil Analisis

Pada *software* berat sendiri per lantai dapat dihitung secara otomatis. Adapun hasil berat sendiri per lantai struktur bangunan yang dihitung otomatis oleh *software* dapat dilihat dari Tabel 4.1.

Table 4.1: Hasil berat sendiri bangunan per lantai struktur bangunan.

<i>Group</i>	<i>SelfMass</i>	<i>SelfWeight</i>	<i>TotalMassX</i>	<i>TotalMassY</i>	<i>TotalMassZ</i>
ALL	56851.22	557520	56851.22	56851.22	56851.22
LANTAI 1	14488.13	142080	14488.13	14488.13	14488.13
LANTAI 2	14488.13	142080	14488.13	14488.13	14488.13
LANTAI 3	14488.13	142080	14488.13	14488.13	14488.13
LANTAI 4	14488.13	142080	14488.13	14488.13	14488.13

3.10 Penentuan Berat Total per Lantai (Wt)

Untuk perhitungan analisis statik ekuivalen dibutuhkan berat total per lantai, maka berat total per lantai bisa didapat dengan menjumlahkan antara berat sendiri, berat mati dan berat hidup. Adapun perhitungan berat total per lantai dapat dilihat

pada lampiran. Rekapitulasi berat total per lantai struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Rekapitulasi berat total per lantai struktur bangunan.

Lantai	Beban sendiri	Beban SDL	Beban hidup	Total beban (Wt)
1	142080.00	119475.00	21600.00	283155.00
2	142080.00	119475.00	21600.00	283155.00
3	142080.00	119475.00	21600.00	283155.00
4	142080.00	105615.00	8640.00	253335.00
Total				1105800.00

Pada Tabel 4.2 beban mati tambahan dan beban hidup dapat dilihat pada lampiran

3.11 Penentuan Perioda Alami Struktur (T_1)

Dari model struktur pada *software* diperoleh waktu getar alami fundamental struktur gedung tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Waktu getar alami struktur bangunan.

<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>SumUX</i>	<i>SumUY</i>
1	0.55874	0.836	0.000
2	0.55874	0.836	0.836
3	0.50336	0.836	0.836
4	0.17214	0.943	0.840
5	0.17214	0.947	0.947
6	0.15576	0.947	0.947
7	0.09273	0.981	0.953
8	0.09273	0.988	0.988
9	0.08441	0.988	0.988
10	0.06338	0.993	0.995
11	0.06338	1.000	1.000
12	0.05777	1.000	1.000

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa berbagai macam respon metode respon dan partisipasi massa hasil respon total harus mencapai sekurang-sekurangnya 90%. Jadi dari Tabel 4.3 partisipasi massa mencapai 100% sehingga model tersebut memenuhi syarat. Dapat dilihat persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC atau SRSS pada *software* pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Hasil persentase nilai perioda.

<i>Mode</i>	<i>Persentase (%)</i>	<i>CQC < 15%</i>	<i>SRSS > 15%</i>
T1-T2	0.0	<i>OK</i>	<i>NO OK</i>
T2-T3	9.91	<i>OK</i>	<i>NO OK</i>
T3-T4	65.80	<i>NO OK</i>	<i>OK</i>
T4-T5	0.00	<i>OK</i>	<i>NO OK</i>
T5-T6	9.51	<i>OK</i>	<i>NO OK</i>
T6-T7	40.47	<i>NO OK</i>	<i>OK</i>
T7-T8	0.00	<i>OK</i>	<i>NO OK</i>
T8-T9	8.98	<i>OK</i>	<i>NO OK</i>
T9-T10	24.91	<i>NO OK</i>	<i>OK</i>
T10-T12	0.00	<i>OK</i>	<i>NO OK</i>
T11-T12	8.86	<i>OK</i>	<i>NO OK</i>

Dari Tabel 4.4 dapat ditentukan jenis perhitungan menggunakan *CQC* pada *software* karena lebih banyak yang memenuhi syarat $CQC < 15\%$.

3.12 Periode Fundamental Pendekatan (T_a)

Menurut SNI 1726;2012 pasal 7.8.2, periode (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode pendekatan fundamental (T_a), yang mana periode fundamental dihitung pada Pers. 4.1 dan 4.2.

$$T_a = 0.1N \quad (4.1)$$

$$T_{amax} = T_a \times C_u \quad (4.2)$$

Dimana Pers. 4.1 dipakai dengan syarat gedung tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka pemikul momen beton dan

tinggi tingkat paling sedikit 3 meter, nilai C_u yang digunakan berdasarkan nilai dari $S_{D1} = 0.52$, maka nilai C_u diambil dari Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Nilai koefisien batas atas (C_u).

Parameter Percepatan Respon Spektar Desain Pada 1 Detik, S_{D1}	Koefisien C_u
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

Dari Tabel 4.5 dapat diambil nilai Koefisien C_u sebesar 1.4 dan pengecekan nilai perioda yang dihitung oleh *software* dengan persyaratan maksimum nilai perioda dapat dilihat pada Table 4.6.

Tabel 4.6: Pengecekan nilai perioda.

SYARAT PERIODA				
Arah	$T_a = 0.1 * N$	$T_a \text{ Max} = C_u * T_a$	T hasil dari <i>software</i>	CEK
X	0.400	0.560	0.548	OK
Y	0.400	0.560	0.548	OK

Nilai perioda yang digunakan 0.548 karena memenuhi persyaratan, yaitu tidak kurang dari nilai batas bawah dan tidak lebih dari nilai batas atas.

3.13 Penentuan Gaya Geser seismic (V)

Menurut SNI 1726;2012 pasal 7.8.1, nilai gaya geser nominal statik ekuivalen (v) masing-masing arah dapat ditentukan berdasarkan Pers. 4.3 dan dirangkum seperti pada Tabel 4.8.

$$V = C_s W \quad (4.3)$$

Menurut SNI 1726;2012 pasal 7.8.1.1 dimana nilai C_s diambil dari Pers. 4.4.

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (4.4)$$

C_s yang dihitung pada Pers. 4.4 tidak boleh melebihi nilai yang dihitung menurut Pers. 4.5 dan tidak kurang dari nilai yang dihitung menurut Pers. 4.6 dan sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi didaerah dimana s_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g maka C_s harus tidak kurang dari Pers. 4.7

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (4.5)$$

$$C_s = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01 \quad (4.6)$$

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (4.7)$$

Hasil nilai C_s yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Nilai C_s yang digunakan.

PERHITUNGAN NILAI C_s					
Arah	Cs Max- SDS / (R/I)	CS Hitungan - SD1 / (T*(R/I)	CS Min - 0.004*SDS*I	CS Tambahan - 0.5*S1/(R/I)	CS Yg digunakan
T1	0.117	0.119	0.038	0.0375	0.117
T2	0.117	0.119	0.038	0.0375	0.117

Dari Tabel 4.7 diatas telah disepakatikan nilai C_s yang dibutuhkan untuk mencari nilai gaya geser dasar struktur bangunan dengan Pers. 4.3. Nilai gaya geser dasar (V) untuk arah x dan y dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8: Gaya geser nominal statik ekuivalen (V).

Wt (kg)	$V_{\text{arah x}}$ (kg)	$V_{\text{arah y}}$ (kg)
1105800.00	129378.60	129378.60

Dari Tabel 4.8 didapat hasil gaya geser nominal statik ekuivalen antara arah x dan arah y memiliki nilai yang sama, yaitu sebesar 129378.60 kg.

3.14 Penentuan Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Distribusi vertikal gaya gempa ditentukan berdasarkan Pers. 4.8 dan 4.9.

$$F_i = C_{vx}V \quad (4.8)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (4.9)$$

Dikarenakan nilai V arah x dan y pada sturuktur portal terbuka yang bernilai sama, maka nilai Fi pada arah x dan y bernilai sama pula. Pada sub bab 2.5, nilai k diambil dari nilai periode yang terjadi. Pada struktur ini diambil dengan interpolasi antara nilai 1 dan 2 karena nilai periode lebih besar dari 0,5 yaitu 0.559 ($0,5 < T < 2,5$), maka nilai dari hasil interpolasi sebesar 1.029. Nilai Fi masing-masing arah pada struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Nilai F_{ix} dan F_{iy} tiap lantai.

Lantai (i)	Wi (kg)	Hi ^k (m)	wi . (Hi ^k) (kg.m)	Fi (kg)	Story Shear
Lantai 4	256335.00	17.36	4449306.18	49234.10	49234.10
Lantai 3	283155.00	12.91	3655110.36	40445.87	89679.98
Lantai 2	283155.00	8.50	2407894.88	26644.73	116324.70
Lantai 1	283155.00	4.17	1179686.00	13053.90	129378.60
Total	1105800.00		11691997.43	129378.60	

Dari Tabel 4.9 maka didapat nilai F_i yang akan diinput pada *software* dengan cara mendistribusikan kesetiap join pada tiap lantai sedangkan *Story shear* adalah selisih gaya tiap lantai.

3.15 Spektrum Respons Ragam

Berdasarkan SNI 1726;2012 pasal 7.3.4, faktor redundansi (ρ) harus dikenakan pada sitem penahan gaya seismik dalam masing-masing kedua arah orthogonal. SNI 1726;2012 pasal 7.3.4.2 menyebutkan bahwa untuk katagori dasain seismic D, E atau F nilai ρ dapat diambil = 1 bila masing masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar pada arah yang ditinjau memenuhi persyaratan, selain dari persyaratan tersebut nilai ρ harus diambil = 1,3. Gaya geser gedung tiap lantai dengan pengecekan 35% V *base shear* dengan nilai redundansi (ρ) = 1 dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10: Pengecekan *story shear* dengan 35% gaya geser dasar redundansi 1 ($\rho=1$).

