

**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON  
BERTULANG SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN  
MENENGAH DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL  
MOMEN KHUSUS  
(Studi Literatur)**

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

**Disusun Oleh:**

**AHYANI  
1107210098**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2018**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : AHYANI  
NPM : 1107210098  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (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, Juli 2018

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I/Penguji

Tondi Amingsyah Putera, ST, MT

Dosen Pembimbing II/Penguji

Ir. Ehyza Chairina, M.Si

Dosen Pembanding I/Penguji

Dr. Ade Faisal

Dosen Pembanding II/Penguji

Dr. Fahrizal Zulkarnain

Program Studi Teknik Sipil  
Ketua



Dr. Fahrizal Zulkarnain

## **SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : AHYANI  
Tempat/tgl. Lahir : Tanah Merah, 10 Agustus 1993  
NPM : 1107210098  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik

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

“PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS” Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya, 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, Juli 2018  
Saya yang menyatakan,  
  
( AHYANI )

## ABSTRAK

### **PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS**

Ahyani (1107210098)  
Tondi Amirsyah Putera, ST., MT  
Ir. Ellyza Chairina, M,Si

Pembangunan gedung-gedung tinggi menjadi salah satu alternatif yang di pilih karena keterbatasan dan mahalnya lahan diperkotaan mendorong banyaknya pembangunan yang dilakukan secara vertikal, sehingga sangat rawan terhadap beban lateral angin dan gempa bumi. Tugas akhir ini bertujuan untuk merencanakan struktur bangunan tahan gempa. Berdasarkan SNI 1726 tahun 2012 dan juga perhitungan peraturan gempa berdasarkan SNI 1726:2012. Gedung yang direncanakan menggunakan 2 model gedung, yaitu menggunakan SRPMK dan SRPMM. Model gedung yang direncanakan memiliki tinggi gedung 40 meter terdiri dari 10 lantai dan terletak di kota Banda Aceh dengan kondisi tanah sedang. Model pertama (Model 1) direncanakan menggunakan sistem rangka pemikul momen menengah. Model kedua (Model 2) direncanakan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus. Analisa yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu analisis respon spektrum. Nilai simpangan pada gedung Model 1 dengan nilai simpangan arah X sebesar 48.2 mm dan nilai simpangan arah Y sebesar 40.5 mm. Simpangan lantai yang terjadi pada gedung Model 2 menunjukkan nilai simpangan sama dengan gedung Model 1, dengan nilai simpangan Model 2 arah X sebesar 48.2 mm dan arah Y sebesar 40.5 mm. Sedangkan analisa berat bangunan gedung Model 1 dan 2 sama sebesar 3012253.23 Kg. Diameter tulangan pada gedung Model 1. Kolom 400 x 400 sebesar 18 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Kolom 300 x 300 sebesar 18 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Balok induk 400 x 300 sebesar 14 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Balok induk 300 x 200 sebesar 14 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Balok anak 200 x 150 sebesar 12 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Diameter tulangan pada gedung Model 2. Kolom 400 x 400 sebesar 19 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Kolom 300 x 300 sebesar 19 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Balok induk 400 x 300 sebesar 16 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Balok induk 300 x 200 sebesar 16 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Balok anak 200 x 150 sebesar 14 mm dengan tulangan sengkang 10 mm.

Kata kunci : analisis respon spektrum, SRPMM, SRPMK, tulangan, simpangan.

## ABSTRACT

### PLANNING OF REINFORCED CONCRETE BUILDING STRUCTURE OF MEDIUM MOMENT BEARER SYSTEM WITH SPECIAL MOMENT FRAME SYSTEM

Ahyani (1107210098)  
Tondi Amirsyah Putera, ST., MT  
Ir. Ellyza Chairina, M,Si

*The construction of tall buildings became one of the alternatives chosen because of the limitations and expensive landownings of urban areas encouraging the number of vertically constructed developments, making it very vulnerable to lateral loads of wind and earthquakes. This final project aims to planning earthquake resistan building structures based on SNI 1726 years 2012 and also calculation based on seismic regulation SNI 1726:2012. The building is planned using 2 building model that is using SRPMK and SRPMM. The palnned building model has a building height of 40 meters consists of 10 floors and is located in banda aceh city with medium soil condition. The first model (model 1) is planned to use intermediate moment frame system. The second model (model 2) is planned to use a special moment carrying frame system. Analysis used in this final project is spectrum response analysis.the deviation value of the building of model 1 with the x direction deviation of 48.2 mm and the y shift value of 40.5 mm the floor deviation occurring in the model 2 building shows the deviation value equal to the building model 1. With the deviation value of the model 2 way x 48.2 mm and the direction y of 40.5 mm. While the weight analysis of building model 1 and 2 equaled 3012253.23 kg. Reinforcement diameter in the model building 1. Column 400 x 400 of 18 mm with stirring reinforcement column 300 x 300 of 18 mm with 10 mm spade reinforcement. Beam 400 x 300 of 14 mm with 10 mm spade reinforcement. Beam 300 x 200 of 14 mm with 10 mm spade reinforcement. Beam a child 200 x 150 of 12 mm with 10 mm spade reinforcement. Reinforcement diameter in the model building 2. Column 400 x 400 of 19 mm with stirring reinforcement column 300 x 300 of 19 mm with 10 mm spade reinforcement. Beam 400 x 300 of 16 mm with 10 mm spade reinforcement. Beam 300 x 200 of 16 mm with 10 mm spade reinforcement. Beam a child 200 x 150 of 14 mm with 10 mm spade reinforcement.*

*Keywords:spectrum response, SRPMM, SRPMK, deviation. Reinforcement.*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'Alaikum Wr. Wb*

Alhamdulillahirabil'alamin, segala puji kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik serta hidayah-Nya kepada penulis, sehingga atas barokah dan ridho-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai mana yang diharapkan.

Adapun judul dari Tugas Akhir ini adalah “PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS” yang diselesaikan selama kurang lebih 12 bulan. Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi syarat menyelesaikan jenjang kesarjanaan Strata 1 pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Selama menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Tondi Amirsyah Putera Pulungan, ST., MT selaku Dosen Pembimbing-I dalam penulisan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Ir. Ellyza Chairina, M,Si selaku Dosen Pembimbing-II dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ade Faisal selaku Dosen Pembanding I dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Dosen Pembanding II dalam penulisan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Ade Faisal selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Ibu Irma Dewi, ST., M.Si selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak dan Ibu staf pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

9. Teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Amiruddin Malau dan Ibunda tercinta Siti Aasan yang telah mengasuh dan membesarkan penulis dengan rasa cinta dan kasih sayang yang tulus.
10. Buat keluargaku kakanda Basnah, Hamdani, Jaminuddin, SPd., serta adik-adikku yang telah memberikan dukungan kepada penulis hingga selesainya Tugas Akhir ini.
11. Terima kasih kepada teman-teman terbaikku Muhammad Arif Lubis, ST., Syahrizal, ST., Muhamad Baginda Solihin, ST., Hendra Parlaungan Sagala, ST., dan teman-teman A3 Malam lainnya yang memberikan semangat serta masukan yang sangat berarti bagi penulis.

Kata kesempurnaan dalam penulisan Tugas Akhir ini masih sangat jauh, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dikarenakan keterbatasan waktu serta kemampuan yang dimiliki oleh penulis sangatlah minim. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, dan meminta maaf pada semua pembaca Tugas Akhir ini jika terdapat kesalahan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman-teman mahasiswa/i Teknik Sipil khususnya. Aamiin.

*Wassalamu'Alaikum Wr. Wb*

Medan, Juli 2018

Penulis

Ahyani

1107210098

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.5.1. Manfaat Teoritis	3
1.5.1. Manfaat Praktis	4
1.6. Sistematika Pembahasan	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>6</b>
2.1. Umum	6
2.2. Gelombang Energi Gempa	7
2.3. Karakteristik Gerak Tanah Dan Ukuran Kekuatan Gempa	8
2.4. Gaya Akibat Gempa Terhadap Struktur Beton Bertulang	10
2.5. Kerusakan Struktur Akibat Gempa	11
2.6. Konsep Bangunan Tahan Gempa Beton Bertulang	13
2.7. Perhitungan Gempa Dan Kinerja Pada Bangunan	14
2.7.1. Gempa Rencana	14
2.7.2. Wilayah Gempa	14



2.7.3.	Faktor Keutamaan Dan Resiko Struktur Bangunan	16
2.7.4.	Struktur Penahan Beban Gempa	17
2.7.5.	Periode Alami Struktur	18
2.7.6.	Jumlah Ragam	19
2.7.7.	Arah Pembebanan Gempa	20
2.8.	Klasifikasi Site	20
2.8.1.	Penentuan Percepatan Puncak Di Permukaan Tanah	21
2.8.2.	Penentuan Respon Spektra Di Permukaan Tanah	21
2.9.	Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen	24
2.9.1.	Geser Dasar Minimum Untuk Menghitung Simpangan Antar Lantai	24
2.9.2.	Simpangan Antar Lantai	26
2.9.3.	Kekakuan	28
2.9.4.	<i>Soft Story</i>	28
2.9.5.	Daktalitas	29
2.9.6.	Keamanan Kolom	29
2.9.7.	Ketentuan Untuk Metode Analisis Dinamik	30
2.10.	Sistem Struktur	30
2.10.1.	Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)	31
2.10.2.	Sistem Dinding Struktural (SDS)	31
2.11.	Struktur Utama Bangunan	31
2.12.	Konfigurasi Bangunan	32
2.12.1.	Struktur Gedung Beraturan	32
2.12.2.	Struktur Gedung Tidak Beraturan	34
2.13.	Berat Bangunan	36
2.14.	Perencanaan Beton Bertulang	37
2.14.1.	Persyaratan Umum	37
2.14.2.	Ketentuan Perencanaan	37
2.15.	Pembebanan	38
2.15.1.	Beban Mati (DL)	39

2.15.2. Beban Hidup (LL)	39
2.15.3. Beban Gempa	40
2.15.4. Arah Pembebanan Gempa	40
2.15.5. Beban Angin	40
2.15.6. Lainnya	41
2.16. Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah ( SRPMM SNI 2847-2013 )	41
2.16.1. Balok	41
2.16.2. Kolom	41
2.16.3. Konsep Bangunan Tahan Gempa (Beton Bertulang)	43
2.16.4. Sistem Struktur	44
2.16.5. Detail Penulangan	44
2.16.6. Kuat Geser	44
2.17. Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus ( SRPMK SNI 2847-2013 )	45
2.17.1. Komponen Struktur Lentur Pada SRPMK (SNI 2847-2013)	45
2.17.1.1. Tulangan Longitudinal	46
2.17.1.2. Tulangan Transversal	47
2.17.1.3. Persyaratan Kuat Geser	48
2.17.2. Komponen Struktur Yang Menerima Kombinasi Lentur Dan Beban Aksial Pada SRPMK ( SNI 2847-2012 Pasal 23.4)	49
2.17.2.1. Ruang Lingkup	49
2.17.2.2. Kuat Lentur Minimum Kolom	50
2.17.2.3. Tulangan Memanjang	50
2.17.2.4. Tulangan Transversal	50
2.17.2.5. Persyaratan Kuat Geser	52
2.17.3. Hubungan Balok Kolom	53
2.17.3.1. Ketentuan Umum	53
2.17.3.2. Tulangan Transversal	54
2.17.3.3. Kuat Geser	54

2.17.3.4. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik	55
2.18. Prinsip Kolom Kuat Balok Lemah	56
( <i>strong column weak beam</i> )	
2.18.1. Mekanisme Kinerja Strong Column Weak Beam	58
<b>BAB 3 METODOLOGI</b>	60
3.1. Metodologi	60
3.2. Tinjauan Umum	61
3.3. Pembebanan Struktur	63
3.4. Perhitungan Berat Per Lantai Gedung	65
3.5. Faktor Respon Gempa	66
3.6. Pemodelan Dan Analisa Struktur	69
3.6.1. Faktor Keutamaan Struktur (I)	69
3.7. Model 1	69
3.7.1. Data Perencanaan Struktur	70
3.7.2. Faktor Reduksi Gempa	71
3.7.3. Komponen Struktur	71
3.7.3.1. Tebal Pelat Lantai	71
3.7.3.2. Pondasi	71
3.7.4. Kombinasi Pembebanan	72
3.7.5. Nilai Waktu Getar Alami <i>Fundamental</i>	73
3.7.6. Penentuan Faktor Respon Gempa	73
3.7.7. Perencanaan Balok Dan Kolom	74
3.7.8. Ukuran Penampang Struktur	74
3.8. Model 2	75
3.8.1. Data Perencanaan Struktur	76
3.8.2. Faktor Keutamaan Struktur (I)	76
3.8.3. Faktor Reduksi Gempa	76
3.8.4. Perencanaan Balok Dan Kolom	76
3.8.5. Ukuran Penampang Struktur	77
3.8.6. Komponen Struktur	77
3.7.3.1. Tebal Pelat Lantai	77
3.8.7. Pembebanan Pada Struktur	78

BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	81
4.1.	Analisa Disain	81
4.2.	Analisa Respon Spektrum	81
4.2.1.	Gaya Geser Antar Lantai	81
4.2.2.	Gaya Geser Dasar	85
4.3.	Nilai Simpangan Gedung ( <i>drift rasio</i> )	88
4.4.	Kekakuan Tingkat	94
4.5.	Hasil Analisis Penampang	99
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	101
5.1.	Kesimpulan	101
5.2.	Saran	103
	DAFTAR PUSTAKA	105
	LAMPIRAN	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Magnitude gempa (Afrida, 2015)	10
Tabel 2.2	Kategori risiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012	16
Tabel 2.3.	Faktor keutamaan gempa	17
Tabel 2.4.	Faktor koefisien modifikasi respons, faktor kuat lebih sistem faktor Pembesaran defleksi, dan batasan tinggi sistem struktur berdasarkan SNI 1726:2012	18
Tabel 2.5.	Nilai parameter perioda pendekatan $C_r$ dan $x$	19
Tabel 2.6.	Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung SNI 1726:2012	19
Tabel 2.7.	Jenis-jenis tanah berdasarkan SNI 1726:2012	20
Tabel 2.8.	Faktor amplikasi untuk ( $F_{PGA}$ ) berdasarkan SNI 1726:2012	21
Tabel 2.9.	Koefisien periode pendek, $F_a$ berdasarkan SNI 1726:2012	22
Tabel 2.10.	Koefisien periode 1.0 detik, $F_v$ berdasarkan SNI 1726:2012	22
Tabel 2.11.	Simpangan antar lantai izin ( $\Delta_a$ ) berdasarkan SNI 1726:2012	27
Tabel 2.12.	Ketidakteraturan horizontal pada struktur	34
Tabel 2.13.	Ketidakteraturan vertikal pada struktur	35
Tabel 2.14.	Berat jenis bahan bangunan	39
Tabel 3.1.	Berat material konstruksi berdasarkan SNI 1727:2013	63
Tabel 3.2.	Berat tambahan komponen gedung berdasarkan SNI 1727:2013	63
Tabel 3.3.	Beban hidup pada lantai struktur berdasarkan SNI 1727:2013	64
Tabel 3.4.	Hasil reaksi perhitungan tangga untuk lantai 1	65
Tabel 3.5.	Spektrum respon berdasarkan SNI 1726:2012 kota Banda Aceh jenis tanah sedang	67
Tabel 3.6.	Faktor reduksi gempa model I berdasarkan SNI 1726:2012	71
Tabel 3.7.	Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai $\rho = 1,3$ dan $S_{DS} = 1$	72
Tabel 3.8.	Pengecekan $T$ berdasarkan pembatasan waktu getar alami <i>fundamental</i> Model berdasarkan SNI 1726:2012	73

Tabel 3.9.	Rangkuman nilai $C_s$ dan nilai $C_s$ yang digunakan pada Setiap Model gedung	74
Tabel 3.10.	Dimensi penampang balok dan kolom (Model I)	75
Tabel 3.11.	Faktor reduksi gempa berdasarkan SNI 1726:2012	76
Tabel 3.12.	Dimensi penampang balok dan kolom (Model II)	77
Tabel 3.13.	Berat material konstruksi	78
Tabel 3.14.	Berat tambahan komponen gedung. Lantai 1-9	79
Tabel 3.15.	Berat tambahan komponen gedung. Lantai 10	79
Tabel 3.16.	Beban Tambahan pada pelat tangga	79
Tabel 3.17.	Beban Tambahan pada pelat bordes	79
Tabel 3.18.	Beban hidup pada lantai struktur. Lantai 1-10	80
Tabel 4.1.	Nilai gaya geser lantai antar lantai arah X Model 1	81
Tabel 4.2.	Nilai gaya geser lantai antar lantai arah Y Model 1	82
Tabel 4.3.	Nilai gaya geser lantai antar lantai arah X Model 2	83
Tabel 4.4.	Nilai gaya geser lantai antar lantai arah Y Model 2	83
Tabel 4.5.	Gaya geser hasil analisa respon spektrum berdasarkan SNI 1726:2012 Model 1 Dan 2	85
Tabel 4.6.	Perhitungan <i>drift story</i> arah x Model 1	89
Tabel 4.7.	Perhitungan <i>drift story</i> arah y Model 1	89
Tabel 4.8.	Perhitungan <i>drift story</i> arah X Model 1	90
Tabel 4.9.	Perhitungan <i>drift story</i> arah Y Model 1	90
Tabel 4.10.	Perhitungan <i>drift story</i> arah x Model 2	92
Tabel 4.11.	Perhitungan <i>drift story</i> arah y Model 2	92
Tabel 4.12.	Distribusi kekakuan tingkat pada arah X pada gedung Model 1	94
Tabel 4.13.	Cek kekakuan tingkat pada arah X pada gedung Model 1	94
Tabel 4.14.	Distribusi kekakuan tingkat pada arah Y pada gedung Model 1	95
Tabel 4.15.	Cek kekakuan tingkat pada arah Y pada gedung Model 1	95
Tabel 4.16.	Distribusi kekakuan tingkat pada arah X pada gedung Model 2	96
Tabel 4.17.	Cek kekakuan tingkat pada arah X pada gedung Model 2	97
Tabel 4.18.	Distribusi kekakuan tingkat pada arah Y pada gedung Model 2	97
Tabel 4.19.	Cek kekakuan tingkat pada arah Y pada gedung Model 2	98

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Peta tektonik Indonesia	7
Gambar 2.2.	Akselerogram gempa bumi El Centro, 18 Mei 1940	8
Gambar 2.3.	Kerusakan struktur akibat terjadinya gempa bumi	12
Gambar 2.4.	Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (SB) untuk Probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun	15
Gambar 2.5.	Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (SS) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun	15
Gambar 2.6.	Peta respon spektra percepatan 1,0 detik (S1) di batuan dasar (SB) Untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun	16
Gambar 2.7.	Respon Spektrum Gempa Rencana Zona 5 (SNI 1729-2012)	23
Gambar 2.8.	Penentuan simpangan antar lantai (SNI 1726:2012) Simpangan antar lantai tingkat disain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin ( $\Delta_a$ ) seperti yang diperlihatkan pada Tabel. 2.11	27
Gambar 2.9.	Gaya lintang rencana untuk SRPMM (Rambe, 2010)	44
Gambar 2.10.	Contoh sengkang tertutup yang dipasang bertumpuk (Rambe, 2010)	47
Gambar 2.11.	Perencanaan geser untuk balok-kolom (Rambe, 2010)	48
Gambar 2.12.	Contoh tulangan transversal pada kolom (Rambe, 2010)	51
Gambar 2.13.	Luas efektif hubungan balok-kolom (Rambe, 2010)	54
Gambar 2.14.	Beam Side Sway Mechanisme	56
Gambar 2.15.	Perilaku Struktur saat Mendapat Gaya Lateral Gempa	57
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian	60
Gambar 3.2.	Denah perencanaan gedung baja Model 1 dan Model 2 terhadap sumbu X	61
Gambar 3.3.	Pemodelan Model 1 terhadap sumbu X-Z dan Y-Z pada gedung menggunakan struktur rangka pemikul momen menengah dan struktur rangka pemikul momen khusus	62
Gambar 3.4.	Pemodelan Tangga	64

Gambar 3.5.	Spektrum respon gempa kota banda aceh dengan jenis tanah sedang berdasarkan SNI 1726:2012	68
Gambar 3.6.	Pemodelan gedung 10 lantai (model 1)	69
Gambar 3.7.	Pemodelan gedung 10 lantai (model 2)	74
Gambar 4.1.	Gaya geser antar lantai untuk Model 1	83
Gambar 4.2.	Gaya geser antar lantai untuk Model 2	83
Gambar 4.3.	Perbandingan gaya geser	84
Gambar 4.4.	Perbandingan simpangan terhadap tinggi gedung Model 1	90
Gambar 4.5.	Perbandingan simpangan terhadap tinggi gedung Model 1	90
Gambar 4.6.	Perbandingan simpangan terhadap tinggi gedung Model 2	92
Gambar 4.7.	Perbandingan simpangan terhadap tinggi gedung Model 2	92
Gambar 4.8.	Hasil pengecekan ETABS V 9.7.2 <i>verify all members passed</i> terhadap dimensi profil struktur Model 1	98
Gambar 4.9.	Hasil pengecekan ETABS V 9.7.2 <i>verify all members passed</i> terhadap dimensi profil struktur Model 2	99



## DAFTAR NOTASI

$DL$	Beban mati (Kg).
$LL$	Beban hidup (Kg).
$Q_E$	Pengaruh gaya gempa horizontal dari $V$ , yaitu gaya geser disain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau. Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus atau satu sama lain.
$\rho$	Faktor reduksi, untuk disain seismik D sampai F nilainya 1,3.
$F_a$	Koefisien situs perioda pendek 0,2 detik.
$S_s$	Nilai spektrum percepatan untuk perioda pendek 0,2 (detik) di batuan dasar.
$F_v$	Koefisien situs perioda panjang 1 detik.
$S_1$	Parameter percepatan respon disain yang ditetapkan pada perioda 1 detik, redaman 5 persen.
$S_A$	Klasifikasi site batuan keras.
$S_B$	Klasifikasi site batuan.
$S_C$	Klasifikasi site tanah sangat padat dan batuan lunak.
$S_D$	Klasifikasi site tanah sedang.
$S_E$	Klasifikasi site tanah lunak.
$S_F$	Klasifikasi tanah khusus
$SS$	Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respon site spesifik.
$\mu$	Konstanta yang tergantung pada peraturan perencanaan bangunan yang digunakan, misalnya untuk IBC-2009 dan ASCE 7-10 dengan gempa 2500 tahun menggunakan nilai $\mu$ sebesar 2/3 tahun.
$S_a$	Respon spektrum percepatan.
$T$	Perioda struktur dasar (detik)

$S_{DS}$	Parameter percepatan respon spektrum pada perioda pendek, redaman 5 persen
$S_{D1}$	Parameter percepatan respon spektrum pada perioda 1 detik, redaman 5 persen
$S_{MS}$	Parameter percepatan respon spektrum MCE pada perioda pendek, yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
$S_{M1}$	Parameter percepatan respon spektral MCE pada perioda 1 detik, yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
$V$	Gaya geser seismik (Kg)
$C_S$	Koefisien seismik yang ditentukan
$W$	Berat Seismik efektif (Kg)
$R$	Faktor modifikasi respons
$I_e$	Faktor keutamaan gempa
$C_{vx}$	Faktor distribusi vertical
$h_{sx}$	Tinggi tingkat di bawah tingkat x
$c$	Tidak boleh ada batasan simpangan antar lantai untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didisain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat
$d$	struktur dimana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didisain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen diantara dinding geser dapat diabaikan
$w_i$ and $w_x$	Bagian berat Seismik efektif total struktur yang ditempatkan pada tingkat I atau x (Kg)
$h_i$ and $h_x$	Tinggi (m) dari dasar sampai tingkat I atau x
$k$	Eksponen yang terkait dengan perioda
$F_i$	Bagian dari geser dasar seismik (KN)
$V_x$	Geser tingkat disain gempa di semua tingkat (KN)
$Ta_{minimum}$	Nilai batas bawah perioda bangunan

$h_n$	Ketinggian struktur dalam (m) di atas dasar sampai tingkat tinggi struktur
$C_r$	nilai parameter perioda pendekatan
$Ta_{maksimum}$	nilai batas atas perioda bangunan
$C_u$	koefisien dari parameter percepatan respon spectrum disain pada 1 detik.
MRF	<i>Moment resisting frames</i>
SRPMK	Sistem rangka penahan momen khusus
SRPMM	Sistem rangka penahan momen menengaah
SRPMB	Sistem rangka penahan momen biasa
SRBKB	Sistem rangka <i>Bracing</i> konsentrik biasa
SRBKK	Sistem rangka <i>Bracing</i> konsentrik khusus
$M_u$	Momen lentur perlu (KNm)
$\phi$	Faktor reduksi lentur
$b_f$	Lebar sayap balok (mm)
$d$	Tinggi balok (mm)
$t_{bf}$	Tebal sayap balok (mm)
$R_y$	Rasio tegangan leleh yang diharapkan dibandingkan tegangan leleh minimum
$C_{pr}$	Faktor untuk menghitung kekuatan ultimate dari koneksi
$F_u$	Tegangan pada saat strain hardening (N/mm <sup>2</sup> )
$M_f$	Momen maksimum yang mungkin terjadi pada muka kolom (Nmm)
$M_{pe}$	Momen plastis berdasarkan tegangan leleh yang diharapkan (N-mm)
$Z_b$	Modulus penampang plastis (MPa))
$\Phi_d$	Faktor reduksi untuk daktilitas maksimum
$V_u$	Gaya geser ultimate balok (Kg)
$\Sigma M^*_{pb}$	Jumlah momen balok pada pertemuan as balok dan as
$\phi_c$	0,85 adalah faktor tahanan tekan
$N_n$	Kuat tekan nominal komponen struktur (N)

$N_u$	Gaya tekan terfaktor (N)
$A_g$	Luas penampang bruto ( $\text{mm}^2$ )
$f_{cr}$	Tegangan kritis penampang, MPa
$f_y$	Tegangan leleh material (MPa)
$A_e$	Luas penampang efektif ( $\text{mm}^2$ )
$f_y$	Tegangan leleh nominal baja profil yang digunakan dalam disain (MPa)
$M_u$	Momen terfaktor (N,mm)
$\phi$	Faktor reduksi
$M_{max}$	Momen maksimum dari bentang yang ditinjau (N,mm)
$M_n$	Kuat lentur nominal balok (N,mm)
$M_p$	Momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh (N,mm)
$M_n$	Momen batas tekuk (N,mm)
$C_b$	Koefisien pengali momen tekuk torsi lateral
$M_y$	Momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh (N,mm)
$M_r$	Momen batas tekuk (N,mm)
$L_p$	Panjang bentang maksimum untuk balok yang mampu menerima momen plastis (mm)
$L_r$	Panjang bentang minimum untuk balok yang kekuatannya mulai ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral (mm)
$L_b$	Panjang bagian pelat sayap tekan tanpa pengekang lateral (mm)
$\phi$	Faktor reduksi kuat geser
$V_n$	Kuat geser nominal (N)
$V_u$	Gaya geser terfaktor (N)
$F_{yw}$	Tegangan leleh pelat baja (MPa)
$A_w$	Luas kotor pelat baja ( $\text{mm}^2$ )
$N_u$	Gaya aksial (tarik atau tekan) terfaktor, N
$N_n$	Kuat nominal penampang (N)
$M_{ux}, M_{uy}$	Momen lentur terfaktor terhadap sumbu-x dan sumbu-y,

	(N,mm)
$M_{nx}, M_{ny}$	Kuat nominal letur penampang terhadap sumbu-x dan sumbu Y, (N,mm)
$\phi_n$	0,90 (leleh) tarik
$\phi_n$	0,75 (fraktur) tarik
$A_g$	Luas penampang baja tulangan ( $\text{mm}^2$ )
$F'_c$	Kuat tekan beton (MPa)
$A_s$	Luas sengkang ( $\text{mm}^2$ )

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Filosofi dasar dari perencanaan bangunan tahan gempa adalah terdapatnya. Komponen struktur yang diperbolehkan untuk mengalami kelelahan. Komponen struktur yang leleh tersebut merupakan komponen yang menyerap energi gempa selama bencana gempa terjadi. Agar memenuhi konsep perencanaan struktur bangunan tahan gempa tersebut. Maka pada saat gempa kelelahan yang terjadi hanya pada balok. Oleh karena itu kolom dan sambungan harus dirancang sedemikian rupa agar kedua komponen struktur tersebut tidak mengalami kelehan ketika gempa terjadi (Afrida, 2015).

Indonesia terletak di daerah rawan gempa, untuk mengurangi resiko akibat bencana gempa tersebut perlu direncanakan struktur bangunan tahan gempa. Berdasarkan SNI 1726 tahun 2012, Di Aceh telah diklasifikasikan kedalam daerah yang memiliki resiko gempa tinggi (zona yang berwarna oranye) yang memiliki percepatan gempa 0.25 gravitasi (0.25 g).

Jika bangunan tahan gempa tidak direncanakan dengan baik dapat mengakibatkan kerugian jiwa dan materi yang sangat besar. Perencanaan tahan gempa umumnya didasarkan pada analisa elastisn yang diberi faktor beban untuk simulasi kondisi ultimit (batas). Kenyataanya, perilaku rumah struktur bangunan saat gempa adalah pada saat kondisi *inelastic*. Dengan merencanakan suatu struktur dengan beban gempa, banyak aspek yang mempengaruhinya. Diantaranya adalah priode bangunan. Priode bangunan itu sangat dipengaruhi oleh masa struktur dan kekuatan struktur tersebut. Bahan yang digunakan serta dimensi struktur yang digunakan. Evaluasi untuk memperkirakan kondisi inelastis struktur bangunan saat gempa perlu untuk mendapatkan jaminan bahwa kinerja memuaskan pada saat terjadinya gempa. Bila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non struktural maupun pada komponen strukturalnya. Bila terjadi gempa sedang. Bangunan boleh mengalami kerusakan

non strukturalnya, akan tetapi komponen tidak boleh kerusakan. Bila terjadi gempa besar, bangunan boleh mengalami pada komponen non structural maupun komponen strukturalnya, akan tetapi penghuni bangunan dapat menyelamatkan diri.

Pada tugas akhir ini struktur bangunan direncanakan dengan menggunakan material beton bertulang. Struktur bangunan akan direncanakan adalah metode sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) akan direncanakan dengan konsep *strong column and weak beam* ( kolom kuat dan balok lemah ). Sistem rangka pemikul momen adalah sistem rangka ruang dalam mana komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial.

Dalam tugas akhir ini juga akan dibuat contoh perhitungan untuk bangunan 6 lantai dengan bantuan software dan perhitungan gaya/beban gempa yang bekerja dengan metode analisis static ekuivalen.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Semakin banyaknya masalah yang terjadi pada perencanaan dan pembangunan suatu gedung dengan material beton bertulang diantaranya adalah:

1. Berapa beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) ?
2. Berapa dimensi balok dan kolom yang mampu menahan beban gempa rencana yang bekerja dan formasi penulangan pada elemen struktur balok dan kolom ?
3. Bagaimana gambar detail penulangan balok dan kolom dari hasil perencanaan sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) ?

## **1.3. Batasan Masalah**

Ruang lingkup atau batasan masalah dalam pembahasan tugas akhir ini dibatasi pada:

1. Analisa model struktur gedung beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen menengah dan sistem rangka pemikul momen khusus.
2. Aspek-aspek yang ditinjau:
  - a) Dimensi balok dan kolom.
  - b) Gaya dalam.
  - c) Berat struktur.
3. Dalam perencanaan ini di rencanakan 2 jenis desain struktur sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dengan dimensi bangunan 16 x 16 m,(dengan jarak bentang 4 m) dan 10 lantai dengan tinggi bangunan 40 m (tinggi antar lantai 4 m) .
4. Perencanaan ini terlatak di Indonesia Provinsi Aceh wilayah gempa 5 pada jenis tanah sedang.
5. Asumsi hubungan balok kolom merupakan sambungan kaku (*Rigid*).
6. Perhitungan gempa menggunakan analisis pengaruh respon spektrum.
7. Bangunan yang di rencanakan berbentuk *regular building* SNI 1727:2013.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Merencanakan komponen struktur gedung beton bertulang tahan gempa dengan sistem rangka pemikul momen menengah dan sistem rangka pemikul momen khusus kemudian menganalisis kedua model struktur gedung beton bertulang tersebut berdasarkan peraturan SNI 2847-2013.
2. Membandingkan perilaku struktur beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dan sistem rangka pemikul momen khusus (SPRMK) terhadap kinerja beban gempa.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat penulisan ini terbagi menjadi dua bagian yaitu manfaat teoritis dan manfaat praktis. Adapun manfaat dari penulisan ini adalah sebagai berikut:



### **1.5.1. Manfaat Teoritis**

Pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang teknik sipil dan untuk mengetahui struktur beton bertulang mana yang lebih baik dan efisien jika menggunakan perencanaan dengan metode perbandingan sistem rangka pemikul momen menengah dan sistem rangka pemikul momen khusus.

