

TUGAS AKHIR

**ANALISIS RESPON BANGUNAN GEDUNG LIMA
LANTAI TIDAK BERATURAN MENGGUNAKAN BASE
ISOLATOR DI KOTA MEDAN
(*Studi Literatur*)**

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

Disusun Oleh:

**NANDA FIRNANDO
1407210256**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238 Telp. (061) 6623301
Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: rektor@umsu.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Nanda Firnando

NPM : 1407210256

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Respon Bangunan Gedung Lima Lantai Tidak Beraturan Menggunakan *Base Isolator* Di Kota Medan (Studi Literatur)

Bidang Ilmu : Struktur

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada
Panitia Ujian

Medan, ²⁹ Agustus 2019

Pembimbing I

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Pembimbing II

Dr. Josef Hadipramana

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Nanda Firnando

NPM : 1407210256

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Respon Bangunan Gedung Lima Lantai Tidak Beraturan Menggunakan *Base Isolator* di Kota Medan (*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, 29 Agustus 2019

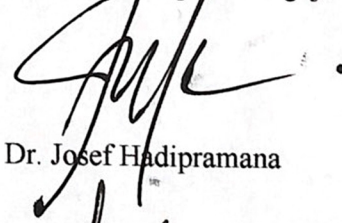
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Dosen Pembimbing II / Penguji



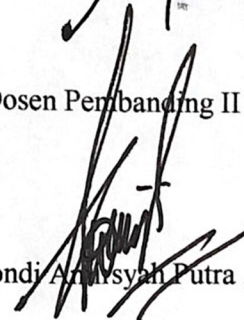
Dr. Josef Hadipramana

Dosen Pembimbing I / Penguji



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

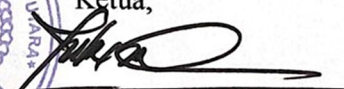
Dosen Pembimbing II / Penguji



Tondi Anisya Putra, ST, MT



Program Studi Teknik Sipil
Ketua,



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Nanda Firnando

Tempat /Tanggal Lahir : Sei Mangkei / 07 September 1991

NPM : 1407210256

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

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

“Analisis Respon Bangunan Gedung Lima Lantai Tidak Beraturan Menggunakan Base Isolator di Kota Medan (Studi Literatur)”,

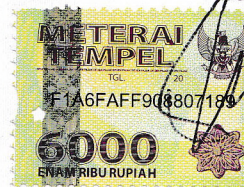
bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

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

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, ²⁹Agustus 2019

Saya yang menyatakan,



Nanda Firnando

ABSTRAK

ANALISIS RESPON BANGUNAN GEDUNG LIMA LANTAI TIDAK BERATURAN MENGGUNAKAN BASE ISOLATOR DI KOTA MEDAN (STUDI LITERATUR)

Nanda Firnando
1407210256
Dr. Ade Faisal, ST, MSc
Dr. Josef Hadipramana

Sebagian besar daerah di Indonesia memiliki resiko gempa yang cukup tinggi terutama pulau Sumatera dan Jawa. Sebagai upaya mengurangi kerusakan bangunan, struktur dilengkapi dengan elemen untuk mereduksi gaya gempa seperti *base isolator*. Respon bangunan terhadap pengaruh gaya gempa akan berbeda jika diaplikasikan terhadap bangunan yang beraturan dan tidak beraturan, komponen struktur yang menggunakan perletakan jepit juga tidak akan sama dengan struktur yang menerapkan sistem isolasi dasar. Mekanisme isolasi dasar meningkatkan periode alami dari struktur keseluruhan, dan mengurangi respons akselerasinya terhadap gempa / gerakan *seismic* pada lantai di atasnya. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan respon struktur bangunan yang menggunakan teknologi isolasi dasar dan *fixed base* menggunakan analisis respons spektrum. Terdapat 3 model yang dibandingkan, model 1 dengan perletakan jepit, model 2 dengan isolasi dasar dan model 3 dengan isolasi dasar dan perubahan penampang balok. Dalam penelitian ini menunjukkan nilai simpangan terbesar terjadi pada model 3 dengan nilai simpangan arah x sebesar 188.003 mm, arah y sebesar 255.245 mm, sedangkan pada model 2 untuk arah x sebesar 92.896 mm, arah y sebesar 211.178 mm dan pada model 1 simpangan untuk arah x sebesar 27.873 mm, arah y sebesar 27.024 mm. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa berat struktur bangunan sangat mempengaruhi simpangan dan torsi lantai yang terjadi.

Kata kunci: Gempa bumi, ketidakberaturan, isolasi dasar, simpangan, torsi lantai.

ABSTRACT

RESPONSE ANALYSIS OF THE IRREGULAR FIVE-STOREY BUILDING USING BASE ISOLATOR IN MEDAN

Nanda Firnando
1407210256
Dr. Ade Faisal, ST, MSc
Dr. Josef Hadipramana

Most regions in Indonesia have a high enough earthquake risk, especially on the island of Sumatera dan Java. In an effort to reduce damage to buildings, structures area equipped with element to reduce earthquake forces such as base isolators. The response of buildings to effect of earthquake forces will be different if applied to regular and irregular buildings, structural components that use fixed base will not be the same as structures that apply a basic isolation system. The effect of basic isolation increases the natural period of the overall structure, and reduces its accelerated response to earthquakes / seismic movements on the upper floors. This final project discusses understanding and comparing response structures using basic isolation technology and fixed bases using variation response analysis. There are 3 models that are compared, model 1 with pinch placement, model 2 with basic insulation and model 3 with basic insulation and changes in beam cross section. In this study shows the largest deviation value occurs in model 3 with x direction deviation values of 188.003 mm, y direction is 255.245 mm, while in model 2 for x direction is 92.896 mm, y direction is 211.178 mm and in model 1 deviation for x direction amounting to 27,873 mm, y direction is 27,024 mm. This study produces conclusions about the structure of buildings greatly affect the deviation and torque of the floor that occurs.

Keywords: Earthquakes, irregularities, basic insulation, deviation, floor torque.

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 “Analisis Respon Bangunan Gedung Lima Lantai Tidak Beraturan Menggunakan *Base Isolator* di Kota Medan” 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 Munawar Alfansury Siregar, S.T, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Dr. Ade Faisal, ST, MSc selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, MSc selaku Dosen Pembimbing I sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Irma Dewi ST, MSi selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Dr. Josef Hadipramana selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Tondi Amirsyah P. ST, MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

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: Sukirno dan Alyani, yang telah bersusah payah mendidik dan membesarkan juga terus memberikan semangat pada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat seperjuangan stambuk 2014 dan lainnya yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

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, Agustus 2019

Nanda Firnando

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	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 STUDI PUSTAKA	
2.1. Gempa Bumi	6
2.1.1. Klasifikasi Gempa Bumi	7
2.1.2. Mekanisme Gempa Bumi	8
2.2. Wilayah Gempa	9
2.3. Klasifikasi Situs, Jenis Pemanfaatan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	10
2.4. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa	14
2.5. Kategori Desain Seismik	16
2.6. Faktor Reduksi Gempa	16
2.7. Gaya Geser Dasar Seismik	19
2.8. Perioda Fundamental	20

2.9.	Penentuan Distribusi Vertikal Gaya Gempa (F_i)	22
2.10.	Parameter Respon Terkombinasi	23
2.11.	Kekakuan (<i>stiffness</i>)	23
2.12.	Pembebanan	25
2.12.1.	Beban Mati	25
2.12.2.	Beban Hidup	27
2.12.3.	Beban Angin	31
2.12.4.	Beban Gempa	31
2.13.	Simpangan Antar Lantai	32
2.14.	Kombinasi Beban	33
2.15.	Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Berdasarkan SNI 03-2847-2013	35
2.16.	Isolasi Dasar	36
2.16.1.	Elemen Dasar Isolasi Dasar	36
2.16.2.	<i>High-Dumping Rubber Bearing</i> (HDRB)	37
2.16.3.	Prosedur Desain Isolasi Dasar HDRB	38
2.16.4.	Batas Simpangan Antar Lantai Pada Struktur Isolasi Dasar	39
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	
3.1.	Bagan Alir / <i>Flow Chart</i> Penelitian	40
3.2.	Rancangan Penelitian	41
3.3.	Data Desain Pada <i>Software</i> (SAP2000)	42
3.3.1.	Data Material	42
3.3.2.	Desain Balok dan Kolom	42
3.3.3.	Desain Plat	43
3.3.4.	Pembebanan	46
3.4.	Metode Respon Spektrum Berdasarkan SNI-1726-2012	49
3.5.	Kombinasi Pembebanan	54
3.6.	Desain Isolasi Dasar	54
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Tinjauan Umum	57

4.2.	Hasil Analisis	57
4.2.1.	Hasil Analisis Model 1 dan Model 2	57
4.2.1.1.	Berat Sendiri Bangunan	57
4.2.1.2.	Penentuan Total per Lantai (Wt)	58
4.2.1.3.	Penentuan Perioda Alami Struktur (T1)	58
4.2.1.4.	Perioda Fundamental Pendekatan (Ta)	60
4.2.1.5.	Penentuan Gaya Geser seismic (V)	61
4.2.1.6.	Spektrum Respon Ragam	62
4.2.1.7.	Gaya Geser Analisis Respon Spektrum	63
4.2.1.8.	Ketidakteraturan Horizontal	66
4.2.1.9.	Kekakuan Struktur	67
4.2.1.10.	Nilai Simpangan Gedung (Nilai Respon Bangunan) Model 1	70
4.2.1.11.	Torsi Lantai Struktur Model 1	72
4.2.1.12.	Nilai Simpangan Gedung (Nilai Respon Bangunan) Model 2	74
4.2.1.13.	Torsi Lantai Struktur Model 2	77
4.2.2.	Hasil Analisis Model 3	78
4.2.2.1.	Berat Sendiri Bangunan	78
4.2.2.2.	Penentuan Total per Lantai (Wt)	78
4.2.2.3.	Penentuan Perioda Alami Struktur (T1)	79
4.2.2.4.	Perioda Fundamental Pendekatan (Ta)	80
4.2.2.5.	Penentuan Gaya Geser seismic (V)	81
4.2.2.6.	Spektrum Respon Ragam	82
4.2.2.7.	Gaya Geser Analisis Respon Spektrum	83
4.2.2.8.	Nilai Simpangan Gedung (Nilai Respon Bangunan) Model 3	86
4.2.2.9.	Torsi Lantai Struktur Model 3	89
4.2.3.	Perbandingan Respon Bangunan Tiap Model Struktur	90
4.2.4.	Perbandingan Torsi Lantai Tiap Model Struktur	94
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1.	Kesimpulan	96

5.2. Saran	97
DAFTAR PUSTAKA	98
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ekuivalen Energi Gempa Bumi Dikonversikan Kedalam Satuan Skala Richter	6
Tabel 2.2	Klasifikasi Situs (SNI 1726-2012)	11
Tabel 2.3	Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung Untuk Beban Gempa (SNI 1726-2012)	11
Tabel 2.4	Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726-2012)	14
Tabel 2.5	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	16
Tabel 2.6	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	16
Tabel 2.7	Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (SNI 1726-2012)	17
Tabel 2.8	Nilai Parameter Periode Pendekatan C_r , Dan x Berdasarkan SNI 1726-2012	21
Tabel 2.9	Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung Berdasarkan SNI 1726-2012	22
Tabel 2.10	Berat Sendiri Bahan Bangunan Dan Komponen Gedung	25
Tabel 2.11	Beban Hidup Pada Lantai Gedung	27
Tabel 2.12	Faktor Elemen Hidup	31
Tabel 2.13	Simpangan Antar Lantai Izin Berdasarkan SNI 1726-2012	33
Tabel 3.1	Beban Hidup Pada Lantai Gedung	46
Tabel 3.2	Beban Mati Tambahan Pada Lantai Gedung	47
Tabel 3.3	Interpolasi Koefisien Situs, F_a dan F_v (SNI 1726-2012)	50
Tabel 3.4	Nilai S_{DS} dan S_{D1} Untuk Kota Medan	51
Tabel 3.5	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	51
Tabel 3.6	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	51
Tabel 3.7	Data Spektrum Respon Berdasarkan SNI 1726-2012 Kota Medan Untuk Tanah Sedang	53

Tabel 3.8	Tabel Kombinasi Pembebanan Untuk $\rho = 1.3$ dan $S_{DS} = 0.484$	54
Tabel 3.9	Nilai Dasar Material Isolasi HDRB	55
Tabel 3.10	Nilai-Nilai Parameter Desain Isolasi Dasar HDRB	55
Tabel 4.1	Hasil Berat Sendiri Bangunan Perlantai Struktur Bangunan	57
Tabel 4.2	Rekapitulasi Berat Total Perlantai Struktur Bangunan	58
Tabel 4.3	Waktu Getar Alami Struktur Bangunan	58
Tabel 4.4	Hasil Persentase Nilai Periode	59
Tabel 4.5	Nilai Koefisien Batas Atas (Cu)	60
Tabel 4.6	Pengecekan Nilai Periode SAP	60
Tabel 4.7	Nilai Cs Yang Digunakan	61
Tabel 4.8	Gaya Geser Nominal Statik Ekuivalen (V)	62
Tabel 4.9	Pengecekan <i>Story Shear</i> Dengan 35% V <i>Base Shear</i> Redudansi 1 ($\rho=1$)	62
Tabel 4.10	Pengecekan <i>Story Shear</i> Dengan 35% V <i>Base Shear</i> Redudansi 1,3 ($\rho=1,3$)	63
Tabel 4.11	Gaya Geser Respon Spektrum Struktur Bangunan	63
Tabel 4.12	Pengecekan Gaya Geser Respon Spektrum	64
Tabel 4.13	Hasil Gaya Geser Respon Spektrum Setelah Dikalikan Faktor Skala	65
Tabel 4.14	Pengecekan Gaya Geser Respon Spektrum	66
Tabel 4.15	Nilai Kekakuan Struktur Gedung Arah x Tiap Lantai	68
Tabel 4.16	Nilai Kekakuan Struktur Gedung Arah y Tiap Lantai	69
Tabel 4.17	Nilai Simpangan Gedung Model 1 Arah x	70
Tabel 4.18	Nilai Simpangan Gedung Model 1 Arah y	71
Tabel 4.19	Hasil Rotasi Lantai Model 1 Arah x	73
Tabel 4.20	Hasil Rotasi Lantai Model 1 Arah y	73
Tabel 4.21	Nilai Simpangan Gedung Model 2 Arah x	74
Tabel 4.22	Nilai Simpangan Gedung Model 2 Arah y	75
Tabel 4.23	Hasil Rotasi Lantai Model 2 Arah x	77
Tabel 4.24	Hasil Rotasi Lantai Model 2 Arah y	77
Tabel 4.25	Hasil Berat Sendiri Bangunan Perlantai Struktur Bangunan	78
Tabel 4.26	Rekapitulasi Berat Total Perlantai Struktur Bangunan	79

Tabel 4.27 Waktu Getar Alami Struktur Bangunan	79
Tabel 4.28 Hasil Persentase Nilai Perioda	80
Tabel 4.29 Nilai Koefisien Batas Atas (Cu)	81
Tabel 4.30 Pengecekan Nilai Prioda	81
Tabel 4.31 Nilai Cs Yang Digunakan	82
Tabel 4.32 Gaya Geser Nominal Statik Ekuivalen (V)	82
Tabel 4.33 Pengecekan <i>Storey Shear</i> Dengan 35% Gaya Geser Dasar Redudansi 1 ($\rho=1$)	83
Tabel 4.34 Gaya Geser Respon Spektruk Struktur Bangunan	84
Tabel 4.35 Pengecekan Gaya Geser Respons Spektrum	85
Tabel 4.36 Hasil Gaya Geser Respons Spektruk Setelah Dikalikan Faktor Skala	86
Tabel 4.37 Pengecekan Gaya Geser Respons Spektrum	86
Tabel 4.38 Nilai Simpangan Gedung Isolasi Dasar Arah x	87
Tabel 4.39 Nilai Simpangan Gedung Isolasi Dasar Arah y	87
Tabel 4.40 Hasil Rotasi Lantai Model 3 Arah x	89
Tabel 4.41 Hasil Rotasi Lantai Model 3 Arah y	89
Tabel 4.42 Persentase Nilai Simpangan Terhadap Ketinggian Gedung	92
Tabel 4.43 Persentase Nilai Torsi Lantai Tiap Model Struktur	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis-jenis Pertemuan Dua Lempengan Tektonik	9
Gambar 2.2	Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 Detik Di Batuan Dasar S_b Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun (Redaman 5%)	10
Gambar 2.3	Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik Di Batuan Dasar S_b Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun (Redaman 5%)	10
Gambar 2.4	Bentuk Tipikal Respon Spektra Desain Di Permukaan Tanah (SNI 1726-2012)	15
Gambar 2.5	Letak Isolasi Dasar Pada Struktur Bangunan Gedung	36
Gambar 2.6	Perangkat HDRB dan Mekanisme Pergerakannya	38
Gambar 3.1	Bagan Alir (<i>Flow Chart</i>) Penelitian	41
Gambar 3.2	Denah Struktur Tampak Atas	44
Gambar 3.3	Tampak Depan Struktur Dengan <i>Fixed Base</i>	44
Gambar 3.4	Tampak Samping Struktur Dengan <i>Fixed Base</i>	45
Gambar 3.5	Tampak Depan Struktur Dengan Isolasi Dasar	45
Gambar 3.6	Tampak Samping Struktur Dengan Isolasi Dasar	46
Gambar 3.7	Struktur Bangunan <i>Fixed Base</i> Pada <i>SAP</i> (Model 1)	48
Gambar 3.8	Struktur Bangunan Dengan Isolasi Dasar Pada <i>SAP</i> (Model 2)	48
Gambar 3.9	Struktur Bangunan Dengan Isolasi Dasar dan Perubahan Balok (Cd Isolasi Dasar) Pada <i>SAP</i> (Model 3)	49
Gambar 3.10	Grafik Spektrum Respon Gempa Rencana	52
Gambar 3.11	Pemodelan Desain Isolasi Dasar Yang Akan Diinput Pada <i>SAP</i> 2000	56
Gambar 4.1	Grafik Simpangan Arah x dan Arah y Terhadap Ketinggian Gedung Model 1	71
Gambar 4.2	Grafik Nilai Rasio Simpangan Antar Tingkat Arah x dan Arah y Model 1	72
Gambar 4.3	Denah Struktur Bangunan Lantai 1–4	72
Gambar 4.4	Grafik Rotasi Lantai Model 1 Tiap Lantai Arah x	73

Gambar 4.5	Grafik Rotasi Lantai Model 1 Tiap Lantai Arah y	74
Gambar 4.6	Grafik Nilai Simpangan Terhadap Ketinggian Gedung Arah x dan Arah y Model 2	76
Gambar 4.7	Grafik Nilai Rasio Simpangan Antar Tingkat Arah x dan Arah y Model 2	76
Gambar 4.8	Grafik Rotasi Lantai Model 2 Tiap Lantai Arah x	77
Gambar 4.9	Grafik Rotasi Lantai Model 2 Tiap Lantai Arah y	78
Gambar 4.10	Grafik Simpangan Arah x dan Arah y Terhadap Ketinggian Gedung Model 3	88
Gambar 4.11	Grafik Nilai Simpangan Antar Tingkat Arah x dan Arah y Model 3	88
Gambar 4.12	Grafik Rotasi Lantai Model 3 Tiap Lantai Arah x	90
Gambar 4.13	Grafik Rotasi Lantai Model 3 Tiap Lantai Arah y	90
Gambar 4.14	Grafik Nilai Simpangan Terhadap Ketinggian Gedung Arah x Antar Model Struktur Bangunan	91
Gambar 4.15	Grafik Nilai Simpangan Terhadap Ketinggian Gedung Arah y Antar Model Struktur Bangunan	92
Gambar 4.16	Grafik Nilai Rasio Simpangan Antar Lantai Arah x Antar Model Struktur	93
Gambar 4.17	Grafik Nilai Rasio Simpangan Antar Lantai Arah y Antar Model Struktur	93
Gambar 4.18	Grafik Perbandingan Torsi Lantai Antar Model Struktur Arah x	94
Gambar 4.19	Grafik Perbandingan Torsi Lantai Antar Model Struktur Arah y	95

DAFTAR NOTASI

A	= luasan area bantalan (mm^2)
a	= percepatan (m/s^2)
α	= 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 gravitasi (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_{D1}	= parameter percepatan respon spektral pada perioda 1 detik, redaman 5 persen
S_{DS}	= parameter percepatan respon spektral pada perioda pendek, redaman 5 persen
S_{M1}	= parameter percepatan respon spektral MCE pada pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{MS}	= parameter percepatan respon spektral MCE pada pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_S	= parameter percepatan respon spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen
\bar{S}_u	= kuat geser niralir rata-rata (kpa)
T	= perioda fundamental bangunan (s)
T_0	= $0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
T_a	= Perioda 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)
\bar{v}_S	= 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
\mathcal{E}_c	= rengangan 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
ETABS	= Extended Three dimension Analysis of Building System
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	= TriNitroToluene
UBC	= Uniform Building Code

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang dilalui jalur seismik. Hal ini menyebabkan gempa bumi sering terjadi di negara ini. Gerakan tanah (*ground motion*) akibat gempa bumi umumnya sangat tidak teratur dan hanya terjadi beberapa detik sampai puluhan detik, walaupun terkadang dapat terjadi lebih dari satu menit. Pelepasan energi ini diakibatkan karena adanya deformasi lempeng tektonik yang terjadi pada kerak bumi. Lempeng yang lebih berat massanya akan menyusup ke bawah, sedangkan yang ringan akan terangkat.

Sebagian besar daerah di Indonesia memiliki resiko gempa yang cukup tinggi karena terletak pada empat lempeng tektonik yaitu lempeng Australia-India, Lempeng Euroasian, lempeng pasific, dan lempeng Philippine. Salah satunya adalah Pulau Sumatera yang kaya akan gempa, karena letaknya di zona pertemuan lempeng bumi, yakni lempeng Australia-India.

Secara umum sumber gempa di daratan Sumatera dapat disebabkan oleh aktifitas sesar lokal maupun aktifitas zona subduksi. Perbedaan kedua sumber gempa tersebut, dapat dilihat dari kedalaman sumber gempa. Peneliti Pusat Studi Tsunami dan Mitigasi Bencana (TDMRC) Universitas Syiah Kuala (Unsyiah) Banda Aceh, Ibnu Rusydy menjelaskan, Pulau Sumatera masuk dalam kategori tatanan tektonik yang unik. Di bagian selatan pulau ini ada zona pertemuan lempeng secara subduksi, di mana lempeng Indo-Australia menyusup masuk ke bawah lempeng Euroasia.

Peristiwa gempa itu sendiri merupakan peristiwa dinamik yang akan menimbulkan getaran pada tanah, dan selanjutnya akan menggetarkan struktur yang ada di atas tanah tersebut. Bangunan bertingkat apabila terkena gaya gempa, akan mempunyai pola goyangan (*mode shapes*) sebanyak jumlah tingkatnya.

Selain itu akan terjadi deformasi yang cukup besar pada lantai bangunan sehingga dapat menyebabkan kerusakan struktural (Dwiyanto, 2017).