Struktur perletakan jepit					
No	Lantai Ke-	Arah X,Y			Cek 35% V Base Shear <Story Shear (V_x)
		Story Shear (V_x) (kg)	Base Shear (V_x) (kg)	35% V Base Shear $p=1$ (kg)	
1	4	49234.10	129378.60	45282.51	OK
2	3	89679.98	129378.60	45282.51	OK
3	2	116324.70	129378.60	45282.51	OK
4	1	129378.60	129378.60	45282.51	OK

Pada pengecekan *story shear* dengan 35% gaya geser dasar redundansi 1 bangunan tiap lantai telah memenuhi syarat, maka redundansi yang dipakai dalam kombinasi pembebanan cukup menggunakan redundansi 1 ($\rho=1$).

3.16 Gaya Geser Analisis Respon Spektrum

Gaya geser analisis respons spektrum yang telah diproses pada *software* dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11: Gaya geser respons spektrum stuktur bangunan.

TABLE: Base Reactions			
Struktur perletakan jepit			
OutputCase	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Kg	Kg
GEMPA X	Max	53914	16138.91
GEMPA Y	Max	16139	53913.62

Menurut (Riza, 2010), sebelum mendapatkan data hasil gaya geser analisis respons spektrum dari *software* terdapat faktor skala gempa arah x 100% dan arah y 30% dari arah x, yaitu:

- Faktor skala gempa arah x = $g \times I / R = 9.81 \times 1/8.0 = 1.226$
- Faktor skala gempa arah y = 30% arah x = 0.367
- Skala diatas untuk gempa X, untuk gempa Y nilai diatas dibalik.

Menurut SNI 1726;2012 pasal 7.9.4 bahwa nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 85% nilai respon ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal V , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut Pers. 4.10.

$$0.85 \frac{V}{V_t} \quad (4.10)$$

Dimana V adalah gaya geser dasar nominal sebagai respons ragam yang pertama terhadap pengaruh Gempa Rencana menurut Pers. 4.3 sebelumnya. Hasil pengecekan pada gaya respons spektrum dengan Pers. 4.10 dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12: Pengecekan gaya geser respons spektrum.

Struktur perletakan jepit				
Arah	V	V_1	$0.85*V_1$	Cek $V \geq 0.85V_1$
X	53913.62	129378.60	109971.81	<i>NOT OK</i>
Y	53914	129378.60	109971.81	<i>NOT OK</i>

Pada Tabel 4.12 diatas dapat dilihat bahwa pada struktur perletakan jepit pengecekan tidak sesuai syarat yang dianjurkan sesuai pasal 7.9.4 SNI 1726;2012. Oleh karena itu, untuk memenuhi persyaratan menurut pasal 7.9.4, maka gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh Gempa Rencana sepanjang tinggi struktur gedung analisis ragam spektrum respons dalam suatu arah tertentu, harus dikalikan nilainya dengan suatu Faktor Skala dengan Pers. 4.11.

$$\text{Faktor Skala} = 0.85V_1/V \geq 1 \quad (4.11)$$

Dengan menggunakan Pers. 4.11, mencari faktor skala untuk memenuhi persyaratan dengan hasil faktor skala sebagai berikut:

1. Gempa X

- $F_x \Rightarrow U_1 = (0.85 \times 129378.60) / 53913.62 = 2,04$
- $F_y \Rightarrow U_2 = (0.85 \times 129378.60) / 16139 = 6,81$

2. Gempa Y

- $F_x \Rightarrow U1 = (0.85 \times 129378.60) / 16138.91 = 6.81$
- $F_y \Rightarrow U2 = (0.85 \times 129378.60) / 53913.62 = 2.04$

Dari hasil faktor skala diatas dikalikan dengan faktor skala gempa arah x dan y pada *software*, adapun pengaliannya sebagai berikut:

1. Gempa X

- $F_x \Rightarrow U1 = 2,04 \times 1.23 = 2.50 (\geq 1)$
- $F_y \Rightarrow U2 = 6,81 \times 0.37 = 2.51 (\geq 1)$

2. Gempa Y

- $F_x \Rightarrow U1 = 6.81 \times 0.37 = 2.51 (\geq 1)$
- $F_y \Rightarrow U2 = 2.04 \times 1.23 = 2.50 (\geq 1)$

Gempa di arah X dan Y di kalikan dengan faktor skala sehingga didapatkan hasil gaya geser respons spektrum yang berbeda sehingga memenuhi persyaratan yang ditentukan menurut SNI 1726;2012 pasal 7.9.4. Hasil dan pengecekannya dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan 4.14.

Tabel 4.13: Hasil gaya geser respons spektrum setelah dikalikan faktor skala.

TABLE: <i>Base Reactions</i>			
Struktur perletakan jepit			
<i>OutputCase</i>	<i>StepType</i>	<i>GlobalFX</i>	<i>GlobalFY</i>
<i>Text</i>	<i>Text</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
GEMPA X	<i>Max</i>	109994.23	110233.97
GEMPA Y	<i>Max</i>	110233.98	109994.23

Adapun pengecekan gaya geser respons spektrum dengan statik ekivalen dapat dilihat pada Tabel 4.14 seperti dibawah ini:

Tabel 4.14: Pengecekan gaya geser respons spektrum.

Struktur perletakan jepit				
Arah	V	V ₁	0.85*V ₁	Cek $V \geq 0.85V_1$
X	109994.23	129378.60	109971.81	OK
Y	109994.23	129378.60	109971.81	OK

Nilai gaya geser respons spektrum telah memenuhi syarat cek $V \geq 0.85V_1$.

3.17 Nilai Simpangan Gedung (Nilai Respon Bangunan)

Berdasarkan peraturan SNI 1726;2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimate. Nilai simpangan antar lantai yang diperbesar didapat berdasarkan rumus Pers. 4.12.

$$\text{Story drift} = \frac{\delta_i \cdot C_d}{I_e} \quad (4.12)$$

Keterangan :

δ_i = Simpangan antar tingkat

C_d = Faktor pembesaran defleksi

I_e = Faktor keutamaan gedung

Nilai simpangan antara arah x dan y memiliki nilai yang sama. Nilai simpangan dan pengecekan *story drift* terdapat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15: Nilai simpangan gedung arah x dan y pada kinerja batas ultimit.

Struktur perletakan jepit						
Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Perpindahan	Perpindahan antar tingkat (δ_i)	Simpangan yang diperbesar	Syarat (Δa) 0,020*hi (cm)	Cek (Sb. X&Y)
		Arah X & Y	Arah X & Y	<i>Story drift</i> = ($\delta_i \cdot C_d$)/ I_e		<i>Story drift</i> < Δa
		cm	cm	Arah X (cm)		
0	0	0.00	0	0	0	OK
400	1	0.664	0.664	3.65	8	OK
400	2	1.604	0.940	5.17	8	OK
400	3	2.380	0.776	4.27	8	OK
400	4	2.853	0.473	2.60	8	OK

Dari Tabel 4.15 dapat dilihat hasil simpangan yang terjadi, simpangan maksimum yang terjadi pada struktur perletakan jepit sebesar 2.85 cm.

3.18 Kekakuan Struktur

Berdasarkan SNI-1726-2012, didapatkan nilai kekakuan struktur pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16: Nilai kekakuan struktur gedung tiap lantai

Struktur Gedung															
No	Lantai	Gaya geser ($V_{x,y}$) (KN)	Simpan gan ($\Delta_{x,y}$) (mm)	Selisih (Δ_1) (mm)	Kekakuan ($V_{x,y}/\Delta_1$) (KN/mm)	Rasio	Rasio	Soft Story Tipe 1.A		Extreme Soft Story Tipe 1.B		Bata s Soft Stor y (%)	Batas Extre me Soft story (%)	Batas Soft Story (%)	Batas Extreme Soft story (%)
						Kekakua n R_1 (%)	Kekakua n R_2 (%)	Cek $R_1 < 70\%$	Cek $R_2 < 80\%$	Cek $R_1 < 60\%$	Cek $R_2 < 70\%$				
1	4	1.00	0.1245	0.0406	24.638	110.359	110.359					70	60	80	70
2	3	1.00	0.0839	0.0368	27.190	110.359	110.359	OK	OK	OK	OK	70	60	80	70
3	2	1.00	0.0471	0.0323	30.932	113.762	78.291	OK	OK	OK	OK	70	60	80	70
4	1	1.00	0.0147	0.0148	67.686	218.824	102.038	OK	OK	OK	OK	70	60	80	70
TOTAL		4.00	0.2702	0.1245	150.446										

4.12 Analisa isolasi dasar

Dalam analisa isolasi dasar struktur bangunan tidak berbeda dengan struktur bangunan yang menggunakan perletakan jepit, maka berat bangunan juga sama nilainya. Untuk waktu getar alami tentu mengalami kenaikan.

Waktu getar alami fundamental struktur gedung tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17: Waktu getar alami struktur bangunan.

