

TUGAS AKHIR

**PENGARUH KONDISI TANAH
TERHADAP DEFORMASI SRPMK BETON BERTULANG
YANG MEMILIKI *SETBACK* AKIBAT BEBAN GEMPA
(*Studi Literatur*)**

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

Disusun Oleh:

AWANG RIO ISKANDAR
0907210127



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2016

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Awang Rio Iskandar

NPM : 0907210127

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Kondisi Tanah Terhadap Deformasi SRPMK Beton Bertulang Yang Memiliki *Setback* Akibat Beban Gempa (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, Oktober 2016

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Penguji

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

Tondi Amirsyah P, S.T., M.T.

Dosen Pembanding I / Penguji

Dosen Pembanding II / Penguji

Mizanudin S, S.T., M.T.

Rhini Wulan Dary, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,

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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Awang Rio Iskandar

Tempat /Tanggal Lahir: Lingga Tiga/ 22 Oktober 2016

NPM : 0907210127

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

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

“Pengaruh Kodisi Tanah Terhadap Deformasi SRPMK Beton Bertulang Yang Memiliki *Set-Back* Akibat Beban Gempa (Studi Literatur)”,

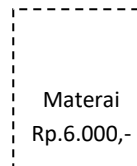
bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

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

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

Medan, Oktober 2016

Saya yang menyatakan,



Awang Rio Iskandar

ABSTRAK

PENGARUH KONDISI TANAH TERHADAP DEFORMASI SRPMK BETON BERTULANG YANG MEMILIKI *SET-BACK* AKIBAT BEBAN GEMPA (*Studi Literatur*)

Awang Rio Iskandar

0907210127

Dr. Ade Faisal, S.T., MSc.

Tondi Amirsyah P, S.T., M.T.

Pada dasarnya perencanaan bangunan tahan gempa harus memiliki standar dan peraturan perencanaan bangunan agar bangunan yang dirancang sesuai dengan standarisasi yang berlaku, hal ini sangat penting demi mencegah kegagalan struktur yang dapat mengakibatkan jatuhnya korban jiwa apabila terjadi gempa besar yang terjadi secara tiba-tiba. Dalam perancangan struktur gedung, pengaruh gempa merupakan salah satu hal yang penting untuk dianalisis. Dalam tugas akhir ini akan direncanakan struktur gedung beton bertulang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang memiliki *Set-Back* sesuai dengan SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013. Dimana bangunan model Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) akan menggunakan konsep *strong column and weak beam* (kolom kuat dan balok lemah). Struktur yang akan direncanakan adalah gedung perkantoran 10 lantai dan terletak di kota Banda Aceh, Nanggroe Aceh Darussalam. Berdasarkan wilayah gempa Indonesia, kota Banda Aceh diklasifikasikan kedalam daerah yang memiliki resiko gempa kuat dengan percepatan gempa 1.5 sampai 2.0 gravitasi (1.5-2.0 g), dimana analisis gaya lateral ditinjau dengan menggunakan analisis respon spektrum. Sistem Rangka Pemikul Momen adalah sistem rangka ruang dalam, dimana komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Dengan adanya sistem ini diharapkan suatu bangunan dapat berperilaku daktal, yang nantinya akan memencarkan energi gempa serta membatasi beban gempa yang masuk kedalam struktur.

Kata kunci: SRPMK, *strong column and weak beam*, SNI 1726:2012, SNI 2847:2013.

ABSTRACT

EFFECT OF SOIL CONDITIONS SRPMK DEFORMATION OF REINFORCED CONCRETE WHICH HAVE *SET-BACK* DUE TO EARTHQUAKE LOADS (Study of literature)

Awang Rio Iskandar

0907210127

Dr. Ade Faisal, S.T., MSc.

Tondi Amirsyah P, S.T., M.T.

Basically planning earthquake-resistant building standards and regulations must have building plans so that buildings are designed in accordance with the applicable standardization, it is very important to prevent structural failures that can result in the loss of life when a big earthquake happened suddenly. In the design of the building structure, the effect of the earthquake was one of the things that are important to analyze. In this final project will be planned using a reinforced concrete building structure bearers Special Moment Frame System (SRPMK) which has a Set-Back in accordance with SNI 1726: 2012 and SNI 2847: 2013. Where the model building bearers Special Moment Frame System (SRPMK) will use the concept of strong column and weak beam (strong column and weak beam). The structure to be planned is a 10-storey office building and is located in the city of Banda Aceh, Nanggroe Aceh Darussalam. Based on the earthquake region of Indonesia, Banda Aceh classified into areas that have a risk of a major earthquake, seismic acceleration of gravity of 1.5 to 2.0 (1.5-2.0 g), in which the lateral force analysis is reviewed using the response spectrum analysis. Moment Frame System bearer is the skeletal system in the room, where the components of the structure and joint-Joinnya withstand the forces acting through the action of bending, shear and axial. With this system is expected for a building to behave ductile, which will disperse the seismic energy and limit the earthquake load into the structure.

Keywords: SRPMK, strong column and weak beam, SNI 1726: 2012, SNI 2847: 2013.

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 “Pengaruh Kondisi Tanah Terhadap Deformasi SRPMK Beton Bertulang Yang Memiliki *Set-Back* Akibat Beban Gempa (Studi Literatur)” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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

1. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Mizanudin S, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Rhini Wulan Dary, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Rahmatullah ST, MSc selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

7. Orang tua penulis: Agus Herwansyah dan Sri Wati, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Paman Penulis: Romy Basuki, ST. Yang selalu mendukung dan membantu penulis baik materil maupun moril untuk tetap bisa menempuh pendidikan Teknik Sipil sampai selesai.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Junaidi Nainggolan, Ferdian Rivaldi, Hendra Nus Irawan, Nur Suhadi Sirmaz, Suprayetno, Fiqih Hidayat, Aji Atma Syahputra, Muhammad Rizky, Muhammad Azmi dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

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

Medan, Oktober 2016

Awang Rio Iskandar

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i, ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR NOTASI	xx
DAFTAR SINGKATAN	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	3
1.3. Ruang lingkup penelitian	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.5.1. Manfaat Teoritis	5
1.5.2. Manfaat Praktis	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pendahuluan	7
2.2. Beton Bertulang	9
2.3. Konfigurasi Bangunan	11
2.3.1. Bangunan Beraturan (<i>Regular Building</i>)	13
2.3.2. Bangunan Tidak Beraturan (<i>Iregular Building</i>)	14
2.4. Sistem Struktur	15
2.4.1. Struktur Portal	16
2.5. Teori Gempa	17
2.5.1. Mekanisme Gempa Bumi	18
2.6. Gempa Rencana	19

2.6.1. Arah Pembebanan Gempa	19
2.6.2. Wilayah Gempa	20
2.6.3. Konsep Perencanaan Struktur Tahan Gempa	21
2.7. Kriteria Disain Perencanaan Struktur Gedung	
Tahan Gempa	22
2.7.1. Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan	24
2.7.2. Klasifikasi Situs Tanah Untuk Desain Seismik	27
2.7.3. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa	28
2.7.4. Kategori Desain Seismik	32
2.7.5. Faktor Reduksi Gempa (R)	33
2.7.6. Gaya Geser Dasar Seismik	33
2.7.7. Perioda Fundamental	35
2.7.8. Parameter Respon Terkombinasi	36
2.7.9. Faktor Redudansi	37
2.8. Design Kriteria Struktur Utama	37
2.8.1. Kekuatan (<i>Strength</i>)	38
2.8.2. Kekakuan (<i>Stiffness</i>)	38
2.8.3. Simpangan Antar Lantai	40
2.9. Kombinasi dan Pengaruh Beban Gempa	41
2.9.1. Analisa Pembebanan	42
2.9.2. Deskripsi Pembebanan	42
2.9.2.1. Beban Vertikal	42
2.9.2.2. Beban Horizontal	43
2.9.3. Arah Pembebanan Gempa	45
2.9.4. Kombinasi Pembebanan	46
2.9.5. Pengaruh Beban Gempa	48
2.9.5.1. Pengaruh Beban Gempa Horisontal	48
2.9.5.2. Pengaruh Beban Gempa Vertikal	49
2.10. Penggunaan Sistem SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)	49
2.10.1. Ruang Lingkup	49

2.10.2. Prinsip SRPMK	50
2.10.3. Reduksi Kekakuan Elemen Struktur	51
2.10.4. Prosedur Perencanaan SRPMK	52
2.10.4.1. Balok Lentur dan Penulangan Longitudinal	52
2.10.4.2. Joint Shear	42
2.10.4.3. Geser Balok dan Tulangan Geser	56
2.10.4.4. Desain Kolom	58
2.10.4.5. Member not Designated as Part of The Seismic Force Resisting System	60
2.10.5. Persyaratan SNI 2847:2013 Terhadap Penggunaan SRPMK	60
BAB 3 METODOLOGI	
3.1. Metodologi Penelitian	71
3.2. Deskripsi Model Struktur	73
3.3. Faktor Respon (C)	73
3.4. Pemodelan dan Analisis Struktur	83
3.4.1. Pemodelan Gedung	83
3.4.1.1. Data Perencanaan Struktur Model 1	73
3.4.1.2. Data Perencanaan Struktur Model 2	73
3.4.1.3. Data Perencanaan Struktur Model 3	73
3.4.1.4. Faktor Keutamaan Struktur (I_e)	86
3.4.1.5. Faktor Reduksi Gempa	86
3.4.1.6. Properties Penampang	86
3.4.1.7. Penentuan Tebal Pelat lantai	88
3.4.1.8. Pembebanan Pada Struktur	89
3.4.1.9. Pembebanan Pada Plat Lantai	90
3.4.1.10. Beban Dinding Bata	91
3.4.1.11. Kombinasi Pembebanan	92
3.4.2. Analisis Respon Spektrum	93
3.4.2.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Model 1	94
3.4.2.2. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	

Model 2	97
3.4.2.3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	
Model 3	100
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Tinjauan Umum	105
4.2. Perhitungan Beban Gravitasi Pada Struktur Bangunan SRPMK	105
4.2.1. Perhitungan Beban Terbagi Rata Untuk Pembebanan Akibat Gaya Gempa Model 1	107
4.2.2. Perhitungan Beban Terbagi Rata Untuk Pembebanan Akibat Gaya Gempa Model 2	113
4.2.3. Perhitungan Beban Terbagi Rata Untuk Pembebanan Akibat Gaya Gempa Model 3	120
4.3. Analisis Respon Spektrum Model 1	125
4.3.1. Model Gedung Dengan SRPMK Pada Situs Tanah Keras	125
4.3.1.1. Gaya Geser Dasar	125
4.3.1.2. Perbandingan Gaya Geser Gedung Tiap Lantai	127
4.4. Nilai Simpangan Gedung	132
4.4.1. Nilai Simpangan Gedung Model 1	132
4.5. Kekakuan Tingkat Model 1	134
4.5.1. Nilai Kekakuan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y Model 1	134
4.6. Analisis Respon Spektrum Model 2	136
4.6.1. Model Gedung Dengan SRPMK Pada Situs Tanah Sedang	136
4.6.1.1. Gaya Geser Dasar	137
4.6.1.2. Perbandingan Gaya Geser Gedung Tiap Lantai	139
4.7. Nilai Simpangan Gedung	143

4.7.1. Nilai Simpangan Gedung Model 2	143
4.8. Kekakuan Tingkat Model 2	145
4.8.1. Nilai Kekakuan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y Model 2	145
4.9. Analisis Respon Spektrum Model 3	147
4.9.1. Model Gedung Dengan SRPMK Pada Situs Tanah Lunak	147
4.9.1.1. Gaya Geser Dasar	147
4.9.1.2. Perbandingan Gaya Geser Gedung Tiap Lantai	135
4.10. Nilai Simpangan Gedung	153
4.10.1. Nilai Simpangan Gedung Model 3	153
4.11. Kekakuan Tingkat Model 3	155
4.11.1. Nilai Kekakuan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y Model 3	155
4.12. Grafik Perbandingan Simpangan Dari Setiap Model Gedung	157
4.13. Grafik Perbandingan <i>Drift Ratio</i> Antar Tingkat Terhadap Ketinggian Gedung Dari Setiap model Gedung	159
4.14. Grafik Perbandingan Gaya Geser Respon Spektrum Dari Setiap Model Gedung	161
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	163
5.2. Saran	164
DAFTAR PUSTAKA	166
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Baja Tulangan Untuk Beton Bertulang	11
Tabel 2.2	Ketidakteraturan horizontal pada struktur berdasarkan SNI Gempa 1726-2012	22
Tabel 2.3	Ketidakteraturan vertikal pada struktur berdasarkan SNI Gempa 1726-2012	23
Tabel 2.4	Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa	25
Tabel 2.5	Faktor Keutamaan (I_e), berdasarkan SNI Gempa 1726:2012	27
Tabel 2.6	Klasifikasi Situs Didasarkan Atas Korelasi Penyidikan Tanah Lapangan dan Laboratorium Berdasarkan 1726:2012	27
Tabel 2.7	Koefisien Periode Pendek, F_a berdasarkan SNI 1726-2012	29
Tabel 2.8	Koefisien Periode 1,0 Detik, F_v berdasarkan SNI 1726-2012	29
Tabel 2.9	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek Berdasarkan SNI 1726-2012	32
Tabel 2.10	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik Berdasarkan SNI 1726-2012	33
Tabel 2.11	Faktor Koefisien Modifikasi Respons, Faktor Kuat Lebih Sistem, Faktor Pembesaran defleksi dan Batasan Tinggi Sistem Struktur Berdasarkan SNI Gempa 1726:2012	33
Tabel 2.12	Nilai Parameter Periode Pendekatan C_r , dan α berdasarkan SNI Gempa 1726 :2012	36
Tabel 2.13	koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung Berdasarkan SNI 1726 :2012	36
Tabel 2.14	Sipangan Antar Lantai Izin Berdasarkan SNI 1726 :2012	41
Tabel 3.1	Respon Spektrum SNI 1726-2012 Kota Banda Aceh Dengan Jenis Tanah Keras	77
Tabel 3.2	Respon Spektrum SNI 1726-2012 Kota Banda Aceh Dengan Jenis Tanah Sedang	79
Tabel 3.3	Respon Spektrum SNI 1726-2012 Kota Banda Aceh Dengan Jenis Tanah Lunak	81

Tabel 3.4	Faktor Reduksi Gempa Pada Gedung, Pada Zona Gempa Tanah Sedang Berdasarkan SNI 1726-2012	87
Tabel 3.5	Berat Material Struktur Gedung	89
Tabel 3.6	Berat Tambahan Komponen Struktur Gedung	90
Tabel 3.7	Beban Hidup Pada Lantai Struktur	90
Tabel 3.8	Beban Dinding Bata Pada Balok	92
Tabel 3.9	Kombinasi Pembebanan Berdasarkan SNI Gempa 1726:2012	93
Tabel 3.10	Data Periode Output Program ETABS, (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) Model 1 Untuk Tanah Keras	94
Tabel 3.11	Hasil Selisih Presentase Nilai Periode (Model 1)	94
Tabel 3.12	Pengecekan T Berdasarkan Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental Model 1 Berdasarkan SNI 1726-2012	96
Tabel 3.13	Rangkuman Nilai C_s dan Nilai C_s yang Digunakan Pada Gedung Model 1	97
Tabel 3.14	Data periode output program ETABS, (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) Model 2 untuk tanah sedang	97
Tabel 3.15	Hasil Selisih Persentase Nilai Periode (model 2)	98
Tabel 3.16	Pengecekan T Berdasarkan Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental Model 2 Berdasarkan SNI 1726-2012	99
Tabel 3.17	Rangkuman Nilai C_s dan Nilai C_s Yang Digunakan Pada Gedung Model 2	101
Tabel 3.18	Data Periode Output Program ETABS, (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) Model 3 Untuk Tanah Lunak	101
Tabel 3.19	Hasil Selisih Persentase Nilai Periode (model 3)	101
Tabel 3.20	Pengecekan T berdasarkan pembatasan waktu getar alami Fundamental Model 1 Berdasarkan SNI 1726-2012	103
Tabel 3.21	Rangkuman Nilai C_s dan Nilai C_s Yang Digunakan Pada Gedung Model 3	103
Tabel 4.1	Rekapitulasi Berat Sendiri Dari Hasil <i>Output</i> ETABS Model 1 Untuk Kelas Situs Tanah Keras	105
Tabel 4.2	Rekapitulasi Berat Sendiri Dari Hasil <i>Output</i> ETABS Model 2 Untuk Kelas Situs Tanah Sedang	112

Tabel 4.3	Rekapitulasi Berat Sendiri Dari Hasil <i>Output</i> ETABS Model 3 Untuk Kelas Situs Tanah Lunak	118
Tabel 4.4	Gaya Geser Hasil Respon Spektrum Model 1 <i>Output</i> ETABS	126
Tabel 4.5	Rekapitulasi Faktor Skala Hasil Respon Spektrum Dengan Statik Ekuivalen Masing–Masing Arah Model 1	127
Tabel 4.6	Nilai Gaya Geser Arah X Pada Tiap Lantai Gedung Model 1 Statik Ekuivalen	128
Tabel 4.7	Nilai Gaya Geser Arah Y Pada Tiap Lantai Gedung Model 1 Statik Ekuivalen	129
Tabel 4.8	Output Etabs Tabel Gaya Geser Respon Spektrum Sumbu X dan Y	130
Tabel 4.9	Nilai Simpangan Gedung Model 1	132
Tabel 4.10	Output Nilai Kekakuan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y Model 1	135
Tabel 4.11	Distribusi Kekakuan Tingkat Pada Arah X Pada Gedung Model 1	135
Tabel 4.12	Distribusi Kekakuan Tingkat Pada Arah Y Pada Gedung Model 1	136
Tabel 4.13	Gaya Geser Hasil Respon Spektrum Model 2 <i>Output</i> Etabs	137
Tabel 4.14	Rekapitulasi Faktor Skala Hasil Respon Spektrum Dengan Statik Ekuivalen Masing–Masing Arah Model 2	138
Tabel 4.15	Nilai Gaya Geser Arah x Pada Tiap Lantai Gedung Model 2 Statik Ekuivalen	139
Tabel 4.16	Nilai Gaya Geser Arah Y Pada Tiap Lantai Gedung Model 2 Statik Ekuivalen	141
Tabel 4.17	Output ETABS Gaya Geser Respon Spektrum Sumbu X dan Y	142
Tabel 4.18	Nilai Simpangan Gedung Model 2	143
Tabel 4.19	Output Nilai Kekakuan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y Model 2	145
Tabel 4.20	Distribusi Kekakuan Tingkat Pada Arah X Pada Gedung Model 2	146
Tabel 4.21	Distribusi Kekakuan Tingkat Pada Arah Y Pada	

Gedung Model 2	146
Tabel 4.22 Gaya Geser Hasil Respon Spektrum Model 3 <i>Output</i> Etabs	147
Tabel 4.23 Rekapitulasi Faktor Skala Hasil Respon Spektrum Dengan Statik Ekuivalen Masing–Masing Arah Model 3	149
Tabel 4.24 Nilai Gaya Geser Arah X Pada Tiap Lantai Gedung Model 3 Statik Ekuivalen	150
Tabel 4.25 Nilai Gaya Geser Arah Y Pada Tiap Lantai Gedung Model 3 Statik Ekuivalen	151
Tabel 4.26 Output Etabs Tabel Gaya Geser Respon Spektrum Sumbu X dan Y	152
Tabel 4.27 Nilai Simpangan Gedung Model 3	153
Tabel 4.28 Output Nilai Kekakuan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y Model 3	155
Tabel 4.29 Distribusi Kekakuan Tingkat Pada Arah X Pada Gedung Model 3	156
Tabel 4.30 Distribusi Kekakuan Tingkat Pada Arah Y Pada Gedung Model 3	156

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Bangunan <i>setback</i>	2
Gambar 1.2	Indeks Kerusakan Pada Bangunan <i>setback</i>	3
Gambar 2.1	Peta Pembagian Wilayah Indonesia	7
Gambar 2.2	Bangunan <i>Set-Back</i> Vertikal	12
Gambar 2.3	Denah Bangunan Sederhana dan Simetri	14
Gambar 2.4	Bangunan Tidak Beraturan	15
Gambar 2.5	Prilaku Portal Yang Terkekang	17
Gambar 2.6	Jenis-jenis Pertemuan Dua Lempeng	19
Gambar 2.7	Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar s_b untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%)	20
Gambar 2.8	Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar s_b untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%)	21
Gambar 2.9	Bentuk Tipikal Respon Spektra Desain di Permukaan Tanah	31
Gambar 2.10	Simpangan Antar Tingkat	39
Gambar 2.11	Nilai Spektra Percepatan Di Permukaan	44
Gambar 2.12	Kombinasi Arah Beban Gempa	46
Gambar 2.13	Desain SRPMK	50
Gambar 2.14	Ketentuan Tulangan Longitudinal Balok	52
Gambar 2.15	Lokasi Sendi Plastis	53
Gambar 2.16	Lokasi Kelelehan	54
Gambar 2.17	Free Body Diagram Pada Kolom dan Join	55
Gambar 2.18	Luasan Joint Efektif A_j	56
Gambar 2.19	Perhitungan Kuat Geser Balok Dengan Mempertimbangkan M_{pr}	56
Gambar 2.20	Ketentuan Tulangan Geser Pada Balok	57
Gambar 2.21	Ketentuan Kuat Kolom	58
Gambar 2.22	M_{pr} Pada Kolom Dipengaruhi Gaya Aksial Yang Dipikulnya	59
Gambar 2.23	Tulangan Geser Pada Kolom	60

Gambar 2.24	Persyaratan Lentur SRPMK	61
Gambar 2.25	Persyaratan Sambung Lewatan SRPMK	62
Gambar 2.26	Persyaratan Tulangan Trasversal	63
Gambar 2.27	Detail Sengkang Tertutup dan Pengikat Silang	63
Gambar 2.28	Gaya Geser Rencana Pada Komponen Struktur Lentur	64
Gambar 2.29	Konsep Kolom Kuat Balok Lemah	66
Gambar 2.30	Persyaratan Tulangan Transversal Untuk Sengkang Spiral dan Sengkang tertutup Persegi	67
Gambar 2.31	Detail Penampang Kolom	67
Gambar 2.32	Gaya Gaya Pada Suatu Hubungan Balok dan Kolom	68
Gambar 2.33	Luas Efektif Hubungan Balok-Kolom	70
Gambar 3.1	Bagan Alir	72
Gambar 3.2	Respon spektrum SNI 1726-2012 daerah kota Banda Aceh Dengan Jenis Tanah Keras	79
Gambar 3.3	Respon spektrum SNI 1726-2012 daerah kota Banda Aceh Dengan Jenis Tanah Sedang	81
Gambar 3.4	Respon spektrum SNI 1726-2012 daerah kota Banda Aceh Dengan Jenis Tanah Lunak	83
Gambar 3.5	Denah Struktur Bangunan Lantai 1-5	84
Gambar 3.6	Denah Struktur Bangunan Lantai 5-10	84
Gambar 3.7	Tampak Samping Portal Struktur Bangunan	85
Gambar 3.8	Bentuk Tipikal Struktur Beton Bertulang SRPMK	85
Gambar 3.9	Dimensi Pelat Lantai	88
Gambar 3.10	Metode Perhitungan Beban Dinding	91
Gambar 4.1	Diagram Gaya Geser Statik Ekuivalen Arah x Terhadap Ketinggian Struktur gedung (SNI 1726-2012)	129
Gambar 4.2	Diagram Gaya Geser Statik Ekuivalen Arah Y Terhadap Ketinggian Struktur gedung (SNI 1726-2012)	130
Gambar 4.3	Diagram Gaya Geser Respon Spektrum Arah X dan Y Terhadap Ketinggian Struktur gedung (SNI 1726-2012)	132
Gambar 4.4	Diagram Total Simpangan Terhadap ketinggian Gedung	133
Gambar 4.5	Diagram <i>Drift Ratio</i> Antar Tingkat Terhadap	

	Ketinggian Gedung	134
Gambar 4.6	Diagram Gaya Geser Statik Ekuivalen Arah X Terhadap Ketinggian Struktur Gedung (SNI 1726-2012)	140
Gambar 4.7	Diagram Gaya Geser Statik Ekuivalen Arah Y Terhadap Ketinggian Struktur Gedung (SNI 1726-2012)	141
Gambar 4.8	Diagram Gaya Geser Respon Spektrum Arah X dan Y Terhadap Ketinggian Struktur Gedung (SNI 1726-2012)	143
Gambar 4.9	Grafik Total Simpangan terhadap Ketinggian Gedung	144
Gambar 4.10	Grafik <i>Drift Ratio</i> Antar Tingkat terhadap Ketinggian Gedung	144
Gambar 4.11	Diagram Gaya Geser Statik Ekuivalen Arah X Terhadap Ketinggian Struktur Gedung (SNI 1726-2012)	151
Gambar 4.12	Diagram Gaya Geser Statik Ekuivalen Arah Y Terhadap Ketinggian Struktur Gedung (SNI 1726-2012)	152
Gambar 4.13	Diagram Gaya Geser Respon Spektrum Arah X dan Y Terhadap Ketinggian Struktur Gedung (SNI 1726-2012)	153
Gambar 4.14	Grafik Total Simpangan Terhadap ketinggian Gedung	154
Gambar 4.15	Grafik <i>Drift Ratio</i> Antar Tingkat Terhadap Ketinggian Gedung	154
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan Simpangan Tiap Model Arah X	157
Gambar 4.17	Grafik Perbandingan Simpangan Tiap Model Arah Y	158
Gambar 4.18	Grafik <i>Drift Ratio</i> Antar Tingkat Terhadap ketinggian Gedung Dari Tiap Model Arah X	159
Gambar 4.19	Grafik <i>Drift Ratio</i> Antar Tingkat Terhadap ketinggian Gedung Dari Tiap Model Arah Y	160
Gambar 4.20	Grafik Perbandingan Gaya Geser Respon Spektrum Dari Setiap Model Gedung Arah X	161
Gambar 4.21	Grafik Perbandingan Gaya Geser Respon Spektrum Dari Setiap Model Gedung Arah Y	162

DAFTAR NOTASI

C	Faktor Respons Gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam spektrum respons gempa rencana, g
C_d	Faktor amplikasi defleksi
C_s	Koefisien respon gempa, g
c	Jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral, yang dihitung untuk beban
d	Tinggi efektif komponen struktur, mm
d_i	Simpangan horizontal lantai tingkat ke i dari hasil analisis 3 dimensi struktur gedung akibat beban gempa nominal statik ekuivalen yang menangkap pada pusat massa pada taraf lantai tingkat, mm
e	Eksentrisitas, mm
F_a	Koefisien situs perioda pendek (pada perioda 0,2 detik)
F_i	Beban gempa nominal statik ekuivalen yang menangkap pada pusat massa pada taraf lantai tingkat ke- i struktur atas gedung, kg
F_n	Pembebanan gempa statik untuk lantai paling atas, kg
F_{PGA}	Faktor amplikasi untuk PGA
F_v	Koefisien situs perioda panjang (pada perioda 1 detik)
f'_c	Kuat tekan beton, MPa
f_l	Faktor kuat lebih beban dan bahan yang terkandung di dalam suatu struktur gedung akibat selalu adanya pembebanan dan dimensi penampang serta kekuatan bahan terpasang yang berlebihan dan nilainya ditetapkan sebesar 1,6
f_2	Faktor kuat lebih struktur akibat kehiperstatikan struktur gedung yang menyebabkan terjadinya redistribusi gaya-gaya oleh proses pembentukan sendi plastis yang tidak serempak bersamaan: rasio antara beban gempa maksimum akibat pengaruh gempa rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan beban gempa pada saat terjadinya pelelehan pertama

f_y	Kuat leleh tulangan, MPa
f_{yh}	Kuat leleh tulangan transversal, MPa
g	Percepatan gravitasi, mm/det ²
H	Tinggi gedung yang ditinjau, m
h	Tinggi komponen struktur, mm
h_c	Dimensi penampang inti kolom diukur dari sumbu ke sumbu tulangan pengekang, mm
h_i	Tinggi tingkat yang ditinjau, m
h_{sx}	Tinggi tingkat yang bersangkutan, m
h_w	Tinggi dinding keseluruhan atau segmen yang ditinjau, m
h_x	Spasi horizontal maksimum untuk kaki-kaki sengkang tertutup atau sengkang ikat pada semua muka kolom, mm
I	Faktor Keutamaan gedung, faktor pengali dari pengaruh Gempa Rencana pada berbagai kategori gedung, untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas dilampauinya pengaruh tersebut selama umur gedung itu dan menyesuaikan umur gedung itu
I_1	Faktor Keutamaan gedung untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung
I_2	Faktor Keutamaan gedung untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian umur gedung
I_e	Faktor Keutamaan
k	Nilai eksponen distribusi
l_o	panjang minimum, diukur dari muka join sepanjang sumbu komponen struktur, dimana harus disediakan tulangan transversal, mm
l_w	Panjang keseluruhan dinding atau segmen yang ditinjau dalam arah gaya geser, m
M	Momen yang diterima dinding geser, kN.m
M_u	Momen ultimet yang bekerja didasar dinding, kN.m

\bar{N}	Nilai rata-rata berbobot hasil Test Penetrasi Standar lapisan tanah di atas batuan dasar dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya
n	Nomor lantai tingkat paling atas; jumlah lantai tingkat struktur gedung
P	Aksial, kN
PGA	Percepatan muka tanah puncak MCE_G terpeta, g
PGA_M	Nilai percepatan puncak di permukaan tanah berdasarkan klasifikasi <i>site</i>
P_u	Gaya aksial yang bekerja pada dinding geser, kN
R	Faktor reduksi gempa, koefisien modifikasi respon
R_m	Faktor reduksi gempa maksimum yang dapat dikerahkan oleh suatu jenis system atau subsistem struktur gedung
\bar{S}_u	Kuat geser niralir rata-rata berbobot dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya, kPa
S_I	Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen
S_a	Faktor respon gempa
S_B	Batuan dasar
S_{DI}	Parameter percepatan respons spektral spesifik situs pada periode 1 detik, redaman 5 persen
S_{DS}	Parameter percepatan respons spektral spesifik situs pada periode pendek, redaman 5 persen
S_{MI}	Parameter percepatan respon spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{MS}	Parameter percepatan respon spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{PGA}	Nilai PGA di batuan dasar (S_B) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2012
S_S	Parameter percepatan respon spectral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen
s	spasi tulangan transversal diukur sepanjang sumbu longitudinal komponen struktur, mm

s_o	Spasi maksimum tulangan sengkang yang dipasang sepanjang l_o dari muka hubungan balok-kolom, mm
s_x	Spasi longitudinal tulangan transversal dalam rentang l_o , mm
T	Waktu getar alami struktur gedung dinyatakan dalam detik yang menentukan besarnya faktor respons gempa struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam spektrum respons gempa rencana, detik
T_0	$0,2 S_{D1}/S_{DS}$, detik
T_1	Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan maupun tidak beraturan, detik
T_{IR}	Waktu getar alami yang diperoleh dari rumus <i>rayleigh</i> , detik
$T_{maksimum}$	Nilai maksimum perioda bangunan, detik
$T_{minimum}$	Nilai minimum perioda bangunan, detik
T_s	S_{D1}/S_{DS} , detik
t_w	Tebal dinding geser, mm
V	Beban (gaya) geser dasar nominal statik ekuivalen akibat pengaruh Gempa Rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur beraturan tersebut, kg
V_1	Gaya geser dasar nominal yang berkerja di tingkat dasar struktur gedung tidak beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar fundamental struktur gedung, kg
V_e	Pembebanan gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung elastic penuh dalam kondisi di ambang keruntuhan, kg
V_n	Pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan nominal untuk srstruktur gedung dengan tingkat daktilitas umum; pengaruh Gempa Rencana pada saat di dalam struktur terjadi pelelehan pertama yang sudah direduksi dengan faktor kuat lebih beban dan bahan f_1 , kg
V_t	Gaya geser dasar nominal akibat pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan nominal yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung dan yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons atau dari hasil analisis respons dinamik riwayat waktu, kg

V_u	Gaya geser rencana, kg
\bar{v}_s	Kecepatan rambat rata-rata berbobot gelombang geser dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya, m/det
W_i	Berat lantai tingkat ke-i struktur atas suatu gedung, termasuk beban hidup yang sesuai (berat perlantai gedung), kg
W_t	Berat total bangunan termasuk beban hidup yang sesuai, kg
X_{max}	Simpangan maksimum struktur (diambang keruntuhan), mm
X_y	Simpangan struktur pada saat terjadi sendi plastis yang pertama (leleh pertama), mm
μ	Faktor daktilitas struktur gedung, rasio anatara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama; konstanta yang tergantung pada peraturan perencanaan bangunan yang digunakan, misalnya IBC-2009 dan ASCE 7-10 dengan gempa 2500 tahun menggunakan nilai μ sebesar 2/3 tahun
μ_m	Nilai faktor daktilitas maksimum yang dapat dikerahkan oleh suatu system atau subsistem struktur gedung
Δ_i	Simpangan antartingkat yang telah dibagi faktor skala, cm
δ_u	Perpindahan rencana, mm
ζ	Koefisien pengali dari simpangan struktur gedung yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung, bergantung pada Wilayah Gempa; faktor pengali
ρ	Faktor redudansi struktur
ρ_{maks}	Rasio tulangan lentur maksimum
ρ_n	Rasio penulangan arah horizontal
ρ_s	rasio luas tulangan spiral terhadap volume inti beton yang terkekang oleh tulangan spiral (diukur dari sisi luar ke sisi luar tulangan spiral)
ρ_v	Rasio penulangan arah vertikal
Ω_0	Faktor kuat lebih

DAFTAR SINGKATAN

PGA	Peak Ground Acceleration
SNI	Standar Nasional Indonesia
PPIUG	Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung
SRPMK	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
CQC	<i>Complete Quadratic Combination</i>
SRSS	<i>Square Root of the Sum of Squares</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan ilmu struktural dan arsitektural di zaman yang berkembang ini menjadikan berbagai model bangunan dapat dijumpai dengan berbagai struktur dan bentuk bangunan, mulai dari bangunan yang sederhana hingga bangunan dengan geometrik yang rumit. Dari berbagai macam geometrik bangunan tersebut dibagi kategori bangunan menjadi 2 kategori, yaitu: bangunan beraturan dan bangunan tidak beraturan.

Bangunan beraturan pada umumnya mempunyai massa tunggal dengan denah sederhana dan simetris, baik simetri 2 arah maupun 1 arah dengan sistem struktur yang terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah tersebut dan arah utama pembebanan gempa adalah yang searah dengan sumbu-sumbu utama tersebut.

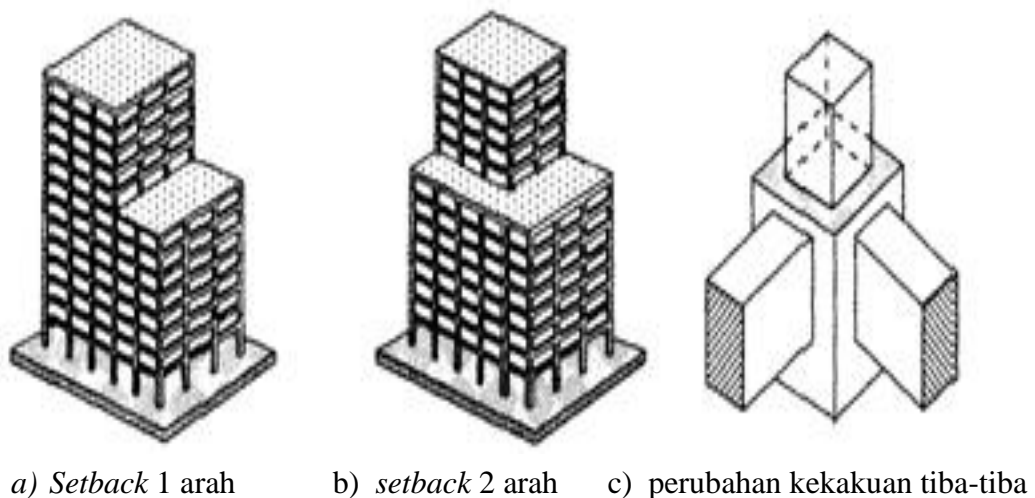
Bangunan tidak beraturan umumnya mempunyai lebih dari 1 massa dengan denah tidak sederhana dan memiliki bentuk struktur yang tidak beraturan diantaranya juga termaksud bangunan dengan *setback* atau dikenal sebagai bangunan dengan tonjolan atau loncatan di bidang muka. Walaupun denah bangunan sederhana dan simetri telah diketahui mempunyai perilaku yang baik terhadap beban gempa, akan tetapi salah satu dari macam bangunan tidak beraturan ini yang akan dipilih sebagai bentuk dari bangunan yang akan direncanakan, dikarenakan beberapa alasan seperti kesediaan lahan dan alasan arsitektural dengan tujuan untuk memberi karakteristik yang berbeda pada bangunan tersebut.

Pada penulisan tugas akhir ini akan merencanakan bangunan perkantoran 10 lantai yang memiliki *setback* 1 arah dengan perbandingan 50% yaitu itu *setback* akan berada pada lantai 6 menuju lantai 10, pada bangunan *setback* 1 arah ini memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari bangunan ini adalah memiliki massa (lantai atas) yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan lantai dibawahnya, sehingga letak titik beratnya berada dibagian bawah bangunan

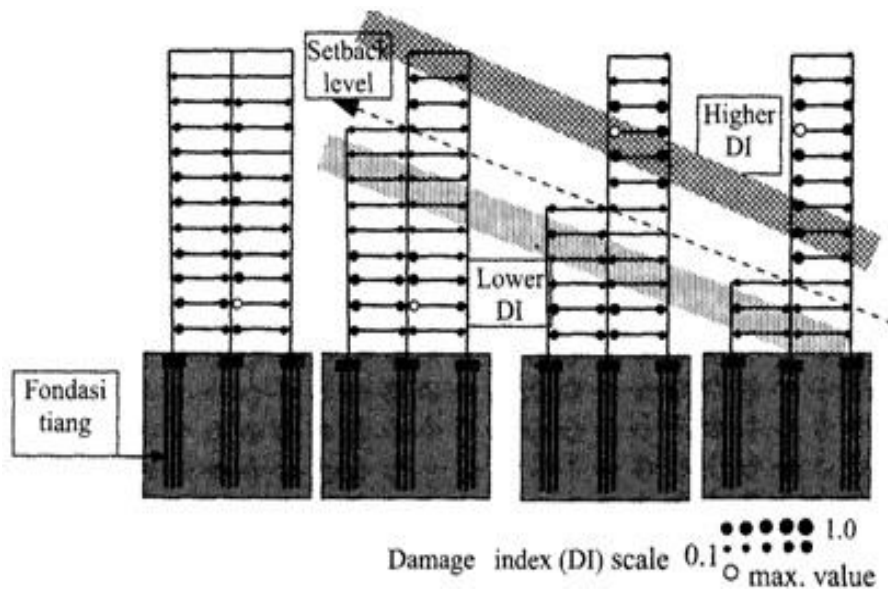
sehingga menyebabkan bangunan menjadi lebih stabil. Bangunan ini juga memiliki beberapa kekurangan yaitu perubahan kekakuan yang mendadak pada elevasi bangunan yang dapat menimbulkan konsentrasi aksi struktural dilantai tempat terjadinya perubahan ukuran denah. Besarnya indeks kerusakan akan terus bertambah selama bertambahnya respon dinamik pada bangunan tersebut yaitu semakin besar tonjolan atau loncatan dari perubahan elevasi bangunan bawah yang berbatasan terhadap *setback* dengan bangunan yang menonjol keatas.

Pada bangunan *setback* terjadi perbedaan simpangan yang cukup signifikan antara lantai-lantai yang berbatasan dengan *setback* tersebut. Perbedaan masa dan kekakuan yang signifikan itu menyebabkan terjadinya konsentrasi gaya-gaya yang ekstrim pada lantai tersebut. Besarnya simpangan lateral dan potensi kerusakan bangunan mempunyai hubungan yang sangat kuat yang akan mengakibatkan terjadinya kerusakan pada bagian *setback* tersebut (Berny Rumimper dkk, 2013:408) .

Pada Gambar 1.1 akan diperlihatkan bentuk bangunan *setback* 1 arah dan pada Gambar 1.2 bagaimana perubahan kekakuan tiba-tiba yang jika perubahannya semakin tinggi keatas akan mengakibatkan perbedaan massa dan kekakuan yang signifikan sehingga dapat berpotensi kerusakan pada bagian *setback* tersebut.



Gambar 1.1: Bangunan *setback* (Pawirodokromo, 2012).



Gambar 1.2: Indeks kerusakan pada bangunan *setback* (Pawirodokromo, 2012) .

Problem akan terjadi pada daerah peralihan kekakuan dari kekakuan yang besar pada bagian bawah ke kekakuan yang relatif kecil pada bagian atas. Seberapa besar problem yang ditimbulkan akan bergantung pada banyak hal, yang diantaranya adalah rasio luasan atas terhadap bawah, ratio tinggi bagian *setback* terhadap bagian bawah, arah *setback* , letak *setback* (simetris atau tidak) dan sebagainya (Pawirodokromo, 2012)

Dikarenakan bentuk gedung tersebut memiliki *setback* yang diklasifikasikan kepada bangunan tidak beraturan, maka akan direncanakan menggunakan struktur beton bertulang yang dirancang dengan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen khusus). Sistem Rangka Pemikul Momen adalah sistem rangka dalam, dimana komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Dengan penggunaan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen khusus) diharapkan memiliki kestabilan pada sistem strukturnya dan dapat memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah di sebutkan di atas, maka pokok masalah yang terjadi adalah sebagai berikut :

1. Pengaruh perencanaan bangunan dengan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) yang memiliki setback dengan menggunakan peraturan SNI 1726:2012
2. Dapat mengetahui perencanaan bangunan setback dengan menggunakan peraturan SNI 1726:2012 bisa menjadi bangunan yang baik untuk menahan gaya lateral dan vertikal
3. Dapat mengetahui jika pengaruh kondisi tanah dijadikan sebagai perbandingan dalam perancangan bangunan tahan gempa

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah, maka penulis akan membatasi masalah yang akan dibahas, yaitu :

1. Dalam penggunaan SNI 1726:2012 lebih dikhususkan terhadap ketentuan untuk penggunaan sistem struktur dengan menggunakan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).
2. Pada kondisi bangunan yang memiliki *setback* ini akan ditinjau terhadap deformasi yang terjadi pada perubahan kekakuan kolom sehingga diketahui berapa indeks kerusakan pada bangunan yang memiliki *setback* tersebut.
3. Analisis gaya lateral menggunakan analisis *respon spectrum*.
4. Kondisi tanah yang akan dijadikan perbandingan terbatas pada kondisi
 - a. Kelas situs SE (tanah lunak)
 - b. Kelas situs SD (tanah sedang)
 - c. Kelas situs SC (tanah keras)
5. Pendimensian plat, kolom, balok dan tulangan geser menggunakan acuan dari peraturan persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung SNI 2847:2013
6. Aspek-aspek yang ditinjau :
 - a. Berat struktur
 - b. Pusat massa dan pusat kekakuan
 - c. Simpangan
 - d. Gaya geser pada gedung
 - e. Deformasi
 - f. Waktu getar alami

7. Pada penulisan skripsi ini tidak menghitung dan merencanakan penulangan pada struktur gedung.

1.4. Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Untuk merancang struktur bangunan tahan gempa dengan menggunakan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) berdasarkan peraturan SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013
2. Untuk mengetahui pengaruh deformasi yang bekerja terhadap perubahan kekakuan kolom yang dimiliki oleh bangunan dengan *setback*.
3. Menghasilkan kesimpulan tentang bagaimana perancangan sebuah bangunan tahan gempa.

1.5. Manfaat Penulisan

1.5.1. Manfaat Teoritis

Diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah secara lebih detail tentang perencanaan struktur beton bertulang tahan gempa.

1.5.2. Manfaat Praktis

Dari hasil perencanaan struktur beton dengan SRPMK yang memiliki *setback* diharapkan dapat diketahui beban gempa yang bekerja pada struktur beton bertulang yang direncanakan dengan mampu menahan beban gempa rencana dan juga dapat mengetahui pengaruh beban yang bekerja terhadap gedung yang direncanakan.