Kerusakan Bangunan akibat gempa secara konvensional dicegah dengan memperkuat struktur bangunan terhadap gaya gempa yang bekerja padanya. Namun, hasil ini sering kali kurang memuaskan, karena kerusakan elemen baik struktural maupun non-struktural umumnya disebabkan adanya *interstory drift* (perbedaan simpangan antar tigit). Untuk memperkecil *interstory drift* dapat dilakukan dengan memperkaku bangunan dalam arah lateral. Namun, hal ini akan memperbesar gaya gempa yang bekerja pada bangunan. Metoda yang lebih baik adalah dengan meredam energi gempa sampai pada tingkat yang tidak membahayakan bangunan (Dwiyanto, 2017).

Salah satu konsep pendekatan perencanaan yang telah digunakan banyak orang adalah dengan menggunakan *structural control devices* seperti *base isolation system* atau menggunakan *energy dissipation passive*. *Base Isolator* merupakan suatu elemen yang digunakan pada dasar bangunan antara pondasi dan dasar kolom untuk meredam atau mereduksi gaya gempa. Jenis isolasi yang sering digunakan pada gedung yaitu *elastomeric bearing*. *Elastomeric bearing* dibuat dari kombinasi lempengan karet alam dan lempeng baja. Karet alam berfungsi untuk mengurangi getaran akibat gempa bumi, sedangkan lempeng baja digunakan untuk menambah kekakuan bantalan karet, sehingga penurunan bangunan saat bertumpu di atas bantalan karet tidak besar. Bantalan karet tahan gempa dapat digunakan untuk rumah tinggal maupun gedung bertingkat.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka yang menjadi rumusan masalah penulis adalah sebagai berikut:

1. Berapakah perbandingan nilai simpangan struktur gedung SRPMK yang menggunakan isolasi dasar jenis *High Damping Rubber Bearing (HDRB)* dengan yang tidak menggunakan isolasi dasar (*fixed base*)?

2. Berapa nilai simpangan antar tingkat bangunan (*interstory drift*) akibat gaya gempa?
3. Apa pengaruh *seismic isolation* terhadap bangunan beton tidak beraturan yang berlayout L.

1.3. Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan sesuai dengan sasaran yang ingin dicapai, maka penulis perlu dibatasi permasalahannya. Adapun batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Struktur yang dianalisis adalah bangunan yang menggunakan material utama beton yang terdiri dari 5 lantai termasuk lantai atap dengan denah berbentuk L. Elemen struktur yang direncanakan adalah elemen struktur balok dan kolom.
2. Struktur gedung tidak beraturan horizontal
3. Plat lantai hanya diasumsikan menggunakan beton setebal 17 cm dan tidak diperhitungkan secara detail dalam tugas akhir ini.
4. *Strut* diagonal dan bukaan untuk jendela dan pintu pada dinding bata diabaikan.
5. Beban tangga dan lubang tangga pada plat lantai diabaikan.
6. Permodelan dan analisa struktur dilakukan dalam bentuk tiga dimensi dengan menggunakan program analisis struktur.
7. Beban-beban yang diperhitungkan meliputi:
 - a. Beban mati/berat sendiri bangunan (*dead load*).
 - b. Beban mati tambahan (*super impose dead load*).
 - c. Beban hidup (*live load*).
 - d. Beban gempa dinamis (*earthquake load*).
8. Wilayah gempa yang digunakan adalah dengan kondisi tanah sedang.
9. Penyusunan tugas akhir ini berpedoman pada peraturan-peraturan sebagai berikut:
 - a. Menggunakan peraturan SNI 03-2847-2013 untuk beton.
 - b. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 03-1726-2012.

- c. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727-2013 dan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983).
10. Menggunakan analisa persamaan linier.
11. Sisten dilatasi bangunan tidak digunakan.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadikan tujuan penulis dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui perbandingan nilai simpangan struktur gedung SRPMK yang menggunakan *fixed base* dengan yang menggunakan isolasi dasar jenis HRDB yang terlekat di Kota Medan.
2. Untuk mengetahui hasil simpangan antar tingkat bangunan (*interstory drift*) akibat gaya gempa?
3. Untuk mengetahui pengaruh *seismic isolation* terhadap bangunan beton berlayout L.

1.5. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Bagi Penulis, Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat untuk meningkatkan dan mengembangkan pengetahuan dan wawasan penulis serta berfikir ilmiah khususnya yang berkaitan dengan pembahasan analisis respon bangunan gedung lima lantai tidak beraturan menggunakan *base isolator*, sehingga penulis dapat membandingkan antara teori dengan praktek yang diperoleh selama perkuliahan serta dapat pula mengimplementasikannya dalam kehidupan penulis pada masa yang akan datang.
2. Bagi Akademisi, Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pandangan kepada civitas akademik dan sebagai bahan tambahan referensi dipergustakaan untuk membantu mahasiswa/i dalam melakukan penelitian.

1.6. Sistematika Penulisan

Agar penulisan tugas akhir ini terstruktur dan jelas, maka tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab. Adapun Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisikan tentang latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang dasar teori dan peraturan yang mendukung dalam perencanaan struktur sehingga bisa dipertanggung jawabkan kebenarannya.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang langkah-langkah kerja yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dan saran.

BAB 2

STUDI PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah guncangan di permukaan bumi disebabkan oleh pergerakan yang cepat pada lapisan batuan terluar bumi. Gempa bumi terjadi ketika energi yang tersimpan dalam bumi, biasanya dalam bentuk tegangan pada batuan, secara tiba-tiba terlepas. Energi ini dirambatkan ke permukaan bumi oleh gelombang gempa bumi. Atau dengan kata lain gempa bumi adalah gerakan tiba-tiba atau suatu rentetan gerakan tanah yang berasal dari suatu daerah terbatas dan menyebar dari titik tersebut ke segala arah.

Menurut Teori *Elastic Rebound* yang dinyatakan oleh Seismolog Amerika, Reid, menyatakan bahwa gempa bumi merupakan gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastis batuan, yang disebabkan adanya deformasi batuan yang terjadi pada lapisan lithosfer. Deformasi batuan terjadi akibat adanya tekanan (*stress*) dan regangan (*strain*) pada lapisan bumi. Tekanan atau regangan yang terus-menerus menyebabkan daya dukung pada batuan akan mencapai batas maksimum dan mulai terjadi pergeseran dan akhirnya terjadi patahan secara tiba-tiba.

Besarnya nilai gempa yang terjadi adalah jumlah total energi yang dilepaskan, besarnya diukur secara langsung oleh pihak yang berwenang di wilayah tersebut. Saat ini nilai yang sering digunakan untuk menentukan besarnya gempa yang terjadi adalah skala richter (Young, 1975). 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	

Tabel 2.1: *Lanjutan.*

<i>Earthquake Magnitude (SR)</i>	TNT ekuivalen	Contoh
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
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

2.1.1 Klasifikasi Gempa Bumi

Menurut Budiono dan Supriatna (2011), secara garis besar gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu:

1. Gempa Bumi Vulkanik

Gempa bumi ini terjadi akibat adanya aktivitas magma yang biasa terjadi sebelum gunung api meletus. Apabila keaktifan gunung api semakin tinggi maka akan menyebabkan timbulnya ledakan dan juga terjadinya gempa bumi.

2. 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 di dalam 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. Gempa bumi ini terjadi akibat adanya aktivitas tektonik yaitu pergeseran kulit bumi (*lithosphere*) yang umumnya terjadi di daerah patahan kulit bumi. Gempa bumi jenis inilah yang menimbulkan kerusakan yang paling besar karena magnitudo yang ditimbulkannya bisa besar.

3. Gempa bumi runtuhan

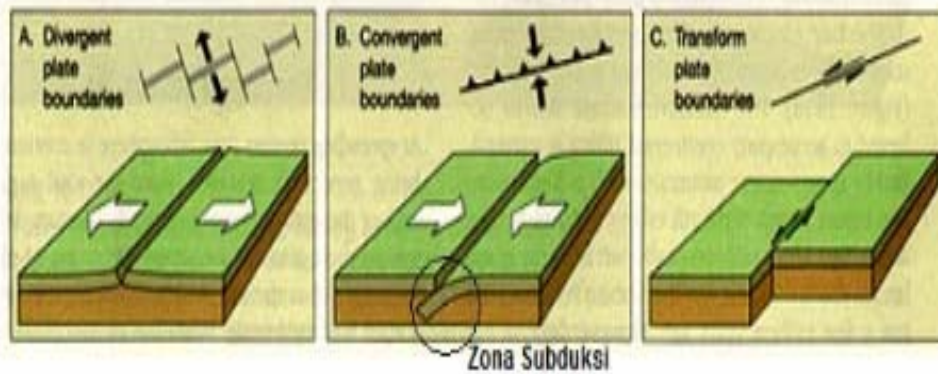
Gempa bumi yang disebabkan oleh keruntuhan baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Gempa ini biasanya terjadi pada daerah kapur ataupun pada daerah pertambangan. Gempa bumi ini jarang terjadi dan bersifat lokal.

4. Gempa Bumi Buatan

Gempa bumi buatan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti peledakan dinamit, bom, dan nuklir.

2.1.2 Mekanisme Gempa Bumi

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

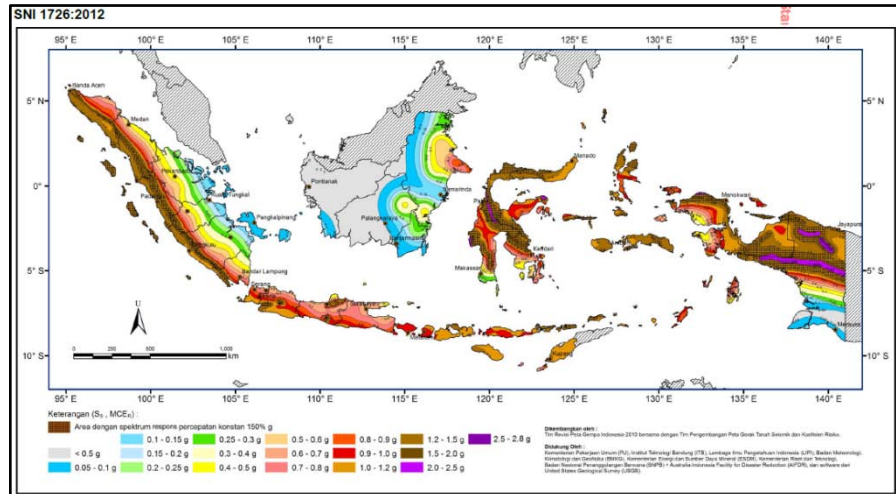


Gambar 2.1: Jenis-jenis pertemuan dua lempeng tektonik, a) pertemuan *divergen*; b) pertemuan *konvergen*; c) pertemuan saling bergeser horizontal

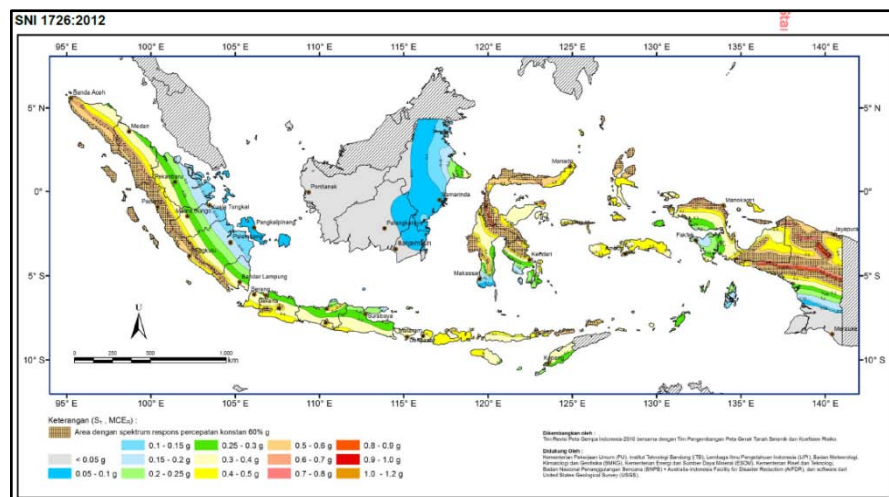
Secara geologis, Indonesia terletak di antara tiga lempeng utama dunia yaitu Australia, Eurasia, dan Pasifik sehingga menyebabkan Indonesia menjadi salah satu Negara yang rawan gempa bumi. Selain itu, gempa bumi tektonik biasanya jauh lebih kuat getarannya dibandingkan dengan gempa bumi vulkanik, gempa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

2.2 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_1 (percepatan batuan tanah dasar pada periode 1 detik). Kota Medan sendiri terletak pada wilayah gempa dengan nilai S_s antara 0.5-0.6 g dan S_1 antara 0.3– 0.4 g. Untuk lebih jelas melihat nilai parameter S_s dan S_1 berbagai kota di Indonesia dapat melihat Gambar 2.2 dan 2.3 berikut.



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 SD (tanah sedang). 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 = tidak dapat dipakai

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

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya. 	I

Tabel 2.3: *Lanjutan.*

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<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 	<p>II</p>
<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 	<p>III</p>

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, ambulans, 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

Parameter spektrum respon 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 respon spektral percepatan gempa terpetakan untuk periode pendek,

S_1 adalah parameter respon 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:

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

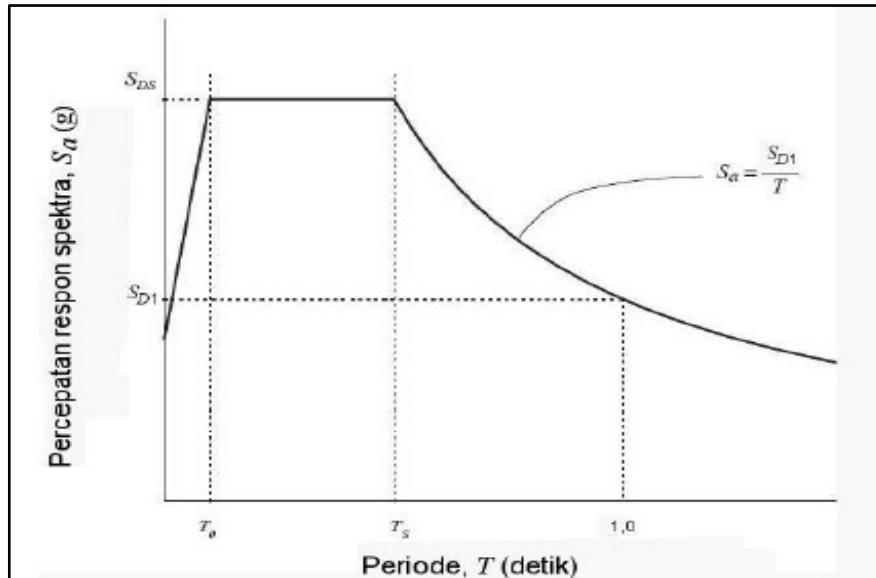
$$S_{D1} = \mu S_{M1} \quad (2.4)$$

dimana:

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

S_{D1} adalah respon 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 respon spektra desain di permukaan tanah (SNI1726-2012).

Kurva spektrum respon desain harus mengikuti ketentuan berikut ini:

1. Untuk periode lebih kecil dari T_0 , respon 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 , respon spektra percepatan, S_a adalah sama dengan S_{DS} .
3. Untuk periode lebih besar dari T_s , respon 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.

$$T_0 = 0,2 T_s \quad (2.7)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$

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 respon 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 2.5: 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 2.6: 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

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 2.7: 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
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

Tabel 2.7: Lanjutan.

Sistem Penahangaya 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
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°	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
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
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

Tabel 2.7: *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.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.

Pada pasal 12.5.4.2 koefisien numerik yang berhubungan dengan tipe sistem penahan gempa di atas sistem isolasi (R_I) harus bernilai 3/8 dai nilai R yang diberikan oleh Tabel 9, dengan nilai maksimum tidak lebih besar dari 2,0 dan nilai minimum tidak kurang dari 1,0.

2.7 Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI1726:2012 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 respon 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 respon berdasarkan Tabel 2.7

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:

$$C_s = 0,044 S_{D1} I_e \geq 0,01 \quad (2.12)$$

dimana:

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

T = periode getar struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan

Sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari $0,6 g$ maka C_s harus tidak kurang dari Pers. 2.13.

$$C_s = \frac{0,5 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.13)$$

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 perioda 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 meter 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 2.9

Tabel 2.8: Nilai parameter periode pendekatan C_t , dan x berdasarkan SNI 1726-2012.

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:		
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 2.9: 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

Dari Tabel 2.10 untuk tipe struktur menggunakan rangka beton pemikul momen dapat diambil nilai parameter periode pendekatan $C_t = 0,0466$, $x = 0,9$ dan berdasarkan peta wilayah gempa Kota Medan termasuk kedalam parameter percepatan respons spektra desain pada 1 detik (S_{D1}) 0.3-0.4 g koefisien C_u pada Tabel 2.9 adalah 1,4.

2.9 Penentuan Distribusi Vertikal Gaya Gempa (F_i)

Distribusi horizontal 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 respon 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 respon 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 yang diizinkan.

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 2.10.

Tabel 2.10: Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung.

BAHAN BANGUNAN	Berat Jenis
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
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

Tabel 2.10: *Lanjutan.*

BAHAN BANGUNAN	Berat Jenis
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
KOMPONEN GEDUNG	Berat Jenis
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
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 2.11.

Tabel 2.11: 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 computer	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 2inx2in [50 mmx50 mm])		300 (1.33)

Tabel 2.11: *Lanjutan.*

Hunian atau Penggunaan	Beban Merata psf (kN/m ²)	Beban terpusat lb (kN)
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 1mx1m. [25 mmx 25mm])		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/parker Mobil penumpang saja Truk dan bus	40 (1.92) ^{a,b,c}	
Susunan tangga, rel pengamandan 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	60 (2.87) 40 (1.92)	1000 (4.45) 1000 (4.45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3.83)	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 hokum Balok sel Koridor	40 (1.92) 100 (4.79)	
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 Semuaruang terkecuali tangga dan balkon Semua hunian rumah tinggal lainnya		
	10 (0.48) ^l 20 (0.96) ^m 30 (1.44) 40 (1.92) 40 (1.92) 100 (4.79)	

Tabel 2.11: *Lanjutan.*

Hunian atau Penggunaan	Beban Merata psf (kN/m ²)	Beban terpusat lb (kN)
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka Ruang publik ^a dan koridor yang melayani mereka		
Atap Atap datar, berbubung dan lengkung Atap digunakan untuk taman atap	20 (0.96) ⁿ 100 (4.79)	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain Atap yang digunakan untuk hunian lainnya Awning dan kanopi Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan Rangka tumpu layar penutup Semua konstruksi lainnya Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai Titik panel tunggal dari batang bawah rangka	Sama seperti hunian dilayani ^a 5 (0.24) tidak boleh direduksi 5 (0.24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributary dari atap yang ditumpu oleh rangka 20 (0.96)	i 200 (0.89) 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)
	100 (4.79) 40 (1.92)	300 ^r 300 ^r

Tabel 2.11: *Lanjutan.*

Hunian atau Penggunaan	Beban Merata psf (kN/m ²)	Beban terpusat lb (kN)
Gudang diatas langit-langit Gudang penyimpanan barang sebelum disalurkan ke pncecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk Beban lebih berat)	20 (0.96)	
Ringan	125 (6.00) ^a	
Berat	250 (11.97) ^a	
Toko		
Eceran		
Lantai pertama	100 (4.79)	1000 (4.45)
Lantai diatasnya	75 (.59)	1000 (4.45)
Grosir, disemua lantai	125 (6.00) ^a	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 2.12.

Tabel 2.12: 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 kantilever	2
Balok-balok interior	2
Semua komponen struktur yang tidak disebut diatas: Balok-balok tepi dengan pelat-pelat kantilever 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 di hiraukan 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 Pecencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, maka terlebih dahulu harus menganalisis/menentukan 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 disipasi energi yang lengkap, untuk menahan gerak tanah desain dalam batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Gerak tanah desain harus diasumsikan terjadi di sepanjang setiap arah horisontal struktur bangunan gedung. Kecukupan sistem struktur harus ditunjukkan melalui pembentukan model matematik dan pengevaluasian model tersebut untuk pengaruh gerak tanah desain.

Gaya gempa desain, dan distribusinya di sepanjang 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 masa teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat masa 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 di bawah 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 SNI1726:2012, bahwa struktur gedung harus berada dalam simpangan yang diizinkan.

Tabel 2.13: Simpangan antar lantai izin berdasarkan SNI1726-2012.

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 persamaan berikut:

$$E = E_h + E_v$$

- Pengaruh beban gempa, E , untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 dan 6 harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E = E_h - E_v$$

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 persamaan berikut:

$$E_h = \rho Q_E$$

- Untuk pengaruh beban seismik vertikal, E_v , harus ditentukan dengan persamaan berikut:

- $E_v = 0,2S_{DS}DL$

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 di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap 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.

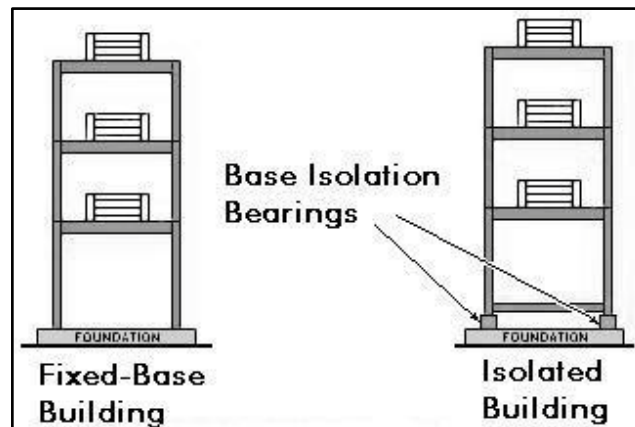
2.15 Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Berdasarkan SNI 03-2847-2013

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 250mm.
- 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 merupakan teknologi yang digunakan untuk meredam kekuatan seismik, meminimalisir terjadinya kerusakan bangunan dan jumlah jatuhnya korban jiwa akibat terjadinya gempa bumi. Isolasi dasar di letakkan 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 dan Naeim (2000), terdapat tiga elemen dasar pada system 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 Teruna dan Singarimbun (2010), Prinsip utama cara kerja isolasi dasar jenis *elastomeric bearing* (HDRB atau LRB) adalah dengan memperpanjang

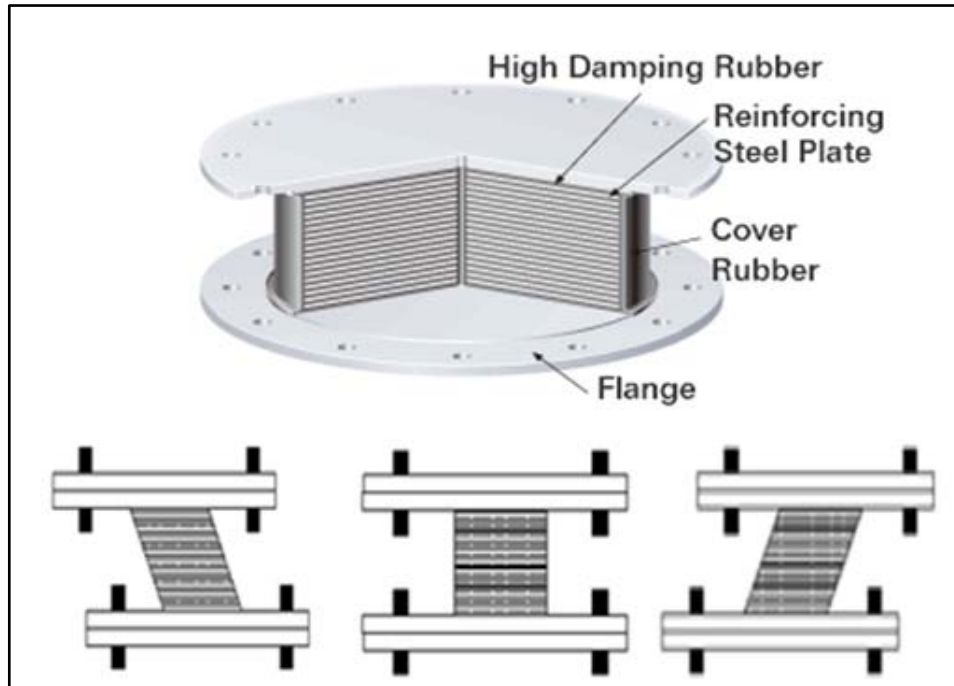
waktu getar alami struktur diluar frekwensi dominan gempa sampai 2.5 atau 3 kali dari waktu getar struktur tanpa isolasi (*fixed base structures*) dan memiliki damping antara 10 s/d 20%. Akibatnya gaya gempa yang disalurkan ke struktur menjadi lebih kecil.