<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>SumUX</i>	<i>SumUY</i>
1	1.09379	0.978	0.000
2	1.09379	0.978	0.978
3	0.99959	0.978	0.978
4	0.24820	0.981	0.992
5	0.24820	0.994	0.994
6	0.22481	0.994	0.994
7	0.12156	0.997	0.995
8	0.12156	0.998	0.998
9	0.11311	0.998	0.998
10	0.08534	0.998	0.998
11	0.08529	0.998	0.998
12	0.08526	0.998	0.998

Dari Tabel 4.17 mengalami pembesaran perioda dari struktur perletakan jepit dengan struktur isolasi dasar. Pada saat perletakan jepit memiliki perioda 0.559 sedangkan isolasi dasar 1.094.

Dalam perencanaan penggunaan isolasi dasar memerlukan syarat berdasarkan SNI 1726;2012, perhitungan untuk persyaratan bisa dilihat pada lampiran.

4.13 Gaya Lateral Minimum

Berdasarkan SNI 1726;2012 pasal 12.5.4 terdapat dua gempa gaya lateral minimum yang bekerja pada struktur isolasi, yaitu gaya lateral minimum yang berada dibawah sistem isolasi (V_b) dan gaya lateral minimum diatas sistem isolasi (V_s). Dalam perencanaan nilai gaya lateral minimum yang berada dibawah sistem isolasi (V_b) didapat dari persamaan berikut;

$$V_b = K_{Dmax} D_D$$

$$V_b = 783843.785 \times 0.2$$

$$V_b = 158347.1273 \text{ kg}$$

Nilai gaya lateral minimum diatas sistem isolasi (V_s). didapat dari persamaan berikut;

$$V_s = \frac{V_b}{R_I}$$

$$V_s = \frac{158347.1273}{2}$$

$$V_s = 79173.56365 \text{ kg.}$$

4.14 Distribusi Gaya Vertikal

Nilai distribusi gaya vertikal sistem isolasi dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18: Distribusi gaya vertikal sistem isolasi dasar.

Nilai Fix dan Fiy				
Lantai (i)	Wi (kg)	hi (m)	wi . hi (kg.m)	Fi (kg)
Lantai 4	256335.00	17.36	4449306.18	30128.93
Lantai 3	283155.00	12.91	3655110.36	24750.96
Lantai 2	283155.00	8.50	2407894.88	16305.31
Lantai 1	283155.00	4.17	1179686.00	7988.37
Total	1105800.00		11691997.43	79173.56

Mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%. Nilai F_{ix} dan F_{iy} yang akan dimasukkan menjadi beban gempa rencana per total menggunakan Pers. 4.13.

$$F_{ix} = F_{iy} = F_i \frac{p_i}{\text{Total Panjang Bentang}} \quad (4.13)$$

Dengan menggunakan Pers. 4.13 diatas, maka nilai F_{ix} dan F_{iy} pada tiap lantai dengan panjang bentang pada arah x dan y adalah 15 meter, dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19: Nilai F_{ix} dan F_{iy} tiap lantai pada struktur bangunan isolasi dasar.

Struktur isolasi dasar		
Lantai	F _{x,y} (kg)	Gaya Perportal F _{x,y} /4 (kg)
1	7988.37	1997.09
2	16305.31	4076.33
3	24750.96	6187.74
4	30128.93	7532.23

Nilai F_{ix} dan F_{iy} didistribusikan pada tiap lantai pada setiap join struktur gedung.

4.15 Nilai Simpangan Gedung (Nilai Respon Bangunan)

Berdasarkan peraturan SNI 1726;2012, kontrol simpangan antara lantai hanya terdapat satu kinerja batas ultimate. Nilai simpangan dan pengecekan *story drift* terdapat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20: Nilai simpangan gedung isolasi dasar arah X dan Y.

Struktur isolasi dasar						
Tinggi gedung (h _i)	Lantai gedung	Perpindahan	Perpindahan antar tingkat (δ _i)	Simpangan yang diperbesar	Syarat (Δ _a) 0,015*h _i (cm)	Cek (Sb. X&Y)
		Arah X & Y	Arah X & Y	<i>Story drift</i> =(δ _i *C _d)/I _e		<i>Story drift</i> < Δ _a
		Cm	Cm	Arah X (cm)		
0	0	0.538	0.538	2.69		OK
400	1	0.882	0.344	1.72	6	OK
400	2	1.074	0.192	0.96	6	OK
400	3	1.201	0.127	0.64	6	OK
400	4	1.275	0.074	0.37	6	OK

Dari Tabel 4.15 dapat dilihat hasil simpangan yang terjadi, simpangan maksimum yang terjadi pada struktur perletakan jepit sebesar 1.275 cm.

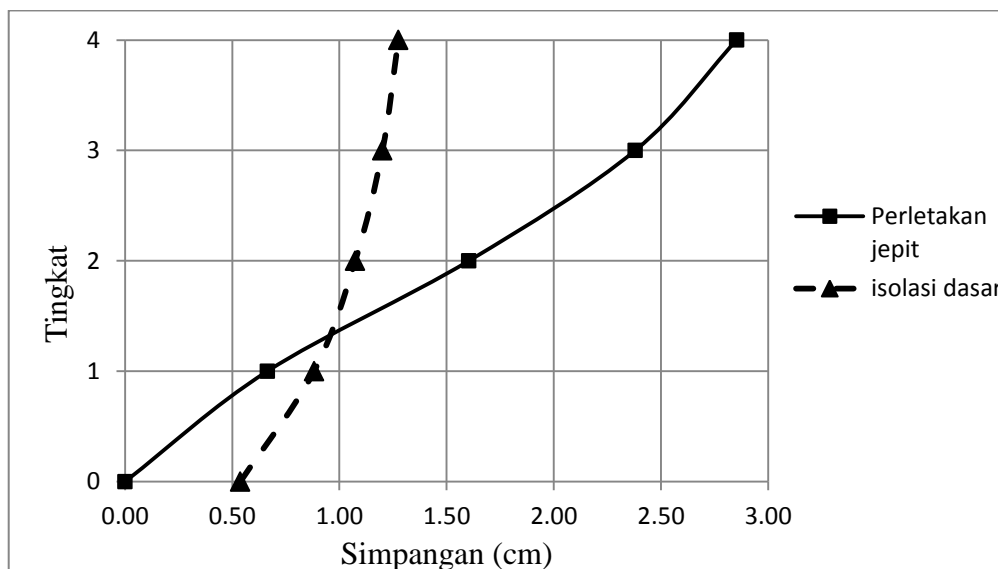
4.16 Perbandingan Respon Bangunan Tiap Model Struktur Bangunan Analisa Linear

Perbandingan yang dilakukan disini adalah perbandingan antara 2 model respon bangunan beton bertulang terhadap gempa. Adapun model bangunannya, yaitu:

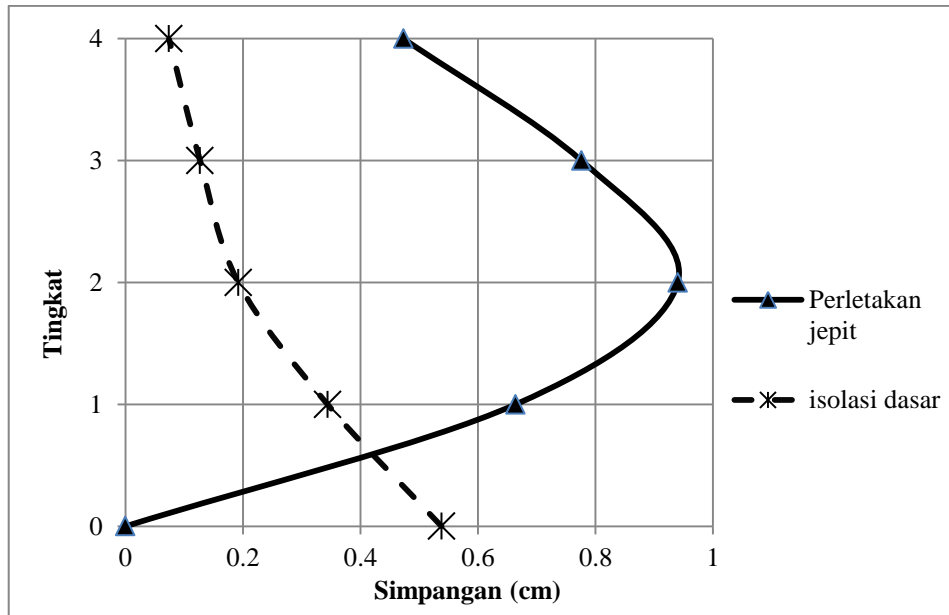
1. Perletakan jepit
2. Isolasi dasar.

Perbandingan respons bangunan ini, ditinjau dalam perbandingan simpangan global dan simpangan antar lantai yang terjadi akibat pengaruh gempa pada wilayah kota Padang.

Simpangan global dan simpangan antar lantai yang terjadi sudah tercantum pada sub bab 4.10 untuk perletakan jepit dan pada sub bab 4.15 untuk isolasi dasar. Grafik perbandingan respon bangunan atau simpangan (antar tingkat simpangan dan simpangan global) antar model struktur bangunan yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1: Grafik perbandingan simpangan antar model struktur bangunan terhadap ketinggian gedung.



Gambar 4.2: Grafik perbandingan simpangan antar model struktur antar tingkat.