### **1.5.2. Manfaat Praktis**

Diharapkan dapat menjadi alat bantu untuk merencanakan dan membangun gedung tinggi pada perbandingan sistem rangka pemikul momen menengah dan sistem rangka pemikul momen khusus dengan perencanaan standar Indonesia.

## **1.6. Sistematika Pembahasan**

Sistematika penulisan ini bertujuan untuk memberikan gambaran secara garis besar isi setiap bab yang akan dibahas pada tugas akhir ini. Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang masalah, maksud dan tujuan, batasan masalah, metodologi dan sistematika penulisan.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi uraian tentang kriteria pembebanan gempa dan konsep perencanaan struktur bangunan tahan gempa dengan menggunakan model struktur bangunan beton bertulang sistem rangka pemikul momen menengah dan sistem rangka pemikul momen khusus.

### **BAB 3 METODOLOGI**

Bab ini membahas tentang pemodelan, perhitungan beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan yang kemudian akan memberikan hasil pengujian yang berisi pengujian yang berisi tentang data perilaku struktur.

### **BAB 4 APLIKASI PERHITUNGAN**

Bab ini berisi pemodelan bangunan dengan menggunakan bantuan program software. Hasil-hasil perhitungan dalam perncanaan struktur bangunan sistem rangka pemikul momen menengah dan sistem rangka pemikul momen khusus dan analisis yang dilakukan berdasarkan batasan-batasan yang sudah ditetapkan dalam ruang lingkup dan batasan pembahasan.

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh kegiatan tugas akhir ini dengan menitikberatkan pada kinerja dan perilaku kedua sistem struktur bangunan tersebut.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Umum**

Gempa bumi merupakan fenomena alam biasa sama dengan fenomena alam yang lain seperti hujan, angin, gunung meletus dan sebagainya. Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi pada permukaan tanah. Ditinjau dari penyebabnya, ada terdapat empat jenis gempa bumi, yaitu:

1. Gempa Bumi Vulkanik

Gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas magma yang terjadi sebelum gunung api meletus.

2. Gempa Bumi Runtuhan

Gempa bumi yang disebabkan oleh keruntuhan baik diatas maupun di bawah permukaan tanah akibat aktivitas pertambangan ataupun pada daerah kapur.

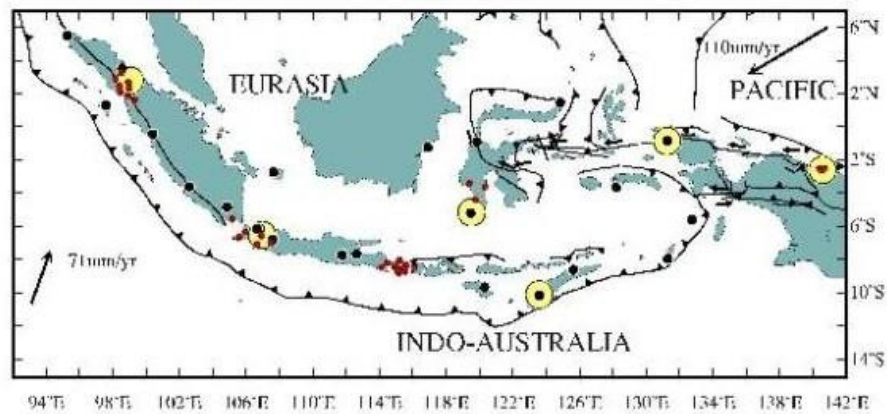
3. Gempa Bumi Buatan

Gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti peledakan dinamit, bom, ataupun nuklir.

4. Gempa Bumi Tektonik

Gempa bumi yang di sebabkan oleh adanya aktivitas pergerakan lempeng pelat tektonik yang terjadi secara tiba-tiba yang mempunyai kekuatan dari yang sangat kecil hingga yang sangat besar.

Di antara keempat jenis gempa bumi di atas, gempa bumi tektonik merupakan gempa yang paling sering terjadi dan paling membahayakan karena getarannya jauh lebih kuat dibandingkan dengan gempa bumi vulkanik, gempa bumi runtuhan, maupun gempa bumi buatan. Secara spesifik, gempa bumi tektonik juga dapat diartikan sebagai peristiwa pelepasan energi gelombang seismik secara tiba-tiba yang diakibatkan oleh adanya deformasi lempeng tektonik yang ada di kerak bumi.



Gambar 2.1: Peta tektonik Indonesia (<http://www.google.co.id/>).

Pelepasan energi gelombang seismik dan guncangan yang terjadi secara tiba-tiba menyebabkan gelombang seismik yang menyebar dan merambat melalui lapisan kerak bumi. Proses pelepasan energi gelombang seismik atau gempa yang sampai ke permukaan bumi dapat menimbulkan getaran dan menyebabkan kerusakan benda dan bangunan dipermukaan bumi. Besarnya kerusakan tergantung pada besarnya getaran yang sampai ke permukaan bumi.

## 2.2. Gelombang Energi Gempa

Sebelum mencapai permukaan tanah gelombang gempa melalui suatu media baik yang sifatnya struktur geologi maupun properti fisik tanah. Sebelum terjadi gempa, terjadi akumulasi energi/tegangan yang besar. Oleh karena itu, pada saat terjadinya gempa atau patah/pecahnya massa batuan, akan terjadi pelepasan energi yang sangat besar yang umumnya disebut energi gelombang gempa.

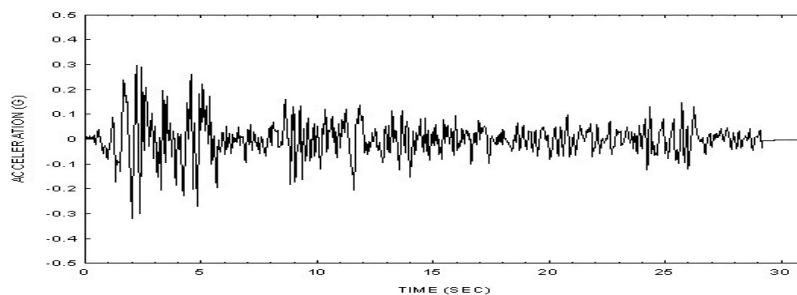
Energi regangan yang dilepaskan akibat pecah/gesernya batuan karena peristiwa mekanik (desak, geser, tarik) kemudian ditransfer menjadi energi gelombang. Energi gelombang gempa menyebar dari pusat gempa menuju kesegala arah yang salah satu arahnya adalah permukaan tanah. Karakter utama dari energi gelombang gempa yaitu jenis gelombang, arah rambatan gelombang, adanya kemungkinan perbedaan intensitas gelombang pada arah yang berbeda, adanya kecepatan gelombang dan adanya gerakan partikel. Selain dari karakter utama yang disebutkan diatas, terdapat besaran atau properti lain yang sifatnya lebih khusus

yang menjadi karakteristik dinamik yaitu periode gelombang ( $T$ ), amplitudo gelombang ( $y$ ), panjang gelombang ( $L$ ), frekuensi gelombang ( $f$ ) dan kecepatan gerak gelombang ( $v$ ).

Apabila ditinjau dari periode getarannya, gelombang dapat kemungkinan terjadi secara periodik maupun nonperiodik. Sedangkan bila ditinjau dari segi amplitudo, gelombang kemungkinan dapat menjadi getaran harmonik maupun non harmonik. Secara umum gelombang merupakan kombinasi variasi periode dan amplitudo.

### 2.3. Karakteristik Gerak Tanah dan Ukuran Kekuatan Gempa

Gerakan tanah akibat gempa lebih banyak ditujukan pada percepatan tanah yang sekaligus menjadi parameter utama. Gerakan tanah sering disebut dengan istilah *ground motions*. Reperesentasi terbaik atas gerakan tanah akibat gempa adalah riwayat percepatan tanah (*ground acceleration time history*). Percepatan tanah akibat gempa direkam secara lengkap menurut fungsi dan waktu yang artinya direkam selama terjadinya gerakan tanah. Berdasarkan pada riwayat percepatan tanah (*accelerograph*) dan kecepatan tanah (*seismograph*), maka timbul banyak konsep tentang parameter gerakan tanah. Parameter gerakan tanah ini utamanya adalah untuk mengetahui karakter-karakter gempa sekaligus efeknya terhadap bangunan. Efek gempa terhadap bangunan dapat dilihat dari kerusakan yang terjadi.



Gambar 2.2: Akselerogram gempa bumi El Centro, 18 Mei 1940.

Beban dinamik yang sangat penting dalam perancangan struktur adalah yang ditimbulkan oleh gempa bumi. Mengingat gaya-gaya yang ditimbulkan oleh gerak tanah yang kuat merupakan suatu tantangan dalam merancang struktur yang ekonomis. Aspek yang paling penting dari gerak bumi akibat gempa bumi adalah

pengaruh terhadap yang ditimbulkannya terhadap struktur, yaitu tegangan dan deformasi atau jumlah kerusakan yang akan terjadi. Potensi kerusakan tersebut tentu saja tergantung pada luas gempa bumi, dan sejumlah ukuran luas digunakan untuk maksud-maksud yang berbeda.

Ukuran luas terpenting ditinjau dari segi seismologis adalah jumlah energi regangan yang dibebaskan pada sumber ada secara kuantitatif dinyatakan sebagai kekuatan. Kekuatan adalah logaritma dari amplitudo maksimum yang diukur dalam mikrometer ( $10^{-6}$ ) dari catatan gempa bumi yang diperoleh dengan seismograf Wood-Anderson, yang dikoreksi terhadap jarak sebesar 100 km. Kekuatan dari suatu gempa bumi dengan sendirinya tidak cukup untuk menunjukkan apakah kerusakan struktur dapat diperkirakan, tetapi jarak struktur dari sumber gempa bumi mempunyai suatu kesamaan pengaruh yang penting atas amplitudo responnya. Ukuran kekuatan ini dikaitkan secara empiris dengan jumlah energi yang dibebaskan gempa bumi dalam Pers. 2.1.

$$\log E = 11,8 + 1,5 M \quad (2.1)$$

dimana:

$$M = \text{magnitude/kekuatan.}$$

Dengan Pers. 2.1 di atas, energi naik dengan suatu faktor yang besarnya 32 untuk setiap satuan kenaikan kekuatan. Akan tetapi, yang paling penting adalah pengamatan empiris bahwa gempa bumi dengan kekuatan kurang dari 5 diperkirakan tidak akan menyebabkan kerusakan struktur, sedangkan untuk kekuatan lebih besar dari 5 akan terjadi gerak tanah yang sangat merusak.

Tabel 2.1: Magnitude gempa (Afrida, 2015).

Mampagnitude gempa	Kelas Kekuatan Gempa	Pengaruh Gempa	Perkiraan Kejadian Pertahun
< 2,5	<i>Minor earthquake</i>	Pada umumnya tidak dirasakan, tetapi dapat direkam oleh seismograf	900.000
2,5 s/d 4,9	<i>Light earthquake</i>	Selalu dapat dirasakan, tetapi hanya menyebabkan kerusakan kecil	30.000
5,0 s/d 5,9	<i>Moderate earthquake</i>	Menyebabkan kerusakan pada bangunan dan struktur-struktur yang lain	500
6,0 s/d 6,9	<i>Strong earthquake</i>	Kemungkinan dapat menyebabkan kerusakan besar pada daerah dengan populasi tinggi	100
7,0 s/d 7,9	<i>Major earthquake</i>	Menimbulkan kerusakan yang serius	20
≥ 8,0	<i>Great earthquake</i>	Dapat menghancurleburkan daerah yang dekat dengan pusat gempa	satu setiap 5-10 tahun

#### 2.4. Gaya Akibat Gempa Terhadap Struktur Beton bertulang

Pada dasarnya sama dengan struktur lainnya yaitu struktur beton bertulang hingga struktur menggunakan baja padat atau pun komposit. Yaitu pergerakan pada kerak bumi akan menimbulkan energi yang terakumulasi kemudian dipancarkan ke segala arah. Energi yang dipancarkan berupa energi gelombang yang menyebabkan terjadinya gerakan tanah (*ground motions*). Gerakan tanah akibat gempa menghasilkan percepatan tanah, yang jika berada pada lokasi struktur akan diteruskan oleh tanah pada kerangka struktur. Percepatan tanah akibat gempa pada umumnya hanya terjadi beberapa detik sampai puluhan detik saja, walaupun kadang-kadang dapat terjadi lebih dari satu menit. Percepatan yang dialami struktur akan menimbulkan gaya horizontal dan gaya vertikal, sehingga struktur mengalami simpangan vertikal dan simpangan horizontal (*lateral*). Apabila bangunannya kaku, maka percepatannya akan sama dengan permukaan, yaitu menurut hukum kedua Newton pada Pers. 2.2.

$$F = m.a \quad (2.2)$$

dimana :

$$F = \text{gaya (N)}$$

$m$  = massa (Kg)

$a$  = percepatan benda ( $m/s^2$ )

Tetapi dalam kenyataannya hal ini tidaklah demikian karena pada tingkatan tertentu semua bangunan adalah fleksibel. Untuk struktur yang hanya sedikit berubah bentuk artinya menyerap sebagian energi, besar gayanya akan kurang dari massa kali percepatannya. Akan tetapi, struktur yang sangat fleksibel yang mempunyai waktu getar alamiah yang mendekati waktu getar gelombang permukaan dapat mengalami gaya yang jauh lebih besar yang ditimbulkan oleh gerak permukaan yang berulang-ulang. Dengan demikian besar aksi gaya lateral pada bangunan tidak disebabkan oleh percepatan permukaan saja, tetapi juga tanggapan dari struktur bangunan dan juga pondasinya.

## **2.5. Kerusakan Struktur Akibat Gempa**

Ada beberapa faktor yang menyebabkan kerusakan akibat gempa, diantaranya adalah:

- a. Kekuatan gempa bumi
- b. Kedalaman gempa bumi
- c. Jarak hiposentrum gempa bumi
- d. Lama getaran gempa bumi
- e. Kondisi tanah setempat

Faktor-faktor tersebut menyebabkan perlunya pemenuhan terhadap kaidah-kaidah perencanaan/pelaksanaan sistem struktur tahan gempa pada setiap struktur bangunan yang akan didirikan khususnya yang dibangun di wilayah dengan kerawanan (risiko) gempa menengah hingga tinggi. Akan tetapi, kaidah-kaidah perencanaan/pelaksanaan struktur bangunan tahan gempa tersebut belum sepenuhnya diterapkan pada pelaksanaan pembangunan struktur dan sangat jarang pula yang menggunakan struktur baja/baja komposite pada gedung tinggi di wilayah Indonesia. Hal ini terlihat dari berbagai gedung-gedung yang berada di Indonesia, penggunaan struktur beton bertulang sangat dominan di gunakan di hampir di seluruh wilayah Indonesia dan kerusakan yang terjadi pada struktur



bangunan tingkat tinggi akibat gempa-gempa besar di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir.

Kerusakan yang terjadi pada struktur bangunan akibat gempa tersebut pada umumnya disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut:

- a. Sistem bangunan yang digunakan tidak sesuai dengan tingkat kerawanan daerah setempat terhadap gempa.
- b. Rancangan struktur dan detail penulangan yang diaplikasikan pada dasarnya kurang memadai.
- c. Kualitas material dan praktik konstruksi pada umumnya kurang baik.
- d. Pengawasan dan kontrol pelaksanaan pembangunan kurang memadai.



Gambar 2.3: Kerusakan struktur akibat terjadinya gempa bumi ([http://bmkg.go.id/dampak\\_gempa2](http://bmkg.go.id/dampak_gempa2)).

Agar hal yang sama tidak terjadi lagi, dan untuk memberi pilihan struktur lain nya yang telah di dominasi oleh gedung struktur beton bertulang dalam perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan struktur bangunan gedung tahan gempa, jadi dalam hal ini pilihan tersebut menggunakan struktur gedung lain nya seperti baja atau pun baja komposite dan ada pula yang perlu diperhatikan prinsip-prinsip dasar berikut ini:

- a. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan tingkat kerawanan (risiko) daerah tempat struktur bangunan tersebut berada terhadap gempa.
- b. Aspek kontinuitas dan integritas struktur bangunan perlu diperhatikan. Dalam perencanaan dan pemasangan setiap baut yang terhubung dan pengelasan baja
- c. Konsistensi sistem struktur yang diasumsikan dalam desain dengan sistem struktur yang dilaksanakan harus terjaga.
- d. Material beton dan baja yang digunakan harus memenuhi persyaratan material konstruksi untuk struktur bangunan tahan gempa.
- e. Unsur-unsur arsitektural yang memiliki massa yang besar harus terikat dengan kuat pada sistem portal utama dan harus diperhitungkan pengaruhnya terhadap sistem struktur.

Metode pelaksanaan, sistem *quality control* dan *quality assurance* dalam tahapan konstruksi harus dilaksanakan dengan baik dan harus sesuai dengan kaidah yang berlaku.

## **2.6. Konsep Bangunan Tahan Gempa Beton Bertulang**

Bangunan-bangunan gedung mempunyai faktor keutamaan yang bergantung pada penting/tidaknya suatu bangunan. Bangunan yang sangat penting diharapkan dapat bertahan/mempunyai umur yang lebih lama dibanding dengan bangunan biasa. Hal ini berarti bahwa penting dan tidaknya bangunan berhubungan dengan beban rencana bangunan yang berlanjut pada periode ulang gempa. Semakin penting suatu bangunan maka semakin lama bangun itu harus bertahan, berarti semakin besar gaya gempa yang harus diperhitungkan terhadap bangunan tersebut.

Struktur bangunan yang tahan terhadap gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan. Oleh karena itu, perlu adanya suatu konsep dasar yang sangat penting dalam hal perencanaan yaitu:

1. Saat terjadi gempa ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan harus dapat tetap berjalan. Kerusakan kecil masih dapat ditoleransi dan diperbolehkan pada elemen nonstruktural.

2. Saat terjadi gempa sedang, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen nonstruktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural.
3. Saat terjadi gempa besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural, tetapi tidak boleh menyebabkan bangunan runtuh untuk menghindari jatuhnya korban jiwa.
4. Saat terjadi perbedaan suhu panas 68 F/ 20°C di wilayah struktur akan mengalami pemuaian pada struktur baja diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen nonstruktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural .
5. Saat terjadi perbedaan suhu dingin ekstrem di wilayah struktur, akan tetapi di wilayah khususnya dinegara indonesia yang tercinta ini (NKRI) jarang sekali atau tidak pernah sama sekali mengalami suhu dingin ekstrem.

## **2.7. Pehitunganan Gempa dan Kinerja Pada Bangunan**

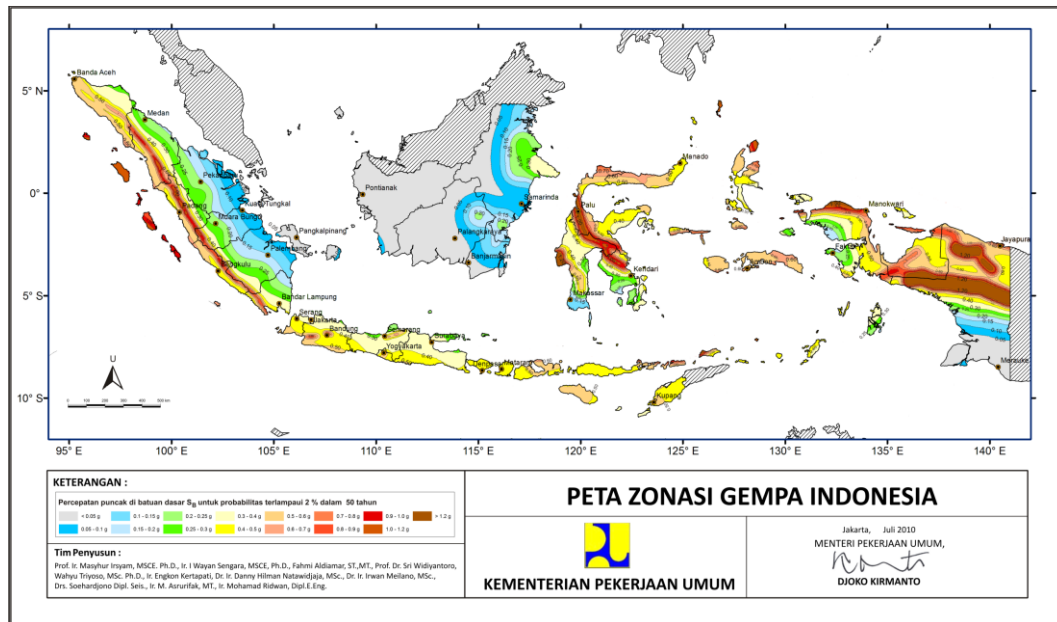
### **2.7.1. Gempa Rencana**

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 4.1.1, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2% (2500 tahun).

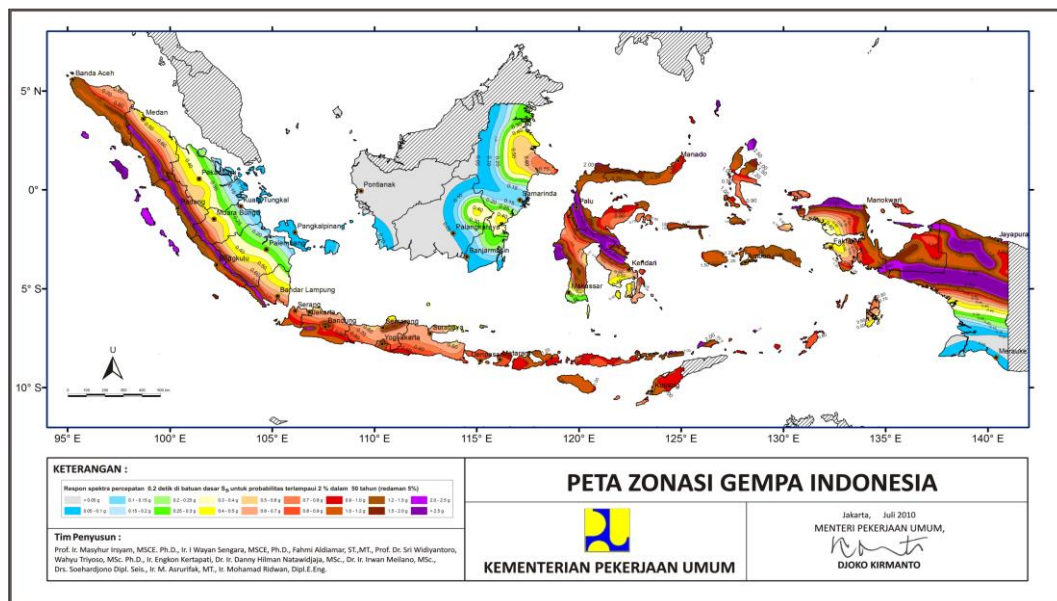
Akibat pengaruh gempa rencana, struktur gedung secara keseluruhan masih harus berdiri walaupun sudah berada di ambang keruntuhan.

### **2.7.2. Wilayah Gempa**

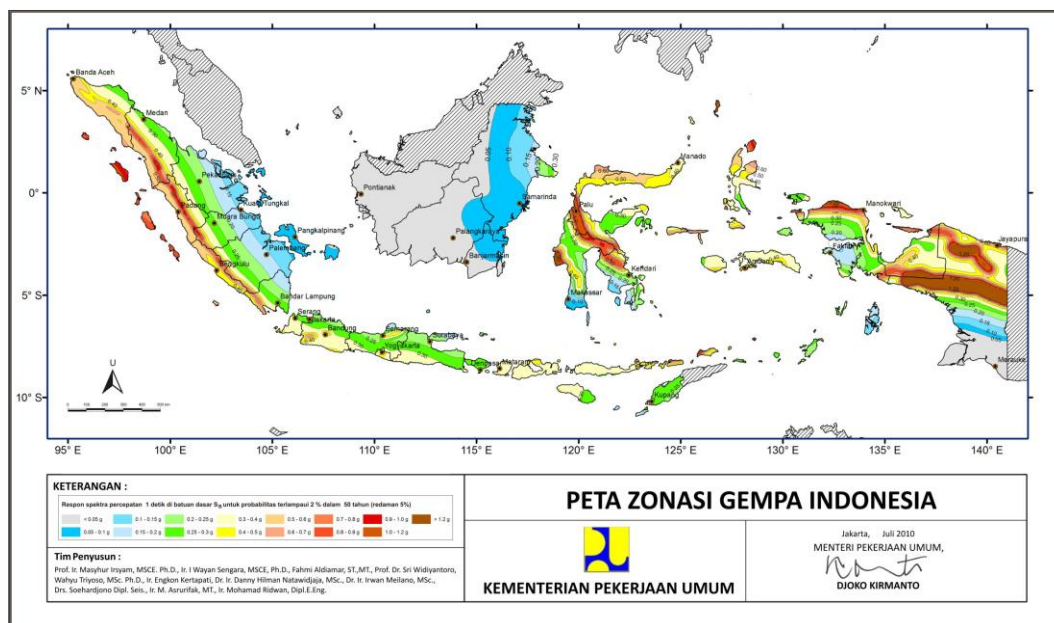
Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 14, wilayah gempa ditetapkan berdasarkan parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.4, 2.5, dan 2.6.



Gambar 2.4: Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (SB) untuk Probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.



Gambar 2.5: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (SS) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.



Gambar 2.6: Peta respon spektra percepatan 1,0 detik (S1) di batuan dasar (SB) Untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.

### 2.7.3. Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori struktur bangunan gedung, bergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur gedung selama umur gedung dan umur gedung tersebut yang diharapkan, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan *I*.

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 4.1.2, untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.2 pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan *I* menurut Tabel 2.3.

Tabel 2.2: Kategori risiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012.

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan struktur lainnya yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori I, II dan IV	II
Gedung dan struktur lainnya yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan. Gedung dan struktur lainnya, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak	III

Tabel 2.2: *Lanjutan.*

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan. Gedung dan struktur lainnya yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tap tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, limbah berbahaya atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan struktur lainnya yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting Gedung dan struktur lainnya yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk dalam kategori risiko IV	IV

Tabel 2.3: Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726-2012.

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

#### 2.7.4. Struktur Penahan Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.2, setiap sistem penahan gaya gempa yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang ditentukan oleh parameter berikut ini:

- a. Faktor koefisien modifikasi respons (R)
- b. Faktor kuat lebih sistem (Cd)
- c. Faktor pembesaran defleksi ( $\Omega_0$ ).
- d. Faktor batasan tinggi sistem struktur.

Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Faktor koefisien modifikasi respons, faktor kuat lebih sistem faktor Pembesaran defleksi, dan batasan tinggi sistem struktur berdasarkan SNI 1726:2012.

Sistem penahan gaya seismik	Pasal SNI	Koefisien modifikasi	Faktor kuat lebih	Faktor pembesaran	Batasan disistem struktur dan batasan tinggi struktur				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>
Rangka beton bertulang momen khusus	5.2.5.5 dan 7.2	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	7.2	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	7.2	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Ket : TB = Tidak Dibatasi  
 TI = Tidak Diizinkan

### 2.7.5. Periode Alami Struktur

Periode adalah besarnya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu getaran. Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari. Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.2, terdapat dua nilai batas untuk perioda bangunan, yaitu nilai minimum perioda bangunan ( $T_a$  minimum) dan nilai maksimum perioda bangunan ( $T_a$  maksimum). Nilai minimum perioda bangunan dapat ditentukan dengan Pers. 2.3.

$$T_{a\text{minimum}} = C_r h_n^x \quad (2.3)$$

Dimana:

$T_a$  minimum = Nilai batas bawah perioda bangunan

$C_r$  = ditentukan dari Tabel 2.4

$X$  = ditentukan dari Tabel 2.4

$h_n$  = ketinggian struktur dalam m diatas dasar sampai tingkat tertinggi

Tabel 2.5: Nilai parameter perioda pendekatan  $C_r$  dan  $x$ .

Tipe Struktur	Cr	X
Sitem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Nilai maksimum perioda bangunan ( $T_a$  maksimum) ditunjukkan oleh Pers. 2.4.

$$T_{a\text{maksimum}} = C_u T_{a\text{minimum}} \quad (2.4)$$

Dimana:

$T_a$  maksimum = Nilai batas atas perioda bangunan

$h_n$  = Ketinggian struktur dalam m diatas dasar sampai ketinggian

$C_u$  = Ditentukan dari Tabel 2.6

Tabel 2.6: Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung SNI 1726:2012.

Parameter percepatan respon spektra desain pada 1 detik, SD1	Koefisien ( $C_u$ )
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

### 2.7.6. Jumlah ragam

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.1, analisa harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 % dari massa aktual dalam masin-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.



### 2.7.7. Arah Pembebanan Gempa

Menurut (Budiono dan Supriyatna, 2011), untuk arah pembebanan gempa berdasarkan SNI 1726:2012 adalah sebagai berikut:

1. Dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa, sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan.
2. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%.

### 2.8. Klasifikasi Site

Berdasarkan SNI 1726:2012 terdapat beberapa jenis tanah. Untuk mendapatkan percepatan maksimum dan respon spektra dipermukaan tanah disuatu lokasi tinjauan, terlebih dahulu perlu diklasifikasikan site.

Tabel 2.7: Jenis-jenis tanah berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi Site	$\bar{v}_s (m/dt)$	$\bar{N}$	$\bar{S}_u (kPa)$
A. Batuan Keras	$v_s > 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 \leq v_s < 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < v_s \leq 750$	$N > 50$	$S_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < v_s \leq 350$	$15 \leq N < 50$	$50 \leq S_u < 100$
E. Tanah Lunak	$v_s < 175$	$N < 15$	$S_u < 50$
F. Tanah Lunak	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 dengan karakteristik sebagai berikut: $PI > 20$ , $w > 40\%$ dan $S_u < 25$ kPa		
G. 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: -Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah -Lempung organik tinggi atau gambut (ketebalan $> 3m$ ) -Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan $PI > 75$ ) -Lapisan lempung lunak/medium kaku ketebalan $H > 35m$		

### 2.8.1. Penentuan Percepatan Puncak di Permukaan Tanah

Berdasarkan SNI 1726:2012, besarnya percepatan puncak di permukaan tanah diperoleh dengan mengalikan faktor amplikasi untuk PGA ( $F_{PGA}$ ) dengan nilai PGA. Nilai PGA tergantung dari jenis tanah berdasarkan Tabel 2.7 dan nilainya ditentukan sesuai dengan Tabel 2.8.

Tabel 2.8: Faktor amplikasi untuk ( $F_{PGA}$ ) berdasarkan SNI 1726:2012.

Jenis Tanah	$S_{PGA}$				
	PGA≤0.1	PGA= 0.2	PGA=0.3	PGA= 0.4	PGA≥0.5
Batuan Keras	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
	SS	SS	SS	SS	SS

Keterangan:

$S_{PGA}$  = Nilai PGA di batuan dasar (SB) berdasarkan Peta Gempa SNI 1726:2012

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respon spesifik Percepatan puncak permukaan tanah dapat diperoleh dengan Pers. 2.14 di bawah ini.

$$PGA_M = F_{PGA} \times S_{PGA} \quad (2.4)$$

dimana:

$PGA_M$  = Nilai percepatan puncak dipermukaan tanah berdasarkan jenis tanah

$F_{PGA}$  = Faktor amplikasi untuk PGA.

### 2.8.2. Penentuan Respon Spektra di Permukaan Tanah

Untuk penentuan parameter respon spektra percepatan dipermukaan tanah, diperlukan faktor amplikasi terkait spektra percepatan untuk periode pendek ( $F_a$ ) dan periode 1.0 detik ( $F_v$ ). Selanjutnya parameter respon spektra percepatan di

permukaan tanah dapat diperoleh dengan cara mengalikan Koefisien  $F_a$  dan  $F_v$  dengan spektra percepatan untuk perioda pendek ( $S_s$ ) dan perioda 1.0 detik ( $S_1$ ) dibatuan dasar yang diperoleh dari peta gempa Indonesia SNI 1726:2012 sesuai dengan Pers. 2.5 dan 2.6 berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.5)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2.6)$$

dimana:

$S_s$  = Nilai spektra percepatan untuk perioda pendek 0.2 detik di batuan dasar ( $S_B$ ) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2012 (Gambar 2.6)

$S_1$  = Nilai spektra percepatan untuk periode 1.0 detik di batuan dasar ( $S_B$ ) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2012 (Gambar 2.8)

$F_a$  = Koefisien perioda pendek

$F_v$  = Koefisien perioda 1.0 detik

Nilai  $F_a$  dan  $F_v$  untuk berbagai klasifikasi site ditunjukkan pada Tabel 2.9 dan Tabel 2.10.

