

ANALISIS PENGARUH VARIASI TINGGI KOLOM TERHADAP KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil
Universitas Islam Riau
Pekanbaru

Oleh :

YULI EKMAL
123110584

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2019

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (strata satu), baik di Universitas Islam Riau maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Penggunaan "software" komputer bukan menjadi tanggung jawab Universitas Islam Riau.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila kemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak kebenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Pekanbaru, 24 Juni 2019



YULI EKMAL

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Alhamdulillah rabbil 'alamin, puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan Hidayah-Nya berupa akal, pikiran serta kesehatan jasmani dan rohani kepada penulis tetap bersemangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat serta salam untuk Nabi Muhammad SAW, berkat perjuangan beliau kita bisa menikmati ilmu pengetahuan seperti saat sekarang ini.

Melalui proses yang panjang akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Analisis Pengaruh Variasi Tinggi Kolom Terhadap Kinerja Struktur Gedung Bertingkat**” yang disusun mengikuti kurikulum akademis pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana teknik (ST).

Mengingat keterbatasan kemampuan yang penulis miliki, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan tidak luput dari kesalahan. Karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, Juni 2019

Penulis

YULI EKMAL

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Dengan segala kerendahan hati peneliti ingin menyampaikan dan mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu peneliti dengan memberikan dorongan dan dukungan yang tak terhingga terutama kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, S.H., M.C.L. sebagai Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Ir. H. Abd. Kudus Zaini, MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Kurnia Hastuti, ST., MT. sebagai Wakil Dekan Bidang Akademis Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak M. Ariyon, ST., MT. sebagai Wakil Dekan Bidang Keuangan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
5. Bapak Ir. Syawaldi, M.Sc. sebagai Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan dan Alumni Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Dr. Elizar, ST., MT. sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau sekaligus Dosen Penguji.
7. Bapak Firman Syarif, ST., MT. sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
8. Ibu Sri Hartati Dewi, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing I.
9. Bapak Mahadi Kurniawan, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing II.
10. Ibu Roza Mildawati, ST., MT. sebagai Dosen Penguji.
11. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
12. Seluruh Staf dan Karyawan/i Tata Usaha (TU) Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
13. Seluruh Staf dan Karyawan/i Perpustakaan Teknik Universitas Islam Riau.

14. Orang tua tercinta Tambah dan Nurbaya yang selama ini tak henti-hentinya mendo'akan, memberikan semangat, dan memberikan dukungan.
15. Kakak, Abang dan Adik yang selama ini memberikan do'a, dorongan dan juga motivasi selama proses penyusunan Tugas Akhir.
16. Seluruh teman-teman yang selalu memberi semangat, dukungan, bantuannya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak bias disebutkan namanya satu per satu.

Akhir kata penulis berharap agar Tugas Akhir ini nantinya dapat bermanfaat bagi kita semua terutama bagi penulis sendiri.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Pekanbaru, Juni 2019

Penulis

YULI EKMAL

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
DAFTAR NOTASI.....	x
ABSTRAK	xii
 BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Masalah.....	2
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Umum.....	4
2.2. Penelitian Sebelumnya	4
2.3. Keaslian Penelitian.....	6
 BAB III. LANDASAN TEORI	
3.1. Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa.....	7
3.2. Prosedur Analisis	7
3.2.1 Analisis Statik	11
3.2.2 Analisis Dinamik.....	11
3.3 Kategori Desain Seismik.....	13
3.4 Pemilihan Sistem Struktur dan Parameter Sistem (R , C_d , Ω_o)	14
3.5 Periode Alami Struktur	15
3.6 Kombinasi Pembebanan.....	17
3.7 Pembebanan Struktur	18

3.7.1	Beban Mati	19
3.7.2	Beban Hidup.....	21
3.8	Metode Respon Spektrum	24
3.9	Simpangan Antar Lantai	29
3.10	Struktur kolom	31
3.10.1	Komponen Struktur Kolom.....	32
3.10.2	Diagram Interaksi	32
3.10.3	Tekuk Pada Kolom.....	33
3.10.4	Analisa Kolom Langsing.....	35
3.10.5	Batasan Angka Kelangsingan untuk Kolom Langsing	37
BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN		
4.1.	Jenis Penelitian.....	38
4.2.	Analisa Data	38
4.3.	Tahapan Penelitian	41
4.4.	Pembebanan Struktur	45
4.5.	Data Struktur Gedung	46
4.5.1.	Material Struktur	46
4.5.2.	Dimensi Elemen Struktur	46
4.6.	Variasi Tinggi Kolom	48
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN		
5.1.	Hasil Analisis Gempa Dengan Metode Respons Spektrum...	50
5.1.1	Gaya Geser Tingkat	50
5.1.2	Simpangan Maksimum	51
5.2	Simpangan Antar Lantai	53
5.2.	Hasil Pemeriksaan Tekuk Kolom	55
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN		
6.1.	Kesimpulan	56
6.2.	Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Prosedur Analisis yang Boleh Digunakan	8
Tabel 3.2.	Kategori Resiko	9
Tabel 3.3.	Faktor Keutamaan Gempa.....	10
Tabel 3.4.	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek.....	13
Tabel 3.5.	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 detik.....	14
Tabel 3.6.	Pemilihan Sistem Struktur Berdasarkan Tingkat Resiko Gempa	14
Tabel 3.7.	Faktor R, Cd, Dan Ω_0 Untuk Sistem Gaya Gempa.....	14
Tabel 3.8.	Koefisien Untuk batas Atas Pada Periode Yang Dihitung	16
Tabel 3.9.	Nilai Parameter Pendekatan Ct dan x.....	16
Tabel 3.10.	Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung	19
Tabel 3.11.	Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum Dan Beban Hidup Terpusat Minimum	22
Tabel 3.12.	Klasifikasi Situs.....	26
Tabel 3.13.	Koefisien Situs, Fa.....	27
Tabel 3.14.	Koefisien Situs, Fv	27
Tabel 3.15.	Simpangan Antar Lantai Izin.....	31
Tabel 4.1.	Mutu material kolom, balok, dan pelat lantai.....	37
Tabel 4.2.	Dimensi Kolom	47
Tabel 4.3.	Dimensi Balok	47
Tabel 4.4.	Tebal Pelat	47
Tabel 5.1.	Gaya Geser Tingkat Arah X.....	50
Tabel 5.2.	Gaya Geser Tingkat Arah Y	51
Tabel 5.3.	Simpangan Maksimum.....	51
Tabel 5.4.	Simpangan Antar Lantai Arah X.....	53
Tabel 5.5.	Simpangan Antar Lantai Arah Y	54
Tabel 5.6.	Hasil Pemeriksaan Tekuk Kolom.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1.	Diagram Beban (P) terhadap Waktu (t) (Anonymous, 2017)	13
Gambar 3.2.	Ss (Percepatan batuan dasar pada periode pendek), Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER). (SNI 1726-2012)	25
Gambar 3.3.	S1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik), Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko Tertarget (MCER). (SNI 1726-2012)	25
Gambar 3.4.	Respon Spektra Desain (SNI 1726-2012)	29
Gambar 3.5.	Penentuan Simpangan Antar Lantai (SNI 1726:2012)	30
Gambar 3.6.	Diagram P- M (Nugraha, 2016)	33
Gambar 3.7.	Faktor panjang efektif k (SNI 2847-2013)	35
Gambar 4.1.	Bagan Alir Penelitian	43
Gambar 4.2.	Bagan Alir Analisis Respons Spektrum berdasarkan SNI 1726-2012	44
Gambar 4.3.	Denah Lantai 1 sampai 5	48
Gambar 4.4.	Variasi Model 1 (tinggi kolom lantai satu 3m)	48
Gambar 4.5.	Variasi Model 2 (tinggi kolom lantai satu 4m)	50
Gambar 4.6.	Variasi Model 3 (tinggi kolom lantai satu 5m)	51
Gambar 5.1.	Simpangan Maksimum Arah X	52
Gambar 5.2.	Simpangan Maksimum Arah Y	52
Gambar 5.3.	Simpangan Antar Lantai Arah X	53
Gambar 5.4.	Simpangan Antar Lantai Arah Y	54