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. Pada bangunan konvensional, disipasi energi diakomodasi melalui rotasi pada elemen melalui mekanisme lentur (hubungan Momen-Rotasi). Disisi lain, perangkat isolasi dasar mendisipasikan energi melalui mekanisme gaya geser dan regangan geser inelastik pada perangkat elemen isolasi dasar yaitu bahan karet dengan redaman tinggi.

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 memutus gaya gempa yang masuk ke struktur dan 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 mendisain isolasi dasar untuk jenis HDRB. Harus memperhatikan nilai yang terdapat pada material yang akan digunakan, seperti modulus geser dan dimensi yang akan digunakan. Salah satu parameter yang paling penting dalam mendisain isolasi HDRB adalah mencari nilai *shape factor* dengan Pers. 2.23.

$$S = \frac{\Phi}{4t} \quad (2.23)$$

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. 2.24 dan 2.25.

$$K_H = \frac{GA}{t_r} \quad (2.24)$$

$$K_V = \frac{E_c A_s}{t_r} \quad (2.25)$$

dimana:

K_H = kekakuan arah horizontal.

K_V = kekakuan arah vertikal.

G = modulus geser material.

A = luasan area bantalan.

t_r = tebal keseluruhan bantalan.

E_c = modulus elastisitas material.

A_s = luasan penyangga besi perletakan bantalan.

Pada Pers. 2.25 terdapat nilai modulus elastisitas (E_c) yang didapat dengan menggunakan Pers. 2.26.

$$E_c = 6GS^2 \quad (2.26)$$

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. 2.27.

$$\gamma = \frac{D}{t_r} \quad (2.27)$$

dimana:

D = perpindahan horizontal maksimum.

2.16.4 Batas Simpangan Antar Lantai Pada Struktur Isolasi Dasar

Menurut SNI-1726-2012 pasal 12.5.6, bahwa simpangan antar lantai maksimum struktur diatas sistem isolasi tidak boleh melebihi $0.015 h_{sx}$. Simpangan antar lantai harus dihitung berdasarkan Pers. 2.22 dengan faktor C_d dari sistem isilasi sama dengan faktor R_I yang ditentukan di 12.5.4.2.

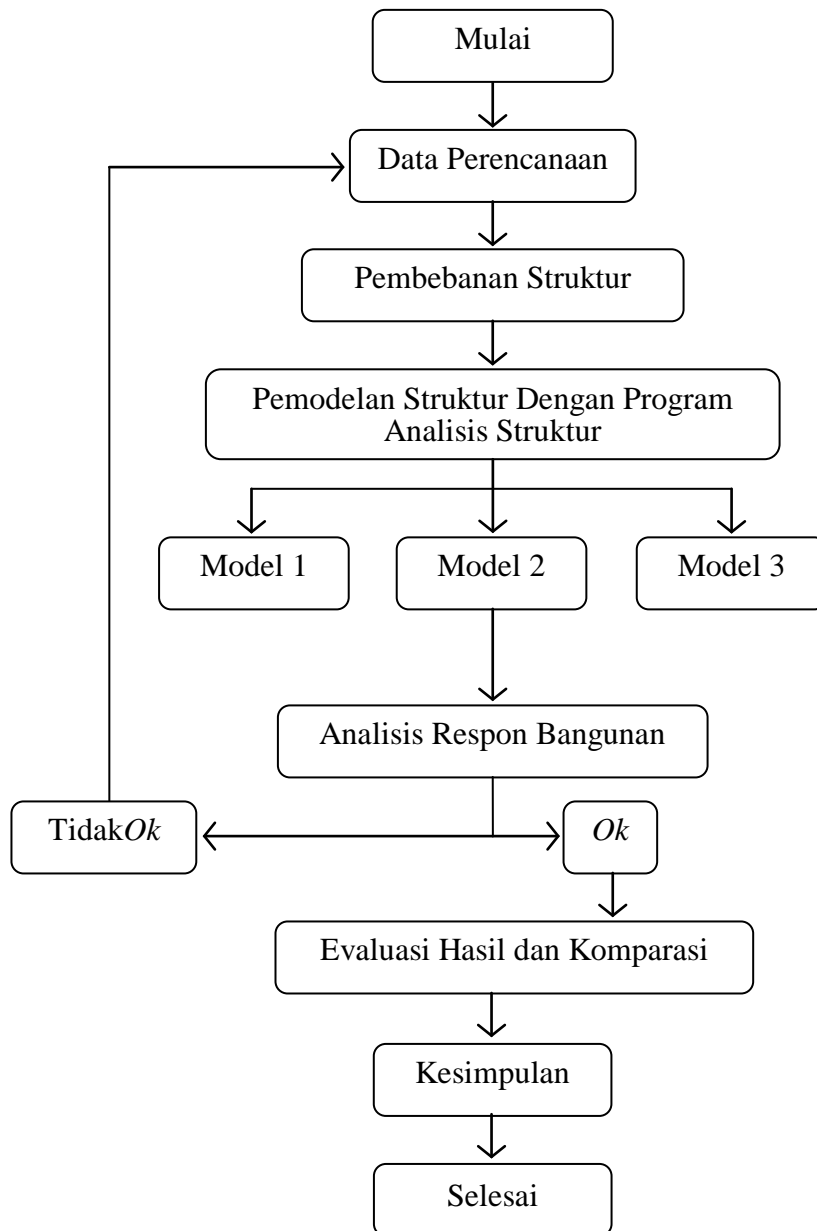
BAB 3

METODOLOGI

3.1 Bagan Alir/Flow Chart Penelitian

Langkah-langkah dalam pengerjaan penelitian ini disajikan dalam bentuk bagan alir (*flow chart*). Bagan alir ini sebagai pedoman penelitian yang akan dilakukan dalam penulisan ini. Sejak dimulai penelitian ini penulis melakukan pengumpulan data perencanaan, pembebanan dengan berpedoman pada SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk gedung struktur gedung dan non gedung, SNI 2847:2013 untuk material beton, SNI 1727:2013 untuk pembebanan dan data pendukung lainnya .

Pemodelan struktur dibantu menggunakan aplikasi *software* (*Structure Analysis Program*) dengan komparasi 3 model struktur untuk memperoleh hasil analisis kemudian dilakukan pembahasan selanjutnya ditariklah beberapa kesimpulan sebagai hasil akhir dari studi ini. Bagan alir tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



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

3.2 Rancangan Penelitian

Konstruksi bangunan yang akan dirancang merupakan bangunan gedung beton bertulang SRPMK. Pemodelan struktur *open frame* terdiri dari 3 model, yaitu:

1. *Fixed base* SRPMK tanpa dinding bata.
2. Isolasi dasar SRPMK tanpa dinding bata.
3. Isolasi dasar SRPMK tanpa dinding bata dengan penampang balok yang berbeda (Cd isolasi dasar)

Bangunan gedung terletak di wilayah Medan. Fungsi gedung adalah untuk perkantoran yang terletak di kota Medan dan bangunan terletak diatas tanah sedang.

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

1. Desain balok dan kolom model 1 dan model 2
 - a) Dimensi balok lantai = 0.35×0.50 m
 - panjang balok arah x = 6 m
 - panjang balok arah y = 5 m
 - b) Dimensi balok atap = 0.25×0.40 m
 - panjang balok arah x = 6 m
 - panjang balok arah y = 5 m
 - c) Dimensi kolom = 0.60×0.60 m, panjang kolom = 4 m
2. Dimensi balok dan kolom model 3
 - a) Dimensi balok lantai/atap = 0.35×0.55 m
 - panjang balok arah x = 6 m
 - panjang balok arah y = 5 m
 - b) Dimensi kolom = 0.60×0.60 m, panjang kolom = 4 m

3.3.3 Desain Plat

a) Selimut beton (SNI 03-2847-2013 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 dan tebal maksimum plat dengan Pers. 3.1 dan 3.2 sebagai berikut:

$$h_{maks} = \frac{ln \cdot \left(0,8 + \frac{fy}{1500}\right)}{36} \quad (3.1)$$

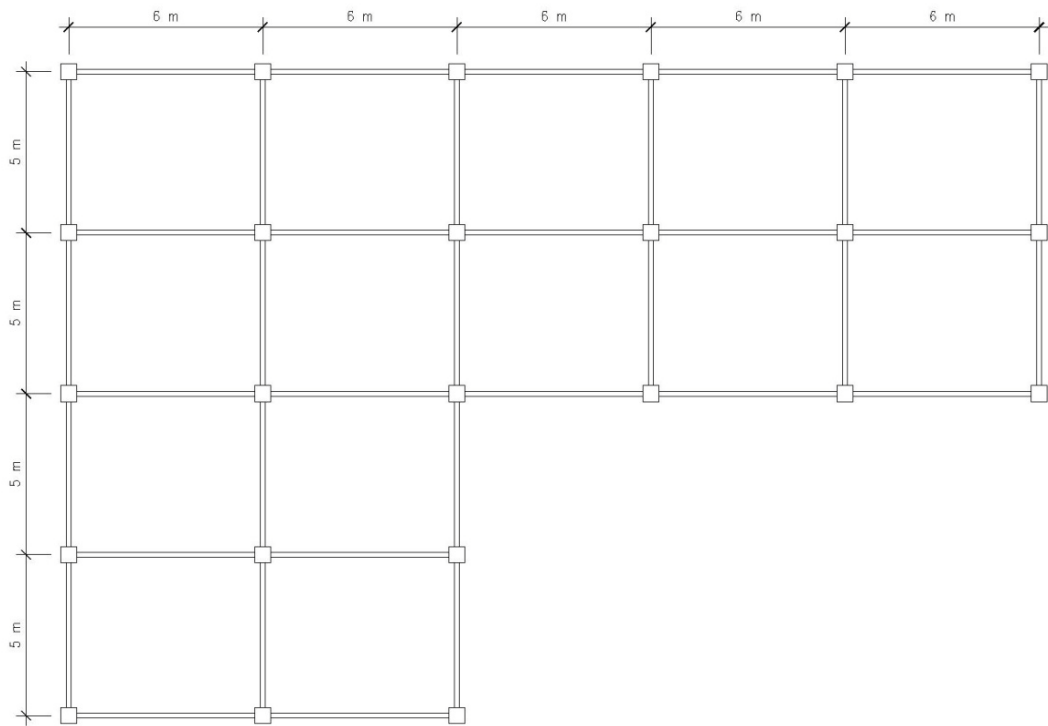
$$\begin{aligned} h_{maks} &= \frac{6000 \cdot \left(0,8 + \frac{fy}{1500}\right)}{36} \\ &= 177.78 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$h_{min} = \frac{ln \cdot \left(0,8 + \frac{fy}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \quad (3.2)$$

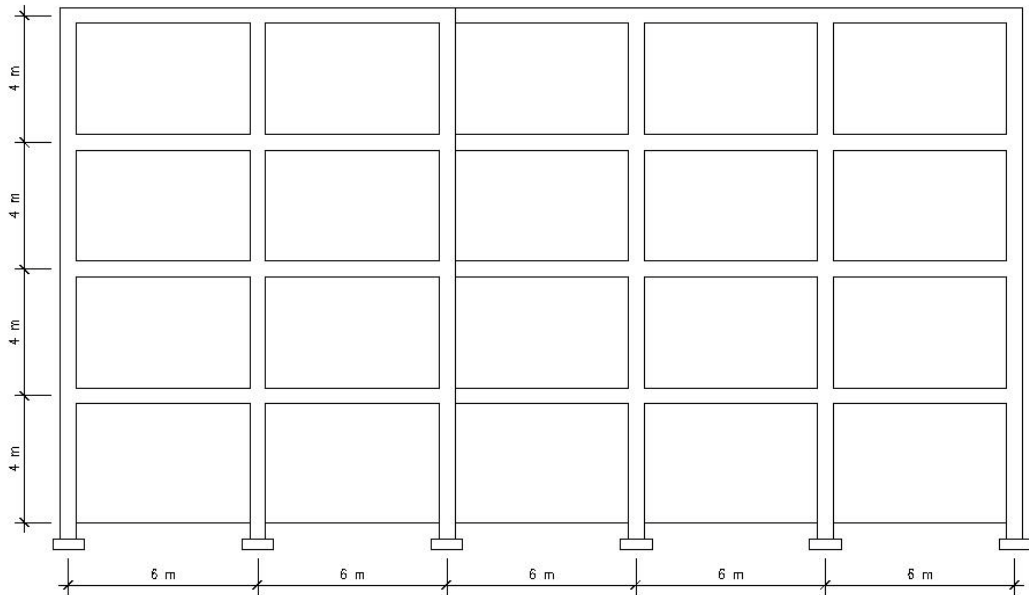
$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{6000 \cdot \left(0,8 + \frac{fy}{1500}\right)}{36 + 9 \cdot \left(\frac{5000}{6000}\right)} \\ &= 147.13 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tebal pelat (h_{mak}) = 17.78 cm, maka tebal plat lantai yang dipakai pada setiap lantai diasumsikan 17 cm.

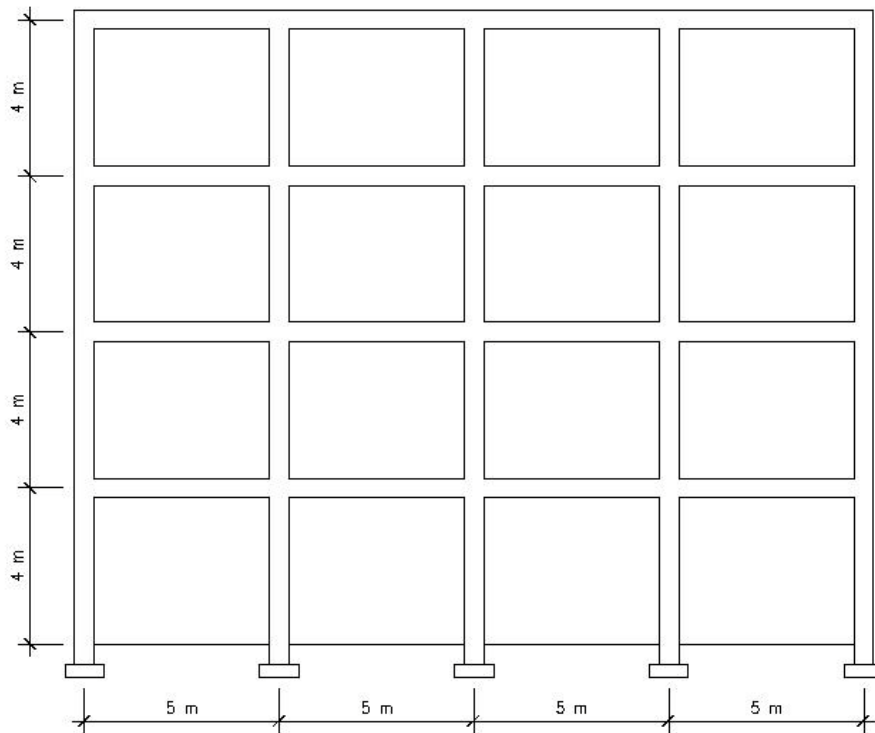
Gambar denah tampak atas, depan dan samping bias dilihat pada Gambar 3.2-3.4.



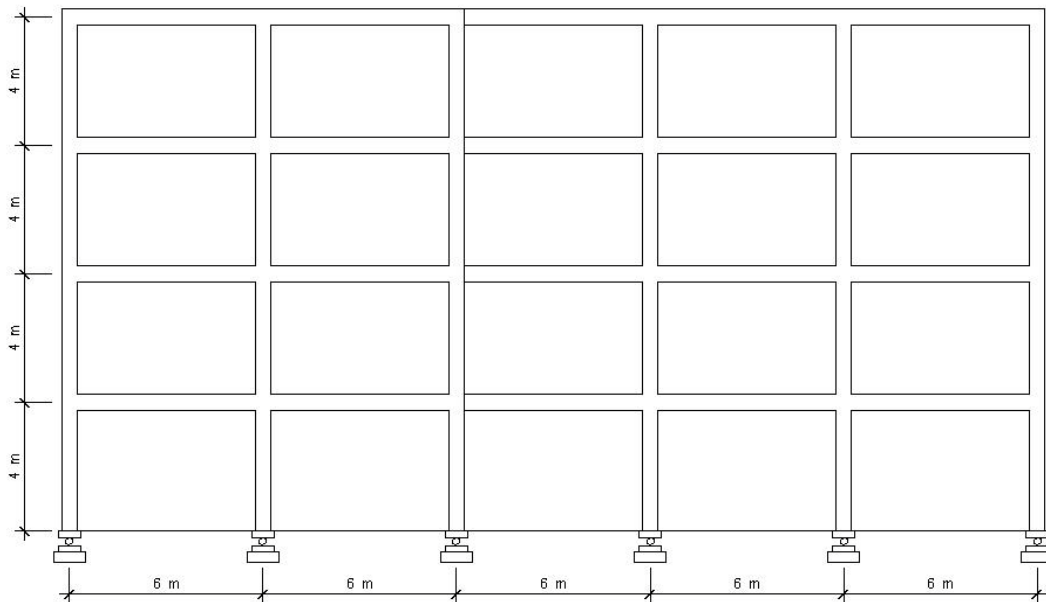
Gambar 3.2: Denah struktur tampak atas.



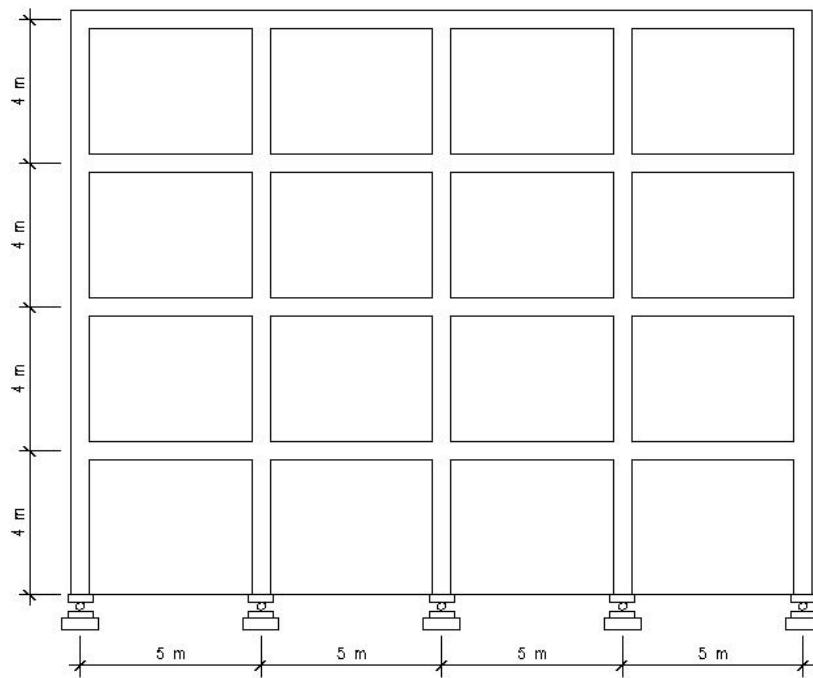
Gambar 3.3: Tampak depan stuktur dengan *fixed base*.



Gambar 3.4: Tampak samping struktur dengan *fixed base*.



Gambar 3.5: Tampak depan struktur dengan isolasi dasar.



Gambar 3.6: Tampak samping struktur dengan isolasi dasar.

3.3.4 Pembebanan

Berdasarkan sub bab 2.13.2 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 computer 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 3.3.

$$L = L_o \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right) \quad (3.3)$$

$$L = L_o \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{1 \times 420}} \right)$$

$$L = 0.47L_o$$

Berat sendiri komponen struktur sudah dihitung secara otomatis oleh program analisis struktur berdasarkan input data dimensi dan karakteristik material yang direncanakan. Sedangkan 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 tersebut dapat dirangkum untuk masing-masing lantai sebagai berikut:

1. *Fixed base* tanpa dinding bata:

a) Untuk lantai 1-3:

Beban mati tambahan

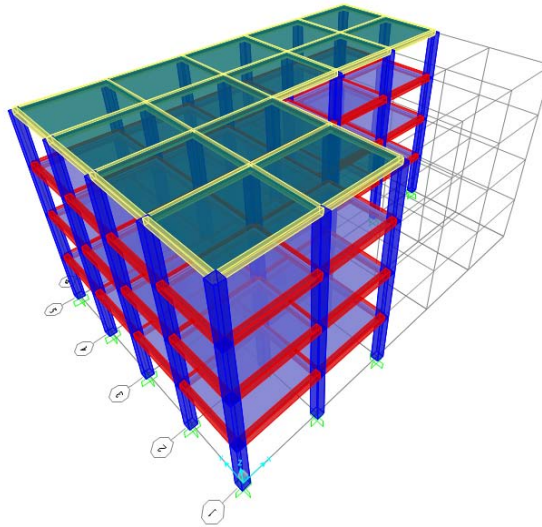
- Spesi (tebal 3cm) = 63 kg/m²
- Keramik = 24 kg/m²
- Plafond dan penggantung = 18 kg/m²
- Total beban mati tambahan = 105 kg/m²

b) Untuk lantai atap:

Beban mati tambahan

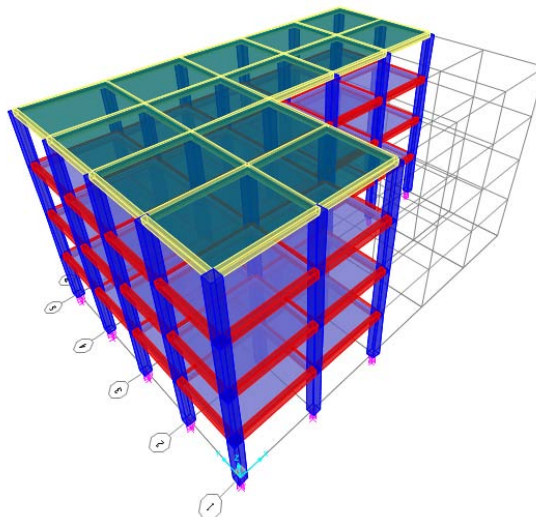
- Spesi (tebal 3cm) = 63 kg/m²
- Plafond dan penggantung = 18 kg/m²
- *Water proofing* = 5 kg/m²
- Total beban mati tambahan = 86 kg/m²

Gambar desain struktur bangunan pada *software* dapat dilihat pada Gambar 3.5-3.7.