Tabel 2.9: Koefisien periode pendek,  $F_a$  berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi Site	$S_s$				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
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	SS	SS	SS	SS

Tabel 2.10: Koefisien periode 1.0 detik,  $F_v$  berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi Site	$S_1$				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
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

Tabel 2.10: *Lanjutan.*

Klasifikasi Site	$S_I$				
	$S_I \leq 0.1$	$S_I = 0.2$	$S_I = 0.3$	$S_I = 0.4$	$S_I \geq 0.5$
Tanah Lunak ( $S_E$ )	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah Khusus ( $S_F$ )	SS	SS	SS	SS	SS

Selanjutnya, untuk mendapatkan parameter respon spektra desain, spektra percepatan desain untuk perioda pendek dan perioda 1.0 detik dapat diperoleh melalui Pers. 2.7 dan Pers. 2.8 berikut ini.

$$S_{DS} = \mu S_{MS} \quad (2.7)$$

$$S_{DI} = \mu S_{MI} \quad (2.8)$$

dimana:

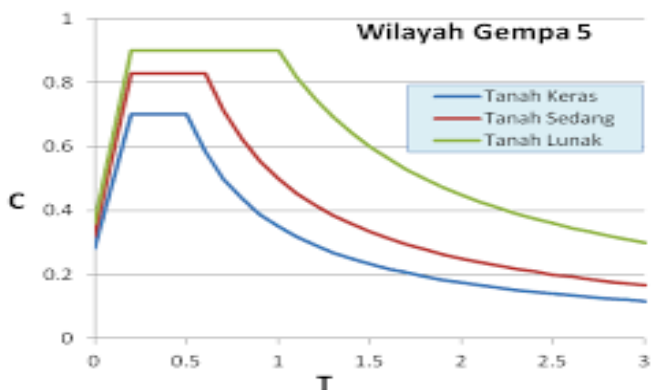
$S_{DS}$  = respon spektra percepatan desain untuk perioda pendek.

$S_{DI}$  = respon spektra percepatan desain untuk perioda 1.0 detik.

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

Selanjutnya respon spektra desain di permukaan tanah yang dapat ditetapkan sesuai dengan Gambar 2.7.

Struktur bangunan yang akan direncanakan terletak pada wilayah gempa 5. Berikut ini adalah grafik dan tabel respon spectra pada wilayah gempa zona 5 untuk kondisi tanah lunak, sedang, dan keras.



Gambar 2.7: Respon Spektrum Gempa Rencana Zona 5 (SNI 1729-2012)

Analisa yang digunakan dalam perencanaan beban gempa ini adalah metode analisa statik ekuivalen yang bekerja pada gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut.

dimana:

1. Untuk periode lebih kecil dari  $T_0$ , respon spektra percepatan  $S_a$  didapatkan dari Pers. 2.9 berikut:

$$S_a = S_{DS} \left( 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.9)$$

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,  $S_a$  didapat dari Pers. 2.10 berikut:

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

Untuk nilai  $T_0$  dan  $T_s$  dapat ditentukan dengan Pers. 2.11 dan Pers. 2.12 berikut ini:

$$T_0 = 0.2 T_s \quad (2.11)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.12)$$

## 2.9. Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen

### 2.9.1. Geser dasar minimum untuk menghitung simpangan antar lantai

Analisis elastik sistem penahan gaya gempa untuk perhitungan simpangan antar lantai harus dilakukan dengan menggunakan gaya gempa desain atau gaya geser dasar seismik Pers. 2.13.

$$V = C_s \cdot W_t \quad (2.13)$$

Dimana:

$C_s$  = Koefisien respon seismik

$W_t$  = Berat total struktur

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

$C_{s \text{ maksimum}}$

Untuk  $C_{s \text{ maksimum}}$  ditentukan dengan Pers 2.14 berikut ini:

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

(2.14)

dimana:

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

$R$  = faktor modifikasi respon,

$I$  = faktor keutamaan hunian.

Nilai  $C_s$  maksimum diatas tidak perlu melebihi  $C_s$  hitungan pada pers 2.15.

$C_{s \text{ hasil hitungan}}$

$$C_{s \text{ hasil hitungan}} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.15)$$

dimana:

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

$T$  = periode struktur dasar (detik)

Nilai  $C_s$  hasil hitungan diatas tidak kurang dari nilai  $C_s$  minimum dari Pers 2.16.

$C_{s \text{ minimum}}$

$$C_{s \text{ minimum}} = 0,0044 S_{DS} I \geq 0,01 \quad (2.16)$$

Sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6g maka  $C_s$  harus tidak kurang dari Pers 2.17.

$$C_{s \text{ tambahan}} = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.17)$$

dimana:

$S_1$  = parameter percepatan respons spektrum desain yang dipetakan

Budiono dan Supriatna (2011), menyatakan bahwa pemilihan nilai  $C_s$  ditentukan dengan cara apabila  $C_{s \text{ hitungan}}$  lebih besar dari  $C_{s \text{ maksimum}}$ , maka yang digunakan adalah nilai  $C_{s \text{ maksimum}}$ , sedangkan apabila nilai  $C_{s \text{ hitungan}}$  lebih kecil dari nilai  $C_{s \text{ minimum}}$  maka digunakan.

Menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3, gaya gempa lateral ( $F_i$ ) yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dengan Pers.2.18.

$$F_i = \frac{W_i \cdot z_i^k}{\sum (W_i \cdot z_i)^k} \cdot V \quad (2.18)$$

dimana:

$k$  = nilai eksponen yang terkait dengan periode 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 interpolasi.

### 2.9.2. Simpangan Antar Lantai

Bedasarkan SNI 1726:2012, simpangan antar lantai hanya terjadi pada kondisi kinerja batas ultimit saja. Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal maka defleksi bisa dihitung.

Pada simpangan antar lantai nilainya harus diperbesar dengan Pers. 2.19 di bawah ini:

$$\frac{\Delta i \cdot C_d}{I_e} \quad (2.19)$$

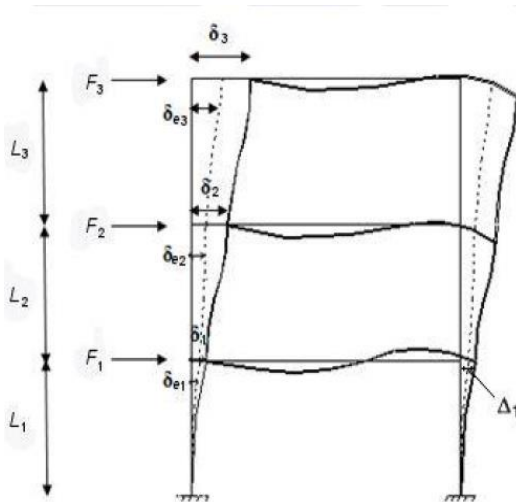
Dimana:

- $\Delta i$  = Simpangan antar lantai

- $Cd$  = Faktor pembesaran defleksi
- $Ie$  = Faktor keutamaan gedung

Setelah nilai pembesaran simpangan ( $\Delta_i$ ) di dapat maka nilai tersebut tidak boleh

lebih dari nilai yang sesuai struktur gedung dan kategori resikonya seperti pada



**Tingkat 3**

- $F_3$  = gaya gempa disain tingkat kekuatan
- $\delta_{e3}$  = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa disain tingkat kekuatan
- $\delta_3$  =  $Cd \delta_{e3}/IE$  = perpindahan yang diperbesar
- $\Delta_3$  =  $(\delta_{e3} - \delta_{e2}) Cd/IE \leq \Delta_a$  (Tabel 2.17)

**Tingkat 2**

- $F_2$  = gaya gempa disain tingkat kekuatan
- $\delta_{e2}$  = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa disain tingkat kekuatan
- $\delta_2$  =  $Cd \delta_{e2}/IE$  = perpindahan yang diperbesar
- $\Delta_2$  =  $(\delta_{e2} - \delta_{e1}) Cd/IE \leq \Delta_a$  (Tabel 2.17)

**Tingkat 1**

- $F_1$  = gaya gempa disain tingkat kekuatan
- $\delta_{e1}$  = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa disain tingkat kekuatan
- $\delta_1$  =  $Cd \delta_{e1}/IE$  = perpindahan yang diperbesar
- $\Delta_1$  =  $\delta_1 \leq \Delta_a$  (Tabel 2.17)

$\Delta_i$  = Simpangan antar lantai  
 $\Delta_i/L_i$  = Rasio simpangan antar lantai  
 $\delta_3$  = Perpindahan total

Gambar 2.8 : Penentuan simpangan antar lantai (SNI 1726:2012) Simpangan antar lantai tingkat disain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin ( $\Delta_a$ ) seperti yang diperlihatkan pada Tabel. 2.11.

Tabel 2.11 : Simpangan antar lantai izin ( $\Delta_a$ ) 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 antar lantai tingkat	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Dimana:  $h_{sx}$  = Tinggi tingkat struktur



### 2.9.3. Kekakuan

Kekakuan struktur adalah gaya yang diperlukan struktur bila mengalami deformasi sebesar satu satuan (Budiono dan Supriatna, 2011). Nilai kekakuan struktur tergantung dari material yang digunakan, dimensi elemen struktur, penulangan, modulus elastisitas, modulus elastisitas geser dan momen inersia polar.

Berdasarkan SNI 1726:2012, dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh gempa rencana, pengaruh peretakan beton pada unsur-unsur struktur dari beton bertulang, beton pratekan dan baja komposit harus diperhitungkan terhadap kekakuannya. Untuk itu, momen inersia penampang unsur struktur dapat ditentukan sebesar momen inersia penampang utuh dikalikan dengan suatu persentase efektifitas penampang.

### 2.9.4. *Soft Story*

Bangunan gedung dengan kekakuan vertikal yang tidak baik adalah bangunan gedung yang dalam tingkat-tingkatnya terdapat tingkat yang lemah atau *soft story*. Didalam SNI 1726:2012 telah diatur secara jelas tentang bangunan regular yang menyakut tentang distribusi kekakuan yaitu:

Gedung regular adalah gedung yang sistem strukturnya memiliki kekakuan lateral yang beraturan tanpa adanya tingkat lunak (*soft story*). Yang dimaksud dengan tingkatan lunak adalah suatu tingkat yang mana kekakuan lateralnya <70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau < 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya.

*Soft Story* adalah suatu tingkat lemah, yang kekakuannya jauh lebih kecil dari pada tingkatan-tingkatan yang lain. Oleh karena itu dalam merencanakan kekakuan tingkat harus berhati-hati agar tidak terjadi *soft story*. Kekakuan tingkat untuk setiap kolom pada lantai yang sama dapat diperkirakan dengan Pers. 2.20.

$$K = \frac{12EI}{h^3} \tag{2.20}$$

Dimana:

$h$  = Tinggi tingkat (cm).

$I$  = Inersia kolom ( $m^2$ ).

$K$  = Kekakuan tingkat (kg/cm).

Sedangkan untuk kekakuan tingkat yang lebih akurat juga dapat dihitung dengan cara menggunakan program analisa struktur statis.

### 2.9.5. Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pascaelastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

Faktor daktilitas struktur gedung  $\mu$  adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan  $\delta_m$  dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama  $\delta_y$ , dalam Pers. 2.21.

$$1 \leq \mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} \leq \mu_m \quad (2.21)$$

dimana:  $\mu = 1$  : nilai faktor daktilitas struktur gedung yang elastik penuh

$\mu_m$  : nilai faktor daktilitas untuk struktur gedung yang dapat dikerahkan oleh sistem struktur yang bersangkutan

### 2.9.6. Keamanan Kolom

Struktur vertikal kolom yang menerima dan menyalurkan gaya tekan axial bersamaan atau tidak dengan gaya momen. Dikarenakan resiko keruntuhan kolom lebih banyak memikul bagian struktur dibanding struktur lantai, baik pelat atau balok, karena kolom lebih banyak memikul bagian struktur dibanding balok sehingga bila kolom runtuh akan lebih banyak bagian dari bangunan yang hancur dibandingkan bila balok yang runtuh.

### 2.9.7. Ketentuan untuk metode analisis dinamik

Berdasarkan SNI 1726:2012, nilai akhir respons dinamik struktur gedung tidak boleh diambil kurang dari 85% nilai respons ragam yang pertama terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser  $V_t$ , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dengan Pers. 2.22 berikut:

$$V_t \geq 0,85 V_1 \quad (2.22)$$

dimana:

$V_1$  = gaya geser dasar nominal sebagai respons ragam yang pertama atau yang didapat dari prosedur gaya geser statik ekuivalen.

Maka, berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.2.3 menyatakan, apabila nilai akhir respons dinamik lebih kecil dari nilai respons ragam pertama, gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisis riwayat waktu dalam suatu arah tertentu harus dikalikan dengan suatu faktor skala yang ditunjukkan pada Pers. 2.23 berikut:

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,85 V_1}{V_t} \geq 1 \quad (2.23)$$

dimana:

$V_t$  = gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis riwayat waktu yang telah dilakukan.

$V_1$  = gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekuivalen.

### 2.10. Sistem Stuktur

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, sistem struktur dasar penahan lateral secara umum dapat dibedakan atas:

1. Sistem rangka pemikul momen (SRPM)
2. Sistem dinding struktural (SDS)

### **2.10.1. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)**

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur balok, kolom, dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui lentur, geser dan aksial

SRPM dapat dikelompokkan menjadi:

a. **Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)**

Sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan didaerah dengan resiko gempa yang rendah.

b. **Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)**

Sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas sedang dan dapat digunakan pada zona gempa menengah.

c. **Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SPRMK)**

Sistem ini memiliki tingkat daktilitas penuh dan dapat digunakan pada zona gempa tinggi.

### **2.10.2. Sistem Dinding Struktural (SDS)**

Sistem dinding struktural adalah dinding proporsi untuk menahan kombinasi geser, momen dan gaya aksial yang ditimbulkan gempa.

SDS dapat dikelompokkan menjadi:

a. **Dinding Struktural Beton Biasa (SDSB)**

Sistem dinding ini memiliki tingkat terbatas dan bisa digunakan pada zona gempa menengah.

b. **Dinding Struktural Beton Khusus**

Sistem ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas penuh dan digunakan pada zona gempa tinggi.

### **2.11. Struktur Utama Bangunan**

Struktur utama bangunan adalah suatu kerangka pokok suatu bangunan. Sebagai kerangka pokok, maka struktur bangunan mempunyai fungsi utama

meneruskan beban baik beban gravitasi maupun beban sementara kesistem pendukung akhir yaitu tanah dasar. Struktur bangunan, baik baja, beton maupun kayu sangat baik dalam menahan beban gravitasi, namun perlu didesain secara khusus apabila menahan beban yang arahnya horizontal. Beban horizontal dapat diakibatkan oleh beban angin maupun beban gempa. Pada daerah yang aktivitas gempanya tinggi, beban horizontal sangat menentukan pada proses desain dan struktur utama bangunan lebih banyak dimaksudkan untuk menahan beban horizontal daripada hanya sekedar menahan beban gravitasi. Oleh karena itu, struktur utama bangunan juga sering disebut sebagai sistem penahan beban horizontal atau *lateral load resisting system*.

Ada terdapat beberapa jenis struktur utama bangunan, yaitu:

1. Portal terbuka
2. Portal dengan bracing
3. Dinding geser
4. Walled-Frame
5. Diafragma/Lantai penghubung

## **2.12. Konfigurasi Bangunan**

Konfigurasi bangunan pada hakekatnya adalah sesuatu yang berhubungan dengan bentuk, ukuran, macam dan penempatan struktur utama bangunan dan elemen nonstruktural (Pawirodikromo, 2012).

### **2.12.1. Struktur Gedung Beraturan**

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Tinggi struktur gedung dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
2. Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan. Jika terdapat tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.

3. Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut. Jika terdapat coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15% ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
4. Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama orthogonal denah struktur secara keseluruhan.
5. Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan walaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah tidak kurang dari 75% ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya.
6. Sistem struktur memiliki kekakuan lateral yang beraturan tanpa adanya tingkat lunak. Tingkat lunak adalah suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar tingkat.
7. Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150% berat lantai tingkat di atasnya ataupun di bawahnya.
8. Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus tanpa ada perpindahan titik beratnya kecuali perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
9. Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Walaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya

### **2.12.2. Struktur Gedung Tidak Beraturan**

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung tidak beraturan jika tidak memenuhi syarat dari struktur gedung beraturan. Untuk struktur gedung tidak beraturan, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik.

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.3.2.1 dan pasal 7.3.2.2, ketidak beraturan struktur bangunan dapat dibedakan menjadi ketidak beraturan horizontal dan ketidak beraturan vertikal. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.12 dan Tabel 2.13.

Tabel 2.12: Ketidakberaturan horizontal pada struktur.

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a	Ketidakteraturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, disebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku	7.3.3.3 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	D,E, dan F B,C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B,C, D, E, dan F
1b	Ketidakteraturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, disebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	E dan F D B, C dan D C dan D C dan D D B, C dan D
2	Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang didefinisikan	7.3.3.4 Tabel 13	D, E dan F D, E dan F

Tabel 2.12: *Lanjutan.*

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
3	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah potongan atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat keringat selanjutnya	7.3.3.4 Tabel 13	D, E dan F D, E dan F
4	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika ada terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang vertikal	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	B,C,D,E dan F D,E dan F B,C,D,E dan F D,E dan F B,C,D,E dan F
5	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya seismik	7.5.3 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	C,D,E dan F B,C,D,E dan F D,E dan F B,C,D,E dan F

Tabel 2.13: Ketidakberaturan vertikal pada struktur.

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya	Tabel 13	D,E dan F
1b	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya	7.3.3.1 Tabel 13	E dan F D, E dan F
2	Ketidakberaturan massa didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari	Tabel 13	D, E dan F



	150% massa efektif tingkat didekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai		
--	--	--	--

Tabel 2.13: *Lanjutan.*

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

### 2.13. Berat Bangunan

Pada bangunan bertingkat tinggi berat dari masing-masing lantai perlu dihitung karena berat dari struktur bangunan sangat berpengaruh terhadap beban gempa. Berdasarkan standar pembebanan yang berlaku di Indonesia pengaruh beban gempa pada struktur gedung, beban hidup yang bekerja dapat dikalikan dengan faktor

reduksi. Karena kemungkinan terjadinya gempa bersamaan dengan beban hidup yang bekerja penuh pada bangunan adalah kecil, maka beban hidup yang bekerja dapat direduksi besarnya.

## **2.14. Perencanaan Beton Bertulang**

### **2.14.1. Persyaratan umum**

Persyaratan minimum untuk desain dan konstruksi komponen struktur beton semua struktur yang dibangun menurut persyaratan peraturan bangunan gedung secara umum yang diadopsi secara legal dimana standar ini merupakan bagiannya. Di daerah tanpa peraturan bangunan gedung yang diadopsi secara legal, standar ini menentukan standar minimum yang dapat diterima untuk bahan, desain, dan praktek konstruksi. Standar ini juga memuat evaluasi kekuatan struktur beton yang sudah dibangun.

### **2.14.2. Ketentuan perencanaan**

#### **1. Kolom**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 menjelaskan bahwa :

- Kolom harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum yang berasal dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau. Kombinasi pembebanan yang menghasilkan rasio maksimum dari momen terhadap beban aksial juga harus diperhitungkan.
- ❖ Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain, yaitu :
  - Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak kurang dari  $0,1Agf'c$ .

#### **2. Balok Beton**

- Balok beton berfungsi menompang lantai diatas balok dan juga berfungsi sebagai penyalur momen menuju kolom-kolom. Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan juga geser.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 yang dikutip dari perencanaan struktur gedung beton bertulang tahan gempa. Ketentuan perencanaanya adalah sebagai berikut:

❖ Persyaratan geometrik

Komponen struktur lentur didefinisikan sebagai komponen struktur dimana gaya aksial tekan terfaktor yang bekerja pada penampangnya tidak melebihi  $0,1A_gf_c$  dengan  $A_g$  adalah luas penampang komponen struktur. Bila beton aksial tekan terfaktor pada komponen struktur melebihi  $0,1A_gf_c$ , maka ketentuan kolom SRPMM harus dipenuhi kecuali bila komponen struktur diberi tulangan spiral.

Secara geometrik, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi untuk komponen lentur yaitu:

- Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
- Perbandingan lebar terhadap tinggi komponen struktur tidak boleh kurang dari 0,3. Persyaratan ini terkait dengan stabilitas penampang komponen struktur, khususnya pada saat penampang mengalami deformasi inelastik yang cukup signifikan.
- Lebar penampang haruslah lebih besar dari 250 mm.

## 2.15. Pembebanan

Dalam melakukan pemodelan, analisis dan desain suatu struktur, perlu ada gambaran mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur tersebut. Gaya statis adalah gaya yang bekerja secara terus-menerus pada struktur dan mempunyai karakter *steady-states*.

Gaya dinamis adalah gaya yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur, pada umumnya tidak bersifat *steady-states* dan mempunyai karakteristik besar dan lokasinya berubah dengan cepat.

Pemodelan beban pada struktur digunakan untuk menyederhanakan di dalam perhitungan analisis dan desain struktur.

Beban-beban yang bekerja pada suatu struktur dapat diklasifikasikan kedalam beberapa kategori, yaitu :

### 2.15.1. Beban Mati (DL)

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

Beban tersebut harus disesuaikan dengan volume elemen struktur yang digunakan. Karena analisis dilakukan dengan menggunakan program ETABS , maka berat sendiri akan dihitung secara langsung.

Tabel 2.14: Berat jenis bahan bangunan berdasarkan [www.ilmusipil.com](http://www.ilmusipil.com).

No.	Nama Material	Berat Jenis
1	Pasir	1.400 kg/m <sup>3</sup>
2	Kerikil, Koral, Split (kering/lembab)	1.800 kg/m <sup>3</sup>
3	Tanah, Lempung (kering/lembab)	1.700 kg/m <sup>3</sup>
4	Tanah, Lempung (basah)	2.000 kg/m <sup>3</sup>
5	Batu Alam	2.600 kg/m <sup>3</sup>
6	Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung	1.500 kg/m <sup>3</sup>
7	Batu Karang	700 kg/m <sup>3</sup>
8	Batu Pecah	1.450 kg/m <sup>3</sup>
9	Pasangan Bata Merah	1.700 kg/m <sup>3</sup>
10	Pasangan Batu Belah, Bulat, Gunung	2.200 kg/m <sup>3</sup>
11	Pasangan Batu Cetak	2.200 kg/m <sup>3</sup>
12	Pasangan Batu Karang	1.450 kg/m <sup>3</sup>
13	Kayu (Kelas I)	1.000 kg/m <sup>3</sup>
14	Beton	2.200 kg/m <sup>3</sup>
15	Beton Bertulang	2.400 kg/m <sup>3</sup>
16	Besi Tuang	7.250 kg/m <sup>3</sup>
17	Baja	7.850 kg/m <sup>3</sup>
18	Timah/Timbel	11.400 kg/m <sup>3</sup>

### 2.15.2. Beban Hidup (LL)

Beban hidup yang diperhitungkan untuk rumah dan gedung SKBI-1987 adalah beban hidup 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 standar pedoman pembebanan yang ada, yaitu sebesar  $250 \text{ kg/m}^2$ .

b. Beban Hidup pada Atap Gedung

Beban hidup yang digunakan mengacu pada standar pedoman pembebanan yang ada, yaitu sebesar  $100 \text{ kg/m}^2$ .

### **2.15.3. Beban Gempa**

Beban gempa adalah beban yang timbul akibat percepatan getaran tanah pada saat gempa terjadi. Untuk merencanakan struktur bangunan tahan gempa, perlu diketahui percepatan yang terjadi pada batuan dasar. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, wilayah Indonesia dapat dibagi kedalam 6 wilayah zona gempa.

### **2.15.4. Arah Pembebanan Gempa**

Dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh gempa rencana harus di tentukan sedemikian rupa, sehingga pengaruh terbesar terhadap unsure-unsur subsistem dan system struktur secara keseluruhan.

Untuk menstimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung. Pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus efektif 100% dan harus di anggap terjadi secara bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitasnya hanya 30%. Hal ini telah di tetapkan pada SNI 1726-2012 pasal 5.8.2.

### **2.15.5. Beban Angin**

Beban angin adalah beban yang bekerja pada suatu struktur, akibat pengaruh struktur yang mem-blok aliran angin, sehingga energi kinetic angin akan dikonversi menjadi tekanan energi potensial, yang menyebabkan terjadinya beban angin.

Efek beban angin pada suatu struktur bergantung pada berat jenis dan kecepatan udara, sudut luas angin, bentuk dan kekakuan struktur, dan faktor-faktor yang lain.

### **2.15.6. Lainnya**

Pada beberapa tempat di beberapa negara, terdapat beban salju. Beban salju diperhitungkan dalam desain atap struktur bangunan.

Selain itu, terdapat pula beban air hujan. Pada umumnya beban air hujan juga diperhitungkan dalam desain atap struktur bangunan.

Pada perencanaan bangunan dinding penahan tanah (*retaining wall*)

Selain beban-beban yang telah didefinisikan, terdapat beberapa jenis beban yang lain, yaitu beban kejut (*impact*), beban api, beban akibat perubahan temperatur dan lain sebagainya.

## **2.16. Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SPRMM SNI 2847-2013)**

### **2.16.1. Balok**

1. Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen struktur tersebut.
2. Pada kedua ujung komponen struktur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan kearah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi:

- a.  $d/4$ .
  - b. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil.
  - c. 24 kali diameter sengkang.
  - d. 300 mm.
3. Sengkang harus dipasang di sepanjang bentang balok dengan spasi tidak melebihi  $d/2$ .

### 2.16.2. Kolom

1. Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang  $l_0$  dari muka hubungan balok-kolom adalah  $s_0$ . Spasi  $s_0$ . Tidak boleh melebihi:
  - a. Delapan kali diameter sengkang sengkang ikat.
  - b. 24 kali diameter sengkang ikat.
  - c. Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur.
  - d. 300 mm.
2. Panjang  $l_0$  tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini:
  - a. Seperenam tinggi bersih kolom.
  - b. Dimensi terbesar penampang kolom.
  - c. 500 mm.
3. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih dari pada  $0,5 s_0$  dari muka hubungan balok-kolom.
4. Tulangan hubungan balok-kolom harus memenuhi:
 

Pada sambungan-sambungan elemen portal kekolom harus disediakan tulangan lantai dengan luas tidak kurang dari yang diisyaratkan dalam persamaan  $A_v = \frac{75\sqrt{f_c} b_w s}{(1200)f_y}$  dan dipasang didalam kolom sejauh tidak kurang dari pada tinggi bagian sambungan paling tinggi dari elemen portal yang disambung, kecuali untuk sambunagan yang bukan merupakan bagian dari system utama penahan beban gempa, yang dikekang pada keempat sisinya dan oleh balok atau plat yang mempunyai ketebalan yang kira-kira sama.
5. Spasi sengkang ikat pada sambungan penampang kolom tidak boleh melebihi  $2 s_0$ .

### **2.16.3. Konsep Bangunan Tahan Gempa (Beton Bertulang)**

Bangunan-bangunan gedung mempunyai faktor keutamaan yang bergantung pada penting/tidaknya suatu bangunan. Bangunan yang sangat penting diharapkan dapat bertahan/mempunyai umur yang lebih lama dibanding dengan bangunan biasa. Hal ini berarti bahwa penting dan tidaknya bangunan berhubungan dengan beban rencana bangunan yang berlanjut pada periode ulang gempa. Semakin penting suatu bangunan maka semakin lama bangunan itu harus bertahan, berarti semakin besar gaya gempa yang harus diperhitungkan terhadap bangunan tersebut.

Struktur bangunan yang tahan terhadap gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan. Oleh karena itu, perlu adanya suatu konsep dasar yang sangat penting dalam hal perencanaan yaitu:

1. Saat terjadi gempa ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan harus dapat tetap berjalan. Kerusakan kecil masih dapat ditoleransi dan diperbolehkan pada elemen nonstruktural.
2. Saat terjadi gempa sedang, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen nonstruktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural.
3. Saat terjadi gempa besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural, tetapi tidak boleh menyebabkan bangunan runtuh untuk menghindari jatuhnya korban jiwa.
4. Saat terjadi perbedaan suhu panas  $68\text{ }^{\circ}\text{F}$  /  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  di wilayah struktur akan mengalami pemuaian pada struktur baja di perbolehkan mengalami kerusakan pada elemen nonstruktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural .
5. Saat terjadi perbedaan suhu dingin ekstrem di wilayah struktur, akan tetapi di wilayah khususnya dinegara indonesia yang tercinta ini (NKRI) jarang sekali atau tidak pernah sama sekali mengalami suhu dingin ekstrem.



### **2.16.3. Sistem Struktur**

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, sistem struktur dasar penahan lateral secara umum dapat dibedakan atas:

1. Sistem rangka pemikul momen (SRPM)
2. Sistem dinding struktural (SDS)

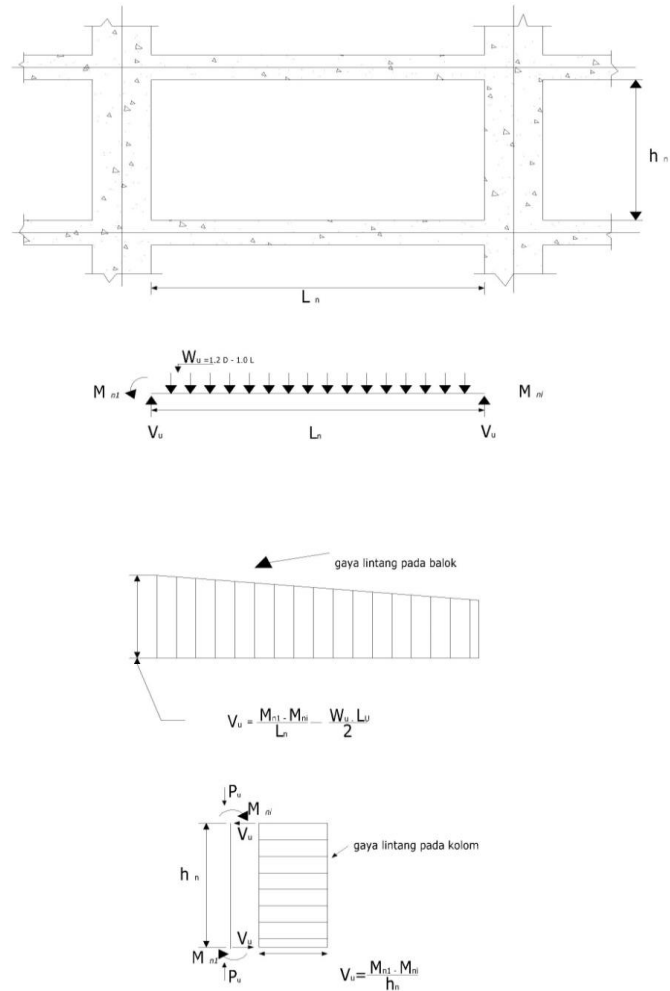
### **2.16.5. Detail Penulangan**

Bila beban aksial terfaktor pada komponen melebihi ( $A_g, F_c/10$ ), maka Pers 2.27 harus dipenuhi kecuali bila dipasang tulangan spiral sesuai persamaan.

### **2.16.6. Kuat Geser**

Kuat geser rencana balok, kolom dan konstruksi plat dua arah yang memikul beban gempa tidak boleh kurang dari pada:

1. Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban grafitasi terfaktor.
2. Gaya lintang maksimum yang di peroleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa,  $E$ , dimana nilai  $E$  diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.



Gambar 2.9: Gaya lintang rencana untuk SRPMM (Rambe, 2010).

## 2.17. Persyaratan Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

### 2.17.1. Komponen Struktur Lentur Pada SRPMK (SNI 2847-2013)

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

- 1) Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi  $0,1 A_g F'_c$ .

- 2) Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
- 3) Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.
- 4) Lebarnya tidak boleh:
  - Kurang dari 250 mm
  - Lebih lebar dari lebar komponen struktur pendukung ( diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu logitudinal komponen struktur lentur ) ditambah jarak pada setiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi tinggi perempat tinggi komponen struktur lentur.