1.6. Sistematika Penulisan

BAB 1: Pendahuluan

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, Batasan masalah dan manfaat penulisan, sistematika penulisan, metodologi penulisan.

BAB 2: Dasar teori

Terdiri dari teori gempa berdasarkan SNI Gempa 03-1726-2012.

BAB 3: Metodologi penelitian

Akan membahas bagaimana memodelkan struktur dengan ETABS (*Extended 3D analysis building system*).

BAB 4: Hasil dan pembahasan

Akan memuat hasil yang di peroleh dan akan di sajikan dalam bentuk gambar, grafik atau tabel serta pembahasannya.

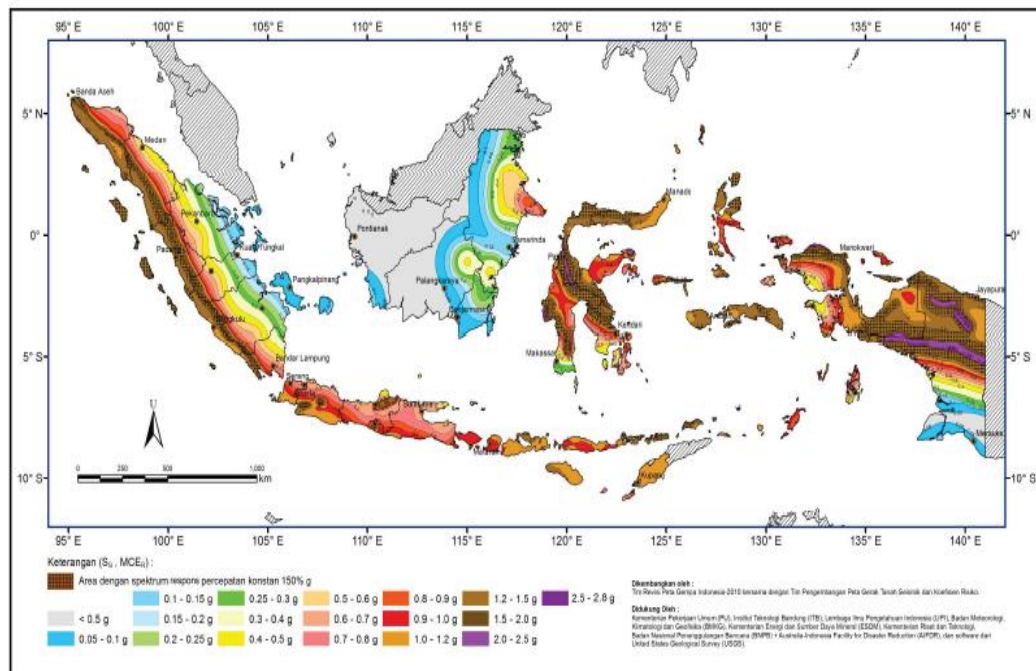
BAB 5: Kesimpulan dan saran.

Berisikan hasil dan perbandingan dari penelitian beserta saran.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. PENDAHULUAN

Ditinjau dari letak geografisnya Indonesia merupakan Negara dengan bencana alam yang cukup banyak terutama bencana gempa, hal ini disebabkan karena letak Negara Indonesia berada di zona pertemuan 3 lempeng tektonik besar yaitu Indo-Australia, Eurasia dan lempeng Pasific selain itu letak Indonesia berada di zona vulkanik yang sangat aktif yaitu wilayah-wilayah di Indonesia dilewati oleh daerah Lingkaran Api Pasifik (*Ring of Fire*). Pada perencanaan pembangunan yang akan dipaparkan dalam tugas akhir ini, pemilihan lokasi pembangunan direncanakan di kota Banda Aceh, Nanggroe Aceh Darussalam. Berdasarkan Wilayah Gempa Indonesia, kota Banda Aceh diklasifikasikan kedalam daerah yang memiliki resiko gempa kuat dengan percepatan gempa 1.5 sampai 2.0 gravitasi (1.5-2.0 g).



Gambar 2.1: Peta pembagian wilayah gempa Indonesia (SNI 1726:2012)

Pada dasarnya perencanaan bangunan tahan gempa harus memiliki standard dan peraturan perencanaan bangunan agar bangunan yang dirancang sesuai dengan standarisasi yang berlaku, hal ini sangat penting demi mencegah kegagalan struktur yang dapat mengakibatkan jatuhnya korban jiwa apabila terjadi gempa besar yang terjadi secara tiba-tiba. Dimana jika bangunan terkena gempa tidak akan mengalami kehancuran pada struktur bangunan yang dapat merobohkan bangunan tersebut. Perencanaan bangunan tahan gempa umumnya didasarkan pada analisa elastis yang diberi faktor beban untuk simulasi kondisi ultimit (batas). Kenyataannya, perilaku runtuh struktur bangunan saat gempa adalah pada saat kondisi inelastis. Dengan merencanakan suatu struktur dengan beban gempa, banyak aspek yang mempengaruhinya, diantaranya adalah periode bangunan. Periode bangunan itu sangat dipengaruhi oleh massa struktur serta kekakuan struktur tersebut. Kekakuan struktur sendiri dipengaruhi oleh kondisi struktur, bahan yang digunakan serta dimensi struktur yang digunakan. Evaluasi untuk memperkirakan kondisi inelastis struktur bangunan saat gempa perlu untuk mendapatkan jaminan bahwa kinerjanya memuaskan pada saat terjadinya gempa.

Berdasarkan UBC 1997, tujuan bangunan tahan gempa harus memiliki tiga kriteria standard sebagai berikut:

- Untuk menahan gaya gempa yang bekerja pada sistem bangunan maka diperlukan struktur bangunan yang direncanakan berdasarkan peraturan-peraturan untuk perencanaan gedung tahan gempa, yaitu dengan ketentuan. Struktur bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen strukturalnya maupun komponen non strukturalnya jika terjadi gempa bumi dengan kekuatan ringan.
- Jika terjadi gempa bumi berkekuatan sedang atau menengah kerusakan pada komponen non strukturalnya boleh terjadi akan tetapi kerusakan pada komponen strukturalnya tidak boleh terjadi.
- Sedangkan jika terjadi gempa bumi dengan kekuatan besar bangunan boleh mengalami kerusakan non struktural dan struktural akan tetapi

bangunan tidak boleh roboh, meskipun sudah mengalami kerusakan yang parah, agar penghuni bangunan dapat menyelamatkan diri sehingga korban jiwa manusia dikurangi meskipun terjadi kerusakan dan kerugian material.

2.2. Beton Bertulang

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang, satu atau lebih bahan adiktif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan karakteristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (*workability*), durabilitas dan waktu pengerasan. (Mc Cormac, 2004).

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung (Dipohusodo, 1999).

Beton bertulang merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan, beton polos yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatan tarik yang rendah dan batang-batang baja yang ditanamkan didalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan (Wang, 1993).

Beton tidak dapat menahan gaya tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal timbul didalam sistem (Dipohusodo, 1999). Menurut (Mc Cormac, 2004), ada banyak kelebihan dari beton sebagai struktur bangunan diantaranya adalah:

1. Beton memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan lain;
2. Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, bahkan merupakan bahan struktur terbaik untuk bangunan yang banyak bersentuhan dengan air. Pada peristiwa kebakaran dengan intensitas rata-rata, batang batang struktur dengan ketebalan penutup beton yang

memadai sebagai pelindung tulangan hanya mengalami kerusakan pada permukaannya saja tanpa mengalami keruntuhan;

3. Beton bertulang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi;
4. Beton biasanya merupakan satu-satunya bahan yang ekonomis untuk pondasi telapak, dinding basement, dan tiang tumpuan jembatan;
5. Salah satu ciri khas beton adalah kemampuannya untuk dicetak menjadi bentuk yang beragam, mulai dari pelat, balok, kolom yang sederhana sampai atap kubah dan cangkang besar;
6. Di bagian besar daerah, beton terbuat dari bahan-bahan lokal yang murah (pasir, kerikil, dan air) dan relatif hanya membutuhkan sedikit semen dan tulangan baja, yang mungkin saja harus didatangkan dari daerah lain.

Lebih lanjut (Mc Cormac, 2004), juga menyatakan kekurangan dari penggunaan beton sebagai suatu bahan struktur yaitu:

1. Beton memiliki kuat tarik yang sangat rendah, sehingga memerlukan penggunaan tulangan tarik;
2. Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton tetap ditempatnya sampai beton tersebut mengeras;
3. Rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat. Ini akan sangat berpengaruh pada struktur bentang panjang dimana berat beban mati beton yang besar akan sangat mempengaruhi momen lentur;
4. Rendahnya kekuatan per satuan volume mengakibatkan beton akan berukuran relatif besar, hal penting yang harus dipertimbangkan untuk bangunan bangunan tinggi dan struktur-struktur berbentang panjang;
5. Sifat-sifat beton sangat bervariasi karena bervariasinya proporsi campuran dan pengadukannya. Selain itu, penuangan dan perawatan beton tidak bisa ditangani seteliti seperti yang dilakukan pada proses produksi material lain seperti baja dan kayu lapis.

Dalam perencanaan struktur beton bertulang, beton diasumsikan tidak memiliki kekuatan tarik sehingga diperlukan material lain untuk menanggung

gaya tarik yang bekerja. Material yang digunakan umumnya berupa batang-batang baja yang disebut tulangan.

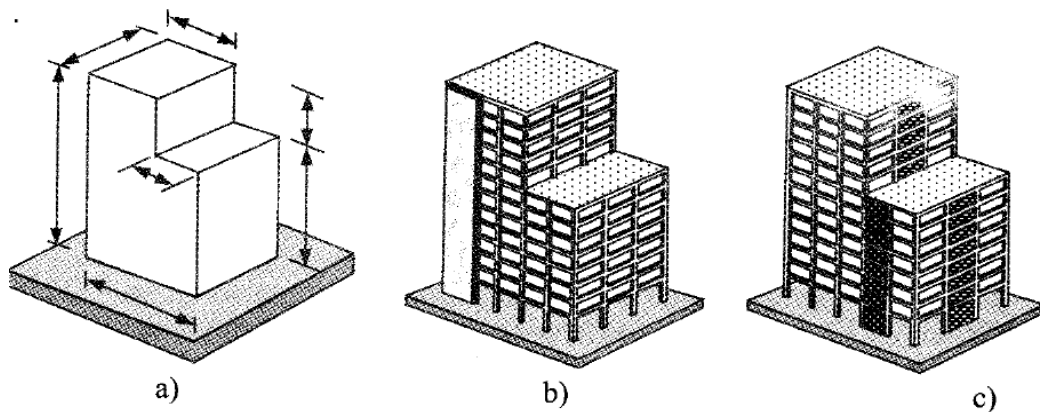
Untuk meningkatkan kekuatan lekat antara tulangan dengan beton di sekelilingnya telah dikembangkan jenis tulangan uliran pada permukaan tulangan, yang selanjutnya disebut sebagai baja tulangan deform atau ulir. Mengacu SII 0136-80, Dipohusodo menyebutkan pengelompokan baja tulangan untuk beton bertulang sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.1: Baja Tulangan Untuk Beton Bertulang (Dipohusodo, 1999).

Jenis	Kelas	Simbol	Batas Ulur Maksimum (MPa)	Kuat Tarik Minimum (MPa)
Polos	1	BJTP-24	235	382
	2	BJTP-30	294	480
Ulir	1		235	382
	2	BJTD-24	294	480
		BJTD-30		
	3	BJTD-35	343	490
	4	BJTD-40	392	559
	5	BJTD-50	490	610

2.3. Konfigurasi Bangunan

Konfigurasi bangunan pada hakekatnya adalah sesuatu yang berhubungan dengan bentuk, ukuran, macam dan penempatan struktur utama bangunan, serta macam dan penempatan bagian pengisi atau nonstruktural *element*, (Arnold dan Reitherman, 1982).



Gambar 2.2: Bangunan *set-back* vertikal.

Bangunan tidak beraturan dengan *vertical set-back* merupakan pilihan yang atraktif bagi arsitek karena memiliki nilai estetika yang lebih dibandingkan bangunan beraturan. Selain kelebihan tersebut, bangunan dengan *vertical set-back* juga memiliki permasalahan tersendiri yaitu timbulnya konsentrasi tegangan pada lantai di mana terdapat loncatan bidang muka/tonjolan (Paulay and Priestly, 1992). Hal ini terjadi akibat adanya perbedaan kekakuan dan massa pada bangunan atas dan bawah.

Ketika terjadi gempa, bangunan tanpa *vertical set-back* menghasilkan perpindahan lantai (Δ) sepanjang tingkat yang proporsional terhadap tinggi bangunan hal ini terjadi karena kekakuan dan massa dari tiap lantai yang relatif sama. Pada bangunan dengan *vertical set-back*, perpindahan lantai pada bangunan bagian atas dan bawah tidaklah sama. Terjadi konsentrasi tegangan sebagai akibat dari *drift* yang besar pada lantai perbatasan tersebut, yang pada akhirnya memicu terjadinya kerusakan yang besar di bagian *vertical set-back*.

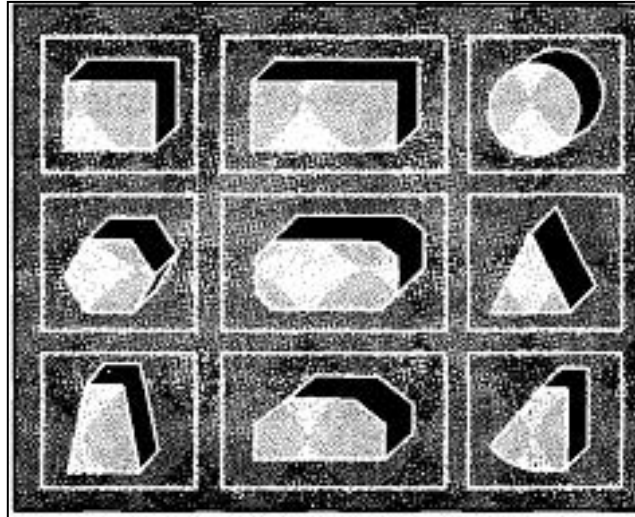
Berdasarkan SNI 03-1726-2013 pasal 4.2.1 bangunan dengan *vertical set-back* dikategorikan bangunan tidak beraturan jika ukurannya kurang dari 75% ukuran terbesar denah struktur bagian bawahnya. Karena termasuk bangunan tidak beraturan maka pengaruh gempa rencana harus ditentukan menggunakan analisis respons dinamik 3 dimensi, metode analisis ragam spektrum respons.

Secara rinci jenis konfigurasi bangunan yang berhubungan dengan bentuk/bangun, ukuran dan proporsi bangunan terdiri dari:

1. Berdasarkan bangun bangunannya, terdiri dari:
 - a. Bangunan beraturan (*regular building*)
 - b. Bangunan tidak beraturan (*irregular building*)
2. Berdasarkan ukuran bangunannya, terdiri dari:
 - a. Ukuran horizontal
 - b. Ukuran vertikal
3. Berdasarkan macam struktur utamanya, terdiri dari:
 - a. Portal/Rangka pemikul momen
 - b. Portal dengan *bracing*
 - c. Kombinasi portal dengan *structural walls*
 - d. *Structural walls*
 - e. *Tube building*
4. Berdasarkan bahan/material, terdiri dari
 - a. Bangunan beton bertulang
 - b. Bangunan baja

2.3.1. Bangunan Beraturan (*Regular Building*)

Menurut Pawirodikromo (2012), bangunan beraturan adalah bangunan yang umumnya hanya mempunyai satu massa/gatra dengan denah bangunan sederhana dan simetri baik simetri 1-arah maupun 2-arah. Simetri adalah apabila bagian-bagian gatra/blok yang berada di kiri dan kanan atau di atas dan di bawah sumbu-sumbu koordinat mempunyai bangunan, ukuran dan proporsi yang sama. Contoh bangunan beraturan dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3: Denah bangunan sederhana dan simetri (Pawirodikromo, 2012).

Menurut kajian yang telah dilakukan sejak lama oleh para ahli menunjukkan bahwa konfigurasi yang simetri dan sederhana ternyata mempunyai perilaku/ketahanan yang lebih baik terhadap beban gempa.

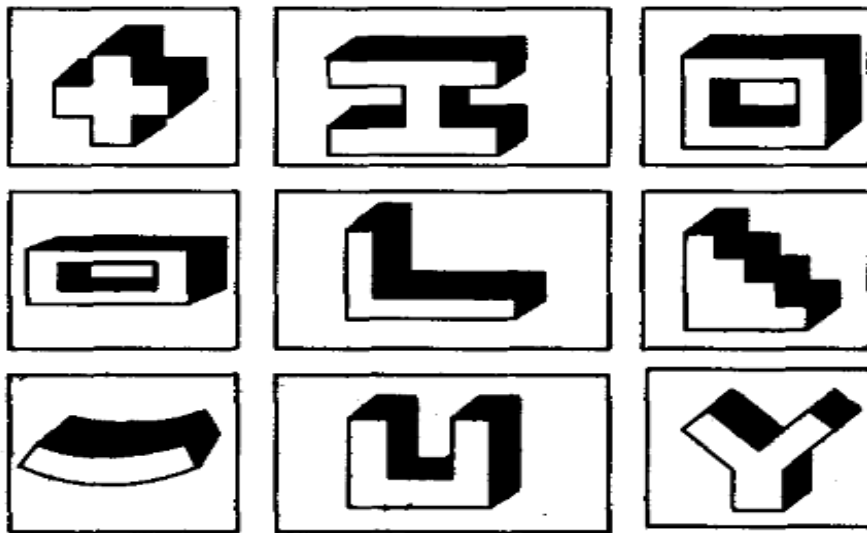
Terdapat beberapa alasan mengapa perilaku bangunan *regular*/sederhana lebih baik daripada bangunan kompleks, antara lain sebagai berikut:

1. Jenis struktur utama cenderung sama/*regular*.
2. Jarak antar struktur utama cenderung sama/*regular*.
3. Kekakuan struktur cenderung terdistribusi secara merata.
4. Massa cenderung terdistribusi secara merata.
5. Respons struktur cenderung *regular*, karena tidak ada torsi.
6. Secara keseluruhan perilaku struktur cenderung sederhana, *regular* dan mudah untuk dimengerti.

2.3.2 Bangunan Tidak Beraturan (*Irregular Building*)

Bangunan tidak beraturan adalah bangunan yang umumnya mempunyai lebih dari 1-massa/gatra/blok dengan denah tidak sederhana walaupun masih simetri baik simetri 2-arah maupun 1-arah (Pawirodikromo, 2012).

Walaupun denah bangunan sederhana dan simetri telah diketahui mempunyai perilaku yang baik akibat beban gempa, tetapi pada kenyataannya masih banyak bangunan tidak *regular* yang tetap dibangun. Hal ini terjadi karena beberapa alasan misalnya karena tempat (misalnya dipojok jalan), alasan arsitektural, ataupun karena alasan yang belum dimengerti. Bangunan-bangunan yang kompleks misalnya bangunan yang mempunyai denah huruf L, T, I, Z, H ataupun kombinasi dari diantaranya, berhubungan satu sama lain tanpa ada pemisah. Contoh bangunan tidak beraturan adalah seperti yang tampak pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4: Bangunan tidak beraturan (Pawirodikromo, 2012).

2.4. Sistem Struktur

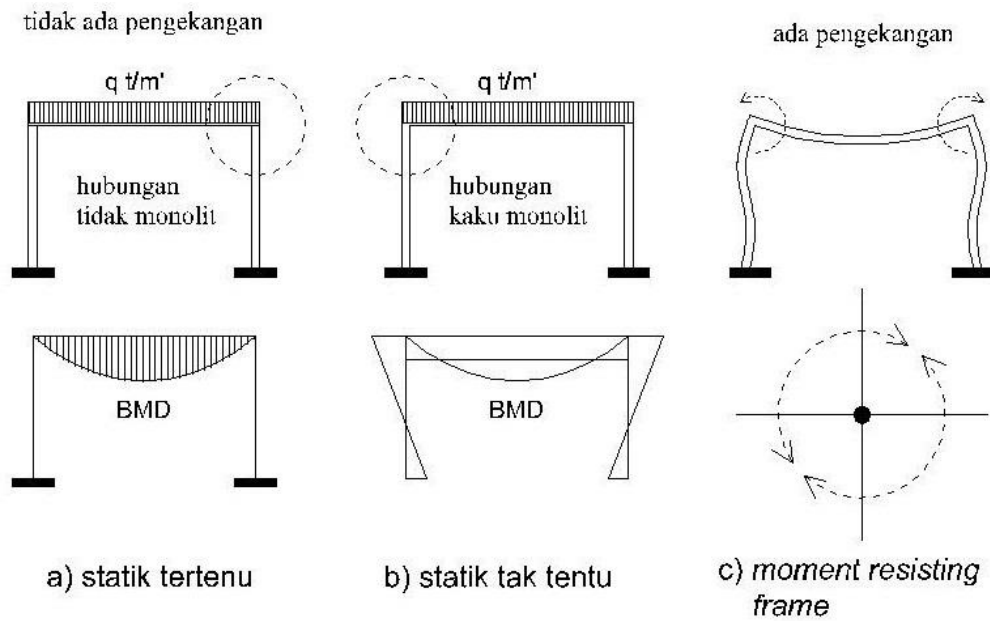
Sistem struktur utama bangunan adalah suatu portal rangka pokok dari bangunan itu sendiri. Sebagai kerangka pokok, maka struktur bangunan mempunyai fungsi utama meneruskan beban baik beban gravitasi maupun beban sementara ke sistem pendukung akhir yaitu tanah dasar. Struktur bangunan, baik beton, baja, maupun kayu sangat baik dalam menahan beban gravitasi, namun perlu di desain secara khusus kalau harus menahan beban yang arahnya horizontal. Beban horizontal yang dimaksud dapat diakibatkan oleh beban angin maupun

beban gempa. Dibeberapa tempat terutama pada daerah gempa yang aktifitasnya tinggi, beban horizontal itu justru menentukan pada proses desain. Pada kondisi seperti itu struktur utama bangunan lebih banyak dimaksudkan untuk menahan beban horizontal dari pada hanya menahan beban gravitasi. Oleh karena itu struktur utama bangunan kadang-kadang juga disebut sistem struktur penahan beban horizontal atau *lateral load resisting system*.

Untuk bangunan-bangunan yang tinggi sudah banyak menggunakan sistem tabung/tube. Sebagaimana diketahui bahwa system struktur ini ingin meniru perilaku tabung yang sangat kuat terhadap puntir dan dapat direkayasa untuk kuat terhadap bending. Cirri-cirinya adalah adanya struktur tepi yang rapat untuk mendekati pada sifat masif seperti pada tabung. Untuk meningkatkan kekakuan dan kemampuannya terhadap momen, maka struktur tabung besar terdiri atas tabung-tabung penyusun kecil (Pawirodikromo 2012).

2.4.1. Struktur Portal

Menurut (Pawirodikromo 2012), struktur portal merupakan hubungan antara balok dan kolom saling sambung menyambung sedemikian rupa, sehingga membuat bangunan *grid-grid* atau membentuk suatu portal bertingkat. Suatu hal yang sangat penting yang harus diperhatikan pada struktur portal adalah titik kumpul atau titik joint yaitu sambungan antar balok-balok dan kolom-kolom harus kaku monolit, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.5 (b). sebagaimana asumsi yang umum dipakai didalam elastik maupun inelastik analisis struktur bahwa titik joint tersebut dapat saja berotasi tetapi antara balok dan kolom tetap siku-siku. Hal ini mengandung pengertian bahwa joint harus tetap kaku, siku-siku dan tetap elastik artinya tidak boleh terjadi deformasi inelastik. Walaupun joint dapat berotasi tetapi karena joint sangat kaku maka akan dapat pengekangan atau perlawanan (*constrain*) pada joint seperti yang tampak pada Gambar 2.5 (c).



Gambar 2.5: Prilaku portal yang terkekang (Pawirodikromo, 2012).

Oleh karena itu frame yang mempunyai joint penahan moment disebut *Momen Resisting Frame* (MRF). Adanya pengekangan adalah sifat-sifat dari struktur statis tak tentu. Dengan asumsi seperti itu maka rotasi joint hanya semata-mata karena beban luar atau goyangan akibat beban gempa dan bukan akibat deformasi inelastik pada joint itu sendiri. Struktur yang memenuhi dapat memenuhi sifat-sifat itu (joint kaku) utamanya adalah struktur betuon bertulang cor di tempat (*case in place*).

2.5. Teori Gempa

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi (permukaan tanah). 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 ini disebabkan oleh adanya aktivitas pergerakan lempeng pelat tektonik, yaitu pergeseran lempeng-lempeng tektonik yang terjadi secara tiba-tiba sehingga menyebabkan gelombang-gelombang seismik yang menyebar dan merambat melalui lapisan kulit bumi atau kerak bumi yang dapat menimbulkan kerusakan dahsyat dan bencana lainnya seperti tsunami.

3. Gempa bumi runtuh

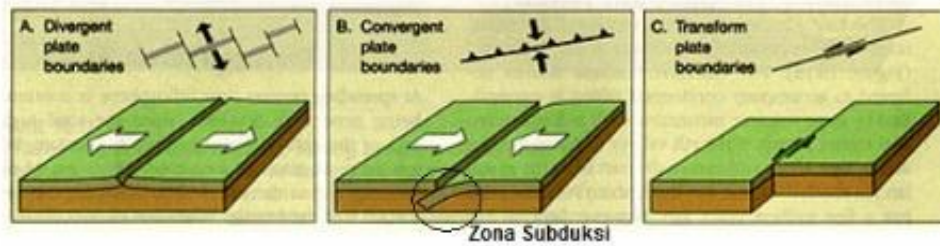
Gempa bumi yang disebabkan oleh keruntuhan baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Gempa ini biasanya terjadi pada daerah kapur ataupun pada daerah pertambangan. Gempa bumi ini jarang terjadi dan bersifat lokal.

4. Gempa Bumi Buatan

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

2.5.1. 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 2.12 (Faisal, 2013).



Gambar 2.6: Jenis-jenis pertemuan dua lempeng tektonik, a) pertemuan *divergen*; b) pertemuan *konvergen*; c) pertemuan saling bergeser horizontal (Faisal, 2013).

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.

2.6. Gempa Rencana

Menurut (Budiono dan Supriatna, 2011), akibat pengaruh gempa rencana, struktur gedung secara keseluruhan masih harus berdiri walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Berdasarkan SNI Gempa 03-1726-2012, zona peta gempa menggunakan peta gempa untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun atau memiliki periode ulang 2500 tahun

2.6.1. Arah Pembebanan Gempa

Gempa menyebabkan guncangan pada tanah. Tingkat keparahan beban gempa tergantung pada lokasi (sesuai dengan peraturan mengenai standar bangunan). Guncangan tanah dapat menambah beban pada unsur-unsur bangunan, guncangan tanah yang lebih kuat atau unsur-unsur bangunan yang lebih besar dapat menambah beban pada gedung itu sendiri.

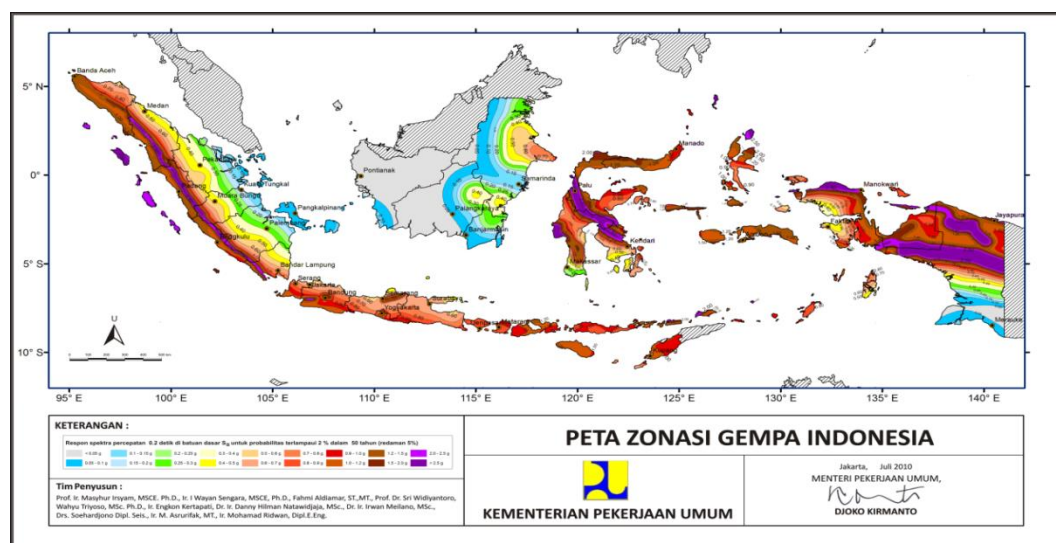
Beban gempa cenderung horizontal (walaupun tetap ada komponen vertical arah beban) dan dapat menyerang dari arah manapun. Beban gempa akan datang bersiklus. Beban gempa dapat disimulasikan seperti jika anda berdiri diatas sebuah truk yang tiba-tiba bergerak cepat, mengerem mendadak, dan bergerak lagi berulang kali. Akan sangat sulit untuk tetap berdiri.

Menurut (Budiono dan Supriatna 2011), dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga memberikan pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan.

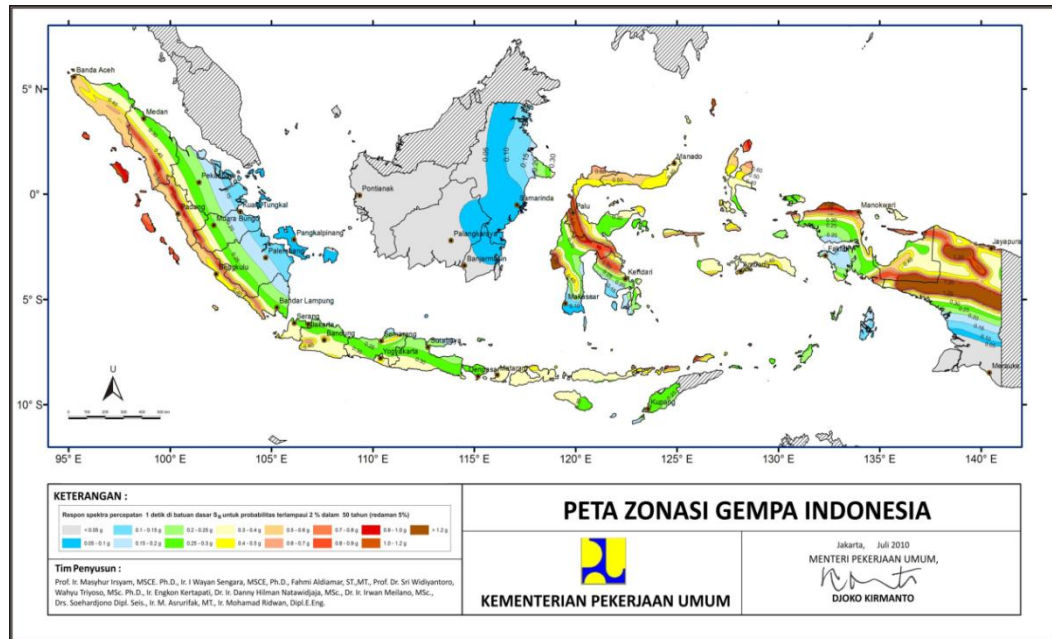
Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh penbebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas 30%.

2.6.2. Wilayah Gempa

Berdasarkan SNI Gempa 03-1726-2012 pasal 14, wilayah gempa Indonesia ditetapkan berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_I (percepatan batuan tanah dasar pada periode 1 detik).



Gambar 2.7: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar s_b untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%).



Gambar 2.8: Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar s_b untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%).

2.6.3. Konsep Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Pada konsep perencanaan struktur bangunan bertingkat tinggi harus di perhitungkan kemampuannya dalam memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, di antaranya adalah beban gravitasi, beban hidup, beban angin dan yang tidak kalah pentingnya adalah beban gempa.

Menurut (Budiono dan Supriatna 2011), filosofi dan konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa adalah :

1. Pada saat terjadi gempa ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan harus dapat tetap berjalan sehingga struktur harus kuat dan tidak ada kerusakan baik pada elemen structural dan elemen non structural bangunan.
2. Pada saat terjadi gempa moderat dan medium, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen yang bukan struktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural.
3. Pada saat terjadi gempa besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural, namun tidak boleh sampai

menyebabkan bangunan runtuh sehingga tidak ada korban jiwa atau dapat meminimalkan jumlah korban jiwa.

Berdasarkan hal tersebut, perencanaan struktur dapat di rencanakan dengan mengetahui skenario keruntuhan dari struktur tersebut dalam menahan beban maksimum yang bekerja. Bangunan tahan gempa didesain berdasarkan peraturan gempa yang berlaku, jenis tanah, bentuk bangunanya, faktor kegunaan bangunannya, dan lain-lain. Seluruh elemen struktur di rencanakan dengan tahanan yang sesuai untuk menahan perpindahan yang terjadi dengan memperhatikan respon *inelastic* struktur, faktor redundan, kuat lebih dan daktilitas struktur.

Analisis dinamik merupakan cara yang saat ini paling tepat untuk mengetahui kondisi struktur yang sebenarnya ketika terjadi gempa. Dengan analisis *respon spectrum* dapat diketahui respons struktur akibat gempa seperti simpangan, kecepatan dan percepatan.

2.7. Kriteria Design Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa

Berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 pasal 7.3.2.1 dan pasal 7.3.2.2, ketidakberaturan struktur bangunan dapat dibedakan menjadi ketidak beraturan horizontal dan vertikal.

Tabel 2.2: Ketidakberaturan horizontal pada struktur berdasarkan SNI Gempa 1726-2012.

NO	Tipe dan penjelasan ketidak beraturan	Penerapan kategori desain seismic
1a	Ketidakteraturan torsi di definisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Tabel 2.2: *Lanjutan.*

1b	Ketidakteraturan torsi berlebihan di definisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakteraturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku	E dan F D B, C, dan d C dan D C dan D D B, C, dan D
2	Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan	D, E, dan F D, E, dan F
3	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma di definisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ketinggian selanjutnya.	D, E, dan F D, E, dan F
4	Ketidakteraturan gesekan melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti geseran melintang terhadap bidang elemen vertical	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5	Ketidakteraturan sistem non paralel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertical tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Tabel 2.3: Ketidakteraturan vertikal pada struktur berdasarkan SNI Gempa 1726-2012.

N0	Tipe dan penjelasan ketidak beraturan	Penerapan kategori desain seismic
1a	Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	D, E, dan F

Tabel 2.3: *Lanjutan.*

1b	ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan di definisikan ada jika terdapa suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	E dan F D, E, dan F
2	Ketidakteraturan berat (massa) di definisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu di tinjau	D, E, dan F
3	Ketidakteraturan geometri vertikal di definisikan ada jika dimensi horizontal sistem penahan gaya seismic di semua tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem penahanan gaya seismic tingkat di dekatnya.	D, E, dan F
4	Diskontinuitas arah bidang dalam ketidak beraturan elemen gaya lateral vertikal di definisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a	Diskontruksi dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat di definisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateralnya tingkat di atasnya kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismic yang berbagi geser tingkat untuk arah yang di tinjau.	E dan F D, E, dan F
5b	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan di definisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemem penahan seismic yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

2.7.1. Faktor Keutamaan (I_e) dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI Gempa 03-1762-2012 Pasal 4.1.2, tentang faktor keutamaan dan ketegori resiko struktur bangunan dimana untuk kategori resiko dijelaskan sesuai Tabel 1 SNI 03-1726-2012, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 2.5. Berikut kategori

resiko dan faktor keutamaan dengan jenis pemanfaatan gedung yaitu gedung kantor yang disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa.

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan struktur lainnya yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan - Fasilitas sementara - Gedung penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam katagori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah took dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/Mall - Bangunan industry - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam katagori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/gangguan missal 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 	III

- Pusat telekomunikasi	
------------------------	--

Tabel 2.4: *Lanjutan.*

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan struktur lainnya yang tidak termasuk dalam katagori 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>Gedung dan struktur lainnya yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting termasuk, tetapi 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 gempa bumi, angin badai dan tempat perlindungan lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat <p>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 beroperasi pada saat keadaan darurat.</p>	III
Gedung dan struktur lainnya yang dibutuhkan untuk	IV

mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam katagori resiko IV.	
---	--

Tabel 2.5: Faktor Keutamaan (I_e), berdasarkan SNI Gempa 1726:2012

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

2.7.2. Klasifikasi Situs Tanah Untuk Desain Seismik

Berdasarkan SNI Gempa 1726:2012, dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan *amplifikasi* besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai tabel 3 SNI Gempa 1726:2012, berdasarkan profil tanah lapisan 30 meter paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 meter, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat. Penetapan kelas situs SA, dan SB tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 meter lapisan tanah antara dasar telapak, atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar.

Tabel 2.6: Klasifikasi situs didasarkan atas korelasi penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi situs	\bar{v}_s (m/dt)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (Batuan Keras)	$\bar{v}_s > 1500$	N/A	N/A
SB (Batuan)	$750 < \bar{v}_s < 1500$	N/A	N/A

SC (Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak)	$350 < \bar{v}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{s}_u \geq 100$
SD (Tanah Sedang)	$175 < \bar{v}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} < 50$	$50 \leq \bar{s}_u < 100$

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

Tabel 2.6: *Lanjutan.*

SE (Tanah Lunak)	$\bar{v}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{s}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air (w) $> 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{s}_u < 25$ kPa 		
SF (Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon spesifik (<i>Site-Specific Response Analysis</i>))	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: <ul style="list-style-type: none"> - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3m) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7.5$m dengan $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$m dengan $S_u < 50$ Kpa 		

2.7.3. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa

Respon spektra merupakan konsep pendekatan yang digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan. Definisi respons spektra adalah respons maksimum m dari suatu sistem struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik percepatan (a), kecepatan (v), perpindahan (d) dengan struktur tersebut di bebani oleh gaya luar tertentu. Absis dari respons spectra adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektra adalah respons maksimum. Kurva respons spektra akan memperlihatkan simpangan relatif maksimum (S_d). (Budiono dan Supriatna, 2011).

Untuk penentuan parameter respon spektra percepatan di permukaan tanah. Di perlukan faktor amplifikasi terkait spectra percepatan untuk perioda pendek (F_a) dan periode 1,0 detik (F_v). selanjutnya parameter respon spectra percepatan di

permukaan tanah dapat diperoleh dengan cara mengalikan koefisien F_a dan F_v dengan spektra percepatan untuk periode pendek (S_s) dan periode 1,0 detik (S_1) di batuan dasar yang di peroleh dari peta gempa Indonesia SNI Gempa 03-1726-2012.

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

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

Di mana :

S_s = Nilai spektra percepatan untuk periode pendek 0.2 detik di batuan dasar (S_B) mengacu pada Peta Gempa SNI 03-1726-2012 (Gambar 2.2)

S_1 = Nilai spektra percepatan untuk periode 1.0 detik di batuan dasar (S_B) mengacu pada Peta Gempa SNI 03-1726-2012 (Gambar 2.3).

F_a = Koefisien periode pendek 0,2 detik

F_v = Koefisien periode 1.0 detik

Tabel 2.7: Koefisien periode pendek, F_a berdasarkan SNI 1726-2012.

Kelas situs	Parameter respons spectral MCE_R terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
Batuan Keras (S_A)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (S_B)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak (S_C)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang (S_D)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak (S_E)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah Khusus (S_F)	SS ^b				

Catatan :

- Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier.
- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik.

Tabel 2.8: Koefisien periode 1.0 detik, F_v berdasarkan SNI 1726-2012.

Klasifikasi <i>Site</i> (Sesuai Tabel 2.10)	Parameter respons spectral MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_I				
Klasifikasi <i>Site</i>	$S_I \leq 0.1$	$S_I = 0.2$	$S_I = 0.3$	$S_I = 0.4$	$S_I \geq 0.5$
Batuan Keras (S_A)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (S_B)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak (S_C)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah Sedang (S_D)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah Lunak (S_E)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah Khusus (S_F)	SS^b				

Catatan :

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

Konsep SNI 1726:2012 secara filosofi mengacu kepada konsep perencanaan gempa ASCE7-10. Dalam ASCE/SEI 7-10 peta gempa didasarkan pada analisis bahaya seismik probabilistik dan deterministik. Analisis bahaya gempa probabilistik dalam ASCE/SEI 710 didasarkan pada gempa dengan risiko tertarget. Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) diambil sebagai yang terkecil dari guncangan tanah probabilistik dan deterministik. Sedangkan untuk analisis bahaya seismik deterministik, ASCE/SEI 7-10 menggunakan 84th percentile ground motion dan diambil sama dengan 1,8 nilai mediannya. Pengambilan gempa dengan risiko tertarget dalam perencanaan diharapkan menghasilkan rerata frekuensi keruntuhan tahunan yang seragam secara geografis, yaitu dengan 1% risiko keruntuhan dalam 50 tahun. Perbedaan lain antara ASCE/SEI 7-10 dan ASCE 7-05 adalah dalam ASCE 7-05 digunakan geometric mean ground motion untuk 2 arah horisontal guncangan tanah yang berbeda, sedangkan dalam ASCE/SEI 7-10 digunakan maximum-direction ground motion (Building Seismic Safety Council, 2012). Berdasarkan hal tersebut maka spectra desain yang terjadi pada kota Banda Aceh akan dibandingkan berdasarkan Klasifikasi Situs yaitu Kondisi Tanah Keras (Situs Kelas C), Kondisi Tanah Sedang (Situs Kelas D) dan Kondisi tanah Lunak (Situs Kelas E).

Dalam SNI 1726:2012 terdapat dua parameter yang penting dalam peta gempa yaitu parameter respons spektral percepatan gempa tertimbang maksimum

redaman 5% pada perioda pendek (S_s), dan parameter respons spektral percepatan gempa tertimbang maksimum redaman 5% pada perioda 1 detik (S_1). Nilai S_s dan S_1 yang dihitung didasarkan pada fungsi-fungsi atenuasi atau persamaan prediksi guncangan tanah yang dianggap sesuai. Selanjutnya, untuk mendapatkan parameter respon spektra desain, spektra percepatan desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan perioda 1.0 detik, S_{D1} dapat diperoleh melalui Pers 2.3 dan 2.4.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.3)$$

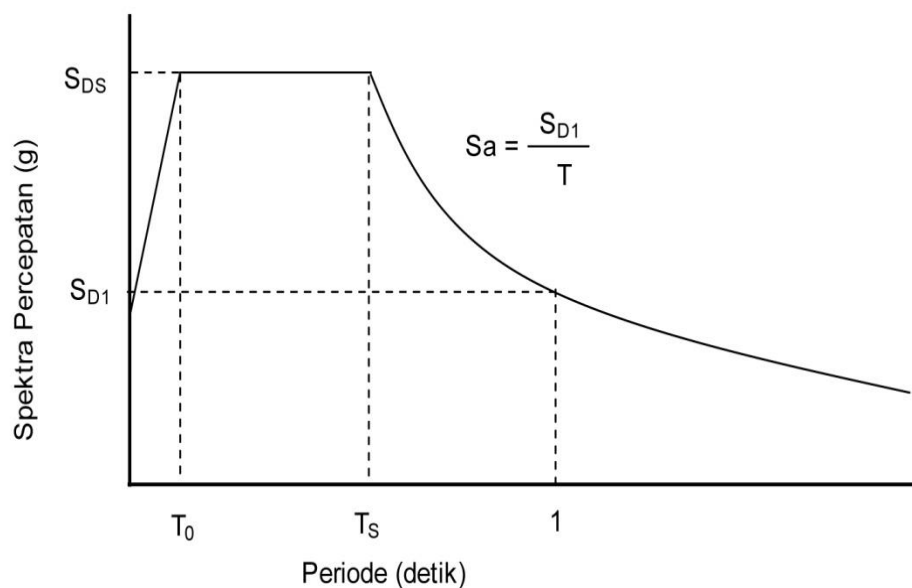
$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.4)$$

dimana :

S_{DS} = parameter respon spektra percepatan desain pada perioda pendek.

S_{D1} = parameter respon spektra percepatan desain pada perioda 1.0 detik.