Gambar 3.7: Struktur bangunan *fixed base* pada *software* (model 1).

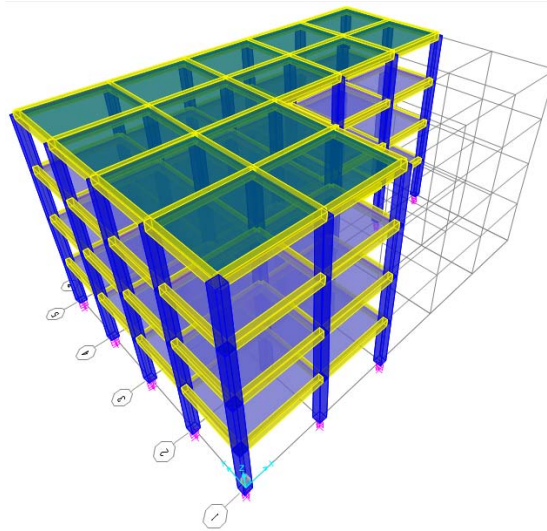
Pada Gambar 3.7 terlihat pemodelan pada *software* untuk arah x,y,z struktur model 1 menggunakan perletakan jepit yang terdiri dari 4 lantai dengan penampang kolom 60x60 cm, balok lantai 1 sampai dengan lantai 3 dengan ukuran 35x50 cm dan balok atap berukuran 25x40 cm. Jarak antar kolom untuk arah x adalah 6 m, arah y adalah 5 m tinggi antar lantai adalah 4 m.



Gambar 3.8: Struktur bangunan dengan isolasi dasar pada *software* (model 2).

Pada Gambar 3.8 terlihat pemodelan pada *software* untuk arah x,y,z struktur model 2 menggunakan isolasi dasar yang terdiri dari 4 lantai dengan penampang

kolom 60x60 cm, balok lantai 1 sampai dengan lantai 3 dengan ukuran 35x50 cm dan balok atap berukuran 25x40 cm. Jarak antar kolom untuk arah x adalah 6 m, arah y adalah 5 m tinggi antar lantai adalah 4 m.



Gambar 3.9: Struktur bangunan dengan isolasi dasar dan perubahan balok (Cd isolasi dasar) pada *software* (model 3).

Pada Gambar 3.9 terlihat pemodelan pada *software* untuk arah x,y,z struktur model 3 menggunakan isolasi dasar yang terdiri dari 4 lantai dengan penampang kolom 60x60 cm, balok lantai 1 sampai dengan lantai 4 dengan ukuran 35x55 cm. Jarak antar kolom untuk arah x adalah 6 m, arah y adalah 5 m tinggi antar lantai adalah 4 m.

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 (I_e) adalah 1,0. Bangunan direncanakan berada di kota Medan.

Penentuan kategori desain seismik dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menentukan nilai spektral percepatan (S_s) dan spektral percepatan (S_1) untuk kota

Medan yang dapat dilihat pada Peta Zonasi Gempa tahun 2012 yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dibawah ini.

Berdasarkan Peta Zonasi Gempa 2012 dan menurut Tumbilar (2015), maka:

- $PGA = 0.231 \text{ g}$
- $S_s = 0.526 \text{ g}$
- $S_1 = 0.332 \text{ g}$

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 SD (tanah sedang). 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 Medan		
Kelas situs	F_a ($S_s = 0.526$)	F_v ($S_1 = 0,332$)
SD – tanah sedang	1.379	1.736

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

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

$$S_{MS} = 1.379 \times 0.526 = 0.725$$

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

$$S_{M1} = 1.736 \times 0.332 = 0.576$$

- 3) Penentuan respon 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 Medan.

Nilai S_{DS} , dan S_{D1} untuk kota Medan		
Kelas situs	$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS}$	$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1}$
SD – tanah sedang	$2/3 \times 0.725 = 0.484$	$2/3 \times 0.576 = 0.384$

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 Medan adalah kategori desain seismik C.

4) Penentuan nilai T_0 dan T_s

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

$$T_s = \frac{0.384}{0.484} = 0.794$$

$$T_0 = 0.2 \times T_s$$

$$T_0 = 0.2 \times 0.794 = 0.159$$

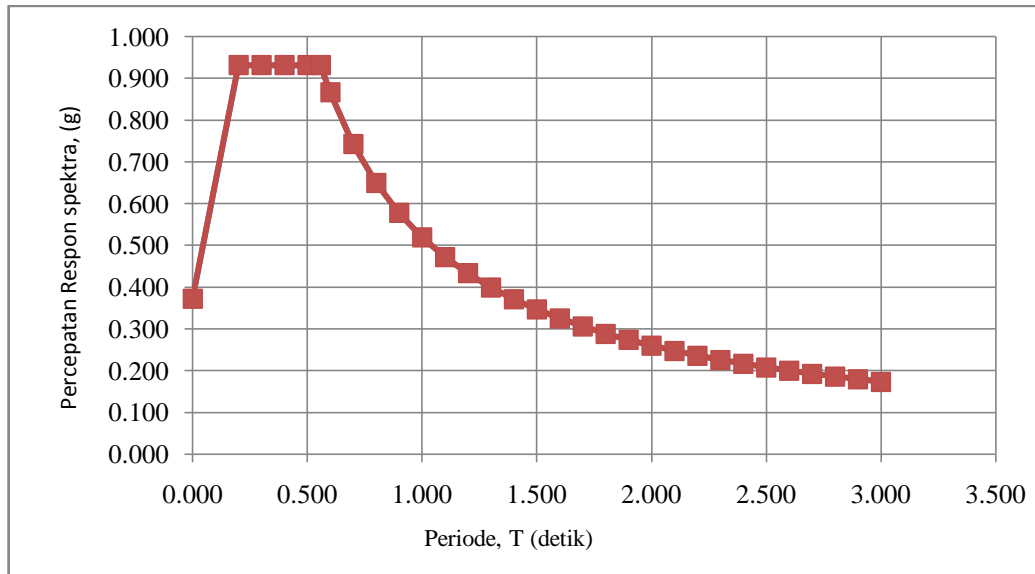
5) Penentuan nilai S_a

- Untuk periode lebih kecil dari T_0 , respon spektrum percepatan desain (S_a) diperoleh dari persamaan berikut:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.4)$$

- 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 respon percepatan desain (S_a) diperoleh dari persamaan berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.5)$$



Gambar 3.10: Grafik spektrum respon gempa rencana.

Nilai yang dimasukkan ke *software* untuk *Define Response Spektrum Function* adalah nilai yang ada pada Tabel 3.7 dibawah ini dengan cara *copy* data dan *paste* ke dalam *Notepad*, kemudian nilai tersebut di *input* keprogram karena dalam *software* tidak bisa menerima data dalam format *Ms-Excel*.

Tabel 3.7: Data spektrum respon berdasarkan SNI 1726-2012 Kota Medan untuk tanah sedang.

Data yang Diperoleh	
T (detik)	KoefisienGampa C
0.000	0.193
$T_0 = 0.159$	0.484
0.200	0.484
0.300	0.484
0.400	0.484
0.500	0.484
0.600	0.484
0.700	0.484
$T_s = 0.794$	0.484
0.800	0.480
0.900	0.427
1.000	0.384
1.100	0.349
1.200	0.320
1.300	0.296
1.400	0.274
1.500	0.256
1.600	0.240
1.700	0.226
1.800	0.213
1.900	0.202
2.000	0.192
2.100	0.183
2.200	0.175
2.300	0.167
2.400	0.160
2.500	0.154
2.600	0.148
2.700	0.142
2.800	0.137
2.900	0.132
3.000	0.128

Nilai spektrum respon tersebut dikalikan dengan faktor skala yang besarnya ditentukan dengan persamaan berikut:

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

3.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang akan di *input* kedalam *software* untuk $\rho = 1.3$ dan $S_{DS} = 0,484$ adalah sebagai berikut:

Tabel 3.8: Tabel kombinasi pembebanan untuk $\rho = 1.3$ dan $S_{DS} = 0.484$.

KOMBINASI PEMBEBANAN								
Kombinasi	Koefisien		Koefisien		Koefisien		Koefisien	
Kombinasi 1	1.4	DL						
Kombinasi 2	1.2	DL	1.6	LL				
Kombinasi 3	1.33	DL	1	LL	0.39	EX	1.3	EY
Kombinasi 4	1.07	DL	1	LL	-0.39	EX	-1.3	EY
Kombinasi 5	1.13	DL	1	LL	0.39	EX	-1.3	EY
Kombinasi 6	1.27	DL	1	LL	-0.39	EX	1.3	EY
Kombinasi 7	1.33	DL	1	LL	1.3	EX	0.39	EY
Kombinasi 8	1.07	DL	1	LL	-1.3	EX	-0.39	EY
Kombinasi 9	1.27	DL	1	LL	1.3	EX	-0.39	EY
Kombinasi 10	1.13	DL	1	LL	-1.3	EX	0.39	EY
Kombinasi 11	1.03	DL			0.39	EX	1.3	EY
Kombinasi 12	0.77	DL			-0.39	EX	-1.3	EY
Kombinasi 13	0.83	DL			0.39	EX	-1.3	EY
Kombinasi 14	0.97	DL			-0.39	EX	1.3	EY
Kombinasi 15	1.03	DL			1.3	EX	0.39	EY
Kombinasi 16	0.77	DL			-1.3	EX	-0.39	EY
Kombinasi 17	0.97	DL			1.3	EX	-0.39	EY
Kombinasi 18	0.83	DL			-1.3	EX	0.39	EY

3.6 Desain Isolasi Dasar

Isolasi dasar yang digunakan adalah jenis HDRB (*High-Dumping Rubber Bearing*). Sesuai sub bab 2.17.3, nilai material yang dimaksud terdapat pada Tabel 3.9.

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

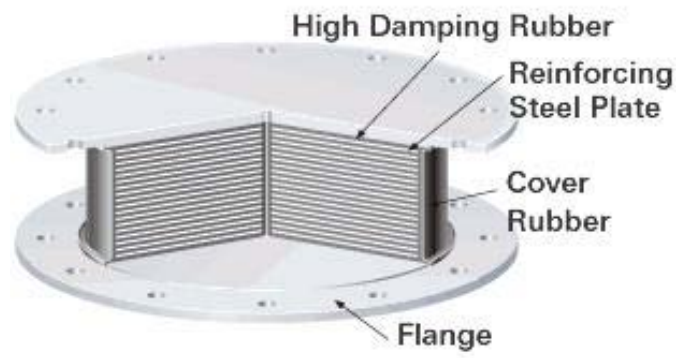
<i>HDRB Material Properties</i>	
Diameter	1100 mm
Ketebalan karet	250 mm
Ketebalan tiap lapis	10 mm
Modulus Geser (G)	0.624 Mpa
<i>Poition Ratio</i>	0.49
Berat jenis	1522 kg/m ³
Berat isolasi dasar	361.747 kg
Keff	2359.10 kN/m
Qy	217.05 kN
Kd	1469.74 kN/m
Ku	14697.42 kN/m
D _v	0.02 m
Qu	575.74 kN
B	24.89%

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		
Variabel yang dicari	Persamaan	Hasil
<i>Shape factor (S)</i>	Pers. 2.23	27.5
Kekakuan horizontal (K _H)	Pers. 2.24	2372.98 N/mm
Kekakuan vertical (K _V)	Pers. 2.25	4077216 N/mm
Modulus elastisitas (E _C)	Pers. 2.26	2831 Mpa
Regangan geser maksimum (γ)	Pers. 2.27	0.9277

Isolasi dasar memiliki beberapa komponen yaitu *flange* (sayap) yang akan disambung pada pondasi dan struktur atas, keret peredam (*high damping rubber*) berfungsi untuk meredam gaya pada saat gempa terjadi, pelat baja tulangan (*reinforcing steel plate*) menjadi bagian kekuatan karet dan penutup karet (*cover rubber*). Pemodelan desain isolasi dasar HDRB pada SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 3.11 dibawah ini.



Gambar 3.11: Pemodelan desain isolasi dasar yang akan diinput pada *software*.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Pada bab ini akan membahas tentang hasil studi menggunakan struktur gedung tidakberaturan berbentuk L berdasarkan perbandingan perletakan jepit, struktur dengan isolasi dasar dan struktur dengan perubahan balok (Cd isolasi dasar), bab ini menjelaskan hasil kontrol dan pembahasan yang berdasarkan SNI 1726:2012 diantaranya berat sendiri bangunan, berat total bangunan, perioda struktur alami, gaya geser seismik dasar, kekakuan struktur, ketidakberaturan, nilai simpangan dan torsi lantai.

4.2 Hasil Analisis

4.2.1 Hasil Analisa Model 1 dan Model 2

Struktur untuk kedua model adalah sama, baik itu data material, profil penampang (balok, balok dan pelat lantai), pembebanan dan metode respon spektrum adalah sama. Struktur model 1 menggunakan perletakan jepit sedangkan struktur untuk model 2 menggunakan base isolator (model 2). Dimaksudkan untuk melihat perbandingan nilai respon bangunan antara kedua struktur tersebut.

4.2.1.1 Berat Sendiri Bangunan

Pada *software* berat sendiri perlantai dapat dihitung secara otomatis. Adapun hasil berat sendiri perlantai 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>Self Mass</i>	<i>Self Weight</i>	<i>Total MassX</i>	<i>Total Mass Y</i>	<i>TotalMass Z</i>
	<i>Kgf-s2/m</i>	<i>Kgf</i>	<i>Kgf-s2/m</i>	<i>Kgf-s2/m</i>	<i>Kgf-s2/m</i>
<i>All</i>	135,958.35	1,333,296.00	135,958.35	135,958.35	135,958.35
Lantai 1	35,696.59	350,064.00	35,696.59	35,696.59	35,696.59
Lantai 2	35,696.59	350,064.00	35,696.59	35,696.59	35,696.59

Table 4.1: *Lanjutan.*

<i>Group</i>	<i>Self Mass</i>	<i>Self Weight</i>	<i>Total MassX</i>	<i>Total Mass Y</i>	<i>TotalMass Z</i>
	<i>Kgf-s2/m</i>	<i>Kgf</i>	<i>Kgf-s2/m</i>	<i>Kgf-s2/m</i>	<i>Kgf-s2/m</i>
Lantai 3	35,696.59	350,064.00	35,696.59	35,696.59	35,696.59
Lantai 4	28,868.57	283,104.00	28,868.57	28,868.57	28,868.57

4.2.1.2 Penentuan Berat Total per Lantai (Wt)

Untuk perhitungan analisis statik ekuivalen dibutuhkan berat total perlantai, maka berat total perlantai bisa didapat dengan menjumlahkan antara berat sendiri, berat mati dan berat hidup. Adapun perhitungan berat total perlantai 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)
	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>
1	350064.00	263600.00	47376.00	661040.00
2	350064.00	263600.00	47376.00	661040.00
3	350064.00	263600.00	47376.00	661040.00
4	283104.00	72410.00	18950.40	374464.40
Total				2357584.40

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

4.2.1.3 Penentuan Periode 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	0.537	0.816	0.000
2	0.507	0.816	0.782

Tabel 4.3: *Lanjutan.*

<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>SumUX</i>	<i>SumUY</i>
3	0.488	0.818	0.825
4	0.173	0.933	0.825
5	0.164	0.933	0.936
6	0.158	0.933	0.937
7	0.093	0.983	0.937
8	0.091	0.983	0.984
9	0.086	0.983	0.985
10	0.066	0.983	0.985
11	0.062	1.000	0.985
12	0.062	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	5.46%	OK	NOT OK
T2-T3	3.87%	OK	NOT OK
T3-T4	64.58%	NOT OK	OK
T4-T5	4.78%	OK	NOT OK
T5-T6	4.10%	OK	NOT OK
T6-T7	40.99%	NOT OK	OK
T7-T8	2.39%	OK	NOT OK
T8-T9	5.76%	OK	NOT OK
T9-T10	23.11%	NOT OK	OK
T10-T12	5.19%	OK	NOT OK
T11-T12	0.33%	OK	NOT OK

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

4.2.1.4 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 $S_{D1} = 0.384$, 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 periode yang dihitung oleh *software* dengan persyaratan maksimum nilai periode dapat dilihat pada Table 4.6.

Tabel 4.6: Pengecekan nilai periode.

SYARAT PERIODA				
Arah	$T_a = 0.1 \cdot N$	$T_a \text{ Max} = C_u \cdot T_a$	T hasil dari <i>software</i>	CEK
X	0.400	0.560	0.537	OK
Y	0.400	0.560	0.507	OK

Nilai periode yang digunakan 0.537 untuk arah x dan 0.507 untuk arah y karena memenuhi persyaratan, yaitu tidak kurang dari nilai batas bawah dan tidak lebih dari nilai batas atas.

4.2.1.5 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 Min = 0.044*SD S*I	CS Hitungan = SDS/(R/I)	Cs Max = SD1/T(R/I)	CS Tambahan - 0.5*S1/(R/I)	CS Yg digunakan
X	0.021	0.060	0.090	0.021	0.090
Y	0.021	0.060	0.095	0.021	0.095

Dari Tabel 4.7 diatas telah disepakatkn 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 _{arah x} (kg)	V _{arah y} (kg)
2357584.40	211046.91	223233.99

Dari Tabel 4.8 didapat hasil gaya geser nominal statik ekuivalen antara arah x dan arah y memiliki nilai yang berbeda, yaitu sebesar 211046.91 kg untuk arah x dan 223233.99 kg untuk arah y.

4.2.1.6 Spektrum Respon 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 4.9.

Tabel 4.9: Pengecekan Storey shear dengan 35% gaya geser dasar redundansi 1 ($\rho=1$).

Struktur perletakan jepit					
No	Lantai Ke-	Arah X			Cek 35% V Base Shear <Storey Shear (V _x)
		Storey Shear (V _x) (kg)	Base Shear (V _x) (kg)	35% V Base Shear p=1 (kg)	
1	4	58318.55	211046.91	73866.41676	NOT OK
2	3	135125.96	211046.91	73866.41676	OK
3	2	185953.07	211046.91	73866.41676	OK
4	1	211046.91	211046.91	73866.41676	OK
Struktur perletakan jepit					
No	Lantai Ke-	Arah Y			Cek 35% V Base Shear <Storey Shear (V _y)
		Storey Shear (V _y) (kg)	Base Shear (V _y) (kg)	35% V Base Shear p=1 (kg)	
1	4	57945.81	57945.81	20281.03286	OK

2	3	134584.52	57945.81	20281.03286	OK
3	2	185602.06	57945.81	20281.03286	OK
4	1	211046.91	57945.81	20281.03286	OK

Dari Tabel 4.9 nilai *storey shear* lantai 4 arah x lebih besar 35% *V base shear*. Karena terdapat lantai yang tidak dapat menahan 35% gaya geser dasar, maka dipakai nilai reduksi 1.3. Gaya geser gedung tiap lantai dengan pengecekan 35% *V base shear* dengan nilai reduksi (ρ) = 1.3 dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10: Pengecekan *Storey shear* dengan 35% gaya geser dasar redundansi 1.3 ($\rho=1.3$).

Struktur perletakan jepit					
No	Lantai Ke-	Arah X			Cek 35% V Base Shear <Storey Shear (V_x)
		Storey Shear (V_x)	Base Shear (V_x)	35% V Base Shear $\rho=1.3$	
		(kg)	(kg)	(kg)	
1	4	75814.11	211046.91	73866.41676	OK
2	3	175663.74	211046.91	73866.41676	OK
3	2	241738.99	211046.91	73866.41676	OK
4	1	274360.98	211046.91	73866.41676	OK
Struktur perletakan jepit					
No	Lantai Ke-	Arah Y			Cek 35% V Base Shear <Storey Shear (V_y)
		Storey Shear (V_y)	Base Shear (V_y)	35% V Base Shear $\rho=1.3$	
		(kg)	(kg)	(kg)	
1	4	75329.55	57945.81	20281.03286	OK
2	3	174959.88	57945.81	20281.03286	OK
3	2	241282.68	57945.81	20281.03286	OK
4	1	274360.98	57945.81	20281.03286	OK

4.2.1.7 Gaya Geser Analisis Respon Spektrum

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

Tabel 4.11: Gaya geser respon spektrum stuktur bangunan.

TABLE: Base Reactions			
Struktur perletakan jepit			
OutputCase	StepType	GlobalFX	GlobalFY

<i>Text</i>	<i>Text</i>	<i>kg</i>	<i>Kg</i>
GEMPA X	<i>Max</i>	64649.55	19435.83
GEMPA Y	<i>Max</i>	19397.46	64777.50

Menurut (Riza, 2010), sebelum mendapatkan data hasil gaya geser analisis respon 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 respon dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal V , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut Pers. 4.10.

$$0.85 \frac{V}{V_t} \quad (4.8)$$

Dimana V adalah gaya geser dasar nominal sebagai respon ragam yang pertama terhadap pengaruh Gempa Rencana menurut Pers. 4.3 sebelumnya. Hasil pengecekan pada gaya respon 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 $V \geq 0.85V_1$
	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	
X	64649.55	211046.91	179389.87	<i>NOT OK</i>
Y	64777.50	223233.99	189748.89	<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. 4.9.

$$\text{Faktor Skala} = 0.85V_1/V \geq 1 \quad (4.9)$$

Dengan menggunakan Pers. 4.9, mencari faktor skala untuk memenuhi persyaratan dengan hasil faktor skala sebagai berikut:

1. Gempa X

- $F_x \Rightarrow U1 = (0.85 \times 211046.91) / 64649.55 = 2.775$
- $F_y \Rightarrow U2 = (0.85 \times 211046.91) / 19435.83 = 9.230$

2. Gempa Y

- $F_x \Rightarrow U1 = (0.85 \times 223233.99) / 19397.46 = 9.782$
- $F_y \Rightarrow U2 = (0.85 \times 223233.99) / 64777.50 = 2.929$

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

1. Gempa X

- $F_x \Rightarrow U1 = 1.223 \times 2.775 = 3.403 (\geq 1)$
- $F_y \Rightarrow U2 = 0.368 \times 9.230 = 3.395 (\geq 1)$

2. Gempa Y

- $F_x \Rightarrow U1 = 0.368 \times 9.782 = 3.599 (\geq 1)$
- $F_y \Rightarrow U2 = 1.223 \times 2.929 = 3.592 (\geq 1)$

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 respon spektrum setelah dikalikan faktor skala.