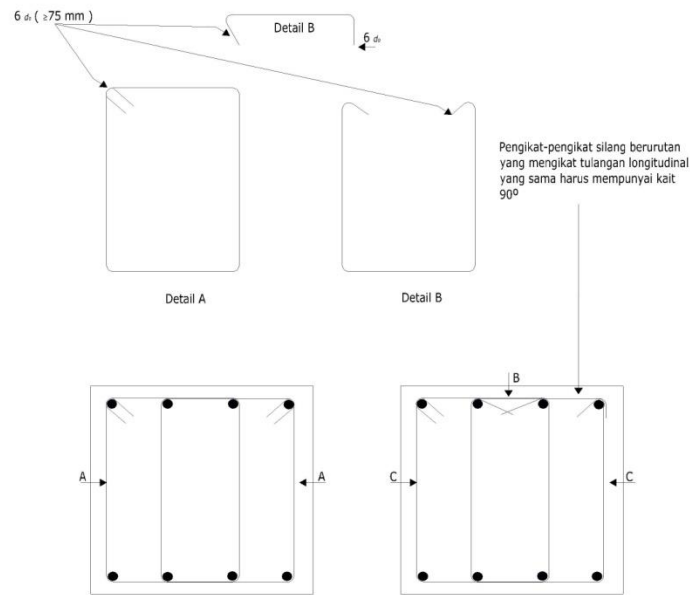
#### 2.17.1.1. Tulangan Longitudinal

1. Pada setiap irisan penampang komponen struktur lentur.
  - Jumlah tulangan atas dan bawah tidak boleh kurang dari
 
$$A_{s \min} = \frac{\sqrt{F_c}}{4 f_y} b_w b \quad (2.24)$$
  - Tidak boleh kurang dari  $1,4 \frac{b_w b}{f_y}$  (2.25)
  - Rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.
  - Sekurang-kurangnya harus ada dua batang tulangan atas dan dua batang tulangan bawah yang dipasang secara menerus.
2. Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh kecil dari setengah kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang batang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut.
3. Sambungan lewatan pada tulangan lentur hanya diijinkan jika ada tulangan spiral atau sengkang tertutup yang mengikat bagian sambungan lewatan tersebut. Spasi sengkang yang mengikat daerah sambungan lewatan tersebut tidak boleh melebihi  $d/4$  atau 100 mm. sambungan lewatan tidak boleh digunakan pada:
  - a. Daerah hubungan balok kolom.
  - b. Daerah hingga jarak dua kali tinggi balok dari muka kolom.

- c. Tempat-tempat yang berdasarkan analisis. Memperlihatkan kemungkinan terjadinya leleh lentur akibat perpindahan lateral inelastic struktur rangka.

#### **2.17.1.2. Tulangan Transversal**

1. Sengkang tertutup harus dipasang pada komponen struktur pada daerah-daerah dibawah ini:
  - a. Pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan kearah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur.
  - b. Disepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang dimana leleh lentur diharapkan dapat terjadi sambungan dengan terjadinya deformasi inelastik struktur rangka.
2. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak melebihi dari 50mm dari muka tumpuan . Jarak maksimum antara sengkang tertutup tidak boleh melebihi:
  - $d/4$ ;
  - delapan kali diameter terkecil tulangan memanjang;
  - 24 kali diameter batang tulangan sengkang tertutup;
  - 300 mm.
3. Pada daerah yang memerlukan sengkang tertutup,tulangan memanjang pada perimeter harus mempunyai pendukung lateral.
4. Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari  $d/2$  di sepanjang bentang komponen struktur.
5. Sengkang atau sengkang ikat yang di perlukan untuk memikul geser harus dipasang disepanjang komponen struktur.
6. Sengkang tertutup dalam komponen struktur lentur diperbolehkan lebih dari dua unit tulangan ,yaitu: sebuah sengkang dengan kait gempa pada kedua ujung dan ditutup oleh pengikat silang. Pada pengikat silang yang beraturan yang mengikat tulangan memanjang yang sama, kait  $90^0$  harus dipasang secara berselang seling. Jika tulangan memanjang yang diberi pengikat silang dikekang oleh plat lantai hanya pada satu sisi saja maka kait  $90^0$  nya harus dipasang pada sisi yang dikekang.



Gambar 2.10: Contoh sengkang tertutup yang dipasang bertumpuk (Rambe, 2010).

### 2.17.1.3. Persyaratan Kuat Geser

#### 1. Gaya Rencana

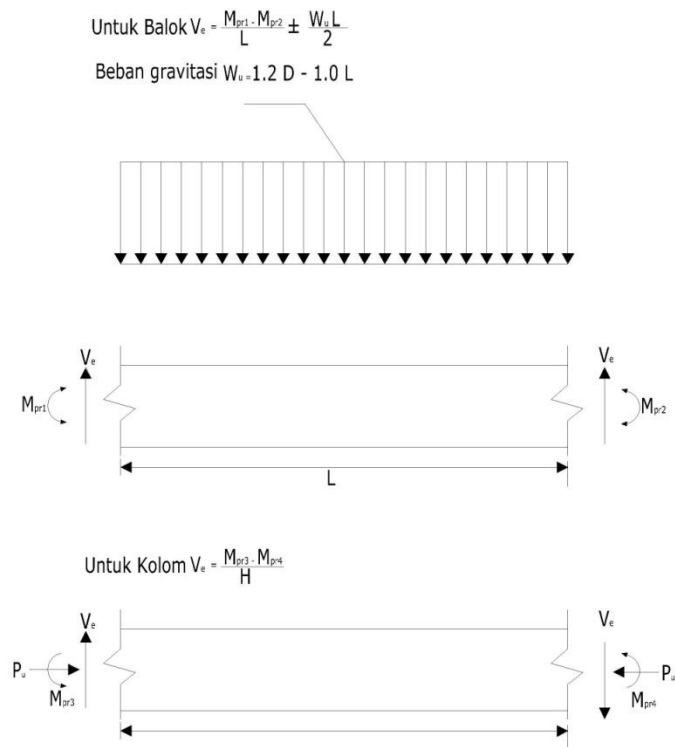
Gaya geser rencana  $V_C$  harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara muka dua tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan kuat tekan lentur maksimum,  $M_{pr}$ , harus dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan, dan komponen struktur tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor disepanjang bentangnya.

#### 2. Tulangan Transversal

Tulangan transversal sepanjang daerah yang ditentukan harus di rancang untuk memikul geser gempa dengan mengangap  $V_C = 0$ , bila:

- Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai dengan gaya rencana mewakili setengah atau lebih dari pada kuat gesere perlu maksimum disepanjang daerah tersebut,
- Gaya aksial tekan terfaktor, termasuk akibat gempa, lebih kecil dari  $A_g, F_C/20$ .

$$(2.26)$$



Gambar 2.11: Perencanaan geser untuk balok-kolom (Rambe, 2010).

## 2.17.2. Komponen Struktur Yang Menerima Kombinasi Lentur dan Beban Aksial Pada SRPMK ( SNI 03-2847-2012 Pasal 23.4)

### 2.17.2.1. Ruang Lingkup

Komponen struktur pada SRPMK harus memenuhi syarat-syarat berikut ini:

1. Ukuran penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui titik pusat geometri penampang, tidak kurang dari 300 mm
2. Perbandingan antara ukuran terkecil penampang terhadap ukuran dalam arah tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.

### 2.17.2.2. Kuat Lentur Minimum Kolom

1. Kuat lentur setiap kolom yang dirancang untuk menerima beban aksial tekan terfaktor melebihi  $A_g F_c / 10$  (2.27)
2. Kuat lentur kolom harus memenuhi

$$\sum M_e \geq \left(\frac{6}{5}\right) \sum M_g \quad (2.28)$$

$\sum M_e$  adalah jumlah momen pada pusat hubungan Balok kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal kolom yang merangka pada hubungan balok kolom tersebut, kuat lentur kolom harus dihitung untuk gaya-gaya aksial terfaktor, yang sesuai dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan nilai kuat lentur yang terkecil.

$\sum M_g$  adalah jumlah momen pada pusat hubungan balok-kolom, sehubungan dengan kuat lentur nominal balok kolom yang merangka pada hubungan balok-kolom tersebut/pada konstruksi balok T, dimana plat dalam keadaan tarik pada muka kolom, tulangan plat yang berada dalam daerah lebar efektif plat harus diperhitungkan dalam menentukan kuat lentur nominal balok bila tulangan tersebut terangkut dengan baik pada penampang kritis lentur.

3. jika tidak di penuhi maka kolom pada hubungan balok-kolom tersebut harus di rencanakan dengan memberikan tulangan transversal yang dipasang di sepanjang tinggi kolom.

### 2.17.2.3. Tulangan Memanjang

Rasio penulangan tidak boleh kurang dari 0,01 dan tidak boleh lebih dari 0,06

### 2.17.2.4. Tulangan Transversal

1. Ketentuan mengenai jumlah tulangan transversal
  - a. Rasio volumetrik tulangan spiral atau sengkang cincin tidak boleh kurang dari:

$$\rho_s = \frac{0.12 f'c}{f_{yh}} \quad (2.29)$$

Dan tidak boleh kurang:

$$\rho_s = 0,45 \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'c}{f_y} \quad (2.30)$$

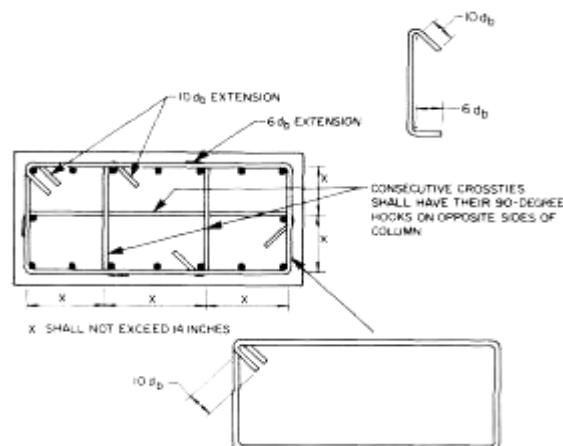
Denagan  $f_y$  adalah kuat leleh tulangan spiral, tidak boleh di ambil lebih dari 400 MPa.

- b. Luas total penampang sengkang tertutup persegi tidak boleh kurang dari:

$$A_{sh} = 0,3 \left( \frac{sh_{cf}c}{f_{yh}} \right) \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (2.31)$$

$$A_{sh} = 0,09 \left( \frac{sh_{cf}c}{f_{yh}} \right) \quad (2.32)$$

- c. Tulangan transversal harus berupa sengkang tunggal atau tumpuk. Tulangan pengikat silang dengan diameter dan spasi yang sama dengan diameter dan spasi sengkang tertutup boleh digunakan. Tiap ujung tulangan pengikat silang harus terikat pada tulangan longitudinal lentur. Pengikat silang yang beraturan harus ditempatkan secara berselang-seling berdasarkan bentuk kait ujungnya.
- d. Bila kuat rencana pada bagian inti komponen struktur telah memenuhi ketentuan kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa maka persamaan (2.11) dan (2.12) tidak perlu diperhatikan.
- e. Bila tebal selimut beton diluar tulangan transversal pengekang melebihi 100 mm, tulangan transversal tambahan perlu di pasang dengan spasi tidak melebihi 300 mm. Tebal selimut diluar tulang transversal tambahan tidak boleh melebihi 100mm.



Gambar 2.12: Contoh tulangan transversal pada kolom (Rambe, 2010).

2. Tulangan transversal harus diletakan dengan spasi tidak melebihi dari pada:
  - a.  $\frac{1}{4}$  dari dimensi terkecil komponen struktur.
  - b. 6 kali diameter tulangan longitudinal

$$c. S_x = 100 + \frac{350 - h_x}{3} \quad (2.33)$$

Nilai  $S_x$  tidak perlu lebih besar dari pada 150 mm dan tidak perlu lebih kecil dari pada 100 mm.



3. Tulangan pengikat silang tidak boleh dipasang dengan spasi lebih dari pada 350 mm dari sumbu ke sumbu dalam arah tegak lurus sumbu komponen struktur.
4. Tulangan transversal harus dipasang di sepanjang  $I_0$  dari setiap muka hubungan balok kolom dan juga sepanjang  $I_0$  pada kedua sisi dari setiap penampang yang berpotensi membentuk leleh lentur akibat depormasi lateral inelastik struktur rangka. Panjang  $I_0$  ditentukan tidak boleh kurang dari pada :
  - a. Tinggi penampang komponen struktur pada muka hubungan balok-kolom atau pada segmen yang berpotensi membentuk leleh lentur.
  - b.  $1/6$  bentang bersih komponen struktur.
  - c. 500 mm.
5. Bila gaya-gaya aksial terfaktor pada kolom akibat beban gempa melampaui  $A_g F_c/10$ , dan gaya aksial tersebut berasal dari komponen struktur lainnya yang sangat kaku yang didukungnya, misalnya dinding, maka kolom tersebut harus diberi tulangan transversal pada seluruh tinggi kolom.
6. Bila tulangan transversal tidak dipasang di seluruh panjang kolom maka pada daerah sisinya harus dipasang tulangan spiral dan sengkang tertutup dengan spasi sumbu ke sumbu tidak lebih dari nilai terkecil dari enam kali diameter tulangan longitudinal kolom atau 150 mm.

#### **2.17.2.5. Persyaratan Kuat Geser**

1. Gaya-gaya rencana  $V_e$ , harus ditentukan dengan memperhitungkan gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi pada muka hubungan balok-kolom pada setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya pada muka hubungan balok-kolom tersebut harus ditentukan menggunakan kuat momen maksimum  $M_{pr}$ , dari komponen struktur tersebut yang terkait dengan rentang beban-beban aksial terfaktor yang bekerja. Gaya geser rencana tersebut tidak boleh lebih besar dari gaya geser rencana yang ditentukan dari hubungan balok-kolom berdasarkan kuat momen maksimum,  $M_{pr}$ , dari komponen struktur transversal yang merangka dari hubungan balok-kolom tersebut. Gaya geser rencana,  $V_e$ , tidak boleh lebih kecil dari pada geser terfaktor hasil perhitungan analisis struktur.
2. Tulangan transversal pada komponen struktur sepanjang  $I_0$ , harus direncanakan untuk memikul geser dengan menganggap  $V_e = 0$ , bila:

- a. Gaya geser akibat gempa mewakili 50% atau lebih dari kuat geser maksimum pada bagian sepanjang  $l_0$ , tersebut,
- b. Gaya tekan aksial terfaktor termasuk akibat pengaruh gempa tidak melampaui  $A_g F_c / 20$ ,

### **2.17.3. Hubungan Balok Kolom**

#### **2.17.3.1. Ketentuan Umum**

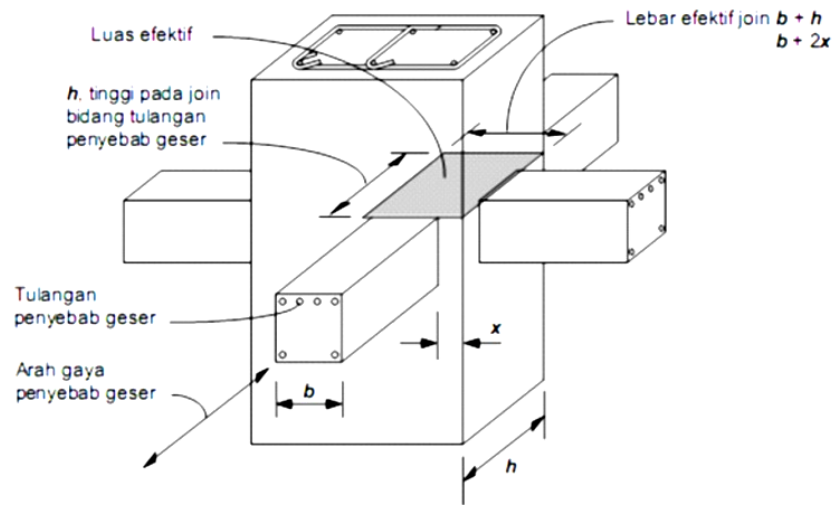
1. Gaya-gaya pada longitudinal balok dimuka hubungan balok kolom harus ditentukan dengan menganggap bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur adalah  $1,25 f_y$ .
2. Kuat hubungan balok-kolom harus direncanakan menggunakan factor reduksi kekuatan.
3. Tulangan longitudinal balok yang berhenti pada suatu kolom harus diteruskan hingga mencapai sisi jauh dari sisi inti kolom terkekang.
4. Bila tulangan longitudinal balok diteruskan hingga melewati hubungan balok-kolom, dimensi kolom dalam arah parallel terhadap tulangan longitudinal balok tidak boleh kurang daripada 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton berat normal. Bila digunakan beton ringan maka dimensi tersebut tidak boleh kurang dari pada 26 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.

#### **2.17.3.2. Tulangan Transversal**

1. Tulangan terbentuk sengkang tertutup harus di pasang dalam daerah hubungan balok-kolom, kecuali bila hubungan balok kolom tersebut dikekang oleh komponen-komponen struktur.
2. Pada hubungan balok-kolom di mana balok-balok, dengan lebar setidaknya-tidaknya sebesar  $\frac{3}{4}$  lebar kolom, merangka pada keempat sisinya, harus di pasang tulangan transversal setidaknya-tidaknya sejumlah  $\frac{1}{2}$  dari yang di tentukan. Tulangan transversal ini di pasang didaerah hubungan balok-kolom disetinggi balok terendah yang merangka kehubungan tersebut. Pada daerah tersebut, spasi tulangan transversal dapat diperbesar menjadi 150 mm.
3. Pada hubungan balok-kolom, dengan lebar balok lebih besar dari pada kolom. Tulangan transversal harus dipasang pada hubungan tersebut untuk memberikan kekangan terhadap tulangan longitudinal balok yang berada di daerah luar inti kolom. Terutama bila kekangan tersebut tidak disediakan oleh balok yang merangka pada tulangan tersebut.

### 2.17.3.3. Kuat Geser

1. Kuat geser nominal hubungan balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar dari pada ketentuan berikut ini untuk beton berat normal.
  - a. Untuk hubungan balok-kolom yang terkekang pada keempat sisinya
 
$$1,7\sqrt{f'}c A_j \quad (2.34)$$
  - b. Untuk hubungan yang terkekang pada ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan
 
$$1,25\sqrt{f'}c A_j \quad (2.35)$$
  - c. Untuk hubungan lainnya
 
$$1,0\sqrt{f'}c A_j \quad (2.36)$$
  - d. Luas efektif hubungan balok-kolom  $A_j$  ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13: Luas efektif hubungan balok-kolom (Rambe, 2010).

Suatu balok yang merangka pada suatu balok-kolom dianggap memberikan kekangan bila setidaknya-tidaknya  $\frac{3}{4}$  bidang hubungan muka balok-kolom tersebut tertumpu oleh balok yang merangka tersebut. Hubungan balok-kolom dapat dianggap terkekang bila ada empat balok merangka pada keempat sisi hubungan balok-kolom tersebut.

2. Untuk beton ringan, kuat geser nominal hubungan balok-kolom tidak boleh diambil lebih besar dari pada  $\frac{3}{4}$  nilai-nilai yang di berikan oleh ketentuan kuat geser.

#### 2.17.3.4. Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

1. Panjang penyaluran  $l_{dh}$  untuk tulangan tarik dengan kait standard  $90^\circ$  dalam beton berat normal tidak boleh diambil lebih kecil dari pada  $8d_b$ , 150 mm, dan nilai yang ditentukan oleh:

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f'c}} \quad (2.37)$$

Untuk diameter tulangan sebesar 10 mm hingga 36 mm,

Untuk beton ringan, panjang penyaluran tulangan tarik dengan kait standard  $90^\circ$  tidak boleh di ambil lebih kecil dari pada  $10d_b$ , 190mm, dan 1,25 kali nilai yang

- ditentukan persamaan (2.17). kait standard  $90^0$  harus ditetapkan didalam inti terkekang kolom atau komponen batas.
2. Untuk diameter 10 mm hingga 36mm, panjang penyaluran tulangan tarik  $I_d$  tanpa kait tidak boleh diambil lebih kecil dari pada:
    - a. Dua setengah x panjang penyaluran, bila ketebalan pengecoran beton dibawah tulangan tersebut kurang dari 300 mm,
    - b. Tiga setengah kali panjang penyaluran, bila ketebalan pengecoran beton dibawah tulangan tersebut melebihi 300 mm.
  3. Tulangan tanpa kait yang berhenti pada hubungan balok-kolom harus teruskan melewati ini terkekang dari kolom atau elemen batas. Setiap bagian dari tulangan tanpa kait yang tertanam bukan didalam daerah inti kolom terkekang harus diperpanjang sebesar 1,6 kali.

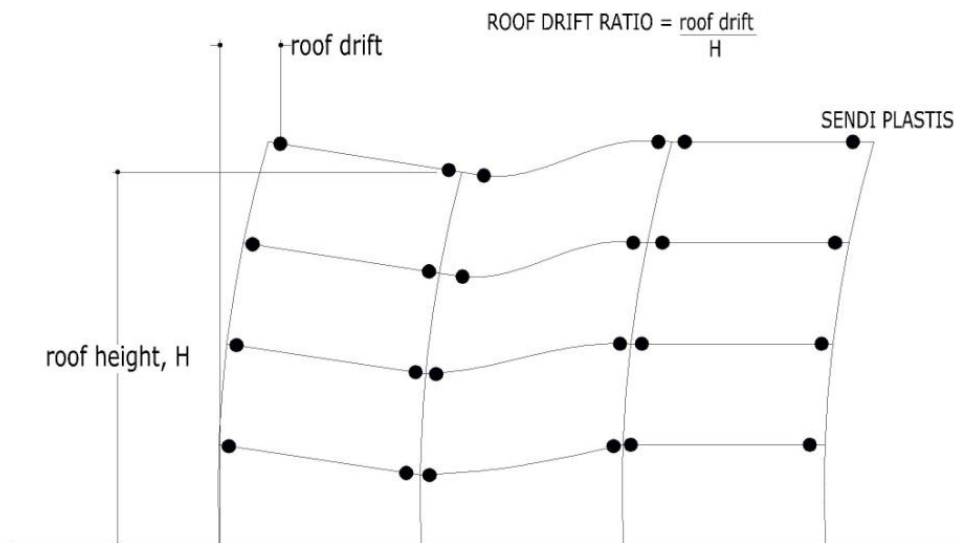
#### **2.18. Prinsip Kolom Kuat Balok Lemah (*strong column weak beam*)**

Prinsip kolom kuat balok lemah atau yang lebih dikenal dengan istilah *strong column weak beam* adalah salah satu cara inovasi desain struktur dengan cara membuat sistem struktur yang fleksible yang mampu berdeformasi saat terjadi gempa (memiliki daktilitas yang tinggi) pada jenis perencanaan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). Persyaratan yang ketat pun harus dipenuhi, untuk menghasilkan struktur yang dapat berperilaku daktail secara SRPMK sesuai dalam SNI 03-2847-2013 bab 23.3.

Faktor reduksi gaya gempa (R) diambil sebesar 8. Hal ini disebabkan karena struktur SPRMK 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 gempa, dan struktur harus menghasilkan story drift yang sesuai dengan batasan peraturan. Drift dari struktur dihitung dengan beban terfaktor yang diamplifikasi dengan faktor Cd (SNI 1726-2012 Tabel 9).

Respon yang bersifat duktail diharapkan terjadi pada balok, dan pada saat yang sama tidak boleh terjadi keruntuhan geser. Keruntuhan geser 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.

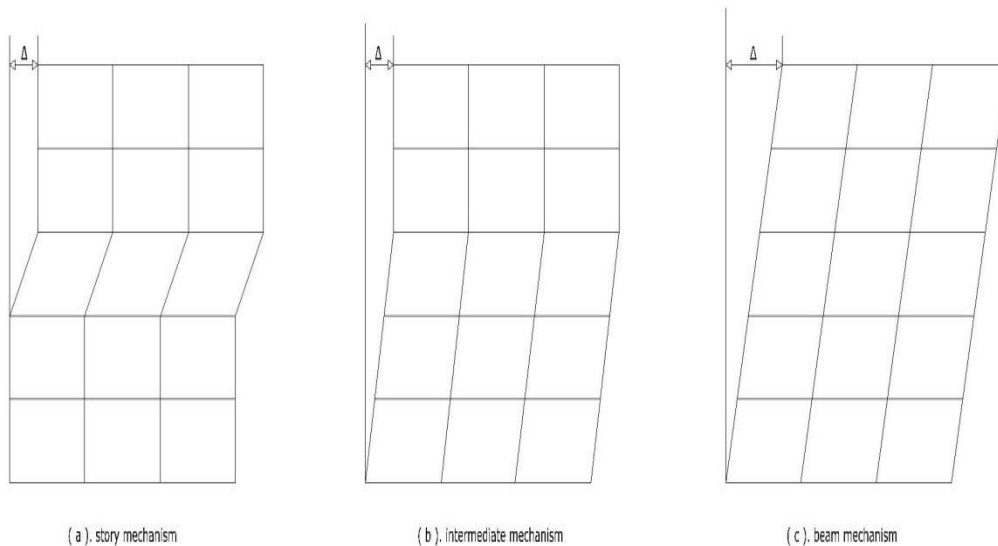
Kapasitas disain dalam SRPMK kolom kuat balok lemah digunakan untuk memastikan tidak terjadinya sendi plastis pada kolom selama gempa terjadi. Konsep mekanis keruntuhan ini disebut mekanisme pergoyangan balok (*beam side sway mechanisme*) seperti ditunjukkan pada Gambar berikut.



Gambar 14. Beam Side Sway Mechanisme

### 2.18.1. Mekanisme Kerja Strong Column WeakBeam

Pada saat struktur mendapat 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 (*soft story effect*) seperti ditunjukkan pada Gambar A. Sebaliknya jika kolom lebih kuat daripada balok (*strong column weak beam*), maka drift akan tersebar merata dan keruntuhan lokal di satu lantai dapat diminimalkan (Gambar B dan C).



Gambar 2.15. Perilaku Struktur saat Mendapat Gaya Lateral Gempa

Kinerja struktur terhadap gempa memiliki beberapa masalah yang harus ditanggapi agar nilai keamanan lebih terjamin. Hubungan balok – kolom merupakan daerah rawan terhadap gaya lateral terutama gempa. Karena tempat tersebut merupakan daerah yang memiliki momen dan gaya geser yang besar yang dapat melelehkan struktur dan terjadi kegagalan.

Prinsip **kolom kuat balok lemah** bisa dicapai dengan memberikan batasan  $6/5$  dari  $M_c/M_b$  untuk memenuhi syarat minimum tidak terjadinya sendi plastis pada kolom lantai. Dimana :

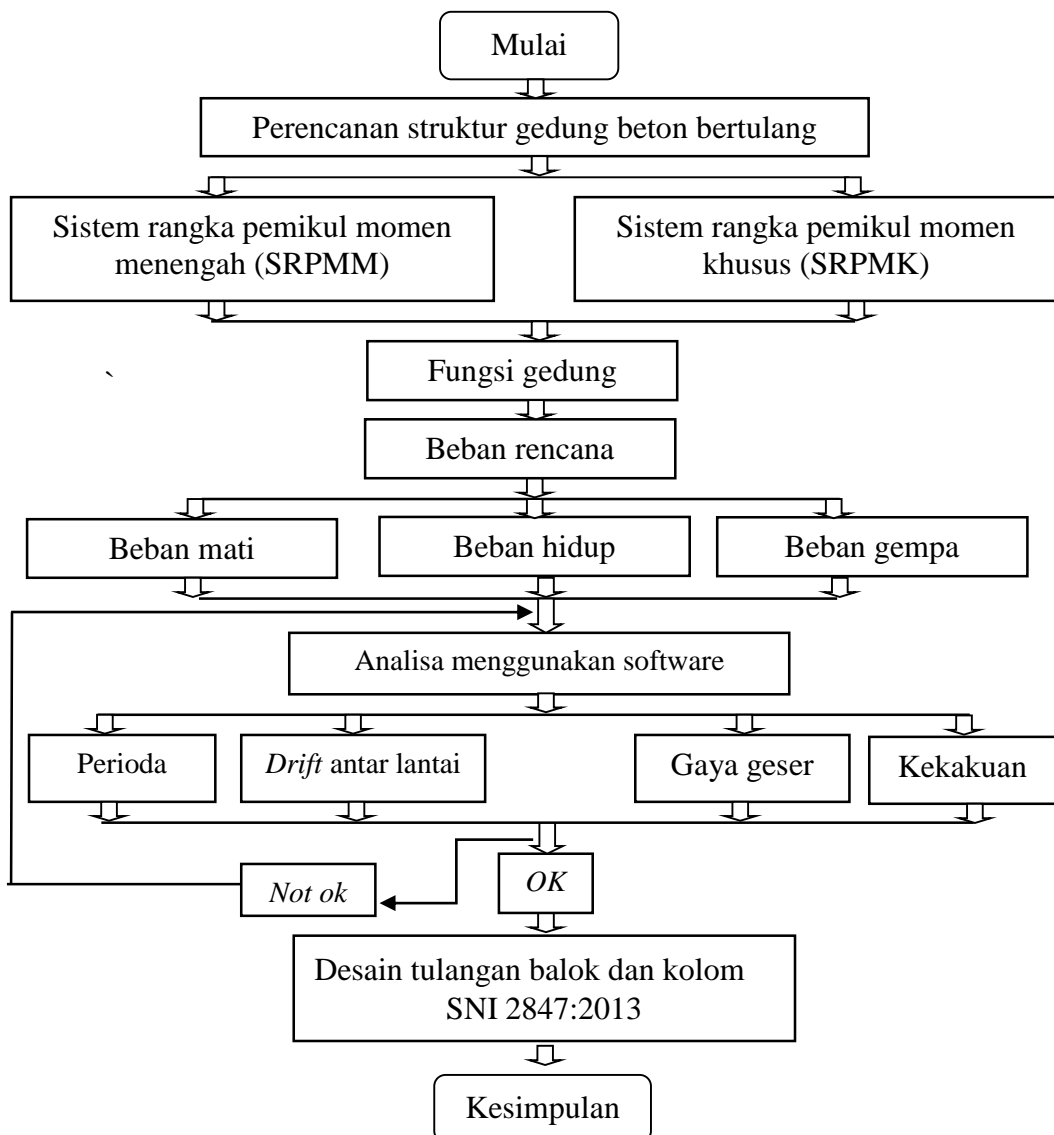
- $M_c$  adalah jumlah momen kapasitas 2 kolom yang bertemu di joint,
- $M_b$  adalah jumlah momen kapasitas 2 balok yang menumpu di kolom



## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1. Metodologi

Langkah-langkah dalam perencanaan pada tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan seperti gambar bagan alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

### 3.2. Tinjauan Umum

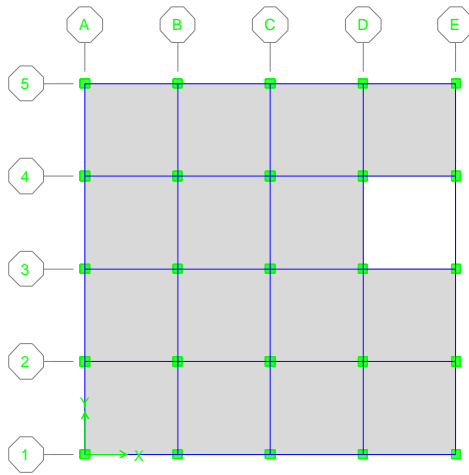
Dalam tugas akhir ini terdapat 2 gedung yang sama bentuk dan pembebanan, yang membedakan hanya sistem rangka pemikul momen menengah dan sistem rangka pemikul momen khusus. Struktur gedung adalah portal beton bertulang yang memakai SNI 03-2847-2013 dimodelkan sebagai *element frame* 3 dimensi (3D) pada software dengan mengacu pada standar gempa berdasarkan SNI 1726:2012 dan dimensi struktur adalah simetris segiempat.

Gedung difungsikan sebagai perkantoran yang terletak di Banda Aceh yang memiliki *site* tanah sedang. Konstruksi kolom dan balok menggunakan struktur beton bertulang, lantai menggunakan pelat beton.

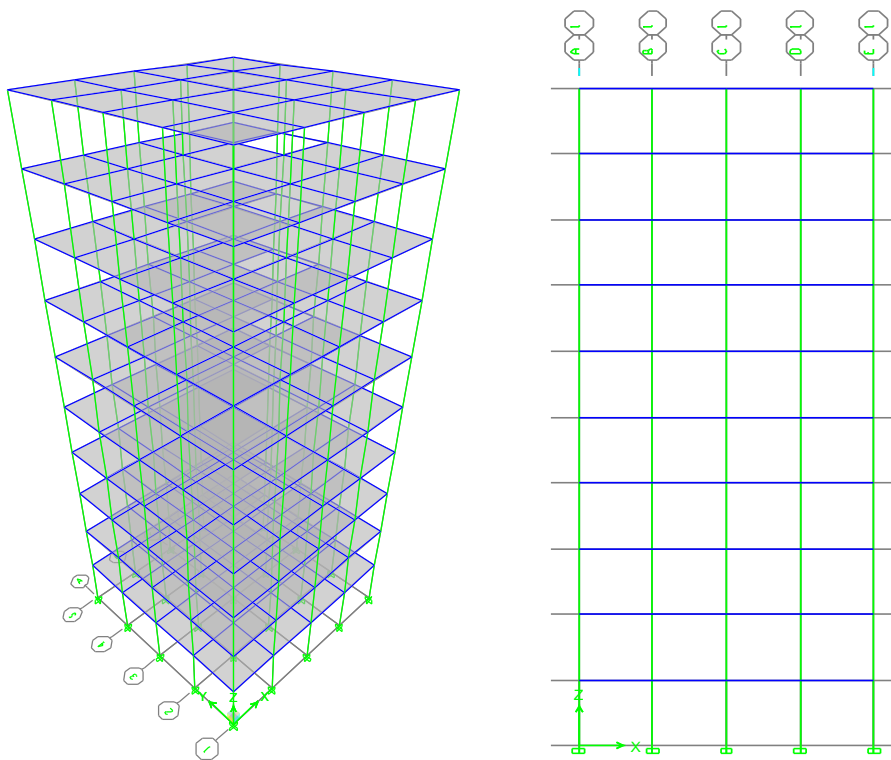
Perencanaan dilakukan sesuai dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

1. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung mengacu pada (SNI 1726:2012).
2. Pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung mengacu pada (SNI 1727:2013) beban minimum untuk perancangan gedung dan struktur lain.
3. Syarat dan ketentuan penggunaan beton bertulang mengacu pada tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung (SNI 03-2847-2013).