Selanjutnya respon spektra desain di permukaan tanah yang dapat ditetapkan sesuai dengan Gambar 2.15:



Gambar 2.9: Bentuk tipikal respon spektra desain di permukaan tanah (SNI Gempa: 1726-2012).

dimana:

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 di bawah ini:

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

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

Keterangan :

T adalah periode getar fundamental struktur.

2.7.4. Katagori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu katagori desain seismik mengikuti pada Table 2.9 dan 2.10. Struktur dengan katagori risiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_l , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan katagori desain seismik E.

Tabel 2.9: Ketegori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek berdasarkan SNI Gempa 1726-2012.

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 2.10: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik berdasarkan SNI 1726-2012.

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

2.7.5. Faktor Reduksi Gempa (R)

Berdasarkan SNI Gempa 03-1726-2012 Pasal 7.2 Tabel 9, sistem struktur memiliki penahan gaya seismik yang ditentukan oleh parameter-parameter berikut ini:

Tabel 2.11: Faktor koefisien modifikasi respons, faktor kuat lebih sistem, faktor pembesaran defleksi, dan batasan tinggi sistem struktur berdasarkan SNI Gempa 1726-2012.

No	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 (m) ^c				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D ^d	E ^d	F ^e
1	Sistem rangka pemikul momen : ➤ Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TI	TI	TI

2.7.6. Gaya Geser Dasar Seismik

Base share atau gaya geser adalah gaya geser yang bekerja pada bagian dasar bangunan yang biasa disebabkan oleh gaya gempa, besarnya gaya gempa yang bekerja sangat mempengaruhi gaya geser dasar yang terjadi pada struktur bangunan, selain gaya gempa gaya geser dasar ini sangat dipengaruhi oleh lokasi bangunan yang dapat menentukan termasuk wilayah gempa yang mana apabila dilihat dari peta wilayah gempa (Indonesia), jenis tanah di bawah bangunan, faktor keutamaan struktur dan berat total bangunan. Jenis tanah sangat berpengaruh pada akselerasi gempa.

Berdasarkan SNI Gempa 03-1726-2012 Pasal 7.8.1, gaya geser dasar (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Pers 2.9.

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

dimana :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat total gedung

Untuk nilai C_s menurut SNI Gempa 03-1726-2012 Pasal 7.8.1.1, persamaan-persamaan yang digunakan untuk menentukan koefisien C_s adalah:

✓ Koefisien respon seismik, C_s

Untuk koefisien respon seismik C_s ditentukan berdasarkan Pers 2.10:

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

dimana :

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

R = faktor modifikasi respon berdasarkan Tabel 2.10

I = 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.

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

2.7.7. Periode Fundamental

(Budiono dan Supriatna 2011), 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 ($T_a \text{ minimum}$)

$$T_a \text{ minimum} = C_r \cdot h_n^x \quad (2.14)$$

dimana :

$T_a \text{ minimum}$ = Nilai batas bawah periode bangunan

- h_n = Ketinggian struktur dalam m diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur
- C_r = Ditentukan dari Tabel 2.11
- x = Ditentukan dari Tabel 2.11

2. Periode fundamental pendekatan maksimum (T_a maksimum)

$$T_a \text{ maksimum} = C_u \cdot T_a \text{ minimum} \quad (2.15)$$

dimana :

- $T_a \text{ maksimum}$ = Nilai batas atas periode bangunan
- C_u = Ditentukan dari Tabel 2.12

Tabel 2.12: Nilai parameter periode pendekatan C_r , dan x berdasarkan SNI Gempa 1726 :2012.

Tipe Struktur	C_r	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 beton pemikul momen	0,0466	0,9
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Tabel 2.13: Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2012.

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

2.7.8. 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*).

2.7.9. Faktor Redudansi

Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, ρ harus diambil sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, 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 dari 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.

2.8. Design Kriteria Struktur Utama

Menurut (Pawirodikromo, 2012), struktur utama bangunan adalah seperti portal/rangka yang dapat berdiri secara tegak dan mampu menahan semua jenis beban yang mungkin terjadi. Mengingat bangunan gedung dapat bervariasi menurut banyaknya tingkat, jenis-jenis beban yang bekerja, jenis bahan yang dipakai dan tempat dimana bangunan akan dibangun (daerah-daerah gempa) maka terdapat beberapa hal yang akan mempengaruhi pemakaian jenis struktur utama bangunan diantaranya :

1. Banyaknya tingkat
2. Jenis bahan yang dipakai
3. Jenis-jenis beban yang bekerja
4. Tempat dimana bangunan akan dibangun (jenis tanah dan daerah gempa)

2.8.1. Kekuatan (*Strength*)

Sudah sangat jelas bangunan harus mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan semua jenis kombinasi beban (beban mati, beban hidup, beban gempa, beban angin) di dalam masa layan bangunan. Untuk struktur yang relatif kaku, kriteria kekuatan ditandai oleh tegangan bahan yang terjadi, sementara lendutan/simpangannya relatif kecil (karena struktur kaku). Tegangan bahan yang terjadi menjadi penentu (*stress govern*) terhadap performa bangunan.

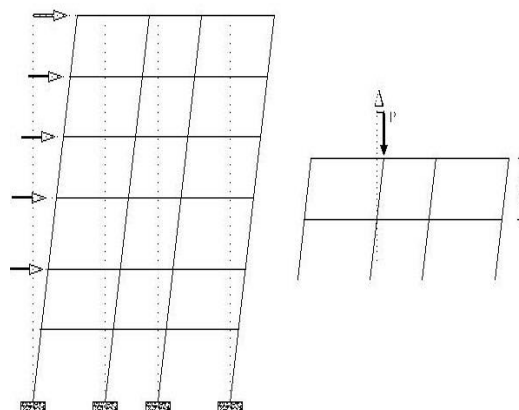
Pada level baban layan (*service loads*), tegangan yang terjadi harus masih dalam batas elastik dengan angka keamanan tertentu. Angka keamanan yang dimaksud salah satunya dapat diakomodasi melalui pemakaian faktor beban. Dengan faktor beban (nilainya > 1) maka bahan akan mencapai tegangan leleh hanya apabila intensitas beban gravitasi, beban hidup dan beban sementara masing-masing naik sebesar faktor bebannya. Nilai-nilai tegangan elastik berikut faktor beban sudah diatur di dalam peraturan. Kesetabilan struktur akan mulai terganggu pada saat tegangan memasuki paska *inelastic* (Pawirodikromo 2012).

2.8.2. 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.

Menurut (Pawirodikromo, 2012), kriteria desain tidak cukup hanya kekuatan bangunan, tetapi ada kemungkinan kriteria lain harus dipenuhi. Sebagaimana disampaikan sebelumnya, pada struktur yang relative kaku maka yang menjadi kriteria penentu sudah akan berbalik menjadi *displacement govern*, yaitu nilai lendutan/simpangan yang terjadi. Pada kondisi seperti itu tegangan bahan mungkin masih dalam katagori elastik, tetapi lendutan sudah cukup besar sehingga sudah tidak nyaman untuk ditempati.



Gambar 2.10: Simpangan antar tingkat (Pawirodikromo, 2012).

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 persamaan 2.16.

$$Drift\ ratio = \frac{\Delta}{h} \quad (2.16)$$

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. System pengaku dapat dipakai untuk mengurangi/mengendalikan lendutan/simpangan (Pawirodikromo, 2012).

2.8.3. 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 diatasnya.

Bagi struktur yang dirancang untuk katagori desain seismik C,D,E, atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a atau 1b pada table 2.1, simpangan antar lantai desain (Δ) harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik diatas dan dibawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris vertikal disepanjang salah satu bagian struktur.

Simpangan antar lantai, nilainya harus diperbesar dengan menggunakan persamaan 2.17.

$$\frac{\Delta_i \cdot C_d}{I_e} \quad (2.17)$$

Dimana :

Δ_i = Simpangan antar tingkat

C_d = Faktor pembesaran defleksi

I_e = Faktor keutamaan gedung

Dari nilai simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin (Δ_a), sesuai dengan peraturan SNI Gempa 03-1726-2012, bahwa struktur gedung harus berada dalam simpangan yang diizinkan.

Tabel 2.14: Simpangan antar lantai izin berdasarkan SNI 1726-2012.

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

2.9. Kombinasi dan Pengaruh Beban Gempa

Untuk memenuhi standard keamanan dalam perencanaan pembebanan maka pada perencanaan pembebanan menggunakan acuan berdasarkan peraturan-peraturan sebagai berikut:

- 1) Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726:2012) yang mengacu pada ASCE/SEI 7-10 dan IBC 2009;
- 2) Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847:2013);
- 3) Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983);
- 4) Pedoman Perencanaan Untuk Rumah dan Gedung (PPPURG 1987).

2.9.1. Analisa Pembebanan

Berdasarkan peraturan-peraturan diatas, untuk struktur sebuah gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap beban yang bekerja pada struktur, beban yang bekerja pada struktur dapat digolongkan menjadi dua bagian yaitu

- 1) Beban Vertikal
 - Beban Mati (*Dead Load*), dinyatakan dengan lambang *DL*.
 - Beban Hidup (*Live Load*), dinyatakan dengan lambang *LL*.
- 2) Beban Horizontal
 - Beban Gempa (*Earthquake Load*), dinyatakan dengan lambang *E*.
 - Beban Angin (*Wind Load*), dinyatakan dengan lambang *W*.

2.9.2. Deskripsi Pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan ini adalah sebagai berikut:

2.9.2.1. Beban Vertikal

1) Beban Mati (*DL*)

Beban mati yang diperhitungkan dalam struktur gedung bertingkat ini merupakan berat sendiri elemen struktur bangunan yang memiliki fungsi

struktural menahan beban. Beban dari berat sendiri elem-elemn tersebut diantaranya sebagai berikut:

- Beton $= 2400 \text{ kg/m}^3 = 24 \text{ KN/m}^2$
- Tegel (24 kg/m^2) + Spesi (21 kg/m^2) $= 45 \text{ kg/m}^3 = 0,45 \text{ KN/m}^2$
- Beban M/E $= 25 \text{ kg/m}^3 = 0,25 \text{ KN/m}^2$
- Plafond + Penggantung $= 18 \text{ kg/m}^3 = 0,18 \text{ KN/m}^2$
- Dinding $\frac{1}{2}$ bata $= 250 \text{ kg/m}^2 = 2,5 \text{ KN/m}^2$
- Air hujan $= 20 \text{ kg/m}^2 = 0,2 \text{ KN/m}^2$

2) Beban Hidup (*LL*)

Beban hidup yang diperhitungkan adalah selama masa layan. Beban hidup selama masa konstruksi tidak diperhitungkan karena diperkirakan beban hidup masa layan lebih besar dari pada beban hidup pada masa konstruksi. Beban hidup yang direncanakan adalah sebagai berikut:

a) Beban Hidup Pada Lantai Gedung

Beban hidup yang digunakan mengacu pada standard pedoman pembebanan yang ada, yaitu sebesar 250 kg/m^2 .

b) Beban Hidup Pada Atap Gedung

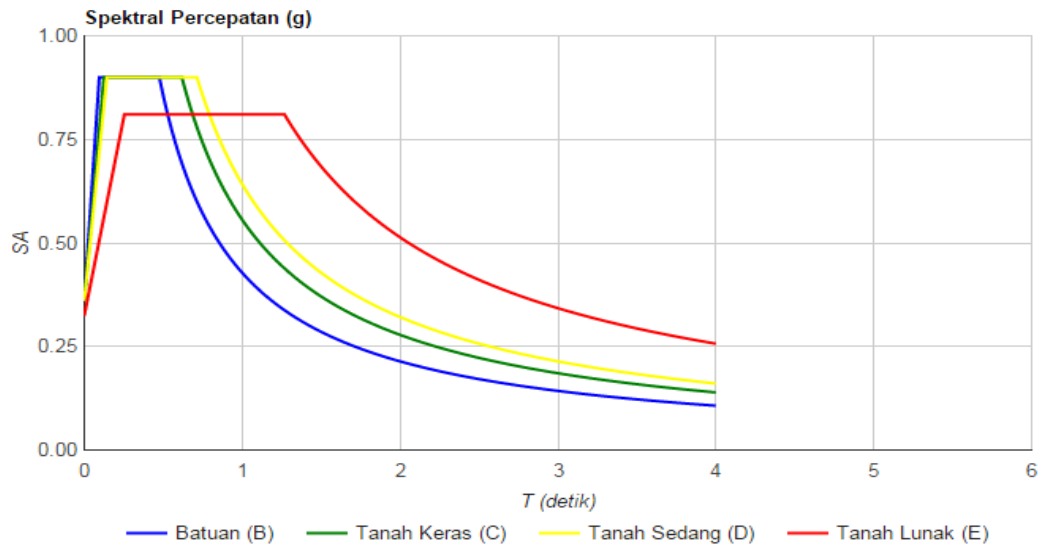
Beban hidup pada atap yang dapat dicapai manusia atau di bebani orang yaitu 100 kg/m^2 dan beban air hujan 20 kg/m^2

2.9.2.2. Beban Horizontal

a) Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang timbul akibat percepatan getaran tanah pada saat gempa terjadi akibat gempa tektonik maupun gempa vulkanik. Untuk merencanakan struktur bangunan tahan gempa, perlu diketahui percepatan yang terjadi pada batuan dasar. Struktur bangunan yang akan direncanakan berada di kota Banda Aceh yang merupakan wilayah rawan gempa. Berdasarkan data dari Program Grafik Gempa PUSKIM PU (Puslitbang Perumahan dan Permukiman

Pekerjaan Umum) didapat grafik dan tabel *Respon Spektra* pada wilayah gempa di kota Banda Aceh untuk kondisi tanah lunak , sedang dan keras.



Gambar 2.11: Nilai Spektra Percepatan Di Permukaan Dari Gempa Risk-Targeted Maximum Consider Earthquake dengan probalitas keruntuhan bangunan 1% dalam 50 tahun, Lokasi: Banda Aceh (Lat: 5.5482904, Long 95.32375589999992).

Analisis yang digunakan dalam perencanaan gempa ini adalah metode analisis spektrum respons ragam yaitu metode analisis struktur bangunan dengan menggunakan spektrum gempa yang digambarkan dalam bentuk kurva hubungan antara periode struktur bangunan dengan nilai percepatan bangunan itu sendiri ketika terkena beban gempa.

Dalam analisis spektrum respon ragam, analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model.

b) **Beban Angin**

Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan angin positif (tiup) dan tekanan negative (isap) yang diperhitungkan bekerja tegak lurus pada bidang-bidang atap yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan negative ini dinyatakan dalam kg/m^2 , dicantumkan dalam bentuk table PPIUG 1983. Beban angin dalam perencanaan ini adalah:

Tekanan tiup di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai di ambil minimum $40 \text{ kg}/\text{m}^2 = 0,4 \text{ KN}/\text{m}^2$.

2.9.3. Arah Pembebanan Gempa

Dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh Gempa Rencana harus ditentukan sedemikian rupa, sehingga pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan system struktur secara keseluruhan. Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.5.1 arah penerapan beban gempa yang digunakan dalam desain harus merupakan arah yang akan menghasilkan pengaruh beban paling kritis. Untuk kategori desain seismic D sampai F semua kolom atau dua dinding yang membentuk bagian dari dua atau lebih sistem penahan gaya gempa yang berpotongan dan dikenai beban aksial akibat gaya gempa yang bekerja sepanjang baik sumbu denah utama sama atau lebih 20 persen kuat desain aksial kolom atau dinding harus didesain untuk pengaruh beban paling kritis akibat penerapan gaya gempa dalam semua arah. Arah penerapan gaya gempa diijinkan untuk memenuhi persyaratan dengan menggunakan salah satu dari prosedur berikut:

1. **Prosedur Kombinasi Ortogonal**

Pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya gempa pada struktur dianggap terpenuhi jika komponen dan pondasinya didesain untuk memikul kombinasi beban-beban yang ditetapkan berikut:

- a. 100 persen gaya untuk satu arah ditambah 30 persen gaya untuk arah tegak lurus
- b. Kombinasi yang mensyaratkan kekuatan komponen maksimum harus digunakan

Pada prosedur kombinasi ortogonal struktur harus dianalisa menggunakan prosedur berikut:

- a. analisa gaya lateral ekivalen
- b. prosedur analisis spectrum respons ragam
- c. prosedur riwayat respons linier dengan pembebanan yang diterapkan secara terpisah dalam semua dua arah ortogonal.

Pada penulisan tugas akhir ini analisa pembebanan gaya gempa yang terjadi pada struktur bangunan hanya dianalisa menggunakan prosedur analisis Respon Spectrum.

2. Penerapan Serentak Gerak Tanah Ortogonal

Struktur harus dianalisa menggunakan prosedur riwayat respons linier atau prosedur riwayat respons nonlinier dengan pasangan ortogonal riwayat percepatan gerak tanah yang diterapkan secara serentak.

Berikut pengaruh beban ortogonal pada bangunan:



Gambar 2.12: Kombinasi arah beban gempa (FEMA 451B).

2.9.4. Kombinasi Pembebanan

Dengan mengacu pada kombinasi pembebanan SNI 1726:2012 pada pasal 4.2.2 tentang kombinasi beban untuk metoda ultimit. Struktur, komponen elemen struktur dan elemen-elemen pondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut:

1. $1.4 D$
2. $1.2D + 1.6L + 0.5(L, \text{ atau } R)$
3. $1.2D + 1.6(L, \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
4. $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L, \text{ atau } R)$
5. $1.2D + 1.0E + L$
6. $0.9D + 1.0W$
7. $0.9D + 1.0E$

Untuk input pembebanan ke dalam *soft ware* ETABS 2013, kombinasi pembebanannya setelah dijabarkan adalah:

1. $1.4DL$
2. $1.2 DL + 1.6 LL$
3. $1.2DL + 1.0LL + 0,3 EX + 1 EY$
4. $1.2DL + 1.0LL - 0,3 EX - 1 EY$
5. $1.2DL + 1.0LL + 0,3 EX - 1 EY$
6. $1.2DL + 1.0LL - 0,3 EX + 1 EY$
7. $1.2DL + 1.0LL + 1 EX + 0,3 EY$
8. $1.2DL + 1.0LL - 1 EX - 0,3 EY$
9. $1.2DL + 1.0LL + 1 EX - 0,3 EY$
10. $1.2DL + 1.0LL - 1 EX + 0,3 EY$
11. $0.9DL + 0,3 EX + 1 EY$
12. $0.9DL - 0,3 EX - 1 EY$
13. $0.9DL + 0,3 EX - 1 EY$
14. $0.9DL - 0,3 EX + 1 EY$
15. $0.9DL + 1 EX + 0,3 EY$
16. $0.9DL - 1 EX - 0,3 EY$
17. $0.9DL + 1 EX - 0,3 EY$
18. $0.9DL - 1 EX + 0,3 EY$

Keterangan:

D = Beban Mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap plafond, partisi tetap, tangga dan peralatan layan tetap;

- L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lainnya;
- EX = Beban gempa arah X
- EY = Beban gempa arah Y

2.9.5. Pengaruh Beban Gempa

Pengaruh beban gempa, E , harus ditentukan sesuai dengan berikut ini:

- a) Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.4.2 untuk penggunaan dalam kombinasi beban $1.0D + (0,6 W \text{ atau } 0,75E)$ dan $1.0D + 0,75 (0,6W \text{ atau } 0,75E) + 0,75L + 0,75(L, \text{ atau } R)$ harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E = E_h + E_v \quad (2.18)$$

- b) Untuk penggunaan dalam kombinasi beban $0,6D + 0,7E$

$$E = E_h + E_v \quad (2.19)$$

Keterangan:

- E = Pengaruh beban gempa
- E_h = Pengaruh beban gempa horisontal
- E_v = Pengaruh beban gempa vertikal

2.9.5.1. Pengaruh Beban Gempa Horisontal

Pengaruh beban gempa E_h , harus ditentukan sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.20)$$

Keterangan:

- Q_E = Pengaruh gaya gempa horisontal dari V atau F_p jika disyaratkan untuk kategori desain seismic C, D dan F, pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horisontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain;
- ρ = Faktor redundansi (factor redundansi harus dikenakan pada system penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah orthogonal

untuk semua struktur sesuai dengan SNI 1726:2012 pada pasal 7.3.4.1 dimana nilai ρ adalah 1,0.

2.9.5.2. Pengaruh Beban Gempa Vertikal

Pengaruh beban gempa E_v , harus ditentukan sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_v = 0.2 S_{ds} D \quad (2.21)$$

Keterangan:

S_{ds} = Parameter percepatan spektrum respon desain pada perioda pendek yang diperoleh dari parameter-parameter percepatan desain pada SNI 1726:2012 pasal 6.10.4, dimana S_a diperoleh dari spektra spesifik situs pada perioda tertentu.

D = Pengaruh beban mati

2.10. Penggunaan Sistem SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)

2.10.1. Ruang Lingkup

Akibat lokasi pembangunan berada di kota Banda Aceh yang merupakan wilayah beresiko gempa dengan kategori desain seismik D, E dan F dan juga struktur bangunan yang memiliki *setback* 1 arah maka pemilihan sistem struktur bangunan dipilih menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus sesuai dengan peraturan KDS (Kategori Desain Seismik) SNI 1726:2012 pada pasal 1.1.9.1

SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) adalah desain struktur beton bertulang dengan pendetailan yang menghasilkan struktur yang fleksibel (memiliki daktilitas yang tinggi). Dengan pendetailan mengikuti ketentuan SRPMK, maka faktor reduksi gaya gempa R dapat diambil sebesar 8, yang artinya bahwa gaya gempa rencana hanya 1/8 dari gaya gempa untuk elastis desain (Pengambilan nilai $R > 1$ artinya mempertimbangkan post-elastic desain, yaitu

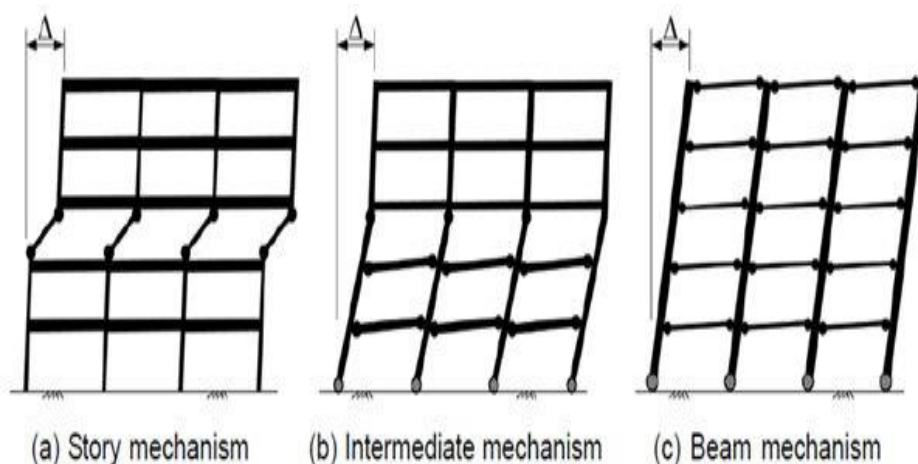
struktur mengalami kelelahan tanpa kegagalan fungsi, Seperti yang dijelaskan dalam SNI 1726-2012 dan ASCE-7 faktor reduksi gaya gempa R dapat diambil sebesar 8. Hal ini disebabkan karena struktur SRPMK memiliki sifat yang fleksibel dengan daktilitas yang tinggi, sehingga bisa direncanakan dengan gaya gempa rencana yang minimum. Namun kekuatan dan kekakuan dari struktur juga harus diperhatikan untuk mampu menahan beban rencana, baik beban gravitasi maupun angin dan gempa, dan juga struktur harus menghasikan story drift yang sesuai dengan batasan peraturan. Struktur SRPMK diharapkan memiliki tingkat daktilitas yang tinggi, yaitu mampu menerima mengalami siklus respon inelastis pada saat menerima beban gempa rencana.

2.10.2. Prinsip SRPMK

Pendetailan dalam ketentuan SRPMK adalah untuk memastikan bahwa respon inelastis dari struktur bersifat daktil. Prinsip ini terdiri dari:

1. Strong-Column/weak-beam

Pada saat struktur mengalami gaya lateral gempa, distribusi kerusakan sepanjang ketinggian bangunan bergantung pada distribusi lateral story drift (simpangan antar lantai). Jika struktur memiliki kolom yang lemah, simpangan antar lantai akan cenderung terpusat pada satu lantai (gambar a). Sebaliknya jika kolom sangat kuat, maka drift akan tersebar merata, dan keruntuhan lokal di satu lantai dapat diminimalkan (gambar c dan b).



Gambar 2.13: Desain SRPMK mencegah terjadinya mekanisme *soft story* (a) dengan membuat kolom kuat sehingga *drift* tersebar merata sepanjang lantai (c) atau sebagian besar lantai (b) (ACI 318-08).

2. Menghindari Keruntuhan Geser

Respon yang bersifat duktail diharapkan terjadi pada balok, dan pada saat yang sama tidak boleh terjadi keruntuhan geser. Keruntuhan geser, khususnya pada kolom, sangat fatal bagi struktur karena kolom pada satu lantai menumpu semua lantai di atasnya. Dalam ketentuan SRPMK, keruntuhan geser dihindari dengan pendekatan desain kapasitas. Gaya geser yang diperhitungkan bukan hanya berasal dari gaya geser akibat beban gravitasi (beban hidup, beban mati) tapi juga mempertimbangkan beban geser yang berasal dari kapasitas momen maksimum balok pada saat balok mengalami *yielding*.

3. Pendetailan perilaku duktail

- a. Pendetailan dalam SRPMK bertujuan untuk mendapatkan struktur yang bersifat duktail. Beberapa ketentuan SRPMK berdasarkan SNI 1726:2012 Tulangan sengkang dipasang dengan rapat terutama pada bagian struktur yang mengalami kelelahan seperti hubungan balok-kolom untuk mencegah keruntuhan geser;
- b. Pada analisa kekuatan geser pada balok atau kolom, kekuatan geser dari beton (V_c) diabaikan terutama pada balok yang mengalami gaya aksial kecil, sehingga hanya tulangan saja yang menahan gaya geser;
- c. Lokasi dan pendetailan splice untuk mencegah keruntuhan akibat splice.

2.10.3. Reduksi Kekakuan Elemen Struktur

Dalam analisa struktur dengan SRPMK, reduksi kekakuan akibat keretakan pada balok, kolom, joint harus diperhatikan, karena hal ini akan berpengaruh pada periode, base shear, story drift dan distribusi gaya dalam. Reduksi kekuatan

dimaksudkan untuk mempertimbangkan keretakan pada elemen struktur, karena analisa SRPMK adalah saat struktur mengalami kelelahan namun tidak terjadi keruntuhan. Dalam kondisi tersebut, luasan penampang yang efektif yang diperhitungkan.

2.10.4. Prosedur Perencanaan SRPMK

Pada perencanaan SRPMK harus mengacu kepada SNI 2847:2013

2.10.4.1. Balok Lentur dan Penulangan Longitudinal

Ukuran dan penulangan balok dihitung dengan metode konvensional sehingga momen ultimate M_u yang bekerja lebih kecil dari kapasitas nominal balok.

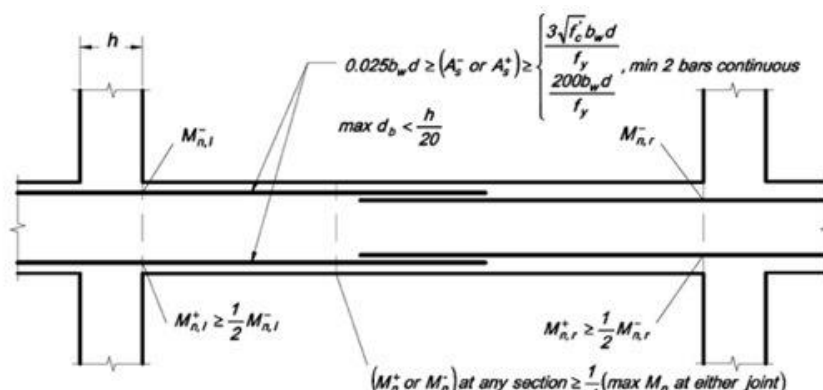
$$\phi M_n > M_u \quad (2.22)$$

Ketentuan untuk dimensi balok:

- Bentang bersih l_n tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya
- Lebar balok minimal 250 mm dan tidak kurang dari $0.3h$ (h =tinggi balok)

Dalam merencanakan tulangan longitudinal, ada beberapa kriteria yang harus dipenuhi:

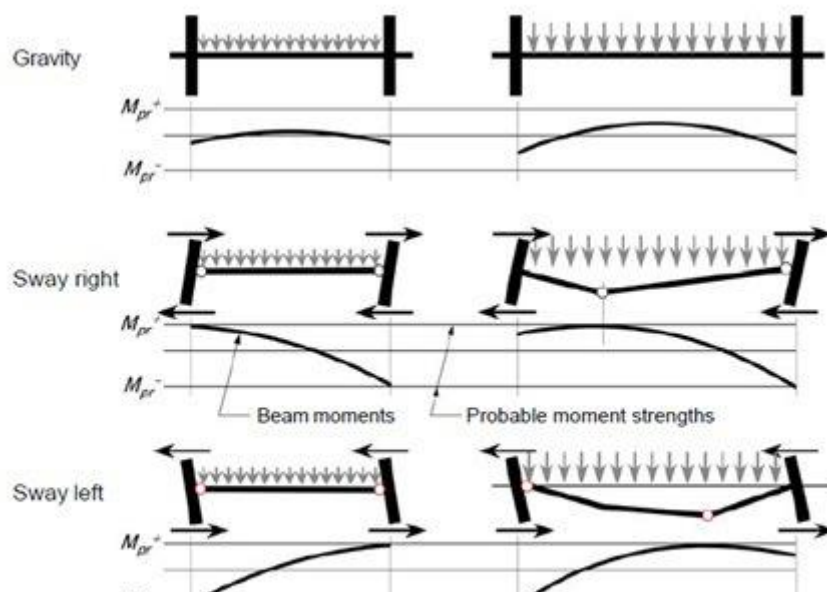
- $\rho = A_s / A_g$ maksimal 0.025 dan minimum sesuai dengan ketentuan konvensional;
- di joint, momen nominal positif $> 1/2$ momen nominal negatif;
- momen nominal sepanjang balok $> 1/4$ momen nominal maksimum di ujung balok;
- splice tidak boleh diletakkan di daerah sepanjang $2h$ dari ujung balok.



Gambar 2.14: Ketentuan tulangan longitudinal balok (Moehle dkk, 2008).

Sebagai pendekatan kapasitas, kapasitas momen plastis balok dihitung dengan menggunakan suatu nilai yang dinamakan probable moment strength M_{pr} . M_{pr} adalah kapasitas momen berdasarkan perhitungan kuat lentur konvensional dengan menggunakan nilai reduksi $\phi=1.0$ dan kuat lentur tulangan $1.25 f_y$. Probable moment capacity nantinya akan digunakan sebagai dasar untuk menentukan kuat geser balok, sambungan balok-kolom dan kekuatan kolom sebagai pendekatan kapasitas desain.

Tujuan dari SRPMK adalah untuk menjaga keelehan terjadi hanya pada bagian-bagian struktur yang memang direncanakan mengalami keelehan. Jika momen pada balok akibat gaya gravitasi relatif lebih kecil dibandingkan dengan momen akibat gaya gempa, maka keelehan balok akan terjadi di tepi balok dekat kolom (gambar a). Pada saat itu, sendi plastis mengalami siklus dari momen positif dan negatif pada saat struktur bergerak ke kanan dan kiri. Hal ini yang diharapkan terjadi pada struktur.



Gambar 2.15: Lokasi sendi plastis (Moehle dkk, 2008).

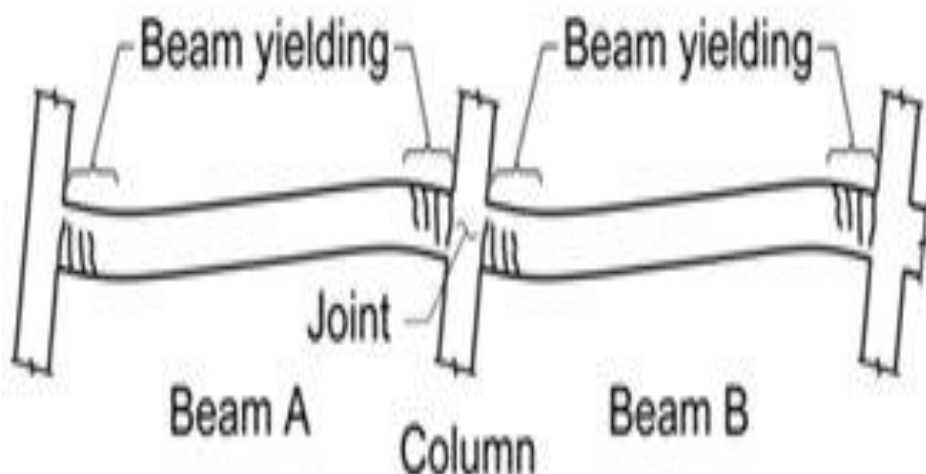
Sebaliknya, jika momen akibat gaya gravitasi relatif lebih besar daripada momen akibat gaya gempa, sendi plastis akan terjadi di lokasi agak di tengah balok. Pada saat berkebalikan, sendi plastis bergeser ke sisi lainnya, namun juga tidak sampai tepi balok. Dalam hal ini sendi plastis tidak mengalami momen yang berkebalikan (reverse) sehingga dapat mengakibatkan deformasi yang terus bertambah yang membahayakan struktur.

Perilaku seperti ini dapat dihindari jika momen akibat gaya gempa lebih besar daripada momen akibat gaya gravitasi, atau memenuhi persamaan berikut:

$$(M_{pr+}) + (M_{pr-}) > w_u l^2 / 2 \quad (2.23)$$

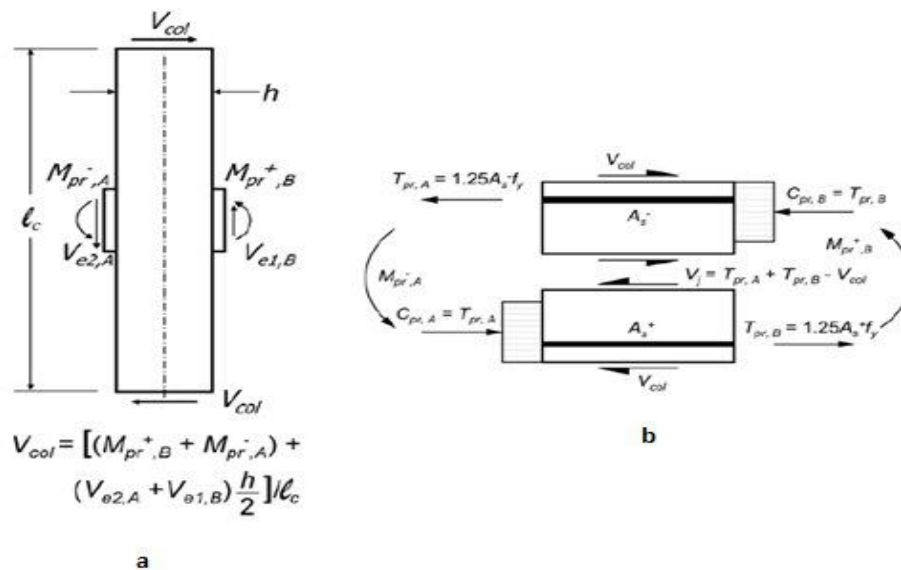
2.10.4.2. Joint Shear

Setelah desain balok selesai, maka selanjutnya adalah pemeriksaan joint shear pada sambungan balok-kolom. Pemeriksaan ini perlu dilakukan karena biasanya menentukan ukuran kolom.



Gambar 2.16: Lokasi keelehan (yielding) (Moehle dkk, 2008).

Pada saat terjadi gempa, ujung balok mengalami keelehan dengan momen M_{pr} terjadi di ujung balok atau muka kolom. Pemeriksaan joint shear dimaksudkan untuk menghitung apakah *joint* mampu menahan M_{pr} yang terjadi yang berasal dari semua balok yang bersambung di titik *joint* tersebut.



Gambar 2.17: Free body diagram pada (a) kolom dan (b) join (Moehle dkk, 2008).

Gaya geser pada joint V_j dihitung dengan mempertimbangkan M_{pr} dan V_e (V_e , gaya geser akibat M_{pr} , lihat prosedur no.3) dari balok di setiap sisi dan juga

dengan mengasumsukan adanya gaya T sebesar $1.25A_sF_y$ akibat tulangan yang menerus melalui joint. V_j ini harus lebih kecil dari kua geser nominal joint V_n yang dihitung berdasarkan rumus:

$$\phi V_n = \phi \gamma f_c' ^{0.5} A_j \quad (\text{ACI 318-08, section 21.7.4.1}) \quad (2.24)$$

$$\phi = 0.85$$

Nilai $\gamma = 1.7$ untuk joint dengan balok di 4 muka

Nilai $\gamma = 1.2$ untuk joint dengan balok di 3 muka

Nilai $\gamma = 1.0$ untuk untuk lainnya

A_j = luasan efektif join sesuai dengan ACI 318-08, section 21.7.4.1

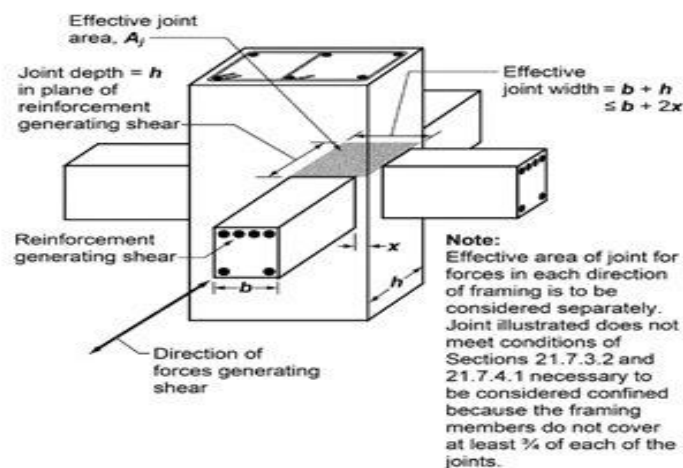
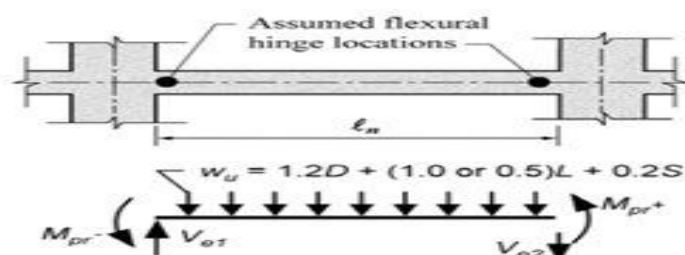


Fig. R21.7.4—Effective joint area.

Gambar 2.18: Luasan Joint Efektif A_j (ACI 318-08).

2.10.4.3. Geser Balok dan Tulangan Geser

Kuat geser balok dihitung berdasarkan pendekatan kapasitas, yaitu dengan mempertimbangkan gaya geser akibat M_{pr} dan gaya geser akibat beban gravitasi.

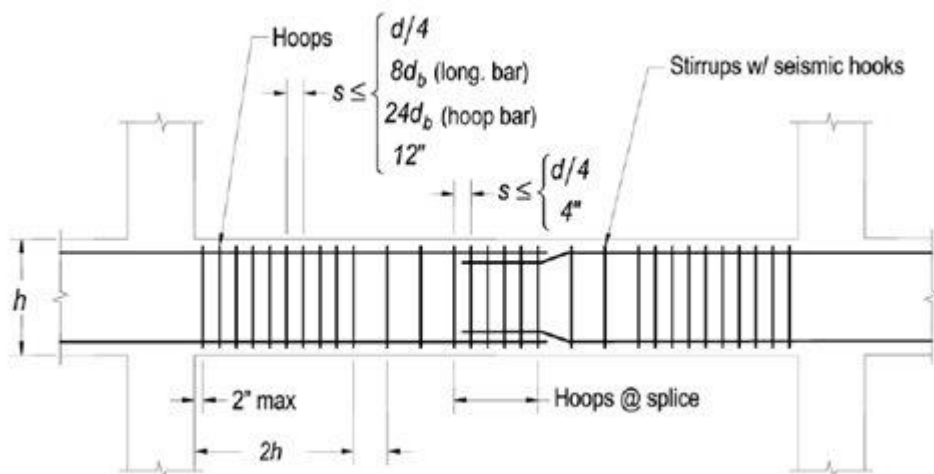


Gambar 2.19: Perhitungan kuat geser balok dengan mempertimbangkan M_{pr} (SNI 03-2847-2002).

Dalam menghitung kebutuhan tulangan geser di daerah ujung balok (end zone), kuat geser balok akibat beton V_c harus diabaikan, sehingga murni yang bekerja adalah kuat geser akibat tulangan V_s . Di luar end zone, kuat geser balok dapat dihitung secara konvensional yaitu penjumlahan antara $V_c + V_s$.

Ketentuan tulangan geser pada balok:

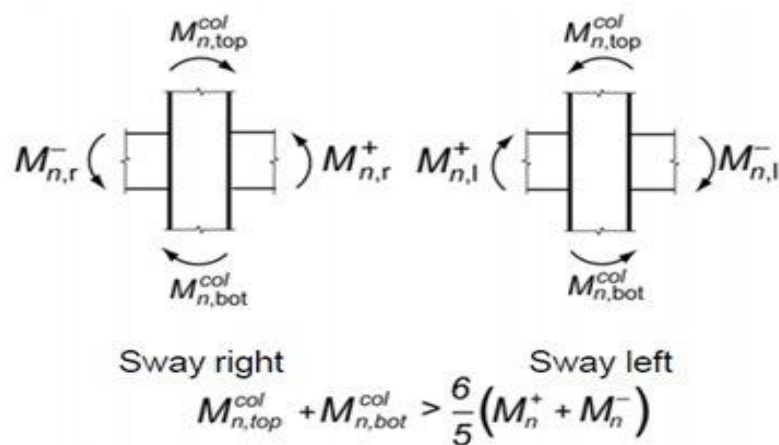
1. Sengkang harus dipasang pada jarak $2d$ dari muka muka kolom
2. Sengkang pertama maksimal berjarak 50 mm dari muka kolom
3. Spasi maksimal sengkang diambil minimum di antara:
 - $d/4$ (d =tinggi efektif balok)
 - $8d_b$ (d_b = diameter tekecil tulangan longitudinal)
 - $24d_t$ (d_t = tulangan geser)
 - 300 mm
4. Pada wilayah dimana tidak diperlukan sengkang, harus dipasang sengkang dengan maksimal spasi $d/2$



Gambar 2.20: Ketentuan tulangan geser pada balok.

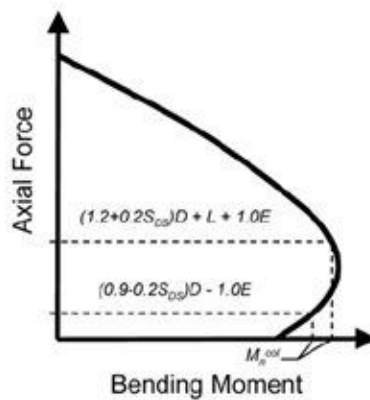
2.10.4.4. Desain Kolom

Dalam SRPMK, tulangan kolom dibatasi minimum 1% dan maksimum 6% dari luasan penampang kolom. Namun tulangan sebanyak 6% biasanya menghasilkan tulangan yang sangat padat, terutama pada bagian splice, sehingga jika memungkinkan biasanya digunakan jumlah tulangan 2% - 4%. Untuk mendapatkan perilaku strong column-weak beam, jumlah nominal M_n dari kolom minimal 1.2 kali dari jumlah M_n dari balok yang menyambung pada sambungan balok-kolom. Pemeriksaan ini harus dilakukan pada semua arah gaya gempa.



Gambar 2.21: Ketentuan kuat kolom (ACI 318-08).

Dalam menghitung kekuatan lentur kolom M_n , perlu diperhatikan gaya aksial maksimum dan minimum yang terjadi pada kolom, karena kekuatan lentur kolom dipengaruhi oleh besarnya gaya aksial yang dipikul oleh kolom.