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. PERHITUNGAN

A.1. Perhitungan Baban Mati dan Beban Hidup	A-1
A.1.1 Beban Mati Struktural	A-1
A.1.2 Beban Mati Tambahan	A-1
A.1.3 Beban Hidup	A-2
A.2. Perhitungan Beban Gempa	A-2
A.2.1 Menentukan Kelas Situs	A-2
A.2.2 Analisis Respon Spektrum	A-3
A.2.3 Pemilihan Sistem Struktural	A-7
A.2.4 Menghitung Periode Struktural (T)	A-8
A.2.5 Menghitung Koefisien Respons Seismik	A-9
A.2.6 Menghitung Gaya Geser Gempa	A-11
A.2.7 Gaya Geser Dasar Nominal, V	A-11
A.3. Kombinasi Pembebanan	A-12
A.4. Simpangan Antar Lantai	A-13
A.4.1 Simpangan Antar Lantai Model 1	A-14
A.4.2 Simpangan Antar Lantai Model 2	A-16
A.4.3 Simpangan Antar Lantai Model 3	A-16
A.5. Perhitungan Faktor Tekuk Kolom	A-17

LAMPIRAN B. HASIL ANALISIS

B.1 <i>Story Displacement</i>	B-1
B.2 <i>Story Shear</i>	B-22

LAMPIRAN C. KELENGKAPAN ADMINISTRASI DAN SURAT-SURAT

DAFTAR NOTASI

C_d	: faktor pembesaran defleksi
CQC	: metoda kombinasi kuadrat lengkap
C_s	: Koefisien Desain Seismik (detik)
C_t	: Spektrum Respons
D	: beban mati (KN/m)
E	: pengaruh beban seismik
E_c	: Modulus elastisitas (MPa)
E_h	: pengaruh gaya seismik
E_v	: pengaruh gaya seismik vertical
F_a	: koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik)
F_c'	: Kuat tekan beton (Mpa)
F_{PGA}	: koefisien situs untuk PGA
F_v	: koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik)
F_y	: Kuat Tarik baja (Mpa)
h_n	: tinggi dari dasar sampai tingkat n (mili meter)
I	: momen inersia penampang terhadap sumbu penampang yang tegak lurus arah tekuk yang ditinjau
I_e	: faktor keutamaan gempa
k	: faktor panjang efektif kolom
KDS	: Kategori Desain Seismik
L	: beban hidup (KN/m)
l	: tinggi kolom
MCE_R	: percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget
N	: Tahanan Penetrasi Standar
N_i	: Nilai Hasil Uji Penetrasi Standar (SPT) Lapisan ke – i
Q_e	: pengaruh gaya seismik horizontal dari V atau F_x
Q_E	: pengaruh gempa horizontal
R	: koefisien modifikasi respon

S_1	: parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda 1 detik
SA	: batuan Keras
SB	: batuan
SC	: tanah keras, sangat padat dan batuan lunak
SD	: tanah sedang
S_{D1}	: parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik
S_{DS}	: parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek
SE	: tanah lunak
SF	: Tanah Khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs
S_{M1}	: percepatan percepatan respons spektral MCE pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{MS}	: parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
SRSS	: metoda akar kuadrat jumlah kuadrat
S_s	: parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda pendek
S_u	: kuat geser nilir
T_a	: periode fundamental pendekatan (detik)
V_s	: total gaya (geser) lateral seismik rencana elemen-elemen di atas sistem isolasi
Δ	: simpangan antar lantai tingkat desain (mili meter)
δ_x	: Simpangan pusat massa di Tingkat x (mili meter)
δ_{xe}	: Simpangan pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis (mili meter)
P	: faktor redundansi
Ω_0	: faktor kuat lebih
ψ	: rasio jumlah kekakuan
λ	: Angka kelangsingan
r	: radius girasi atau jari-jari inersia kolom (mm)

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECT HIGH COLUMN VARIATIONS ON PERFORMANCE STRUCTURED BUILDING STRUCTURE

YULI EKMAL
123110584

Indonesia is a country with high earthquake risk. So Indonesia often experiences earthquakes and as a result of the earthquake waves cause damage to buildings range from minor damage to severe damage. Then it is necessary planing and implement earthquake-resistant building structures, especially in high-rise buildings. Another factor that needs to be considered is the function of the room which affects column height where when the column height is different it causes uneven stiffness from the ground floor to the top.

The purpose of this study was to determine the effect of column height variations on the performance of multi-storey building structures in terms of shear forces, intersection between floor and buckling load (P_c). The method used in this study is the spectrum response method. Spectrum response is the maximum response of a single degree of freedom (SDOF) structure both acceleration, speed and displacement due to these structures are burdened by certain external forces. Before analyzing using the spectrum response method, structure models are made by varying the height of the 1st floor column into 3 variations.