Material yang digunakan adalah beton bertulang pada elemen struktur, dengan mutu baja (BJ) 41, dengan tegangan leleh  $F_y = 250$  Mpa, tegangan ultimate  $F_u = 410$  Mpa serta modulus elastisitas 200000 MPa. Adapun gambar denah dan pemodelan bangunan terhadap sumbu X dan sumbu Y dapat terlihat pada Gambar 3.2 dan 3.3.



Gambar 3.2: Denah perencanaan gedung beton bertulang model 1 dan model 2 terhadap sumbu X.



Gambar 3.3: Pemodelan model 1 terhadap sumbu X-Z dan Y-Z pada gedung menggunakan struktur rangka pemikul momen menengah dan struktur rangka pemikul momen khusus.

### 3.3. Pembebanan Struktur

Di dalam struktur bangunan Teknik Sipil terdapat dua jenis beban luar yang bekerja yaitu beban statis dan beban dinamis. Beban yang bekerja terus-menerus pada suatu struktur adalah beban statis. Jenis dari beban statis adalah sebagai berikut:

1. Beban mati (*Dead load*)

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja secara vertikal yang mengikuti arah gravitasi pada struktur bangunan. Adapun berat komponen material bangunan dapat ditentukan dari peraturan yang berlaku di Indonesia yaitu SNI 1727:2013. Untuk berat satuan material disajikan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1: Berat material konstruksi berdasarkan SNI 1727:2013.

Beban Mati	Besarnya Beban
Beton Bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>
Baja	7850 kg/m <sup>3</sup>

Tabel 3.2: Berat tambahan komponen gedung berdasarkan SNI 1727:2013.

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

2. Beban hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang disebabkan oleh penggunaan maupun hunian dan beban ini bisa ada atau tidak ada pada struktur pada waktu tertentu. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi terkadang dapat juga berarah horizontal. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat bergerak atau berpindah. Berat beban hidup berdasarkan SNI 1727:2013 disajikan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Beban hidup pada lantai struktur berdasarkan SNI 1727:2013.

Beban hidup	Besarnya beban
Gedung perkantoran: Lobi dan koridor lantai pertama	479 kg/m <sup>2</sup>
Kantor	240 kg/m <sup>2</sup>
Koridor diatas lantai pertama	383 kg/m <sup>2</sup>
Beban hidup pada tangga dan bordes	479 kg/m <sup>2</sup>

- *Pembebanan pada pelat lantai*

Untuk pembebanan pelat lantai gedung model SRPMK didapat dari perhitungan yang disajikan pada lampiran. Selanjutnya beban yang diperoleh dari perhitungan dimasukkan sebagai beban area (*uniform to frame (shell)*) dalam program analisa struktur, sedangkan tebal pelat akan dihitung otomatis oleh komputer dengan memasukkan faktor pengali 1 untuk *self weight multiplier* pada saat pembebanan (*load case*).

- *Berat dinding bata*

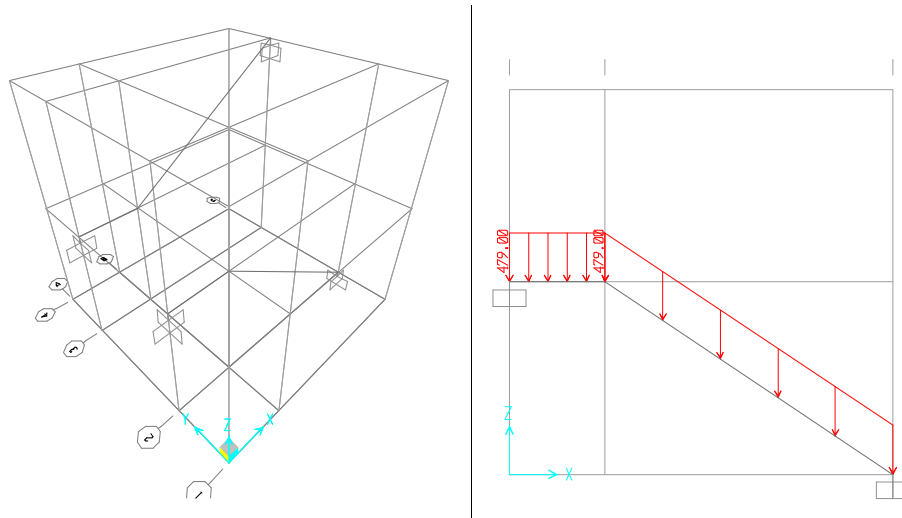
Berat dinding bata yang di input ke balok induk sebesar 1040 kg/m untuk lantai 1, 915 kg/m untuk lantai 2-9, dan 437.5 kg/m untuk atap. Selanjutnya berat dinding diinput ke balok dengan beban terbagi merata (*distributed*) dalam program analisa struktur.

### 3. Tangga

Menggunakan material beton bertulang dengan mutu  $f'c = 30$  Mpa , dengan dimensi sebagai berikut:

- Lebar anak tangga: 2.00 m
- Panjang bordes: 4.00 m
- Lebar bordes: 1.00 m
- Kemiringan tangga:  $33.69^0$
- Tebal pelat bordes: 10 cm
- Panjang Antrade: 30 cm
- Tinggi Optrade: 20 cm
- Jumlah Anak tangga:  $\frac{400}{20} = 20$  buah

Dengan membuat pemodelan dengan menggunakan program analisa struktur seperti Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pemodelan Tangga.

Didapat hasil reaksi perletakan yang dimana hasil reaksi tersebut diambil yang terbesar dan akan dimasukkan kedalam pemodelan Model 1 dan Model 2 berupa beban terpusat (*point load*) yang di tempatkan di Balok Intai (Bordes). Nilai hasil reaksi tangga dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan 3.5.

Tabel 3.4: Hasil reaksi perhitungan tangga untuk lantai 1.

Reaksi Hasil Perhitungan SAP	RA2	RA3	RC2	RC3
Mati Tambahan	401	401	1594.25	1594.25
Hidup	497.76	497.76	1708.3	1708.3
Total	898.76	898.76	3302.55	3302.55

### 3.4. Perhitungan Berat Per Lantai Gedung

Untuk berat per lantai gedung diperoleh menggunakan bantuan program analisa struktur, dan disajikan bersama Tabel 4.1 dan 4.2 dapat dilihat pada bab hasil dan pembahasan.

### 3.5. Faktor Respon Gempa (C)

Berdasarkan SNI 1726:2012, spektrum respon gempa desain harus dianalisis terlebih dahulu. Untuk kota Medan mempunyai data sebagai berikut:

- 1)  $PGA = 0,7$
- 2)  $S_s = 1,5$
- 3)  $S_1 = 0,8$

Dengan data tersebut diatas, maka diperoleh nilai  $F_a = 1,0$  dan  $F_v = 1,5$ , untuk tanah sedang. Selanjutnya tahap-tahap yang perlu dilakukan untuk membuat spektrum respon gempa desain adalah sebagai berikut:

1. Penentuan nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{MI}$

- a)  $S_{MS} = F_a \cdot S_s$
- b)  $S_{MS} = 1,0 \cdot 1,5$
- c)  $S_{MS} = 1,5$
- d)  $S_{MI} = F_v \cdot S_1$
- e)  $S_{MI} = 1,5 \cdot 0,8$
- f)  $S_{MI} = 1,2$

2. Penentuan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$

- a) Nilai  $\mu = 2/3$
- b)  $S_{DS} = \mu \cdot S_{MS}$
- c)  $S_{DS} = (2/3) \cdot 1,5$
- d)  $S_{DS} = 1$
- e)  $S_{DI} = \mu \cdot S_{MI}$
- f)  $S_{DI} = (2/3) \cdot 1,2$
- g)  $S_{DI} = 0,8$

3. Penentuan nilai  $T_s$  dan  $T_0$

- a)  $T_0 = 0,2 \frac{S_{DI}}{S_{DS}}$
- b)  $T_0 = 0,2 \frac{0,8}{1}$
- c)  $T_0 = 0,16$
- d)  $T_s = \frac{S_{DI}}{S_{DS}}$

$$e) T_s = \frac{0,8}{1}$$

$$f) T_s = 0,8$$

4. Penentuan nilai  $S_a$

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

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.1)$$

- 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:

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T} \quad (3.2)$$

Setelah spektrum respon gempa didesain berdasarkan data-data yang telah diperoleh, maka hasil spektrum respon gempa ditunjukkan dalam Tabel 3.5 dan Gambar 3.5.

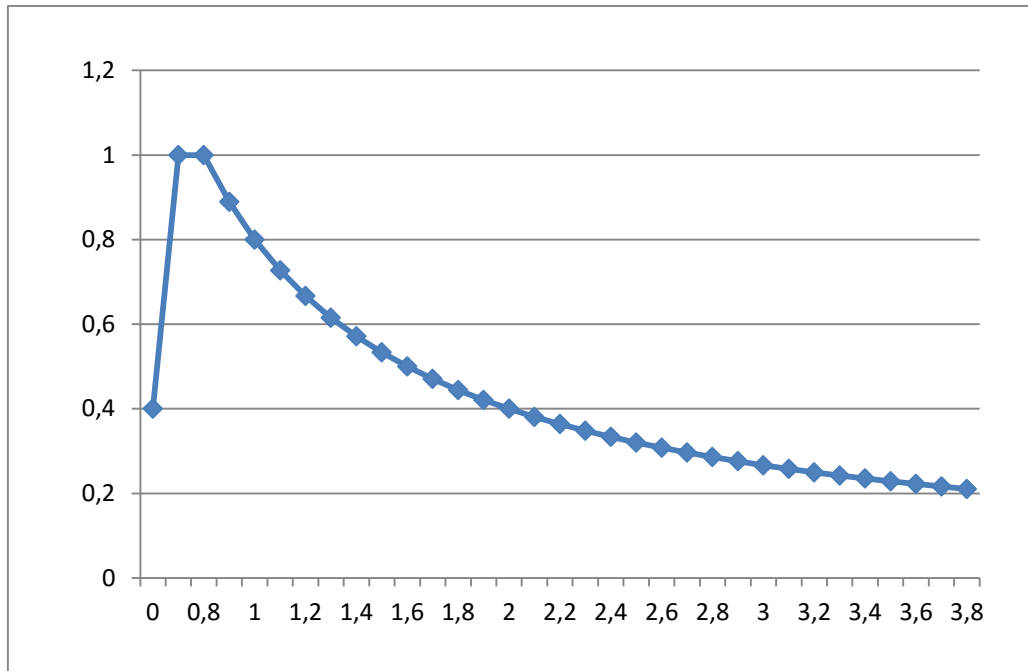
Tabel 3.5: Spektrum respon berdasarkan SNI 1726:2012 kota Banda Aceh jenis tanah sedang.

Respon Spektrum (Tanah Sedang)	
waktu (detik)	Koefisien Gempa (C)
0	0.4
0.16	1
0.8	1
0.9	0.88889
1	0.8
1.1	0.72727
1.2	0.66667

Tabel 3.5: Lanjutan.



Respon Spektrum (Tanah Sedang)	
waktu (detik)	Koefisien Gempa (C)
1.3	0.61538
1.4	0.57143
1.5	0.53333
1.6	0.5
1.7	0.47059
1.8	0.44444
1.9	0.42105
2	0.4
2.1	0.38095
2.2	0.36364
2.3	0.34783
2.4	0.33333
2.5	0.32
2.6	0.30769
2.7	0.2963
2.8	0.28571
2.9	0.27586
3	0.26667
3.1	0.25806
3.2	0.25
3.3	0.24242
3.4	0.23529
3.5	0.22857
3.6	0.22222
3.7	0.21622
3.8	0.21053



Gambar 3.5: Spektrum respon gempa kota banda aceh dengan jenis tanah sedang berdasarkan SNI 1726:2012.

### 3.6. Pemodelan dan Analisa Struktur

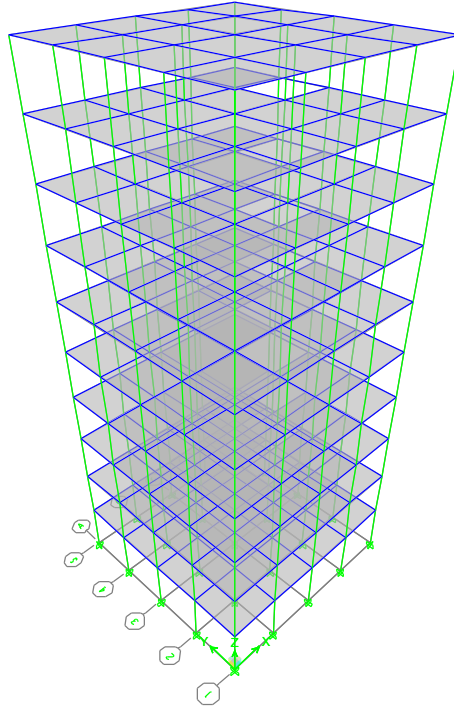
Pada tugas akhir ini pemilihan jenis analisa yang digunakan adalah prosedur analisa perbandingan gaya geser pada setiap gedung, dengan perbedaan kolom.

#### 3.6.1. Faktor Keutamaan Struktur (I)

Berdasarkan SNI 1726:2012, pemilihan nilai faktor keutamaan berdasarkan kategori resiko sesuai dengan Tabel 2.5, yaitu dengan fungsi gedung perkantoran adalah kategori II, maka sesuai dengan Tabel 2.5 nilai faktor keutamaan ( $I_e$ ) = 1.

### 3.7. Model 1 SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah)

Model gedung yang pertama memiliki jumlah 10 tingkat dengan panjang denah arah x = 16 m dan arah y = 16 m, memiliki tinggi untuk lantai 1 - 10 = 4 m.



Gambar 3.6: Pemodelan gedung 10 lantai (model 1).

### 3.7.1. Data Perencanaan Struktur

Data perencanaan struktur sebagai berikut:

- a) Jenis portal struktur gedung struktur beton bertulang
- b) Bangunan berfungsi sebagai perkantoran
- c) Lokasi bangunan berada di kota Banda Aceh dengan kondisi tanah sedang
- d) Gedung didesain berdasarkan SRPMM (Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah).
- e) Material yang digunakan untuk kuat tekan beton adalah  $f'c$  25 Mpa dengan *poisson's ratio* beton adalah 0,2.

### 3.7.2. Faktor Reduksi Gempa

Desain gedung direncanakan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dimana untuk nilai faktor reduksi gempa yang berdasarkan SNI 1726:2012 sesuai dengan Tabel 2.4 dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6: Faktor reduksi gempa model I berdasarkan SNI 1726:2012.

Arah	Sistem Penahan Gaya Seismik	R
X	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah (SRPMM)	5
Y	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah (SRPMM)	5

### 3.7.3. Komponen Struktur

Komponen struktur yang terdapat pada bangunan ini meliputi balok, kolom dan pelat yang digunakan.

#### 3.7.3.1. Tebal pelat lantai

Penentuan tebal pelat lantai dan pelat atap berdasarkan SNI 2847-2013 dipengaruhi bentang pelat dan mutu baja tulangan, maka dari itu pada perencanaan gedung ini menggunakan pelat dengan ketebalan 11 cm untuk pelat lantai dan 10 cm untuk pelat atap.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.3 selimut beton untuk pelat adalah sebagai berikut:

- a) Pelat yang tidak berhubungan dengan cuaca = 40 mm
- b) Pelat berhubungan dengan cuaca = 50 mm

Pada ETABS 2015 v 9.7,2 untuk pemodelan pelat melalui menu *Define-Wall/Slab/Deck Sections* kemudian dipilih *Shell*.

#### 3.7.3.2. Pondasi

Pemodelan pondasi dilakukan dengan menganggap bahwa pondasi memberikan kekangan translasi dan rotasi yang cukup pada semua arah sumbu bangunan. Berdasarkan asumsi yang digunakan tersebut, pondasi dimodelkan

sebagai perletakan jepit pada lantai dasar bangunan, yaitu pada ujung-ujung bawah kolom lantai dasar.

### 3.7.4. Kombinasi Pembebanan

Dalam sebuah perencanaan struktur bangunan diperlukan kombinasi pembebanan. Pada saat konstruksi tentunya semua beban-beban yang bekerja pada struktur seperti beban mati, beban hidup dan beban gempa diperhitungkan dengan faktor pembesaran dan kombinasi (*loads combinations*) yang diinput ke dalam program ETABS berdasarkan SNI 1726:2012. Untuk pemodelan dengan menggunakan  $\rho = 1,3$  yang diperoleh dari desain seismik D dengan nilai  $S_{DS} = 1$ , maka kombinasi pembebanannya ditunjukkan pada Tabel 3.10.

Tabel 3.7: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai  $\rho = 1,3$  dan  $S_{DS} = 1$ .

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	1,46 DL	1 LL	0.39 EX	1.3 EY
Kombinasi 4	0,94 DL	1 LL	-0.39 EX	-1.3 EY
Kombinasi 5	1,06 DL	1 LL	0.39 EX	-1.3 EY
Kombinasi 6	0,34 DL	1 LL	-0.39 EX	1.3 EY
Kombinasi 7	1,46 DL	1 LL	1.3 EX	0.39 EY
Kombinasi 8	0,94 DL	1 LL	-1.3 EX	-0.39 EY
Kombinasi 9	1,34 DL	1 LL	1.3 EX	-0.39 EY
Kombinasi 10	1,06 DL	1 LL	-1.3 EX	0.39 EY
Kombinasi 11	1,16 DL	0 LL	0.39 EX	1.3 EY
Kombinasi 12	0,64 DL	0 LL	-0.39 EX	-1.3 EY
Kombinasi 13	0,76 DL	0 LL	0.39 EX	-1.3 EY
Kombinasi 14	1,04 DL	0 LL	-0.39 EX	1.3 EY
Kombinasi 15	1,16 DL	0 LL	1.3 EX	0.39 EY
Kombinasi 16	0,64 DL	0 LL	-1.3 EX	-0.39 EY
Kombinasi 17	1,04 DL	0 LL	1.3 EX	-0.39 EY
Kombinasi 18	0,76 DL	0 LL	-1.3 EX	0.39 EY

### 3.7.5. Nilai Waktu Getar Alami *Fundamental*

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, periode *fundamental* ( $T$ ) yang di gunakan memiliki batas maksimum dan batas minimum.

Dimana:

$$C_r = 0.0724 \text{ ( Tabel 2.7 untuk semua tipe struktur lainnya )}$$

$$h_n = 40 \text{ m (tinggi gedung dari dasar)}$$

$$x = 0,8 \text{ ( Tabel 2.7 untuk semua tipe struktur lainnya )}$$

$$C_u = 1,4 \text{ (Tabel 2.8 dengan nilai } S_{DI} \geq 0,4 \text{ )}$$

Maka hasil pembatasan maksimum dan minimum waktu getar alami fundamental ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.8: Pengecekan  $T$  berdasarkan pembatasan waktu getar alami *fundamental* Model berdasarkan SNI 1726:2012.

(Model I)					
Arah	Ta min = Cr*hn <sub>x</sub>	Ta maks = Cu*Ta min	T	Cek min	Cek maks
X	1.289	1.805	1.734	OK	OK
Y	1.289	1.805	1.673	OK	OK

### 3.7.6. Penentuan Faktor Respon Gempa

Penentuan nilai koefisien respon seismik ( $C_s$ ) sesuai dengan SNI 1726:2012, seperti yang dijelaskan di bawah ini:

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

$$C_{s \text{ maksimum arah x}} = \frac{1}{\left(\frac{5}{1}\right)} = 0,2$$

$$C_{s \text{ maksimum arah y}} = \frac{1}{\left(\frac{5}{1}\right)} = 0,2$$

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

$$C_s \text{ hitungan arah x} = \frac{0,8}{0,151\left(\frac{5}{1}\right)} = 1,056$$

$$C_s \text{ hitungan arah y} = \frac{0,8}{0,151\left(\frac{5}{1}\right)} = 0,231$$

$$C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} I \geq 0,01$$

$$C_s \text{ minimum arah x} = 0,044 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,044$$

$$C_s \text{ minimum arah y} = 0,044 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,044$$

Nilai  $C_s$  dimasukkan dalam Tabel 3.9.

Tabel 3.9: Rangkuman nilai  $C_s$  dan nilai  $C_s$  yang digunakan pada Setiap Model gedung.

Arah	$C_s \text{ maks}$	$C_s \text{ hitungan}$	$C_s \text{ min}$	$C_s$ yang digunakan
X	0,2	1,056	0,044	0,200
Y	0,2	0,231	0,044	0,200

Pemilihan nilai  $C_s$  di atas didasarkan karena nilai  $C_s$  hitungan lebih besar dari  $C_s$  maksimum, maka yang digunakan adalah  $C_s$  maksimum baik untuk arah X maupun arah Y.

### 3.7.7. Perencanaan Balok dan Kolom

Dalam Tugas Akhir ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) yang berdasarkan SNI 03-2847-2013. Ketentuan perencanaannya dikutip dari Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang.

### 3.7.8. Ukuran Penampang Struktur

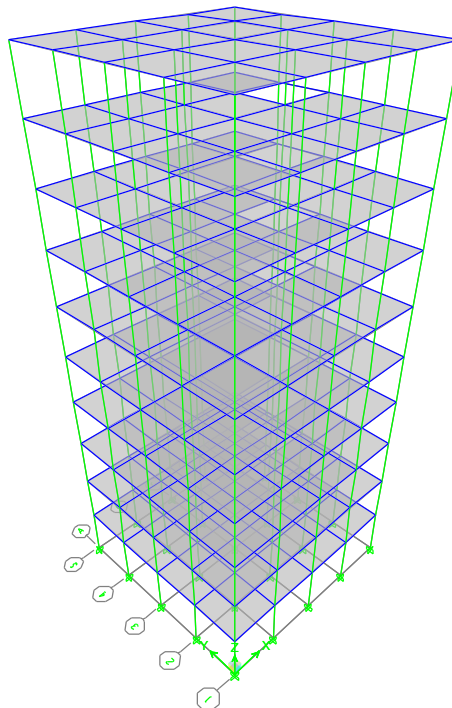
Adapun perencanaan dimensi balok dan kolom adalah seperti yang ditunjukkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.

Tabel 3.10: Dimensi penampang balok dan kolom (Model I).

Notasi	Baja Diameter (mm)	Beton p x l	Keterangan
B1	14	400 x 300	Balok induk lantai 1 - 5
B2	14	300 x 200	Balok induk lantai 6 - 10
B3	12	150 x 200	Balok Anak lantai 1 - 10
K1	18	400 x 400	Kolom lantai 1 - 5
K2	18	300 x 300	Kolom lantai 6 - 10

### 3.8. Model 2 SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)

Model gedung yang memiliki jumlah 10 tingkat dengan panjang denah arah x = 16 m dan arah y = 16 m, memiliki tinggi untuk lantai 1 - 10 = 4 m. Untuk pemodelan dari struktur gedung 10 lantai tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.7: Pemodelan gedung 10 lantai (model 2).



### 3.8.1. Data Perencanaan Struktur

Data perencanaan struktur sebagai berikut:

- a. Jenis portal struktur gedung beton bertulang
- b. Bangunan berfungsi sebagai perkantoran
- c. Lokasi bangunan berada di kota banda aceh dengan kondisi tanah sedang
- d. Gedung didesain berdasarkan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).
- e. Material yang digunakan untuk kuat tekan beton adalah  $f'c$  25 Mpa dengan *poisson's ratio* beton adalah 0,2.
- f. Mutu baja utama direncanakan Bj 41  $F_u = 410$  ,  $f_y = 250$  Mpa

### 3.8.2. Faktor Keutamaan Struktur (I)

Berdasarkan SNI 1726:2012, pemilihan nilai faktor keutamaan berdasarkan kategori resiko sesuai dengan Tabel 2.3 yaitu dengan fungsi gedung perkantoran adalah kategori II, maka sesuai dengan Tabel 2.3 nilai faktor keutamaan ( $I_e$ ) = 1.

### 3.8.3. Faktor Reduksi Gempa

Desain gedung direncanakan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen khusus (SRPMK), dimana untuk nilai faktor reduksi gempa yang berdasarkan SNI 1726:2012 sesuai dengan Tabel 2.4 dapat dilihat pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11: Faktor reduksi gempa berdasarkan SNI 1726:2012.

Arah	Sistem Penahan Gaya Seismik	$R$
X	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus (SRPMK)	8
Y	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus (SRPMK)	8

### 3.8.4. Perencanaan Balok dan Kolom

Dalam Tugas Akhir ini menggunakan system rangka pemikul momen khusus (SRPMK) yang berdasarkan SNI 03-2847-2013. Ketentuan perencanaannya dikutip dari Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang.

### 3.8.5. Ukuran Penampang Struktur

Adapun perencanaan dimensi balok dan kolom adalah seperti yang ditunjukkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 8.3.

Tabel 3.12: Dimensi penampang balok dan kolom (Model II).

Notasi	Baja Diameter (mm)	Beton p x l	Keterangan
B1	16	400 x 300	Balok induk lantai 1 - 5
B2	16	300 x 200	Balok induk lantai 6 - 10
B3	14	150 x 200	Balok Anak lantai 1 - 10
K1	19	400 x 400	Kolom lantai 1 - 5
K2	19	300 x 300	Kolom lantai 6 - 10

### 3.8.6. Komponen Struktur

Komponen struktur yang terdapat pada bangunan ini meliputi balok, kolom dan pelat yang digunakan.

#### 3.8.6.1. Tebal Pelat Lantai

Penentuan tebal pelat lantai dan pelat atap berdasarkan SNI 1729-2015 dipengaruhi bentang pelat dan mutu baja tulangan, maka dari itu pada perencanaan gedung ini menggunakan pelat dengan ketebalan 12 cm untuk pelat lantai dan 11 cm untuk pelat atap.

Cara menghitung dan menentukan tebal plat lantai beton menurut SK-SNI 2002. Untuk menentukan tebal plat lantai beton, dapat menggunakan rumus yang telah diatur dalam SK-SNI2002 ayat 11 butir 5 sub butir 3,yaitu :

- a. Rumus hitung tebal plat lantai beton minimum ( $h_{min}$ )

$$h_{(min)} \geq \frac{\ln(0.8 + \frac{fy}{1500})}{36 + 9\beta} \quad (3.3)$$

- b. Rumus hitung tebal plat lantai beton minimum ( $h_{mak}$ )

$$h_{(mak)} \leq \frac{\ln(0.8 + \frac{fy}{1500})}{36} \quad (3.4)$$

Keterangan :

$h_{min}$  : ketebalan plat beton minimum (mm)

$h_{mak}$  : ketebalan plat beton maksimum (mm)

$l_n$  : bentang panjang (mm)

$F_y$  : mutu baja tulangan yang hendak digunakan (Mpa = megapascal), catatan 1 Mpa = 10.197kg/cm<sup>2</sup>

$\beta$  : koefisien =  $l_y / l_x$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 8.3 selimut beton untuk pelat adalah sebagai berikut:

- a. Pelat yang tidak berhubungan dengan cuaca = 40 mm
- b. Pelat berhubungan dengan cuaca = 50 mm

Pada ETABS v 9.7,2 untuk pemodelan pelat melalui menu *Define – Wall/Slab/Deck Sections* kemudian dipilih *Shell*.

### 3.8.7. Pembebanan Pada Struktur

Beban luar yang bekerja dibedakan menjadi beban statis dan beban dinamis. Beban yang bekerja secara terus menerus pada suatu struktur adalah beban statis. Beban statis terdiri dari beban mati dan beban hidup.

#### 1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah beban yang bekerja vertikal ke bawah mengikuti arah gravitasi pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan. 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 atau peraturan tahun 1987. Adapun berat satuan beberapa material ditunjukkan pada Tabel 3.11-Tabel 3.14.

Tabel 3.13: Berat material konstruksi.

Beban Mati	Besarnya Beban
Beton Bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>
Baja	7850 kg/m <sup>3</sup>

Tabel 3.14: Berat tambahan komponen gedung. Lantai 1-9.

Beban Mati	Besarnya Beban
Plafon dan penggantung	18 kg/m <sup>2</sup>
Beban mati tambahan ducting	20 kg/m <sup>2</sup>
Beban mati tambahan lighting	90 kg/m <sup>2</sup>
Adukan /cm tebal dari semen	21 kg/m <sup>2</sup>
Pasangan bata setengah batu	250 kg/m <sup>2</sup>
Penutup lantai dari keramik	24 kg/m <sup>2</sup>
Beban mati tambahan mecanikal elektrical	20 kg/m <sup>2</sup>

Tabel 3.15: Berat tambahan komponen gedung. Lantai 10.

Beban Mati	Besarnya Beban
Spesi (tebal = 3 cm) 3 x 21 kg/m <sup>2</sup>	63 kg/m <sup>2</sup>
Plafon dan penggantung	18 kg/m <sup>2</sup>
Genang Air	16 kg/m <sup>2</sup>

Tabel 3.16: Beban Tambahan pada pelat tangga.

Beban Hidup	Besarnya Beban
Spesi (tebal = 2 cm) 2 x 21 kg/m <sup>2</sup>	42 kg/m <sup>2</sup>
Keramik	21 kg/m <sup>2</sup>
Handril = Taksiran	15 kg/m <sup>2</sup>

Tabel 3.17: Beban Tambahan pada pelat bordes.

Beban Hidup	Besarnya Beban
Spesi (tebal = 3 cm) 3 x 21 kg/m <sup>2</sup>	42 kg/m <sup>2</sup>
Keramik	24 kg/m <sup>2</sup>

## 2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh hunian 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 menurut SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum Untuk Perancangan Gedung Dan Struktur Lain ditunjukkan pada Tabel 3.18.

Tabel 3.18: Beban hidup pada lantai struktur. Lantai 1-10.

Beban Hidup	Besarnya Beban
Gedung perkantoran: Lobi dan koridor lantai pertama	479 kg/m <sup>2</sup>
Kantor	240 kg/m <sup>2</sup>
Koridor diatas lantai pertama	383 kg/m <sup>2</sup>
Beban hidup pada tangga dan bordes	480 kg/m <sup>2</sup>

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisa Desain

Untuk mengetahui perbandingan dua gedung yang berbeda sistem penahan gaya gempa dengan analisa beban dinamik metode respon spektrum, maka pada bab ini akan dibahas hasil simpangan yang diperoleh dari pemodelan menggunakan program analisis struktur. Untuk bangunan struktur beton bertulang yang terletak di Banda Aceh dengan kondisi tanah sedang dan fungsi gedung sebagai perkantoran.

#### 4.2. Analisa Respon Spektrum

##### 4.2.1. Gaya Geser Antar Lantai

Nilai gaya geser antar lantai gedung berbeda-beda, gaya geser terbesar yaitu pada tingkat 1, dimana daerah tingkat 1 paling terdekat dengan tanah, selanjutnya diikuti pada tingkat 2, begitu seterusnya secara linear.

Dimana  $k = 1.61$  sesuai Sub bab 2.8.4. untuk struktur yang memiliki  $0,5 < T < 2,5$  k harus 2 atau interpolasi linear 1 dan 2. Hasil analisa gaya geser Model 1 antar lantai dapat dilihat di Tabel 4.1 untuk arah X dan Tabel 4.2 untuk arah Y, dan hasil analisis gaya geser Model 2 dapat dilihat di Tabel 4.3 untuk arah X dan Tabel 4.4 untuk arah Y.

Tabel 4.1: Nilai gaya geser lantai antar lantai arah X Model 1.

Lantai	Berat/Wi (Kg)	Ketinggian	Wi.hi <sup>k</sup>	Force/Fi (Kg)	Story shear/Vx (Kg)
		Per Lantai		Fi = (Wi.hi <sup>k</sup> ) / (∑Wi.hi). V	
		( m )		( kg )	
10	264006.7749	40	100214752.4	127275.9091	127275.9091
9	287763.4086	36	92189741.12	117083.8906	244359.7997
8	288369.5823	32	76425961.89	97063.3918	341423.1915
7	288369.5823	28	61641596.57	78286.77966	419709.9712
6	288369.5823	24	48093850.33	61080.71291	480790.6841
5	305626.4612	20	38005744.63	48268.49921	529059.1833
4	322436.9596	16	27994839.98	35554.33329	564613.5166
3	322436.9596	12	17616783.76	22373.87325	586987.3898

Tabel 4.1: *Lanjutan.*

Lantai	Berat/Wi (Kg)	Ketinggian	Wi.hi <sup>k</sup>	Force/Fi (Kg)	Story shear/Vx (Kg)
		Per Lantai		Fi = (Wi.hi <sup>k</sup> ) /(∑Wi.hi). V	
		( m )		( kg )	
2	322436.9596	8	9171063.414	11647.54096	598634.9308
1	322436.9596	4	3004425.251	3815.71521	602450.646
Total	3012253.23		474358759.4	602450.646	4495305.222

Dari Tabel 4.1 nilai gaya geser antar lantai didapat hasil total *Story Shear* sebesar berada di lantai 1 sebesar 602450.646 Kg dan total *Force/Fi* Sebesar 602450.646 Kg.