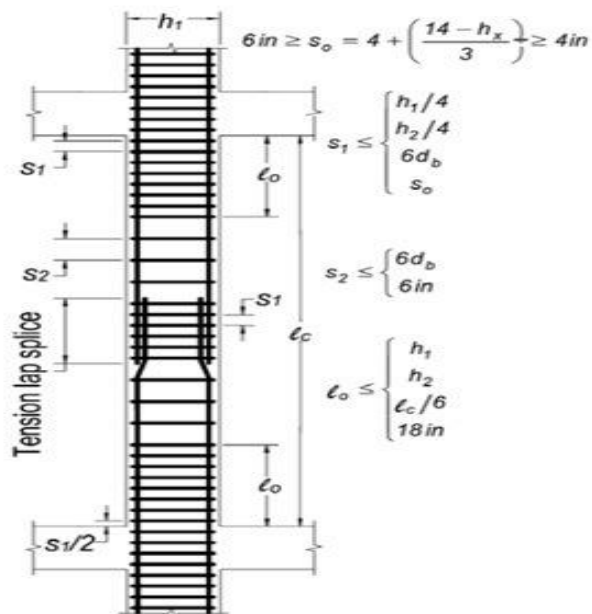
Gambar 2.22: M_{pr} pada kolom dipengaruhi gaya aksial yang dipikulnya (Moehle dkk, 2008).

Ketentuan Tulangan geser pada kolom:

1. Sengkang harus disediakan sepanjang l_o , dimana l_o diambil yang terkecil dari:
 - a. Minimal antara tinggi balok dan kolom
 - b. $1/6$ dari bentang bersih balok
 - c. 450 mm

2. Pada wilayah sepanjang l_o , spasi antara sengkang diambil tidak lebih dari:
 - a. $d/4$
 - b. 6 db (db = diameter tekecil tulangan longitudinal)

- c. $S_o = 100 + (350 - h_x) / 3$. $100 < S_o$ – Pada wilayah di luar l_o , spasi antara sengkang diambil tidak lebih dari
- d. 6 db
- e. 150 mm



Gambar 2.23: Tulangan Geser pada Kolom (Moehle dkk, 2008).

2.10.4.5. Member not Designated as Part of The Seismic Force Resisting System

Dalam beberapa kasus, pada beberapa kolom atau balok, sulit untuk memenuhi kriteria SRPMK. Untuk member tersebut, dapat dianggap kategori “member not designated as part of the seismic force resisting system” dan harus memenuhi ketentuan dalam ACI 318 21.13.

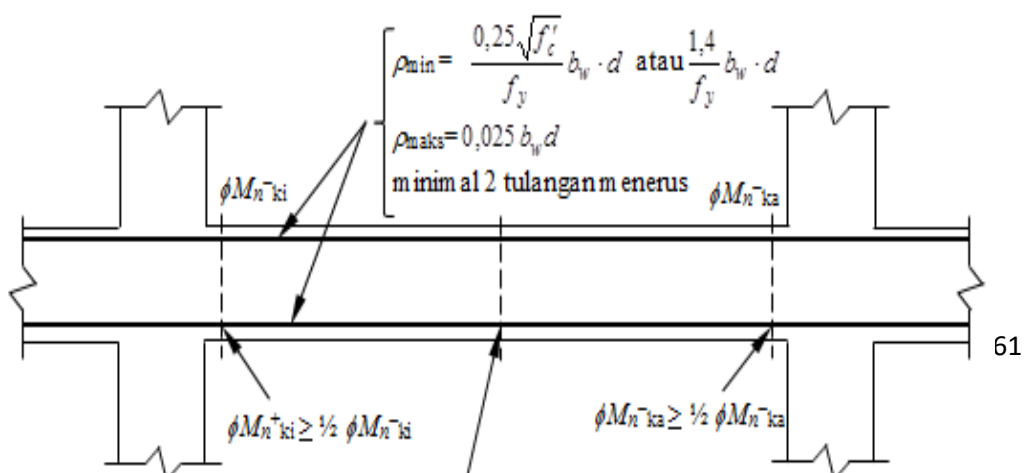
2.10.5. Persyaratan SNI 2847:2013 Terhadap Penggunaan SRPMK

Penggunaan mutu material beton yang digunakan dalam SRPMK ditentukan dalam SNI 2847:2013 pasal 21.1.4 sebagai berikut:

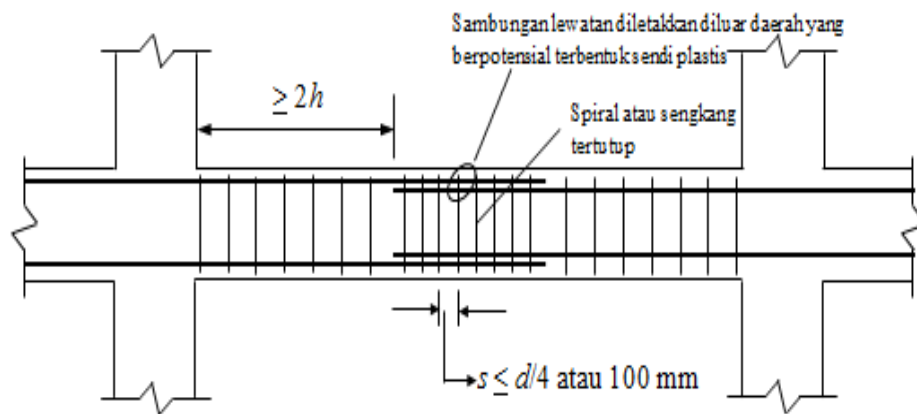
- Kuat tekan beton f_c tidak boleh kurang dari 21 Mpa
- Untuk beton ringan, maka kuat tekannya f_c tidak boleh melampaui 35 Mpa, kecuali dapat dibuktikan dengan pengujian bahwa komponen struktur yang dihasilkan dari beton ringan tersebut memiliki kekuatan dan ketegaran yang sama atau lebih dari komponen struktur setara yang dibuat dari beton normal dengan kekuatan yang sama

Dalam SNI 2847:2013 pasal 21.5.1 untuk syarat dimensi penampang menyatakan bahwa sebuah komponen lentur bagian dari SRPMK, harus memenuhi kriteria yang ditetapkan didalam SNI 2847:2013 pasal 21.5.1.1 hingga 21.5.1.4 sebagai berikut:

- Gaya tekan aksial terfaktor P_u , tidak lebih dari $A_g \cdot f_c / 10$ atau ($P_u \leq A_g \cdot f_c / 10$)
- Panjang bentang bersih l_n , harus lebih besar dari 4 kali tinggi efektif yaitu ($l_n \geq 4d$)
- Lebar penampang b_w , tidak kurang dari 0.3 kali tinggi penampang namun tidak boleh diambil kurang dari 250 mm. ($b_w \geq 0.3h$ atau 250 mm)
- Lebar penampang b_w , tidak boleh melebihi lebar kolom pendukung ditambah nilai terkecil dari lebar kolom atau $\frac{3}{4}$ kali dimensi kolom dalam arah sejajar komponen lentur.
- Dimensi kolom minimal 300 mm



Gambar 2.24: Persyaratan lentur SRPMK (SNI 2847:2013).

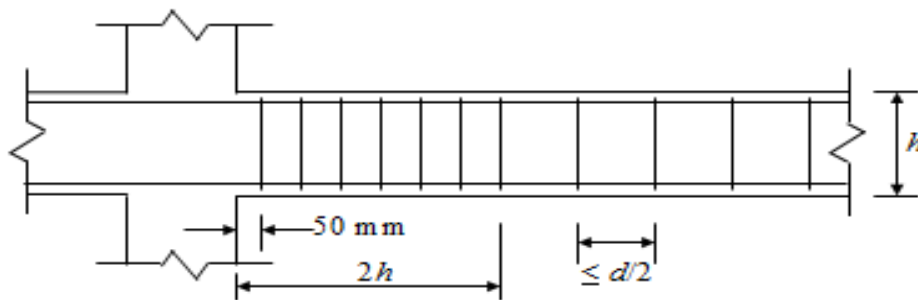


Gambar 2.25: Persyaratan sambungan lewatan SRPMK (SNI 2847:2013)

Dalam SNI 2847:2013 pasal 21.5.3 untuk persyarat tulangan transversal menyatakan bahwa:

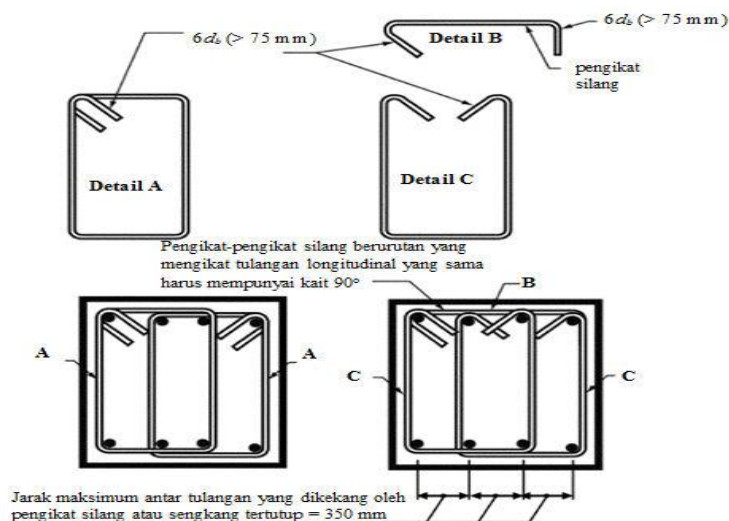
- a. Sengkang tertutup harus disediakan pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan pada ujung komponen struktur lentur.
- b. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari nilai terkecil antara:
 - d. $d/4$
 - e. $6d_b$ (6 kali diameter tulangan memanjang terkecil)
 - f. 150 mm

- c. Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang dengan kait gempapada kedua ujungnya harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ di sepanjang bentang komponen struktur lentur.



Gambar 2.26: Persyaratan tulangan transversal (SNI 2847:2013).

- d. Untuk desain sengkang, di rancang dengan sengkang penutup yang dimana dapat terdiri dari dua buah tulangan, yaitu sebuah sengkang dengan kait gempapada kedua ujung dan ditutup oleh pengikat silang. Pada pengikat silang yang berurutan mengikat tulangan memanjang yang sama, kait semiblan puluh derajatnya harus dipasang berselang-seling.

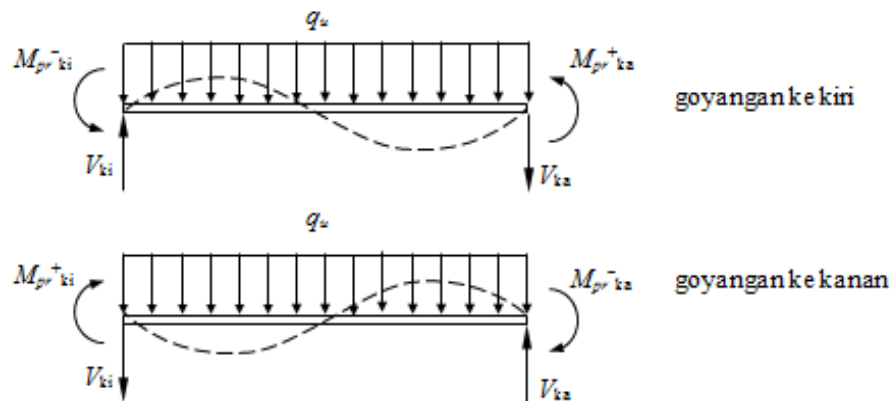


Gambar 2.27: Detail sengkang tertutup dan pengikat silang.

- e. Tulangan transversal untuk SRPMK harus didesain untuk memikul gaya geser rencana yang ditimbulkan oleh kuat lentur maksimum, M_{pr} , dengan tanda berlawanan, yang dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan.
- f. Pada saat yang bersamaan komponen struktur tersebut dianggap memikul beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya. Besarnya gaya geser rencana tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$V_{ki} = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_n} + \frac{q_{um}}{2} \quad (2.25)$$

$$V_{ki} = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} - \frac{q_{um}}{2} \quad (2.26)$$



Gambar 2.28: Gaya geser rencana pada komponen struktur lentur (SNI 2847:2013).

- g. Besarnya nilai M_{pr} , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_{pr} = A_s (1.25 f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ dengan } a = \frac{A_s (1.25 f_y)}{0.85 f_c' b} \quad (17)$$

- h. Kuat geser yang disumbang oleh beton, V_c , dapat diambil sama dengan nol apabila gaya geser akibat gempa lebih besar atau sama dengan 50% dari kuat geser perlu maksimum di sepanjang daerah tersebut, serta apabila gaya aksialtekan terfaktor, termasuk akibat gempa, lebih kecil dari $A_g f_c' / 20$.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.1 untuk Komponen pemikul lentur dan gaya aksial pada SRPMK menyatakan bahwa:

- Komponen struktur yang memikul lentur dan gaya aksial (kolom) yang diakibatkan oleh beban gempa bumi, serta beban aksial terfaktor yang bekerja melebihi $A_g f_c' / 10$;
- Ukuran penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui titik pusat geometris penampang, tidak kurang dari 300 mm;
- Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurus tidak kurang dari 0.4
- Kuat lentur dari suatu kolom harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\Sigma M_{nc} \geq \frac{6}{5} \Sigma M_{nb} \quad (2.27)$$

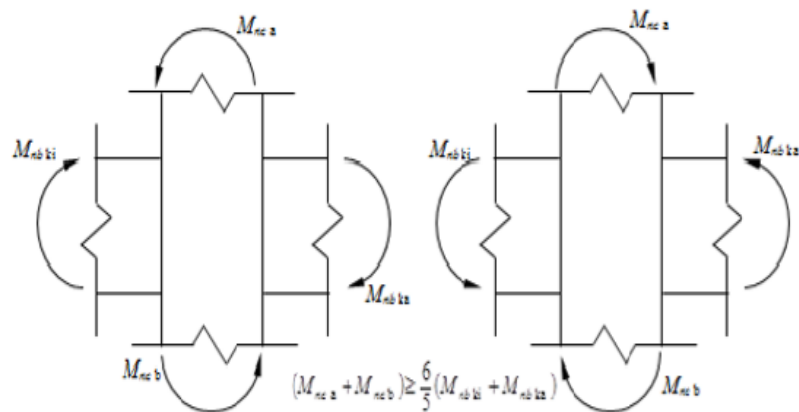
Keterangan:

ΣM_{nc} = Jumlah kuat lentur nominal kolom yang merangka pada suatu hubungan balok-kolom (HBK). Kuat lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor yang sesuai dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau dan menghasilkan nilai kuat lentur yang terkecil;

ΣM_{nb} = Jumlah kuat lentur nominal balok yang merangka pada suatu hubungan balok-kolom (HBK).

Pada perancangan kolom dan balok menggunakan konsep kolom kuat- balok lemah (*strong column – weak beam*). Dengan menggunakan konsep ini maka

diharapkan bahwa kolom tidak akan mengalami kegagalan terlebih dahulu sebelum balok.



Gambar 2.29: Konsep kolom kuat- balok lemah (*strong column-weak beam*).

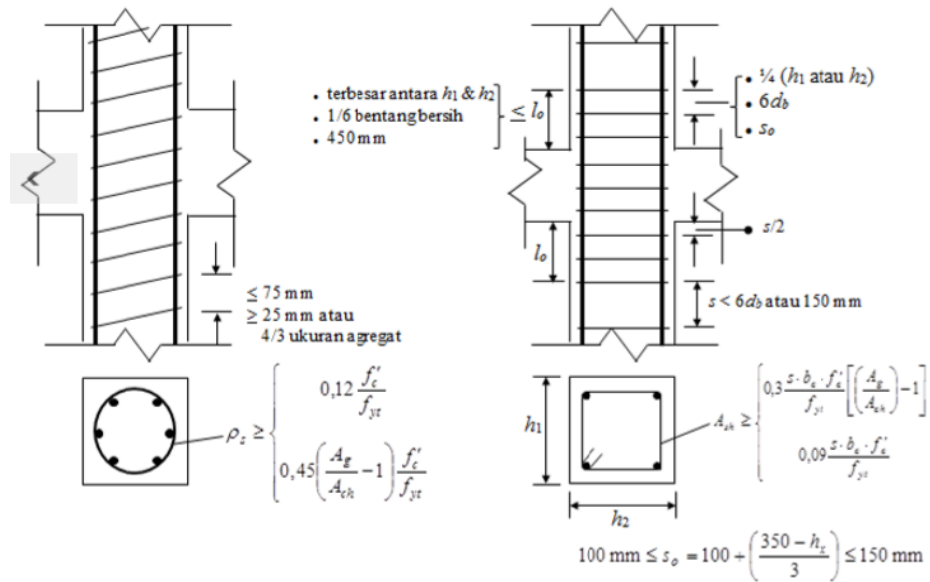
Rasio tulangan harus dipilih sehingga terpenuhi syarat:

$$0.01 \leq \rho_g \leq 0.06 \quad (2.28)$$

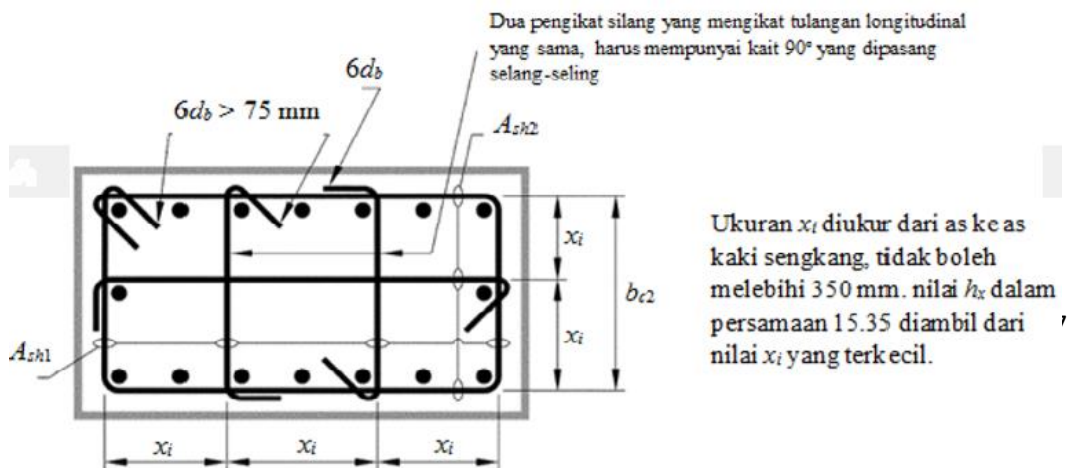
Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4 untuk persyaratan tulangan transversal pada SRPMK menyatakan bahwa:

1. Kolom harus didetailkan dengan baik untuk menghasilkan tingkat daktilitas yang cukup, terutama pada saat mulai terbentuknya sendi plastis akibat beban gempa. Pada daerah sendi plastis kolom (daerah sepanjang l_0 dari muka hubungan balok-kolom, di kedua ujungnya) harus disediakan tulangan transversal yang mencukupi. Panjang l_0 daerah sendi plastis kolom, diambil tidak kurang dari:

- Tinggi penampang komponen struktur pada muka hubungan balok – kolom atau pada segmen yang memiliki potensi terjadi leleh lentur
- 1/6 dari bentang bersih komponen struktur
- 450 mm

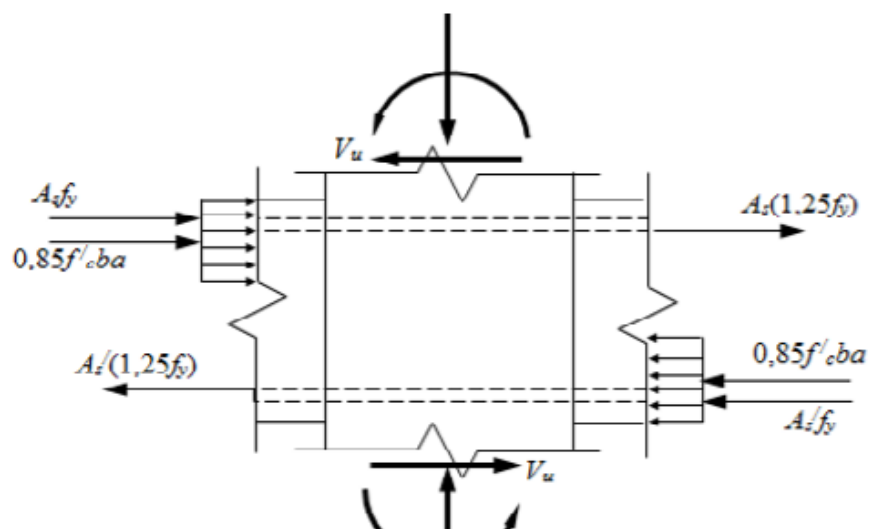


Gambar 2.30: Persyaratan tulangan transversal untuk sengkang spiral dan sengkang tertutup persegi.



Gambar 2.31: Detail penampang kolom.

2. Daerah pertemuan antar kolom dan balok atau Hubungan Balok-Kolom (HBK), merupakan daerah yang juga harus didetailkan dengan baik sesuai dengan persyaratan SNI 2847:2013 pasal 21.7.2 yaitu:
 - a. Gaya-gaya pada tulangan longitudinal balok di muka HBK harus ditentukan dengan menganggap bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah $1.25f_y$
 - b. Tulangan longitudinal balok yang berhenti pada suatu kolom harus memiliki panjang penyaluran yang cukup hingga mencapai sisi jauh dari inti kolom terkekang.
 - c. Jika tulangan longitudinal balok diteruskan hingga melewati HBK, maka dimensi kolom dalam arah parallel terhadap tulangan longitudinal balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok. Untuk beton ringan, maka dimensi tersebut tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.

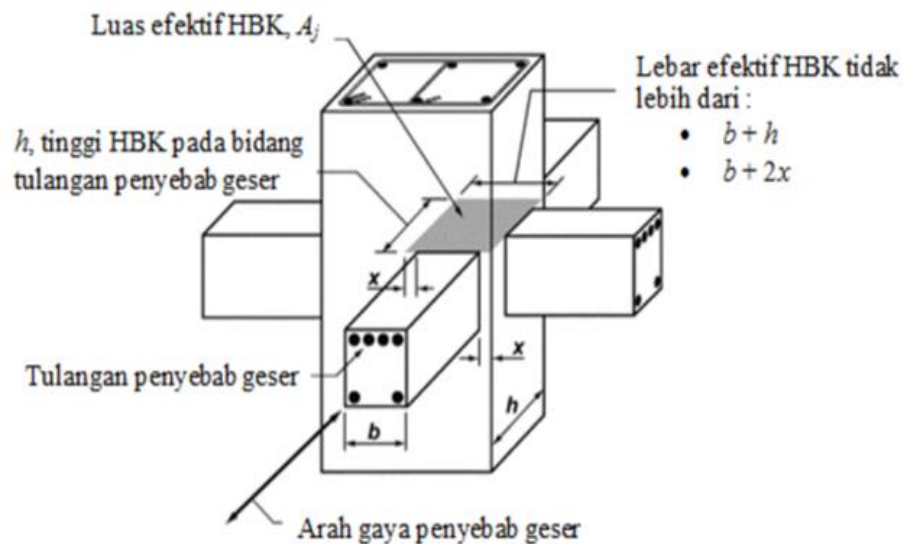


Gambar 2.32: Gaya-gaya pada suatu hubungan balok-kolom.

3. Untuk Hubungan Balok-Kolom (HBK) SRPMK pada persyaratan tulangan transversal berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.7.3 yaitu:
 - a. Tulangan transversal berbentuk sengkang tertutup (seperti pada lokasi sendi plastis kolom) harus disediakan pada daerah HBK
 - b. Pada suatu HBK yang memiliki balok dengan lebar sekurangnya $\frac{3}{4}$ lebar kolom dan merangka pada keempat sisi kolom tersebut, maka dapat dipasang tulangan transversal setidaknya sejumlah $\frac{1}{2}$ dari kebutuhan di daerah sendi plastis kolom. Tulangan transversal ini dipasang di daerah HBK pada setinggi balok rendah yang merangka ke HBK. Pada daerah ini, jarak tulangan transversal boleh diperbesar menjadi 150 mm.
 - c. Pada HBK dengan lebar balok lebih besar dari pada lebar kolom, tulangan transversal seperti pada daerah sendi plastis kolom harus disediakan untuk memberikan kekangan terhadap tulangan longitudinal balok yang terletak di luar inti kolom.

4. Untuk Hubungan Balok-Kolom (HBK) SRPMK untuk kuat geser berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.7.4 yaitu kuat geser nominal HBK untuk beton normal diambil tidak melebihi dari:
 - a. $1.7\sqrt{f'_c}A_j$, untuk HBK yang terkekang keempat sisinya;
 - b. $1.25\sqrt{f'_c}A_j$, untuk HBK yang terkekang ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan;

- c. $1.0\sqrt{f'_c}A_j$, untuk HBK yang lainnya;
- d. Dengan A_j adalah merupakan luas efektif dari HBK, ditentukan seperti dalam gambar .. . Untuk beton ringan , kuat geser nominal HBK tidak boleh diambil melebihi $\frac{3}{4}$ dari batasan untuk beton normal. Suatu balok yang merangka pada suatu HBK dianggap mampu memberikan kekangan jika setidaknya $\frac{3}{4}$ bidang muka HBK tersebut tertutupi oleh balok yang merangka ke HBK tersebut.



Gambar 2.33: Luas efektif hubungan balok kolom.

5. Untuk Hubungan Balok-Kolom (HBK) SRPMK untuk panjang penyaluran tulangan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.7.5.1 yaitu:
- Panjang penyaluran I_{dh} untuk tulangan tarik berdiameter 10 hingga 36 mm, yang memiliki kait standar 90° , diambil dari nilai terbesar antara: $8d_b$, 150 atau $f_y d_b / (5,4 \sqrt{f'_c})$
 - Untuk tulangan berdiameter 10 hingga 36 mm tanpa kait, panjang penyaluran tulangan kait, I_d , tidak boleh diambil lebih kecil dari pada: $2,5/d_h$, jika tebal pengecoran beton di bawah tulangan tersebut

kurang dari 300 mm dan : $3,25/dh$, jika tebal pengecoran beton di bawah tulangan tersebut kurang dari 300 mm.

BAB 3

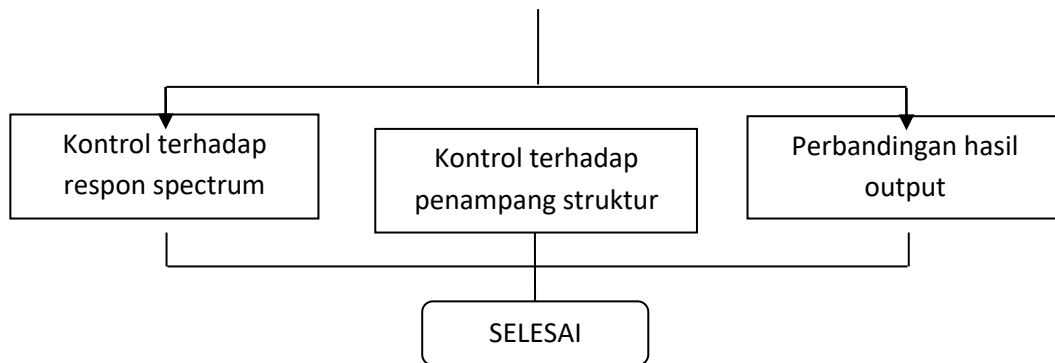
METODOLOGI

3.1. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan adalah studi pustaka. Dalam Laporan Tugas Akhir ini dibutuhkan tahapan pengerjaan yang teratur dan sistematis agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan harapan di akhir penyusunan laporan. Sumber literatur mengenai perencanaan gedung yang memiliki *setback* dengan struktur SRMPK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) didapat dari buku panduan, makalah, jurnal, maupun bacaan lain yang merupakan sumber referensi untuk mendapatkan dasar-dasar teori dan parameter yang diperlukan dalam menghitung pembebanan dan merencanakan gedung tahan gempa sehingga dapat digunakan untuk menganalisis dimensi balok dan kolom serta mengetahui besarnya simpangan akibat gempa dengan menggunakan metode yang ada terhadap struktur bangunan.

Langkah-langkah dalam perencanaan dan analisis struktur gedung dilakukan dengan beberapa tahapan. Adapun tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Mulai



Gambar 3.1: Bagan alir penyusunan tugas akhir.

3.2. Deskripsi Model Struktur

Dalam tugas akhir ini terdapat 3 pemodelan struktur gedung *Set Back*, dimana 3 model struktur menggunakan struktur beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Bangunan gedung akan difungsikan sebagai gedung perkantoran, dengan kategori resiko II berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 sesuai jenis pemanfaatan struktur gedung pada Tabel 2.3. Struktur gedung di desain 10 lantai. Perbedaan pada setiap model di desain berdasarkan kelas situs tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak.. Penulis meninjau perbandingan deformasi yang terjadi pada ketiga model bangunan gedung tersebut.

3.3. Faktor Respon (C)

Rencananya berdirinya bangunan dalam pemodelan struktur gedung *Set Back* ini di kota Banda Aceh yang dinilai sebagai daerah rawan gempa di Indonesia dengan nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) $S_s = 1,75$ g dan $S_1 = 0,8$ g pada tanah keras, $S_s = 1,75$ g dan $S_1 = 0,8$ g pada tanah sedang dan $S_s = 1,75$ g dan $S_1 = 0,8$ g pada tanah lunak.

Berdasarkan SNI Gempa 1726-2012, respon spektrum gempa rencana harus dianalisis terlebih dahulu. Pada peta gempa Hazard SNI Gempa 1726-2012 atau dapat dilihat pada Gambar 2.13 dan 2.14. Adapun tahapan yang perlu dilakukan untuk membuat spektrum respon gempa desain dapat dilakukan sebagai berikut.

1. Penentuan koefisien F_a dan F_v

a. Koefisien F_a

Koefisien F_a ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai S_s yang terdapat pada Tabel 2.13 dan berdasarkan jenis tanah sedang. Maka diperoleh nilai F_a di bawah ini.

$$F_a = 1,0 \text{ (pada tanah keras)}$$

$$F_a = 1,0 \text{ (pada tanah sedang)}$$

$$F_a = 0,9 \text{ (pada tanah lunak)}$$

b. Koefisien F_v

Koefisien F_v ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai S_I yang terdapat pada Tabel 2.14 dan berdasarkan jenis tanah sedang. Maka diperoleh nilai F_v di bawah ini.

$$F_v = 1,3 \text{ (pada tanah keras)}$$

$$F_v = 1,5 \text{ (pada tanah sedang)}$$

$$F_v = 2,4 \text{ (pada tanah lunak)}$$

2. Penentuan nilai S_{MS} dan S_{MI}

a. Kelas Situs SC (Tanah Keras)

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

$$S_{MS} = 1,0 \cdot 1,75$$

$$S_{MS} = 1,75$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I$$

$$S_{MI} = 1,3 \cdot 0,8$$

$$S_{MI} = 1,040$$

b. Kelas Situs SD (Tanah Sedang)

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

$$S_{MS} = 1,0 \cdot 1,75$$

$$S_{MS} = 1,75$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I$$

$$S_{MI} = 1,5 \cdot 0,8$$

$$S_{MI} = 1,20$$

c. Kelas Situs SE (Tanah Lunak)

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

$$S_{MS} = 0,9 \cdot 1,75$$

$$S_{MS} = 1,575$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I$$

$$S_{MI} = 2,4 \cdot 0,8$$

$$S_{MI} = 1,920$$

3. Penentuan nilai S_{DS} dan S_{DI}

a. Kelas Situs SC (Tanah Keras)

$$\text{Nilai } \mu = 2/3$$

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

$$S_{DS} = (2/3) \cdot 1,75$$

$$S_{DS} = 1,17$$

$$S_{DI} = \mu \cdot S_{MI}$$

$$S_{DI} = (2/3) \cdot 1,040$$

$$S_{DI} = 0,69$$

b. Kelas Situs SD (Tanah Sedang)

$$\text{Nilai } \mu = 2/3$$

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

$$S_{DS} = (2/3) \cdot 1,75$$

$$S_{DS} = 1,17$$

$$S_{DI} = \mu \cdot S_{MI}$$

$$S_{DI} = (2/3) \cdot 1,20$$

$$S_{DI} = 0,8$$

c. Kelas Situs SE (Tanah Lunak)

$$\text{Nilai } \mu = 2/3$$

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

$$S_{DS} = (2/3) \cdot 1,575$$

$$S_{DS} = 1,05$$

$$S_{DI} = \mu \cdot S_{MI}$$

$$S_{DI} = (2/3) \cdot 1,920$$

$$S_{DI} = 0,28$$

4. Penentuan nilai T_s dan T_0

a. Kelas Situs SC (Tanah Keras)

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

$$T_s = \frac{0,69}{1,17}$$

$$T_s = 0,59$$

$$T_0 = 0,2 \cdot T_s$$

$$T_0 = 0,2 \cdot 0,59$$

$$T_0 = 0,119$$

b. Kelas Situs SC (Tanah Sedang)

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

$$T_s = \frac{0,80}{1,17}$$

$$T_s = 0,69$$

$$T_0 = 0,2 \cdot T_s$$

$$T_0 = 0,2 \cdot 0,69$$

$$T_0 = 0,137$$

c. Kelas Situs SE (Tanah Lunak)

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

$$T_s = \frac{1,28}{1,05}$$

$$T_s = 1,22$$

$$T_0 = 0,2 \cdot T_s$$

$$T_0 = 0,2 \cdot 1,22$$

$$T_0 = 0,244$$

5. Penentuan nilai S_a

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain (S_a) harus diambil dari persamaan:

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

- b. Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respon desain S_a sama dengan S_{DS} .
- c. Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respon percepatan desain S_a diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T}$$

Spektrum respon percepatan disajikan dalam Tabel 3.1 dan grafik spektrum respon diplot ke dalam *Microsoft Excel* pada Gambar 3.2:

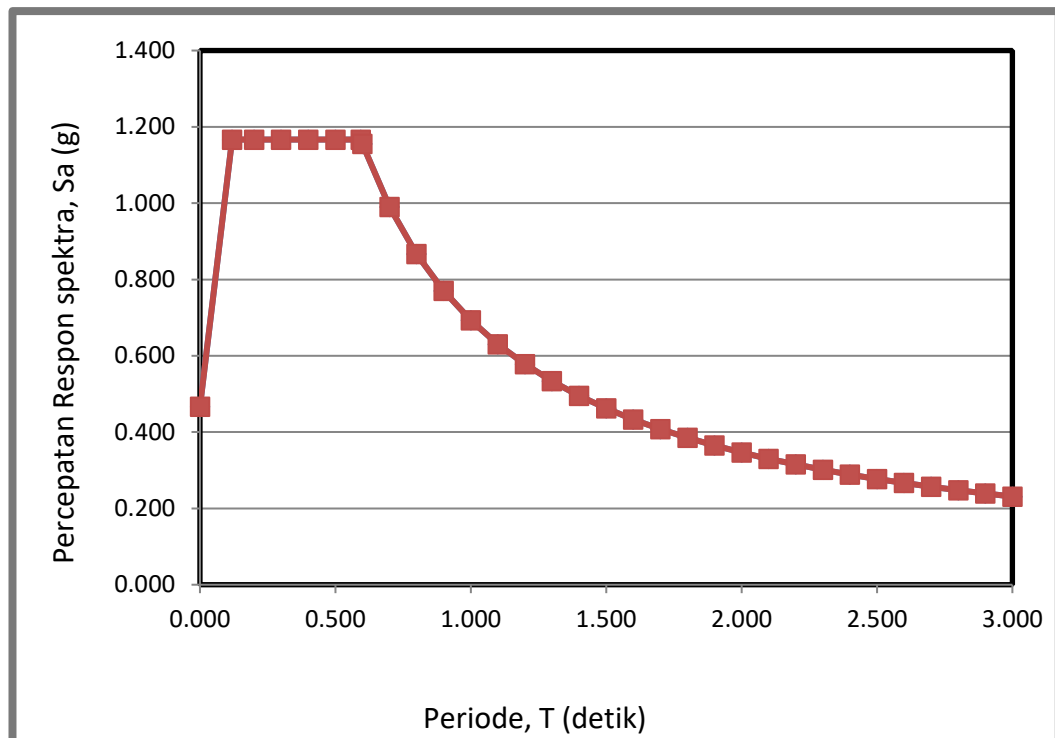
Tabel 3.1: Respon Spektrum SNI 1726-2012 kota Banda Aceh dengan jenis tanah keras.

Respon Spectrum Tanah Keras Data yang diperoleh	
T (DETIK)	Sa (g)
0.000	0.467
0.119	1.167
0.200	1.167
0.300	1.167
0,400	1.167
0,500	1.167
0,594	1,167
0,600	1,156
0,700	0.990
0,800	0.867

0,900	0.770
1,000	0.693
1,100	0.630
1,200	0.578

Tabel 3.1: *Lanjutan.*

1,300	0.533
1,400	0.495
1,500	0.462
1,600	0.433
1,700	0.408
1,800	0.385
1,900	0,365
2,000	0.347
2,100	0.330
2,200	0,315
2.300	0,301
2.400	0,289
2,500	0,277
2,600	0,267
2,700	0,257
2,800	0,248
2,900	0.239
3,000	0.231



Gambar 3.2: Respon spektrum SNI 1726-2012 kota Banda Aceh dengan jenis tanah keras.

Dapat dilihat pada Tabel 3.1, bahwa respons spektrum gempa rencana yang dihasilkan berdasarkan standar keempaan SNI 03-1726-2012 mempunyai nilai 0.119 untuk percepatan respons spektrum desain pada periode pendek, dan 1,167 untuk parameter percepatan desain pada periode 1 detik.

Tabel 3.2: Respon Spektrum SNI 1726-2012 kota Banda Aceh dengan jenis tanah sedang.

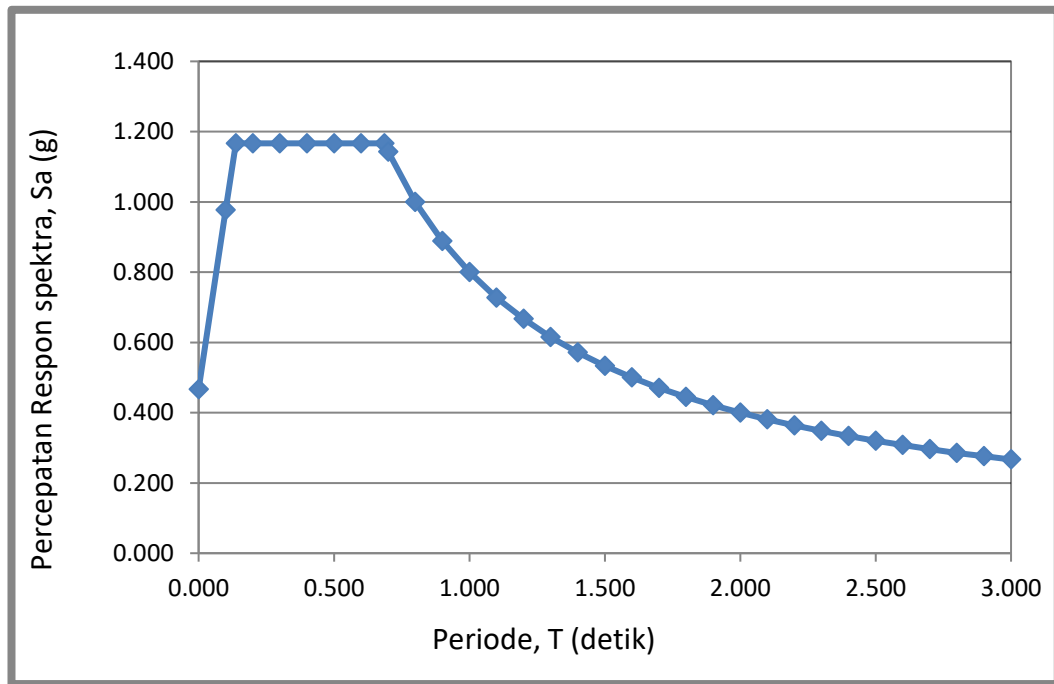
Respon Spectrum Tanah Keras Data yang diperoleh	
T (DETIK)	Sa (g)
0.000	0.467

0.100	0,977
0.137	1.167
0.200	1.167
0,300	1.167
0,400	1.167

Tabel 3.2: *Lanjutan.*

0,500	1,167
0,600	1,167
0,686	1,167
0,700	1,143
0,800	1,000
0,900	0.800
1,000	0.727
1,100	0.667
1,200	0.615
1,300	0.571
1,500	0.533
1,600	0.500
1,700	0.471
1,800	0.444
1,900	0.421
2,000	0,400
2.100	0,381
2.200	0,364
2,300	0,348
2,400	0,333
2,500	0,320

2,600	0,308
2,700	0,296
2,800	0,286
2,900	0,276
3,00	0,267



Gambar 3.3: Respon spektrum SNI 1726-2012 kota Banda Aceh dengan jenis tanah sedang.

Tabel 3.3: Respon Spektrum SNI 1726-2012 kota Banda Aceh dengan jenis tanah lunak.

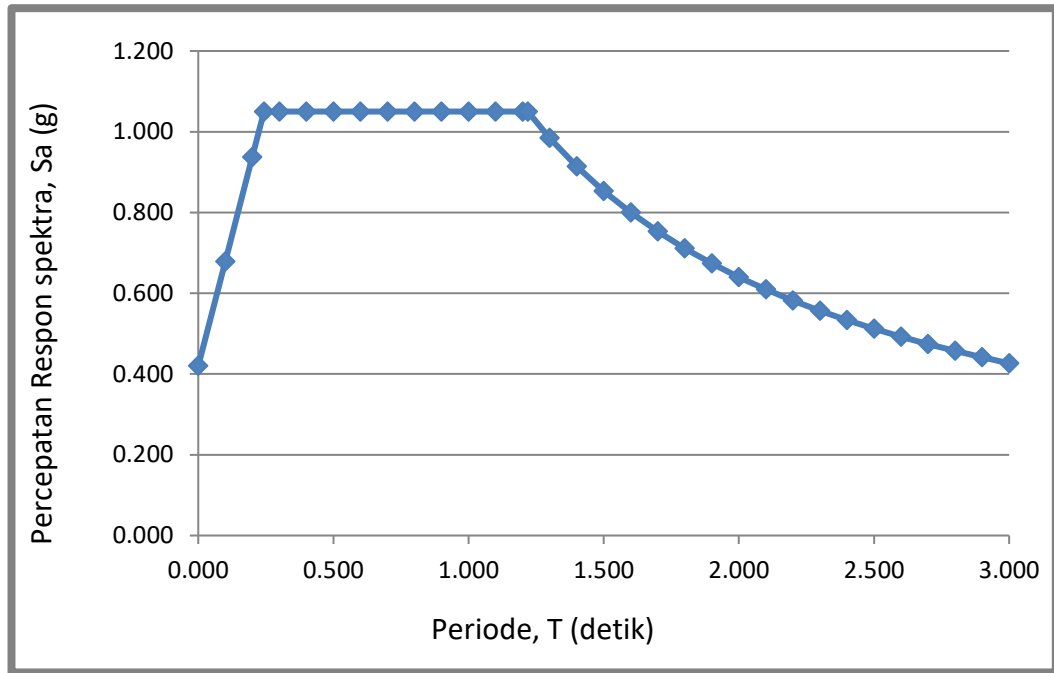
Respon Spectrum Tanah Lunak Data yang diperoleh	
T (DETIK)	Sa (g)
0.000	0.420
0.100	0,687
0.200	0,937
0.244	1.050

0,300	1.050
0,400	1.050
0,500	1.050
0,600	1.050
0,700	1.050
0,800	1.050

Tabel 3.2: *Lanjutan.*

0,900	1.050
1,000	1.050
1,100	1.050
1,200	1.050
1,219	1.050
1,300	0.985
1,400	0.914
1,500	0.853
1,600	0.800
1,700	0.753
1,800	0,711
1,900	0,674
2,000	0,640
2,100	0,610
2,200	0.582
2,300	0,557
2.400	0,533
2.500	0,512
2,600	0,492
2,700	0,474

2,800	0,457
2,900	0,441
3,000	0.427



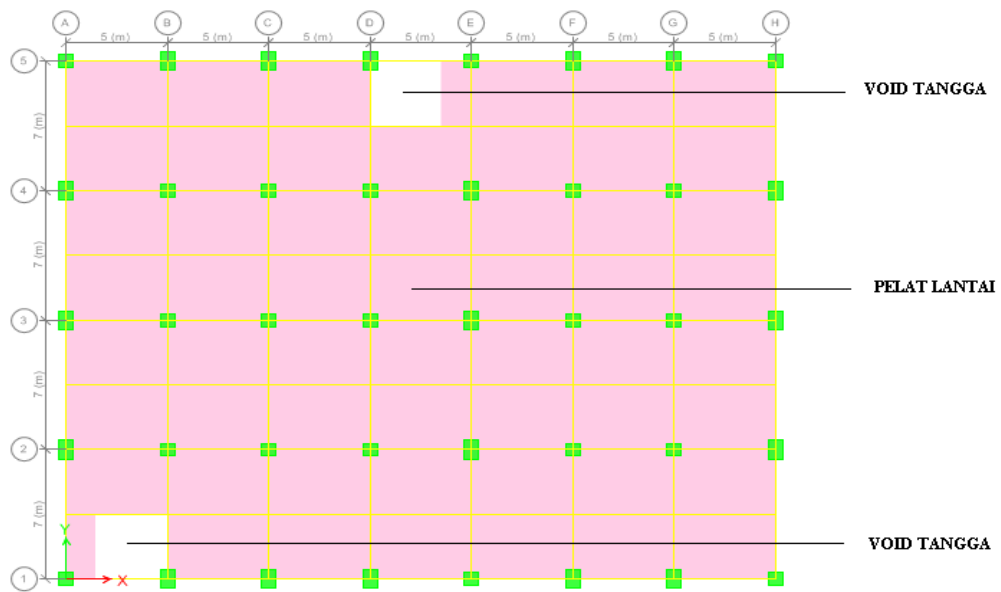
Gambar 3.4: Respon spektrum SNI 1726-2012 kota Banda Aceh dengan jenis tanah lunak.