TABLE: Base Reactions			
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>	179449.29	179381.75
GEMPA Y	<i>Max</i>	189784.90	189790.65

Adapun pengecekan gaya geser respon spektrum dengan statik ekuivalen dapat dilihat pada Tabel 4.14 seperti di bawah ini:

Tabel 4.14: Pengecekan gaya geser respons spektrum.

Struktur perletakan jepit				
Arah	V	V_1	$0.85*V_1$	<i>Cek $V \geq 0.85V_1$</i>
X	179449.29	211046.91	179389.87	<i>OK</i>
Y	189790.65	223233.99	189748.89	<i>OK</i>

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

4.2.1.8 Ketidakberaturan Horizontal

a. Ketidakberaturan Horizontal Torsi dan Torsi Berlebih

Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk torsi tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1.2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata kedua ujung tersebut. Hasil dan pengecekan ketidakberaturan horizontal torsi dan torsi berlebih dapat dilihat pada lampiran.

b. Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam

Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan. Hasil dan pengecekan ketidakberaturan horizontal sudut dalam dapat dilihat pada lampiran.

c. Ketidakberaturan Horizontal Diskontinuitas Kekakuan Diafragma

Ketidakberaturan horizontal diskontinuitas kekakuan diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong / terbuka lebih dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupi atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya. Hasil dan

pengecekan ketidakberaturan horizontal diskontinuitas kekakuan diafragma dapat dilihat pada lampiran.

d. Ketidakberaturan Horizontal Pergeseran Melintang

Ketidakberaturan horizontal pergeseran melintang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal. Hasil dan pengecekan dapat dilihat pada lampiran.

e. Ketidakberaturan Horizontal Sistem Nonparalel

Didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel / simetris terhadap sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa. Hasil dan pengecekan ketidakberaturan horizontal sistem nonparalel dapat dilihat pada lampiran.

4.2.1.9 Kekakuan Struktur

Berdasarkan SNI-1726-2012, didapatkan nilai kekakuan struktur untuk struktur model 1 arah x dengan gaya geser (V_x, V_y) sebesar 1 kN menghasilkan nilai yaitu pada lantai 1 nilai simpangan (Δx) sebesar 0.00212 mm, lantai 2 sebesar 0.00772 mm, lantai 3 sebesar 0.00425 dan pada lantai 4 sebesar 0.01471 mm. Sedangkan untuk arah y nilai simpangan (Δy) pada lantai 1 sebesar 0.00212 mm, lantai 2 sebesar 0.00416 mm, lantai 3 sebesar 0.00772 mm dan pada lantai 4 sebesar 0.00838 mm. Pengecekan nilai simpangan untuk arah x dan y tersebut memenuhi persyaratan *soft story* 1.A dan *Extreme Soft Story Type* 1.B Untuk lebih jelasnya nilai kekakuan dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16.

Tabel 4.15: Nilai kekakuan struktur gedung arah x tiap lantai.

No	Lantai	Gaya geser (V_x) (KN)	Simpanan (Δ_x) (mm)	Selisih (Δ_1) (mm)	Kekakuan (V_x/Δ_1) (KN/mm)	Rasio Kekakuan R_1 (%)	Rasio Kekakuan R_2 (%)	Pengecekan arah X				Batas Soft Story (%)	Batas Extreme Soft story (%)	Batas Soft Story (%)	Batas Extreme Soft story (%)
								Soft Story Type 1.A		Extreme Soft Story Type 1.B					
								Cek $R_1 < 70\%$	Cek $R_2 < 80\%$	Cek $R_1 < 60\%$	Cek $R_2 < 70\%$				
1	4	1.00	0.01471	0.00699	143.082	201.354	201.354					70	60	80	70
2	3	1.00	0.00772	0.00347	288.101	201.354	201.354	OK	OK	OK	OK	70	60	80	70
3	2	1.00	0.00425	0.00213	468.604	162.652	130.297	OK	OK	OK	OK	70	60	80	70
4	1	1.00	0.00212	0.00212	471.921	100.708	58.667	OK	OK	OK	OK	70	60	80	70
TOTAL		4.000	0.0288	0.0147	1371.7077										

Tabel 4.16: Nilai kekakuan struktur gedung arah y tiap lantai.

No	Lantai	Gaya geser (V_y) (KN)	Simpanan (Δy) (mm)	Selisih (Δ_1) (mm)	Kekakuan (V_y/Δ_1) (KN/m)	Rasio Kekakuan R_1 (%)	Rasio Kekakuan R_2 (%)	Pengecekan arah Y				Batas Soft Story (%)	Batas Extreme Soft story (%)	Batas Soft Story (%)	Batas Extreme Soft story (%)
								Soft Story Tipe 1.A		Extreme Soft Story Tipe 1.B					
								Cek $R_1 < 70\%$	Cek $R_2 < 80\%$	Cek $R_1 < 60\%$	Cek $R_2 < 70\%$				
1	4	1.00	0.00838	0.00065	1536.098	18.287	18.287					70	60	80	70
2	3	1.00	0.00772	0.00356	280.899	18.287	18.287	OK	OK	OK	OK	70	60	80	70
3	2	1.00	0.00416	0.00205	488.998	174.083	46.618	OK	OK	OK	OK	70	60	80	70
4	1	1.00	0.00212	0.00212	471.921	96.508	36.813	OK	OK	OK	OK	70	60	80	70
TOTAL		4.000	4.000	0.0224	0.0084	2777.9155									

4.2.1.10 Nilai Simpangan Gedung (Nilai Respon Bangunan) Model 1

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. 4.10.

$$Storey\ drift = \frac{\delta i \cdot C_d}{I_e} \quad (4.10)$$

Keterangan :

- δi = Simpangan antar tingkat
 C_d = Faktor pembesaran defleksi
 I_e = Faktor keutamaan gedung

Nilai simpangan antara arah x dan y memiliki nilai yang berbeda. Nilai simpangan dan pengecekan *Storey drift* model 1 terdapat pada Tabel 4.17 dan 4.18.

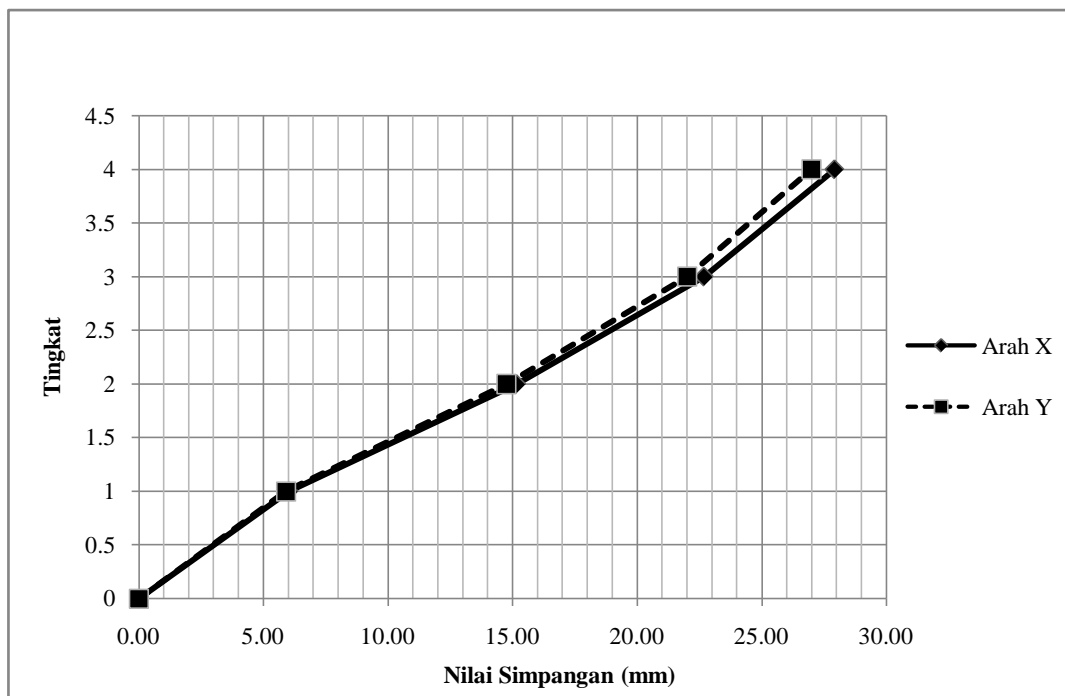
Tabel 4.17: Nilai simpangan gedung model 1 arah x pada kinerja batas ultimit.

Struktur perletakan jepit						
Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Perpindahan	Perpindahan antar tingkat (δi)	Simpangan yang diperbesar	Syarat (Δa) 0,020*hi (mm)	Cek (Sb. X&Y)
		Arah X	Arah X	<i>Storey drift</i> = ($\delta i \cdot C_d$)/ I_e		<i>Storey drift</i> < Δa
		mm	mm	Arah X (mm)		
0	0	0	0	0	0	OK
4000	1	6.028	6.028	33.15	80	OK
4000	2	15.146	9.118	50.15	80	OK
4000	3	22.659	7.513	41.32	80	OK
4000	4	27.873	5.214	28.68	80	OK

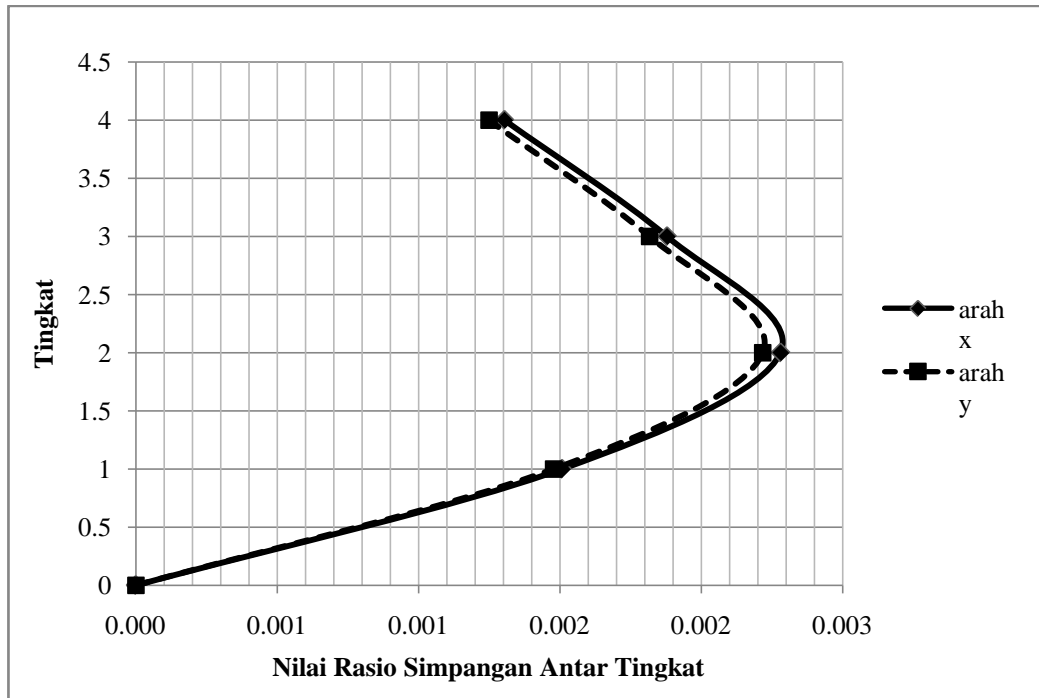
Tabel 4.18: Nilai simpangan gedung model 1 arah y pada kinerja batas ultimit.

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 Y	Arah Y	$Storey\ drift = (\delta_i * C_d) / I_e$		$Storey\ drift < \Delta a$
		mm	mm	Arah Y (mm)		
0	0	0	0	0	0	OK
400	1	5.905	5.905	32.48	80	OK
400	2	14.770	8.865	48.76	80	OK
400	3	22.033	7.262	39.94	80	OK
400	4	27.024	4.991	27.45	80	OK

Dari Tabel 4.17 dan Tabel 4.18 dapat dilihat hasil simpangan yang terjadi, simpangan maksimum yang terjadi pada struktur perletakan jepit arah x sebesar 27.024 mm dan arah y sebesar 27.45 mm. Simpangan arah x dan arah y pada struktur perletakan jepit terhadap ketinggian gedung dan nilai rasio simpangan antar tingkat dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2.



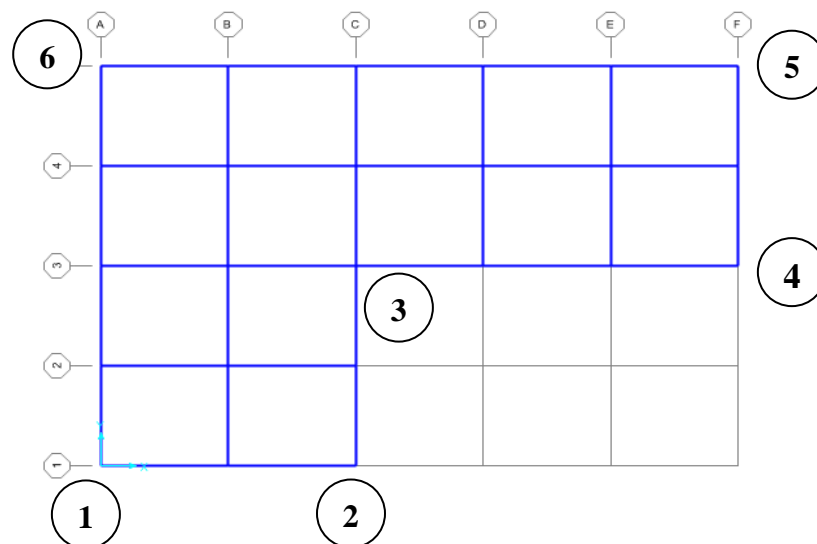
Gambar 4.1: Grafik simpangan terhadap ketinggian gedung arah x dan arah y model 1.



Gambar 4.2: Grafik nilai rasio simpangan antar tingkat arah x dan arah y model 1.

4.2.1.11 Torsi Lantai Struktur Perletakan Jepit Model 1

Untuk memudahkan dalam melihat titik yang ditinjau maka dibuat angka pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3: Denah struktur bangunan lantai 1-4.

Hasil output torsi lantai struktur perletakan jepit (model 1) tersaji dalam bentuk pada tabel 4.19 dan 4.20 dengan satuan *Rad*. Dapat dilihat bahwa torsi lantai yang paling besar terjadi pada lantai 1 pada titik 5 yaitu sebesar 0.0019 rad untuk arah x dan arah y sebesar 0.0021 rad pada titik 1.

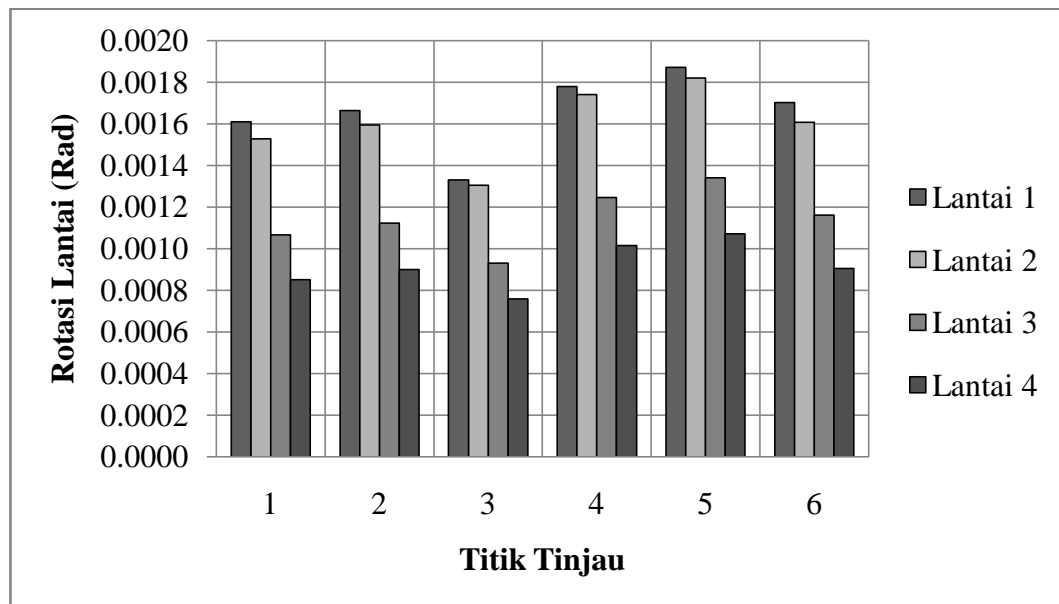
Table 4.19: Hasil rotasi lantai model 1 arah x.

Lantai	Arah x					
	titik 1	titik 2	titik 3	titik 4	titik 5	titik 6
lt.1	0.0016	0.0017	0.0013	0.0018	0.0019	0.0017
lt.2	0.0015	0.0016	0.0013	0.0017	0.0018	0.0016
lt.3	0.0011	0.0011	0.0009	0.0012	0.0013	0.0012
lt.4	0.0009	0.0009	0.0008	0.0010	0.0011	0.0009

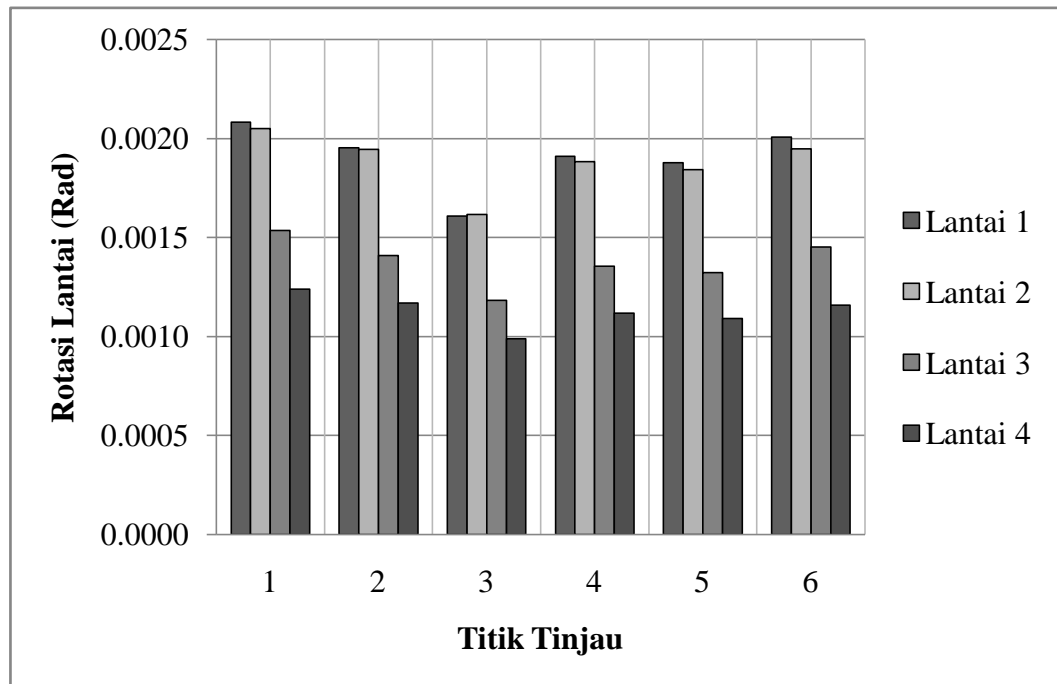
Table 4.20: Hasil rotasi lantai model 1 arah y.

Lantai	Arah y					
	titik 1	titik 2	titik 3	titik 4	titik 5	titik 6
lt.1	0.0021	0.0020	0.0016	0.0019	0.0019	0.0020
lt.2	0.0021	0.0019	0.0016	0.0019	0.0018	0.0019
lt.3	0.0015	0.0014	0.0012	0.0014	0.0013	0.0015
lt.4	0.0012	0.0012	0.0010	0.0011	0.0011	0.0012

Dari tabel hasil rotasi lantai model 1 untuk arah x dan arah y dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.4-4.5.



Gambar 4.4: Grafik rotasi lantai model 1 tiap lantai arah x.



Gambar 4.5: Grafik rotasi lantai model 1 tiap lantai arah y.

Dari Gambar 4.4 dan 4.5 terlihat bahwa torsi lantai untuk struktur model 1 yang paling besar terjadi pada lantai 1 dan semakin kecil untuk setiap lantai di atasnya.

4.2.1.12 Nilai Simpangan Gedung (Nilai Respon Bangunan) Model 2

Hasil simpangan antara arah x dan y memiliki nilai yang berbeda. Nilai simpangan dan nilai rasio simpangan antar lantai model 2 terdapat pada Tabel 4.21-4.22.

Tabel 4.21: Nilai simpangan gedung model 2 arah x pada kinerja batas ultimit.

Struktur dengan <i>base isolator</i>						
Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Perpindahan	Perpindahan antar tingkat (δ_i)	Simpangan yang diperbesar	Syarat (Δa) 0,015*hi (mm)	Cek (Sb. X)
		Arah X	Arah X	<i>Storey drift</i> = ($\delta_i * C_d$)/Ie		<i>Storey drift</i> < Δa
		(mm)	(mm)	Arah X (mm)		
0	0	29.03	29.03			
4000	1	47.298	18.266	37.675	60	OK

Tabel 4.21: Lanjutan.

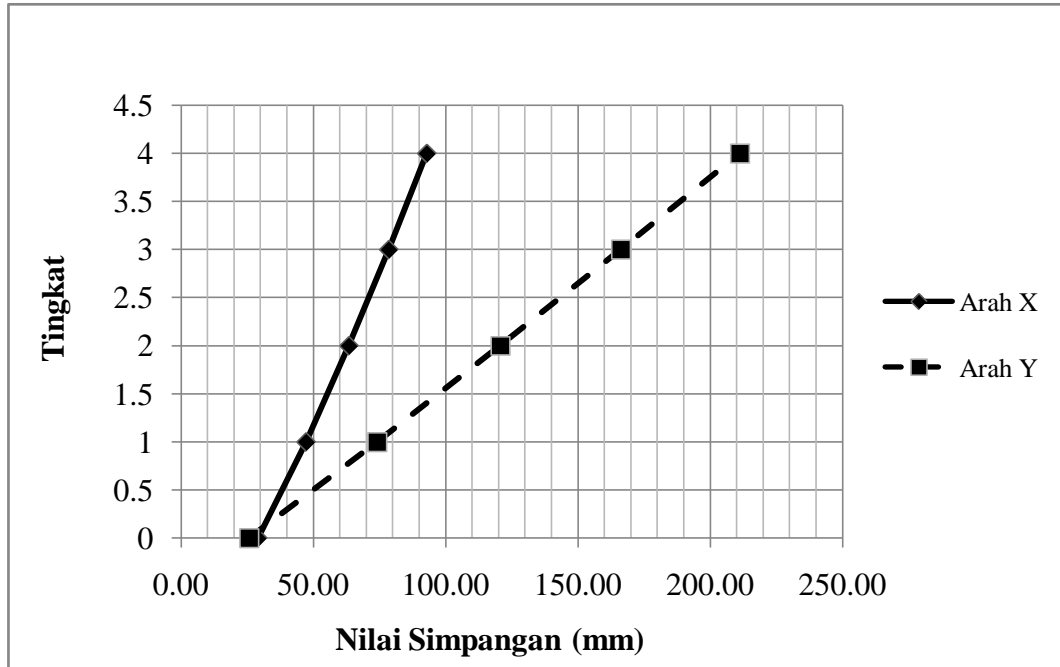
Struktur dengan <i>base</i> isolator						
Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Perpindahan	Perpindahan antar tingkat (δ_i)	Simpangan yang diperbesar	Syarat (Δa) 0,015*hi	Cek (Sb. X)
		Arah X	Arah X	<i>Storey drift</i> $= (\delta_i * C_d) / I_e$		<i>Storey drift</i> $< \Delta a$
		(mm)	(mm)	Arah X (mm)	(mm)	
4000	2	63.484	16.186	89.02	60	OK
4000	3	78.545	15.061	82.84	60	OK
4000	4	92.896	14.350	78.93	60	OK

Tabel 4.22: Nilai simpangan gedung model 2 arah y pada kinerja batas ultimit.