Tabel 4.2 : Nilai gaya geser lantai antar lantai arah Y Model 1.

Lantai	Berat/Wi (Kg)	Ketinggian	Wi.hi <sup>k</sup>	Force/Fi (Kg)	Story shear/Vx (Kg)
		Per Lantai		Fi = (Wi.hi <sup>k</sup> ) /(∑Wi.hi). V	
		( m )		( kg )	
10	264006.7749	40	100214752.4	127275.9091	127275.9091
9	287763.4086	36	92189741.12	117083.8906	244359.7997
8	288369.5823	32	76425961.89	97063.3918	341423.1915
7	288369.5823	28	61641596.57	78286.77966	419709.9712
6	288369.5823	24	48093850.33	61080.71291	480790.6841
5	305626.4612	20	38005744.63	48268.49921	529059.1833
4	322436.9596	16	27994839.98	35554.33329	564613.5166
3	322436.9596	12	17616783.76	22373.87325	586987.3898
2	322436.9596	8	9171063.414	11647.54096	598634.9308
1	322436.9596	4	3004425.251	3815.71521	602450.646
Total	3012253.23		474358759.4	602450.646	4495305.222

Dari Tabel 4.2 nilai gaya geser antar lantai didapat hasil total *Story Shear* sebesar berada di lantai 1 sebesar 602450.646 Kg dan total *Force/Fi* Sebesar 602450.646 Kg.

Tabel 4.3 : Nilai gaya geser lantai antar lantai arah X Model 2.

Lantai	Berat/Wi (Kg)	Ketinggian	Wi.hi <sup>k</sup>	Force/Fi (Kg)	Story shear/Vx (Kg)
		Per Lantai		Fi = (Wi.hi <sup>k</sup> ) /(∑Wi.hi). V	
		( m )		( kg )	
10	264006.7749	40	100214752.4	79547.44319	79547.44319
9	287763.4086	36	92189741.12	73177.43163	152724.8748
8	288369.5823	32	76425961.89	60664.61987	213389.4947
7	288369.5823	28	61641596.57	48929.23729	262318.732
6	288369.5823	24	48093850.33	38175.44557	300494.1776
5	305626.4612	20	38005744.63	30167.81201	330661.9896
4	322436.9596	16	27994839.98	22221.45831	352883.4479
3	322436.9596	12	17616783.76	13983.67078	366867.1186
2	322436.9596	8	9171063.414	7279.713098	374146.8317
1	322436.9596	4	3004425.251	2384.822006	376531.6538
Total	3012253.23		474358759.4	376531.6538	2809565.764

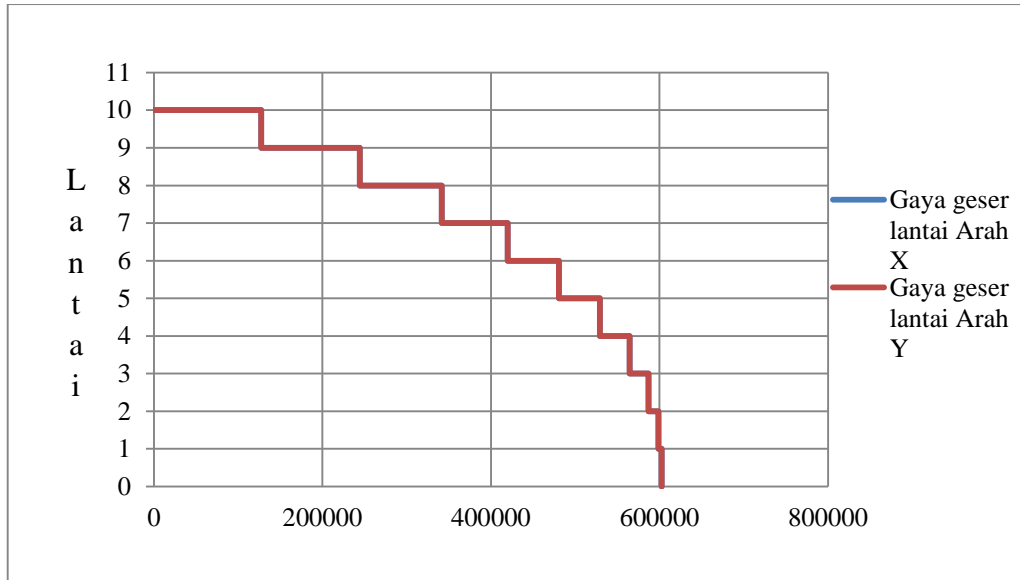
Dari Tabel 4.3 nilai gaya geser antar lantai didapat hasil total *Story Shear* sebesar berada di lantai 1 sebesar 2809565.764 Kg dan total *Force/Fi* Sebesar 376531.6538 Kg.

Tabel 4.4 : Nilai gaya geser lantai antar lantai arah X Model 2.

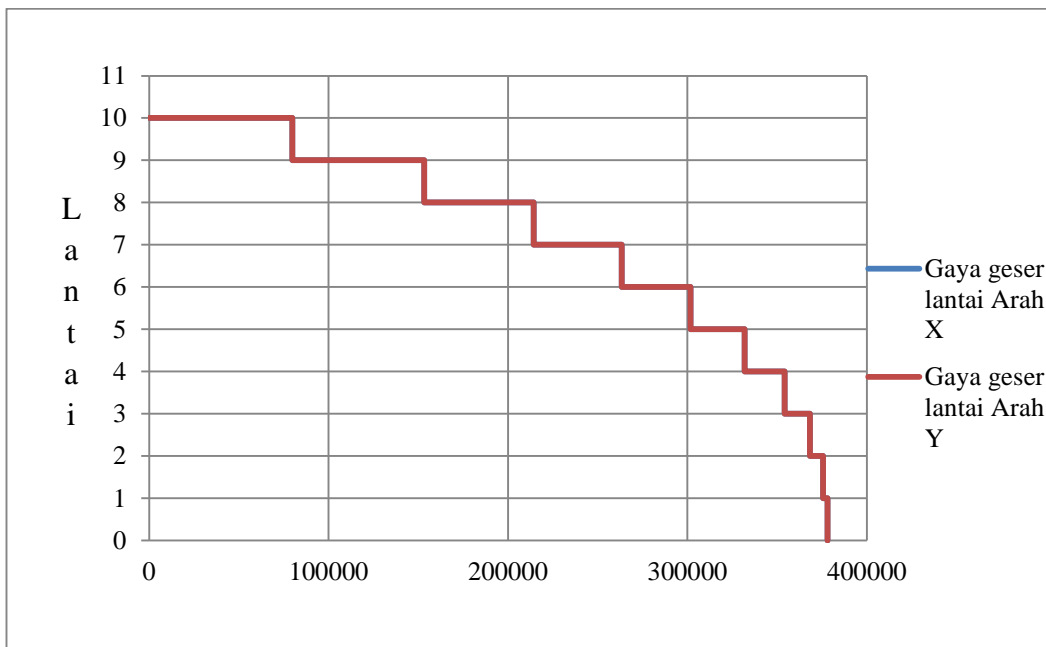
Lantai	Berat/Wi (Kg)	Ketinggian	Wi.hi <sup>k</sup>	Force/Fi (Kg)	Story shear/Vx (Kg)
		Per Lantai		Fi = (Wi.hi <sup>k</sup> ) /(∑Wi.hi). V	
		( m )		( kg )	
10	264006.7749	40	100214752.4	79547.44319	79547.44319
9	287763.4086	36	92189741.12	73177.43163	152724.8748
8	288369.5823	32	76425961.89	60664.61987	213389.4947
7	288369.5823	28	61641596.57	48929.23729	262318.732
6	288369.5823	24	48093850.33	38175.44557	300494.1776
5	305626.4612	20	38005744.63	30167.81201	330661.9896
4	322436.9596	16	27994839.98	22221.45831	352883.4479
3	322436.9596	12	17616783.76	13983.67078	366867.1186
2	322436.9596	8	9171063.414	7279.713098	374146.8317
1	322436.9596	4	3004425.251	2384.822006	376531.6538
Total	3012253.23		474358759.4	376531.6538	2809565.764



Dari Tabel 4.3 nilai gaya geser antar lantai didapat hasil total *Story Shear* sebesar berada di lantai 1 sebesar 2809565.764 Kg dan total *Force/Fi* Sebesar 376531.6538 Kg.



Gambar 4.1: Gaya geser antar lantai untuk Model 1.



Gambar 4.2: Gaya geser antar lantai untuk Model 2.

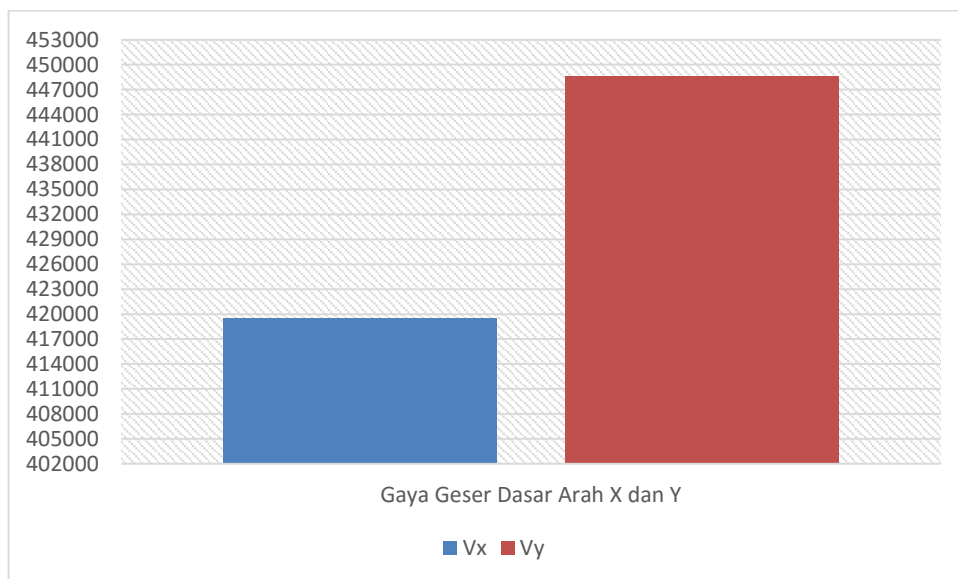
#### 4.2.2. Gaya Geser Dasar

Dari hasil analisis respon spektrum yang menggunakan program analisa struktur diperoleh nilai gaya geser dasar ( $V$ ) berdasarkan SNI 1726:2012 yang disajikan pada Tabel 4.5, untuk gedung Model 1 Dan 2.

Tabel 4.5: Gaya geser hasil analisa respon spektrum berdasarkan SNI 1726:2012 Model 1 Dan 2.

Gempa	Arah x (kg)	Arah y (kg)
Arah X	419547.092	
Arah Y		448686.495

Dari Tabel 4.5 diatas menunjukkan nilai gaya geser untuk arah X maupun arah Y Model 1 Dan 2.



Gambar 4.3: Perbandingan gaya geser.

Dari Gambar 4.3 grafik perbandingan di atas menunjukkan nilai gaya geser Model 1 Dan 2.

Berdasarkan SNI 1726:2012 menyatakan, nilai akhir dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu tidak boleh kurang dari 85% nilai respons ragam pertama.

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

#### 1. Model 1

- Gempa arah x

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

$$V_{Ix} = 0,2 \cdot 3012253,23$$

$$= 602450,646 \text{ kg (gaya geser statik ekuivalen arah x)}$$

- Gempa arah y

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

$$V_{Iy} = 0,2 \cdot 3012253,23$$

$$= 602450,646 \text{ kg (gaya geser statik ekuivalen arah y)}$$

Berdasarkan SNI 1726:2012

- Arah x

##### 1. Gaya Geser Dasar

$$V_x = 419547,092 \text{ kg}$$

$$V_{1x} = 602450,646 \text{ kg (gaya geser statik ekuivalen arah x)}$$

$$\text{Syarat : } V_x \geq 0,85 V_{1x}$$

$$602450,646 \geq 0,85 \cdot 419547,092$$

$$602450,646 \geq 419547,092 \text{ kg, Persyaratan terpenuhi}$$

Berikut syarat faktor skala sesuai Pers. 2.65.

$$\text{Faktor skala} = \frac{0,85 V_{1x}}{V_x} \leq 1$$

$$= \frac{0,85 \cdot 602450,646}{419547,092} \leq 1$$

$$= 1,221 \leq 1$$

$$\text{Faktor skala} = \frac{0,85 V_{1x}}{V_x} \leq 1$$

$$= \frac{0,85 \cdot 602450,646}{448686,495} \leq 1$$

$$= 1.141 \leq 1$$

## 2. Model 1

- Gempa arah x

$$V_{Ix} = Cs \cdot Wt$$

$$V_{Ix} = 0,125 \cdot 3012253.23$$

$$= 376531.6538 \text{ kg (gaya geser statik ekivalen arah x)}$$

- Gempa arah y

$$V_{Iy} = Cs \cdot Wt$$

$$V_{Iy} = 0,125 \cdot 3012253.23$$

$$= 376531.6538 \text{ kg (gaya geser statik ekivalen arah y)}$$

Berdasarkan SNI 1726:2012

- Arah x

### 2. Gaya Geser Dasar

$$V_x = 419547.092 \text{ kg}$$

$$V_{Ix} = 376531.6538 \text{ kg (gaya geser statik ekivalen arah x)}$$

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

$$376531.6538 \geq 0,85 \cdot 419547.092$$

$$376531.6538 \geq 419547.092 \text{ kg, Persyaratan terpenuhi}$$

Berikut syarat faktor skala sesuai Pers. 2.65.

$$\text{Faktor skala} = \frac{0,85 V_{Ix}}{V_x} \leq 1$$

$$= \frac{0,85 \cdot 376531.6538}{419547.092} \leq 1$$

$$= 0.7628 \leq 1$$

$$\text{Faktor skala} = \frac{0,85 V_{Ix}}{V_x} \leq 1$$

$$= \frac{0,85 \cdot 376531.6538}{448686.495} \leq 1$$

$$= 0.7133 \leq 1$$

### 4.3. Nilai Simpangan Gedung (*Drift Rasio*)

Berdasarkan SNI 1726:2012, simpangan antar lantai hanya ada kondisi kinerja batas ultimit saja. Simpangan tersebut diperoleh dari hasil output program analisa struktur akibat beban gempa dan beban gravitasi yang bekerja pada gedung tersebut yang dikombinasikan.

Berikut perhitungan simpangan antar lantai (*drift rasio*) kinerja batas ultimit pada lantai 10 gedung Model 1 untuk arah x analisa respon spektrum :

- Nilai perpindahan elastis (*total drift*) hasil perhitungan analisa struktur akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan pada lantai 10, yaitu 48.200 mm. Jadi nilai  $\Delta_{10} = 48.200$  mm.
- Nilai perpindahan elastis (*total drift*) hasil perhitungan analisa struktur akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan pada lantai 9, yaitu, 46.000 mm. Jadi nilai  $\Delta_9 = 46.000$  mm.
- Perpindahan antar lantai untuk lantai 10 adalah  $\Delta_{10} - \Delta_9 = 48.200 - 46.000 = 2.200$  mm.
- Nilai perpindahan antar lantai (*drift rasio*)  $\Delta_a$ , yang diperbesar dihitung sesuai dengan Pers. 2.69 berikut:

$$\frac{(\Delta_{10} - \Delta_9)C_d}{R} = \frac{(48.200 - 46.000)5,5}{8} = 1.5125 \text{ mm}$$

- Nilai batas untuk simpangan antar lantai ( $\Delta_a$ ) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3, yaitu:  
 $\Delta_a < 0,02 h_{sx}$   
 $\Delta_a < (0,02)(4000)$   
 $\Delta_a < 80$  mm
- Nilai simpangan antar lantai (*drift rasio*) pada lantai 10 yaitu:  $2.200 < 80$  mm. OK!.

Begitu seterusnya perhitungan simpangan antar lantai hingga tingkat 1 dan juga untuk arah y memiliki cara yang sama, begitu juga untuk gedung Model 2 baik untuk arah x maupun y.

Hasil perhitungan simpangan antar lantai dapat dilihat pada Tabel 4.4 untuk gedung Model 1,

Tabel 4.6: Perhitungan *drift story* arah x Model 1.

Lantai	Total drift (mm)	Selisih Perpindahan (mm)	Drift story (mm)	Drift story izin, $\Delta_a$	Cek
Lantai 10	48.2	2.2	12.1	80	Ok
Lantai 9	46	3.6	19.8	80	Ok
Lantai 8	42.4	5	27.5	80	Ok
Lantai 7	37.4	6	33	80	Ok
Lantai 6	31.4	7.1	39.05	80	Ok
Lantai 5	24.3	4.5	24.75	80	Ok
Lantai 4	19.8	4.9	26.95	80	Ok
Lantai 3	14.9	5.4	29.7	80	Ok
Lantai 2	9.5	5.6	30.8	80	Ok
Lantai 1	3.9	3.9	21.45	80	Ok

Tabel 4.7: Perhitungan *drift story* arah y Model 1.

Lantai	Total drift (mm)	Selisih Perpindahan (mm)	Drift story (mm)	Drift story izin, $\Delta_a$	Cek
Lantai 10	40.5	1.6	8.8	80	Ok
Lantai 9	38.9	3.1	17.05	80	Ok
Lantai 8	35.8	4.2	23.1	80	Ok
Lantai 7	31.6	5.1	28.05	80	Ok
Lantai 6	26.5	6	33	80	Ok
Lantai 5	20.5	3.9	21.46	80	Ok
Lantai 4	16.6	4.1	22.55	80	Ok
Lantai 3	12.5	4.6	25.3	80	Ok
Lantai 2	7.9	4.6	25.3	80	Ok
Lantai 1	3.3	3.3	18.15	80	Ok

Karena  $V_x > 0.85 Ct.Wt$  tidak memenuhi syarat maka nilai simpangan drif story diperbesar dengan dikalikan  $\frac{0.85.Ct.Wt}{V_x}$  maka dapat dilihat pada Tabel 4.6

Dan 4.7.

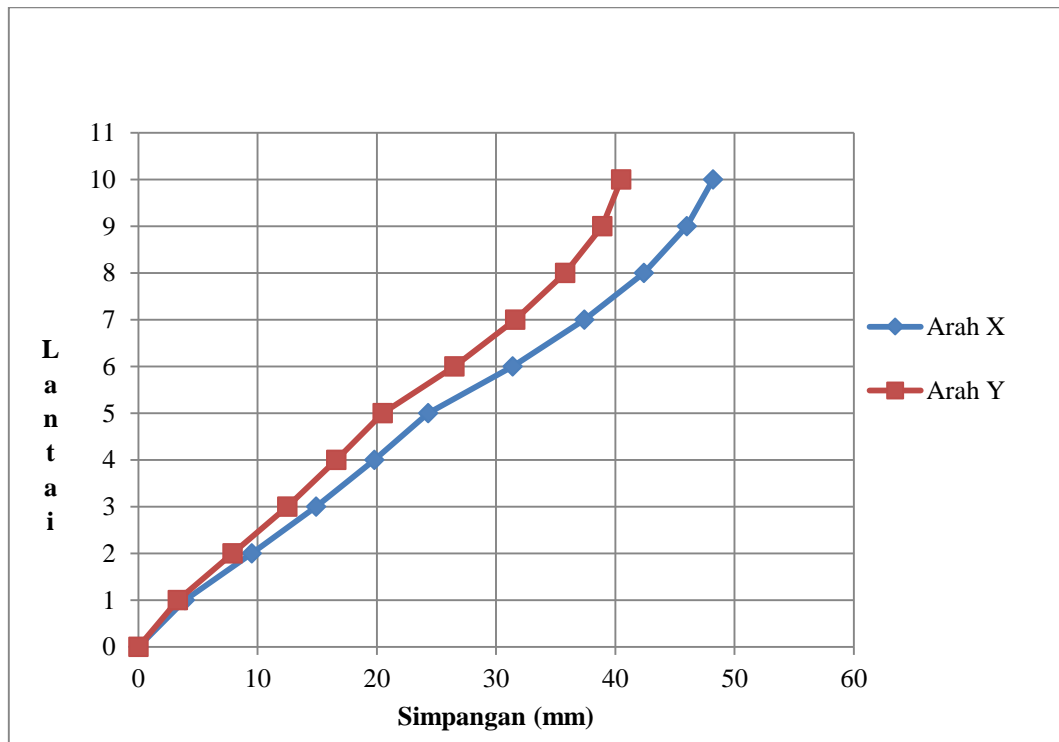
Tabel 4.8: Perhitungan *drift story* arah X Model 1.

Lantai	Total drift (mm)	Selisih Perpindahan (mm)	Drift story (mm)	Drift story izin, $\Delta_a$	Cek
Lantai 10	48.2	2.2	14.7688	80	Ok
Lantai 9	46	3.6	24.1671	80	Ok
Lantai 8	42.4	5	33.5654	80	Ok
Lantai 7	37.4	6	40.2785	80	Ok
Lantai 6	31.4	7.1	47.6629	80	Ok
Lantai 5	24.3	4.5	30.2089	80	Ok
Lantai 4	19.8	4.9	32.8941	80	Ok
Lantai 3	14.9	5.4	36.2507	80	Ok
Lantai 2	9.5	5.6	37.5933	80	Ok
Lantai 1	3.9	3.9	26.181	80	Ok

Tabel 4.9: Perhitungan *drift story* arah Y Model 1.

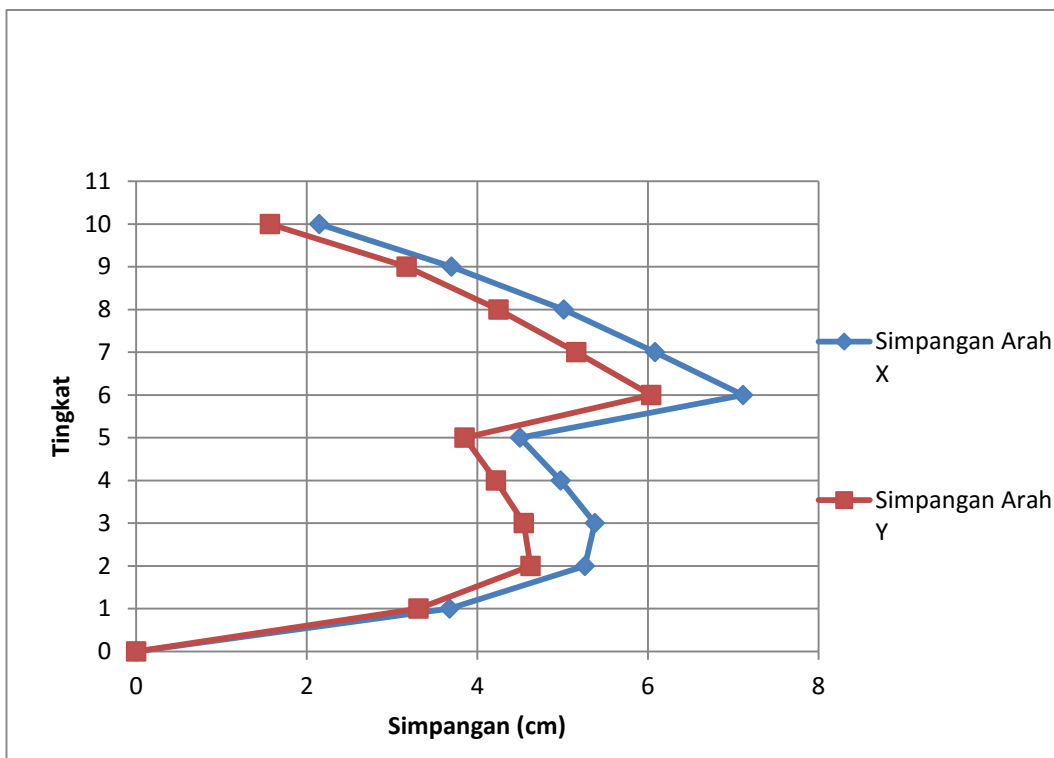
Lantai	Total drift (mm)	Selisih Perpindahan (mm)	Drift story (mm)	Drift story izin, $\Delta_a$	Cek
Lantai 10	40.5	1.6	10.74094	80	Ok
Lantai 9	38.9	3.1	20.81057	80	Ok
Lantai 8	35.8	4.2	28.19497	80	Ok
Lantai 7	31.6	5.1	34.23675	80	Ok
Lantai 6	26.5	6	40.27853	80	Ok
Lantai 5	20.5	3.9	26.18105	80	Ok
Lantai 4	16.6	4.1	27.52366	80	Ok
Lantai 3	12.5	4.6	30.88021	80	Ok
Lantai 2	7.9	4.6	30.88021	80	Ok
Lantai 1	3.3	3.3	22.15319	80	Ok

Dari Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 menunjukkan simpangan antar lantai yang terjadi pada tingkat atas mengalami perpindahan yang besar dibandingkan dengan tingkat dibawahnya. Sedangkan *drift ratio* arah x dan y pada Model. Grafik perbandingan simpangan antar lantai dan *drift ratio* pada gedung Model 1 pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 4.4: Perbandingan simpangan terhadap tinggi gedung.





Gambar 4.5: Perbandingan simpangan terhadap tinggi gedung.

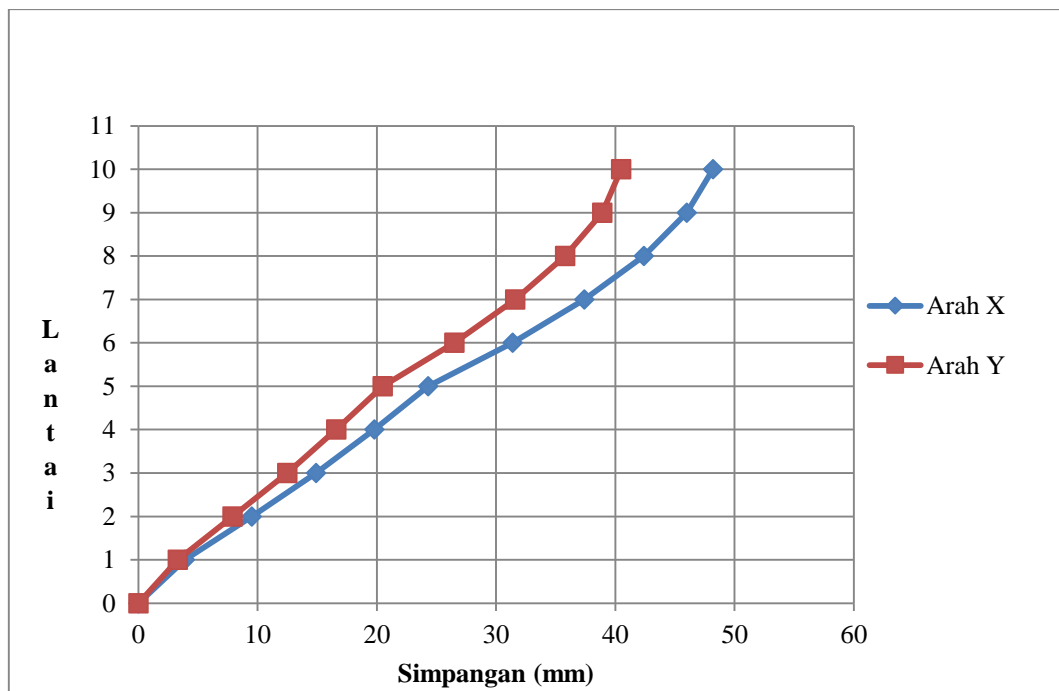
Dari Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 menunjukkan simpangan antar lantai yang terjadi pada tingkat atas mengalami perpindahan yang besar dibandingkan dengan tingkat dibawahnya. Sedangkan *drift ratio* arah x dan y pada Model 1.

Tabel 4.10: Perhitungan *drift story* arah x Model 2.

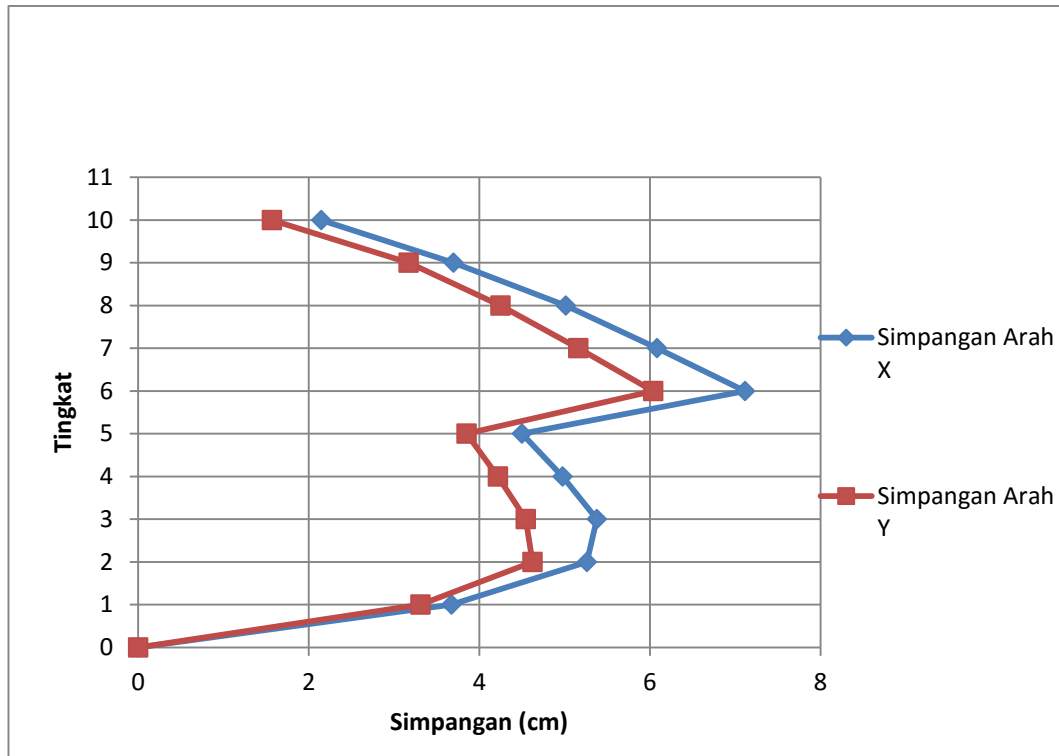
Lantai	Total drift (mm)	Selisih Perpindahan (mm)	Drift story (mm)	Drift story izin, $\Delta_a$	Cek
Lantai 10	48.2	2.2	12.1	80	Ok
Lantai 9	46	3.6	19.8	80	Ok
Lantai 8	42.4	5	27.5	80	Ok
Lantai 7	37.4	6	33	80	Ok
Lantai 6	31.4	7.1	39.05	80	Ok
Lantai 5	24.3	4.5	24.75	80	Ok
Lantai 4	19.8	4.9	26.95	80	Ok
Lantai 3	14.9	5.4	29.7	80	Ok
Lantai 2	9.5	5.6	30.8	80	Ok
Lantai 1	3.9	3.9	21.45	80	Ok

Tabel 4.11: Perhitungan *drift story* arah y Model 2.

Lantai	Total drift (mm)	Selisih Perpindahan (mm)	Drift story (mm)	Drift story izin, $\Delta_a$	Cek
Lantai 10	40.5	1.6	8.8	80	Ok
Lantai 9	38.9	3.1	17.05	80	Ok
Lantai 8	35.8	4.2	23.1	80	Ok
Lantai 7	31.6	5.1	28.05	80	Ok
Lantai 6	26.5	6	33	80	Ok
Lantai 5	20.5	3.9	21.46	80	Ok
Lantai 4	16.6	4.1	22.55	80	Ok
Lantai 3	12.5	4.6	25.3	80	Ok
Lantai 2	7.9	4.6	25.3	80	Ok
Lantai 1	3.3	3.3	18.15	80	Ok



Gambar 4.6: Perbandingan simpangan terhadap tinggi gedung.



Gambar 4.7: Perbandingan simpangan terhadap tinggi gedung.

Dari Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 menunjukkan simpangan antar lantai yang terjadi pada tingkat atas mengalami perpindahan yang besar dibandingkan dengan tingkat dibawahnya. Sedangkan *drift ratio* arah x dan y pada Model 2.

#### 4.4. Kekakuan Tingkat

Kekakuan tingkat diperhitungkan agar pada bangunan yang direncanakan tidak mengalami *Soft story*. Hasil perhitungan kekakuan tingkat disajikan pada Tabel 4.12 sampai Tabel 4.15 untuk Model 1.