From the results of the analysis on building structure models with varying the height of the 1st floor column known, the higher the column the maximum base shear value increases. The higher the 1st floor column, the higher the intersection value between floors. The higher the column slenderness ratio value increases and the Euler buckling load decreases.

Keywords : column, earthquake, shear force, intersection between floors, buckling

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH VARIASI TINGGI KOLOM TERHADAP KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT

YULI EKMAL
123110584

Indonesia merupakan negara dengan resiko gempa yang tinggi. Maka Indonesia sering mengalami gempa dan akibat dari gelombang gempa tersebut menimbulkan kerusakan terhadap bangunan mulai dari yang rusak ringan hingga rusak berat. Sehingga diperlukan perencanaan dan pelaksanaan struktur bangunan yang tahan gempa, terutama pada gedung yang bertingkat tinggi. Faktor lain yang perlu di perhatikan adalah fungsi ruangan yang mempengaruhi tinggi kolom dimana ketika tinggi kolom berbeda menyebabkan kekakuan tidak merata dari lantai dasar hingga atas.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi tinggi kolom terhadap kinerja Struktur gedung bertingkat yang ditinjau dari gaya geser, simpangan antar lantai dan beban tekuk (Pc). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *respons spectrum*. *Respons spektrum* merupakan respons maksimum dari suatu sistem struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik percepatan, kecepatan dan perpindahan akibat struktur tersebut dibebani oleh gaya luar tertentu. Sebelum melakukan analisa menggunakan metode *respons spectrum* dibuat model struktur dengan bervariasi pada tinggi kolom lantai 1 menjadi 3 variasi.

Dari hasil analisis pada model struktur gedung dengan bervariasi pada tinggi kolom lantai 1 diketahui, semakin tinggi kolom nilai gaya geser dasar maksimum semakin meningkat. Semakin tinggi kolom lantai 1 nilai simpangan antar lantai maksimum semakin meningkat. Semakin tinggi kolom nilai rasio kelangsingan kolom semakin meningkat dan beban tekuk Euler semakin menurun.

Kata kunci : kolom, gempa, gaya geser, simpangan antar lantai, tekuk

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan resiko gempa yang tinggi, karena Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng tektonik dunia, yaitu lempeng Hindia-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Selain itu, Indonesia juga merupakan jalur Cincin Api Pasifik (*The Pasific Ring of Fire*), yang merupakan jalur gunung api aktif di dunia (Dept. PU, 2014).

Gempa mempunyai kecenderungan menimbulkan gaya-gaya lateral pada struktur yang akan menimbulkan simpangan dan gaya geser. Gaya gempa baik dalam arah vertikal maupun horisontal akan membebani titik-titik pada massa struktur. Akibat dari gaya gempa tersebut menimbulkan kerusakan terhadap bangunan yang berbeda-beda, mulai dari yang rusak ringan hingga yang rusak berat.

Untuk mencegah kerusakan bangunan yang menimbulkan kerugian material dan jatuhnya korban jiwa diperlukan perencanaan dan pelaksanaan struktur bangunan yang tahan gempa, terutama pada gedung yang bertingkat tinggi. Dalam perencanaan struktur bangunan didasari kekakuan suatu bangunan. Karena suatu bangunan harus memiliki kekakuan yang cukup sehingga pergerakannya dapat di batasi. Kekakuan struktur dapat diukur dari besarnya simpangan antar lantai, semakin kecil simpangan antar lantai maka bangunan tersebut akan semakin kaku (Hartoyo, 2010).

Dalam perencanaan struktur bangunan juga perlu diperhatikan faktor fungsi ruangan, karena penyebab utama dari fungsi bangunan itu sendiri sehingga bangunan harus kuat dan aman tanpa mengurangi fungsi ruangan tersebut . Fungsi ruangan dapat menyebabkan tinggi tingkat atau tinggi kolom yang berbeda. Terutama banyak ditemukan pada tingkat bawah bangunan, seperti tempat parkir, lobby dan lainnya yang memiliki. Tinggi kolom yang berbeda menyebabkan

distribusi kekakuan tidak merata di seluruh bangunan secara vertikal (Siajaya, 2018).

Berdasarkan dari latar belakang di atas, maka pada penelitian ini akan dilakukan analisis struktur dengan berbagai variasi tinggi kolom lantai satu pada model struktur bangunan untuk mengetahui pengaruh tinggi kolom terhadap kinerja struktur yang ditinjau dari besarnya gaya geser dan simpangan yang terjadi pada struktur bangunan serta beban tekuk/beban kritis (P_c) pada kolom.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan beberapa permasalahan. Adapun permasalahan yang didapat sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh variasi tinggi kolom terhadap gaya geser struktur ?
2. Bagaimanakah pengaruh variasi tinggi kolom terhadap simpangan antar lantai ?
3. Bagaimanakah pengaruh variasi tinggi kolom terhadap beban tekuk (P_c) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi tinggi kolom terhadap gaya geser struktur.
2. Mengetahui pengaruh variasi tinggi kolom terhadap simpangan antar lantai.
3. Mengetahui pengaruh variasi tinggi kolom terhadap beban tekuk (P_c).

1.4 Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk berbagai pihak terutama pihak yang berkaitan dengan teknik sipil. Adapun manfaat penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui pengaruh variasi tinggi kolom terhadap gaya geser, simpangan antar lantai, dan tekuk kolom.
2. Dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan kontribusi kepada perencana struktur tentang pengaruh tinggi kolom terhadap kinerja struktur.

1.5 Batasan Masalah

Sesuai dengan tujuan penelitian yang diharapkan pada tugas akhir ini, maka penelitian ini harus dibatasi permasalahannya. Dalam tugas akhir ini batasan masalahnya adalah sebagai berikut :

1. Pemodelan gedung diasumsikan sebagai rumah sakit yang terletak pada kondisi tanah keras di kota Padang.
2. Pemodelan dibuat dengan bervariasi pada tinggi kolom lantai dasar.
3. Analisis struktur pada penelitian ini dilakukan dengan metode *respons spectrum* yang dianalisis dengan bantuan *software Etabs V.9.7.4*.
4. Dimesi kolom, balok, dan tebal pelat untuk setiap model sama.
5. Tidak menghitung detailing penulangan.
6. Penelitian ini berpedoman pada peraturan-peraturan sebagai berikut:
 - a. Beban gempa menggunakan peraturan SNI-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung.
 - b. Pembebanan menggunakan peraturan SNI-1727-2013 tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung.
 - c. Struktur beton menggunakan peraturan SNI-2847-2013 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka berisikan tentang penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian yang akan dilakukan untuk memberikan solusi bagi penelitian yang sedang dilakukan dalam permasalahan yang tidak terpecahkan demi mendapatkan hasil penelitian yang sangat memuaskan.