3.4. Pemodelan dan Analisis Struktur

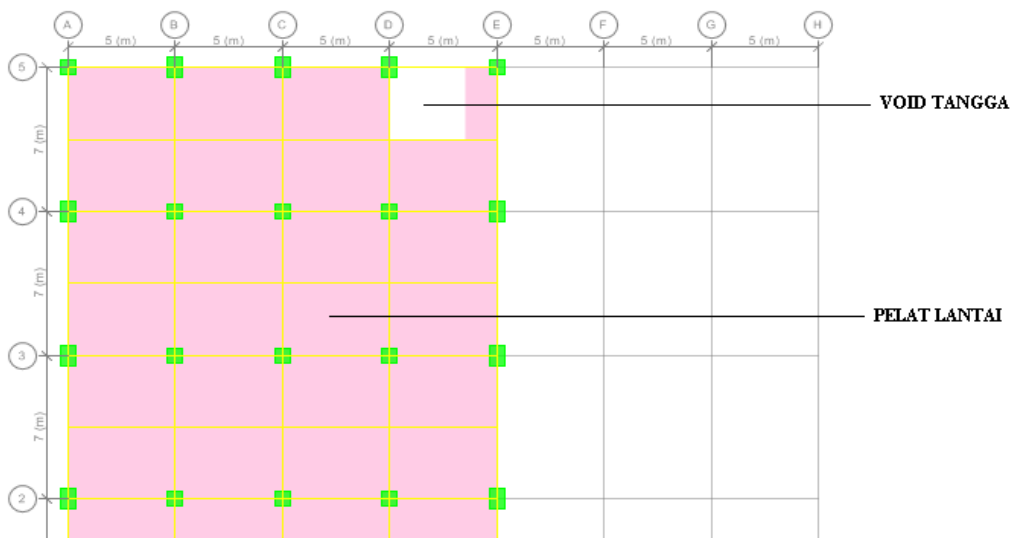
Pada tugas akhir ini pemilihan jenis analisa yang digunakan yaitu prosedur analisis respon spektrum. Struktur gedung memiliki tinggi 36 meter, dan gedung menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Respon spektrum yang digunakan pada daerah Banda Aceh mengacu pada SNI gempa 03-1726-2012 dengan jenis tanah keras, tanah sedang dan tanah keras.

3.4.1. Pemodelan Gedung

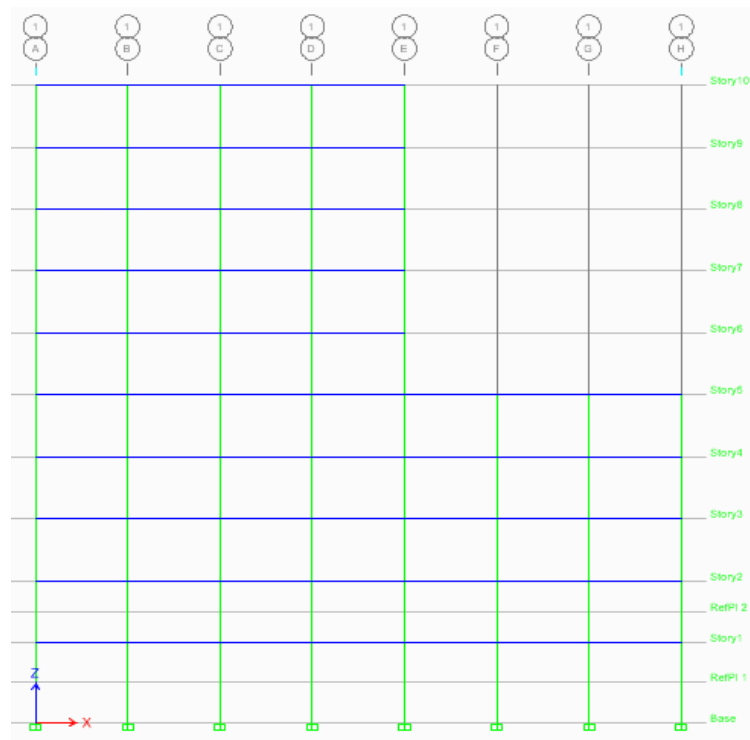
Bangunan dimodelkan dengan ketidakberaturan vertikal atau memiliki *Set Back* dengan ketinggian gedung 36 meter. Tinggi dari lantai dasar sampai lantai 2 adalah 4,5 meter sedangkan lantai 2 dan 10 adalah 3,5 meter, dengan jumlah lantai sebanyak 10 lantai. Gedung yang pertama ini dimodelkan dengan sistem portal yang memiliki *setback* sampai lantai 5. Berdasarkan data di atas dapat dilihat ketiga gambar pemodelan gedung tersebut:



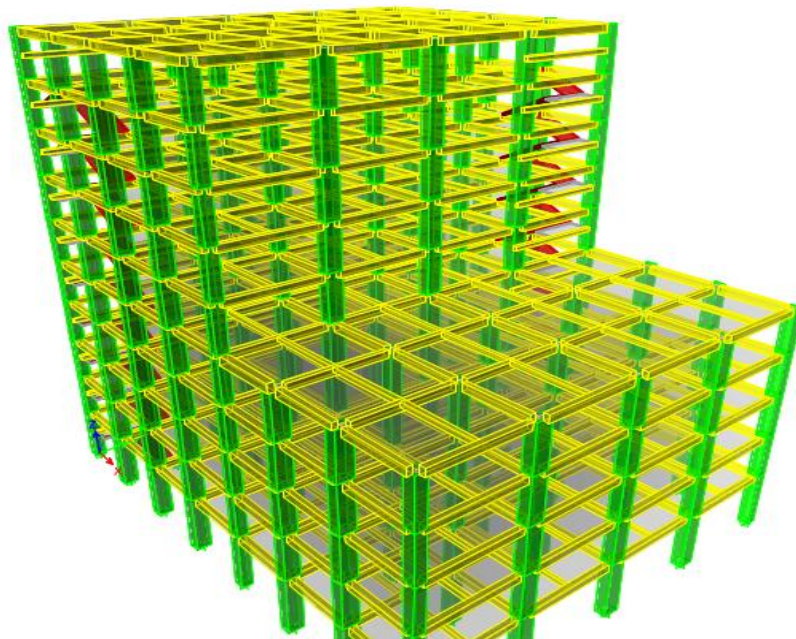
Gambar 3.5: Denah struktur bangunan lantai 1-5.



Gambar 3.6: Denah struktur bangunan lantai 5-10.



Gambar 3.7: Tampak samping portal struktur bangunan.



Gambar 3.8: Bentuk tipikal struktur beton bertulang SRPMK.

3.4.1.1. Data Perencanaan Struktur Model 1

1. Jenis portal struktur gedung beton bertulang.
2. Fungsi gedung perkantoran
3. Gedung terletak di kota Banda Aceh
4. Gedung didesain berdasarkan SRPMK (Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus)
5. Kuat tekan beton yang digunakan $f'_c = 30$ MPa untuk pelat lantai dan $f'_c = 30$ untuk balok dan kolom
6. Kuat leleh baja tulangan $f_y = 400$ MPa.
7. Direncanakan jenis tanah keras

3.4.1.2. Data Perencanaan Struktur Model 2

1. Jenis portal struktur gedung beton bertulang.
2. Fungsi gedung perkantoran
3. Gedung terletak di kota Banda Aceh
4. Gedung didesain berdasarkan SRPMK (Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus)
5. Kuat tekan beton yang digunakan $f'_c = 30$ MPa untuk kolom dan balok $f'_c = 35$ MPa, pada pelat lantai menggunakan $f'_c = 30$ MPa.
6. Kuat leleh baja tulangan $f_y = 400$ MPa.
7. Direncanakan pada jenis tanah sedang

3.4.1.3. Data Perencanaan Struktur Model 3

1. Jenis portal struktur gedung beton bertulang.

2. Fungsi gedung perkantoran
3. Gedung terletak di kota Banda Aceh
4. Gedung didesain berdasarkan SRPMK (Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus)
5. Kuat tekan beton yang digunakan $f'_c = 35$ MPa untuk kolom dan balok $f'_c = 35$ MPa, pada pelat lantai menggunakan $f'_c = 30$ MPa.
6. Kuat leleh baja tulangan $f_y = 400$ MPa.
7. Direncanakan pada jenis tanah lunak

3.4.1.4. Faktor Keutamaan Struktur (I_e)

Berdasarkan SNI 03-1726-2012, digunakan untuk nilai faktor keutamaan berdasarkan kategori resiko yang sesuai Tabel 2.2 pada bab 2 dengan fungsi gedung perkantoran pada kategori resiko II, berdasarkan ketentuan itu didapat nilai faktor keutamaan (I_e) = II, pada Tabel 2.2 BAB 2.

3.4.1.5. Faktor Reduksi Gempa

Untuk semua desain gedung direncanakan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMK) mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan, dimana menggunakan faktor reduksi gempa yang berdasarkan SNI Gempa 03-1726-2012 sesuai Tabel 9, atau dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.4: Faktor reduksi gempa pada gedung, pada zona gempa tanah sedang berdasarkan SNI 1726-2012.

Arah	Sistem Gaya Penahan Seismik	R
X	Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus	8
Y	Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus	8

3.4.1.6. Propertis Penampang

Untuk semua struktur gedung direncanakan dengan dimensi penampang yang berbeda-beda.

- a. Balok utama = 55 cm x 35 cm

- b. Balok anak = 35 cm x 25 cm
- c. Balok daerah transisi = 65 cm x 45 cm
- d. Kolom I = 70 cm x 70 cm
- e. Kolom II = 70 cm x 100 cm

3.4.1.7. Penentuan Tebal Pelat Lantai

1. Tebal Pelat Lantai

Penentuan tebal pelat lantai menggunakan rumus dari SNI 03-2847-2002 ayat 11 butir 5 sub butir 3 adalah sebagai berikut:

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

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

dimana :

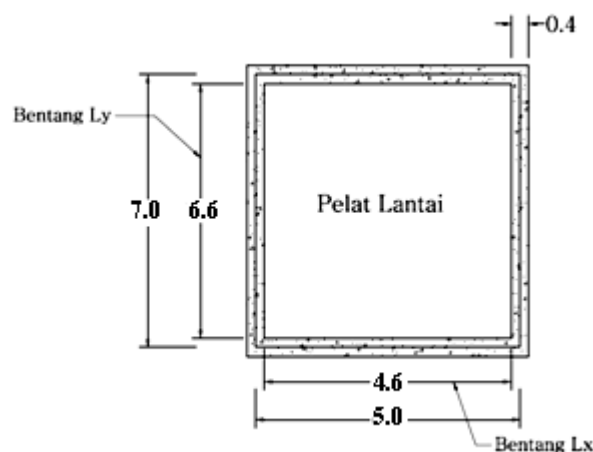
h = ketebalan pelat lantai (mm)

fy = mutu baja (MPa)

$ln = \frac{ly}{lx}$ (mm)

ly = Panjang arah sumbu y

lx = Panjang arah sumbu x



Gambar 3.9 Dimensi pelat lantai.

$$L_y = 6600 \text{ mm}$$

$$L_x = 4600 \text{ mm}$$

$$h_{min} = \frac{6600 \times (0,8 + \frac{400}{1500})}{36 + 9 \times (\frac{6600}{4600})} = 144$$
$$h_{maks} = \frac{6600 \times (0,8 + \frac{400}{1500})}{36} = 195,5$$

Jadi, dipakai tebal pelat lantai 120 mm karena tebal pelat perhitungan terlalu tebal maka pada pemodelan dimodelkan dengan penggunaan balok anak pada tengah bentang sehingga digunakan tebal pelat 120 mm.

3.4.1.8. Pembebanan Pada Struktur

Beban luar yang bekerja pada struktur dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu beban statis dan beban dinamis. Beban yang bekerja secara terus-menerus pada suatu struktur adalah beban statis. Jenis dari beban statis adalah sebagai berikut:

➤ **Beban Mati (*Dead Load*)**

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah mengikuti arah gravitasi pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, misalnya penutup lantai, alat mekanis, partisi dan lain-lain. Berat satuan atau berat sendiri dari beberapa material konstruksi dan komponen bangunan gedung dapat ditentukan dari peraturan yang berlaku di Indonesia yaitu Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983. Adapun berat satuan beberapa material disajikan pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.5: Berat material struktur gedung.

Beban Mati	Besarnya Beban
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Baja Tulangan	7850 kg/m ³

Tabel 3.6: Berat tambahan komponen struktur gedung.

Beban Mati	Besarnya Beban
Plafon dan Penggantung	18 kg/m ²
Adukan /cm tebal dari semen	21 kg/m ²
Pasangan bata setengah batu	250 kg/m ²
Penutup lantai dari keramik	24 kg/ m ²

➤ **Beban Hidup (*Live Load*)**

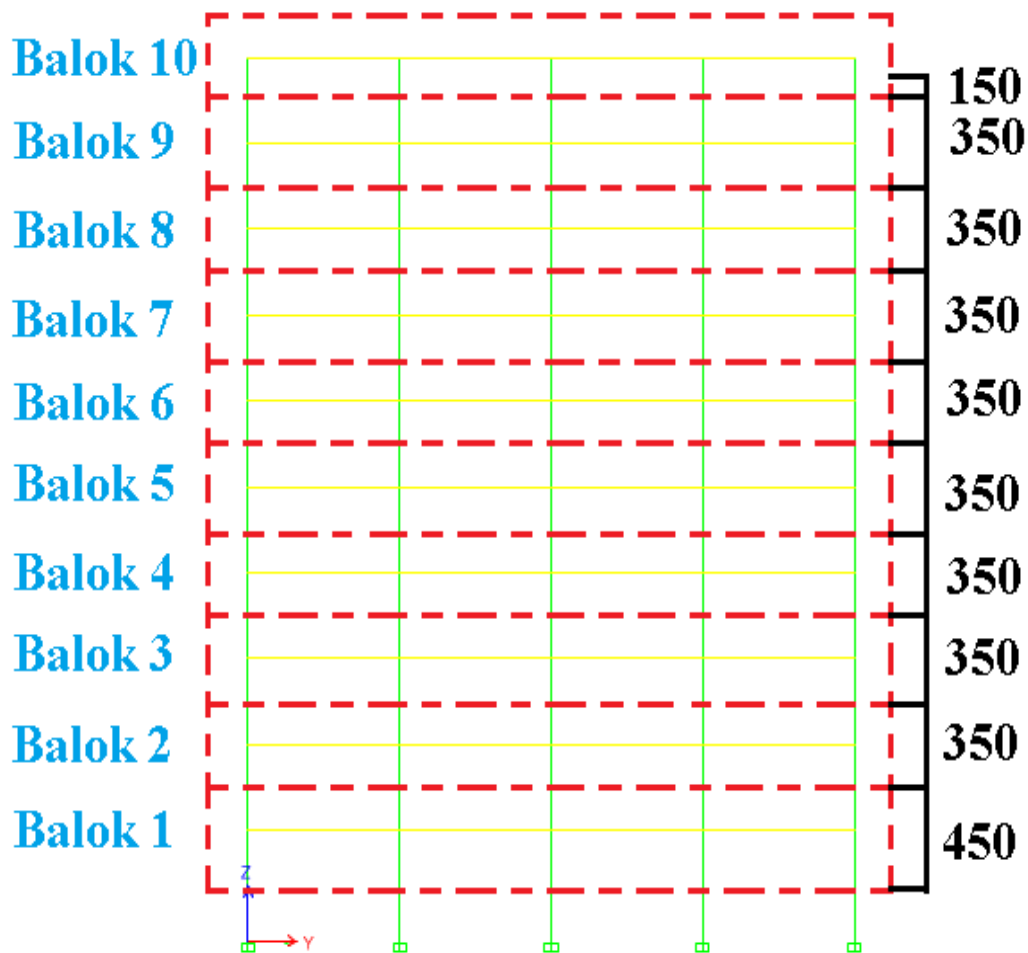
Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan dan beban ini bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu tertentu. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang-kadang dapat juga berarah horizontal. Beban hidup untuk bangunan gedung dari Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 atau peraturan tahun 1987 diberikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.7: Beban hidup pada lantai struktur.

Beban Hidup	Besarnya Beban
Lantai sekolah, perkantoran, apartemen, hotel, asrama, pasar, rumah sakit	250 kg/ m ²
Beban terpusat minimum	100 kg/m ²
Beban hidup pada tangga dan bordes	300 kg/m ³

3.4.1.9. Pembebanan Pada Pelat Lantai

Semua *input* beban area pada pelat lantai, baik beban mati, beban hidup, maupun beban tambahan yang tertumpu pada balok dijadikan sebagai beban merata “ q_{eq} ” (kg/m’) pada balok dengan metode amplop. Nilai beban tersebut sengaja diubah menjadi beban q_{eq} dengan metode amplop dimaksudkan untuk mempermudah analisa pada ETABS dan mempercepat proses analisa. Adapun hasil persamaan yang dibuat untuk menurunkan rumus beban area (kg/m²) menjadi beban merata q_{eq} (kg/m’).



Gambar 3.10: Metode perhitungan beban dinding.

3.4.1.10. Beban Dinding Bata

Untuk menginput berat dinding bata pada balok digunakan metode perhitungan beban dinding berdasarkan level lantai. Metode perhitungan dapat dilihat pada Gambar 3.9.

Berat dinding = Tinggi level lantai x BJ Pasangan 1/2 Bata Sebagai contoh, beban pada balok 1 = $4,5 \times 250 = 1125$ kg/m Adapun hasil perhitungan berat dinding disajikan pada Tabel 3.6:

Tabel 3.8: Beban dinding bata pada balok.

Balok penerima beban	Beban	Level lantai
	(kg/m')	(meter)
BALOK lt 1	1125	4,5
BALOK lt 2	875	3,5
BALOK lt 3	875	3,5
BALOK lt 4	875	3,5
BALOK lt 5	875	3,5
BALOK lt 6	875	3,5
BALOK lt 7	875	3,5
BALOK lt 8	875	3,5
BALOK lt 9	875	3,5
BALOK lt 10	875	3,5

3.4.1.11. Kombinasi Pembebanan

Seluruh beban mati, beban hidup dan beban gempa tersebut diperhitungkan dengan faktor pembesaran dan kombinasi (*loads combinations*) yang diinput ke dalam program ETABS berdasarkan SNI Gempa 03-1726-2012. Untuk pemodelan ini dengan menggunakan nilai $\rho = 1,3$ yang diperoleh dari desain seismik D dan nilai $S_{DS} = 0.9$ diperoleh dari subbab 3.2, maka kombinasi pembebanannya dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI Gempa 1726-2012 dengan nilai $\rho = 1,3$ dan $S_{DS} = 1,17$ untuk tanah keras dan sedang, $S_{DS} = 1,105$ tanah lunak.

Kombinasi	Koefisien	Koefisien	Koefisien	Koefisien
Kombinasi 1	1.4 DL	0 LL	0 EX	0 EY
Kombinasi 2	1.2 DL	1.6 LL	0 EX	0 EY
Kombinasi 3	1.50 DL	1 LL	0.39 EX	1.3 EY
Kombinasi 4	0.90 DL	1 LL	-0.39 EX	-1.3 EY
Kombinasi 5	1.04 DL	1 LL	0.39 EX	-1.3 EY
Kombinasi 6	1.36 DL	1 LL	-0.39 EX	1.3 EY
Kombinasi 7	1.50 DL	1 LL	1.3 EX	0.39 EY
Kombinasi 8	0.90 DL	1 LL	-1.3 EX	-0.39 EY
Kombinasi 9	1.36 DL	1 LL	1.3 EX	-0.39 EY
Kombinasi 10	1.04 DL	1 LL	-1.3 EX	0.39 EY
Kombinasi 11	1.20 DL	0 LL	0.39 EX	1.3 EY
Kombinasi 12	0.60 DL	0 LL	-0.39 EX	-1.3 EY
Kombinasi 13	0.74 DL	0 LL	0.39 EX	-1.3 EY
Kombinasi 14	1.06 DL	0 LL	-0.39 EX	1.3 EY
Kombinasi 15	1.20 DL	0 LL	1.3 EX	0.39 EY
Kombinasi 16	0.60 DL	0 LL	-1.3 EX	-0.39 EY
Kombinasi 17	1.06 DL	0 LL	1.3 EX	-0.39 EY
Kombinasi 18	0.74 DL	0 LL	-1.3 EX	0.39 EY

3.4.2. Analisis Respon Spektrum

Analisis menggunakan metode Kombinasi Kuadrat Lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*) / Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*). untuk waktu getar yang kurang dari 15% gunakan CQC (*complete quadratic combination*) bila sebaliknya gunakan SRSS (*square roof of the sum squares*).

3.4.2.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Model 1

Dalam analisis gedung SRPMK ini menggunakan analisis dinamik respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2012. Penguraian analisisnya sebagai berikut:

Tabel 3.10: Data perioda output program ETABS, (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) Model 1 untuk tanah keras.

Case	Mode	Period	UX	UY
		sec		
Modal	1	1,408	0,0001	0,6671
Modal	2	1,174	0,7707	0,0001
Modal	3	0,931	0,0001	0,091
Modal	4	0,488	0,0009	0,118
Modal	5	0,46	0,1271	0,0016
Modal	6	0,41	0,002	0,0041
Modal	7	0,239	0,0005	0,0434
Modal	8	0,234	0,04	0,0009
Modal	9	0,199	0,0001	0,0051
Modal	10	0,162	0,0235	0,00001818
Modal	11	0,156	0,0001	0,0246
Modal	12	0,139	0,0001	0,0008

Dapat dilihat persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC ataukah SRSS.

Tabel 3.11: Hasil selisih persentase nilai perioda (model 1).

Mode	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	17%	Not ok	Ok
T2-T3	21%	Not ok	Ok
T3-T4	48%	Not ok	Ok

Tabel 3.11: *Lanjutan.*

T4-T5	6%	Ok	Not ok
T5-T6	11%	Ok	Not ok
T6-T7	42%	Not ok	Ok
T7-T8	2%	Ok	Not ok
T8-T9	15%	Ok	Not ok
T9-T10	19%	Not ok	Ok

Penjumlahan ragam respon menurut metode CQC atau metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%, dari Tabel 3.10, diperoleh nilai partisipasi massa (*Sum UX dan Sum UY*) sudah hampir mencapai 100%. Maka, pada model ini partisipasi massa sudah memenuhi syarat dengan menggunakan metode CQC.

- Gaya Geser Dasar Seismik

Pada dasarnya nilai gaya geser pada gedung yang simetris akibat arah x maupun arah y tetap sama. Tetapi, Nilai gaya geser yang dihasilkan oleh respon spectrum ETABS sangat teliti sehingga arah x dan arah y tidak sama walaupun bangunannya simetris. Adapun bangunan yang direncanakan struktur rangka pemikul momen khusus dan memiliki Inersia arah x dan arah y yang berlainan. Oleh karena itu, hasil perioda yang diperoleh terhadap arah X dan arah Y tidak sama. Dari hasil analisis respon spektrum yang menggunakan program ETABS diperoleh nilai gaya geser dasar (*V*) berdasarkan SNI 1726:2012. Untuk

memperoleh nilai gaya geser dasar dari metode analisis respon spektrum dapat menggunakan program ETABS yaitu nilai *Base reactions* untuk arah pembebanan gempa.

a. *Nilai waktu getar alami fundamental*

Berdasarkan analisis 3 dimensi yang diperoleh dari ETABS nilai waktu getar alami fundamental atau perioda (T) untuk Model 1 dengan sistem rangka pemikul momen khusus adalah:

T arah X = 1,174 detik

T arah Y = 1,408 detik

Maka, menurut peraturan SNI 1726-2012, perioda fundamental (T) yang digunakan memiliki nilai batas maksimum dan batas minimum.

$C_t = 0,0466$ (Tabel 2.11 dengan tipe struktur rangka beton pemikul momen)

$H_n = 36$ m (tinggi gedung dari dasar)

$X = 1,59$ (Tabel 2.11 dengan tipe struktur rangka beton pemikul momen)

$C_u = 1,4$ (Tabel 2.12 dengan nilai $SD1 \geq 0,4$)

Tabel 3.12: Pengecekan T berdasarkan pembatasan waktu getar alami fundamental Model 1 berdasarkan SNI 1726-2012.

Arah	$T_{a\ min}$ $C_u.H_n^x$	$T_{a\ maks}$ $C_u.T_a$	T_{etabs}	Cek min	Cek maks
X	1,172	1,641	1,174	OKE	OKE
Y	1,172	1,641	1,408	OKE	OKE

b. *Penentuan faktor respon gempa (C)*

Berdasarkan sub bab 2.8.6 untuk peraturan SNI 1726-2012, penentuan nilai koefisien respon seismik (C_s) berdasarkan Pers. 2.22 - 2.23 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

- $C_s\ maksimum = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$

$$C_{s \text{ maksimum}} \text{ arah X} = \frac{1,7}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,146$$

$$C_{s \text{ maksimum}} \text{ arah Y} = \frac{1,7}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,146$$

- $C_s \text{ hasil hitungan} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{T}\right)}$

$$C_s \text{ hasil hitungan arah X} = \frac{0,693}{1,174\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,062$$

$$C_s \text{ hasil hitungan arah Y} = \frac{0,693}{1,408\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,074$$

- $C_s \text{ minimum} = 0,044 \text{ SDS } I \geq 0,01$

$$C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 1,17 \cdot 1 = 0,051$$

$$C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 1,17 \cdot 1 = 0,051$$

Nilai C_s di atas dan nilai C_s yang digunakan dirangkum ke dalam Tabel 3.12.

Tabel 3.13: Rangkuman nilai C_s dan nilai C_s yang digunakan pada gedung Model 1.

Arah	C_s maks	C_s hitungan	C_s min	C_s yang digunakan
X	0,146	0,062	0,051	0,062
Y	0,146	0,074	0,051	0,074

Pemilihan nilai C_s diatas di dapat karena nilai $C_s \text{ hitungan}$ berada diantara $C_s \text{ minimum}$ dan $C_s \text{ maksimum}$. Maka yang digunakan $C_s \text{ hitungan}$ sesuai Peraturan SNI 1726-2012.

3.4.2.2. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Model 2

Dalam analisis model dinding geser tiap sisi ini menggunakan analisis dinamik respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2012. Penguraian analisisnya sebagai berikut:

Tabel 3.14: Data perioda output program ETABS, (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) Model 2 untuk tanah sedang.

Case	Mode	Period	UX	UY
		sec		
Modal	1	1,439	0,0001	0,6667
Modal	2	1,198	0,7683	0,0001

Tabel 3.14: *Lanjutan.*

Modal	3	0,95	0,0001	0,0895
Modal	4	0,498	0,0009	0,1187
Modal	5	0,469	0,1282	0,0016
Modal	6	0,417	0,002	0,004
Modal	7	0,242	0,0006	0,0438
Modal	8	0,238	0,0402	0,0009
Modal	9	0,202	0,00004769	0,0051
Modal	10	0,164	0,0239	0,00002145
Modal	11	0,158	0,0001	0,025
Modal	12	0,141	0,0001	0,0009

Dapat dilihat persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC ataukah SRSS.

Tabel 3.15: Hasil selisih persentase nilai perioda (model 2).

Mode	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	17%	Not ok	Ok
T2-T3	21%	Not ok	Ok
T3-T4	48%	Not ok	Ok
T4-T5	6%	Ok	Not ok
T5-T6	11%	Ok	Not ok
T6-T7	42%	Not ok	Ok
T7-T8	2%	Ok	Not ok
T8-T9	15%	Not ok	Ok
T9-T10	19%	Not ok	Ok
T10-T12	4%	Ok	Not ok

T11-T12	11%	Ok	Not ok
---------	-----	----	--------

Penjumlahan ragam respon menurut metode CQC atau metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%, dari Tabel 3.14, diperoleh nilai partisipasi massa (*Sum UX dan Sum UY*) sudah hampir mencapai 100%. Maka, pada model ini partisipasi massa sudah memenuhi syarat dengan menggunakan metode CQC

a. *Nilai waktu getar alami fundamental*

Berdasarkan analisis 3 dimensi yang diperoleh dari ETABS nilai waktu getar alami fundamental atau perioda (T) untuk Model 1 dengan sistem rangka pemikul momen khusus adalah:

T arah X = 1.198 detik

T arah Y = 1.439 detik

Maka, menurut peraturan SNI 1726-2012, perioda fundamental (T) yang digunakan memiliki nilai batas maksimum dan batas minimum.

$C_t = 0,0466$ (Tabel 2.11 dengan tipe struktur rangka beton pemikul momen)

$H_n = 36$ m (tinggi gedung dari dasar)

$X = 1,59$ (Tabel 2.11 dengan tipe struktur rangka beton pemikul momen)

$C_u = 1,4$ (Tabel 2.12 dengan nilai $SD1 \geq 0,4$)

Tabel 3.16: Pengecekan T berdasarkan pembatasan waktu getar alami fundamental Model 2 berdasarkan SNI 1726-2012.

Arah	$T_{a\ min}$ $C_u.H_n^*$	$T_{a\ maks}$ $C_u.T_a$	T_{etabs}	Cek min	Cek maks
X	1,172	1.641	1.198	OKE	OKE
Y	1,172	1.641	1.439	OKE	OKE

b. *Penentuan faktor respon gempa ©*

Berdasarkan sub bab 2.8.6 untuk peraturan SNI 1726-2012, penentuan nilai koefisien respon seismik (C_s) berdasarkan Pers. 2.22-2.23 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

- $C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$

$$C_s \text{ maksimum arah X} = \frac{1,7}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,146$$

$$C_s \text{ maksimum arah Y} = \frac{1,7}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,146$$

- $C_s \text{ hasil hitungan} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$

$$C_s \text{ hasil hitungan arah X} = \frac{0,8}{1,198\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,069$$

$$C_s \text{ hasil hitungan arah Y} = \frac{0,8}{1,439\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,083$$

- $C_s \text{ minimum} = 0,044 \text{ SDS } I \geq 0,01$

$$C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 1,17 \cdot 1 = 0,051$$

$$C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 1,17 \cdot 1 = 0,051$$

Nilai C_s di atas dan nilai C_s yang digunakan dirangkum ke dalam Tabel 4.4

Tabel 3.17: Rangkuman nilai C_s dan nilai C_s yang digunakan pada gedung Model 2.

Arah	C_s maks	C_s hitungan	C_s min	C_s yang digunakan
X	0,146	0,069	0,051	0,069
Y	0,146	0,083	0,051	0,083

Pemilihan nilai C_s diatas di dapat karena nilai C_s hitungan berada diantara C_s minimum dan C_s maksimum. Maka yang digunakan C_s hitungan sesuai Peraturan SNI 1726-2012.

3.4.2.3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Model 3

Dalam analisis model dinding geser satu sisi ini menggunakan analisis dinamik respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2012. Penguraian analisisnya tertera pada Tabel 3.18.

Tabel 3.18: Data perioda output program ETABS, (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) Model 3 untuk tanah lunak.

Case	Mode	Period	UX	UY
		sec		
Modal	1	1,451	0,0001	0,6683
Modal	2	1,208	0,7704	0,0001
Modal	3	0,959	0,0001	0,0902
Modal	4	0,504	0,0009	0,1177
Modal	5	0,474	0,1276	0,0016
Modal	6	0,422	0,002	0,0042
Modal	7	0,246	0,0004	0,0435
Modal	8	0,241	0,04	0,0007
Modal	9	0,206	0,00004961	0,005
Modal	10	0,167	0,0235	0,00002303
Modal	11	0,162	0,0001	0,0246
Modal	12	0,144	0,0001	0,0008

Dapat dilihat persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC ataukah SRSS.

Tabel 3.19: Hasil selisih persentase nilai perioda (model 3).

Mode	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	17%	Not ok	ok
T2-T3	21%	Not ok	ok

T3-T4	47%	Not ok	ok
T4-T5	6%	ok	Not ok
T5-T6	11%	ok	Not ok
T6-T7	42%	Not ok	ok
T7-T8	2%	ok	Not ok
T8-T9	15%	ok	Not ok

Tabel 3.19: *Lanjutan.*

T9-T10	19%	Not ok	ok
T10-T12	3%	ok	Not ok
T11-T12	11%	ok	Not ok

Penjumlahan ragam respon menurut metode CQC atau metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%, dari tabel 3.10, diperoleh nilai partisipasi massa (*Sum UX dan Sum UY*) sudah hampir mencapai 100%. Maka, pada model ini partisipasi massa sudah memenuhi syarat dengan menggunakan metode SRSS.

a. *Nilai waktu getar alami fundamental*

Berdasarkan analisis 3 dimensi yang diperoleh dari ETABS nilai waktu getar alami fundamental atau perioda (T) untuk Model 1 dengan sistem rangka pemikul momen khusus adalah:

$$T \text{ arah X} = 1,208 \text{ detik}$$

$$T \text{ arah Y} = 1,451 \text{ detik}$$

Maka, menurut peraturan SNI 1726-2012, perioda fundamental (T) yang digunakan memiliki nilai batas maksimum dan batas minimum.

$$C_t = 0,0466 \text{ (Tabel 2.11 dengan tipe struktur rangka beton pemikul momen)}$$

$$H_n = 36 \text{ m (tinggi gedung dari dasar)}$$

$$X = 1,59 \text{ (Tabel 2.11 dengan tipe struktur rangka beton pemikul momen)}$$

$$C_u = 1,4 \text{ (Tabel 2.12 dengan nilai } SD1 \geq 0,4 \text{)}$$

Tabel 3.20: Pengecekan T berdasarkan pembatasan waktu getar alami fundamental Model 1 berdasarkan SNI 1726-2012.

Arah	$T_{a \text{ min}}$ $CU.Hn^*$	$T_{a \text{ maks}}$ $CU.Ta$	T_{etabs}	Cek min	Cek maks
X	1.172	1.641	1.208	OKE	OKE
Y	1.172	1.641	1.451	OKE	OKE

b. Penentuan faktor respon gempa (C)

Berdasarkan sub bab 2.8.6 untuk peraturan SNI 1726-2012, penentuan nilai koefisien respon seismik (C_s) berdasarkan Pers. 2.22-2.23 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

- $C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$
 $C_s \text{ maksimum arah X} = \frac{1,05}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,131$
 $C_s \text{ maksimum arah Y} = \frac{1,05}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,131$
- $C_s \text{ hasil hitungan} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$
 $C_s \text{ hasil hitungan arah X} = \frac{1,28}{1,208\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,110$
 $C_s \text{ hasil hitungan arah Y} = \frac{1,28}{1,451\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,132$
- $C_s \text{ minimum} = 0,044 \text{ SDS } I \geq 0,01$
 $C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 1,05 \cdot 1 = 0,046$
 $C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 1,05 \cdot 1 = 0,046$

Nilai C_s di atas dan nilai C_s yang digunakan dirangkum ke dalam Tabel 4.4

Tabel 3.21: Rangkuman nilai C_s dan nilai C_s yang digunakan pada gedung Model 3.

Arah	C_s maks	C_s hitungan	C_s min	C_s yang digunakan
X	0.131	0.110	0.046	0.110
Y	0.131	0.132	0.046	0.132

Pemilihan nilai C_s diatas di dapat karena nilai C_s *hitungan* berada diantara C_s *minimum* dan C_s *maksimum*. Maka yang digunakan C_s *hitungan* sesuai Peraturan SNI 1726-2012.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Pada bab ini akan dibahas perbandingan dari hasil studi yang menggunakan struktur beton bertulang dengan SRPMK yang memiliki *set back* berdasarkan kelas situs. bab ini menjelaskan hasil kontrol dan pembahasan yang berdasarkan SNI 1726:2012.

4.2. Perhitungan Beban Gravitasi Pada Struktur Bangunan SRPMK

Perhitungan beban mati dan beban hidup hanya dilakukan untuk beban yang bekerja di pelat lantai dan pelat atap, sedangkan untuk berat sendiri struktur akan dihitung otomatis oleh program Etabs.

Tabel 4.1: Rekapitulasi berat sendiri dari hasil *output* ETABS Model 1 untuk kelas situs tanah keras.

TABLE: Centers of Mass and Rigidity			
Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y
		kgf-s ² /m	kgf-s ² /m
Story1	D1	267,1416	267,1416
Story2	D2	234,5338	234,5338
Story3	D3	224,3694	224,3694
Story4	D4	216,3802	216,3802
Story5	D5	185,8215	185,8215

Story6	D6	126,5746	126,5746
Story7	D7	120,9471	120,9471
Story8	D8	122,8575	122,8575
Story9	D9	148,6359	148,6359
Story10	D10	107,286	107,286
Sumary		1754,548	

Adapun beban-beban mati tambahan dan beban hidup yang bekerja pada masing-masing lantai model 1 adalah sebagai berikut:

a. *Beban Gravitasi pada pelat Lantai 1,2,3,4,6 s.d 9*

Beban Mati

-	Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm)	=	42	kg/m ²
-	Penutup Lantai Keramik	=	24	kg/m ²
-	Plafon + Peggantung	=	18	kg/m ²
-	M & E	=	25	kg/m ²
	Total Beban Mati	=	109	kg/m ²

Beban Hidup

-	Beban Hidup Perkantoran	=	250	kg/m ²
	Total Beban Hidup	=	250	kg/m ²

b. *Beban Gravitasi pada pelat Lantai 5 (setback)*

Beban Mati

-	Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm)	=	42	kg/m ²
-	Beban Waterproof	=	5	kg/m ²
-	Plafon + Peggantung	=	18	kg/m ²
-	M & E	=	25	kg/m ²
	Total Beban Mati	=	90	kg/m ²

Beban Hidup

-	Beban Hidup Perkantoran	=	250	kg/m ²
	Total Beban Hidup	=	250	kg/m ²

Beban Gravitasi pada pelat Lantai atap

c. (setback)

Beban Mati

-	Plafon + penggantung	=	18	kg/m ²
-	Waterproof		5	kg/m ²
-	Plester		42	kg/m ²
-	M & E	=	<u>25</u>	kg/m ²
	Total beban mati	=	90	kg/m ²

Beban Hidup

-	Beban Hidup Perkantoran	=	250	kg/m ²
	Total Beban Hidup	=	250	kg/m ²

4.2.1. Perhitungan Beban Terbagi Rata Untuk Pembebanan Akibat Gaya Gempa Model 1.

a. Berat Lantai 1

• Beban Mati

-	Spesi lantai keramik (t = 2 cm)	= 7 x 5 x 1 x 35 x 42	= 51450	Kg/m
-	Penutup lantai keramik	= 7 x 5 x 1 x 35 x 24	= 29400	Kg/m
-	Plafon + penggantung	= 7 x 5 x 1 x 35 x 18	= 22050	Kg/m
-	M & E	= 7 x 5 x 1 x 35 x 25	= <u>30625</u>	Kg/m
-	Total beban mati		133525	Kg/m

• Beban Hidup

-	Berat pelat lantai 1	= 250 x 980	= 245000	Kg/m
---	----------------------	-------------	----------	------

• Berat Struktur

-	Berat sendiri struktur	= 267,1416	Kg/m
---	------------------------	------------	------

Berat total lantai 1 = Beban mati + beban hidup x 0,3 + berat sendiri struktur

$$= 207292,1416 \text{ Kg/m}$$

b. Berat Lantai 2

- **Beban Mati**

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450$ Kg/m
- Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400$ Kg/m
- Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050$ Kg/m
- M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625}$ Kg/m
- Total beban mati = 133525 Kg/m

- **Beban Hidup**

- Berat pelat lantai 2 = $250 \times 980 = 245000$ Kg/m

- **Berat Struktur**

- Berat sendiri struktur = 234,5338 Kg/m

Berat total lantai 2 = Beban mati + beban hidup x 0,3 + berat sendiri struktur

$$= 207259,5338 \text{ Kg/m}$$

c. Berat Lantai 3

- **Beban Mati**

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450$ Kg/m
- Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400$ Kg/m
- Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050$ Kg/m
- M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625}$ Kg/m
- Total beban mati = 133525 Kg/m

- **Beban Hidup**

- Berat pelat lantai 3 = $250 \times 980 = 245000$ Kg/m

- **Berat Struktur**

- Berat sendiri struktur = 224,3694 Kg/m

Berat total lantai 3 = Beban mati + beban hidup x 0,3 + berat sendiri struktur

$$= 207249,3694 \text{ Kg/m}$$

d. Berat Lantai 4

- **Beban Mati**

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450$ Kg/m
- Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400$ Kg/m
- Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050$ Kg/m
- M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625}$ Kg/m
- Total beban mati = 133525 Kg/m

- Beban Hidup

- Berat pelat lantai 4 = $250 \times 980 = 245000$ Kg/m

- Berat Struktur

- Berat sendiri struktur = 216,3802 Kg/m

Berat total lantai 4 = Beban mati + beban hidup x 0,3 + berat sendiri struktur

$$= 207241,3802 \text{ Kg/m}$$

e. Berat Lantai 5

- Beban Mati

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450$ Kg/m
- Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400$ Kg/m
- Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050$ Kg/m
- M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625}$ Kg/m
- Total beban mati = 133525 Kg/m

- Beban Hidup

- Berat pelat lantai 5 = $250 \times 560 = 140000$ Kg/m

- Berat Struktur

- Berat sendiri struktur = 185,8215 Kg/m

Berat total lantai 5 = Beban mati + beban hidup x 0,3 + berat sendiri struktur

$$= 175710,8215 \text{ Kg/m}$$

f. Berat Lantai 6

- Beban Mati

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450$ Kg/m
- Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400$ Kg/m
- Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050$ Kg/m

- M & E $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625} \text{ Kg/m}$
- Total beban mati 133525 Kg/m

- Beban Hidup

- Berat pelat lantai 6 $= 250 \times 560 = 140000 \text{ Kg/m}$

- Berat Struktur

- Berat sendiri struktur $= 126,5746 \text{ Kg/m}$

$$\begin{aligned} \text{Berat total lantai 6} &= \text{Beban mati} + \text{beban hidup} \times 0,3 + \text{berat sendiri struktur} \\ &= 175651,5746 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

g. Berat Lantai 7

- Beban Mati

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450 \text{ Kg/m}$
- Penutup lantai keramik $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400 \text{ Kg/m}$
- Plafon + penggantung $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$
- M & E $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625} \text{ Kg/m}$
- Total beban mati 133525 Kg/m

- Beban Hidup

- Berat pelat lantai 7 $= 250 \times 560 = 140000 \text{ Kg/m}$

- Berat Struktur

- Berat sendiri struktur $= 120,9471 \text{ Kg/m}$

$$\begin{aligned} \text{Berat total lantai 7} &= \text{Beban mati} + \text{beban hidup} \times 0,3 + \text{berat sendiri struktur} \\ &= 175645,9471 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

h. Berat Lantai 8

- Beban Mati

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450 \text{ Kg/m}$
- Penutup lantai keramik $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400 \text{ Kg/m}$
- Plafon + penggantung $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$
- M & E $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625} \text{ Kg/m}$
- Total beban mati 133525 Kg/m

- Beban Hidup

- Berat pelat lantai 8 = $250 \times 560 = 140000 \text{ Kg/m}$

- Berat Struktur

- Berat sendiri struktur = $122,8575 \text{ Kg/m}$

Berat total lantai 8 = Beban mati + beban hidup x 0,3+ berat sendiri struktur
 = $175647,8575 \text{ Kg/m}$

i. Berat Lantai 9

- Beban Mati

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450 \text{ Kg/m}$

- Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400 \text{ Kg/m}$

- Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$

- M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625 \text{ Kg/m}}$

- Total beban mati = 133525 Kg/m

- Beban Hidup

- Berat pelat lantai 9 = $250 \times 560 = 140000 \text{ Kg/m}$

- Berat Struktur

- Berat sendiri struktur = $148,6359 \text{ Kg/m}$

Berat total lantai 9 = Beban mati + beban hidup x 0,3+ berat sendiri struktur
 = $175673,6359 \text{ Kg/m}$

j. Berat Lantai 10

- Beban Mati

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450 \text{ Kg/m}$

- Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400 \text{ Kg/m}$

- Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$

- M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625 \text{ Kg/m}}$

- Total beban mati = 133525 Kg/m

- Beban Hidup

- Berat pelat lantai 10 = $100 \times 560 = 56000 \text{ Kg/m}$

- Berat Struktur

- Berat sendiri struktur = 107,286 Kg/m

Berat total lantai 10 = Beban mati + beban hidup x 0,3 + berat sendiri struktur

= 150432,286 Kg/m

Tabel 4.2: Rekapitulasi berat sendiri dari hasil *output* ETABS Model 2 untuk kelas situs tanah sedang.