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

No	Lantai Ke -	Gaya geser	Simpangan	Selisih	Kekakuan
		( $V_x$ ) ( Kg )	( $\Delta_x$ ) ( mm )	( $\Delta_1$ ) ( mm )	( $V_x/\Delta_1$ ) ( Kg/mm )
1	10	127275.9091	48.2	2.2	57852.69
2	9	117083.8906	46	3.6	32523.30
3	8	97063.3918	42.4	5	19412.68
4	7	78286.77966	37.4	6	13047.80
5	6	61080.71291	31.4	7.1	8602.92
6	5	48268.49921	24.3	4.5	10726.33

7	4	35554.33329	19.8	4.9	7255.99
8	3	22373.87325	14.9	5.4	4143.31
9	2	11647.54096	9.5	5.6	2079.92
10	1	3815.71521	3.9	3.9	978.39

Tabel 4.13: Cek kekakuan tingkat pada arah X pada gedung Model 1.

No	Lantai Ke -	Rasio	Rasio	Soft Story Tipe 1.A	
		Kekakuan	Kekakuan	Cek	Cek
		R <sub>1</sub> (%)	R <sub>2</sub> (%)	R <sub>1</sub> < 70%	R <sub>2</sub> < 80%
1	10				
2	9	56.22	-	OK	OK
3	8	59.69	-	OK	OK
4	7	67.21	35.65	OK	OK
5	6	65.93	39.72	OK	OK
6	5	64.05	78.36	OK	OK
7	4	67.65	67.23	OK	OK
8	3	57.10	46.76	OK	OK

Tabel 4.13: Lanjutan.

No	Lantai Ke -	Rasio	Rasio	Soft Story Tipe 1.A	
		Kekakuan	Kekakuan	Cek	Cek
		R <sub>1</sub> (%)	R <sub>2</sub> (%)	R <sub>1</sub> < 70%	R <sub>2</sub> < 80%
9	2	50.20	28.20	OK	OK
10	1	47.04	21.78	OK	OK

Tabel 4.14: Distribusi kekakuan tingkat pada arah Y pada gedung Model 1.

No	Lantai Ke -	Gaya geser	Simpangan	Selisih	Kekakuan
		( V <sub>y</sub> )	( Δ <sub>y</sub> )	( Δ <sub>2</sub> )	( V <sub>y</sub> /Δ <sub>2</sub> )
		( Kg )	( mm )	( mm )	( Kg/mm )
1	10	127275.909	40.5	1.6	79547.44
2	9	117083.891	38.9	3.1	37769.00
3	8	97063.3918	35.8	4.2	23110.33
4	7	78286.7797	31.6	5.1	15350.35
5	6	61080.7129	26..5	6	10180.12

6	5	48268.4992	20.5	3.9	12376.54
7	4	35554.3333	16.6	4.1	8671.79
8	3	22373.8732	12.5	4.6	4863.89
9	2	11647.541	7.9	4.6	2532.07
10	1	3815.71521	3.3	3.3	1156.28

Tabel 4.15: Cek kekakuan tingkat pada arah Y pada gedung Model 1.

No	Lantai Ke -	Rasio	Rasio	Soft Story Tipe 1.A	
		Kekakuan	Kekakuan	Cek	Cek
		R <sub>1</sub> (%)	R <sub>2</sub> (%)	R <sub>1</sub> < 70%	R <sub>2</sub> < 80%
1	10				
2	9	47.48	-	OK	OK
3	8	61.19	-	OK	OK
4	7	66.42	32.79	OK	OK
5	6	66.32	40.06	OK	OK

Tabel 4.15: Lanjutan.

No	Lantai Ke -	Rasio	Rasio	Soft Story Tipe 1.A	
		Kekakuan	Kekakuan	Cek	Cek
		R <sub>1</sub> (%)	R <sub>2</sub> (%)	R <sub>1</sub> < 70%	R <sub>2</sub> < 80%
6	5	66.78	76.33	OK	OK
7	4	70.07	68.63	OK	OK
8	3	56.09	46.73	OK	OK
9	2	52.06	29.32	OK	OK
10	1	45.67	21.59	OK	OK

Dari hasil perhitungan kekakuan tingkat arah X dan juga arah Y yang ditunjukkan pada Tabel 4.12 - 4.15 menunjukkan bahwa kekakuan tingkat ke-1 telah memenuhi syarat minimum yaitu  $\geq 70\%$  dari kekakuan tingkat ke-2, dan syarat

ke-2 yaitu  $\geq 80\%$  juga telah terpenuhi karena kekakuan tingkat ke-1 dari rata-rata kekakuan 3 tingkat di atasnya lebih dari 80%. Maka dengan demikian gedung yang direncanakan pada Model 1 maupun Model 2 tidak mengalami *soft story* karena kekakuan lateralnya  $\geq 70\%$  kekakuan lateral tingkat di atasnya, atau  $\geq 80\%$  kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya.

Kekakuan tingkat diperhitungkan agar pada bangunan yang direncanakan tidak mengalami *Soft story*. Hasil perhitungan kekakuan tingkat disajikan pada Tabel 4.16 sampai Tabel 4.19 untuk Model 2.

Tabel 4.16: Distribusi kekakuan tingkat pada arah X pada gedung Model 2.

No	Lantai Ke -	Gaya geser	Simpangan	Selisih	Kekakuan
		( $V_x$ )	( $\Delta_x$ )	( $\Delta_1$ )	( $V_x/\Delta_1$ )
		( Kg )	( mm )	( mm )	( Kg/mm )
1	10	79547.44319	48.2	2.2	36157.93
2	9	73177.43163	46	3.6	20327.06
3	8	60664.61987	42.4	5	12132.92
4	7	48929.23729	37.4	6	8154.87
5	6	38175.44557	31.4	7.1	5376.82
6	5	30167.81201	24.3	4.5	6703.96

Tabel 4.16: Lanjutan.

No	Lantai Ke -	Gaya geser	Simpangan	Selisih	Kekakuan
		( $V_x$ )	( $\Delta_x$ )	( $\Delta_1$ )	( $V_x/\Delta_1$ )
		( Kg )	( mm )	( mm )	( Kg/mm )
7	4	22221.45831	19.8	4.9	4534.99
8	3	13983.67078	14.9	5.4	2586.57
9	2	7279.713098	9.5	5.6	1299.95
10	1	2384.822006	3.9	3.9	611.49

Tabel 4.17: Cek kekakuan tingkat pada arah X pada gedung Model 2.

No	Lantai Ke -	Rasio	Rasio	Soft Story Tipe 1.A	
		Kekakuan	Kekakuan	Cek	Cek
		R <sub>1</sub> (%)	R <sub>2</sub> (%)	R <sub>1</sub> < 70%	R <sub>2</sub> < 80%
1	10				
2	9	56.22	-	OK	OK

3	8	59.69	-	OK	OK
4	7	67.21	35.65	OK	OK
5	6	65.93	39.72	OK	OK
6	5	64.68	78.36	OK	OK
7	4	67.65	67.23	OK	OK
8	3	57.10	46.76	OK	OK
9	2	50.20	28.20	OK	OK
10	1	47.04	21.78	OK	OK

Tabel 4.18: Distribusi kekakuan tingkat pada arah Y pada gedung Model 2.

No	Lantai	Gaya geser	Simpangan	Selisih	Kekakuan
	Ke -	( $V_y$ )	( $\Delta y$ )	( $\Delta_2$ )	( $V_y/\Delta_2$ )
		( $Kg$ )	( mm )	( mm )	( $Kg/mm$ )
1	10	79547.4432	40.5	1.6	49717.15
2	9	73177.4316	38.9	3.1	23605.62
3	8	60664.6199	35.8	4.2	14443.96
4	7	48929.2373	31.6	5.1	9593.97
5	6	38175.4456	26.5	6	6362.57
6	5	30167.812	20.5	3.9	7735.34
7	4	22221.4583	16.6	4.1	5419.87

Tabel 4.18: Lanjutan.

No	Lantai	Gaya geser	Simpangan	Selisih	Kekakuan
	Ke -	( $V_y$ )	( $\Delta y$ )	( $\Delta_2$ )	( $V_y/\Delta_2$ )
		( $Kg$ )	( mm )	( mm )	( $Kg/mm$ )
8	3	13983.6708	12.5	4.6	3039.93
9	2	7279.7131	7.9	4.6	1582.55
10	1	2384.82201	3.3	3.3	722.67

Tabel 4.19: Cek kekakuan tingkat pada arah Y pada gedung Model 2.

No	Lantai	Rasio	Rasio	Soft Story Tipe 1.A
----	--------	-------	-------	---------------------

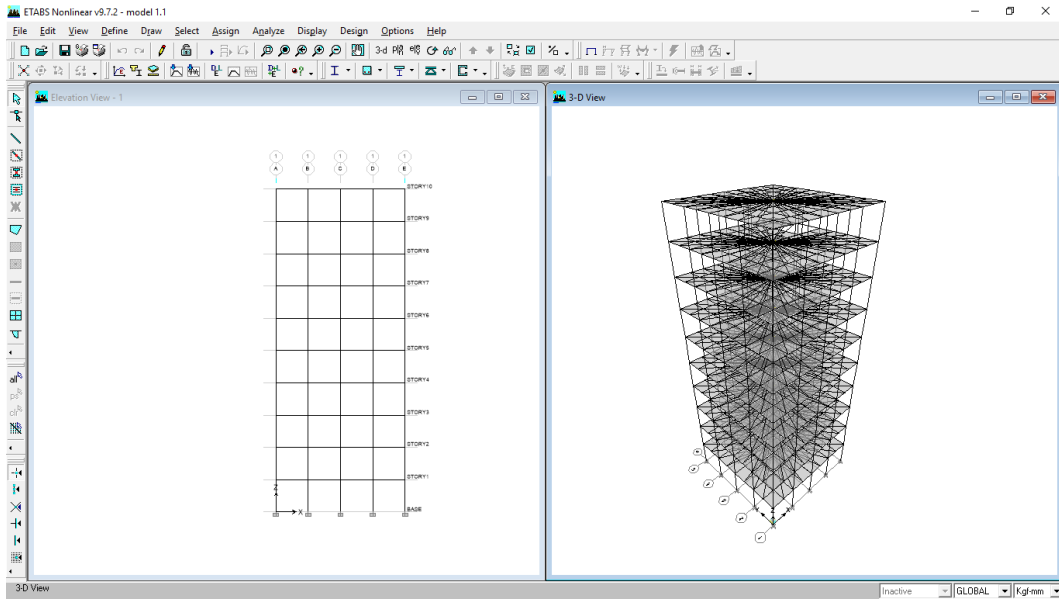
	Ke -	Kekakuan	Kekakuan	Cek	Cek
		R <sub>1</sub> (%)	R <sub>2</sub> (%)	R <sub>1</sub> < 70%	R <sub>2</sub> < 80%
1	10				
2	9	47.48	-	OK	OK
3	8	61.19	-	OK	OK
4	7	66.42	32.79	OK	OK
5	6	66.32	40.06	OK	OK
6	5	66.78	76.33	OK	OK
7	4	70.07	68.63	OK	OK
8	3	56.09	46.73	OK	OK
9	2	52.06	29.32	OK	OK
10	1	45.67	21.59	OK	OK

Dari hasil perhitungan kekakuan tingkat arah X dan juga arah Y yang ditunjukkan pada Tabel 4.16 sampai 4.19 menunjukkan bahwa kekakuan tingkat ke-1 telah memenuhi syarat minimum yaitu  $\geq 70\%$  dari kekakuan tingkat ke-2, dan syarat ke-2 yaitu  $\geq 80\%$  juga telah terpenuhi karena kekakuan tingkat ke-1 dari rata-rata kekakuan 3 tingkat di atasnya lebih dari 80%. Maka dengan demikian gedung yang direncanakan pada Model 1 dan 2 tidak mengalami *soft story* karena kekakuan lateralnya  $\geq 70\%$  kekakuan lateral tingkat di atasnya, atau  $\geq 80\%$  kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya.

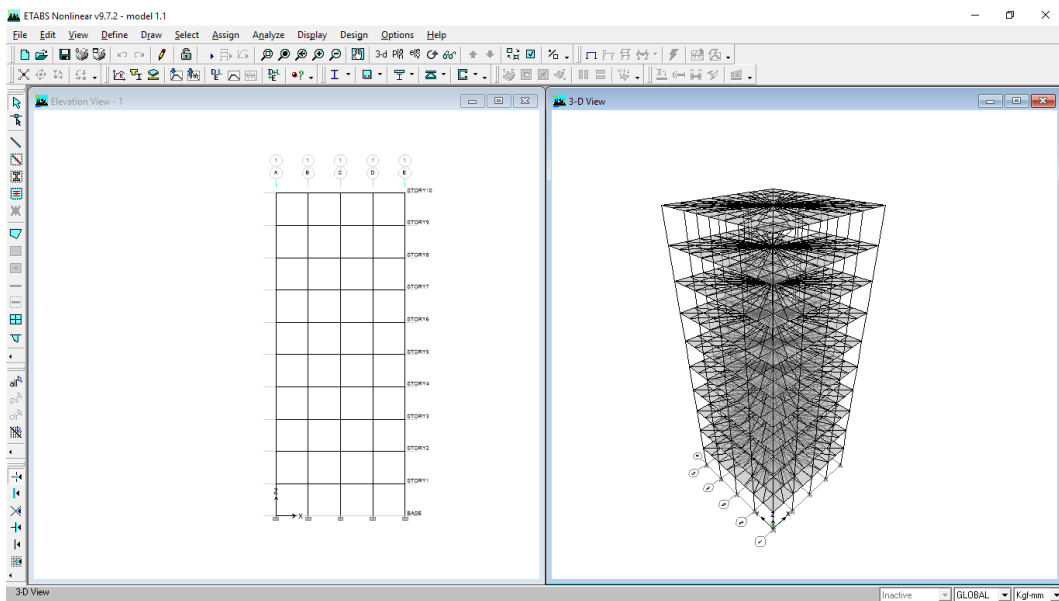
#### 4.5. Hasil Analisis Dimensi Penampang

Dari hasil pemodelan struktur gedung model 1 diperoleh dimensi – dimensi balok kolom yang digunakan, berdasarkan dari hasil dimensi tersebut maka dapat dilihat kekuatan penampang pada struktur model 1 dianalisis melalui program analisa struktur. Dan hasil analisis program analisa struktur dilakukan untuk mengetahui apakah semua elemen struktur seperti balok induk, balok anak dan kolom mampu menahan gaya lateral dan gaya gravitasi sehingga struktur gedung 10 lantai aman untuk digunakan.





Gambar 4.7: Hasil pengecekan ETABS V 9.7.2 *Verify All Members Passed* terhadap dimensi profil struktur Model 1.



Gambar 4.8: Hasil pengecekan ETABS V 9.7.2 *Verify All Members Passed* terhadap dimensi profil struktur Model 2.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mengenai Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah Dan Sistem Rangka Pemikul Momen, maka dapat diambil kesimpulan :

A. Dari hasil desain diperoleh :

1. Setelah merencanakan gedung beton bertulang antara SRPMM dengan SRPMK maka diperoleh dimensi-dimensi balok dan kolom yang aman digunakan pada struktur gedung tersebut, penggunaan balok induk pada lantai 1-5 pada gedung menggunakan SRPMM yaitu 400 x 300 mm, balok induk pada lantai 6-10 pada gedung menggunakan SRPMM yaitu 300 x 200 mm, balok anak pada lantai 1-10 pada gedung menggunakan SRPMM yaitu 200 x 150 mm, penggunaan kolom pada lantai 1-5 pada gedung menggunakan SRPMK yaitu 400 x 400 mm, penggunaan kolom pada lantai

6-10 pada gedung menggunakan SRPMM yaitu 300 x 300 mm, Sedangkan untuk perencanaan dimensi kolom gedung SRPMK penggunaan balok induk pada lantai 1-5 pada gedung menggunakan SRPMK yaitu 400 x 300 mm, balok induk pada lantai 6-10 pada gedung menggunakan SRPMK yaitu 300 x 200 mm, balok anak pada lantai 1-10 pada gedung menggunakan SRPMK yaitu 200 x 150 mm, penggunaan kolom pada lantai 1-5 pada gedung menggunakan SRPMK yaitu 400 x 400 mm, penggunaan kolom pada lantai 6-10 pada gedung menggunakan SRPMK yaitu 300 x 300 mm

B. Gaya-gaya dalam dan simpangan yang bekerja pada model :

1. Setelah dilakukan analisis terhadap gaya geser dasar antara Model 1 dengan Model 2, ternyata sama besarnya , yaitu:
  - a. Untuk gerak analisa respon spektrum gaya geser Model 1 arah X sebesar 419547.092 kg, dan arah Y sebesar 448686.495 kg. Sedangkan gaya geser dasar Model 2 arah X sebesar 419547.092 Kg dan arah Y sebesar 448686.495 Kg.
2. Pada hasil perencanaan simpangan gedung Model 1 dan gedung Model 2, diperoleh nilai simpangan yang terjadi pada gedung Model 1, yaitu:
  - a. Untuk gerak tanah Impval Halley nilai simpangan arah X sebesar 48.200 mm, dan arah Y sebesar 48.200 mm. Sedangkan simpangan pada Model 2 untuk arah X sebesar 48.200 mm dan untuk arah Y sebesar 48.200 mm.

Pada hasil perencanaan simpangan gedung Model 1 dan gedung Model 2, diperoleh nilai simpangan yang pada gedung Model 1 dan Model 2 lebih sama besarnya.

C. Perilaku yang terjadi pada struktur.

1. Dari hasil perencanaan kekakuan Antara Model 1 dan Model 2 maka dapat disimpulkan gedung tidak mengalami *Soft Storey*, karena kekakuan untuk lantai 1 arah X model 1 sebesar 47.04% dan Model 2 sebesar 47.04% serta arah Y Model 1 sebesar 21.78% dan Model 2 sebesar 21.78% dari kekakuan tingkat ke-2 dan memenuhi syarat minimum yaitu  $\geq 70\%$ . Terhadap syarat ke-2 juga terpenuhi karena kekakuan tingkat ke-1 yang diperoleh Model 1

sebesar 47.04% dan Model 2 sebesar 47.04% dari rata-rata 3 tingkat di atasnya memenuhi syarat minimum yaitu  $\geq 80\%$ .

#### D. Diameter tulangan yang diperoleh pada struktur.

1. Diameter tulangan pada gedung Model 1. Kolom 400 x 400 sebesar 18 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Kolom 300 x 300 sebesar 18 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Balok induk 400 x 300 sebesar 14 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Balok induk 300 x 200 sebesar 14 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Balok anak 200 x 150 sebesar 12 mm dengan tulangan sengkang 10 mm.
2. Diameter tulangan pada gedung Model 2. Kolom 400 x 400 sebesar 19 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Kolom 300 x 300 sebesar 19 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Balok induk 400 x 300 sebesar 16 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Balok induk 300 x 200 sebesar 16 mm dengan tulangan sengkang 10 mm. Balok anak 200 x 150 sebesar 14 mm dengan tulangan sengkang 10 mm.

## 5.2. Saran

Berdasarkan hasil pengerjaan tugas akhir ini, saran-saran yang dapat saya berikan untuk pengembangan lebih lanjut antara lain:

1. Penggunaan analisis beban gempa statik ekuivalen memberikan keterbatasan dalam desain model yang di analisis, terutama dalam hal tinggi bangunan. Untuk pengembangan studi lebih lanjut dapat digunakan analisis *dinamik non linier* untuk struktur bangunan yang lebih tinggi;
2. Perlu untuk meninjau model struktur yang lain sehingga dapat dianalisis beberapa variasi ukuran gedung baik variasi panjang bentang maupun jumlah tingkat, sehingga dapat diambil suatu hubungan antara pembebanan, bentang, dan jumlah tingkat terhadap gaya-gaya rencana dalam kaitannya dengan beban gempa;

3. Untuk desain yang ekonomis, desain gedung bertingkat seperti struktur model ini harus dimulai dengan desain SRPMK atau daktilitas penuh. Namun dalam desain ini perlu untuk menerapkan *push over analysis*, sehingga model dan mekanisme keruntuhan jika terjadi gempa dasar dapat direncanakan, dalam hal mengurangi resiko yang besar
4. Pada tugas akhir ini, analisa beban struktur gempa menggunakan analisis *Respon Spektrum*. Penulis menyarankan agar dilakukan peninjauan lebih dalam lagi maka didapat batas maksimum yang terjadi pada struktur beton bertulang sistem rangka pemikul momen menengah dan sistem rangka pemikul momen khusus yang direncanakan.
5. Untuk mendapatkan hasil yang akurat sebaiknya tanah yang ditinjau ada 3 jenis yaitu tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak. Disini penulis hanya meninjau pada 1 jenis tanah yaitu tanah lunak.

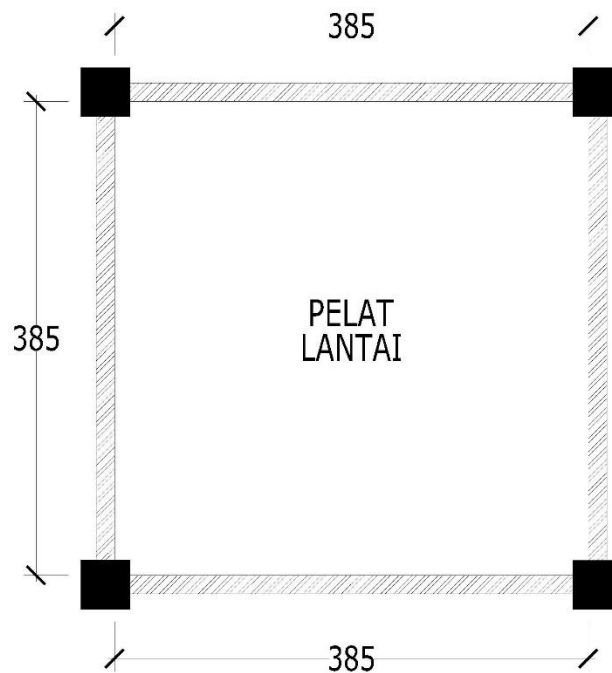
# Lampiran

## Lampiran

### A. Lampiran Gedung 10 Lantai

#### A.1. Penentuan Tebal Pelat Lantai dan Tebal Pelat Tangga

##### A.1.1. Perhitungan Tebal Pelat



Gambar L1: Rencana tebal pelat

- *Batas tebal pelat minimum:*

$$h \text{ min} \geq \frac{Ln (0,8 + Fy/1500)}{36 + 9\beta}$$

$$h \text{ min} \geq \frac{4000 (0,8 + 400/1500)}{36 + 9 (0,85)}$$

$$h \text{ min} \geq 94.8148 \text{ mm}$$

- *Batas tebal pelat maksimum:*

$$h \text{ maks} \leq \frac{Ln (0,8 + Fy/1500)}{36}$$

$$h \text{ maks} \leq \frac{4000 (0,8 + 400/1500)}{36}$$

$$h \text{ maks} \leq \frac{4266.667}{36}$$

$$h \text{ maks} \leq 118.5185 \text{ mm}$$

Jadi, pelat lantai yang digunakan untuk lantai 1-10 adalah 110 mm.

### A.1.2 Pembebanan Pada pelat lantai dan pelat tangga (Model 2)

#### 1. Pelat Lantai

Beban mati (DL)

Spesi (t = 2 cm) = 63 kg/m<sup>2</sup>

Penutup lantai (keramik) = 24 kg/m<sup>2</sup>

Plafon dan penggantung = 18 kg/m<sup>2</sup>

Beban mati tambahan ducting = 20 kg/m<sup>2</sup>

Beban mati tambahan lighting = 25 kg/m<sup>2</sup>

Total Beban Mati = 150 kg/m<sup>2</sup>

Beban Hidup (LL)

Beban Hidup perkantoran

Lobi dan koridor lantai pertama = 479kg/m<sup>2</sup>

Koridor diatas lantai pertama = 383kg/m<sup>2</sup>

Kantor = 240kg/m<sup>2</sup>

#### 2. Pelat Atap

Beban mati (DL)

- Spesi (t = 3 cm) = 3 x 21 kg/m<sup>2</sup> = 63 kg/m<sup>2</sup>

- Genangan air = 16 kg/m<sup>2</sup>

- Plafon dan penggantung = 18 kg/m<sup>2</sup>

Total Beban Mati = 97 kg/m<sup>2</sup>

Beban Hidup (LL)

- Beban hidup lantai atap (SNI 1727:2013) = 96 kg/m<sup>2</sup>

Untuk pembebanan pada pelat tangga gedung 8 lantai dan 10 lantai didapat dari perhitungan di bawah ini:



### A. Pelat tangga type 1

#### Beban Mati (DL)

- Berat anak tangga	= $0,03 \cdot 2400 \text{ kg/m}^3$	= 72	kg/m <sup>2</sup>
- Berat pelat tangga	= $0,1 \cdot 2400 \text{ kg/m}^3$	= 240	kg/m <sup>2</sup>
- Spesi (t=2cm)	= $0,02 \cdot 21 \text{ kg/m}^2$	= 0,42	kg/m <sup>2</sup>
- Hand rail	= Asumsi	= 21	kg/m <sup>2</sup>
- Berat lapisan pasir	= $0,06 \cdot 1600$	= 96	kg/m <sup>2</sup>
- Penutup lantai		= <u>24</u>	kg/m <sup>2</sup>
	Total DL	=	453,42 kg/m <sup>2</sup>

#### Beban Hidup (LL)

Untuk pelat tangga gedung perkantoran (SNI 1727:2013) = 479 kg/m<sup>2</sup>

### B. Pelat Bordes

#### Beban Mati (DL)

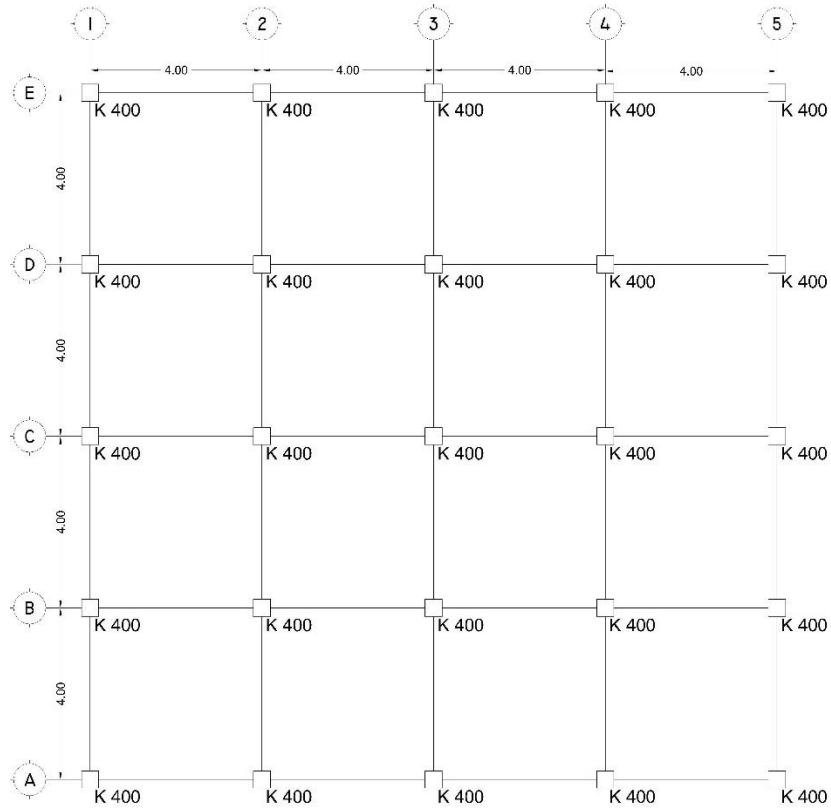
- Berat pelat bordes	= $0,1 \cdot 2400$	= 240	kg/m <sup>2</sup>
- Berat lapisan pasir	= $0,06 \cdot 1600$	= 96	kg/m <sup>2</sup>
- Spesi (t=2cm)	= $0,02 \cdot 21 \text{ kg/m}^2$	= 0,42	kg/m <sup>2</sup>
- Penutup lantai		= <u>24</u>	kg/m <sup>2</sup>
	Total DL	=	360,42 kg/m <sup>2</sup>

#### Beban Hidup (LL)

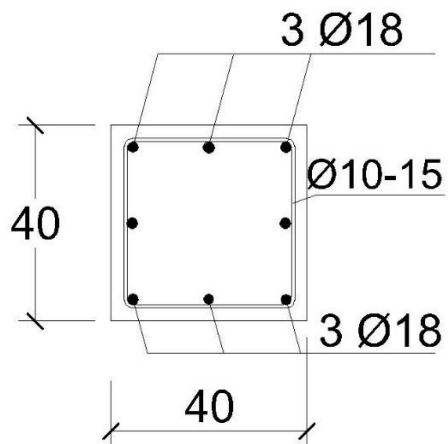
- Untuk pelat tangga gedung perkantoran (SNI 1727:2013) = 479 kg/m<sup>2</sup>

## A.4. Lampiran Gambar Penulangan

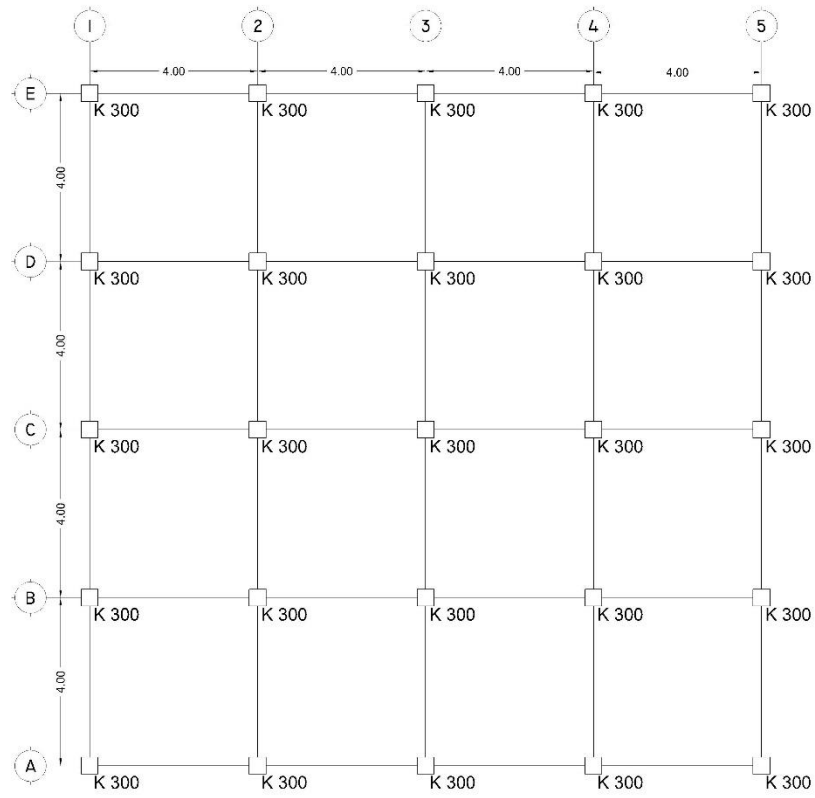
### A.4.1. Model 1



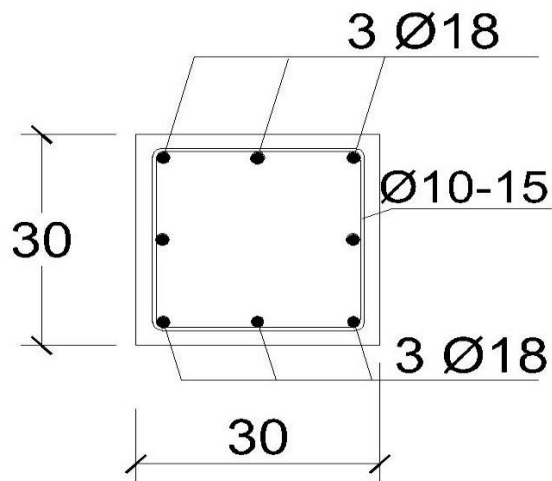
Gambar L1 : Denah Kolom Lantai 1 Sampai 5