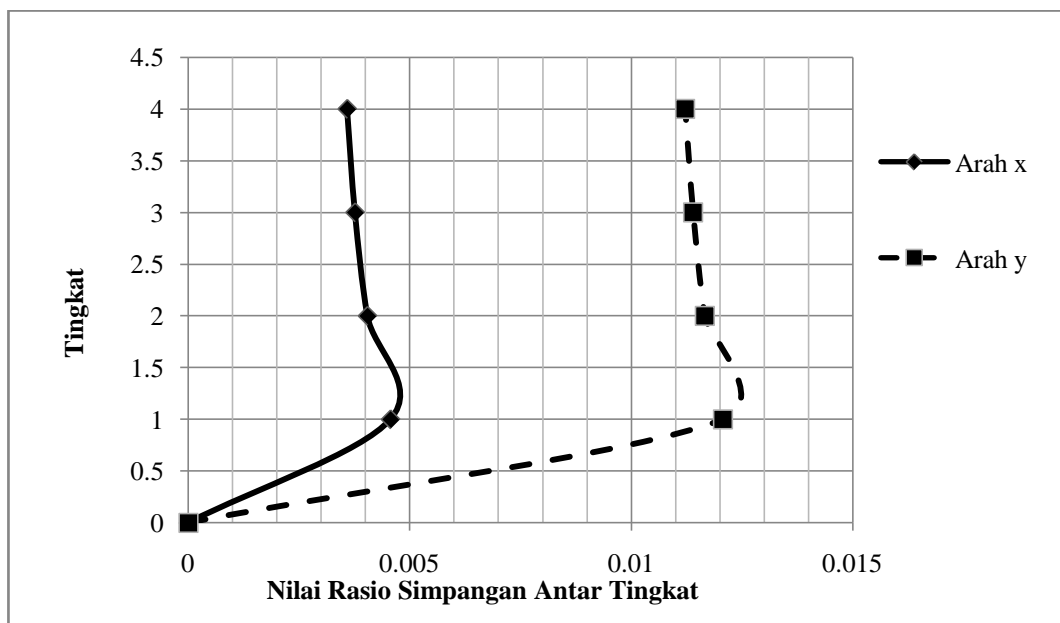
Struktur dengan <i>base</i> isolator						
Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Perpindahan	Perpindahan antar tingkat (δ_i)	Simpangan yang diperbesar	Syarat (Δa) 0,015*hi (cm)	Cek (Sb. Y)
		Arah Y	Arah Y	<i>Storey drift</i> $= (\delta_i * C_d) / I_e$		<i>Storey drift</i> $< \Delta a$
		mm	mm	Arah Y (mm)		
0	0	25.74	25.74			
400	1	74.044	48.301	99.620	60	NOT OK
400	2	120.683	46.640	96.194	60	NOT OK
400	3	166.290	45.607	94.064	60	NOT OK
400	4	211.178	44.887	92.580	60	NOT OK

Dari Tabel 4.21 dan Tabel 4.22 dapat dilihat hasil simpangan yang terjadi, simpangan maksimum yang terjadi pada struktur dengan base isolator arah x sebesar 92.896 mm dan arah y sebesar 211.178 mm. Penggunaan *base* isolator menyebabkan selisih perpindahan antar tingkat (δ_i) menjadi cukup besar dan kontrol terhadap syarat menjadi tidak *ok*. Simpangan arah x dan arah y pada struktur dengan base isolator (model 2) terhadap ketinggian gedung dan nilai rasio

simpangan antar tingkat dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.7.



Gambar 4.6: Grafik nilai simpangan terhadap ketinggian gedung arah x dan arah y model 2.



Gambar 4.7: Grafik nilai rasio simpangan antar tingkat arah x dan arah y model 2.

4.2.1.13 Torsi Lantai Struktur Dengan Base Isolator Model 2

Hasil output torsi lantai struktur dengan base isolator (model 2) tersaji dalam bentuk pada tabel 4.23 dan 4.24 dengan satuan *Rad*. Dapat dilihat bahwa torsi lantai yang paling besar terjadi pada lantai 1 pada titik 5 yaitu sebesar 0.0019 rad untuk arah x dan arah y sebesar 0.0021 rad pada titik 1.

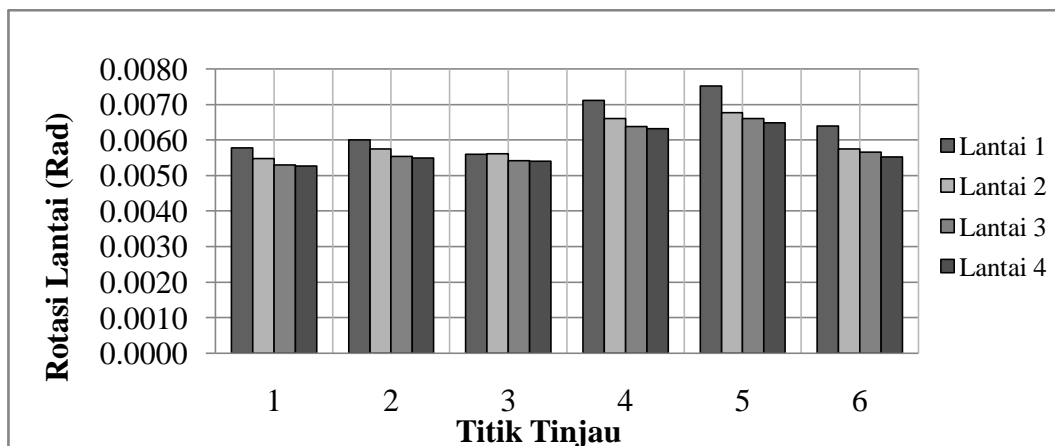
Table 4.23: Hasil rotasi lantai model 2 arah x.

Lantai	Arah x					
	titik 1	titik 2	titik 3	titik 4	titik 5	titik 6
lt.1	0.0058	0.0060	0.0056	0.0071	0.0075	0.0064
lt.2	0.0055	0.0057	0.0056	0.0066	0.0068	0.0057
lt.3	0.0053	0.0055	0.0054	0.0064	0.0066	0.0057
lt.4	0.0053	0.0055	0.0054	0.0063	0.0065	0.0055

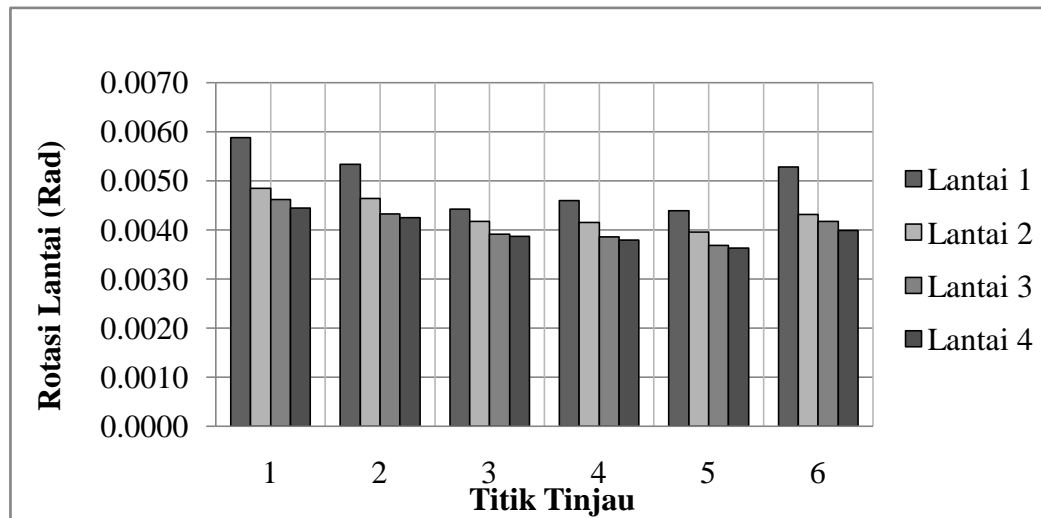
Table 4.24: Hasil rotasi lantai model 2 arah y.

Lantai	Arah y					
	titik 1	titik 2	titik 3	titik 4	titik 5	titik 6
lt.1	0.0059	0.0053	0.0044	0.0046	0.0044	0.0053
lt.2	0.0049	0.0046	0.0042	0.0042	0.0040	0.0043
lt.3	0.0046	0.0043	0.0039	0.0039	0.0037	0.0042
lt.4	0.0044	0.0043	0.0039	0.0038	0.0036	0.0040

Dari tabel hasil rotasi lantai model 2 untuk arah x dan arah y dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4.8: Grafik rotasi lantai model 2 tiap lantai arah x.



Gambar 4.9: Grafik rotasi lantai model 2 tiap lantai arah y.

4.2.2 Hasil Analisis Model 3

4.2.2.1 Berat Sendiri Bangunan

Pada struktur model 3 terdapat perubahan profil penampang balok yang dapat di lihat pada sub bab 3.3.2. Pada *software* berat sendiri perlantai dapat dihitung secara otomatis. Adapun hasil berat sendiri perlantai struktur bangunan yang dihitung otomatis oleh *software* dapat dilihat dari Tabel 4.25.

Table 4.25: Hasil berat sendiri bangunan per lantai struktur bangunan.

Group	Self Mass Kgf-s2/m	Self Weight Kgf	Total MassX Kgf-s2/m	Total Mass Y Kgf-s2/m	TotalMass Z Kgf-s2/m
All	143,197.52	1,404,288.00	143,197.52	143,197.52	143,197.52
Lantai 1	36,570.29	358,632.00	36,570.29	36,570.29	36,570.29
Lantai 2	36,570.29	358,632.00	36,570.29	36,570.29	36,570.29
Lantai 3	36,570.29	358,632.00	36,570.29	36,570.29	36,570.29
Lantai 4	33,486.66	328,392.00	33,486.66	33,486.66	33,486.66

4.2.2.2 Penentuan Berat Total per Lantai (Wt)

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

pada lampiran. Rekapitulasi berat total per lantai struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26: Rekapitulasi berat total per lantai struktur bangunan.

Lantai	Beban sendiri	Beban SDL	Beban hidup	Total beban (<i>W_t</i>)
	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>
1	358632.00	263600.00	47376.00	669608.00
2	358632.00	263600.00	47376.00	669608.00
3	358632.00	263600.00	47376.00	669608.00
4	328392.00	72410.00	18950.40	419752.40
Total				2428576.40

Pada Tabel 4.26 beban mati tambahan dan beban hidup dapat dilihat pada lampiran.

4.2.2.3 Penentuan Perioda Alami Struktur (T_1)

Dari model struktur pada *software* diperoleh waktu getar alami fundamental struktur gedung tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27: Waktu getar alami struktur bangunan.

<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>SumUX</i>	<i>SumUY</i>
2.223	0.069	0.701	0.001
1.712	0.772	0.769	0.004
1.235	0.774	0.770	0.963
0.992	0.774	0.770	0.963
0.735	0.962	0.795	0.964
0.617	0.988	0.992	0.965
0.363	0.992	0.996	0.994
0.286	0.994	0.996	0.995
0.264	0.997	0.997	0.996
0.213	0.997	0.998	0.997
0.194	0.998	0.998	0.997
0.183	0.998	0.998	0.997

Dari Tabel 4.27 dapat dilihat bahwa berbagai macam respon metode respon dan partisipasi massa hasil respon total harus mencapai sekurang-sekurangnya 90%. Jadi dari Tabel 4.27 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 4.28.

Tabel 4.28: Hasil persentase nilai perioda.

<i>Mode</i>	<i>Persentase (%)</i>	<i>CQC < 15%</i>	<i>SRSS > 15%</i>
T1-T2	23.00%	NOT OK	OK
T2-T3	27.84%	NOT OK	OK
T3-T4	19.66%	NOT OK	OK
T4-T5	25.92%	NOT OK	OK
T5-T6	16.06%	NOT OK	OK
T6-T7	41.09%	NOT OK	OK
T7-T8	21.21%	NOT OK	OK
T8-T9	7.67%	OK	NOT OK
T9-T10	19.62%	NOT OK	OK
T10-T11	8.55%	OK	NOT OK
T11-T12	5.62%	OK	NOT OK

Dari Tabel 4.28 dapat ditentukan jenis perhitungan menggunakan *SRSS* pada *software* karena lebih banyak yang memenuhi syarat *SRSS > 15%*.

4.2.2.4 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 $S_{D1} = 0.384$, maka nilai C_u diambil dari Tabel 4.29.

Tabel 4.29: 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 4.29 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 4.30.

Tabel 4.30: 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	2.223	NOT OK
Y	0.400	0.560	1.712	NOT OK

Nilai perioda yang digunakan 2.223 untuk arah x dan 1.712 untuk arah y.

4.2.2.5 Penentuan Gaya Geser *seismic* (V)

Menurut SNI 1726;2012 pasal 7.8.1, nilai gaya geser nominal statik ekivalen (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 4.31.

Tabel 4.31: Nilai C_s yang digunakan.

PERHITUNGAN NILAI C_s					
Arah	CS Min = 0.044*SD S*I	CS Hitungan = SDS/(R/I)	Cs Max = SD1/T(R/I)	CS Tambahan - 0.5*S1/(R/I)	CS Yg digunakan
X	0.021	0.242	0.086	0.083	0.086
Y	0.021	0.242	0.112	0.083	0.112

Dari Tabel 4.31 diatas telah disepakatkan 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 4.32.

Tabel 4.32: Gaya geser nominal statik ekivalen (V).

Wt (kg)	$V_{\text{arah x}}$ (kg)	$V_{\text{arah y}}$ (kg)
2357584.40	209905.11	272592.41

Dari Tabel 4.32 didapat hasil gaya geser nominal statik ekivalen antara arah x dan arah y memiliki nilai yang berbeda, yaitu sebesar 209905.11 kg untuk arah x dan 272592.41 kg untuk arah y.

4.2.2.6 Spektrum Respon 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 4.33.

Tabel 4.33: Pengecekan *Storey shear* dengan 35% gaya geser dasar redundansi 1 ($\rho=1$).

Struktur dengan <i>base isolator</i>					
No	Lantai Ke-	Arah X			Cek 35% V Base Shear <Storey Shear (V_x)
		Storey Shear (V_x) (kg)	Base Shear (V_x) (kg)	35% V Base Shear $p=1$ (kg)	
1	4	84174.61	209905.11	73466.78862	OK
2	3	162779.44	209905.11	73466.78862	OK
3	2	199734.62	209905.11	73466.78862	OK
4	1	209905.11	209905.11	73466.78862	OK
Struktur dengan <i>base isolator</i>					
No	Lantai Ke-	Arah Y			Cek 35% V Base Shear <Storey Shear (V_y)
		Storey Shear (V_y) (kg)	Base Shear (V_y) (kg)	35% V Base Shear $p=1$ (kg)	
1	4	77702.28	77702.28	27195.79732	OK
2	3	155799.22	77702.28	27195.79732	OK
3	2	196524.67	77702.28	27195.79732	OK
4	1	209905.11	77702.28	27195.79732	OK

Dari Tabel 4.33 nilai *storey shear* lantai 4 arah x lebih besar 35% *V base shear*. Seluruh lantai dapat menahan 35% gaya geser dasar, maka dipakai nilai redundansi 1 ($\rho=1$).

4.2.2.7 Gaya Geser Analisis Respon Spektrum

Gaya geser analisis respon spektrum yang telah diproses pada *software SAP2000* untuk struktur dengan *base isolator* menghasilkan nilai *OutputCase* gempa arah x yaitu 128404.67 kg pada *GlobalFX* dan 6323.44 kg pada *GlobalFY*

sedangkan untuk arah y pada *GlobalFX* 66394.80 kg dan *GlobalFY* sebesar 109252.42 kg atau dapat dilihat pada Tabel 4.34 di bawah ini.

Tabel 4.34: Gaya geser respon spektrum stuktur bangunan.

TABLE: Base Reactions			
Struktur dengan base isolator			
<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>	128404.67	63232.44
GEMPA Y	<i>Max</i>	66394.80	109252.43

Dijelaskan pada pasal 12.5.4.2 elemen structural diatas sistem isolasi faktor R_I harus bernilai $3/8$ dari nilai R yang diberikan oleh Tabel 9, dengan nilai maksimum tidak lebih besar dari 2.0 dan nilai minimum tidak kurang dari 1.0. Maka diambil nilai $R_I = 2.0$. Menurut (Riza, 2010), sebelum mendapatkan data hasil gaya geser analisis respon spektrum dari *software* terdapat faktor skala gempa arah x 100% dan arah y 30% dari arah x, yaitu:

- Faktor skala gempa arah x = $g \times I / R = 9.81 \times 1/2 = 4.905$
- Faktor skala gempa arah y = 30% arah x = 1.4715
- 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 respon dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal V, maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut Pers. 4.10.

$$0.85 \frac{V}{V_t} \tag{4.8}$$

Dimana V adalah gaya geser dasar nominal sebagai respon ragam yang pertama terhadap pengaruh Gempa Rencana menurut Pers. 4.3 sebelumnya. Hasil pengecekan pada gaya respon spektrum dengan Pers. 4.10 dapat dilihat pada Tabel 4.35.

Tabel 4.35: Pengecekan gaya geser respons spektrum.

Struktur dengan <i>base</i> isolator				
Arah	V	V ₁	0.85*V ₁	Cek $V \geq 0.85V_1$
	kg	kg	kg	
X	128404.67	209905.11	178419.34	<i>NOT OK</i>
Y	109252.43	272592.41	231703.55	<i>NOT OK</i>

Pada Tabel 4.35 diatas dapat dilihat bahwa pada struktur dengan *base* isolator 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. 4.9.

$$\text{Faktor Skala} = 0.85V_1/V \geq 1 \quad (4.9)$$

Dengan menggunakan Pers. 4.9, mencari faktor skala untuk memenuhi persyaratan dengan hasil faktor skala sebagai berikut:

1. Gempa X

- $F_x \Rightarrow U1 = (0.85 \times 209905.11) / 128404.67 = 1.3895$
- $F_y \Rightarrow U2 = (0.85 \times 209905.11) / 63232.44 = 2.8216$

2. Gempa Y

- $F_x \Rightarrow U1 = (0.85 \times 272592.41) / 66394.80 = 3.4898$
- $F_y \Rightarrow U2 = (0.85 \times 272592.41) / 109252.43 = 2.1208$

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

1. Gempa X

- $F_x \Rightarrow U1 = 4.905 \times 1.3895 = 6.816 (\geq 1)$
- $F_y \Rightarrow U2 = 1.4715 \times 2.8216 = 4.152 (\geq 1)$

2. Gempa Y

- $F_x \Rightarrow U1 = 1.4715 \times 3.4898 = 5.135 (\geq 1)$
- $F_y \Rightarrow U2 = 4.905 \times 2.1208 = 10.403 (\geq 1)$

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 pengecekan gaya geser respon spektrum setelah di kalikan faktor skala dan pengecekan gaya geser respons spektrum dapat dilihat pada Tabel 4.36 dan 4.37.

Tabel 4.36: Hasil gaya geser respon spektrum setelah dikalikan faktor skala.

<i>TABLE: Base Reactions</i>			
Struktur dengan <i>base</i> isolator			
<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>	179449.29	179381.75
GEMPA Y	<i>Max</i>	189784.90	189790.65

Adapun pengecekan gaya geser respon spektrum dengan statik ekuivalen dapat dilihat pada Tabel 4.37 seperti dibawah ini:

Tabel 4.37: Pengecekan gaya geser respons spektrum.

Struktur dengan <i>base</i> isolator				
Arah	V	V_1	$0.85 \cdot V_1$	<i>Cek $V \geq 0.85V_1$</i>
X	182857.99	209905.11	178419.34	<i>OK</i>
Y	161394.64	272592.41	231703.55	<i>NOT OK</i>

Nilai gaya geser respons spektrum tidak memehuni syarat cek $V \geq 0.85V_1$.

4.2.2.8 Nilai Simpangan Gedung (Nilai Respon Bangunan) Model 3

Berdasarkan peraturan SNI 1726;2012, kontrol simpangan antara lantai hanya terdapat satu kinerja batas ultimate. Nilai simpangan dan pengecekan *Storey drift* terdapat pada Tabel 4.38 dan Tabel 4.39.

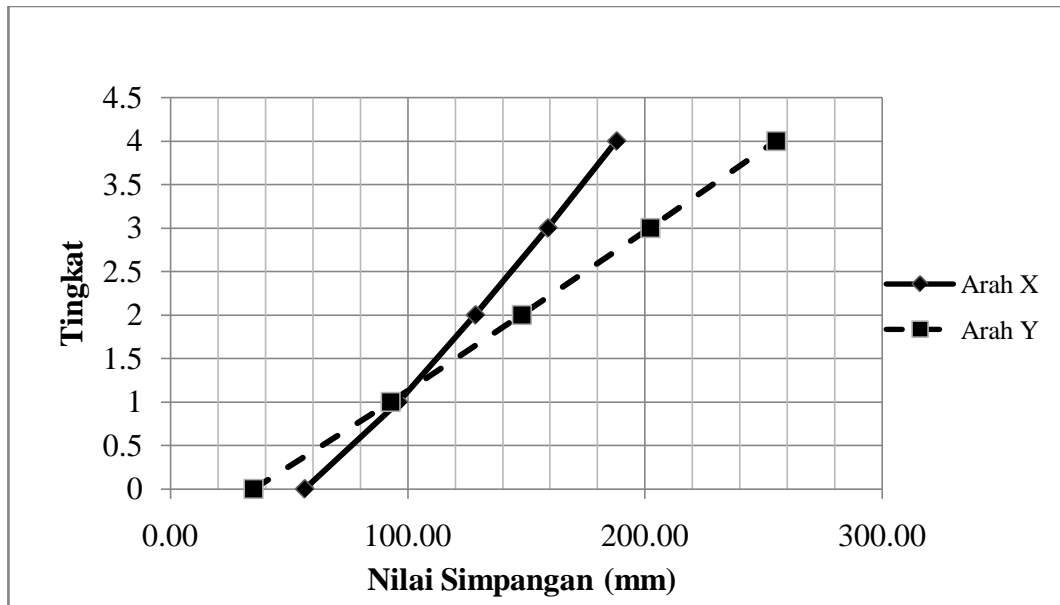
Tabel 4.38: Nilai simpangan gedung isolasi dasar arah x.