2.2 Penelitian Sebelumnya

Apriani. 2017 *“Analisis Pengaruh Variasi Bentang Kolom Terhadap Kinerja Struktur Gedung”*, (Studi Kasus : Wilayah Tanah Lunak Dengan Beban Gempa Kuat). Struktur gedung yang berada di wilayah gempa kuat pada tanah lunak akan memiliki kerentanan lebih tinggi. Tanah lunak mempunyai sifat kohesif dimana getaran yang dihasilkan tanah akan membawa efek kepada struktur atas yang lebih besar dibandingkan dengan struktur tanah lainnya. Sehingga rendahnya ketahanan konstruksi di wilayah ini masih menjadi permasalahan yang menjadi penelitian saat ini. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh variasi bentang kolom terhadap kinerja struktur, sehingga diperoleh bentang kolom yang paling optimal. Untuk memperoleh bentang yang optimal, tulisan ini akan mengkaji korelasi antara bentang terhadap kekakuan struktur bangunan dan kekuatan struktur. Metode penelitian adalah simulasi menggunakan bantuan program metode elemen hingga pada gedung bertulang 3 lantai (12 meter) dengan bentang horizontal 20 meter. Dalam studi ini dibuat tiga buah model struktur 3D dengan desain variasi bentang kolom skema 1 (4,4,4,4,4 m), skema 2 (5,5,5,5 m) dan skema 3 (4,6,6,4 m). Hasil studi menunjukkan dari faktor kekakuan struktur maka dapat di peroleh skema yang paling optimal dari segi kekakuan yaitu skema bentang terpendek (skema 1) dengan bentang 4m- 4m- 4m-4m-4m. Dari segi kekuatan struktur, skema bentang terpendek (skema 1) memiliki persentase optimalisasi/ pengurangan dimensi yang paling besar

dibandingkan dengan dua skema lainnya. Dari segi kekuatan struktur, skema 1 memiliki momen yang paling kecil diantara skema lainnya.

Limbongan, 2016. “*Analisis Struktur Beton Bertulang Kolom Pipih Pada Gedung Bertingkat*”. Perencanaan ataupun disain merupakan suatu faktor yang sangat menentukan untuk menjamin kekuatan dan keamanan suatu struktur bangunan, bangunan dengan beban yang besar juga membutuhkan struktur penopang yang juga besar, sehingga mampu menahan beban yang ada. Kolom dengan dimensi cukup besar akan memberikan dampak ukuran ruangan yang menjadi semakin kecil. Hal ini dapat menyebabkan fungsi ruangan menjadi terganggu. Sedangkan jika kolom terlalu kecil, ukuran ruangan menjadi lebih besar, tetapi belum tentu kuat untuk menahan beban yang ada. Sebagai alternatif dibuat kolom pipih dengan tebal mengikuti lebar ukuran dinding agar masalah pengurangan luas ruangan yang telah direncanakan teratasi.

Dari hasil analisis model dengan variasi tebal yaitu 15cm, 20cm, dan 25cm, serta variasi tinggi tiap lantainya yaitu 3m, 3.2m, dan 3.5m menunjukkan bahwa ketebalan dinding 15cm mempunyai tinggi lantai optimal yang dihasilkan kecil dibandingkan dengan tebal dinding 25cm yang mempunyai tinggi lantai yang lebih besar, namun dari beberapa pertimbangan tebal 20cm dianggap sebagai pilihan yang ekonomis. Selain itu hasil analisis struktur kolom, menunjukkan bahwa kolom termasuk kolom panjang atau langsing terlihat dari rasio kelangsingannya ($40,93 > 22$) serta kolom mengalami perilaku tertekuk.

Ridwan, 2014. “*Evaluasi Perilaku Struktur Gedung Bertingkat Lima Menggunakan Kolom Pendek Akibat Beban Gempa*”. Komponen struktur yang sering mengalami kerusakan akibat deformasi gaya gempa adalah kolom. Pada penelitian tugas akhir ini akan dibahas tentang evaluasi perilaku struktur gedung beton bertulang bertingkat lima dengan kolom pendek menggunakan model portal dua dimensi untuk mengetahui nilai deformasi yang terjadi disepanjang tinggi gedung. Permodelan ini dilakukan dengan empat tipe posisi kolom pendek yang akan dianalisa dengan program SAP2000 yang didesain sesuai peraturan SNI 03-2874-2002 dan SNI 03-1726-2012. Evaluasi perilaku struktur gedung dengan

empat tipe posisi kolom pendek menunjukkan bahwa akibat penempatan kolom pendek disepanjang tinggi gedung displacement yang terjadi berbeda dan perpindahan antar lantai menjadi tidak seragam. Kemampuan struktur kolom pendek pada ke-empat model portal dalam menerima beban gempa ini ditinjau dari posisi terhadap bentangan portal terlihat bahwa pada kolom pendek yang berada ditepi menerima beban lebih kecil daripada kolom pendek yang berada di tengah. Displacement struktur yang terjadi pada portal 1 yaitu sebesar 0,0451m, portal 2 sebesar 0,0415m, portal 3 sebesar 0,0418m, dan portal 4 sebesar 0,0429m. Dari diagram interaksi kolom diketahui bahwa kemampuan kolom pendek menerima beban gempa berada pada batas keseimbangannya dengan kondisi seperti yang dimodelkan tetapi perilaku kolom pendek berubah.