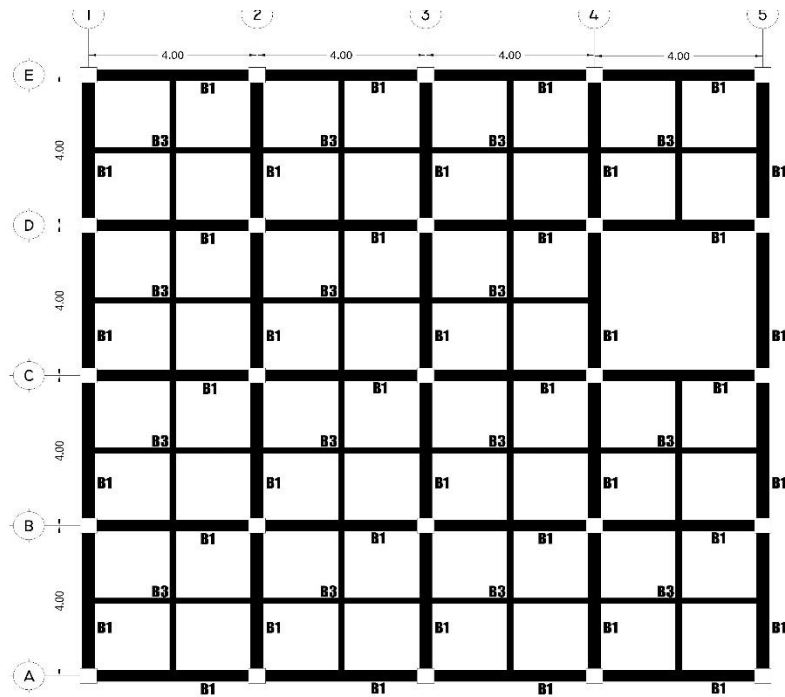
Gambar L2 : Penulangan Kolom Lantai 1 Sampai 5



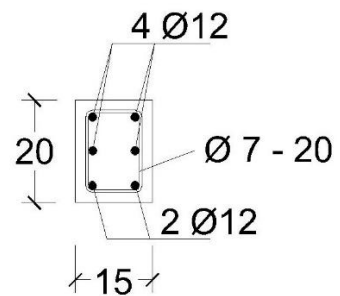
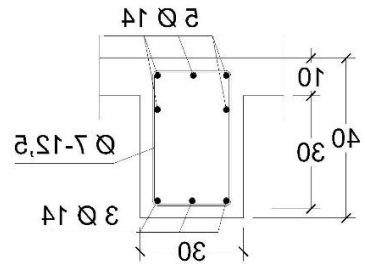
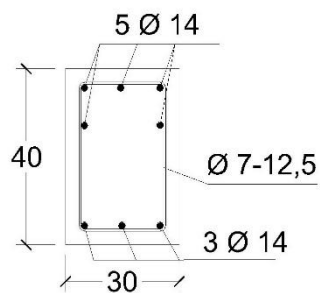
Gambar L3 : Denah Kolom Lantai 6 Sampai 10

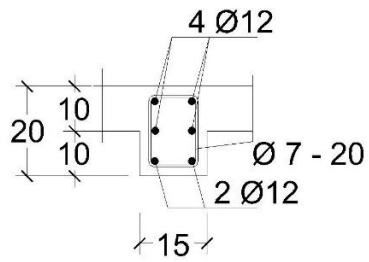


Gambar L4 : Denah Kolom Lantai 6 Sampai 10

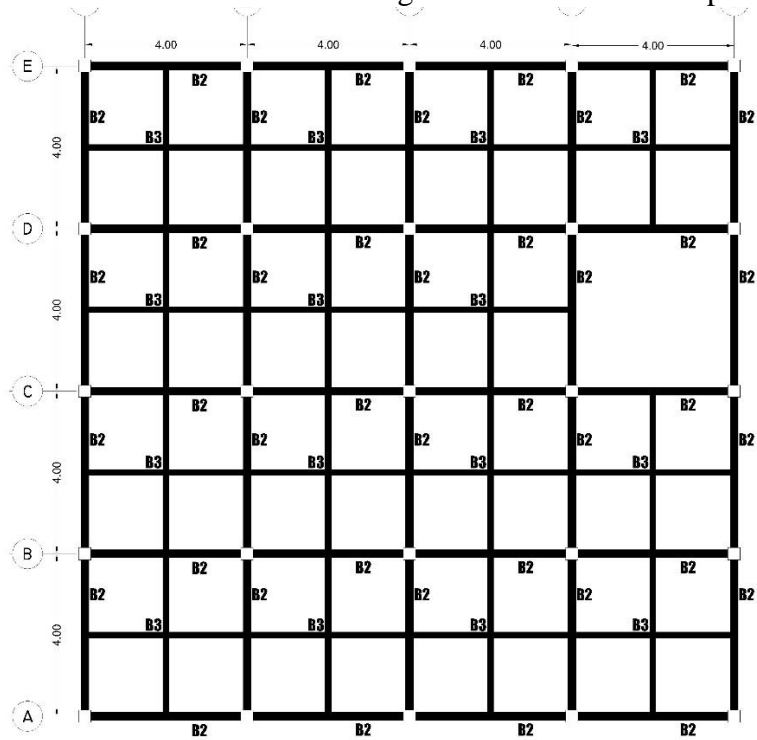


Gambar L5 : Denah Balok Lantai 1 Sampai 5

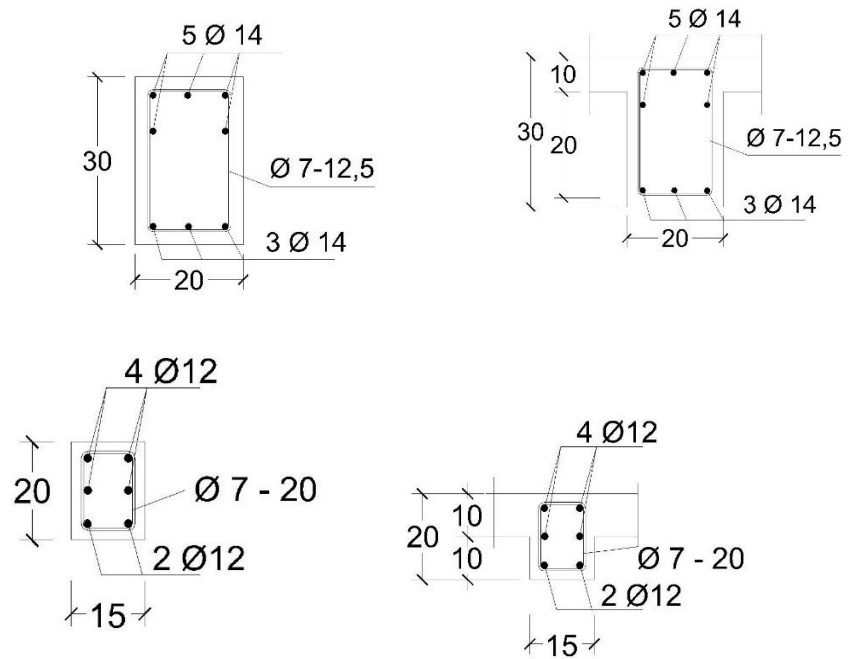




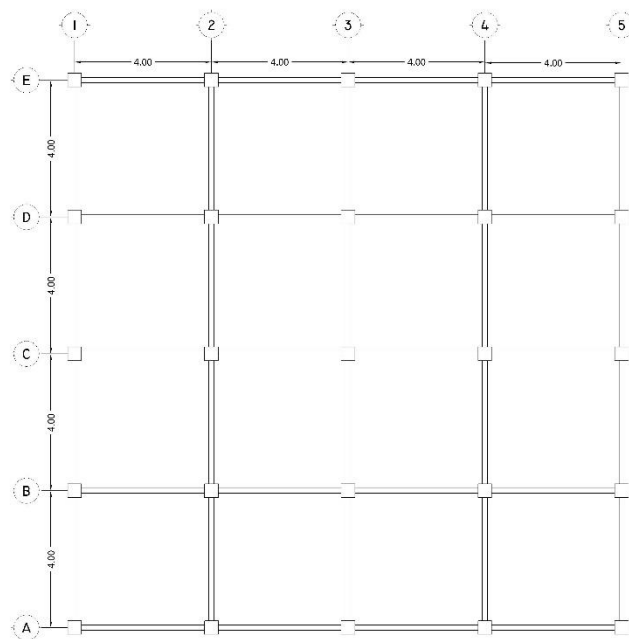
Gambar L6 : Penulangan Balok Lantai 1 Sampai 5



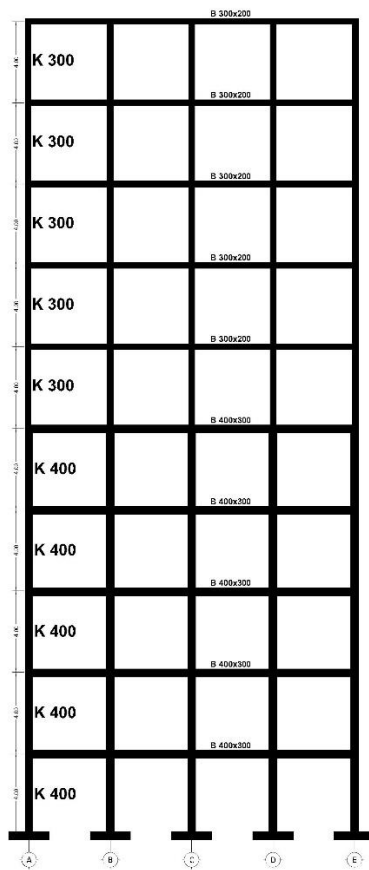
Gambar L7 : Denah Balok Lantai 6 Sampai 10



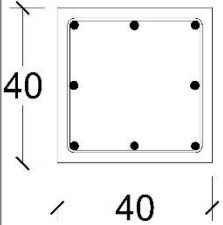
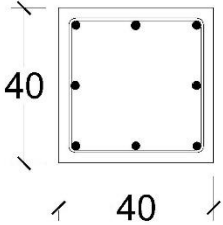
Gambar L8 : Penulangan Balok Lantai 6 Sampai 10



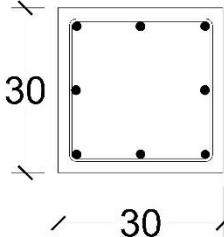
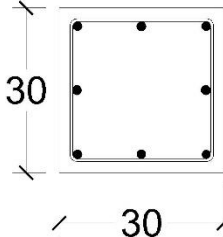
Gambar L9 : Denah Balok Tinjauan Sumbu



Gambar L10 : Kolom Yang Ditinjau

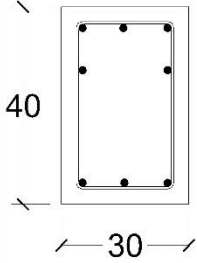
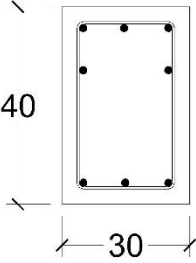
TYPE	KOLOM 400 mm X 400 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN POKOK	8-D18	8-D18
SENGKANG	Ø 10 - 100	Ø 10 - 100

Gambar L11 : Tabel Tulangan

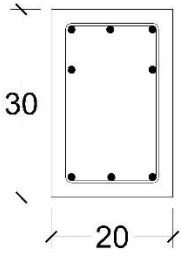
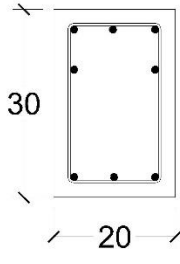
TYPE	KOLOM 300 mm X 300 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN POKOK	8-D18	8-D18
SENGKANG	Ø 10 - 100	Ø 10 - 100

Gambar L12 : Tabel Tulangan

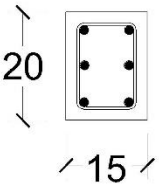
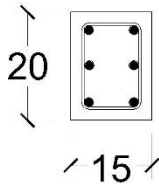


TYPE	BALOK 400 mm X 300 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	3-D14	3-D14
TULANGAN TENGAH	2-D14	2-D14
TULANGAN BAWAH	3-D14	3-D14
SENGKANG	Ø 10 - 100	Ø 10 - 100

Gambar L13 : Tabel Tulangan

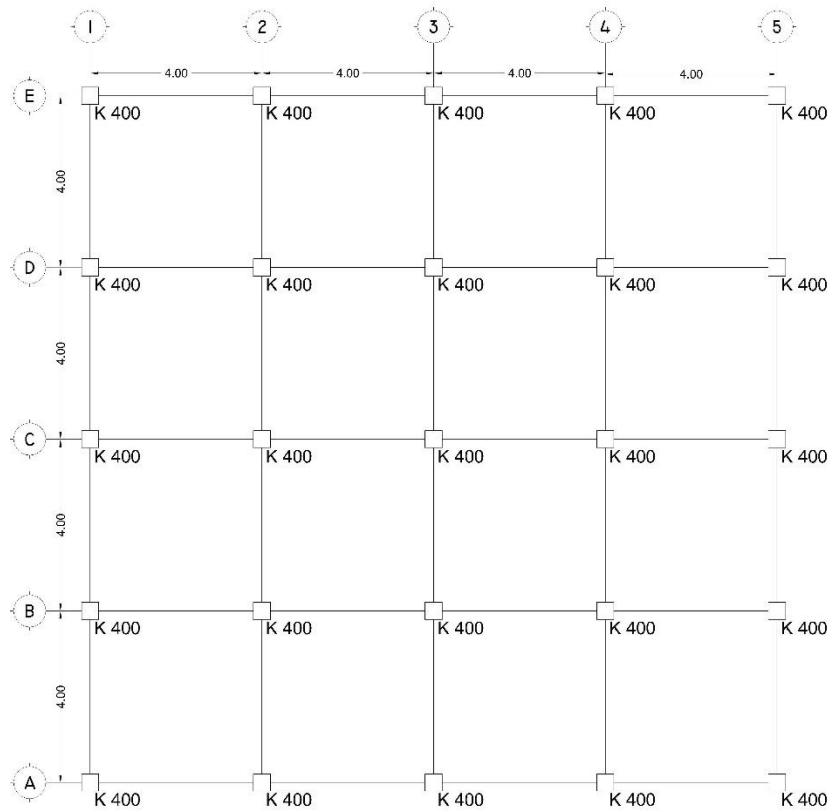
TYPE	BALOK 300 mm X 200 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	3-D14	3-D14
TULANGAN TENGAH	2-D14	2-D14
TULANGAN BAWAH	3-D14	3-D14
SENGKANG	Ø 10 - 100	Ø 10 - 100

Gambar L14 : Tabel Tulangan

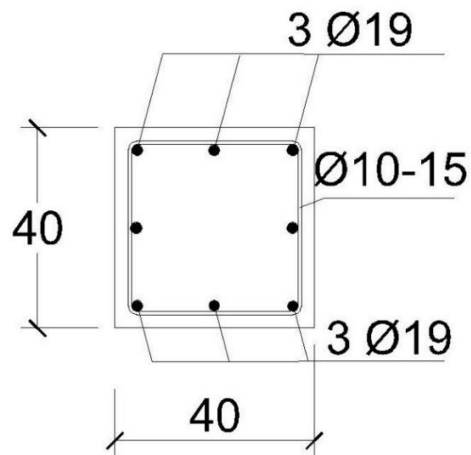
TYPE	BALOK 200 mm X 150 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	2-D12	2-D12
TULANGAN TENGAH	2-D12	2-D12
TULANGAN BAWAH	2-D12	2-D12
SENGKANG	Ø 10 - 100	Ø 10 - 100

Gambar L15 : Tabel Tulangan

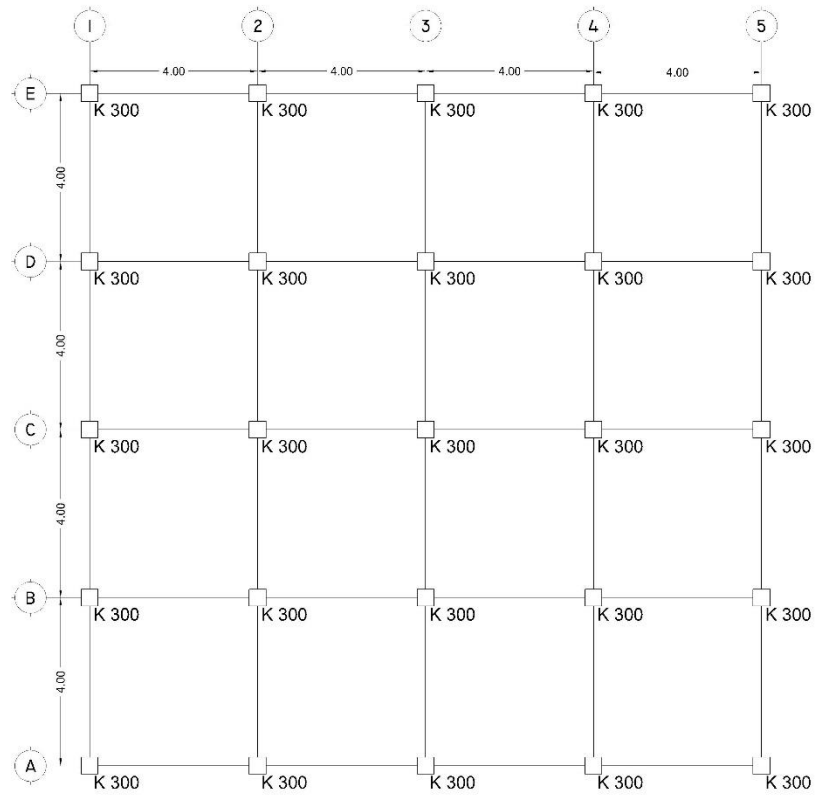
### A.4.1. Model 2



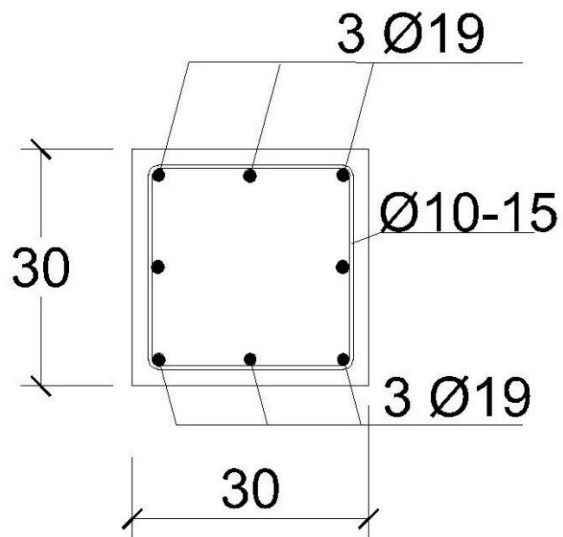
Gambar L15 : Denah Kolom Lantai 1 Sampai 5



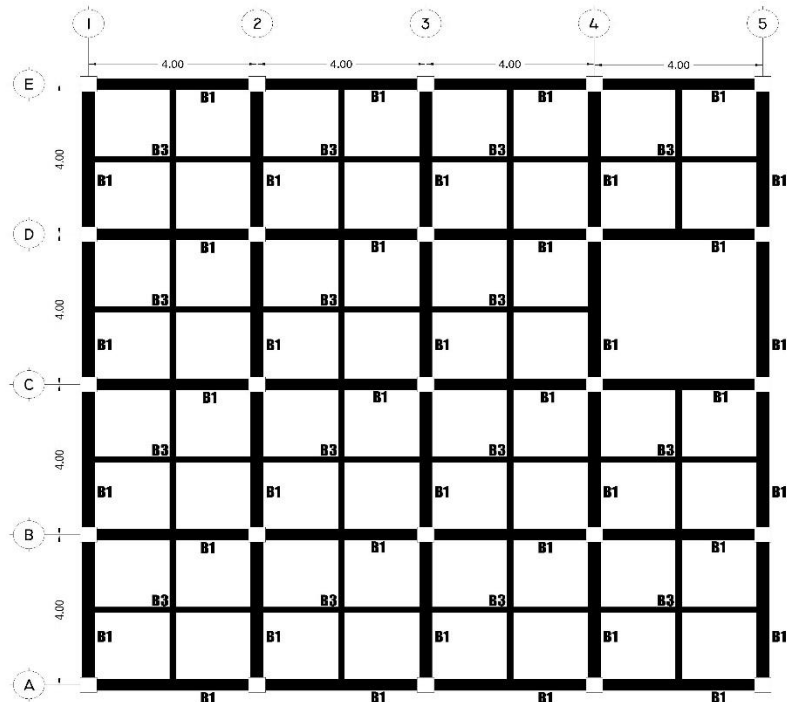
Gambar L16 : Penulangan Kolom Lantai 1 Sampai 5



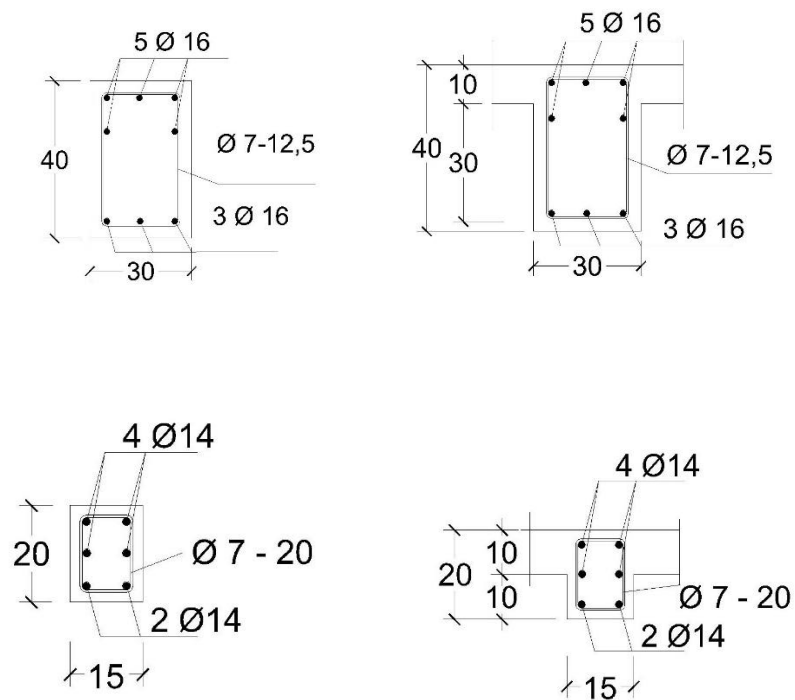
Gambar L17 : Denah Kolom Lantai 6 Sampai 10



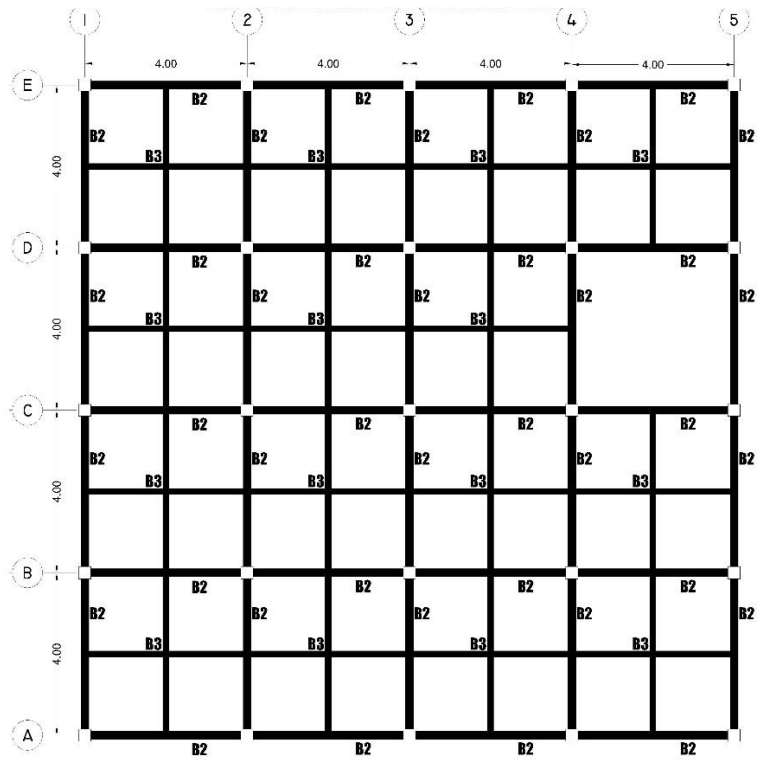
Gambar L18 : Denah Kolom Lantai 6 Sampai 10



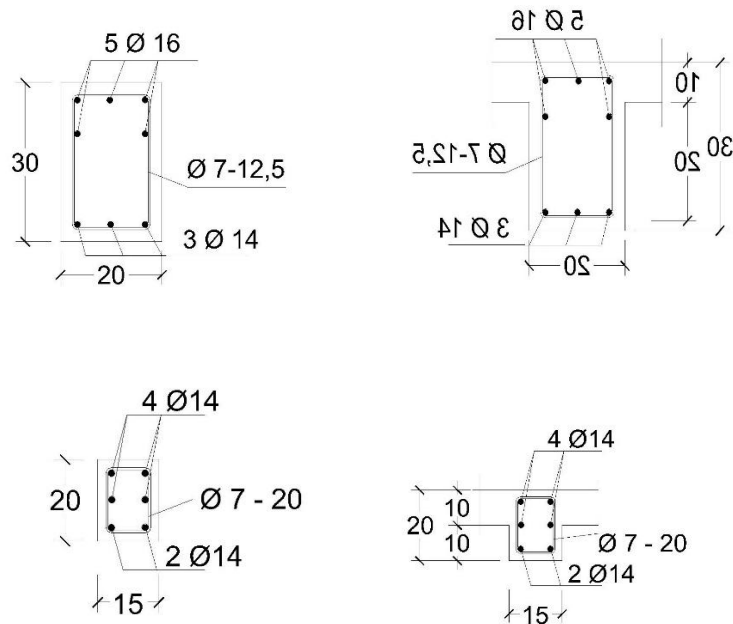
Gambar L19 : Denah Balok Lantai 1 Sampai 5



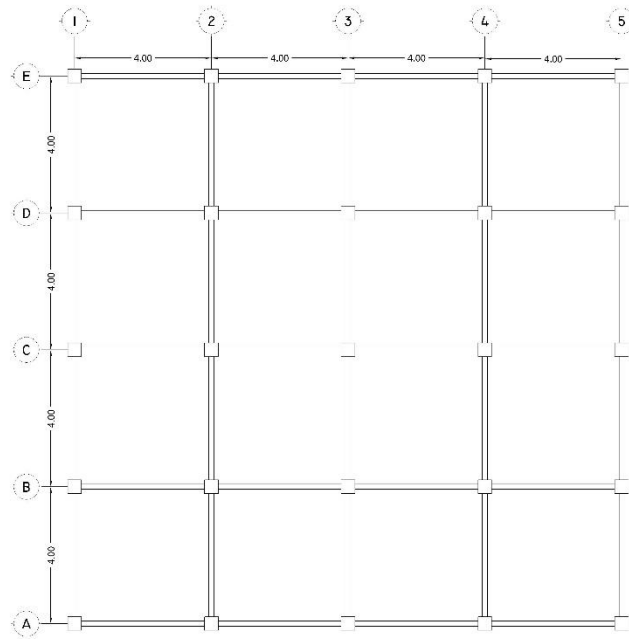
Gambar L20 : Penulangan Balok Lantai 1 Sampai 5



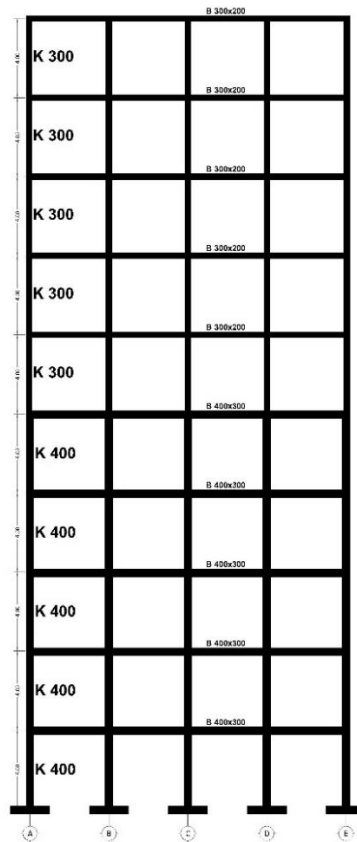
Gambar L21 : Denah Balok Lantai 6 Sampai 10



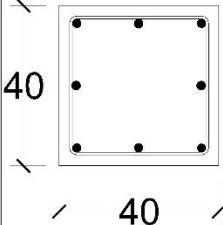
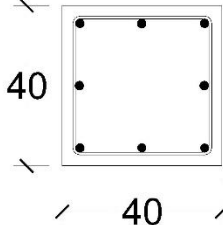
Gambar L22 : Penulangan Balok Lantai 6 Sampai 10



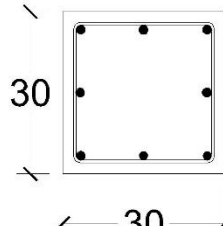
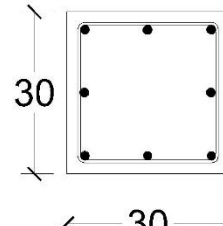
Gambar L23 : Denah Balok Tinjauan Sumbu



Gambar L24 : Kolom Yang Ditinjau

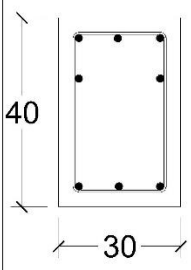
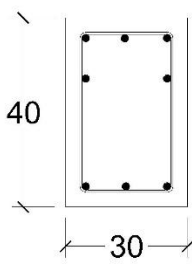
TYPE	KOLOM 400 mm X 400 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN POKOK	8-D19	8-D19
SENGKANG	Ø 10 - 100	Ø 10 - 100

Gambar L25 : Tabel Tulangan

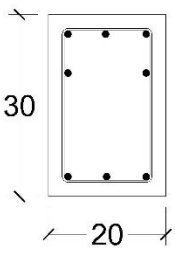
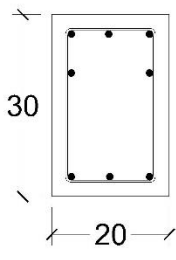
TYPE	KOLOM 300 mm X 300 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN POKOK	8-D19	8-D19
SENGKANG	Ø 10 - 100	Ø 10 - 100

Gambar L26 : Tabel Tulangan

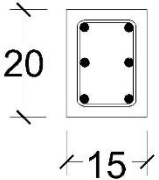
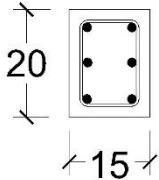


TYPE	BALOK 400 mm X 300 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	3-D16	3-D16
TULANGAN TENGAH	2-D16	2-D16
TULANGAN BAWAH	3-D16	3-D16
SENGKANG	Ø 10 - 100	Ø 10 - 100

Gambar L27 : Tabel Tulangan

TYPE	BALOK 300 mm X 200 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	3-D16	3-D16
TULANGAN TENGAH	2-D16	2-D16
TULANGAN BAWAH	3-D16	3-D16
SENGKANG	Ø 10 - 100	Ø 10 - 100

Gambar L28 : Tabel Tulangan

TYPE	BALOK 200 mm X 150 mm	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	2-D14	2-D14
TULANGAN TENGAH	2-D14	2-D14
TULANGAN BAWAH	2-D14	2-D14
SENGKANG	Ø 10 - 100	Ø 10 - 100

Gambar L29 : Tabel Tulangan

## DAFTAR PUSTAKA

- AISC-358, 2005, *Prequalified Connections for Special and Intermediate Moment Frames for Seismic Applications*, American Institute of Steel Construction.
- Afrida, R (2015), *Perbandingan Rangka Pemikul Momen Khusus Sistem RBS Dan Rangka Baja Bresing Konsentris Tipe x*. Medan: Program Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011, *Baja Profil H (Bj P H-beam) SNI 2610:2011*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013, *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727:2013*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015, *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 1729:2015*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Budiono, B. dan Supriatna, L. (2011) *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726:2012*. Bandung: ITB.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Pawirodikromo, W (2012), *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Purba, M (2016) *Keamanan Jarak Antara Srpm Tinggi Dengan Srpm Disebelahnya Terhadap Bahaya Getaran Gempa*. Medan: Program Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Rambe, S F 2010 *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRMPM)*. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sumatera Utara.

Suherman (2015) *Perbandingan Simpangan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Rangka Baja Bracing Eksentris di Zona Gempa Tinggi*. Medan: Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

<http://www.ilmusipil.com>

## **DAFTAR RIWAYAT HIDUP**



### **DATA DIRI**

Nama Lengkap : Ahyani  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Tempat/Tgl Lahir : Kampung Baru, 10 Agustus 1993  
Alamat : Jl. Suasa Tengah, Kec Medan Deli, Kabupaten Deli  
Serdang, Medan  
Agama : Islam  
Nama Orang Tua  
Ayah : Amiruddin Malau  
Ibu : Citi Assan  
No.HP : 085270702015  
E-Mail : [ahyanimalau@gmail.com](mailto:ahyanimalau@gmail.com)

### **RIWAYAT PENDIDIKAN**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1107210098  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhamadiyah Sumatera Utara  
Alamat Perguruan Tinggi : Jl.Kaptan Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

### **JENJANG PENDIDIKAN**

- SD Negeri 01 Kampung Baru Aceh singkil : Berijazah Tahun 2005
- SMP Negeri 01 Gosong Telaga Aceh singkil : Berijazah Tahun 2008
- SMK Negeri 01 Gunung Meriah Aceh singkil : Berijazah Tahun 2011
- Melanjutkan Kuliah di Fakultas Teknik Program Studi Sipil di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tahun 2011.