Struktur isolasi dasar						
Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Perpindahan	Perpindahan antar tingkat (δ_i)	Simpangan yang diperbesar	Syarat (Δa) 0,015*hi	Cek (Sb. X)
				<i>Storey drift</i> $= (\delta_i * C_d) / I_e$		<i>Storey drift</i> $< \Delta a$
mm		mm	mm	mm	mm	
0	0	56.62	56.62			
4000	1	96.098	39.482	81.43	60	NOT OK
4000	2	128.553	32.455	66.94	60	NOT OK
4000	3	159.06	30.507	62.92	60	NOT OK
4000	4	188.003	28.943	59.68	60	OK

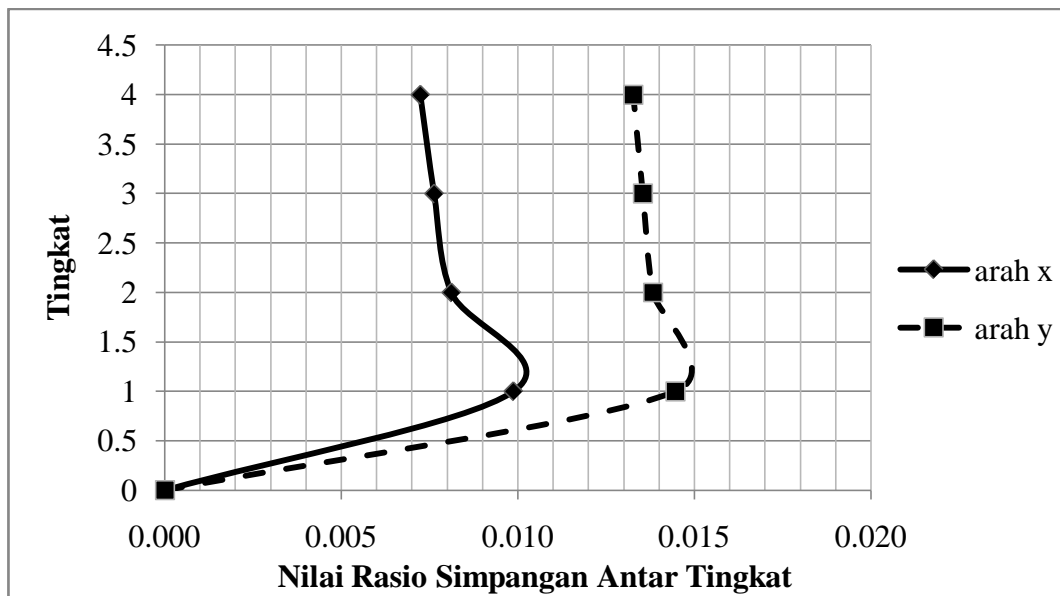
Tabel 4.39: Nilai simpangan gedung isolasi dasar arah y.

Struktur isolasi dasar						
Tinggi gedung (hi)	Lantai gedung	Perpindahan	Perpindahan antar tingkat (δ_i)	Simpangan yang diperbesar	Syarat (Δa) 0,015*hi (mm)	Cek (Sb. Y)
				<i>Storey drift</i> $= (\delta_i * C_d) / I_e$		<i>Storey drift</i> $< \Delta a$
mm		mm	mm	Arah Y mm		
0	0	34.95	34.95	72.07		NOT OK
4000	1	92.763	57.818	119.25	60	NOT OK
4000	2	148.025	55.262	113.98	60	NOT OK
4000	3	202.177	54.153	111.69	60	NOT OK
4000	4	255.245	53.067	109.45	60	NOT OK

Dari Tabel 4.38 dan Tabel 4.39 dapat dilihat hasil simpangan yang terjadi, simpangan maksimum yang terjadi pada struktur dengan isolasi dasar arah x dan arah y tidak memenuhi syarat. Simpangan arah x dan arah y pada struktur dengan isolasi dasar terhadap ketinggian gedung dan nilai rasio simpangan antar tingkat dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan 4.11.



Gambar 4.10: Grafik simpangan terhadap ketinggian gedung arah x dan arah y model 3.



Gambar 4.11: Grafik nilai simpangan antar tingkat arah x dan arah y model 3.

4.2.2.9 Torsi Lantai Struktur Dengan Base Isolator Model 3

Hasil output torsi lantai struktur dengan base isolator (model 3) tersaji dalam bentuk pada Tabel 4.40 dan 4.41 dengan satuan *Rad*. Dapat dilihat bahwa torsi lantai yang paling besar terjadi pada lantai 1 pada titik 5 yaitu sebesar 0.0019 rad untuk arah x dan arah y sebesar 0.0113 rad pada titik 5.

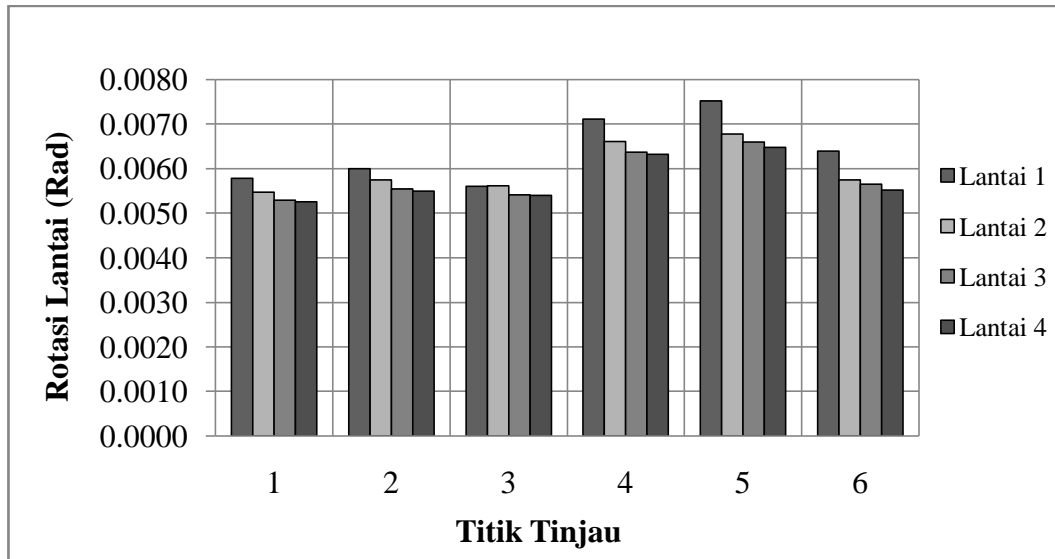
Tabel 4.40: Hasil rotasi lantai model 3 arah x.

Lantai	Arah x					
	titik 1	titik 2	titik 3	titik 4	titik 5	titik 6
lt.1	0.0076	0.0079	0.0074	0.0093	0.0097	0.0082
lt.2	0.0072	0.0076	0.0074	0.0087	0.0089	0.0075
lt.3	0.0071	0.0074	0.0072	0.0084	0.0086	0.0074
lt.4	0.0068	0.0070	0.0068	0.0082	0.0085	0.0074

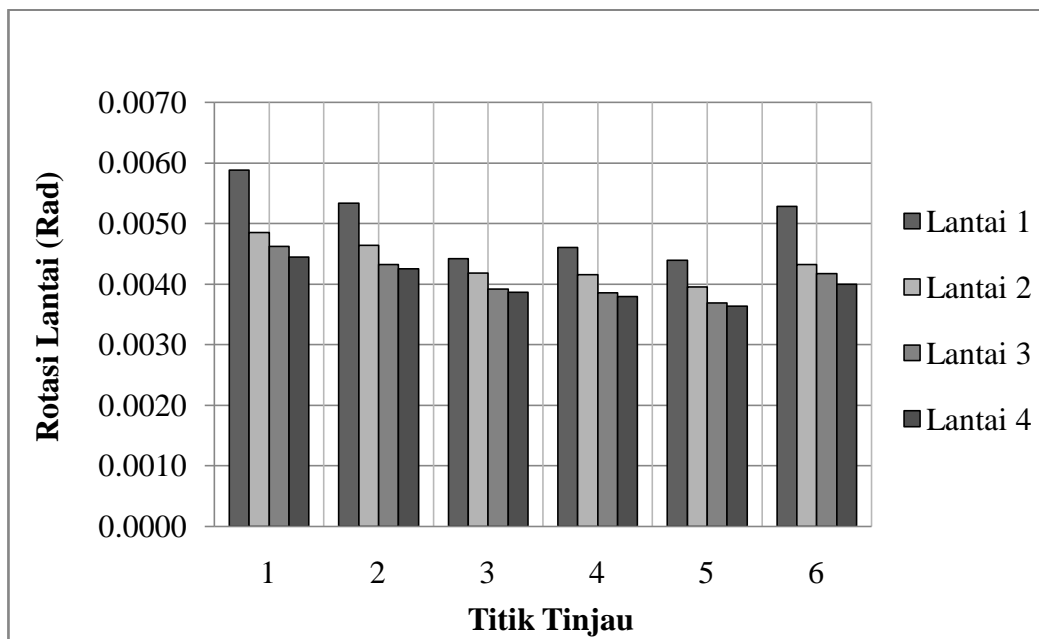
Table 4.41: Hasil rotasi lantai model 3 arah y.

Lantai	Arah y					
	titik 1	titik 2	titik 3	titik 4	titik 5	titik 6
lt.1	0.0113	0.0108	0.0088	0.0096	0.0092	0.0101
lt.2	0.0097	0.0094	0.0085	0.0086	0.0082	0.0086
lt.3	0.0092	0.0089	0.0080	0.0082	0.0078	0.0082
lt.4	0.0089	0.0085	0.0075	0.0076	0.0073	0.0082

Dari Tabel 4.40 dan Tabel 4.41 hasil rotasi lantai model 3 untuk arah x dan arah y dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan 4.13.



Gambar 4.12: Grafik rotasi lantai model 3 tiap lantai arah x.



Gambar 4.13: Grafik rotasi lantai model 3 tiap lantai arah y.

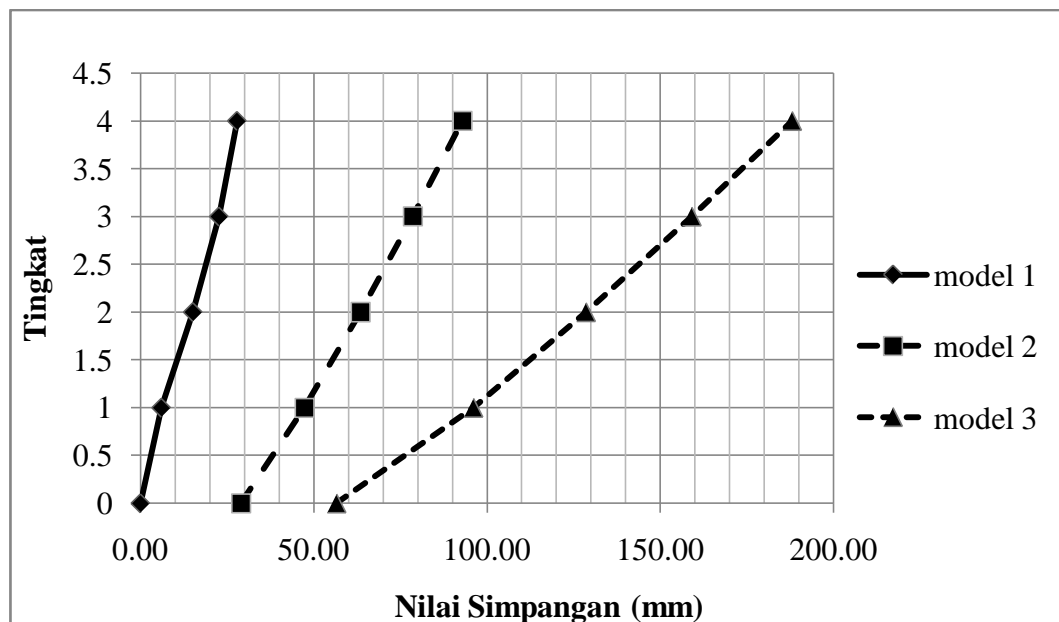
4.2.3 Perbandingan Respon Bangunan Tiap Model Struktur

Perbandingan yang dilakukan disini adalah perbandingan antara 3 model respon bangunan beton bertulang terhadap gempa. Adapun model bangunannya, yaitu:

1. Perletakan jepit
2. Isolasi dasar
3. Isolasi dasar dengan perubahan profil penampang balok (*Cd* isolasi dasar)

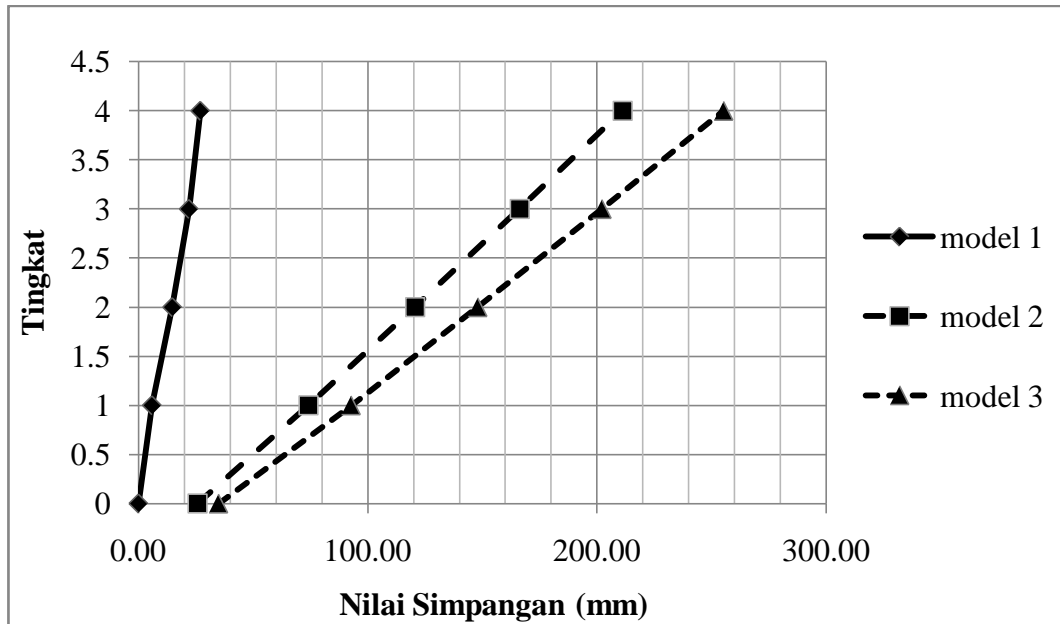
Perbandingan respon bangunan ini, ditinjau dalam perbandingan simpangan terhadap ketinggian gedung, nilai rasio simpangan antar lantai dan torsi lantai yang terjadi akibat pengaruh gempa pada wilayah kota Medan.

Simpangan terhadap ketinggian gedung, nilai rasio simpangan antar lantai dan torsi lantai yang terjadi sudah tercantum pada sub bab 4.2.1.10 dan 4.2.1.11 untuk perletakan jepit, pada sub bab 4.2.1.12 dan 4.2.1.13 untuk isolasi dasar dan pada sub bab 4.2.2.8 dan 4.2.2.9 untuk isolasi dasar dengan perubahan penampang balok (C_d isolasi dasar). Grafik perbandingan respon bangunan atau simpangan terhadap ketinggian gedung, nilai rasio simpangan antar lantai dan torsi lantai antar model struktur bangunan yang dapat dilihat pada Gambar 4.14 sampai 4.17.



Gambar 4.14: Grafik nilai simpangan terhadap ketinggian gedung arah x antar model struktur bangunan.

Pada Gambar 4.14 dapat dilihat perbedaan nilai simpangan tiap model struktur untuk arah x, penggunaan *base* isolator mempengaruhi besarnya simpangan. Pada model 3 berat struktur lebih berat dibandingkan dengan model 1 dan model 2 mengakibatkan nilai simpangan juga semakin besar. Persentase nilai simpangan terhadap ketinggian gedung arah x untuk model 1 adalah 9.03%, model 2 sebesar 30.09% dan model 3 sebesar 60.89%.

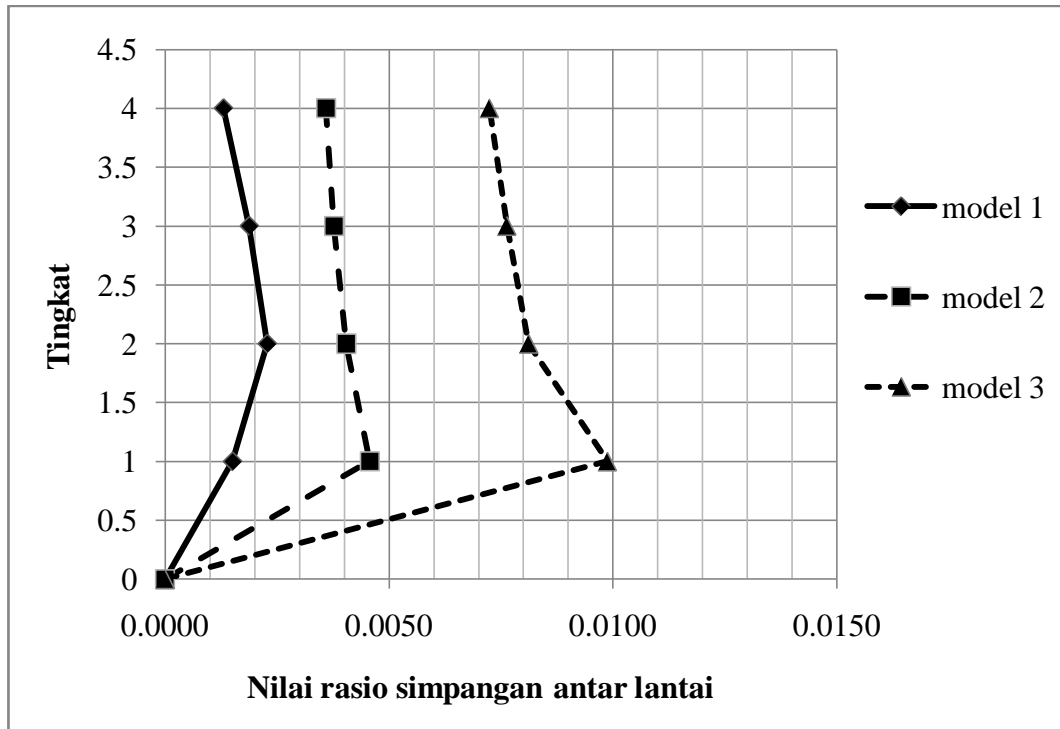


Gambar 4.15: Grafik nilai simpangan terhadap ketinggian gedung arah y antar model struktur bangunan.

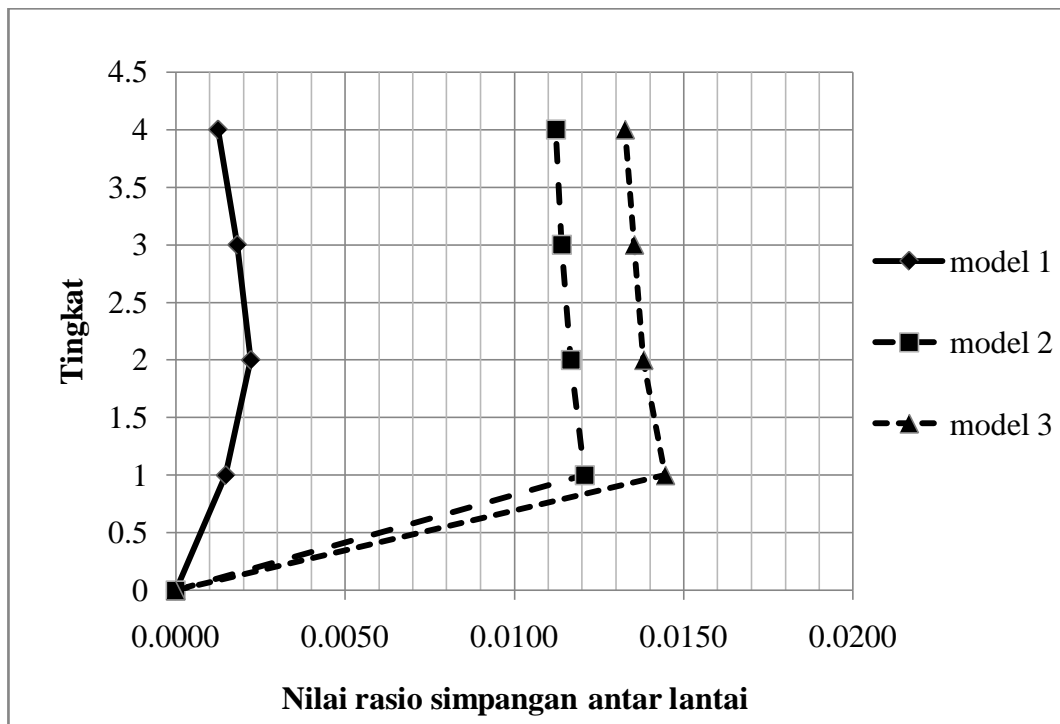
Pada Gambar 4.15 dapat dilihat perbedaan nilai simpangan tiap model struktur untuk arah y. Persentase nilai simpangan terhadap ketinggian gedung arah y untuk model 1 adalah 5.48%, model 2 sebesar 42.80% dan model 3 sebesar 51.73%. Untuk lebih mudah persentase nilai simpangan terhadap ketinggian gedung dapat dilihat pada Tabel 4.42.

Tabel 4.42: Persentase Nilai Simpangan Terhadap Ketinggian Gedung.

Struktur	Lantai 4			
	Arah x (mm)	Persentase (%)	Arah y (mm)	Persentase (%)
Model 1	27.873	9.03	27.024	5.48
Model 2	92.896	30.09	211.78	42.80
Model 3	188.003	60.89	255.245	51.73



Gambar 4.16: Grafik nilai rasio simpangan antar lantai arah x antar model.



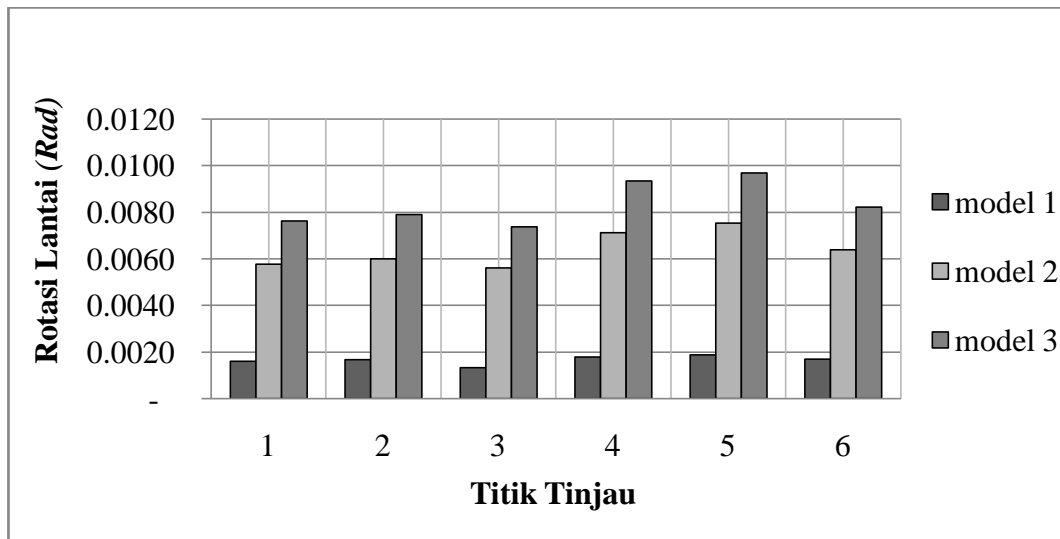
Gambar 4.17: Grafik nilai rasio simpangan antar lantai arah y antar model.