2.3 Keaslian Penelitian

Tugas Akhir ini menganalisa pengaruh tinggi kolom terhadap kinerja struktur gedung bertingkat yang ditinjau dari nilai gaya geser, simpangan antar lantai, dan beban tekuk kolom. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis struktur gedung bertingkat dengan membuat tiga model struktur yang bervariasi pada tinggi kolom lantai satu, yaitu model 1 (3 m), model 2 (4 m), model 3 (5 m). Ketiga model struktur tersebut menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang didesain berdasarkan SNI Beton 2847-2013. Ketiga model memiliki dimensi kolom, balok, pelat lantai dan pelat atap yang sama. Beban gempa dihitung menggunakan metode *respon spektrum* berdasarkan SNI 1726-2012. Model struktur diasumsikan sebagai gedung rumah sakit yang terletak di kota Padang dengan kondisi tanah keras.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Konsep Perencanaan Gedung Tahan Gempa

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diperlukan standard dan peraturan perencanaan bangunan untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi serta menghindari dan meminimalisasi kerusakan struktur bangunan dan korban jiwa terhadap gempa bumi yang sering terjadi. Oleh karena itu, struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan. Filosofi dan konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa adalah:

1. Pada saat terjadi gempa ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan dan fungsi harus dapat tetap berjalan (*servicable*) sehingga struktur harus kuat dan tidak ada kerusakan baik pada elemen struktural dan elemen nonstruktural bangunan.
2. Pada saat terjadi gempa sedang, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen nonstruktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural.
3. Pada saat terjadi gempa besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural, namun tidak boleh sampai menyebabkan bangunan runtuh sehingga tidak ada korban jiwa atau dapat meminimalkan jumlah korban jiwa.

3.2 Prosedur Analisis

Berdasarkan SNI-1726-2012, prosedur analisis yang boleh digunakan harus berdasarkan kategori desain seismik dan karakteristik struktur seperti yang terlihat pada Tabel 3.1. Sedangkan untuk ketidakberaturan konfigurasi struktur bangunan dapat dibedakan menjadi ketidakberaturan horizontal dan vertikal. Ketidakberaturan struktur horizontal (pasal 7.3.2.1) terdiri dari ketidakberaturan torsi, torsi berlebihan, sudut dalam, diskontinuitas diafragma, pergeseran melintang terhadap bidang dan sistem nonparalel.

Ketidakberaturan struktur vertikal (pasal 7.3.2.2) terdiri dari ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak, kekakuan tingkat lunak berlebihan,

berat (massa), geometri vertikal, diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal, diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat dan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan.

Prosedur analisis yang digunakan berkaitan erat dengan beberapa parameter berikut ini:

1. Kategori risiko. Menurut SNI-1726-2012 pasal 4.1.2 kategori risiko terbagi atas empat kategori, yaitu kategori I, II, III dan IV, seperti yang terlihat pada Tabel 3.2.
2. Faktor Keutamaan Gempa. Menurut SNI-1726-2012 pasal 4.1.2 faktor keutamaan gempa ditentukan berdasarkan kategori resiko, seperti pada Tabel 3.3
3. Kategori desain seismik. Menurut SNI-1726-2012 pasal 6.5 kategori desain seismik berdasarkan parameter respons spektra percepatan desain pada periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_1), seperti yang terlihat pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7.

Tabel 3.1. Prosedur Analisis yang Boleh Digunakan

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Lateral Ekuivalen Pasal 7.8	Analisis Spektrum Respons Pasal 7.9	Prosedur Riwayat Waktu Pasal 12
A	B	C	D	E
B,C	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
D,E,F	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
D,E,F	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I

Tabel 3.1. Prosedur Analisis yang Boleh Digunakan (Lanjutan)

A	B	C	D	E
	Struktur beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan	I	I	I
	Struktur tidak beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan mempunyai hanya ketidakaturan horizontal Tipe 2, 3, 4, atau 5 dari Tabel 10 atau ketidakaturan vertikal Tipe 4, 5a, atau 5b dari Tabel 11	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Catatan : I = Diizinkan

TI = Tidak Diizinkan

Sumber : SNI 1726-2012

Tabel 3.2. Kategori Resiko

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
A	B
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak	III

Tabel 3.2. Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung (Lanjutan)

A	B
- Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber : SNI 1726-2012

Tabel 3.3. Faktor Keutamaan Gempa

Kategori	Faktor keutamaan gempa
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Sumber SNI-1726-2012

Secara umum analisis struktur terhadap beban gempa dibagi menjadi dua macam, yaitu analisis statik dan analisis dinamik. Masing-masing jenis analisis memiliki kelebihan dan kekurangan sendiri.

3.2.1 Analisis Statik

Analisis beban statik ekuivalen, yaitu suatu cara analisis struktur dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban statik horizontal yang diperoleh dengan hanya memperhitungkan respon ragam getar yang pertama. Biasanya distribusi gaya geser tingkat ragam getar yang pertama ini disederhanakan sebagai segitiga terbalik. Analisis beban gempa statik ekuivalen pada struktur gedung beraturan merupakan analisis statik 3 dimensi dengan meninjau beban-beban gempa statik ekuivalen yang praktis berlaku sebagai struktur 2 dimensi. Sedangkan analisis beban gempa statik ekuivalen pada struktur tidak beraturan merupakan cara analisis statik 3 dimensi dengan meninjau beban-beban gempa statik ekuivalen yang telah diperoleh dari analisis respon dinamik elastik linier 3 dimensi.

3.2.2 Analisis Dinamik

Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa diseluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur.

Analisis dinamik untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa. Pada struktur bangunan tingkat tinggi atau struktur dengan bentuk atau konfigurasi yang tidak teratur. Analisis dinamik dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis. Pada cara elastis dibedakan Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*), dimana pada cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Respons Spectrum*

Modal Analysis), dimana pada cara ini respon maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*). Pada analisis dinamis elastis digunakan untuk mendapatkan respon struktur akibat pengaruh gempa yang sangat kuat dengan cara integrasi langsung (*Direct Integration Method*). Analisis dinamik elastis lebih sering digunakan karena lebih sederhana.

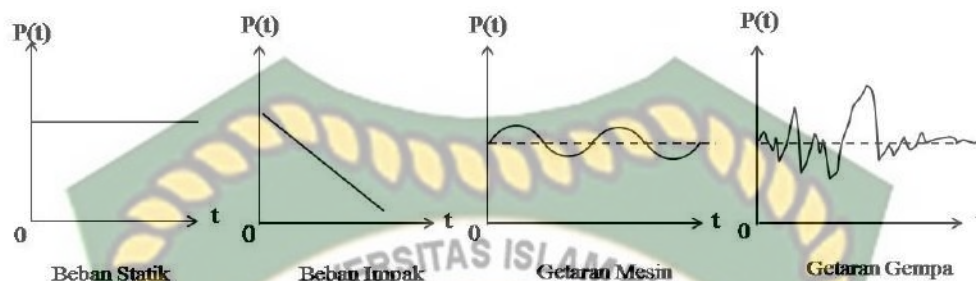
Nilai untuk masing-masing parameter yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan menggunakan metoda akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS) atau metoda kombinasi kuadrat lengkap (CQC), sesuai dengan SNI 1726-2012. Metoda CQC harus digunakan untuk masing-masing nilai ragam di mana ragam berjarak dekat mempunyai korelasi silang yang signifikan di antara respons translasi dan torsi.