Gambar 4.1–4.2 menjelaskan perbandingan antara 2 model struktur dimana model tersebut memiliki struktur yang sama (luas bangunan, dimensi kolom dan balok, beban yang bekerja seperti beban mati dan beban hidup, letak bangunan dan fungsi bangunan tersebut). Gambar tersebut menunjukkan bahwa simpangan pada stuktur terisolasi dasar lebih kecil dari pada struktur perletakan jepit meskipun pada bagian perletakan yang menggunakan isolasi lebih besar dikarenakan isolasi flexible mengikuti arah gempa dan tidak kaku, namun pada tiap tingkat diatas isolasi memiliki simpangannya cenderung lebih rendah.

Simpangan pada struktur terisolasi dasar memiliki simpangan yang lebih kecil dikarenakan hal-hal berikut ini:

1. Fungsi bangunan yang fleksibel telah diambil perannya oleh isolasi dasar itu sendiri.
2. Bangunan diatas sistem isolasi menjadi lebih kaku.
3. Gaya geser dasar gempa yang diterima bangunan menjadi lebih kecil dari pada struktur perletakan jepit.

Untuk struktur dibagian atas sistem isloasi mengharuskan struktur bagian atas bangunan memiliki kekakuan yang tinggi. Hal ini akibat dari kefleksibelan bangunan keseluruhan sudah diambil perannya oleh sistem isolasi itu sendiri.

4.17 Analisa Non-Linear Beban Dorong

Pembahasan analisa beban dorong pada sub bab ini yaitu untuk mengetahui perbandingan simpangan yang terjadi pada tiap lantai bangunan dan kurva kemampuan bangunan berdasarkan analisa beban dorong. Perbandingan yang akan dilakukan adalah membandingkan antara 2 model respon bangunan beton bertulang terhadap gempa dengan metode non-linear.

4.17.1 Analisa Beban Dorong perletakan jepit

Nilai kapasitas simpangan yang terjadi pada beban dorong pada perletakan jepit dengan titik pantauan dijoin 80 terdapat pada Tabel 4.21.

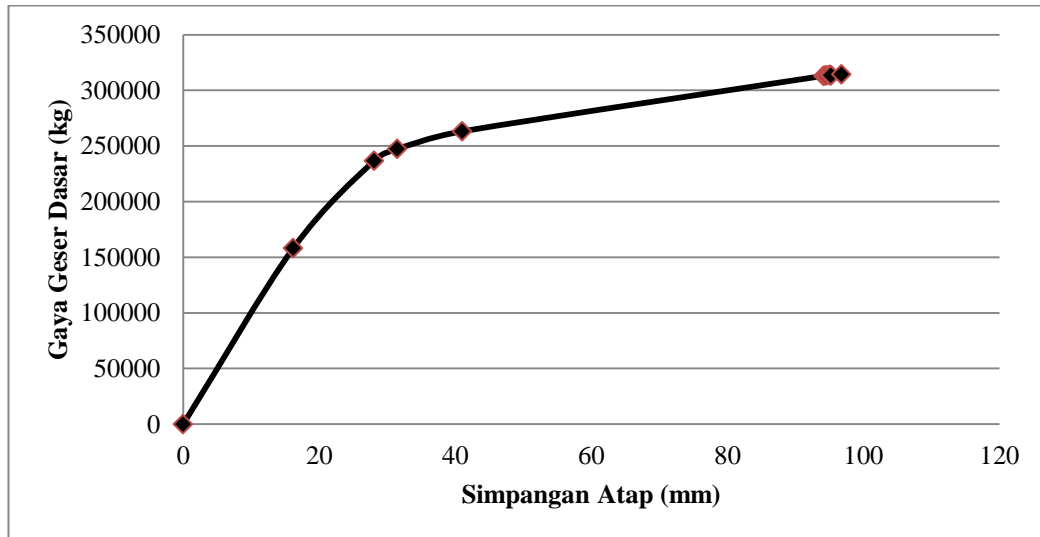
Tabel 4.21: Kemampuan simpangan gedung.

TABLE: Pushover Curve - PUSHOVER,atap

Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD
	Mm	Kgf						
0	0	0	320	0	0	0	0	0
1	16.17	158086.06	317	3	0	0	0	0
2	28.09	236822.9	285	35	0	0	0	0
3	31.48	247235.72	251	69	0	0	0	0
4	41.01	263157.35	223	97	0	0	0	0
5	94.13	313042.15	157	129	27	0	0	7
6	94.40	313205.47	153	133	27	0	0	7
7	94.58	313381.72	153	133	27	0	0	7
8	94.98	313632.61	153	131	29	0	0	7
9	95.05	313736.85	153	131	29	0	0	7
10	95.09	313756.17	153	131	29	0	0	7
11	95.23	313504.29	153	130	30	0	0	7
12	95.24	313508.98	153	130	30	0	0	7
13	96.77	314462.76	151	129	33	0	0	7

Batas simpangan antar lantai izin perletakan jepit menurut SNI 1726;2012 dapat dilihat pada sub bab 4.10 sebesar $0,020 h_{sx}$. Hasil kurva kemampuan

berdasarkan analisa beban dorong yang didapat dari *software* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3: kurva kemampuan gedung berdasarkan analisa beban dorong.

Kurva diatas menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar terhadap perpindahan yang terjadi akibat beban gempa pada struktur bangunan. Untuk melihat hasil yang lebih detail bisa dilihat pada Tabel.4.21. Dengan target perpindahan $\delta T = 80$ mm terlihat bahwa dalam step 5 dimana perpindahan mencapai 94.13 mm $> \delta T$, kinerja yang diperlihatkan oleh struktur adalah LS (*life safety*), yang artinya menunjukkan bahwa target perpindahan telah terpenuhi dan bangunan aman untuk dihuni. Pada kondisi tersebut, terdapat 27 sendi plastis di tingkat *Immediate Occupancy (IO)*, 0 sendi plastis di tingkat *Life Safety (FS)*, 0 sendi plastis di tingkat *Collapse Prevention (CP)* yang artinya terhindar dari keruntuhan hanya saja bangunan rusak parah dan tidak bisa dipakai dan 7 sendi plastis di tingkat *Collapse (C)* yang artinya batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung namun bangunan akan runtuh.

4.17.2 Analisa Beban Dorong Isolasi Dasar

Dalam menganalisa simpangan yang terjadi pada isolasi dasar dilakukan dengan 2 cara untuk mencari perbandingan respon, yaitu:

1. Analisa simpangan dengan titik pantau join 36 pada bagian base (perletakan).
2. Analisa simpangan dengan titik pantau join 80 pada bagian atap.

Nilai kemampuan simpangan yang terjadi pada perletakan base dan atap terdapat pada Tabel 4.22 dan Tabel 4.23.

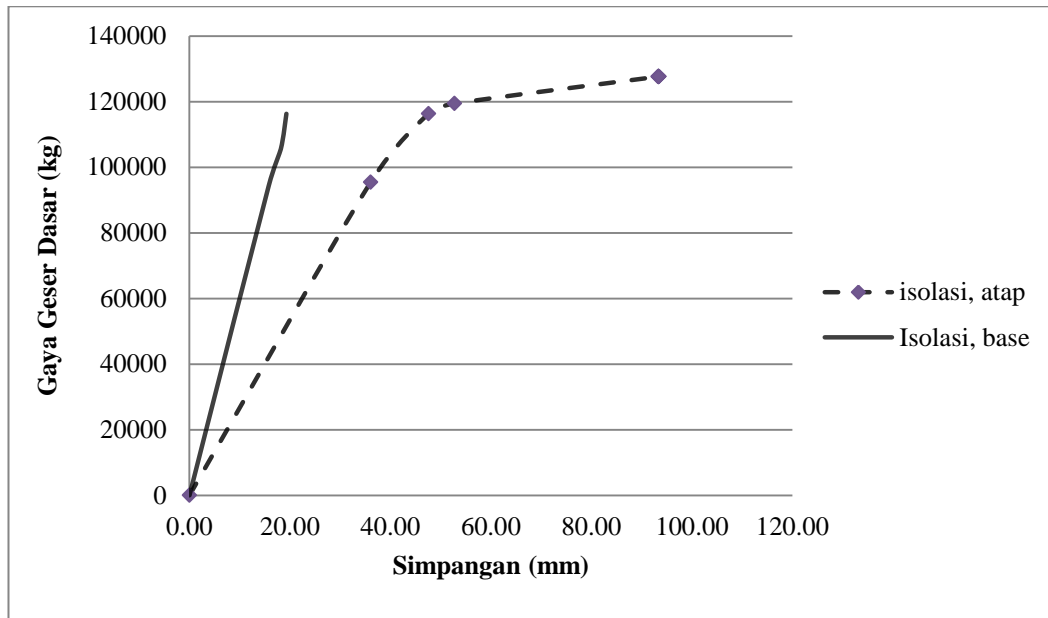
Tabel 4.22: Kemampuan simpangan gedung.

<i>TABLE: Pushover Curve - PUSHOVER Cont Base</i>								
<i>Step</i>	<i>Displacement</i>	<i>BaseForce</i>	<i>AtoB</i>	<i>BtoIO</i>	<i>IOtoLS</i>	<i>LStoCP</i>	<i>CPtoC</i>	<i>CtoD</i>
	<i>mm</i>	<i>Kgf</i>						
0	0.004	0	320	0	0	0	0	0
1	15.792	94425.58	319	1	0	0	0	0
2	18.182	105513.91	312	8	0	0	0	0
3	19.292	116248.2	295	25	0	0	0	0
4	19.298	116282.32	294	26	0	0	0	0
5	19.298	116282.32	294	26	0	0	0	0
6	19.298	116285.3	294	26	0	0	0	0

Tabel 4.23: Kemampuan simpangan gedung.