TABLE: Centers of Mass and Rigidity			
Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y
		kgf-s ² /m	kgf-s ² /m
Story1	D1	267,1416	267,1416
Story2	D2	234,5338	234,5338
Story3	D3	224,3694	224,3694
Story4	D4	216,3802	216,3802
Story5	D5	185,8215	185,8215
Story6	D6	126,5746	126,5746
Story7	D7	120,9471	120,9471
Story8	D8	122,8575	122,8575
Story9	D9	148,6359	148,6359
Story10	D10	107,286	107,286
Sumary		1754,548	

Adapun beban-beban mati tambahan dan beban hidup yang bekerja pada masing-masing lantai model 2 adalah sebagai berikut:

a. *Beban Gravitasi pada pelat Lantai 1,2,3,4,6 s.d 9*

Beban Mati

-	Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm)	=	42	kg/m ²
-	Penutup Lantai Keramik	=	24	kg/m ²
-	Plafon + Peggantung	=	18	kg/m ²
-	M & E	=	25	kg/m ²
	Total Beban Mati	=	109	kg/m ²

Beban Hidup

-	Beban Hidup Perkantoran	=	250	kg/m ²
---	-------------------------	---	-----	-------------------

	=	250	kg/m ²
--	---	-----	-------------------

b. Beban Gravitasi pada pelat Lantai 5 (setback)

Beban Mati

-	Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm)	=	42	kg/m ²
-	Beban Waterproof	=	5	kg/m ²
-	Plafon + Penggantung	=	18	kg/m ²
-	M & E	=	25	kg/m ²
	Total Beban Mati	=	90	kg/m²

Beban Hidup

-	Beban Hidup Perkantoran	=	250	kg/m ²
	Total Beban Hidup	=	250	kg/m²

Beban Gravitasi pada pelat Lantai atap

c. (setback)

Beban Mati

-	Plafon + penggantung	=	18	kg/m ²
-	Waterproof		5	kg/m ²
-	Plester		42	kg/m ²
-	M & E	=	25	kg/m ²
	Total beban mati	=	90	kg/m²

Beban Hidup

-	Beban Hidup Perkantoran	=	250	kg/m ²
	Total Beban Hidup	=	250	kg/m²

4.2.2. Perhitungan Beban Terbagi Merata Untuk Pembebanan Akibat Gaya Gempa Model 2.

a. Berat Lantai 1

• **Beban Mati**

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = 7 x 5 x 1 x 35 x 42 = 51450 Kg/m
- Penutup lantai keramik = 7 x 5 x 1 x 35 x 24 = 29400 Kg/m

- Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$
- M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625 \text{ Kg/m}}$
- Total beban mati = 133525 Kg/m
- Beban Hidup
 - Berat pelat lantai 1 = $250 \times 980 = 245000 \text{ Kg/m}$
- Berat Struktur
 - Berat sendiri struktur = 267,1416 Kg/m

$$\begin{aligned} \text{Berat total lantai 1} &= \text{Beban mati} + \text{beban hidup} \times 0,3 + \text{berat sendiri struktur} \\ &= 207292,1416 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

b. Berat Lantai 2

- Beban Mati
 - Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450 \text{ Kg/m}$
 - Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400 \text{ Kg/m}$
 - Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$
 - M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625 \text{ Kg/m}}$
 - Total beban mati = 133525 Kg/m
- Beban Hidup
 - Berat pelat lantai 2 = $250 \times 980 = 245000 \text{ Kg/m}$
- Berat Struktur
 - Berat sendiri struktur = 234,5338 Kg/m

$$\begin{aligned} \text{Berat total lantai 2} &= \text{Beban mati} + \text{beban hidup} \times 0,3 + \text{berat sendiri struktur} \\ &= 207259,5338 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

c. Berat Lantai 3

- Beban Mati
 - Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450 \text{ Kg/m}$
 - Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400 \text{ Kg/m}$
 - Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$
 - M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625 \text{ Kg/m}}$

- Total beban mati 133525 Kg/m
 - Beban Hidup
 - Berat pelat lantai 3 = 250 x 980 = 245000 Kg/m
 - Berat Struktur
 - Berat sendiri struktur = 224,3694 Kg/m
- Berat total lantai 3 = Beban mati + beban hidup x 0,3 + berat sendiri struktur
= 207249,3694 Kg/m

d. Berat Lantai 4

- Beban Mati
 - Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = 7 x 5 x 1 x 35 x 42 = 51450 Kg/m
 - Penutup lantai keramik = 7 x 5 x 1 x 35 x 24 = 29400 Kg/m
 - Plafon + penggantung = 7 x 5 x 1 x 35 x 18 = 22050 Kg/m
 - M & E = 7 x 5 x 1 x 35 x 25 = 30625 Kg/m
 - Total beban mati 133525 Kg/m
 - Beban Hidup
 - Berat pelat lantai 4 = 250 x 980 = 245000 Kg/m
 - Berat Struktur
 - Berat sendiri struktur = 216,3802 Kg/m
- Berat total lantai 4 = Beban mati + beban hidup x 0,3 + berat sendiri struktur
= 207241,3802 Kg/m

e. Berat Lantai 5

- Beban Mati
 - Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = 7 x 5 x 1 x 35 x 42 = 51450 Kg/m
 - Penutup lantai keramik = 7 x 5 x 1 x 35 x 24 = 29400 Kg/m
 - Plafon + penggantung = 7 x 5 x 1 x 35 x 18 = 22050 Kg/m
 - M & E = 7 x 5 x 1 x 35 x 25 = 30625 Kg/m
 - Total beban mati 133525 Kg/m
- Beban Hidup
 - Berat pelat lantai 5 = 250 x 560 = 140000 Kg/m

- Berat Struktur
 - Berat sendiri struktur = 185,8215 Kg/m

$$\begin{aligned} \text{Berat total lantai 5} &= \text{Beban mati} + \text{beban hidup} \times 0,3 + \text{berat sendiri struktur} \\ &= 175710,8215 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

f. Berat Lantai 6

- Beban Mati
 - Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450$ Kg/m
 - Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400$ Kg/m
 - Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050$ Kg/m
 - M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625}$ Kg/m
 - Total beban mati = 133525 Kg/m

- Beban Hidup
 - Berat pelat lantai 6 = $250 \times 560 = 140000$ Kg/m

- Berat Struktur
 - Berat sendiri struktur = 126,5746 Kg/m

$$\begin{aligned} \text{Berat total lantai 6} &= \text{Beban mati} + \text{beban hidup} \times 0,3 + \text{berat sendiri struktur} \\ &= 175651,5746 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

g. Berat Lantai 7

- Beban Mati
 - Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450$ Kg/m
 - Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400$ Kg/m
 - Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050$ Kg/m
 - M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625}$ Kg/m
 - Total beban mati = 133525 Kg/m

- Beban Hidup
 - Berat pelat lantai 7 = $250 \times 560 = 140000$ Kg/m

- Berat Struktur
 - Berat sendiri struktur = 120,9471 Kg/m

$$\begin{aligned}\text{Berat total lantai 7} &= \text{Beban mati} + \text{beban hidup} \times 0,3 + \text{berat sendiri struktur} \\ &= 175645,9471 \text{ Kg/m}\end{aligned}$$

h. Berat Lantai 8

- **Beban Mati**
 - Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450 \text{ Kg/m}$
 - Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400 \text{ Kg/m}$
 - Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$
 - M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625 \text{ Kg/m}}$
 - Total beban mati = 133525 Kg/m
- **Beban Hidup**
 - Berat pelat lantai 8 = $250 \times 560 = 140000 \text{ Kg/m}$
- **Berat Struktur**
 - Berat sendiri struktur = $122,8575 \text{ Kg/m}$

$$\begin{aligned}\text{Berat total lantai 8} &= \text{Beban mati} + \text{beban hidup} \times 0,3 + \text{berat sendiri struktur} \\ &= 175647,8575 \text{ Kg/m}\end{aligned}$$

i. Berat Lantai 9

- **Beban Mati**
 - Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450 \text{ Kg/m}$
 - Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400 \text{ Kg/m}$
 - Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$
 - M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625 \text{ Kg/m}}$
 - Total beban mati = 133525 Kg/m
- **Beban Hidup**
 - Berat pelat lantai 9 = $250 \times 560 = 140000 \text{ Kg/m}$
- **Berat Struktur**
 - Berat sendiri struktur = $148,6359 \text{ Kg/m}$

$$\text{Berat total lantai 9} = \text{Beban mati} + \text{beban hidup} \times 0,3 + \text{berat sendiri struktur}$$

$$= 175673,6359 \text{ Kg/m}$$

j. Berat Lantai 10

- Beban Mati

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450 \text{ Kg/m}$
- Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400 \text{ Kg/m}$
- Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$
- M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625 \text{ Kg/m}}$
- Total beban mati = 133525 Kg/m

- Beban Hidup

- Berat pelat lantai 10 = $100 \times 560 = 56000 \text{ Kg/m}$

- Berat Struktur

- Berat sendiri struktur = 107,286 Kg/m

Berat total lantai 10 = Beban mati + beban hidup x 0,3+ berat sendiri struktur

$$= 150432,286 \text{ Kg/m}$$

Tabel 4.3: Rekapitulasi berat sendiri dari hasil *output* ETABS Model 3 untuk kelas situs tanah Lunak.

TABLE: Centers of Mass and Rigidity			
Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y
		kgf-s ² /m	kgf-s ² /m
Story1	D1	267,1416	267,1416
Story2	D2	234,5338	234,5338
Story3	D3	224,3694	224,3694
Story4	D4	216,3802	216,3802
Story5	D5	185,8215	185,8215
Story6	D6	126,5746	126,5746
Story7	D7	120,9471	120,9471
Story8	D8	122,8575	122,8575

Story9	D9	148,6359	148,6359
Story10	D10	107,286	107,286
Summary		1754,548	

Adapun beban-beban mati tambahan dan beban hidup yang bekerja pada masing-masing lantai model 3 adalah sebagai berikut:

a. *Beban Gravitasi pada pelat Lantai 1,2,3,4,6 s.d 9*

Beban Mati

-	Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm)	=	42	kg/m ²
-	Penutup Lantai Keramik	=	24	kg/m ²
-	Plafon + Penggantung	=	18	kg/m ²
-	M & E	=	25	kg/m ²
	Total Beban Mati	=	109	kg/m ²

Beban Hidup

-	Beban Hidup Perkantoran	=	250	kg/m ²
	Total Beban Hidup	=	250	kg/m ²

b. *Beban Gravitasi pada pelat Lantai 5 (setback)*

Beban Mati

-	Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm)	=	42	kg/m ²
-	Beban Waterproof	=	5	kg/m ²
-	Plafon + Penggantung	=	18	kg/m ²
-	M & E	=	25	kg/m ²
	Total Beban Mati	=	90	kg/m ²

Beban Hidup

-	Beban Hidup Perkantoran	=	250	kg/m ²
	Total Beban Hidup	=	250	kg/m ²

c. *Beban Gravitasi pada pelat Lantai atap (setback)*

Beban Mati

-	Plafon + penggantung	=	18	kg/m ²
---	----------------------	---	----	-------------------

-	Waterproof		5	kg/m ²
-	Plester		42	kg/m ²
-	M & E	=	<u>25</u>	kg/m ²
	Total beban mati	=	90	kg/m ²

Beban Hidup

-	Beban Hidup Perkantoran	=	250	kg/m ²
	Total Beban Hidup	=	250	kg/m ²

4.2.3. Perhitungan Beban Terbagi Merata Untuk Pembebanan Akibat Gaya Gempa Model 3

a. Berat Lantai 1

- **Beban Mati**

-	Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm)	= 7 x 5 x 1 x 35 x 42	= 51450	Kg/m
-	Penutup lantai keramik	= 7 x 5 x 1 x 35 x 24	= 29400	Kg/m
-	Plafon + penggantung	= 7 x 5 x 1 x 35 x 18	= 22050	Kg/m
-	M & E	= 7 x 5 x 1 x 35 x 25	= <u>30625</u>	<u>Kg/m</u>
-	Total beban mati		133525	Kg/m

- **Beban Hidup**

-	Berat pelat lantai 1	= 250 x 980	= 245000	Kg/m
---	----------------------	-------------	----------	------

- **Berat Struktur**

-	Berat sendiri struktur	= 267,1416	Kg/m
---	------------------------	------------	------

Berat total lantai 1 = Beban mati + beban hidup x 0,3 + berat sendiri struktur

$$= 207292,1416 \text{ Kg/m}$$

b. Berat Lantai 2

- **Beban Mati**

-	Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm)	= 7 x 5 x 1 x 35 x 42	= 51450	Kg/m
-	Penutup lantai keramik	= 7 x 5 x 1 x 35 x 24	= 29400	Kg/m
-	Plafon + penggantung	= 7 x 5 x 1 x 35 x 18	= 22050	Kg/m

- M & E $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625} \text{ Kg/m}$
- Total beban mati 133525 Kg/m
- Beban Hidup
 - Berat pelat lantai 2 $= 250 \times 980 = 245000 \text{ Kg/m}$
- Berat Struktur
 - Berat sendiri struktur $= 234,5338 \text{ Kg/m}$

$$\begin{aligned} \text{Berat total lantai 2} &= \text{Beban mati} + \text{beban hidup} \times 0,3 + \text{berat sendiri struktur} \\ &= 207259,5338 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

c. Berat Lantai 3

- Beban Mati
 - Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450 \text{ Kg/m}$
 - Penutup lantai keramik $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400 \text{ Kg/m}$
 - Plafon + penggantung $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$
 - M & E $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625} \text{ Kg/m}$
 - Total beban mati 133525 Kg/m
- Beban Hidup
 - Berat pelat lantai 3 $= 250 \times 980 = 245000 \text{ Kg/m}$
- Berat Struktur
 - Berat sendiri struktur $= 224,3694 \text{ Kg/m}$

$$\begin{aligned} \text{Berat total lantai 3} &= \text{Beban mati} + \text{beban hidup} \times 0,3 + \text{berat sendiri struktur} \\ &= 207249,3694 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

d. Berat Lantai 4

- Beban Mati
 - Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450 \text{ Kg/m}$
 - Penutup lantai keramik $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400 \text{ Kg/m}$
 - Plafon + penggantung $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$
 - M & E $= 7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625} \text{ Kg/m}$

- Total beban mati 133525 Kg/m
- Beban Hidup
 - Berat pelat lantai 4 = 250 x 980 = 245000 Kg/m
- Berat Struktur
 - Berat sendiri struktur = 216,3802 Kg/m

Berat total lantai 4 = Beban mati + beban hidup x 0,3 + berat sendiri struktur

$$= 207241,3802 \text{ Kg/m}$$

e. Berat Lantai 5

- Beban Mati
 - Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = 7 x 5 x 1 x 35 x 42 = 51450 Kg/m
 - Penutup lantai keramik = 7 x 5 x 1 x 35 x 24 = 29400 Kg/m
 - Plafon + penggantung = 7 x 5 x 1 x 35 x 18 = 22050 Kg/m
 - M & E = 7 x 5 x 1 x 35 x 25 = 30625 Kg/m
 - Total beban mati 133525 Kg/m
- Beban Hidup
 - Berat pelat lantai 5 = 250 x 560 = 140000 Kg/m
- Berat Struktur
 - Berat sendiri struktur = 185,8215 Kg/m

Berat total lantai 5 = Beban mati + beban hidup x 0,3+ berat sendiri struktur

$$= 175710,8215 \text{ Kg/m}$$

f. Berat Lantai 6

- Beban Mati
 - Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = 7 x 5 x 1 x 35 x 42 = 51450 Kg/m
 - Penutup lantai keramik = 7 x 5 x 1 x 35 x 24 = 29400 Kg/m
 - Plafon + penggantung = 7 x 5 x 1 x 35 x 18 = 22050 Kg/m
 - M & E = 7 x 5 x 1 x 35 x 25 = 30625 Kg/m
 - Total beban mati 133525 Kg/m
- Beban Hidup

- Berat pelat lantai 6 = $250 \times 560 = 140000 \text{ Kg/m}$

- Berat Struktur

- Berat sendiri struktur = $126,5746 \text{ Kg/m}$

Berat total lantai 6 = Beban mati + beban hidup x 0,3 + berat sendiri struktur
 = $175651,5746 \text{ Kg/m}$

g. Berat Lantai 7

- Beban Mati

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450 \text{ Kg/m}$

- Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400 \text{ Kg/m}$

- Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$

- M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625 \text{ Kg/m}}$

- Total beban mati = 133525 Kg/m

- Beban Hidup

- Berat pelat lantai 7 = $250 \times 560 = 140000 \text{ Kg/m}$

- Berat Struktur

- Berat sendiri struktur = $120,9471 \text{ Kg/m}$

Berat total lantai 7 = Beban mati + beban hidup x 0,3 + berat sendiri struktur
 = $175645,9471 \text{ Kg/m}$

h. Berat Lantai 8

- Beban Mati

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 42 = 51450 \text{ Kg/m}$

- Penutup lantai keramik = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 24 = 29400 \text{ Kg/m}$

- Plafon + penggantung = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 18 = 22050 \text{ Kg/m}$

- M & E = $7 \times 5 \times 1 \times 35 \times 25 = \underline{30625 \text{ Kg/m}}$

- Total beban mati = 133525 Kg/m

- Beban Hidup

- Berat pelat lantai 8 = $250 \times 560 = 140000 \text{ Kg/m}$

- Berat Struktur

- Berat sendiri struktur = 122,8575 Kg/m

Berat total lantai 8 = Beban mati + beban hidup x 0,3+ berat sendiri struktur
 = 175647,8575 Kg/m

i. Berat Lantai 9

• Beban Mati

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = 7 x 5 x 1 x 35 x 42 = 51450 Kg/m

- Penutup lantai keramik = 7 x 5 x 1 x 35 x 24 = 29400 Kg/m

- Plafon + penggantung = 7 x 5 x 1 x 35 x 18 = 22050 Kg/m

- M & E = 7 x 5 x 1 x 35 x 25 = 30625 Kg/m

- Total beban mati 133525 Kg/m

• Beban Hidup

- Berat pelat lantai 9 = 250 x 560 = 140000 Kg/m

• Berat Struktur

- Berat sendiri struktur = 148,6359 Kg/m

Berat total lantai 9 = Beban mati + beban hidup x 0,3 + berat sendiri struktur
 = 175673,6359 Kg/m

j. Berat Lantai 10

• Beban Mati

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = 7 x 5 x 1 x 35 x 42 = 51450 Kg/m

- Penutup lantai keramik = 7 x 5 x 1 x 35 x 24 = 29400 Kg/m

- Plafon + penggantung = 7 x 5 x 1 x 35 x 18 = 22050 Kg/m

- M & E = 7 x 5 x 1 x 35 x 25 = 30625 Kg/m

- Total beban mati 133525 Kg/m

• Beban Hidup

- Berat pelat lantai 10 = 100 x 560 = 56000 Kg/m

• Berat Struktur

$$- \text{ Berat sendiri struktur} = 107,286 \text{ Kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total lantai 10} &= \text{Beban mati} + \text{beban hidup} \times 0,3 + \text{berat sendiri struktur} \\ &= 150432,286 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

4.3. Analisis Respon Spektrum Model 1

4.3.1. Model Gedung Dengan SRPMK Pada Situs Tanah Keras

Analisis respon spektrum ini dilakukan dengan metode (*Complete Quadratic Combination*) CQC.

4.3.1.1 Gaya Geser Dasar

Pada dasarnya nilai gaya geser pada gedung yang simetris akibat arah X maupun arah Y tetap sama. Tetapi, Nilai gaya geser yang dihasilkan oleh respon spektrum ETABS sangat teliti sehingga arah X dan arah Y tidak sama walaupun bangunannya simetris. Adapun bangunan yang direncanakan menggunakan struktur rangka pemikul momen khusus dan dinding geser ini memiliki Inersia arah X dan arah Y yang berlainan. Oleh karena itu, hasil perioda yang diperoleh terhadap arah X dan arah Y tidak sama. (Ketentuan ini berlaku pada gedung Setiap Model).

Dari hasil analisis respon spektrum yang menggunakan program ETABS diperoleh nilai gaya geser dasar (V) berdasarkan SNI 1726:2012 yang disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Gaya geser hasil respon spektrum Model 1 *output* Etabs.

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	FX	FY
	kgf	kgf
gempa arah x Max	5717,193	1561,5365

gempa arah y Max	1964,6029	4373,6381
------------------	-----------	-----------

Berikut perhitungan koreksi nilai akhir respon dinamik terhadap respon ragam pertama.

- Gempa Arah X

$$V_{Ix} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Ix} = 0,074 \times 1754,548$$

$$= 129,836 \text{ Kg (Gaya geser statik ekivalen arah X)}$$

- Gempa Arah Y

$$V_{Iy} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Iy} = 0,062 \times 1754,548$$

$$= 108,782 \text{ Kg (Gaya geser statik ekivalen arah Y)}$$

Berdasarkan SNI 1726:2012.

- Arah X

$$V_x = 5717,193 \text{ Kg}$$

$$V_{Ix} = 129,836 \text{ Kg}$$

$$\text{Syarat : } V_x \geq 0,85 V_{Ix}$$

$$5717,193 \geq 0,85 \cdot 129,836$$

$$5717,193 \geq 110,3606 \text{ Kg, Persyaratan terpenuhi.}$$

- Arah Y

$$V_y = 4373,6381 \text{ Kg}$$

$$V_{Iy} = 108,782 \text{ Kg}$$

$$\text{Syarat : } V_y \geq 0,85 V_{Iy}$$

$$4373,6381 \geq 0,85 \cdot 108,782$$

$$4373,6381 \geq 92,4647 \text{ Kg, Persyaratan terpenuhi.}$$

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, 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 respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser V .

Tabel 4.5: Rekapitulasi faktor skala hasil respon spektrum dengan statik ekuivalen masing-masing arah Model 1.

V1 ELF		Vt CQC	
Arah x Kgf	Arah y Kgf	Arah x Kgf	Arah y Kgf
108,782	129,836	5717,193	4373,6381

Karena faktor skala yang didapat untuk masing-masing arah kurang dari 1, gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam respon spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa adanya perkalian dengan faktor skala seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 4.5 di atas, dapat dilihat bahwa hasil perhitungan gaya geser yang dihasilkan dari prosedur analisis spektrum respons ragam dengan metode CQC lebih besar. Selanjutnya jika nilai faktor skala tidak lebih dari 1 maka simpangan antar lantai harus dikalikan dengan persamaan

$$\frac{0,85 C_s W}{V_t}$$

4.3.1.2. Perbandingan Gaya Geser Gedung Tiap Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.3, gaya gempa lateral (F_i) yang timbul disemua tingkat dapat ditentukan oleh:

$$F_i = C_{vx} \cdot V \text{ dan } C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

K = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut.

- Untuk struktur yang memiliki $T \leq 0,5$ detik; $k = 1$
- Untuk struktur yang memiliki $T \geq 2,5$ detik; $k = 2$

Untuk struktur yang memiliki $0,5 < T < 2,5$; k adalah hasil interpolasi berikut cara mendapatkan nilai k .

$$T_x = 1.408$$

$$T_y = 1.174$$

k_x

k_y

$$1 + \frac{(2 - 1)(1.071 - 0.5)}{(2.5 - 0.5)}$$

$$1 + \frac{(2 - 1)(1.064 - 0.5)}{(2.5 - 0.5)}$$

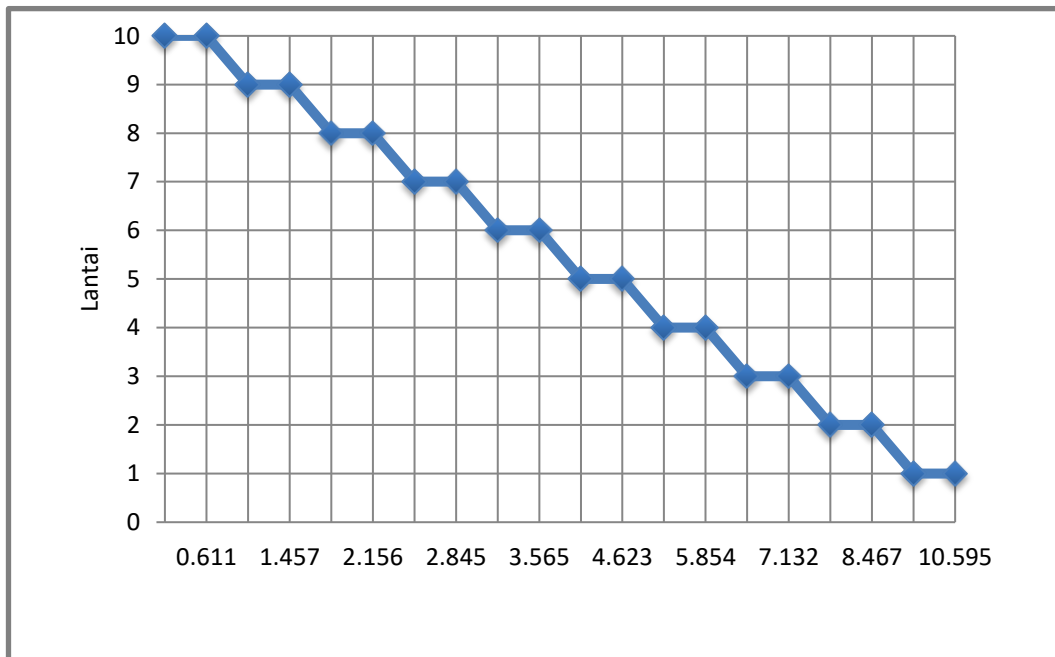
$$= 1.454$$

$$= 1.337$$

Tabel 4.6: Nilai gaya geser arah x pada tiap lantai gedung model 1 statik ekuivalen

TINGKAT	w_i (kn)	h_i (m)	$w_i \cdot h_i^k$	C_{vx}	$F_i = C_{vx} \cdot V$	story shear V_x
10	10,525	3.5	56,186	0.058	0,611	0,611
9	14,581	3.5	77,842	0.080	0,846	1,457
8	12,052	3.5	64,341	0.066	0,699	2,156
7	11,865	3.5	63,341	0.065	0,688	2,845
6	12,417	3.5	66,288	0.068	0,720	3,565

5	18,229	3.5	97,316	0.100	1,058	4,623
4	21,227	3.5	113,320	0.116	1,232	5,854
3	22,011	3.5	117,504	0.121	1,277	7,132
2	23,008	3.5	122,827	0.126	1,335	8,467
1	26,207	4,5	195,774	0.201	2,128	10,595
JUMLAH	172,121		974,739	1.000	10,595	

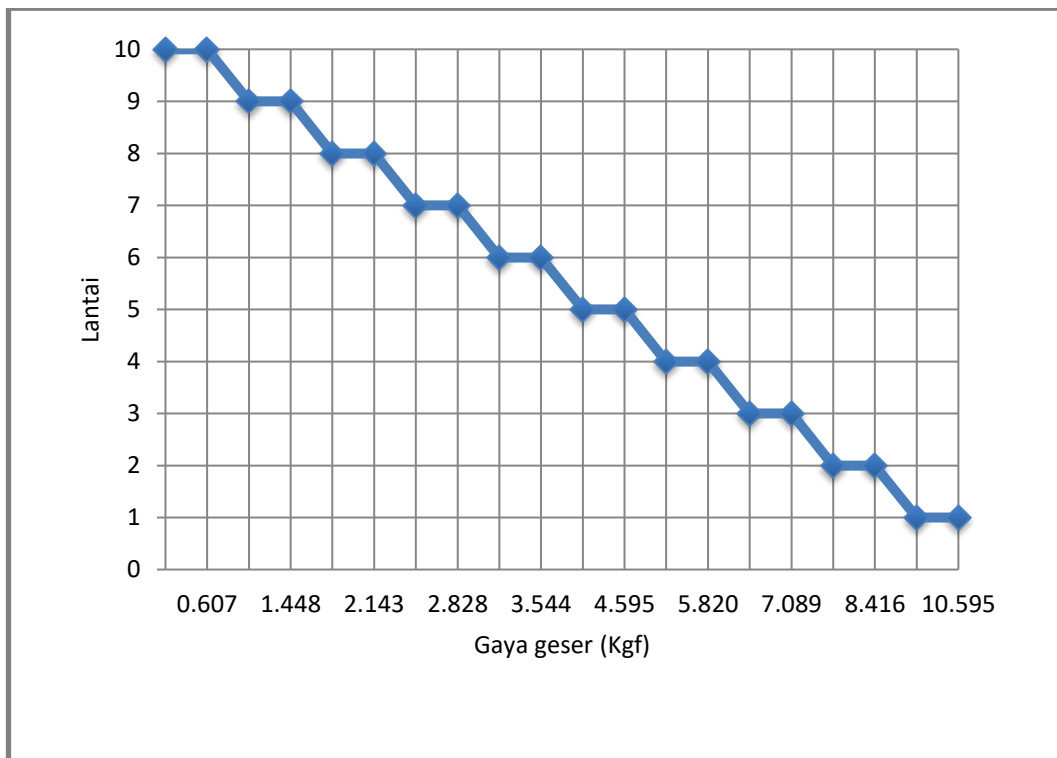


Gambar 4.1: Diagram gaya geser statik ekivalen Arah x terhadap ketinggian struktur gedung (SNI 1726-2012).

Tabel 4.7: Nilai gaya geser arah y pada tiap lantai gedung model 1 statik ekivalen

TINGKAT	wi (kn)	hi (m)	wi.hi ^k	Cvx	Fi = Cvx . V	story shear Vx
10	10,525	3.5	65,056	0.057	0,607	0,607
9	14,581	3.5	90,130	0.079	0,841	1,448
8	12,052	3.5	74,498	0.066	0,695	2,143
7	11,865	3.5	73,340	0.065	0,684	2,828

6	12,417	3.5	76,752	0.068	0,716	3,544
5	18,229	3.5	112,678	0.099	1,051	4,595
4	21,227	3.5	131,208	0.116	1,224	5,820
3	22,011	3.5	136,053	0.120	1,270	7,089
2	23,008	3.5	142,216	0.125	1,327	8,416
1	26,207	4,5	233,443	0.206	2,178	10,595
JUMLAH	172,121		1135,375	1.000	10,595	



Gambar 4.2: Diagram gaya geser statik ekuivalen arah y terhadap ketinggian struktur gedung (SNI 1726-2012).

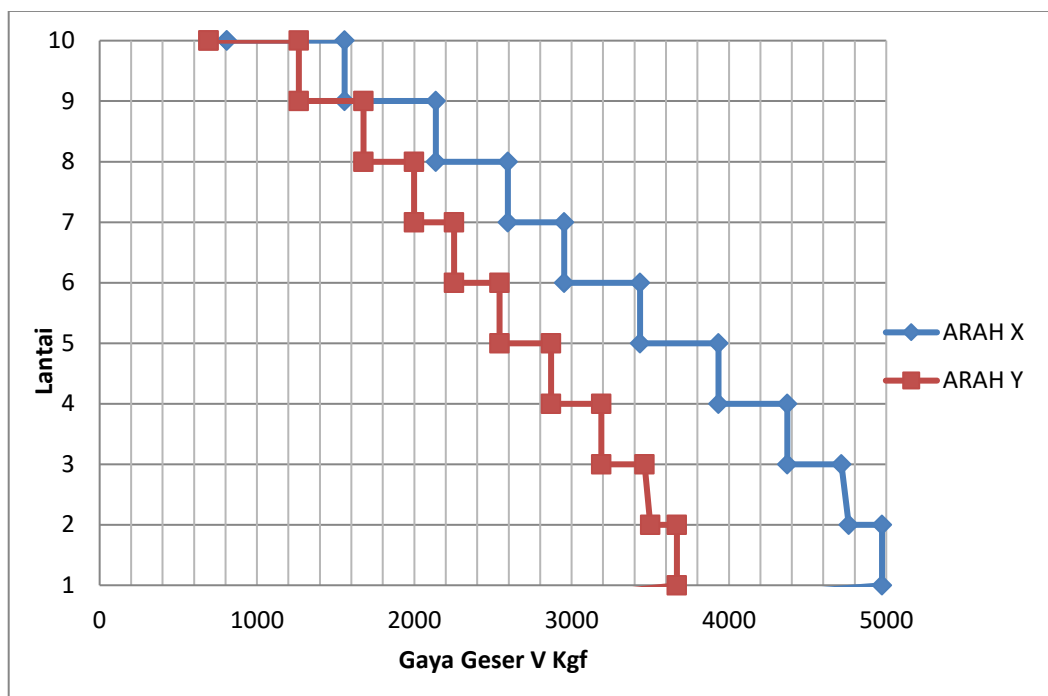
Tabel 4.8: Output etabs tabel gaya geser respon spektrum sumbu x dan y.

TABLE: Story Shear Tanah Keras				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		kgf	kgf
Story10	36	Top	808,83	692,76

	36	Bottom	808,83	692,76
Story9	32,5	Top	1556,7	1267
	32,5	Bottom	1556,7	1267
Story8	29	Top	2136,2	1677,7
	29	Bottom	2136,2	1677,7
Story7	25,5	Top	2594,7	1998,7
	25,5	Bottom	2594,7	1998,7

Tabel 4.8: *Lanjutan.*

Story6	22	Top	2952,2	2252,8
	22	Bottom	2952,2	2252,8
Story5	18,5	Top	3436	2541,3
	18,5	Bottom	3436	2541,3
Story4	15	Top	3933,3	2870
	15	Bottom	3933,3	2870
Story3	11,5	Top	4370,7	3188,6
	11,5	Bottom	4370,7	3188,6
Story2	8	Top	4715,2	3464
	8	Bottom	4761,3	3500,8
Story1	4,5	Top	4973,3	3669,4
	4,5	Bottom	4973,3	3669,4
Base	0	Top	0	0
	0	Bottom	0	0



Gambar 4.3: Diagram gaya geser respon spektrum arah x dan y Model 1 terhadap ketinggian struktur gedung (SNI 1726:2012).

4.4 Nilai Simpangan Gedung

4.4.1 Nilai Simpangan Gedung Model 1

Sesuai dengan penjelasan pada bab 2 Simpangan antar lantai pada SNI 1726:2012 hanya menggunakan kinerja batas ultimit. Berikut ini adalah Tabel 4.8 menjelaskan simpangan antar lantai gedung hasil respon spektrum *output* ETABS

Tabel 4.9: Nilai simpangan gedung model 1.

Tingkat	h (m)	Total Drift		Simpangan Antar Tingkat		$(\delta_i * Cd)/I_e$		Syarat
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	$0,02 * h_{sx}/\rho$ (m)
10	3,5	0,062	0,072	0,003	0,003	0,0144	0,0164	0,054
9	3,5	0,060	0,069	0,004	0,004	0,0227	0,0230	0,054
8	3,5	0,056	0,065	0,006	0,006	0,0317	0,0310	0,054
7	3,5	0,050	0,060	0,007	0,007	0,0381	0,0382	0,054
6	3,5	0,043	0,053	0,007	0,008	0,0388	0,0444	0,054
5	3,5	0,036	0,045	0,006	0,009	0,0353	0,0494	0,054
4	3,5	0,029	0,036	0,007	0,010	0,0395	0,0535	0,054

Tabel 4.9: *Lanjutan.*

3	3,5	0,022	0,026	0,008	0,010	0,0430	0,0549	0,054
2	3,5	0,014	0,016	0,008	0,009	0,0431	0,0506	0,054
1	4,5	0,007	0,007	0,007	0,007	0,0365	0,0369	0,069

Nilai simpangan yang diperbesar di dapat berdasarkan rumus :

$$\text{Story drift} = \frac{\delta_i x Cd}{I_e}$$

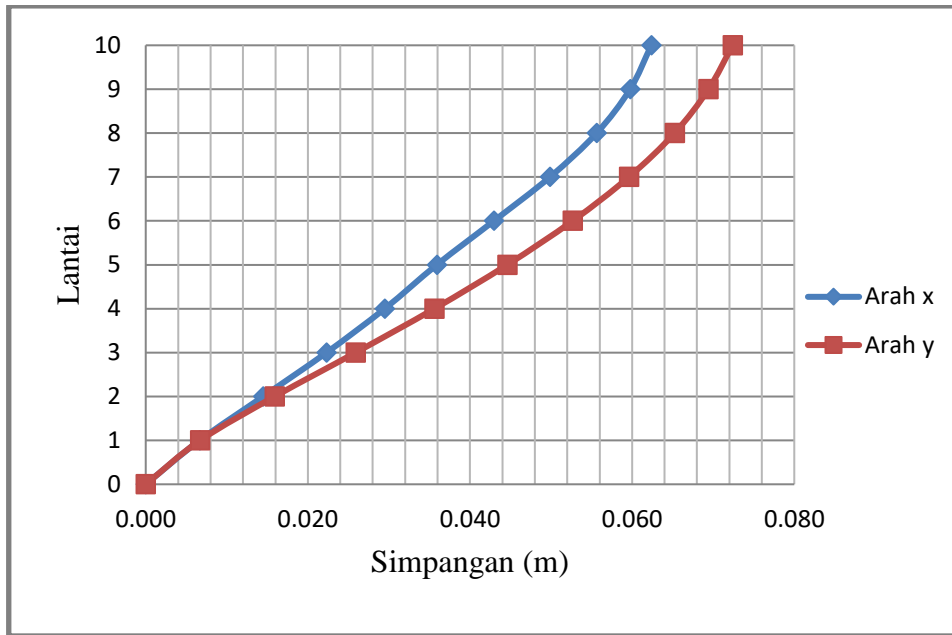
Keterangan :

δ_i = Simpangan antar tingkat

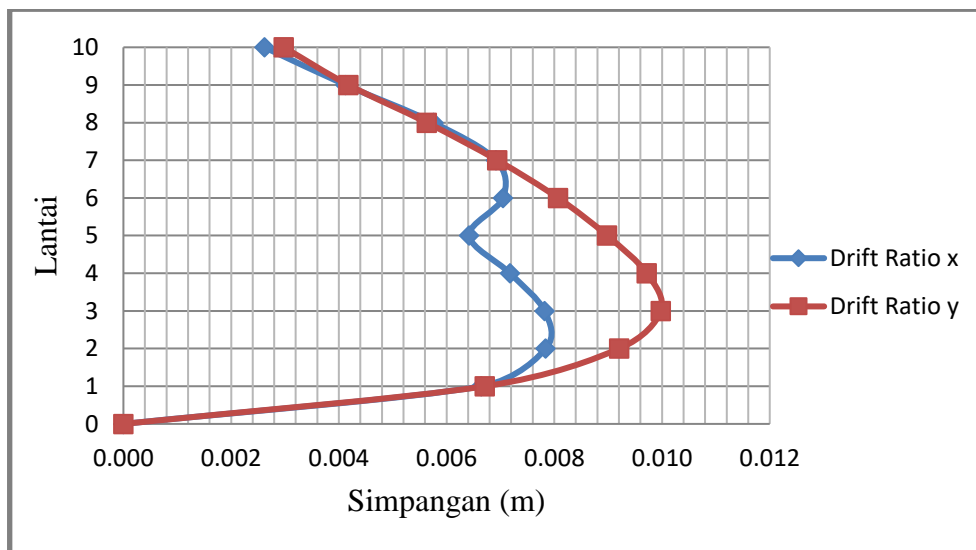
Cd = Faktor pembesaran defleksi

I_e = Faktor keutamaan gedung

Berikut ini disajikan diagram simpangan terhadap ketinggian gedung berdasarkan SNI 03-1726-2012.



Gambar 4.4: Diagram total simpangan terhadap ketinggian gedung



Gambar 4.5 Diagram *drift ratio* antar tingkat terhadap ketinggian gedung.

Pada Gambar 4.4 diatas dapat dilihat besarnya drift ratio yang terjadi akibat beban gempa dari respon spektrum. Besar simpangan arah sumbu x dan y adalah hampir sama tetapi terdapat lonjakan drift antar tingkat yang terlihat pada lantai ke 5 yang merupakan daerah transisi dari struktur gedung beraturan ke struktur gedung yang memiliki coakan vertikal, hal ini terjadi karena bentuk gedung yang

tidak simetris merupakan struktur gedung yang tidak beraturan. Arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur sub sistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. Pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pembebanan, tetapi dengan efektifitas 30%.

4.5. Kekakuan Tingkat Model 1

4.5.1. Nilai Kekakuan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y Model 1

Kekakuan tingkat diperhitungkan agar pada bangunan yang direncanakan tidak mengalami *Soft storey* (kekakuan tingkat lunak). Adapun perhitungan kekakuan tingkat dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Tabel 4.13.

Tabel 4.10: Output nilai kekakuan antar tingkat arah x dan arah y model 1

Story	Load Case	Stiffness X	Load Case	
		kgf/m		kgf/m
Story10	gempa arah x	232928,622	gempa arah y	186051,888
Story9	gempa arah x	354162,184	gempa arah y	302385,401
Story8	gempa arah x	382053,096	gempa arah y	329143,405
Story7	gempa arah x	414917,87	gempa arah y	337474,908
Story6	gempa arah x	493488,108	gempa arah y	369013,031
Story5	gempa arah x	648339,405	gempa arah y	445643,127
Story4	gempa arah x	670736,378	gempa arah y	471410,778
Story3	gempa arah x	702739,058	gempa arah y	508299,127
Story2	gempa arah x	756789,598	gempa arah y	585826,631
Story1	gempa arah x	920595,499	gempa arah y	838162,365

Tabel 4.11: Distribusi kekakuan tingkat pada arah X pada gedung Model 1.

Tingkat	Tinggi	Kekakuan Total X	Ki/Ki*100	Rata-Rata Kekakuan	Ki/Kr
	tingkat (cm)	Arah X	%	3 tingkat (Kr)	%
10	3600	232928,622			
9	3250	354162,184		383711,05	
8	2900	382053,096	93	430153,0247	99,6
7	2550	414917,87	92	518915,1277	96,5
6	2200	493488,108	84	604187,9637	95,1
5	1850	648339,405	76	673938,2803	107
4	1500	670736,378	97	710088,3447	99,5
3	1150	702739,058	95	793374,7183	99
2	800	756789,598	93		95,4
1	450	920595,499	82		116

Tabel 4.12: Distribusi kekakuan tingkat pada arah Y pada gedung Model 1.