Pada ilmu statika keseimbangan gaya-gaya didasarkan atas kondisi statik, artinya gaya-gaya tersebut tetap intensitasnya, tetap tempatnya dan tetap arah/ garis kerjanya. Gaya-gaya tersebut dikategorikan sebagai beban statik. Kondisi seperti ini akan berbeda dengan beban dinamik dengan pokok-pokok perbedaan sebagai berikut ini :

1. Beban dinamik adalah beban yang berubah-ubah menurut waktu (*time varying*) sehingga beban dinamik merupakan fungsi dari waktu.
2. Beban dinamik umumnya hanya bekerja pada rentang waktu tertentu. Untuk gempa bumi, rentang waktu tersebut kadang-kadang hanya beberapa detik saja. Walaupun hanya beberapa detik saja, beban angin dan beban gempa misalnya dapat merusakkan struktur dengan kerugian yang sangat besar.
3. Beban dinamik dapat menyebabkan timbulnya gaya inersia pada pusat massa yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan.
4. Beban dinamik lebih kompleks dibanding dengan beban statik, baik dari bentuk fungsi bebannya maupun akibat yang ditimbulkan. Asumsi-asumsi kadang perlu diambil untuk mengatasi ketidakpastian yang mungkin ada pada beban dinamik.
5. Karena beban dinamik berubah-ubah intensitasnya menurut waktu, maka pengaruhnya terhadap struktur juga berubah-ubah menurut waktu. Oleh karena itu penyelesaian problem dinamik harus dilakukan secara berulang-

ulang bersifat penyelesaian tunggal (*single solution*), maka penyelesaian problem dinamik bersifat penyelesaian berulang-ulang (*multiple solution*).

6. Sebagai akibat penyelesaian yang berulang-ulang maka penyelesaian struktur dengan beban dinamik akan lebih mahal dan lebih lama.



Gambar 3.1. Diagram Beban (P) terhadap Waktu (t) (Anonymous, 2017)

Beban dinamik menimbulkan respon yang berubah-ubah menurut waktu, maka struktur yang bersangkutan akan ikut bergetar atau ada gerakan. Dalam hal ini bahan akan melakukan resistensi terhadap gerakan dan pada umumnya dikatakan bahan yang bersangkutan mempunyai kemampuan untuk meredam getaran. Dengan demikian pada pembebanan dinamik, akan terdapat peristiwa redaman yang hal ini tidak ada pada pembebanan statik.

3.3 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal 6.5 SNI 1726-2012. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral dipercepatkan terpetakan pada perioda 1 detik (S_1) lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral dipercepatkan terpetakan pada perioda 1 detik (S_1) lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral dipercepatkan desainnya S_{DS} dan S_{D1} , sesuai dengan pasal 6.3 SNI 1726-2012 dengan mengacu pada Tabel 3.4. atau 3.5, terlepas dari nilai perioda fundamental getaran struktur, T .

Tabel 3.4. Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

Sumber : SNI 1726-2012

Tabel 3.5. Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 < S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 1726-2012

3.4 Pemilihan Sistem Struktur dan Parameter Sistem (R , C_d , Ω_0)

Berdasarkan SNI Gempa 03-1726-2012 pasal 7.2.2 dan hasil seminar HAKI dirumuskan sistem pemilihan struktur untuk berbagai tingkat kegempaan pada Tabel 3.6 berikut :

Tabel 3.6. Pemilihan Sistem Struktur Berdasarkan Tingkat Resiko Gempa

Code SNI 03-1726-2012	Tingkat Resiko Kegempaan		
	Rendah	Menengah	Tinggi
	A,B	C	D,E,F
Sistem Penahan Gempa	SRMB/M/K SDSB/K	SRMM/K SDSB/K	SRMK SDSK

Sumber : SNI 1726-2012

Sistem penahan gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa dimasing – masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus dikenakan pada setiap sistem termasuk batasan sistem struktur termuat dalam Tabel 3.7.

Tabel 3.7. Faktor R , C_d , Dan Ω_0 Untuk Sistem Gaya Gempa

No	Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat-lebih sistem Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D ^d	E ^d	F ^e
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1.	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2.	Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5	TB	TB	48	30	TI
3.	Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	10 ^h _i	TI ^h	TI ⁱ
4.	Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	TB	TI ^h	TI ⁱ
5.	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TI	TB	TB
6.	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
7.	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
8.	Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
9.	Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber : SNI 1726-2012

3.5 Periode Alami Struktur

Menurut SNI-1726-2012 periode alami (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 3.8. dan periode alami pendekatan (T_a) dalam detik. Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode alami struktur (T), diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan (T_a), harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t (h_n)^x \quad (3.1)$$

dimana h_n adalah ketinggian struktur (dalam m) diatas dasar sampai ketinggian struktur dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 3.9.

Tabel 3.8. Koefisien Untuk batas Atas Pada Periode Yang Dihitung

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

Sumber : SNI 1726-2012

$$T < C_u T_a \quad (3.2)$$

Periode yang digunakan:

1. Jika T yang lebih akurat tidak dimiliki (dari analisis komputer), digunakan $T = T_a$
2. Jika T yang lebih akurat dari analisis komputer dimiliki, maka:
 - a. Jika $T_c > C_u T_a$, digunakan $T = C_u T_a$
 - b. Jika $T_a < T_c < C_u T_a$, digunakan $T = T_c$
 - c. Jika $T_c < T_a$, digunakan $T = T_a$

Tabel 3.9. Nilai Parameter Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya seismik 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

Sumber : SNI 1726-2012

3.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan dengan metode *ultimate* telah diatur dalam SNI - 1726-2012, sebagai berikut :

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3. 1,2 DL + 1LL ± 0,3 EX ± 1 EY
4. 1,2 DL + 1LL ± 1 EX ± 0,3 EY
5. 0,9 DL ± 0,3 EX ± 1 EY
6. 0,9 DL ± 1 EX ± 0,3 EY

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.4, pada kombinasi yang terdapat beban gempa di dalam persamaannya harus didesain berdasarkan pengaruh beban seismik yang ditentukan seperti berikut ini:

1. Untuk kombinasi 3 dan 4, nilai E harus didefinisikan sebagai berikut:

$$E = E_h + E_v \quad (3.3)$$

2. Untuk kombinasi 5 dan 6, nilai E harus didefinisikan sebagai berikut:

$$E = E_h - E_v \quad (3.4)$$

dimana:

E : pengaruh beban seismik

E_h : pengaruh gaya seismik horizontal

E_v : pengaruh gaya seismik vertikal

Pengaruh gaya seismik horizontal (E_h) ditentukan oleh persamaan berikut:

$$E_h = \rho Q_e \quad (3.5)$$

dimana:

Q_e : pengaruh gaya seismik horizontal dari V atau F_x

ρ : faktor redundansi

Pengaruh gaya seismik vertikal (E_v) ditentukan oleh persamaan berikut:

$$E_v = 0,2 S_{DS} D \quad (3.6)$$

dimana:

S_{DS} : parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek

D : pengaruh beban mati

Dengan demikian, berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.4, faktor-faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal dan beban gempa nominal untuk struktur atas adalah:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L$
3. $1,2 D + 1L + 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) + 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
4. $1,2 D + 1L + 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) - 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
5. $1,2 D + 1L - 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) + 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
6. $1,2 D + 1L - 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) - 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
7. $1,2 D + 1L + 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) + 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
8. $1,2 D + 1L + 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) - 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
9. $1,2 D + 1L - 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) + 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
10. $1,2 D + 1L - 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) - 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
11. $0,9 D + 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) + 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
12. $0,9 D + 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) - 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
13. $0,9 D - 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) + 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
14. $0,9 D + 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) + 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
15. $0,9 D + 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) + 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
16. $0,9 D + 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) - 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
17. $0,9 D - 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) + 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$
18. $0,9 D - 1 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D) - 0,3 (\rho Q_e + 0,2 S_{DS} D)$

Faktor redundansi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya seismik masing-masing dalam kedua arah ortogonal untuk semua struktur. Kondisi di mana nilai ρ adalah 1,0 untuk hal-hal berikut ini:

1. Struktur dirancang untuk Kategori Desain Seismik B atau C.
2. Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta.
3. Desain komponen nonstruktural.
4. Desain struktur non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung.

5. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya di mana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 SNI 1726-2010 digunakan.
6. Desain elemen struktur atau sambungan di mana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan Pasal 7.4.3 SNI 1726-2010 disyaratkan untuk desain.
7. Beban diafragma ditentukan menggunakan Persamaan 7.10-1 SNI 1726-2010.
8. Struktur dengan sistem peredaman
9. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

Untuk struktur yang dirancang untuk Kategori Desain Seismik D, E, atau F, ρ harus sama dengan 1,3.

3.7 Pembebanan Struktur

Dalam Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung Dan Bangunan Non Gedung, struktur gedung direncanakan mampu menahan beban yang bekerja, beban – beban yang bekerja yaitu : beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

3.7.1 Beban Mati

Beban mati yaitu beban yang berasal dari berat sendiri semua bagian dari gedung yang bersifat tetap, termasuk dinding dan sekat pemisah, kolom, balok, lantai, atap, penyelesaian, mesin dan peralatan yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung, yang nilai seluruhnya adalah sedemikian rupa sehingga probabilitas untuk dilampauinya dalam kurun waktu tertentu terbatas pada suatu persentase tertentu. Probabilitas beban tersebut untuk dilampaui adalah dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun dan ditetapkan sebesar 10%, namun beban mati rencana yang bisa ditetapkan dalam standar – standar pembebanan struktur gedung, dapat dianggap sebagai beban mati nominal.

Pada penelitian digunakan peraturan pembebanan PPPURG 1987 untuk berat sendiri gedung adalah sebagai berikut:

- a. Berat sendiri bahan – bahan bangunan penting dan dari beberapa komponen gedung yang harus ditinjau didalam menentukan beban mati dari suatu gedung, harus diambil sesuai *PPPURG 1987* dilihat pada Tabel 3.10.
- b. Apabila dengan bahan bangunan setempat diperoleh berat sendiri yang menyimpang lebih dari 10% terhadap nilai – nilai yang tercantum dalam *PPPURG– 1987*, maka berat sendiri tersebut harus ditentukan sendiri dengan memperhitungkan kelembaban setempat, dan nilai yang ditentukan ini harus dianggap sebagai pengganti nilai yang tercantum dalam *PPPURG – 1987* pada Tabel 3.4 penyimpangan ini dapat terjadi terutama pada pasir (antara lain pasir besi), koral, (antara lain koral kwarsa), batu pecah, batu alam, batu bata, genteng dan beberapa jenis kayu.
- c. Berat sendiri dari bahan bangunan dan komponen gedung yang tidak tercantum sesuai *PPPURG – 1987* pada Tabel 3.10 ini harus ditentukan sendiri dengan memperhitungkan beban tersebut.

Tabel 3.10. Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

No	Bahan Bangunan	Berat
a	b	c
1	Baja	7.850 kg/m ³
2	Batu alam	2.600 kg/m ³
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/m ³
4	Batu pecah	1.450 kg/m ³
5	Besi tuang	7.250 kg/m ³
6	Beton	2.200 kg/m ³
7	Beton bertulang	2.400 kg/m ³
8	Kayu (kelas I)	1.000 kg/m ³
9	Kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.650 kg/m ³
10	Pasangan batu merah	1.700 kg/m ³
11	Pasangan batu cetak	2.200 kg/m ³
12	Pasangan batu karang	1.450 kg/m ³
13	Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600 kg/m ³
14	Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m ³
15	Pasir kerikil, koral, (kering udara sampai lembab)	1.850 kg/m ³
16	Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m ³
17	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m ³
18	Tanah hitam (timbal)	11.400 kg/m ³

Tabel 3.10. Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung (Lanjutan)

a	b	c
19	Adukan, per cm tebal a. Dari semen b. Dari kapur, semen merah atau tras	21 kg/m ² 17 kg/m ²
20	Aspal, termasuk bahan – bahan mineral penambah per cm tebal	14 kg/m ²
21	Dinding pasangan bata merah a. Satu batu b. Setengah batu	450 kg/m ² 250 kg/m ²
22	Dinding pasangan batako Berlubang: a. Tebal dinding 20 cm (HB 20) b. Tebal dinding 10 cm (HB 10) Tanpa lubang: a. Tebal dinding 15 cm b. Tebal dinding 10 cm	200 kg/m ² 120 kg/m ² 300 kg/m ² 200 kg/m ²
23	Langit – langit dan dinding (termasuk rusuk – rusuknya, tanpa penggantung langit – langit atau pengaku), terdiri dari: a. Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm b. Kaca dengan tebal 3 – 5 mm	11 kg/m ² 10 kg/m ²
24	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit – langit dengan bentang maksimum 5 mm dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²
25	Penggantung langit – langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,8 m	7 kg/m ²
26	Penutup atap genting dengan reng dan rusuk/kaso, per m ² bidang atap	50 kg/m ²
27	Penutup atap sirap dengan reng dan rusuk/kaso, per m ² bidang atap	40 kg/m ²
28	Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10 kg/m ²
29	Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m ²
30	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²