<i>TABLE: Pushover Curve - PUSHOVER Cont Atap</i>								
<i>Step</i>	<i>Displacement</i>	<i>BaseForce</i>	<i>AtoB</i>	<i>BtoIO</i>	<i>IOtoLS</i>	<i>LStoCP</i>	<i>CPtoC</i>	<i>CtoD</i>
	<i>mm</i>	<i>Kgf</i>						
0	0.000	0	320	0	0	0	0	0
1	36.059	95429.78	317	3	0	0	0	0
2	47.608	116349.9	294	26	0	0	0	0
3	52.727	119399.5	287	33	0	0	0	0
4	93.262	127607.2	266	38	12	0	0	4
5	93.398	127595.2	266	38	12	0	0	4
6	93.410	127587.4	266	38	12	0	0	4
7	93.414	127588.4	266	38	12	0	0	4
8	93.420	127580.2	266	38	12	0	0	4
9	93.432	127582.7	266	38	12	0	0	4

Hasil perbandingan kurva kemampuan gedung berdasarkan analisa beban dorong yang didapat dari *software* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



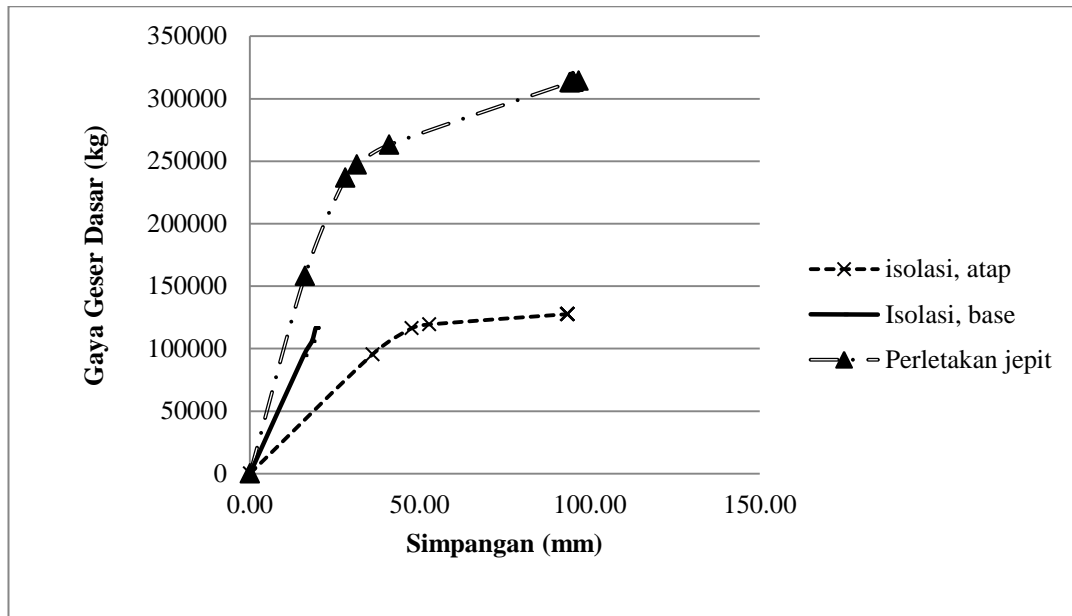
Gambar 4.4: kurva kemampuan gedung berdasarkan analisa beban dorong.

Kurva diatas menunjukkan perbandingan hubungan antara gaya geser dasar terhadap perpindahan yang terjadi akibat beban gempa pada struktur bangunan pada titik tinjau dibase dan titik tinjau diatap. Pada titik tinjau diatap sendi plastis mengalami 4 sendi tingkat *C to D* yang artinya batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung sedangkan pada titik tinjau diatap sendi plastis hanya sampai pada tingkat *B to IO* menunjukkan batas linear yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur.

4.18 Perbandingan Respon Bangunan Dengan Analisa Non-Linear

Perbandingan respon bangunan ini ditinjau dalam perbandingan kurva kemampuan berdasarkan analisa beban dorong yang terjadi pada struktur perletakan jepit dan isolasi. Dalam kurva kemampuan berdasarkan analisa beban dorong pada struktur isolasi dilakukan 2 titik pantauan deformasi, yaitu pada perletakan dasar dan pada atap. Sedangkan struktur perletakan jepit hanya dilakukan satu titik pantauan deformasi yaitu hanya pada bagian atap, sedangkan bagian perletakan nya tidak ada pergerakan.

Perbandingan kurva kemampuan gedung berdasarkan analisa beban dorong yang didapat dari *software* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5: Perbandingan kurva kemampuan gedung berdasarkan analisa beban dorong.

Gambar 4.5 menjelaskan pada struktur perletakan jepit hanya dilakukan 1 titik pantau sedangkan pada struktur isolasi terdapat 2 titik pantau. Pada saat dipantau dibagian atap struktur perletakan jepit, struktur bangunan menahan gaya sebesar 313042.15 kg dan terjadi simpangan sebesar 94.13 mm, maka kondisi tersebut, terdapat 27 sendi plastis di tingkat *Immediate Occupancy (IO)*, 0 sendi plastis di tingkat *Life Safety (FS)*, 0 sendi plastis di tingkat *Collapse Prevention (CP)* yang artinya terhindar dari kereuntuhan hanya saja bangunan rusak parah dan tidak bisa dipakai dan 7 sendi plastis di tingkat *Collapse (C)* yang artinya batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung dan gedung akan runtuh.

Pada saat dipantau dibagian atap struktur isolasi, struktur bangunan menahan gaya 127607.2 kg dan terjadi simpangan sebesar 93.26 mm, maka kondisi tersebut, terdapat 12 sendi plastis di tingkat *Immediate Occupancy (IO)*, 0 sendi plastis di tingkat *Life Safety (FS)*, 0 sendi plastis di tingkat *Collapse Prevention*

(*CP*) yang artinya terhindar dari kereuntuhan hanya saja bangunan rusak parah dan tidak bisa dipakai dan 4 sendi plastis di tingkat *Collapse (C)* yang artinya batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung dan gedung akan runtuh. Sedangkan ketika dipantau dibase bangunan menahan gaya sebesar 116285.3 kg dan berpindah 19.30 mm dalam keadaan 26 sendi plastis dalam keadaan batas linear yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

3.19 Kesimpulan

Berdasarkan perbandingan dari hasil perencanaan struktur perletakan jepit dan isolasi dasar baik dengan metode linear maupun metode non linear analisa beban dorong, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Struktur SRPMK perletakan jepit mempunyai nilai simpangan yang lebih besar dari pada struktur SRPMK isolasi dasar. Nilai simpangan maksimum dengan analisa linear dan non linear yang terjadi pada ke-2 model yaitu sebagai berikut:
 - a) Struktur perletakan jepit analisa linear = 2.853 cm.
 - b) Struktur isolasi dasar analisa linear = 1.275 cm.
- Perletakan isolasi dasar dapat meningkatkan kekakuan dan menahan gaya lateral dan merupakan suatu komponen reduksi lateral serta mengambil sifat fleksibel bangunan.
- Nilai simpangan kurva kemampuan berdasarkan analisa beban dorong non linear yaitu sebagai berikut:
 - a) Struktur perletakan jepit titik pantau diatap, mampu menahan gaya 313042.15 kg dan terjadi simpangan 94.13 mm terjadi 7 sendi plastis di tingkat *Collapse (C)* yang artinya batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung dan gedung akan runtuh.
 - b) Struktur isolasi titik pantau diatap, mampu menahan gaya sebesar 127607.2 kg dan mengalami perpindahan 93.26 mm sendi plastis mengalami 4 sendi tingkat *Collapse (C)* yang artinya batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung dan gedung akan runtuh.
 - c) Struktur isolasi titik pantau dibase, mampu menahan gaya sebesar 116285.3 kg dan mengalami perpindahan sebesar 19.30 mm dalam keadaan sendi plastis hanya sampai pada tingkat *B to IO* yaitu

menunjukkan batas linear yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur.

5.2 Saran

Penelitian ini belum sempurna hanya menganalisa pengaruh penggunaan isolasi dasar jenis *High-Damping Rubber Bearing* terhadap bangunan SRPMK dengan analisa linear dan non-linear. Respon struktur bangunan yang dikaji berupa simpangan antar lantai yang berbentuk simetris 4 lantai yang terletak di kota Padang dengan klasifikasi tanah keras.

Pada struktur terisolasi dasar, tidak ditambahkan pengaku dilantai dasar seperti balok dan plat lantai. Seharusnya pengaku dilantai dasar yang berada tepat diatas isolasi dasar harus ditambahkan balok dan plat lantai untuk mencegah terjadinya simpangan dengan arah yang berbeda dari setiap sistem isolasi dasar. Analisa non linear beban dorong tidak menganalisa kurva kapasitas kemampuan struktur, hanya menganalisa sampai kemampuan bangunan dalam merespon kekuatan gempa.