Pada Gambar 4.14 sampai 4.17 tersebut menunjukkan bahwa nilai simpangan dan nilai rasio simpangan pada struktur perletakan jepit lebih kecil dari pada

struktur dengan isolasi dasar. Pada perletakan yang menggunakan isolasi dasar mengalami simpangan yang lebih besar dikarenakan sifat dari isolasi dasar yang memiliki nilai perpindahan (elastis) yang membuat lantai paling atas mengalami simpangan yang cukup besar. Struktur diatas sistem isolasi mengharuskan struktur bangunan memiliki kekakuan yang cukup tinggi, karena kefleksibelan bangunan secara keseluruhan sudah diambil perannya oleh sistem isolasi.

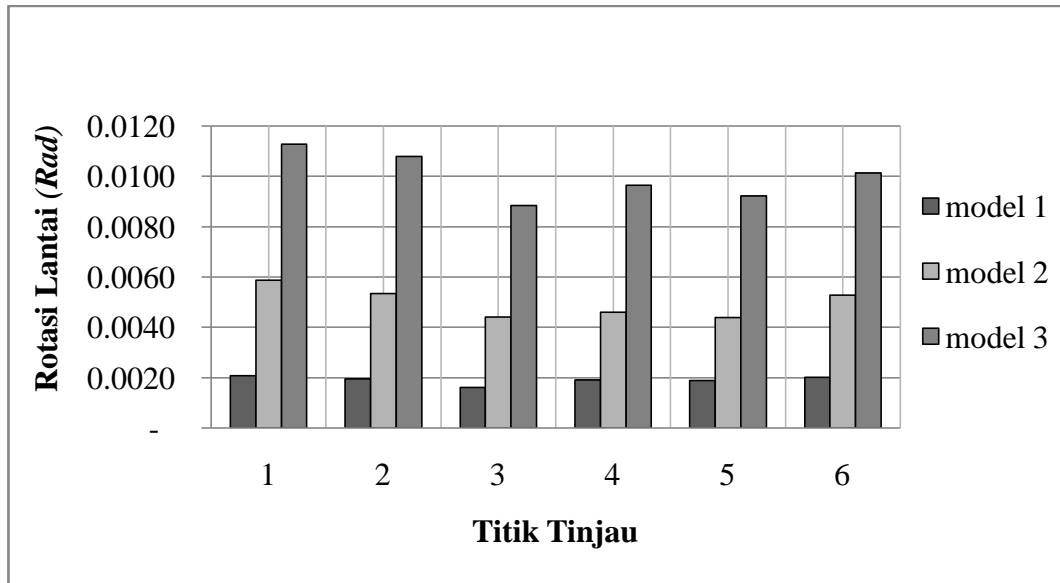
4.2.4 Perbandingan Torsi Lantai Tiap Model Struktur

Berikut disajikan perbandingan rotasi lantai antara model 1, model 2 dan model 3. Sebagaimana terlihat pada gambar 4.18 dan 4.19.



Gambar 4.18: Grafik perbandingan torsi lantai antar model struktur arah x.

Pada Gambar 4.18 terlihat nilai torsi lantai arah x terbesar terjadi pada struktur model 3 pada titik 5 dengan nilai 0.0097 rad sedangkan pada model 1 sebesar 0.0019 rad dan model 2 sebesar 0.0019 rad. Persentase nilai torsi lantai untuk model 1 yaitu 9.81%, model 2 sebesar 39.42% dan model 3 sebesar 50.77%.



Gambar 4.19: Grafik perbandingan torsi lantai antar model struktur arah y.

Berbeda dengan nilai torsi pada arah x, nilai terbesar untuk struktur model 3 terjadi pada titik 1 yaitu sebesar 0.0113 rad, pada model 2 sebesar 0.0059 rad dan pada model 1 sebesar 0.0021 rad. Dalam bentuk persen untuk ketiga model yaitu model 1 = 10.82%, model 2 = 30.56% dan model 3 = 58.61%. Untuk mempermudah melihat perbandingan persentase torsi lantai arah x,y dapat dilihat pada Tabel 4.43 berikut ini.

Tabel 4.43: Persentase Nilai Torsi Lantai Tiap Model Struktur.

Struktur	Torsi lantai pada lantai 4			
	Arah x (rad)	Persentase (%)	Arah y (rad)	Persentase (%)
	Titik 5		Titik 1	
Model 1	0.0019	9.81	0.0021	10.82
Model 2	0.0075	39.42	0.0059	30.56
Model 3	0.0097	50.77	0.0113	58.61

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perbandingan dari hasil perencanaan struktur perletakan jepit, isolasi dasar dan isolasi dasar dengan perubahan balok (*Cd* isolasi dasar) diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Struktur SRPMK dengan isolasi dasar mempunyai nilai simpangan yang lebih besar dari pada struktur SRPMK dengan perletakan jepit. Nilai simpangan maksimum yang terjadi pada 3 model yaitu sebagai berikut:
 - Struktur model 1 untuk arah $x = 27.873$ mm dan arah $y = 27.024$ mm
 - Struktur model 2 untuk arah $x = 92.896$ mm dan arah $y = 211.178$ mm
 - Struktur model 3 untuk arah $x = 188.003$ mm dan arah $y = 255.245$ mm
- Nilai torsi lantai juga tidak terlalu jauh berbeda, struktur model 3 memiliki nilai torsi lantai yang cukup signifikan dibandingkan dengan struktur model 1 dan model 2. Nilai torsi lantai yang terjadi untuk tiap model yaitu sebagai berikut:
 - Struktur model 1 untuk arah $x = 0.0019$ rad dan arah $y = 0.0021$ rad
 - Struktur model 2 untuk arah $x = 0.0075$ rad dan arah $y = 0.0059$ rad
 - Struktur model 3 untuk arah $x = 0.0097$ rad dan arah $y = 0.0113$ rad
- Berat struktur bangunan mempengaruhi nilai simpangan dan torsi lantai yang terjadi, pada struktur model 3 simpangan dan torsi lantai lebih besar dari model 1 dan model 2, semakin berat struktur bangunan maka semakin besar pula simpangan dan torsi lantai yang terjadi.
- Struktur bangunan dengan layout L dengan ketinggian rendah masih dapat menggunakan struktur perletakan jepit yang jauh lebih ekonomis dari segi harga.

5.2 Saran

Penelitian ini belum sempurna hanya menganalisa pengaruh penggunaan isolasi dasar jenis *High-Damping Rubber Bearing* terhadap bangunan SRPMK dengan analisa linear. Respon struktur bangunan yang dikaji berupa simpangan antar lantai yang berbentuk (tidak beraturan) 4 lantai yang terletak di kota Medan dengan klasifikasi tanah sedang.

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 pelat lantai untuk mencegah terjadinya simpangan dengan arah yang berbeda dari setiap sistem isolasi dasar.

Oleh karenanya disarankan untuk studi selanjutnya dilakukan analisis penggunaan balok dan pelat lantai pada lantai dasar diatas sistem isolasi, kota perencanaan yang rawan gempa, jenis tanah, penggunaan jenis isolasi dasar jenis berbeda, kombinasi isolasi dasar dalam beberapa model struktur (tidak beraturan, jumlah lantai) dan yang paling penting adalah sesuai persyaratan SNI gempa yang berlaku agar penerapan prinsip isolasi dasar pada tiap model struktur bangunan dapat diketahui kesesuaiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Azmi. (2016) Analisis Respon Bangunan Gedung Lima Lantai Menggunakan *Base Isolator* Di Kota Padang (Studi Literatur). *Laporan Tugas Akhir*. Medan: Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhamadiyah Sumatera Utara.
- SNI 1726-2012. (2012) *Tata Cara Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1727-2013. (2013) *Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2847-2013. (2013) *Persyaratan Beton Struktur Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Budiono, B., dan Supriatna, L. 2011. *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa*. Bandung: Institute Teknologi Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Program Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPURG)*. Jakarta: Yayasan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Dwiyanto, Efri. 2017. Analisis Dinamik Struktur Bangunan Gedung Yang Menggunakan Sistem *Seismic Isolation Lead Rubber Bearing*. *Skripsi*. Bandar Lampung: Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
- Farisi, M.A. dan Budiono, R.B. (_____) *Design And Analysis of Base Isolated Structures*. Bandung: Institute Teknologi Bandung.
- Hartuti, E. R. 2009. *Buku Pintar Gempa*. Yogyakarta: Diva Press.
- Hazmi, Miftah., dkk.,. 2011. Perbandingan Kinerja Struktur Yang Menggunakan *Base Isolator* Dengan Tanpa *Base Isolator* Dengan Analisis Beban Dorong (*Pushover*). *Jurnal Ilmiah. Proceeding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur & Sipil)*. Universitas Gunadarma–Depok 18-19 Oktober 2011. Vol. 4 Oktober 2011. diakses 21 Januari 2019.
- Mayes, R.L. dan Naeim, F. (2000) *Design of Structures with Seismic Isolation*. California (LA).

- Muliadi, dkk., (2016) Analisis Gaya Geser Pada Bangunan Menggunakan *Base Isolator* Sebagai Pereduksi Beban Gempa. *Teras Jurnal*, Vol.6, No.1, Maret 2016.
- Riza, M.M. (2010) *Aplikasi Perencanaan Struktur Gedung dengan ETABS*. ARS GROUP.
- Tedja, Michael, dkk., 2014. Perbandingan Metode Konstruksi Dinding Bata Merah Dengan Dinding Bata Ringan. *Jurnal Ilmiah, ComTech* Vol. 5 No. 1 Juni 2014: 272-279. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas BINUS.
- Teruna, 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 Perhitungan Ketidak-Beraturan Struktur Bangunan*. Medan.
- Young, K. (1975) *Geology The Paredox of Earth and Man*. United State of America: Houghton Mifflin Company.

LAMPIRAN

Perhitungan beban total perlantai struktur bangunan

Berat jenis beton	=	2400	kg/m ³
Berat jenis dinding bata	=	250	kg/m ²
Luas lantai	=	420	m ²

Lt.1,2,3 (Tipikal)

1 Berat beban mati tambahan (*SDL*)

a. Beban mati tambahan (*SDL*) pada pelat lantai

Spesi Lantai Keramik (t = 3 cm)	=	63	kg/m ²
Keramik	=	24	kg/m ²
Plafon + penggantung	=	18	kg/m ²
M & E	=	25	kg/m ²
sub. Jumlah		130	kg/m ²
Jumlah (a)	=	54,600	kg

b. Beban mati tambahan (*SDL*) pada balok

Panjang bata	=	209	m'
Tinggi bata	=	4	m'
Jumlah (b)	=	209,000	kg
Total (a) + (b)	=	263,600	kg

2 Berat beban hidup (*LL*)

<i>LL</i>	=	240	kg/m ²
Luas lantai	=	420	m ²
Jumlah	=	100,800	kg

Koefisien reduksi = 0.47 (BAB III Pers. 3.1)

Berat total Lt.1,2,3 (Tipikal)	=	310,976	kg
	=	310.98	ton

Lt.4 (Atap)

1 Berat beban mati tambahan (*SDL*)

a. Beban mati tambahan (*SDL*) pada pelat atap

Plafon + penggantung	=	18	kg/m ²
waterproof	=	5	kg/m ²
M & E	=	25	kg/m ²
sub. Jumlah		48	kg/m ²
Jumlah (a)	=	20,160	kg

b. Beban mati tambahan (*SDL*) pada balok

Panjang bata	=	209	m'
--------------	---	-----	----

Tinggi bata (Parapet wall)	=	1	m'
Jumlah (b)	=	52,250	kg
Total (a) + (b)	=	72,410	kg
2 Berat beban hidup			
<i>LL</i>	=	96	kg/m ²
Luas lantai	=	420	m ²
Jumlah (2)	=	40,320	kg
Koefisien reduksi	=	0.47 (BAB III Pers. 3.3)	
Berat Total Lt.4 (Atap)	=	91,360	kg
	=	91.36	ton

Ketidakberaturan Horizontal Torsi dan Torsi Berlebih Pada Struktur

Syarat : Tanpa Ketidakberaturan Torsi : $dx_{max} < 1,2 dx_{rata2}$

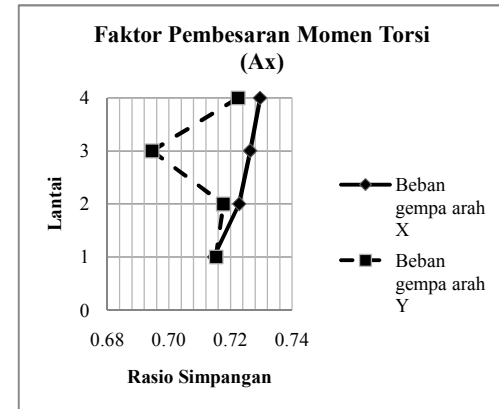
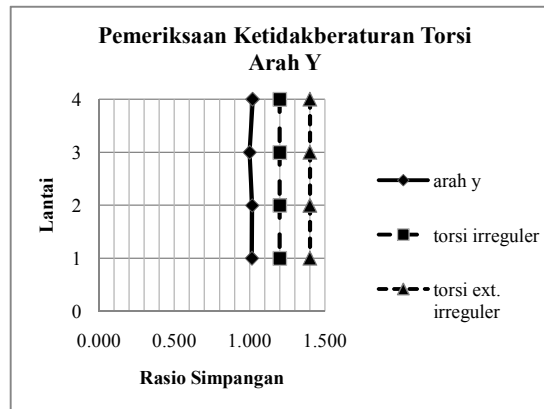
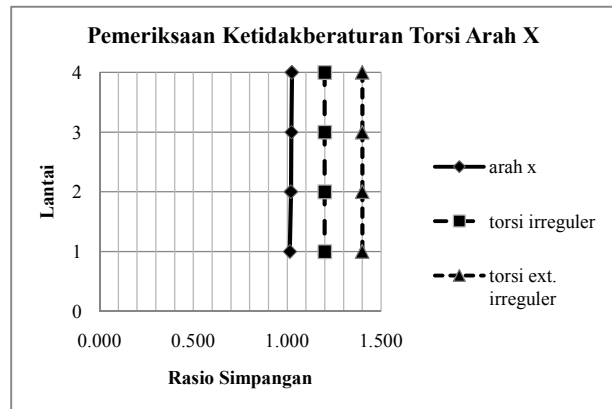
h_i = Tinggi tingkat per lantai gedung

Ketidakberaturan Torsi Biasa (1A) : $1,2 dx_{rata2} \leq dx_{max} \leq 1,4 dx_{rata2}$

Ketidakberaturan Torsi Berlebihan (1B) : $1,4 dx_{rata2} < dx_{max}$

Joint Displacement Arah-X

Lantai	Rigid Diafragma	ARAH X						ARAH Y						Ax (X)	Ax (Y)
		δa mm	δb mm	δavg mm	R= $\delta max/\delta avg$	Ketidakberaturan torsi		δa mm	δb mm	δavg mm	R= $\delta max/\delta avg$	Ketidakberaturan torsi			
						Torsi Biasa	Torsi Berlebih					Torsi Biasa	Torsi Berlebih		
4	rigid	29.328	27.896	28.612	1.025	Tidak Ada	Tidak Ada	24.8968	23.9218	24.4093	1.020	Tidak Ada	Tidak Ada	0.73	0.72
3	rigid	23.740	22.683	23.212	1.023	Tidak Ada	Tidak Ada	23.7418	23.7399	23.74085	1.000	Tidak Ada	Tidak Ada	0.73	0.69
2	rigid	15.791	15.164	15.477	1.020	Tidak Ada	Tidak Ada	13.7997	13.3492	13.57445	1.017	Tidak Ada	Tidak Ada	0.72	0.72
1	rigid	6.219	6.043	6.131	1.014	Tidak Ada	Tidak Ada	5.6085	5.4433	5.5259	1.015	Tidak Ada	Tidak Ada	0.71	0.72

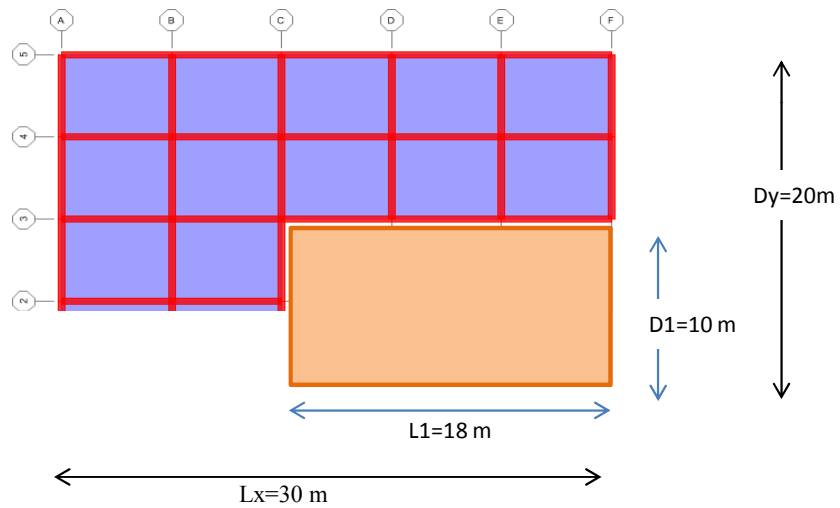


Ketidakberaturan Sudut Dalam

Syarat:

Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan "**ada**" pada struktur bangunan jika $L_n > 15\% L1$ dan $D_n > 15\% D1$

Lantai	Lx (m)	Dy (m)	15% Lx (m)	15% Dy (m)	L1 (m)	D2 (m)	Ketidakberaturan Horizontal sudut dalam
4	30	20	4.5	3	18	10	ada
3	30	20	4.5	3	18	10	ada
2	30	20	4.5	3	18	10	ada
1	30	20	4.5	3	18	10	ada



**KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL DISKONTINUITAS DIAFRAGMA PADA STRUKTUR
(daerah terbuka lebih dari 50%)**

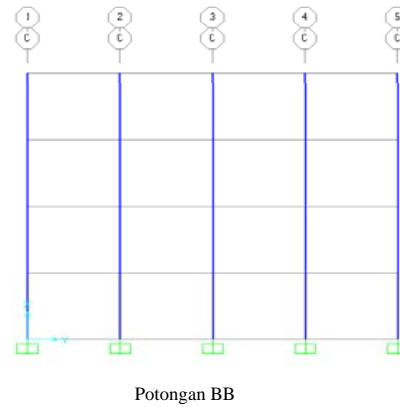
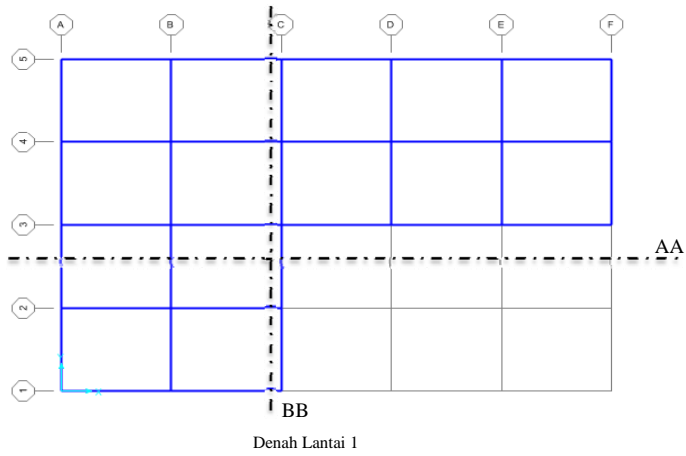
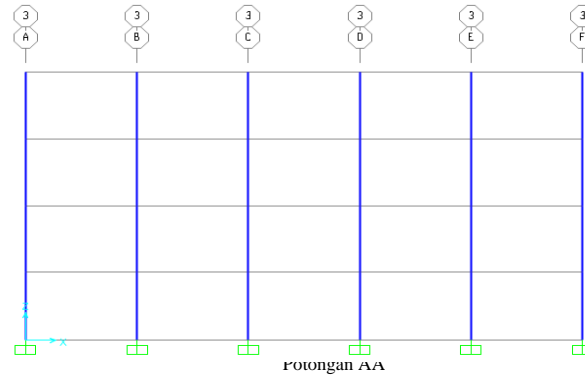
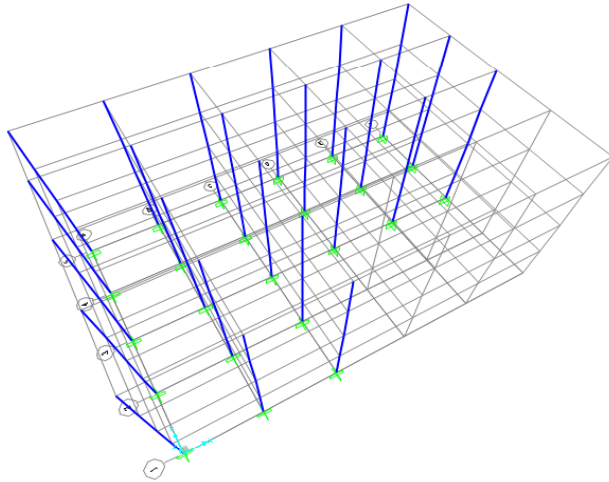
Didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong / terbuka lebih dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupi atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya

Tabel ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Lantai	Luas total lantai (At) m²	Luas opening (Ao) m²	Luas total lantai netto (An) m²	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma
Lt. 4	420	0	420	tidak ada
Lt. 3	420	0	420	tidak ada
Lt. 2	420	0	420	tidak ada
Lt. 1	420	0	420	tidak ada

KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL PERGESERAN MELINTANG PADA STRUKTUR

Didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal, terhadap bidang elemen vertikal.



Kesimpulan:

Pada struktur bangunan ini semua kolom dan wall menerus dari lantai dasar s/d lantai atap sehingga tidak terdapat ketidakberaturan horisontal pergeseran melintang elemen struktur

KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL SISTEM NONPARALEL

Didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel / simetris thd sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa

Lantai	Struktur memiliki sistem vertical tidak paralel atau tidak simetris terhadap sumbu ortogonal utama
Lt. 4	ya
Lt. 3	ya
Lt. 2	ya
Lt. 1	ya

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI

Nama Lengkap : Nanda Firnando
Tempat / Tanggal Lahir : Sei Mangkei, 07 September 1991
Jenis Kelamin : Laki – Laki
Alamat : Jl. Puskesmas I Gg. Salikin
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Sukirno
Ibu : Alyani
e-mail : nandafirnando.id@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD Negeri 060878	2004
2	SMP	MTs Swasta Islam Azizi	2007
3	SMK	SMK Negeri 1 Percut Sei Tuan	2010
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2014 sampai selesai.		