Tingkat	Tinggi	Kekakuan Total Y	Ki/Ki*100	Rata-Rata Kekakuan	Ki/Kr
	tingkat (cm)	Arah Y	%	3 tingkat (Kr)	%
10	3600	186051,888			
9	3250	302385,401		323001,238	
8	2900	329143,405	92	345210,448	102
7	2550	337474,908	98	384043,6887	97,8
6	2200	369013,031	91	428688,9787	96,1
5	1850	445643,127	83	475117,6773	104
4	1500	471410,778	95	521845,512	99,2
3	1150	508299,127	93	644096,041	97,4
2	800	585826,631	87		91
1	450	838162,365	70		130

Dari hasil perhitungan kekakuan tingkat arah X dan juga arah Y yang terdapat pada Tabel 4.12-4.13 menunjukkan tingkat ke-1 sebesar 70% dari kekakuan tingkat ke-2 dan hal ini memenuhi syarat minimum yaitu 70%, terhadap syarat kedua yaitu syarat 80% juga terpenuhi karena kekakuan tingkat ke-2 sebesar 87% dari rata-rata kekakuan 3 tingkat di atasnya. Maka dengan demikian dapat dikatakan gedung yang direncanakan pada Model 1 tidak mengalami *soft storey* karena kekakuan lateralnya $> 70\%$ kekakuan lateral tingkat di atasnya, atau $> 80\%$ kekakuan lateral rata-rata 3-tingkat di atasnya.

4.6. Analisis Respon Spektrum Model 2

4.6.1. Model Gedung Dengan SRPMK Pada Situs Tanah Sedang

Analisis respon spektrum ini dilakukan dengan metode SRSS (*Square Root of the sum of squares*) untuk sumbu ux dan sumbu uy.

4.6.1.1. Gaya geser Dasar

Dari hasil analisis respon spektrum yang menggunakan program ETABS diperoleh nilai gaya geser dasar (*V*) berdasarkan SNI 1726:2012 yang disajikan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.13: Gaya geser hasil respon spektrum Model 2 *output* Etabs.

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	FX	FY
	kgf	Kgf
gempa arah x Max	6366,7131	1708,7387
gempa arah y Max	2166,0107	4842,4728

Berikut perhitungan koreksi nilai akhir respon dinamik terhadap respon ragam pertama.

- Gempa Arah X

$$V_{Ix} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Ix} = 0,083 \times 1754,548$$

$$= 145,627 \text{ Kg (Gaya geser statik ekuivalen arah X)}$$

- Gempa Arah Y

$$V_{Iy} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Iy} = 0,069 \times 1754,548$$

$$= 121,064 \text{ Kg (Gaya geser statik ekuivalen arah Y)}$$

Berdasarkan SNI 1726:2012.

- Arah X

$$V_x = 6366,7131 \text{ Kg}$$

$$V_{Ix} = 145,627 \text{ Kg}$$

$$\text{Syarat : } V_x \geq 0,85 V_{Ix}$$

$$6366,7131 \geq 0,85 \cdot 145,627$$

$$6366,7131 \geq 123,783 \text{ Kg, Persyaratan terpenuhi.}$$

- Arah Y

$$V_y = 4842,4728 \text{ Kg}$$

$$V_{Iy} = 121,064 \text{ Kg}$$

$$\text{Syarat : } V_y \geq 0,85 V_{Iy}$$

$$4842,4728 \geq 0,85 \cdot 121,064$$

$$4842,4728 \geq 102,9044 \text{ Kg, Persyaratan terpenuhi.}$$

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, 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 respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser V .

Tabel 4.14: Rekapitulasi faktor skala hasil respon spektrum dengan statik ekuivalen masing-masing arah Model 2.

V1 ELF		Vt CQC	
Arah x Kgf	Arah y Kgf	Arah x Kgf	Arah y Kgf
145,627	121,064	6366,7131	4842,4728

Karena faktor skala yang didapat untuk masing-masing arah kurang dari 1, gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam respon spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa adanya perkalian dengan faktor skala seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 4.5 di atas, dapat dilihat bahwa hasil perhitungan gaya geser yang dihasilkan dari prosedur analisis spektrum respons ragam dengan metode CQC lebih besar. Selanjutnya jika nilai faktor skala tidak lebih dari 1 maka simpangan antar lantai harus dikalikan dengan persamaan

$$\frac{0,85 C_s}{V_t}$$

4.6.1.2. Perbandingan Gaya Geser Gedung Tiap Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.3, gaya gempa lateral (F_i) yang timbul disemua tingkat dapat ditentukan oleh:

$$F_i = C_{vx} \cdot V \text{ dan } C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

K = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut.

- Untuk struktur yang memiliki $T \leq 0,5$ detik; $k = 1$
- Untuk struktur yang memiliki $T \geq 2,5$ detik; $k = 2$

Untuk struktur yang memiliki $0,5 < T < 2,5$; k adalah hasil interpolasi berikut cara mendapatkan nilai k

$$T_x = 1.198$$

$$T_y = 1.439$$

$$k_x \qquad \qquad \qquad k_y$$

$$\frac{1 + (2-1)}{(2.5-0.5)} (1,198-0.5) \qquad \qquad \frac{1 + (2-1)}{(2.5-0.5)} (1.439-0.5)$$

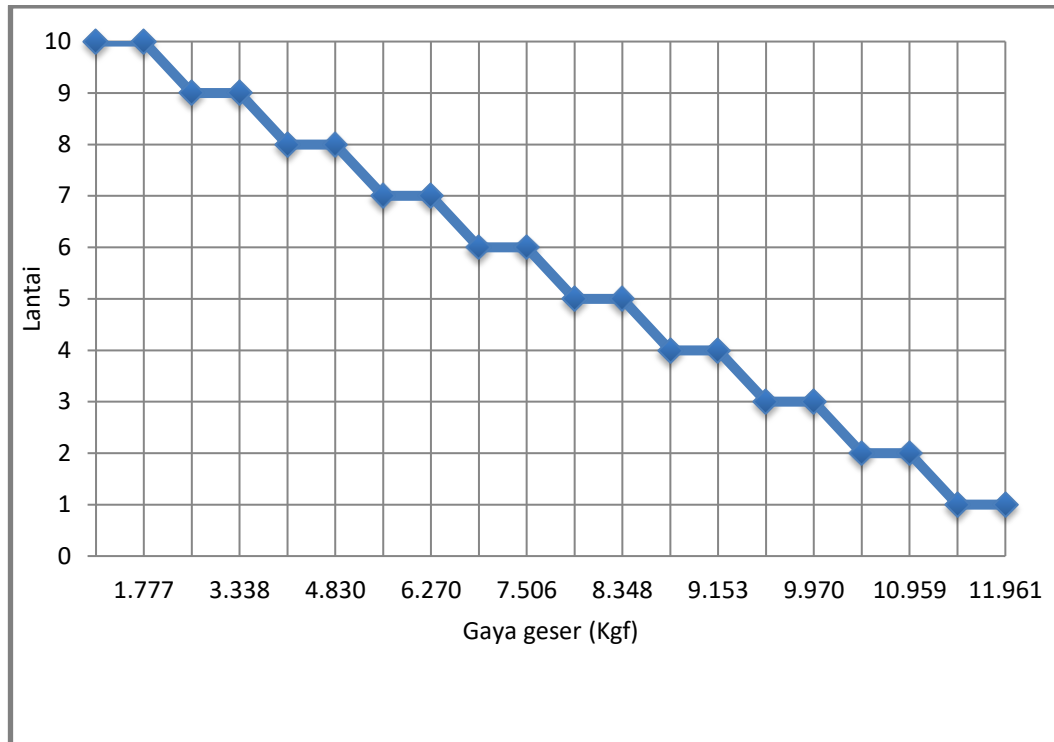
$$= \qquad \qquad 1.349 \qquad \qquad = \qquad \qquad 1.470$$

Tabel 4.15: Nilai gaya geser arah x pada tiap lantai gedung model 2 statik ekuivalen.

TINGKAT	wi (kn)	hi (m)	wi.hi ^k	Cvx	Fi = Cvx . V	story shear Vx
10	26,207	3.5	142,023	0.149	1,777	1,777
9	23,008	3.5	124,687	0.130	1,560	3,338
8	22,011	3.5	119,284	0.125	1,493	4,830
7	21,227	3.5	115,036	0.120	1,440	6,270
6	18,229	3.5	98,790	0.103	1,236	7,506
5	12,417	3.5	67,292	0.070	0,842	8,348

Tabel 4.15: Lanjutan.

4	11,865	3.5	64,300	0.067	0,805	9,153
3	12,052	3.5	65,316	0.068	0,817	9,970
2	14,581	3.5	79,021	0.083	0,989	10,959
1	10,525	4.5	80,056	0.084	1,002	11,961
JUMLAH	172,121		955,805	1.000	11,961	

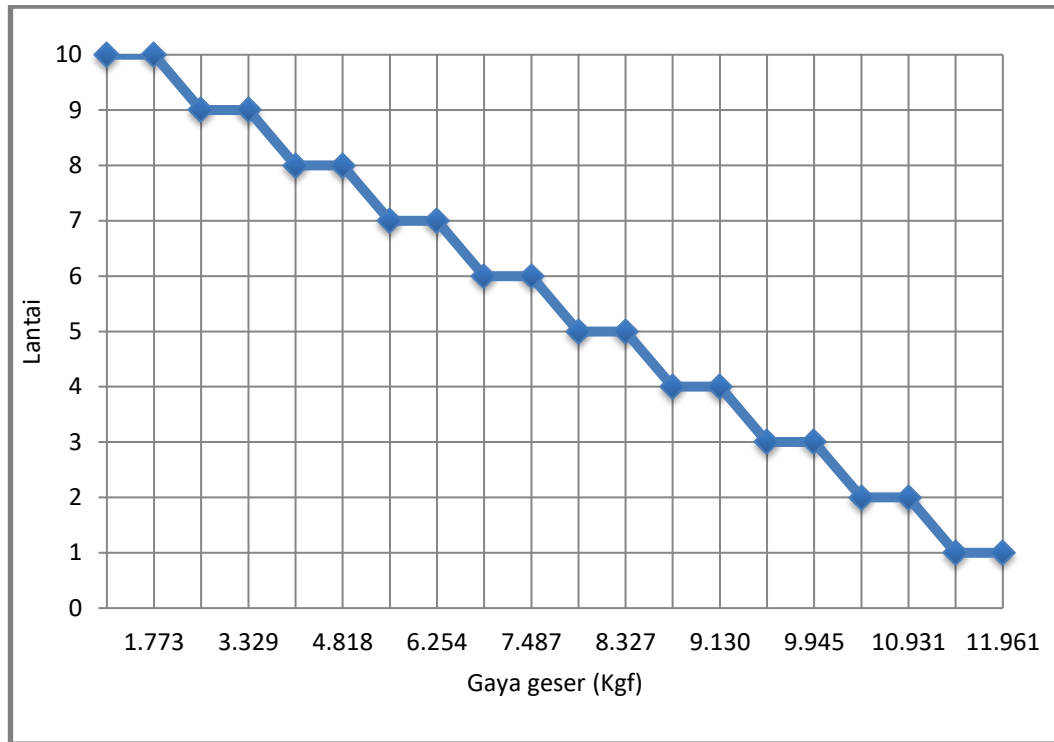


Gambar 4.6: Diagram gaya geser statik ekivalen arah x terhadap ketinggian struktur gedung (SNI 1726-2012).

Tabel 4.16: Nilai gaya geser arah y pada tiap lantai gedung model 2 statik ekivalen.

TINGKAT	w_i (kn)	h_i (m)	$w_i \cdot h_i^k$	C_{vx}	$F_i = C_{vx} \cdot V$	story shear V_x
10	26,207	3.5	165,165	0.148	1,773	1,773
9	23,008	3.5	145,005	0,130	1,556	3,329
8	22,011	3.5	138,720	0.124	1,489	4,818
7	21,227	3.5	133,781	0.120	1,436	6,254
6	18,229	3.5	114,888	0.103	1,233	7,487
5	12,417	3.5	78,257	0.070	0,840	8,327
4	11,865	3.5	74,778	0.067	0,803	9,130
3	12,052	3.5	75,959	0.068	0,815	9,945
2	14,581	3.5	91,897	0.082	0,986	10,931
1	10,525	4,5	95,964	0.086	1,030	11,961

JUMLAH	17,121		1114,414	1.000	11,961	
--------	--------	--	----------	-------	--------	--

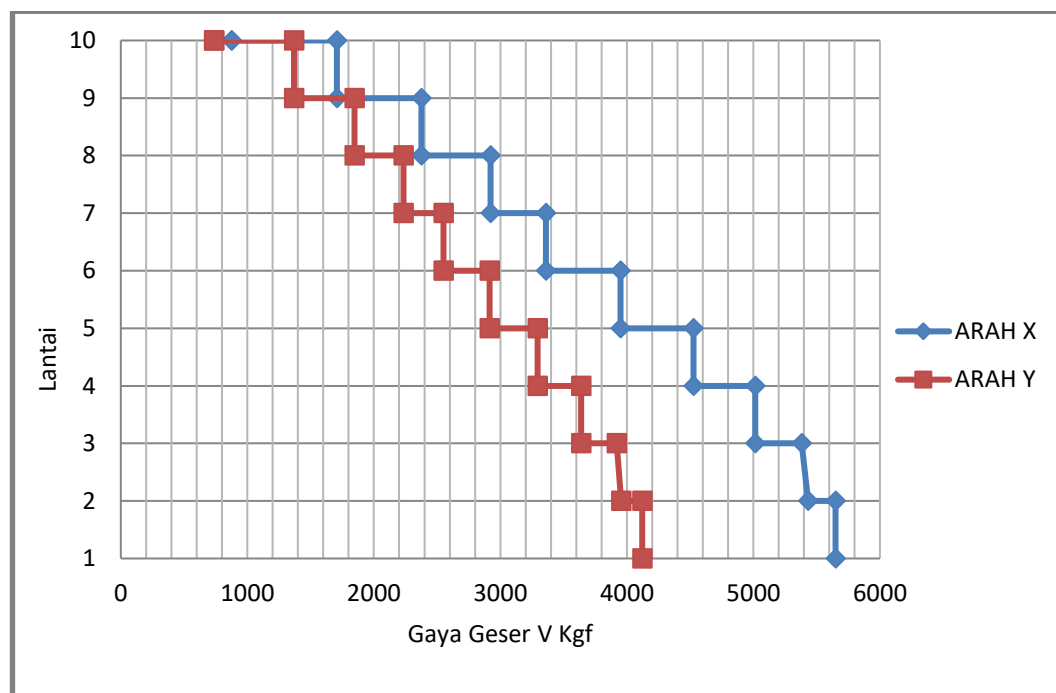


Gambar 4.7: Diagram gaya geser statik ekivalen arah y terhadap ketinggian struktur gedung (SNI 1726-2012).

Tabel 4.17: Output etabs gaya geser respon spektrum sumbu x dan y.

TABLE: Story Shear Tanah Keras				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		kgf	kgf
Story10	36	Top	874,89742	735,460663
	36	Bottom	874,89742	735,460663
Story9	32,5	Top	1707,60129	1369,17130
	32,5	Bottom	1707,60129	1369,17130
Story8	29	Top	2376,86231	1846,44529
	29	Bottom	2376,86231	1846,44529
Story7	25,5	Top	2922,55896	2234,36155

	25,5	Bottom	2922,55896	2234,36155
Story6	22	Top	3359,61616	2551,10067
	22	Bottom	3359,61616	2551,10067
Story5	18,5	Top	3948,82123	2914,10186
	18,5	Bottom	3948,82123	2914,10186
Story4	15	Top	4525,84590	3293,23406
	15	Bottom	4525,84590	3293,23406
Story3	11,5	Top	5014,10503	3637,39894
	11,5	Bottom	5014,10503	3637,39894
Story2	8	Top	5382,57365	3918,49272
	8	Bottom	5382,57365	3955,09514
Story1	4,5	Top	5430,78701	4120,99673
	4,5	Bottom	5649,05926	4120,99673
Base	0	Top	0	0
	0	Bottom	0	0



Gambar 4.8: Diagram gaya geser respon spektrum arah x dan y Model 2 terhadap ketinggian struktur gedung (SNI 1726:2012).

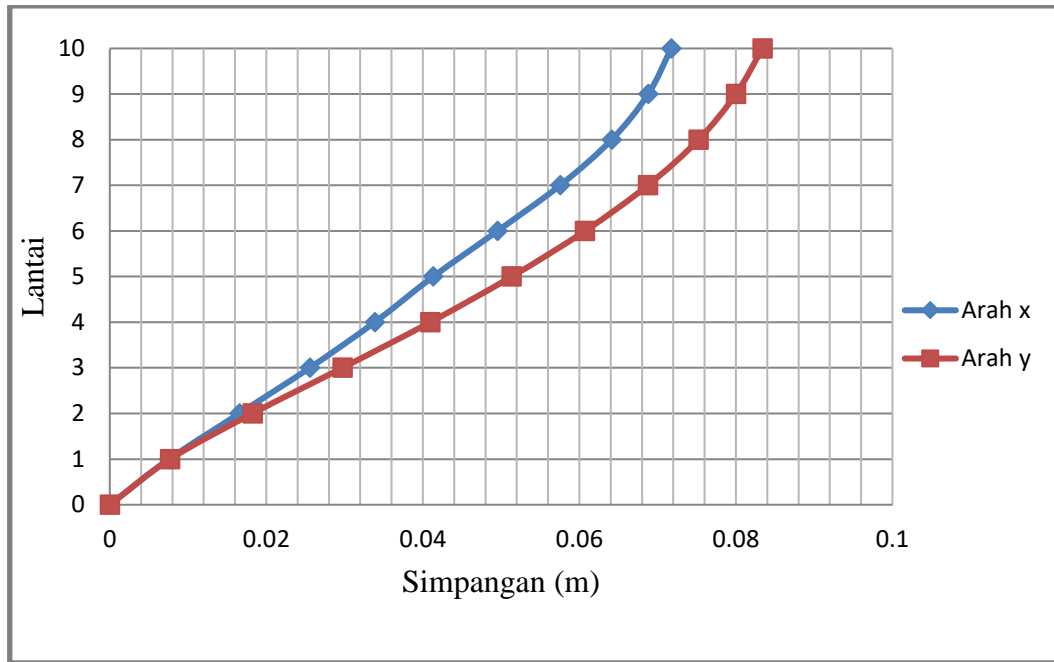
4.7. Nilai Simpangan Gedung

4.7.1. Nilai Simpangan Gedung Model 2

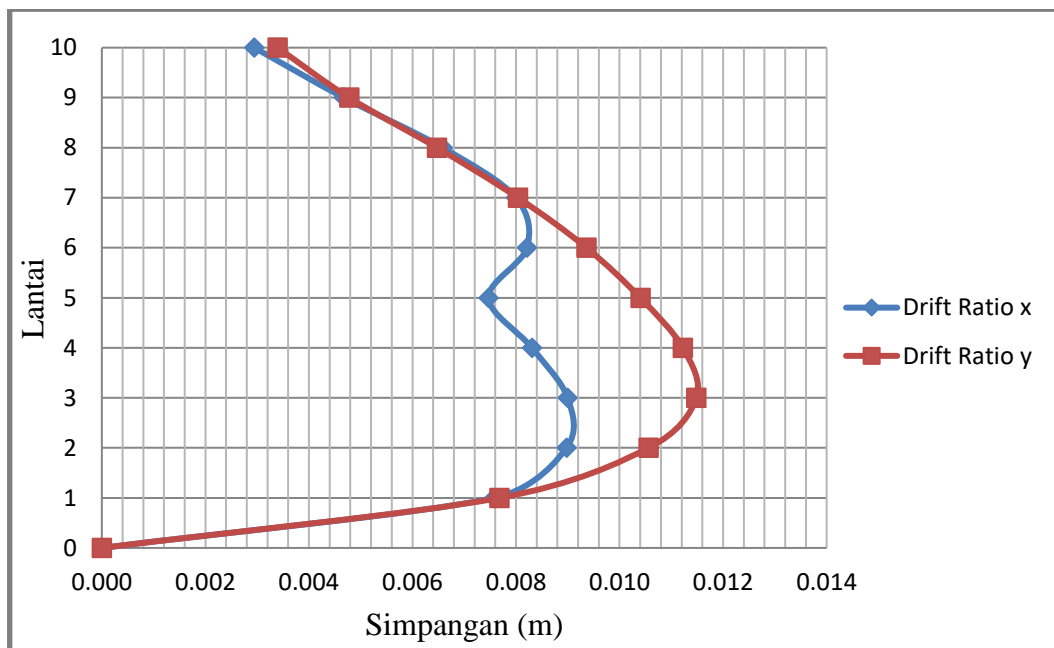
Tabel 4.18: Nilai simpangan gedung model 2.

Tingkat	h (m)	Total Drift		Simpangan Antar Tingkat		$(\delta_i \cdot C_d) / I_e$		Syarat $0,02 \cdot h_{sx} / \rho$ (m)
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	
10	3,5	0,07174	0,0834	0,003	0,003	0,0162	0,0187	0,054
9	3,5	0,06879	0,08	0,005	0,005	0,0257	0,0263	0,054
8	3,5	0,06412	0,07522	0,007	0,006	0,0362	0,0356	0,054
7	3,5	0,05754	0,06875	0,008	0,008	0,0440	0,0442	0,054
6	3,5	0,04954	0,06071	0,008	0,009	0,0452	0,0515	0,054
5	3,5	0,04133	0,05135	0,007	0,010	0,0411	0,0572	0,054
4	3,5	0,03386	0,04095	0,008	0,011	0,0457	0,0617	0,054
3	3,5	0,02555	0,02972	0,009	0,011	0,0495	0,0632	0,054
2	3,5	0,01655	0,01824	0,009	0,011	0,0494	0,0581	0,054
1	4,5	0,00758	0,00768	0,008	0,008	0,0417	0,0422	0,069
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Berikut ini disajikan diagram simpangan terhadap ketinggian gedung berdasarkan SNI 03-1726-2012.



Gambar 4.9: Grafik total simpangan terhadap ketinggian gedung.



Gambar 4.10: Grafik *drift ratio* antar tingkat terhadap ketinggian gedung.

Pada Gambar 4.10 diatas dapat dilihat besarnya drift ratio yang terjadi akibat beban gempa dari respon spektrum. Besar simpangan arah sumbu x dan y adalah hampir sama tetapi terdapat lonjakan drift antar tingkat yang terlihat pada lantai ke 5 yang merupakan daerah transisi dari struktur gedung beraturan ke struktur

gedung yang memiliki coakan vertikal , hal ini terjadi karena bentuk gedung yang tidak simetris merupakan struktur gedung yang tidak beraturan. Arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur sub sistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. Pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pembebanan, tetapi dengan efektifitas 30%.

4.8. Kekauan Tingkat Model 2

4.8.1. Nilai Kekuan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y Model 2.

Tabel 4.19: Output nilai kekakuan antar tingkat arah x dan arah y model 2.

Story	Load Case	Stiffness X	Load Case	Stiffness Y
		kgf/m		kgf/m
Story10	gempa arah x	217096,569	gempa arah y	171187,654
Story9	gempa arah x	334689,318	gempa arah y	283046,335
Story8	gempa arah x	363356,514	gempa arah y	307150,856
Story7	gempa arah x	396063,875	gempa arah y	318521,62
Story6	gempa arah x	471377,986	gempa arah y	348266,889
Story5	gempa arah x	619910,421	gempa arah y	423508,002
Story4	gempa arah x	643369,481	gempa arah y	449719,448
Story3	gempa arah x	675890,135	gempa arah y	485615,634
Story2	gempa arah x	729280,251	gempa arah y	561937,884
Story1	gempa arah x	897130,89	gempa arah y	810407,7

Tabel 4.20: Distribusi kekakuan tingkat pada arah X pada gedung Model 2.

Tingkat	Tinggi	Kekakuan Total X	Ki/Ki*100	Rata-Rata Kekakuan	Ki/Kr
	tingkat	Arah X	%	3 tingkat	%

	(cm)			(Kr)	
10	3950	217096,569			
9	3600	334689,318		364703,2357	
8	3200	363356,514	92,1	410266,125	99,6
7	2800	396063,875	91,7	495784,094	96,5
6	2400	471377,986	84	578219,296	95,1
5	2000	619910,421	76	646390,0123	107,2
4	1600	643369,481	96,4	682846,6223	99,5
3	1200	675890,135	95,2	767433,7587	99
2	800	729280,251	92,7		95
1	400	897130,89	81,3		116,9

Tabel 4.21: Distribusi kekakuan tingkat pada arah Y pada gedung Model 2.

Tingkat	Tinggi	Kekakuan Total Y	Ki/Ki*100	Rata-Rata Kekakuan	Ki/Kr
	tingkat (cm)	Arah Y	%	3 tingkat (Kr)	%
10	3950	171187,654			
9	3600	283046,335		302906,2703	
8	3200	307150,856	92,2	324646,455	101,4
7	2800	318521,62	96,4	363432,1703	98,1
6	2400	1348266,889	91,5	407164,7797	95,8
5	2000	423508,002	82,2	452947,6947	104
4	1600	449719,448	94,2	499090,9887	99,3
3	1200	485615,634	92,6	619320,406	97,3
2	800	561937,884	86,4		90,7
1	400	810407,7	69,3		130,9

Dari hasil perhitungan kekakuan tingkat arah X dan juga arah Y yang terdapat pada Tabel 4.21-4.22 menunjukkan tingkat ke-1 sebesar 81,3% dari kekakuan tingkat ke-2 dan hal ini memenuhi syarat minimum yaitu 70%, terhadap syarat

kedua yaitu syarat 80% juga terpenuhi karena kekakuan tingkat ke-2 sebesar 92,7% dari rata-rata kekakuan 3 tingkat di atasnya. Maka dengan demikian dapat dikatakan gedung yang direncanakan pada Model 2 tidak mengalami *soft storey* karena kekakuan lateralnya > 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya, atau > 80 % kekakuan lateral rata-rata 3-tingkat di atasnya.

4.9. Analisis Respon Spektrum Model 3

4.9.1. Model Gedung Dengan SRPMK Pada Kelas Situs Tanah Lunak

Analisis respon spektrum ini dilakukan dengan metode SRSS (*Square Root of the sum of squares*) untuk sumbu ux dan sumbu uy.

4.9.1.1. Gaya Geser Dasar

Dari hasil analisis respon spektrum yang menggunakan program ETABS diperoleh nilai gaya geser dasar (*V*) berdasarkan SNI 1726:2012 yang disajikan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22: Gaya geser hasil respon spektrum Model 3 *output* Etabs.

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	FX	FY
	kgf	kgf
gempa arah x Max	9676,9359	2417,2665
gempa arah y Max	3149,2905	7236,3992

Berikut perhitungan koreksi nilai akhir respon dinamik terhadap respon ragam pertama.

- Gempa Arah X

$$V_{Ix} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Ix} = 0,132 \times 1754,548$$

$$= 231,6 \text{ Kg (Gaya geser statik ekivalen arah X)}$$

- Gempa Arah Y

$$V_{Iy} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Iy} = 0,110 \times 1754,548$$

$$= 193 \text{ Kg (Gaya geser statik ekivalen arah Y)}$$

Berdasarkan SNI 1726:2012.

- Arah X

$$V_x = 9676,9359 \text{ Kg}$$

$$V_{Ix} = 231,6 \text{ Kg}$$

$$\text{Syarat : } V_x \geq 0,85 V_{Ix}$$

$$9676,9359 \geq 0,85 \cdot 231,6$$

$$9676,9359 \geq 196,86 \text{ Kg, Persyaratan terpenuhi.}$$

- Arah Y

$$V_y = 7236,3992 \text{ Kg}$$

$$V_{Iy} = 193 \text{ Kg}$$

$$\text{Syarat : } V_y \geq 0,85 V_{Iy}$$

$$7236,3992 \geq 0,85 \cdot 193$$

$$7236,3992 \geq 164,05 \text{ Kg, Persyaratan terpenuhi.}$$

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, 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 respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser V .

Tabel 4.23: Rekapitulasi faktor skala hasil respon spektrum dengan statik ekivalen masing-masing arah Model 3.

V1 ELF		Vt CQC	
Arah x Kgf	Arah y Kgf	Arah x Kgf	Arah y Kgf
231,6	193	9676,9359	7236,3992

Karena faktor skala yang didapat untuk masing-masing arah kurang dari 1, gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam respon spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa adanya perkalian dengan faktor skala seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 4.5 di atas, dapat dilihat bahwa hasil perhitungan gaya geser yang dihasilkan dari prosedur analisis spektrum respons ragam dengan metode CQC lebih besar. Selanjutnya jika nilai faktor skala tidak lebih dari 1 maka simpangan antar lantai harus dikalikan dengan persamaan

$$\frac{0,85 C_s}{V_t}$$

4.9.1.2. Perbandingan Gaya Geser Gedung Tiap Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.3, gaya gempa lateral (F_i) yang timbul disemua tingkat dapat ditentukan oleh:

$$F_i = C_{vx} \cdot V \text{ dan } C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

K = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut.

- Untuk struktur yang memiliki $T \leq 0,5$ detik; $k = 1$
- Untuk struktur yang memiliki $T \geq 2,5$ detik; $k = 2$

Untuk struktur yang memiliki $0,5 < T < 2,5$; k adalah hasil interpolasi berikut cara mendapatkan nilai

$$T_x = 1.208$$

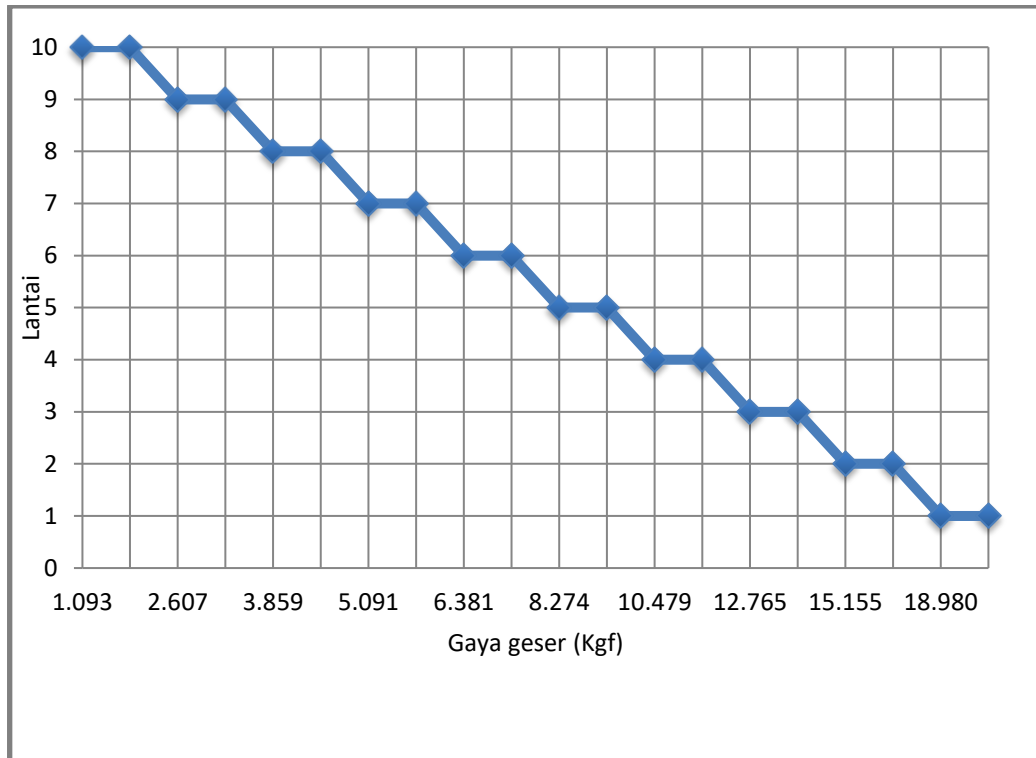
$$T_y = 1.451$$

$$k_x = \frac{1 + (2-1)(1.208-0.5)}{(2.5-0.5)} = 1,354$$

$$k_y = \frac{1 + (2-1)(1.451-0.5)}{(2.5-0.5)} = 1.476$$

Tabel 4.24: Nilai gaya geser arah x pada tiap lantai gedung model 3 statik ekuivalen.

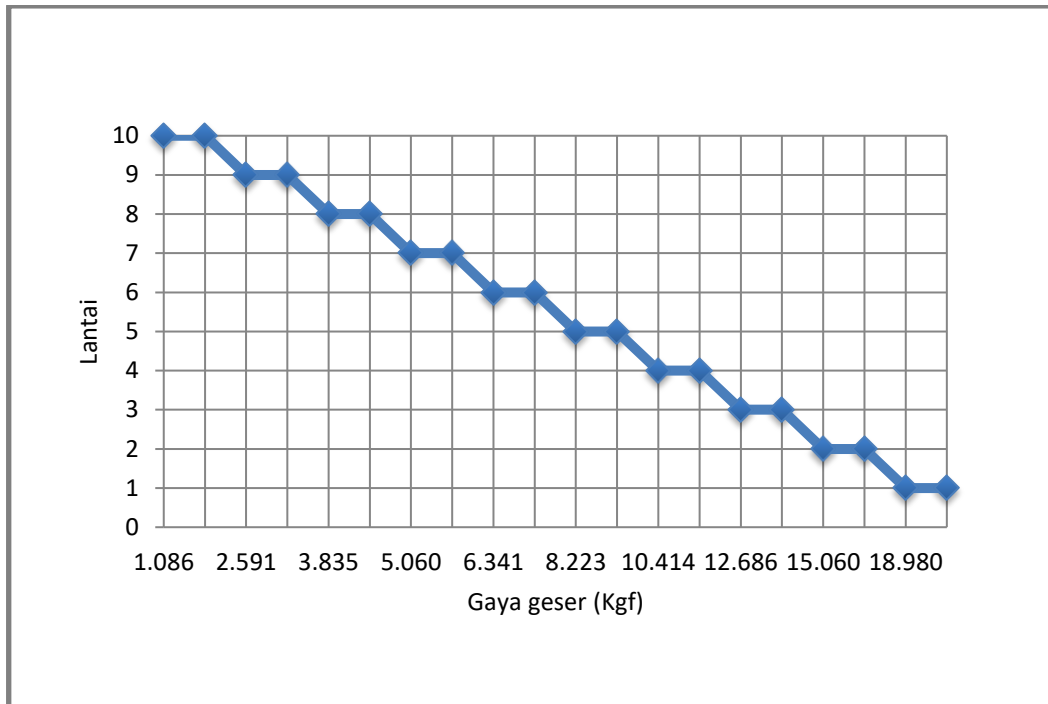
TINGKAT	wi (kn)	hi (m)	wi.hi ^k	Cvx	Fi = Cvx . V	story shear Vx
10	10,525	3.5	57,396	0.058	1,093	1,093
9	14,581	3.5	79,517	0.080	1,514	2,607
8	12,052	3.5	65,726	0.066	1,252	3,859
7	11,865	3.5	64,704	0.065	1,232	5,091
6	12,417	3.5	67,715	0.068	1,290	6,381
5	18,229	3.5	99,411	0.100	1,893	8,274
4	21,277	3.5	115,759	0.116	2,205	10,479
3	22,011	3.5	120,033	0.120	2,286	12,765
2	23,008	3.5	125,471	0.126	2,390	15,155
1	26,207	4,5	200,845	0.102	3,825	18,980
JUMLAH	172,121		996,576	1.000	18,980	



Gambar 4.11: Diagram gaya geser statik ekivalen arah x terhadap ketinggian struktur gedung (SNI 1726-2012).

Tabel 4.25: Nilai gaya geser arah y pada tiap lantai gedung model 3 statik ekivalen.

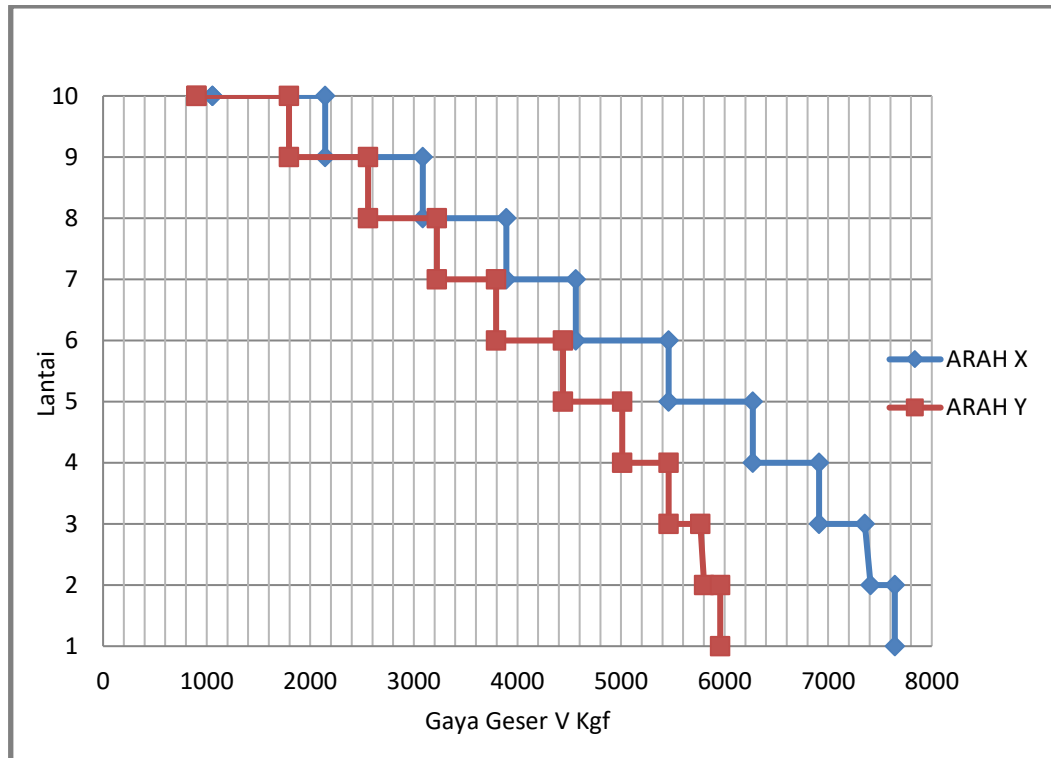
TINGKAT	wi (kn)	hi (m)	wi.hi ^k	Cvx	Fi = Cvx . V	story shear Vx
10	4348.817	3.5	21373.795	0.039	425.932	29.423
9	5760.022	4	33546.127	0.062	668.500	455.356
8	6058.631	4	35285.216	0.065	703.156	1123.856
7	9372.978	4	54587.833	0.100	1087.815	1827.012
6	13438.120	4	78263.047	0.144	1559.610	2914.827
5	10677.474	4	62185.161	0.114	1239.213	4474.437
4	10856.512	4	63227.873	0.116	1259.992	5713.650
3	10912.572	4	63554.365	0.117	1266.498	6973.641
2	10912.572	4	63554.365	0.117	1266.498	8240.139
1	11421.905	4	66520.695	0.122	1325.610	9506.637
JUMLAH	94060.018		543574.971	1.000	10832.248	10832.248



Gambar 4.12: Diagram gaya geser statik ekivalen arah y terhadap ketinggian struktur gedung (SNI 1726-2012).

Tabel 4.26: Output etabs tabel gaya geser respon spektrum sumbu x dan y.

Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
Story10	36	Top	1054,7518	901,5155777
	32	Bottom	1054,7518	901,5155777
Story9	32	Top	2142,8225	1793,824677
	28	Bottom	2142,8225	1793,824677
Story8	28	Top	3086,9966	2558,703591
	24	Bottom	3086,9966	2558,703591
Story7	24	Top	3893,3599	3223,873472
	20	Bottom	3893,3599	3223,873472
Story6	20	Top	4564,7076	3794,325222
	16	Bottom	4564,7076	3794,325222
Story5	16	Top	5461,0217	4440,725309
	12	Bottom	5461,0217	4440,725309
Story4	12	Top	6271,5038	5010,748072
	8	Bottom	6271,5038	5010,748072
Story3	8	Top	6913,327	5459,422711
	4	Bottom	6913,327	5459,422711
Story2	4	Top	7354,642	5766,921862
	0	Bottom	7408,9257	5802,877195
Story1	0	Top	7643,2027	5957,509472
		Bottom	7643,2027	5957,509472



Gambar 4.13: Diagram gaya geser respon spektrum arah x dan y Model 3 terhadap ketinggian struktur gedung (SNI 1726:2012).

4.10 Nilai Simpangan Gedung

4.10.1 Nilai Simpangan Gedung Model 3

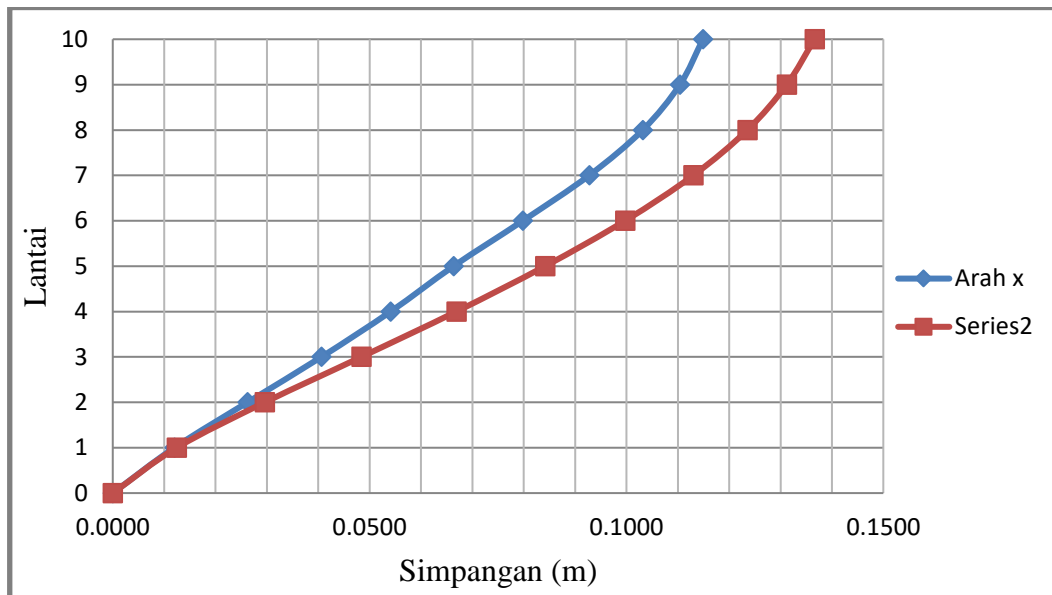
Tabel 4.27: Nilai simpangan gedung model 3.

Tingkat	h (m)	Total Drift		Simpangan Antar tingkat		$(\delta_i \cdot C_d) / I_e$		Syarat $0,02 \cdot h_{sx} / p$ (m)
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	
10	3,5	0,1149	0,13662	0,004	0,005	0,0247	0,030	0,054
9	3,5	0,1104	0,1312	0,007	0,008	0,0399	0,042	0,054
8	3,5	0,1032	0,12353	0,010	0,011	0,0573	0,058	0,054
7	3,5	0,0927	0,113	0,013	0,013	0,0711	0,073	0,054
6	3,5	0,0798	0,09972	0,013	0,016	0,0741	0,086	0,054
5	3,5	0,0663	0,08415	0,012	0,017	0,0673	0,095	0,054
4	3,5	0,0541	0,06689	0,013	0,018	0,0741	0,102	0,054
3	3,5	0,0406	0,04839	0,014	0,019	0,0793	0,103	0,054

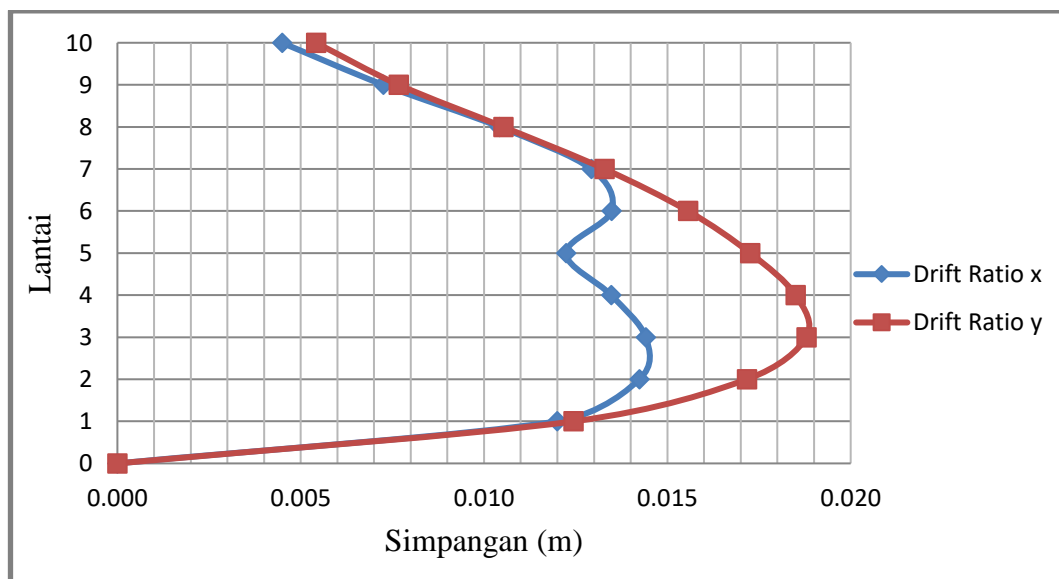
Tabel 4.27: *Lanjutan.*

2	3,5	0,0262	0,02961	0,014	0,017	0,0783	0,094	0,054
1	4,5	0,0120	0,01244	0,012	0,012	0,0659	0,068	0,069
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Berikut ini disajikan diagram simpangan terhadap ketinggian gedung berdasarkan SNI 03-1726-2012.