Oleh karenanya disarankan untuk studi selanjutnya dilakukan analisis penggunaan balok dan plat lantai pada lantai dasar diatas sistem isolasi serta menganalisa kapasitas kemampuan bangunan sampai dititik mana bangunan runtuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiyanto, D.J. dan Andreas, N.J (2008) *Pengaruh Dinding Pengisi Terhadap Perilaku Pushover Struktur Beton Bertulang*. Bandung: Institusi Teknologi Bandung.
- Arief, A. (2016) *Analisis Respon Bangunan Gedung Lima Lantai Menggunakan Base Isolator Di Kota Padang*. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Aryanto, A. (2008) *Kinerja Portal Beton Bertulang dengan Dinding Pengisi Bata Ringan terhadap Beban Gempa*. Tesis Magister. Bandung: Institusi Teknologi Bandung.
- Asteris, P.G. (2003) Lateral Stiffness of Brick Masonry Infilled Planed Frame. *Journal of Struktural Engineering*, ASCE, 129(8), 1071-1079.
- Badan Standarisasi Nasional (2012) *Tata Cara Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726;2012)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional (2013) *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727;2013)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional (2013) *Persyaratan Beton Struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847;2013)*. Jakarta: BSN.
- Budiono, B. dan Setiawan, A. (2014) Studi Komparasi Sistem Isolasi Dasar *High-Damping Rubber Bearing* dan *Friction Pendulum System* pada Bangunan Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol.21 (3), hal.180-181.
- Budiono, B. dan Supriatna, L. (2011) *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Day, R.W. (1999) *Geotechnical and Foundation Engineering Design and Construction*. United State of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Departemen Pekerjaan Umum (1987) *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung(PPPURG)*. Jakarta: Yayasan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Efrida, R. (2016) Studi Parametrik Kekakuan, Daktalitas dan Kinerja Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) Akibat Pengaruh Setback dan Dinding Pasangan Bata. Tesis Magister. Medan: Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara.

- Farisi, M.A. dan Budiono, R.B. (_____) *Design And Analysis of Base Isolated Structures*. Bandung: Institute Teknologi Bandung.
- Gifars, F. (2014) *Pengertian dan Penjelasan Gempa Bumi*. Ilmu sains.
- Hart, G.C. dan Wong, K. (2000) *Structural Dynamics for Structural Engineers*. United State of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Mayes, R.L. dan Naeim, F. (2000) *Design of Structures with Seismic Isolation*. California (LA).
- Muliadi, & Arifuddin, M., & Aulia, T.B. (2014) Analisa Respon Bangunan Menggunakan Isolasi Dasar Sebagai Pereduksi Beban Gempa Di Wilayah Gempa Kuat. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.3 (2), hal.109-118.
- Noroadityo (2012) Alasan sering terjadinya Gempa Bumi di Indonesia. *noroadityo.wordpress.com*, diakses 30 oktober 2015.
- Parinduri, B.S.M. (2013) Evaluasi Daktalitas Pada Bangunan Rumah Toko di Kota Medan Terkait dengan Peraturan Gempa 2012. *Laporan Tugas Akhir*. Medan: Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Riza, M.M. (2010) *Aplikasi Perencanaan Struktur Gedung dengan ETABS*. ARS GROUP
- Strein, T. (2014) Base isolation system of lead-rubber bearings. <https://prezi.com>, diakses 9 oktober 2015.
- Taruna, D.R. dan Singarimbun, H. (2010) Analisis Respon Bangunan ICT Universitas Syiah Kuala Yang Memakai Slider Isolator Akibat Gaya Gempa. *Seminar dan Pameran Haki: Perkembangan dan Kemajuan Konstruksi Indonesia*.
- Tumilar, S. (2015) *Contoh Analisis Gedung 4 Lantai di Banda Aceh*. Medan.
- Widjanarko, A. (2006) *Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa dilengkapi dengan Metode dan Cara Perbaikan Kerusakan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya - Departemen Pekerjaan Umum.
- Young, K. (1975) *Geology The Paredox of Earth and Man*. United State of America: Houghton Mifflin Company.

LAMPIRAN

perhitungan beban total perlantai struktur bangunan

1. berat lantai 4 (atap)

diketahui :

dimensi denah	panjang	=	15 m
	lebar	=	15 m
	tinggi perlantai	=	4 m
	luasan lantai (15x15)	=	225 m ²

a) berat mati tambahan

spesi (tebal 3cm)	=	63 kg/m ²
water proofing	=	5 kg/m ²
plafond dan penggantung	=	18 kg/m ²
total	=	86 kg/m ²
total beban mati dalam kg	=	19350 kg
dinding 1/2 bata merah	=	250 kg/m ²
lebar perportal dikurangi dimensi kolom	=	4.5 m
tinggi perportal dikurangi dimensi balok	=	3.55 m
jumlah portal	=	24
total beban dinding 1/2 bata	=	86265 kg

total beban mati tambahan = 105615 kg

b) berat hidup

berat hidup atap	=	96 kg/m ²
dalam kg	=	21600 kg

koefisien reduksi = 0.4 BAB III Pers. 3.1

2. berat lantai 1-3

diketahui :

luasan lantai (15x15) = 225 m²

a) berat mati tambahan

spesi (tebal 3cm)	=	63 kg/m ²
Keramik	=	24 kg/m ²
plafond dan penggantung	=	18 kg/m ²
total	=	105 kg/m ²
total beban mati dalam kg	=	23625 kg
dinding 1/2 bata merah	=	250 kg/m ²
lebar perportal dikurangi dimensi kolom	=	4.5 M

tinggi perportal dikurangi dimensi balok	=	3.55	M
jumlah portal	=	24	
total beban dinding 1/2 bata	=	95850	Kg
 total beban mati tambahan	=	119475	Kg
 b) berat hidup			
luasan ruangan kantor lantai	=	225	m ²
berat hidup ruangan kantor lantai 1,2 dan 3	=	240	kg/m ²
dalam kg	=	54000	
total beban hidup	=	54000	Kg
 koefisien reduksi	=	0.4	BAB III Pers. 3.1

nilai respon gaya geser *fixed base*

Story	Point	Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
BASE	1	RSPX	2876.13	5880.47	17968.67	17288.45	8455.63	3E-08
BASE	2	RSPX	3735.72	6081.79	17613.37	17550.88	9575.87	3E-08
BASE	3	RSPX	3735.72	6081.79	17613.37	17550.88	9575.87	3E-08
BASE	4	RSPX	2876.13	5880.47	17968.63	17288.45	8455.63	3E-08
BASE	5	RSPX	2974.54	7638.12	8678.33	19578.97	8583.94	3E-08
BASE	6	RSPX	3892.38	7958.42	1413.07	19996.3	9779.97	3E-08
BASE	7	RSPX	3892.38	7958.42	1413.07	19996.3	9779.97	3E-08
BASE	8	RSPX	2974.54	7638.12	8678.33	19578.97	8583.94	3E-08
BASE	9	RSPX	2974.54	7638.12	8678.33	19578.97	8583.94	3E-08
BASE	10	RSPX	3892.38	7958.42	1413.07	19996.3	9779.97	3E-08
BASE	11	RSPX	3892.38	7958.42	1413.07	19996.3	9779.97	3E-08
BASE	12	RSPX	2974.54	7638.12	8678.32	19578.97	8583.94	3E-08
BASE	13	RSPX	2876.13	5880.47	17968.65	17288.45	8455.63	3E-08
BASE	14	RSPX	3735.72	6081.79	17613.37	17550.88	9575.87	3E-08
BASE	15	RSPX	3735.72	6081.79	17613.37	17550.88	9575.87	3E-08
BASE	16	RSPX	2876.13	5880.47	17968.64	17288.45	8455.63	3E-08
TOTAL			53915.08	110235.2	182693.66	297658.4	145581.6	5E-07

nilai respon gaya geser *fixed base*

setelah dikalikan faktor skala

Story	Point	Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
BASE	1	RSPX	5867.82	5880.49	22802.94	17288.46	17251.22	6E-08
BASE	2	RSPX	7621.67	6081.79	17638.49	17550.88	19536.8	6E-08
BASE	3	RSPX	7621.67	6081.79	17638.49	17550.88	19536.8	6E-08
BASE	4	RSPX	5867.82	5880.49	22802.9	17288.46	17251.22	6E-08
BASE	5	RSPX	6068.69	7638.12	17600.79	19578.97	17513.07	6E-08
BASE	6	RSPX	7941.28	7958.42	1793.25	19996.3	19953.22	6E-08
BASE	7	RSPX	7941.28	7958.42	1793.24	19996.3	19953.22	6E-08
BASE	8	RSPX	6068.69	7638.12	17600.79	19578.97	17513.07	6E-08
BASE	9	RSPX	6068.69	7638.12	17600.78	19578.97	17513.07	6E-08
BASE	10	RSPX	7941.28	7958.42	1793.25	19996.3	19953.22	6E-08
BASE	11	RSPX	7941.28	7958.42	1793.24	19996.3	19953.22	6E-08
BASE	12	RSPX	6068.69	7638.12	17600.77	19578.97	17513.07	6E-08
BASE	13	RSPX	5867.82	5880.49	22802.93	17288.46	17251.22	6E-08
BASE	14	RSPX	7621.67	6081.79	17638.49	17550.88	19536.8	6E-08
BASE	15	RSPX	7621.67	6081.79	17638.49	17550.88	19536.8	6E-08
BASE	16	RSPX	5867.82	5880.49	22802.91	17288.46	17251.22	6E-08
total			109997.84	110235.28	239341.75	297658.44	297017.24	9E-07

nilai respon gaya geser *fixed base*

Story	Point	Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
BASE	1	RSPY	860.99	2876.07	8240.76	8455.59	2531.19	1E-08
BASE	2	RSPY	1118.28	2974.54	8612.08	8583.94	2866.51	1E-08
BASE	3	RSPY	1118.28	2974.54	8612.08	8583.94	2866.51	1E-08
BASE	4	RSPY	860.99	2876.07	8240.74	8455.59	2531.19	1E-08
BASE	5	RSPY	890.42	3735.72	2631.32	9575.87	2569.58	1E-08
BASE	6	RSPY	1165.17	3892.38	648.06	9779.97	2927.61	1E-08
BASE	7	RSPY	1165.17	3892.38	648.06	9779.97	2927.61	1E-08
BASE	8	RSPY	890.42	3735.72	2631.32	9575.87	2569.58	1E-08
BASE	9	RSPY	890.42	3735.72	2631.32	9575.87	2569.58	1E-08
BASE	10	RSPY	1165.17	3892.38	648.06	9779.97	2927.61	1E-08
BASE	11	RSPY	1165.17	3892.38	648.06	9779.97	2927.61	1E-08
BASE	12	RSPY	890.42	3735.72	2631.32	9575.87	2569.58	1E-08
BASE	13	RSPY	860.99	2876.07	8240.75	8455.59	2531.19	1E-08
BASE	14	RSPY	1118.28	2974.54	8612.08	8583.94	2866.51	1E-08
BASE	15	RSPY	1118.28	2974.54	8612.08	8583.94	2866.51	1E-08
BASE	16	RSPY	860.99	2876.07	8240.74	8455.59	2531.19	1E-08
TOTAL			16139.44	53914.84	80528.83	145581.48	43579.56	2E-07

nilai respon gaya geser *fixed base*

setelah dikalikan faktor skala

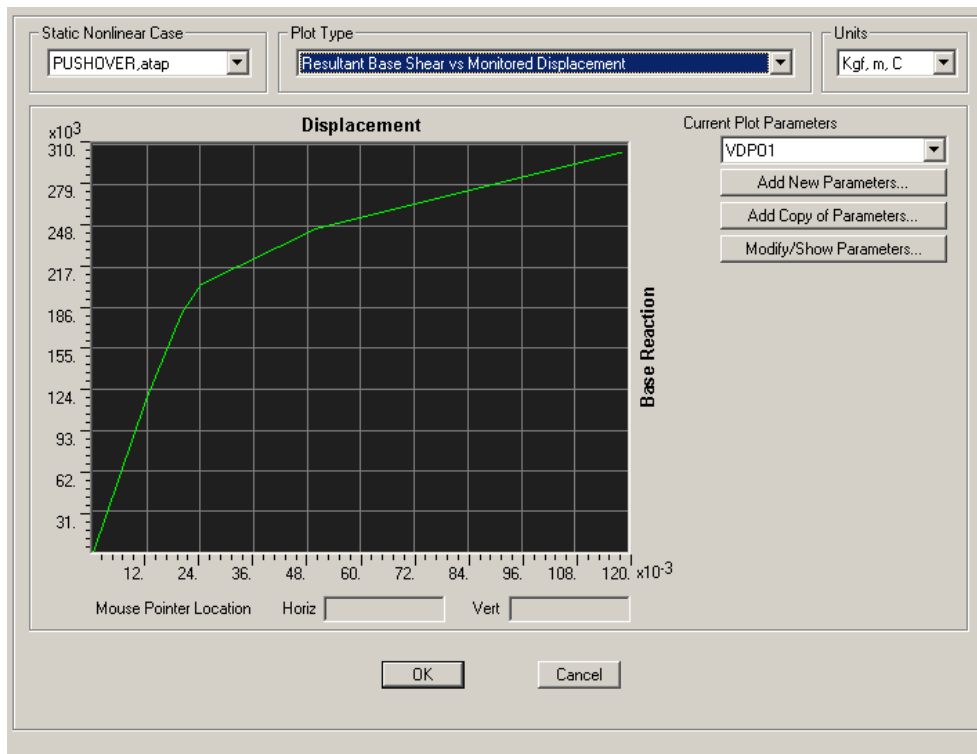
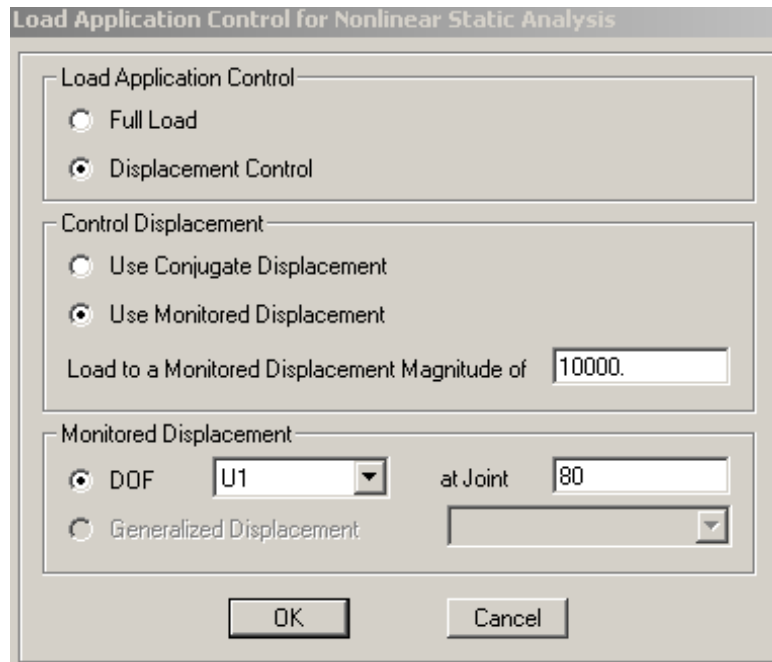
Story	Point	Load	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
BASE	1	RSPY	5880.56	5867.77	22802.97	17251.06	17288.66	6E-08
BASE	2	RSPY	7638.21	6068.64	17600.62	17512.91	19579.2	6E-08
BASE	3	RSPY	7638.21	6068.64	17600.62	17512.91	19579.2	6E-08
BASE	4	RSPY	5880.56	5867.77	22802.93	17251.06	17288.66	6E-08
BASE	5	RSPY	6081.86	7621.6	17638.71	19536.62	17551.08	6E-08
BASE	6	RSPY	7958.52	7941.21	1793.25	19953.04	19996.53	6E-08
BASE	7	RSPY	7958.52	7941.21	1793.24	19953.04	19996.53	6E-08
BASE	8	RSPY	6081.86	7621.6	17638.7	19536.62	17551.08	6E-08
BASE	9	RSPY	6081.86	7621.6	17638.7	19536.62	17551.08	6E-08
BASE	10	RSPY	7958.52	7941.21	1793.25	19953.04	19996.53	6E-08
BASE	11	RSPY	7958.52	7941.21	1793.24	19953.04	19996.53	6E-08
BASE	12	RSPY	6081.86	7621.6	17638.68	19536.62	17551.08	6E-08
BASE	13	RSPY	5880.56	5867.77	22802.97	17251.06	17288.66	6E-08
BASE	14	RSPY	7638.21	6068.64	17600.62	17512.91	19579.2	6E-08
BASE	15	RSPY	7638.21	6068.64	17600.62	17512.91	19579.2	6E-08
BASE	16	RSPY	5880.56	5867.77	22802.95	17251.06	17288.66	6E-08
total			110236.6	109996.88	239342.07	297014.52	297661.88	9E-07

Nilai Perioda perletakan jepit										
1.000	0.559	36.214	48.008	0.000	0.836	0.000	0.000	0.000	0.584	0.296
2.000	0.559	48.041	36.239	0.000	0.836	0.836	0.000	0.584	0.000	0.275
3.000	0.503	0.025	0.033	0.000	0.836	0.836	0.000	0.000	0.000	0.266
4.000	0.172	4.786	6.691	0.000	0.943	0.840	0.000	0.000	0.001	0.024
5.000	0.172	6.696	4.790	0.000	0.947	0.947	0.000	0.001	0.000	0.051
6.000	0.156	0.004	0.005	0.000	0.947	0.947	0.000	0.000	0.000	0.035
7.000	0.093	1.167	1.697	0.000	0.979	0.956	0.000	0.000	0.001	0.002
8.000	0.093	1.700	1.169	0.000	0.988	0.988	0.000	0.001	0.000	0.026
9.000	0.084	0.002	0.003	0.000	0.988	0.988	0.000	0.000	0.000	0.013
10.000	0.063	0.440	0.616	0.000	0.988	0.999	0.000	0.000	0.000	0.006
11.000	0.063	0.618	0.442	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.002
12.000	0.058	0.001	0.002	0.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.004

Data analisa *pushover* pada struktur *fixed base*

TABLE: Pushover Curve - PUSHOVER,atap											
Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	Mm	Kgf									
0	0	0	320	0	0	0	0	0	0	0	320
1	16.173145	158086.06	317	3	0	0	0	0	0	0	320
2	28.085738	236822.9	285	35	0	0	0	0	0	0	320
3	31.477556	247235.72	251	69	0	0	0	0	0	0	320
4	41.014024	263157.35	223	97	0	0	0	0	0	0	320
5	94.132764	313042.15	157	129	27	0	0	7	0	0	320
6	94.39678	313205.47	153	133	27	0	0	7	0	0	320
7	94.577197	313381.72	153	133	27	0	0	7	0	0	320
8	94.975556	313632.61	153	131	29	0	0	7	0	0	320
9	95.054684	313736.85	153	131	29	0	0	7	0	0	320
10	95.087143	313756.17	153	131	29	0	0	7	0	0	320
11	95.232902	313504.29	153	130	30	0	0	7	0	0	320
12	95.237254	313508.98	153	130	30	0	0	7	0	0	320
13	96.774579	314462.76	151	129	33	0	0	7	0	0	320

Data analisa *pushover* pada struktur fixed base



Data analisa *pushover* pada struktur isolasi, base.