Gambar 4.14: Grafik total simpangan terhadap ketinggian gedung.



Gambar 4.15: Grafik *drift ratio* antar tingkat terhadap ketinggian gedung.

Pada Gambar 4.4 diatas dapat dilihat besarnya drift ratio yang terjadi akibat beban gempa dari respon spektrum. Besar simpangan arah sumbu x dan y adalah hampir sama tetapi terdapat lonjakan drift antar tingkat yang terlihat pada lantai ke 5 yang merupakan daerah transisi dari struktur gedung beraturan ke struktur gedung yang memiliki coakan vertikal , hal ini terjadi karena bentuk gedung yang tidak simetris merupakan struktur gedung yang tidak beraturan. Arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur sub sistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. Pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pembebanan, tetapi dengan efektifitas 30%.

4.11. Kekauan Tingkat Model 3

4.11.1. Nilai Kekakuan Antar Tingkat Arah X dan Arah Y Model 3

Tabel 4.28: Output nilai kekakuan antar tingkat arah x dan arah y model 3.

Story	Load Case	Stiffness X	Story	Load Case	Stiffness Y
		kgf/m			kgf/m
Story10	gempa arah x	203190,48	Story10	gempa arah y	148772,32
Story9	gempa arah x	324537,65	Story9	gempa arah y	259653,75
Story8	gempa arah x	356503,42	Story8	gempa arah y	292461,42
Story7	gempa arah x	389830,82	Story7	gempa arah y	310705,91
Story6	gempa arah x	464975,29	Story6	gempa arah y	336999,81
Story5	gempa arah x	613016,21	Story5	gempa arah y	429168,49
Story4	gempa arah x	635875,39	Story4	gempa arah y	455776,34
Story3	gempa arah x	665649,21	Story3	gempa arah y	489212,54
Story2	gempa arah x	712278,18	Story2	gempa arah y	561000,56
Story1	gempa arah x	862179,91	Story1	gempa arah y	799813,25

Tabel 4.29: Distribusi kekakuan tingkat pada arah X pada gedung Model 3.

Tingkat	Tinggi	Kekakuan Total Y	Ki/Ki*100	Rata-Rata Kekakuan	Ki/Kr
	tingkat (cm)	Arah Y	%	3 tingkat (Kr)	%
10	3600	203190,484			
9	3250	324537,648		356957,2977	
8	2900	356503,42	91	403769,8467	99,9
7	2550	389830,825	91,5	489274,11	96,5
6	2200	464975,295	83,8	571288,9663	95
5	1850	613016,21	75,9	638180,272	107,3
4	1500	635875,394	96,4	671267,5967	99,6
3	1150	665649,212	95,5	746702,4353	99,2
2	800	712278,184	93,5		95,4
1	400	862179,91	82,6		115,5

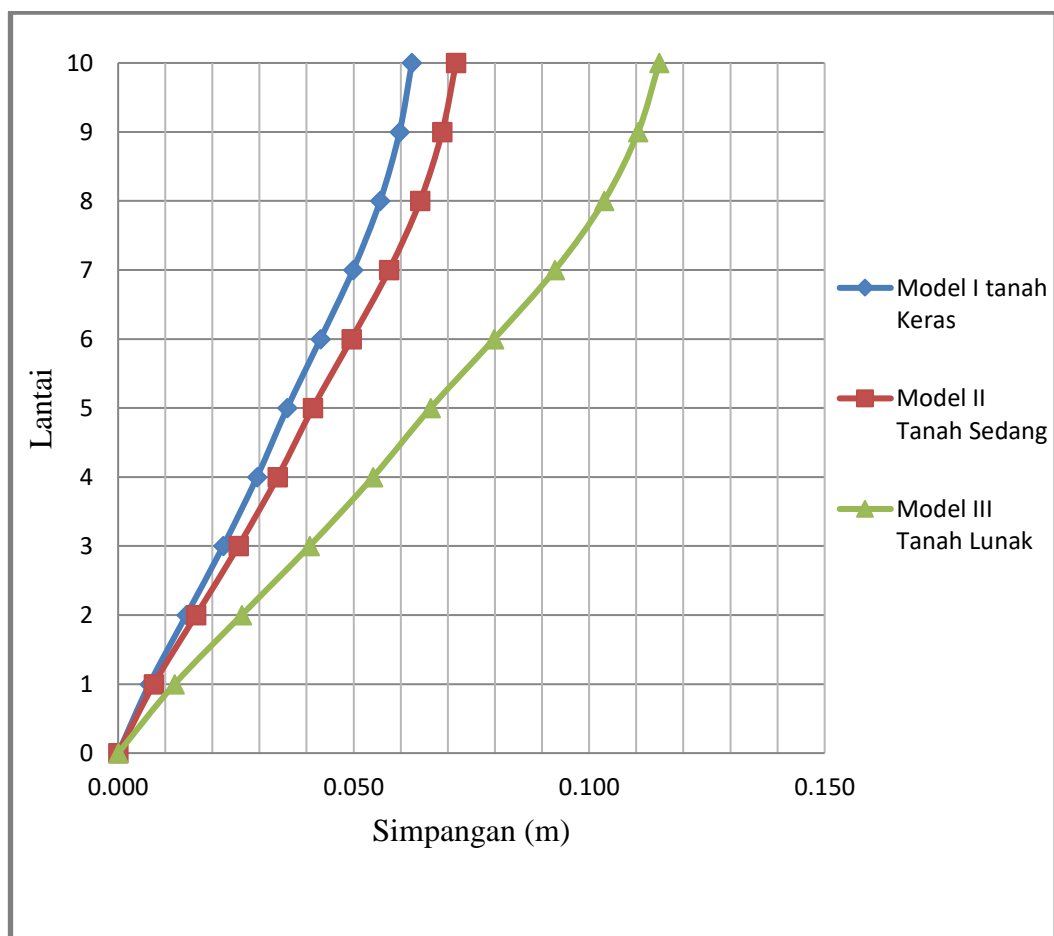
Tabel 4.30: Distribusi kekakuan tingkat pada arah Y pada gedung Model 3.

Tingkat	Tinggi	Kekakuan Total X	Ki/Ki*100	Rata-Rata Kekakuan	Ki/Kr
	tingkat (cm)	Arah X	%	3 tingkat (Kr)	%
10	3600	148772,318			
9	3250	259653,746		287607,0233	
8	2900	292461,418	88,8	313389,0457	101,7
7	2550	310705,906	94,1	358958,0683	99,1
6	2200	336999,813	92,2	407314,8797	93,9
5	1850	429168,486	78,5	458052,456	105,4
4	1500	455776,34	94,2	501996,4797	99,5
3	1150	489212,542	93,2	616675,449	97,5
2	800	561000,557	87,2		91,0
1	400	799813,248	70,1		129,7

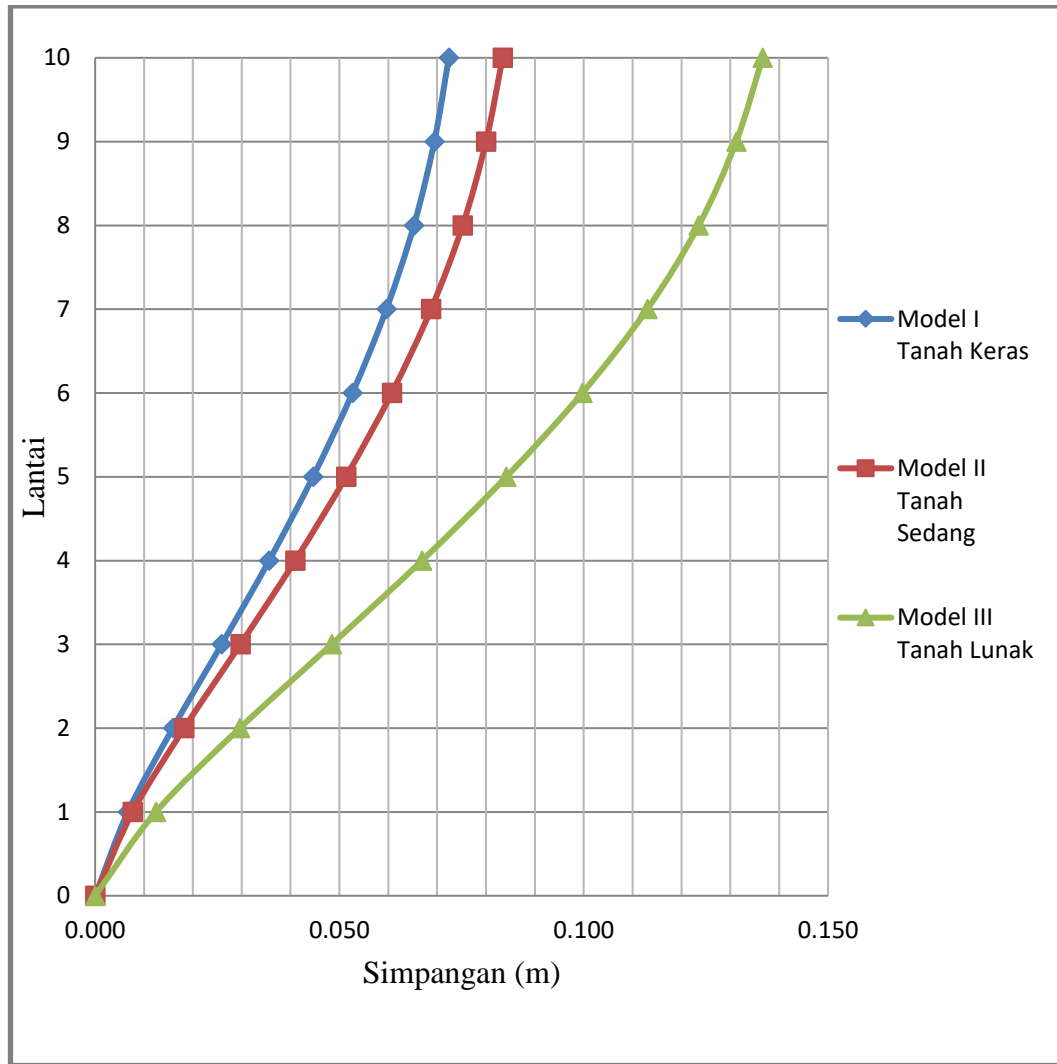
Dari hasil perhitungan kekakuan tingkat arah X dan juga arah Y yang terdapat pada Tabel 4.35-4.36 menunjukkan tingkat ke-1 sebesar 72% dari kekakuan tingkat ke-2 dan hal ini memenuhi syarat minimum yaitu 70%, terhadap syarat kedua yaitu syarat 80% juga terpenuhi karena kekakuan tingkat ke-2 sebesar 80% dari rata-rata kekakuan 3 tingkat di atasnya. Maka dengan demikian dapat

dikatakan gedung yang direncanakan pada Model 2 tidak mengalami *soft storey* karena kekakuan lateralnya $> 70\%$ kekakuan lateral tingkat di atasnya, atau $> 80\%$ % kekakuan lateral rata-rata 3-tingkat di atasnya.

4.12. Grafik Perbandingan Simpangan Dari Setiap Model Gedung.

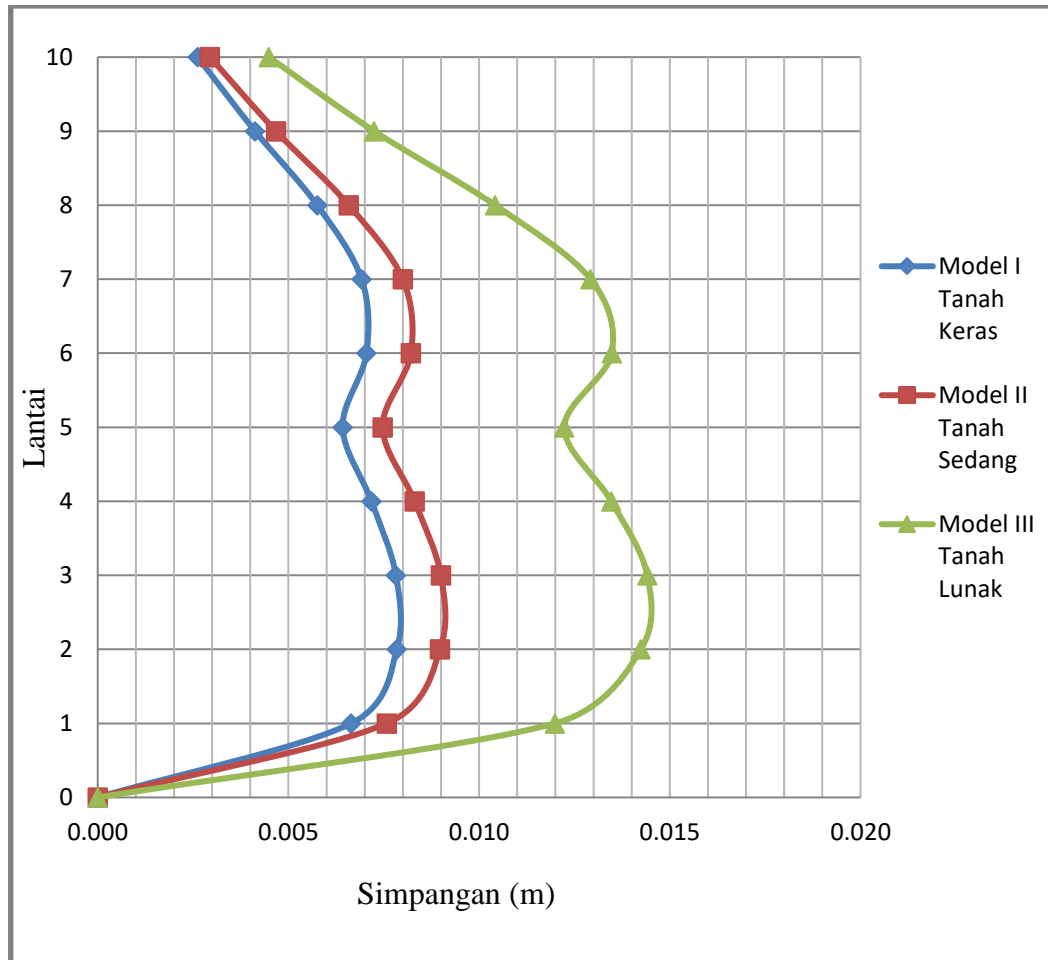


Gambar 4.16: Grafik perbandingan simpangan tiap model arah x.

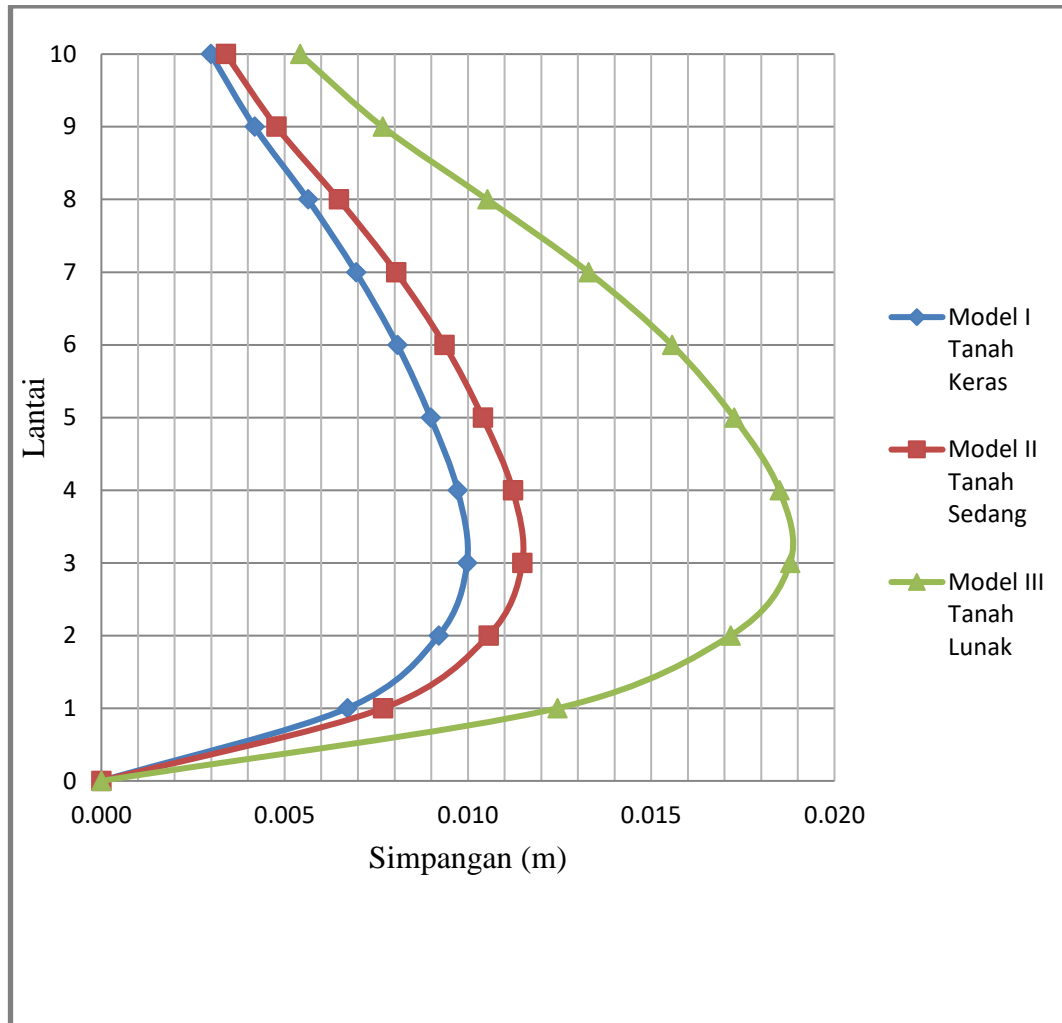


Gambar 4.17: Grafik perbandingan simpangan tiap model arah y.

4.13. Grafik Perbandingan *Drift Ratio* Antar Tingkat Terhadap Ketinggian Gedung Dari Setiap Model Gedung.

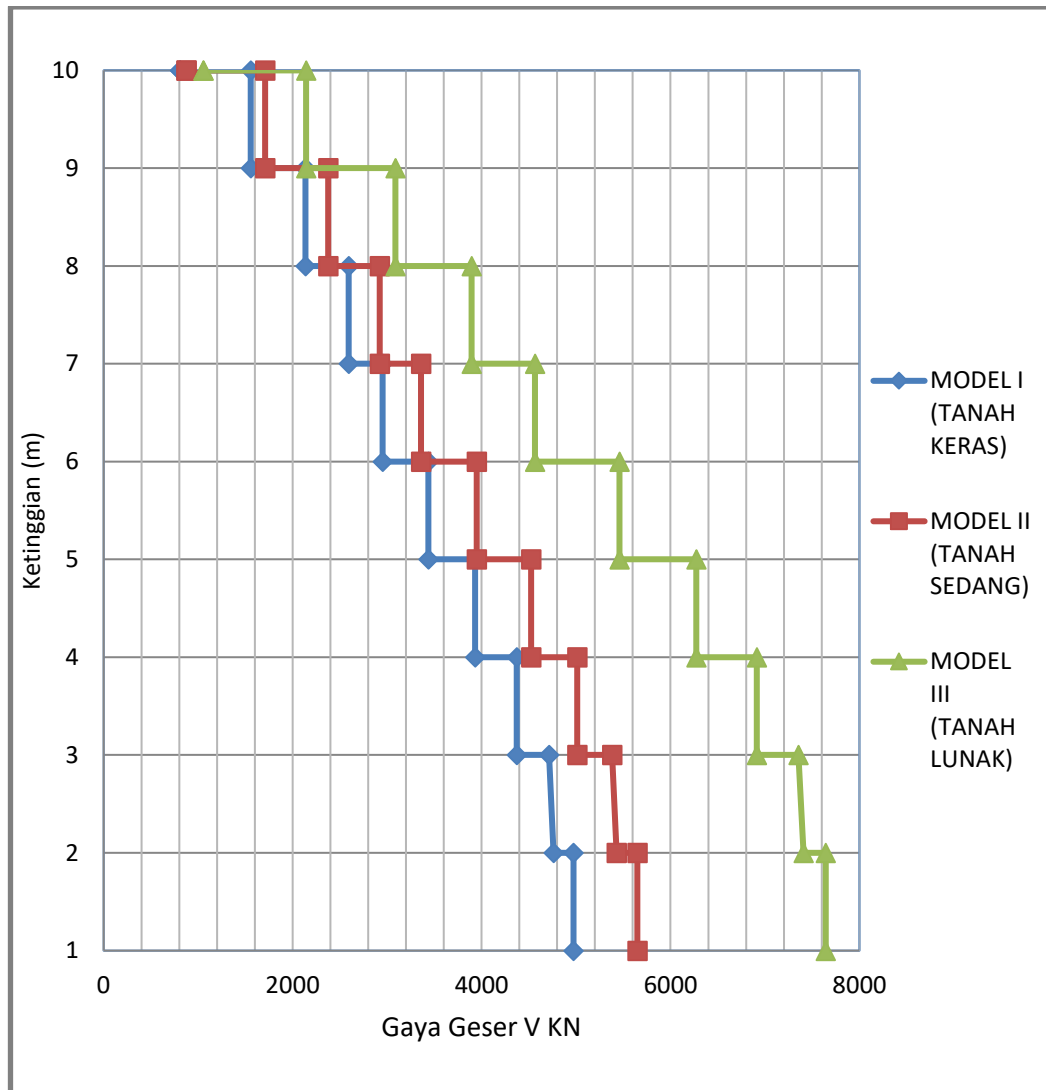


Gambar 4.18: Grafik *drift ratio* antar tingkat terhadap ketinggian gedung dari tiap model arah x.

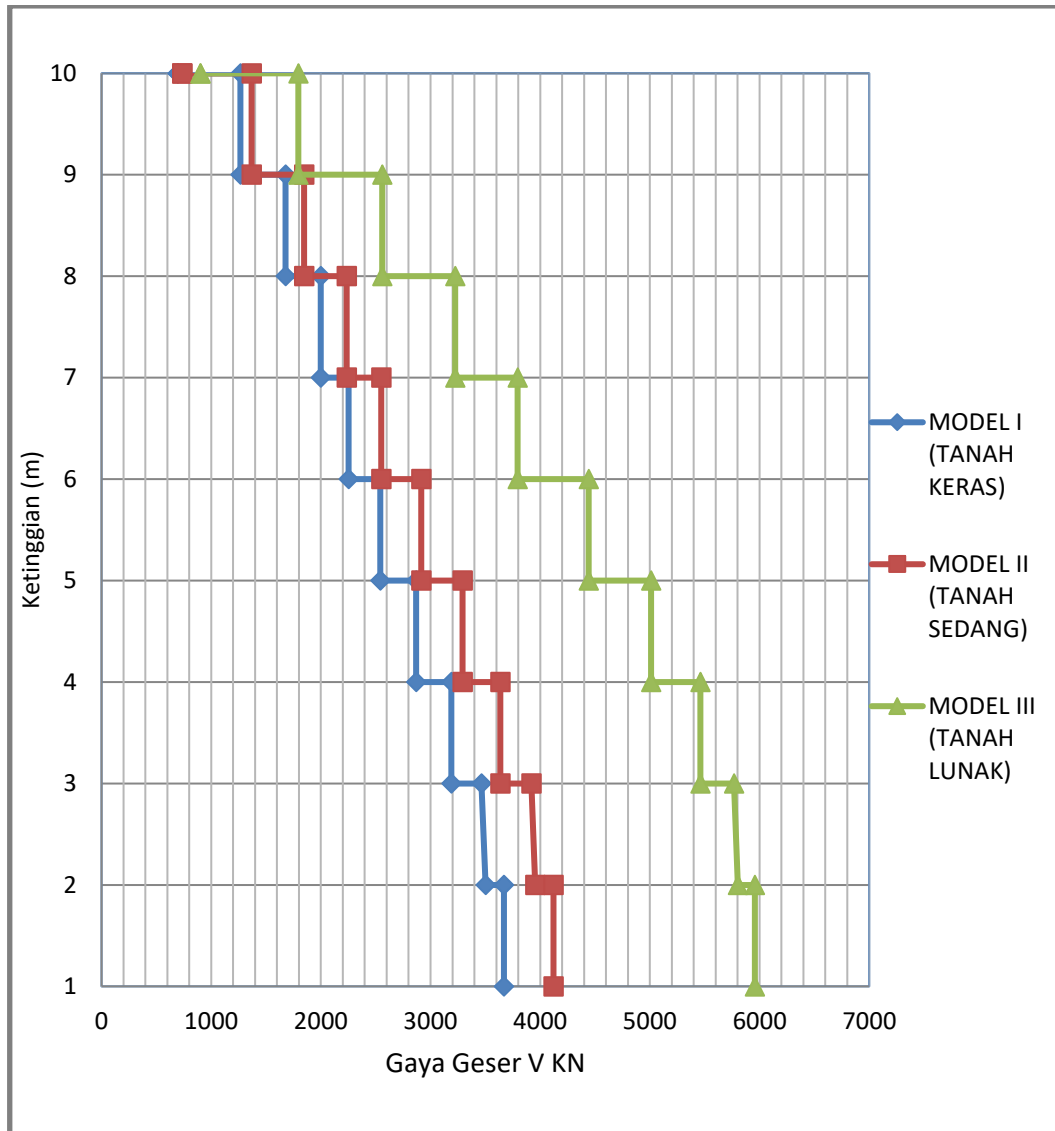


Gambar 4.19: Grafik *drift ratio* antar tingkat terhadap ketinggian gedung dari tiap model arah y

4.14 Grafik Perbandingan Gaya Geser Respon Spektrum Dari Setiap Model Gedung.



Gambar 4.20: Grafik perbandingan gaya geser respon spektrum dari setiap model gedung arah x.



Gambar 4.21: Grafik perbandingan gaya geser respon spektrum dari setiap model gedung arah y.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan pada ketiga model struktur, model struktur rangka pemikul momen khusus pada situs tanah keras (Model 1), model struktur rangka pemikul momen khusus pada situs tanah sedang (Model 2) dan model struktur rangka pemikul momen khusus pada situs tanah lunak (Model 3), maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Akibat pemodelan yang berbeda pada kondisi tanah maka perioda getar bangunan berbeda pula. Nilai perioda getar struktur dari ketiga model adalah sebagai berikut :
 - a. Perioda getar struktur Model 1 (struktur rangka pemikul momen khusus) pada kelas situs tanah keras adalah 1,174 detik untuk arah X dan 1,408 detik untuk arah Y.
 - b. Perioda getar struktur Model 2 (struktur rangka pemikul momen khusus) pada kelas situs tanah keras adalah 1,198 detik untuk arah X dan 1,439 detik untuk arah Y.
 - c. Perioda getar struktur Model 3 (struktur rangka pemikul momen khusus) pada kelas situs tanah keras adalah 1,208 detik untuk arah X dan 1,451 detik untuk arah Y.
2. Untuk simpangan gedung Model 1, 2, dan 3 memiliki simpangan yang dalam kondisi batas keamanan.
 - a. Simpangan Model 1 (struktur rangka pemikul momen khusus) adalah 0,062 m untuk arah X dan 0,072 m untuk arah Y.
 - b. Simpangan Model 2 (struktur dengan dinding geser tiap sisi) adalah 0,072 m untuk arah X dan 0,83 m untuk arah Y.
 - c. Simpangan Model 3 (struktur dengan dinding geser satu sisi) adalah 0,115 m untuk arah X dan 0,137 m untuk arah Y.

Simpangan terbesar adalah pada Model 3 struktur rangka pemikul momen khusus pada kelas situs tanah lunak, yaitu 0.115 m untuk arah X dan 0,137 untuk arah Y.

3. Gaya geser yang terbesar yang dihasilkan dari ketiga pemodelan struktur adalah sebagai berikut :
 - a. Gaya geser Model 1 (struktur rangka pemikul momen khusus) pada kelas situs tanah keras adalah 5717,193 Kg untuk arah X dan 4373,6381 Kg untuk arah Y.
 - b. Gaya geser Model 2 (struktur rangka pemikul momen khusus) pada kelas situs tanah sedang adalah 6366,7131 Kg untuk arah X dan 4842,4728 Kg untuk arah Y.
 - c. Gaya geser Model 3 (struktur rangka pemikul momen khusus) pada kelas situs tanah lunak adalah 9676,9359 Kg untuk arah X dan 7236,3992 Kg untuk arah Y.

5.2. Saran

Dalam penulisan skripsi ini, penulis hanya dapat memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Pada tugas akhir ini, penulis meninjau zona gempa wilayah Banda Aceh. Penulis menyarankan untuk study selanjutnya dapat membandingkan dengan model struktur yang lebih efektif digunakan untuk zona gempa daerah seismik D,E dan F seperti struktur bangunan SRPMK dengan bresing, penambahan dinding geser atau menggunakan dumper pada pemodelan pondasinya. Sehingga model struktur yang di desain lebih baik untuk menahan gaya gempa yang mempengaruhi simpangan, gaya geser, momen dan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan lainnya.
2. Analisis yang digunakan pada tugas akhir ini dengan analisis respon spektrum, oleh karena itu penulis menyarankan agar dapat membandingkan metode analisis dengan metode-metode yang lain, seperti analisis time history misalnya.

3. Penulis menyarankan agar dilakukan peninjauan lebih dalam lagi sampai batas plastis menggunakan analisis *push over* (analisis non-linear). Sehingga pada analisis *push over* maka didapat batas leleh maksimum yang terjadi pada struktur.
4. Untuk struktur bangunan tinggi, efek P-Delta juga sangat berpengaruh yaitu suatu gejala yang terjadi pada struktur gedung yang fleksibel, dimana simpangan kesamping yang besar akibat beban gempa lateral menimbulkan beban lateral tambahan akibat momen guling yang terjadi oleh beban gravitasi yang titik tangkapnya menyimpang kesamping. Oleh karena itu penulis menyarankan agar struktur gedung yang tingginya lebih dari 40 meter agar diperhitungkan untuk efek P-Delta.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (2012) *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*, Jakarta, Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Badan Standarisasi Nasional (2013) *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2013*, Jakarta, Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Departemen Pekerjaan Umum (1987) *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan (1981) *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Pawirodikromo, W (2012) *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta .Universitas Islam Indonesia
- Budiono, B. dan Supriatna, L (2011) *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012*. Bandung: ITB.
- Rumimper, B.A, Wallah, R.S dan Winda S.O (2013) *Perhitungan Inter Story Drift Pada Bangunan Tanpa Set-Back dan Dengan Set-Back Akibat Gempa*. Jurnal Sipil Statik, Vol.1 No.6. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Imran, I. dan Hendrik, F (2009) *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Berdasarkan SNI 03-2847-2002*. Bandung: ITB.
- Irawan, H.R.N (2014) *Analisa Torsi Pada Lantai Struktur Tidak Regular Horizontal Pada Daerah Rawan Gempa Tinggi Dan Rendah*. Laporan Tugas Akhir. Medan. Program Studi Teknik Sipil.UMSU
- Ismanto. R (2009) *Dasar-Dasar Perancangan Bangunan Tahan Gempa Untuk Arsitek Desainer*. Jakarta. FT. UBINUS

LAMPIRAN

Tabel Lampiran.1: Berat struktur, pusat masa dan pusat kekakuan model 1 SRPMK *output* etabs.

<i>TABLE: Centers of Mass and Rigidity</i>									
<i>Story</i>	<i>Diaphragm</i>	<i>Mass X</i>	<i>Mass Y</i>	XCM	YCM	<i>Cumulative X</i>	<i>Cumulative Y</i>	XCCM	YCCM
		kgf-s ² /m	kgf-s ² /m	m	m	kgf-s ² /m	kgf-s ² /m	m	m
<i>Story1</i>	D1	267,1416	267,1416	17	16	1754,5477	1754,5477	14	15
<i>Story2</i>	D2	234,5338	234,5338	17	16	1487,4061	1487,4061	14	15
<i>Story3</i>	D3	224,3694	224,3694	17	16	1252,8723	1252,8723	13	15
<i>Story4</i>	D4	216,3802	216,3802	17	15	1028,5028	1028,5028	12	15
<i>Story5</i>	D5	185,8215	185,8215	15	15	812,1226	812,1226	11	14
<i>Story6</i>	D6	126,5746	126,5746	10	14	626,3011	626,3011	10	14
<i>Story7</i>	D7	120,9471	120,9471	10	14	499,7265	499,7265	10	14
<i>Story8</i>	D8	122,8575	122,8575	10	14	378,7794	378,7794	10	14
<i>Story9</i>	D9	148,6359	148,6359	10	14	255,9219	255,9219	10	14
<i>Story10</i>	D10	107,286	107,286	10	14	107,286	107,286	10	14

Tabel Lampiran.2: Berat struktur, pusat masa dan pusat kekakuan model 2 SRPMK *output* etabs.

<i>TABLE: Centers of Mass and Rigidity</i>									
<i>Story</i>	<i>Diaphragm</i>	<i>Mass X</i>	<i>Mass Y</i>	<i>XCM</i>	<i>YCM</i>	<i>Cumulative X</i>	<i>Cumulative Y</i>	<i>XCCM</i>	<i>YCCM</i>
		kgf-s ² /m	kgf-s ² /m	m	m	kgf-s ² /m	kgf-s ² /m	m	m
<i>Story1</i>	D1	267,1416	267,1416	17	16	1754,5477	1754,5477	14	15
<i>Story2</i>	D2	234,5338	234,5338	17	16	1487,4061	1487,4061	14	15
<i>Story3</i>	D3	224,3694	224,3694	17	16	1252,8723	1252,8723	13	15
<i>Story4</i>	D4	216,3802	216,3802	17	15	1028,5028	1028,5028	12	15
<i>Story5</i>	D5	185,8215	185,8215	15	15	812,1226	812,1226	11	14
<i>Story6</i>	D6	126,5746	126,5746	10	14	626,3011	626,3011	10	14
<i>Story7</i>	D7	120,9471	120,9471	10	14	499,7265	499,7265	10	14
<i>Story8</i>	D8	122,8575	122,8575	10	14	378,7794	378,7794	10	14
<i>Story9</i>	D9	148,6359	148,6359	10	14	255,9219	255,9219	10	14
<i>Story10</i>	D10	107,286	107,286	10	14	107,286	107,286	10	14

Tabel Lampiran.3: Berat struktur, pusat masa dan pusat kekakuan model 3 SRPMK output etabs.

<i>TABLE: Centers of Mass and Rigidity</i>									
<i>Story</i>	<i>Diaphragm</i>	<i>Mass X</i>	<i>Mass Y</i>	<i>XCM</i>	<i>YCM</i>	<i>Cumulative X</i>	<i>Cumulative Y</i>	<i>XCCM</i>	<i>YCCM</i>
		kgf-s ² /m	kgf-s ² /m	m	m	kgf-s ² /m	kgf-s ² /m	m	m
<i>Story1</i>	D1	267,1416	267,1416	17	16	1754,5477	1754,5477	14	15
<i>Story2</i>	D2	234,5338	234,5338	17	16	1487,4061	1487,4061	14	15
<i>Story3</i>	D3	224,3694	224,3694	17	16	1252,8723	1252,8723	13	15
<i>Story4</i>	D4	216,3802	216,3802	17	15	1028,5028	1028,5028	12	15
<i>Story5</i>	D5	185,8215	185,8215	15	15	812,1226	812,1226	11	14
<i>Story6</i>	D6	126,5746	126,5746	10	14	626,3011	626,3011	10	14
<i>Story7</i>	D7	120,9471	120,9471	10	14	499,7265	499,7265	10	14
<i>Story8</i>	D8	122,8575	122,8575	10	14	378,7794	378,7794	10	14
<i>Story9</i>	D9	148,6359	148,6359	10	14	255,9219	255,9219	10	14
<i>Story10</i>	D10	107,286	107,286	10	14	107,286	107,286	10	14

Tabel lampiran 4: *Story Max/Avg Displacements* model 1.

<i>TABLE: Story Max/Avg Displacements</i>					
<i>Story</i>	<i>Load Case/Combo</i>	<i>Direction</i>	<i>Maximum</i>	<i>Average</i>	<i>Ratio</i>
			m	m	
<i>Story10</i>	gempa arah x Max	X	0.075262	0.06417	1.17286
<i>Story9</i>	gempa arah x Max	X	0.071769	0.06085	1.17952
<i>Story8</i>	gempa arah x Max	X	0.066521	0.05595	1.18899
<i>Story7</i>	gempa arah x Max	X	0.061137	0.05106	1.19735
<i>Story6</i>	gempa arah x Max	X	0.055398	0.04428	1.25101
<i>Story5</i>	gempa arah x Max	X	0.04768	0.03843	1.24071
<i>Story4</i>	gempa arah x Max	X	0.037882	0.03085	1.22781
<i>Story3</i>	gempa arah x Max	X	0.026939	0.02216	1.21556
<i>Story2</i>	gempa arah x Max	X	0.015609	0.01302	1.19848
<i>Story1</i>	gempa arah x Max	X	0.005334	0.00456	1.1698
<i>Base</i>	gempa arah x Max	Y	0	0	
<i>Story10</i>	gempa arah y Max	Y	0.064349	0.06415	1.00316
<i>Story9</i>	gempa arah y Max	Y	0.060593	0.06045	1.00244
<i>Story8</i>	gempa arah y Max	Y	0.055152	0.05505	1.00183
<i>Story7</i>	gempa arah y Max	Y	0.049975	0.04989	1.00172
<i>Story6</i>	gempa arah y Max	Y	0.045396	0.04532	1.00177
<i>Story5</i>	gempa arah y Max	Y	0.039849	0.03977	1.00195
<i>Story4</i>	gempa arah y Max	Y	0.032211	0.03214	1.00228
<i>Story3</i>	gempa arah y Max	Y	0.023372	0.02331	1.00285
<i>Story2</i>	gempa arah y Max	Y	0.013933	0.01388	1.00399
<i>Story1</i>	gempa arah y Max	Y	0.004996	0.00496	1.00667
<i>Base</i>	gempa arah y Max	Y	0	0	

Tabel lampiran 5: *Story Max/Avg Displacements* model 2.

<i>TABLE: Story Max/Avg Displacements</i>					
<i>Story</i>	<i>Load Case/Combo</i>	<i>Direction</i>	<i>Maximum</i>	<i>Average</i>	<i>Ratio</i>
<i>Story10</i>	gempa arah x Max	X	0.050908	0.04962	1.02595
<i>Story9</i>	gempa arah x Max	X	0.046299	0.04511	1.02642
<i>Story8</i>	gempa arah x Max	X	0.040561	0.03949	1.02712
<i>Story7</i>	gempa arah x Max	X	0.034883	0.03395	1.02762
<i>Story6</i>	gempa arah x Max	X	0.029317	0.0281	1.04328
<i>Story5</i>	gempa arah x Max	X	0.023435	0.0227	1.03225
<i>Story4</i>	gempa arah x Max	X	0.017466	0.01708	1.02291
<i>Story3</i>	gempa arah x Max	X	0.011764	0.01162	1.01257
<i>Story2</i>	gempa arah x Max	X	0.00664	0.00662	1.00329
<i>Story1</i>	gempa arah x Max	X	0.002446	0.00244	1.00304
<i>Base</i>	gempa arah x Max	Y	0	0	
<i>Story10</i>	gempa arah y Max	Y	0.050327	0.05028	1.00103
<i>Story9</i>	gempa arah y Max	Y	0.045577	0.04553	1.00108
<i>Story8</i>	gempa arah y Max	Y	0.039715	0.03967	1.00109
<i>Story7</i>	gempa arah y Max	Y	0.033975	0.03394	1.00106
<i>Story6</i>	gempa arah y Max	Y	0.028626	0.0286	1.00106
<i>Story5</i>	gempa arah y Max	Y	0.023155	0.02313	1.001
<i>Story4</i>	gempa arah y Max	Y	0.017345	0.01733	1.00105
<i>Story3</i>	gempa arah y Max	Y	0.011759	0.01175	1.00118
<i>Story2</i>	gempa arah y Max	Y	0.006681	0.00667	1.00139
<i>Story1</i>	gempa arah y Max	Y	0.002456	0.00245	1.00173
<i>Base</i>	gempa arah y Max	Y	0	0	

Tabel lampiran 6: *Story Max/Avg Displacements* model 3.

<i>TABLE: Story Max/Avg Displacements</i>					
<i>Story</i>	<i>Load Case/Combo</i>	<i>Direction</i>	<i>Maximum</i>	<i>Average</i>	<i>Ratio</i>
<i>Story10</i>	gempa arah x Max	X	0.050908	0.049621	1.025948
<i>Story9</i>	gempa arah x Max	X	0.046299	0.045107	1.02642
<i>Story8</i>	gempa arah x Max	X	0.040561	0.03949	1.027123
<i>Story7</i>	gempa arah x Max	X	0.034883	0.033946	1.027621
<i>Story6</i>	gempa arah x Max	X	0.029317	0.028101	1.043281
<i>Story5</i>	gempa arah x Max	X	0.023435	0.022703	1.032252
<i>Story4</i>	gempa arah x Max	X	0.017466	0.017075	1.022913
<i>Story3</i>	gempa arah x Max	X	0.011764	0.011618	1.012571
<i>Story2</i>	gempa arah x Max	X	0.00664	0.006618	1.003289
<i>Story1</i>	gempa arah x Max	X	0.002446	0.002438	1.003036
<i>Base</i>	gempa arah x Max	Y	0	0	
<i>Story10</i>	gempa arah y Max	Y	0.050327	0.050275	1.001029
<i>Story9</i>	gempa arah y Max	Y	0.045577	0.045528	1.001082
<i>Story8</i>	gempa arah y Max	Y	0.039715	0.039671	1.001093
<i>Story7</i>	gempa arah y Max	Y	0.033975	0.03394	1.00106
<i>Story6</i>	gempa arah y Max	Y	0.028626	0.028595	1.001063
<i>Story5</i>	gempa arah y Max	Y	0.023155	0.023132	1.001003
<i>Story4</i>	gempa arah y Max	Y	0.017345	0.017327	1.001053
<i>Story3</i>	gempa arah y Max	Y	0.011759	0.011745	1.001178
<i>Story2</i>	gempa arah y Max	Y	0.006681	0.006672	1.001388
<i>Story1</i>	gempa arah y Max	Y	0.002456	0.002452	1.001727
<i>Base</i>	gempa arah y Max	Y	0	0	



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Awang Rio Iskandar
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat/Tgl Lahir : Lingga Tiga, 22 Oktober 1991
Alamat : Jl. HM. Said Lingkungan Tengah I, Kel. Perdamean,
Kec. Rantau Selatan, Kab. Labuhan Batu, Sumatera Utara
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Agus Herwansyah
Ibu : Sri Wati

JENJANG PENDIDIKAN

- ❖ SD Swasta Muhammadiyah : Berijazah Tahun 2003
- ❖ MTS Swasta Al-Washliyah : Berijazah Tahun 2006
- ❖ SMA Negeri 1 Rantau Selatan : Berijazah Tahun 2009
- ❖ Melanjutkan kuliah di Fakultas Teknik Program Studi Sipil di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tahun 2009 hingga selesai.