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

Full Load

Displacement Control

Control Displacement

Use Conjugate Displacement

Use Monitored Displacement

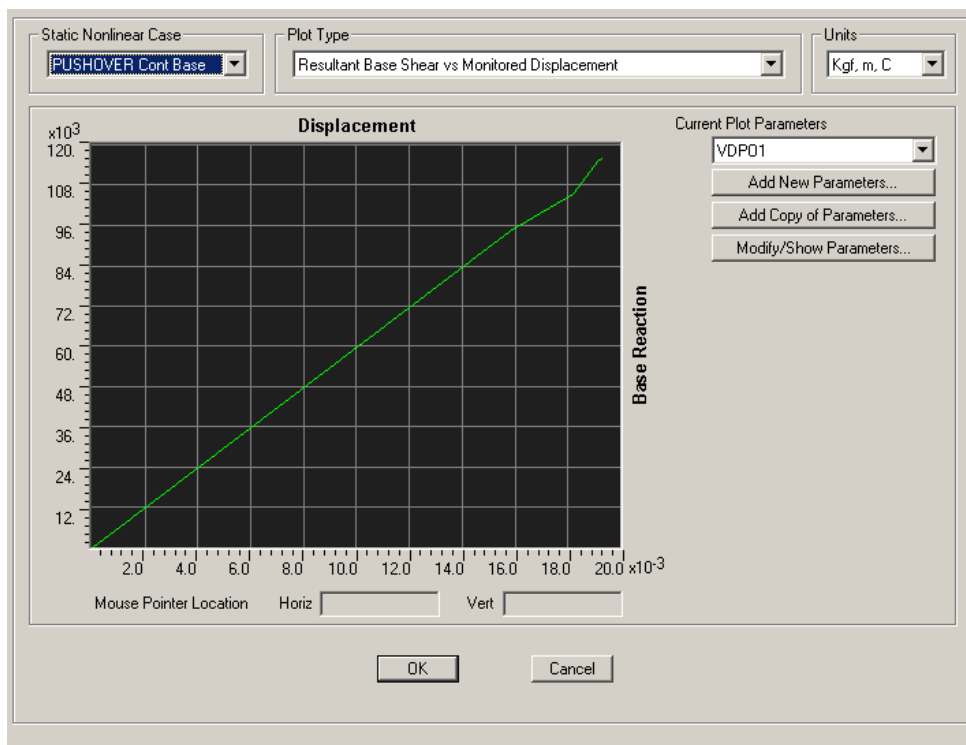
Load to a Monitored Displacement Magnitude of

Monitored Displacement

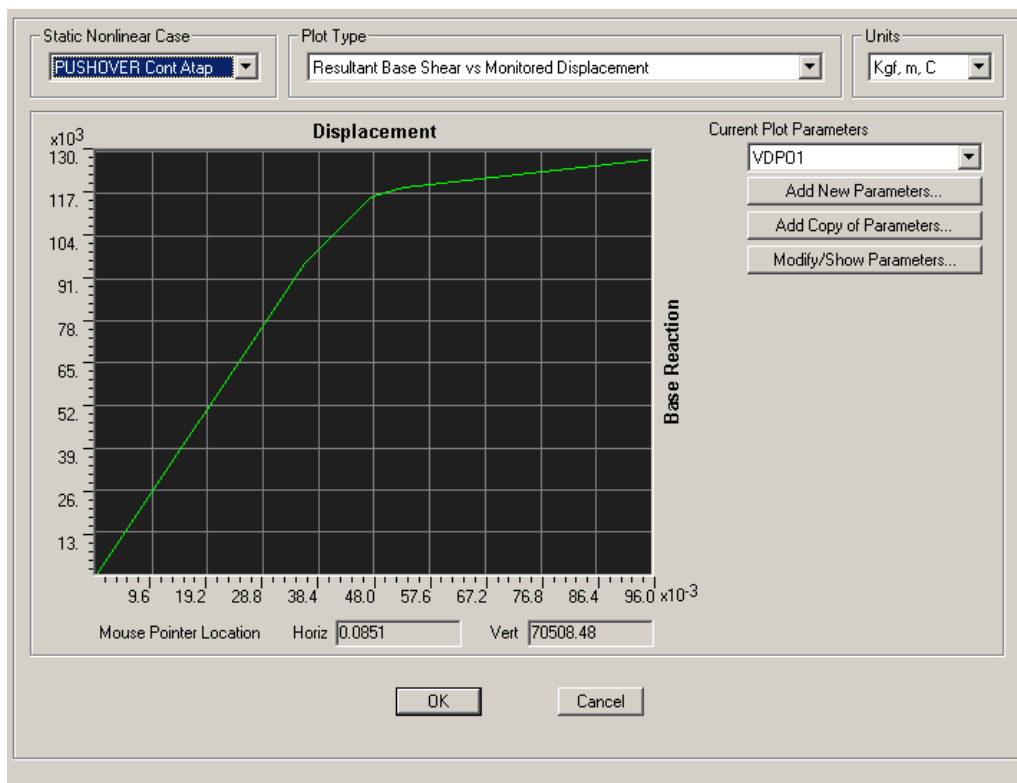
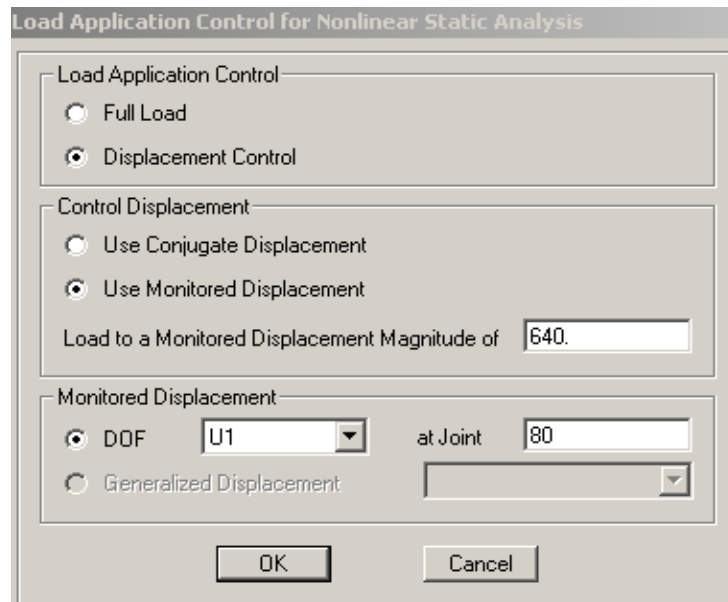
DOF at Joint

Generalized Displacement

OK Cancel



Data analisa *pushover* pada struktur isolasi, atap.



Data analisa *pushover* pada struktur isolasi, atap.

TABLE: Pushover Curve - PUSHOVER Cont Atap											
Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	M	Kgf									
0	0	0	320	0	0	0	0	0	0	0	320
1	0.036059	95429.78	317	3	0	0	0	0	0	0	320
2	0.047608	116349.85	294	26	0	0	0	0	0	0	320
3	0.052727	119399.45	287	33	0	0	0	0	0	0	320
4	0.093262	127607.23	266	38	12	0	0	4	0	0	320
5	0.093398	127595.21	266	38	12	0	0	4	0	0	320
6	0.09341	127587.37	266	38	12	0	0	4	0	0	320
7	0.093414	127588.37	266	38	12	0	0	4	0	0	320
8	0.09342	127580.16	266	38	12	0	0	4	0	0	320
9	0.093432	127582.71	266	38	12	0	0	4	0	0	320

Data analisa *pushover* pada struktur isolasi, base.

TABLE: Pushover Curve - PUSHOVER Cont Base											
Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
	M	Kgf									
0	0	0	320	0	0	0	0	0	0	0	320
1	0.015792	94425.58	319	1	0	0	0	0	0	0	320
2	0.018182	105513.91	312	8	0	0	0	0	0	0	320
3	0.019292	116248.2	295	25	0	0	0	0	0	0	320
4	0.019298	116282.32	294	26	0	0	0	0	0	0	320
5	0.019298	116282.32	294	26	0	0	0	0	0	0	320
6	0.019298	116285.3	294	26	0	0	0	0	0	0	320



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

NAMA : MUHAMMAD ROZALI

JENIS KELAMIN : LAKI-LAKI

TEMPAT/TGL LAHIR : MEDAN, 31 MEI 1995

ALAMAT : JLN. MARELAN II NO 36 A

AGAMA : ISLAM

NAMA ORANG TUA

- AYAH : ALMARHUM NURYONO
- IBU : NURJANA

JENJANG PENDIDIKAN

- ❖ SD NEGERI 04999 : Berijazah Tahun 2007
- ❖ SMP NEGERI 32 MEDAN : Berijazah Tahun 2011
- ❖ SMK NEGERI 4 MEDAN : Berijazah Tahun 2013
- ❖ Melanjutkan kuliah di Fakultas Teknik Program Studi Sipil di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tahun 2014 hingga selesai.