Sumber : PPPURG -1987

3.7.2 Beban Hidup

Beban hidup nominal yang bekerja pada struktur gedung adalah beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung tersebut, baik akibat beban yang berasal dari orang maupun dari barang yang dapat berpindah atau mesin dan peralatan serta komponen yang tidak merupakan bagian yang tetap dari gedung, yang nilai seluruhnya adalah sedemikian rupa sehingga probabilitas untuk

dilampauinya dalam kurun waktu tertentu terbatas pada suatu persentase tertentu. Probabilitas beban tersebut untuk dilampaui adalah dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun dan ditetapkan sebesar 10% namun demikian, beban hidup rencana yang bisa ditetapkan dalam standar – standar pembebanan struktur gedung, dapat dianggap sebagai beban hidup nominal (SNI, 2002). Beban hidup terbagi menjadi beberapa macam yaitu sebagai berikut:

1. Beban Hidup Pada Lantai Gedung

Pada penelitian ini digunakan peraturan pembebanan SNI 1727-2013 untuk beban hidup pada lantai adalah sebagai berikut :

- a. Beban hidup pada lantai gedung harus diambil sesuai dalam SNI 1727-2013 Tabel 3.3. kedalaman beban hidup tersebut sudah termasuk perlengkapan ruang sesuai dengan kegunaan lantai ruangan yang bersangkutan, dan juga dinding – dinding pemisah ringan dengan berat tidak lebih dari 100 Kg/m^2 . Beban – beban berat, misalnya yang disebabkan oleh lemari – lemari, arsip dan perpustakaan serta alat – alat, mesin – mesin dan barang lain tertentu yang sangat berat, harus ditentukan sendiri.
- b. Beban hidup yang ditentukan dalam pasal ini tidak perlu dikalikan dengan suatu koefisien kejut.
- c. Lantai – lantai gedung yang dapat diharapkan akan dipakai untuk berbagai tujuan, harus direncanakan terhadap beban hidup terberat yang mungkin dapat terjadi.

2. Beban Hidup Pada Atap Gedung

Pada penelitian ini digunakan peraturan pembebanan SNI 1727-2013 untuk beban hidup pada lantai adalah sebagai berikut:

- a. Beban hidup pada atap atau bagian atap serta pada struktur gedung (*canopy*) yang dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil minimum sebesar 100 Kg/m^2 bidang datar.
- b. Beban hidup pada atap yang tidak dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil yang menentukan diantara dua macam beban berikut:
 - 1) Beban terbagi rata per m^2 bidang datar berasal dari beban air hujan sebesar $(40 - 0,8\alpha) \text{ Kg/m}^2$ dimana α adalah sudut geser kemiringan atap derajat, dengan ketentuan bahwa beban tersebut tidak perlu diambil lebih

besar dari 20 Kg/m² dan tidak perlu ditinjau bila kemiringan atapnya adalah lebih besar dari 50°.

- 2) Beban terpusat berasal dari orang pekerja atau seorang pemadam kebakaran dengan peralatannya sebesar minimum 100 kg.
- c. Pada balok tepi atau gording tepi dari atap yang tidak cukup ditunjang oleh dinding atau penunjang lainnya dan kantilever harus ditinjau kemungkinan adanya beban hidup terpusat sebesar minimum 200 kg.
- d. Beban hidup pada atap gedung tinggi yang diperlengkapi dengan landasan helikopter (*helipad*) harus diambil sebesar minimum 200 Kg/m² diluar daerah landasannya harus diambil beban yang berasal dari helikopter sewaktu mendarat.

Koefisien reduksi beban hidup L tidak boleh kurang dari $0,50L_o$ untuk komponen struktur yang mendukung satu lantai dan Koefisien reduksi beban hidup L tidak boleh kurang dari $0,40L_o$ untuk komponen struktur yang mendukung dua lantai atau lebih dari dua lantai.

Tabel 3.11 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum Dan Beban Hidup Terpusat Minimum

No	Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
A	B	C	D
1	Apartemen (lihat rumah tinggal)		
2	Sistem lantai akses Ruang kantor Ruang komputer	50 (2,40) 100 (4,79)	2.000 (8,90) 2.000 (8,90)
3	Gudang persenjataan dan ruang latihan	100 (4,79)	
4	Ruang pertemuan Kursi tetap (terikat dilantai) Lobi Kursi dapat dipindahkan Panggung pertemuan Lantai podium	100 (4,79) 100 (4,79) 100 (4,79) 100 (4,79) 150 (7,18)	
5	Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	

Tabel 3.11 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum Dan Beban Hidup Terpusat Minimum (Lanjutan)

A	B	C	D
6	Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
7	Koridor Lantai pertama Lantai lain	100 (4,79) sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
8	Ruang makan dan restoran	100 (4,79) ^a	
9	Konstruksi pelat lantai finishing (pada area 1 in x 1 in (5mmx5mm))		200 (0,89)
10	Jalur penyelamatan terhadap kebakaran hunian satu keluarga	100 (4,79) 40 (1,90)	
11	Rumah sakit Ruang operasi, laboratorium Ruang pasien Koridor diatas lantai pertama	60 (2,87) 40 (1,92) 80 (3,83)	1.000(4,45) 1.000(4,45) 1.000(4,45)
12	Perpustakaan Ruang baca Ruang penyimpanan Koridor diatas lantai pertama	60 (2,87) 150 (7,18) 80 (3,83)	1.000(4,45) 1.000(4,45) 1.000(4,45)
13	Gedung perkantoran Ruang arsip dan computer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian lobi dan koridor pertama Kantor koridor diatas lantai pertama	100 (4,79) 50 (2,40) 80 (3,83)	
14	Rumah tinggal Hunian (satu keluarga dan dua keluarga) Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur Semua ruang kecuali tangga dan balokon	10 (0,48) 20 (0,96) 30 (1,44) 40 (2,87) 40 (1,292)	
15	Semua hunian rumah tinggal lainnya Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka Ruang publik dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	

Sumber : SNI 1727-2013

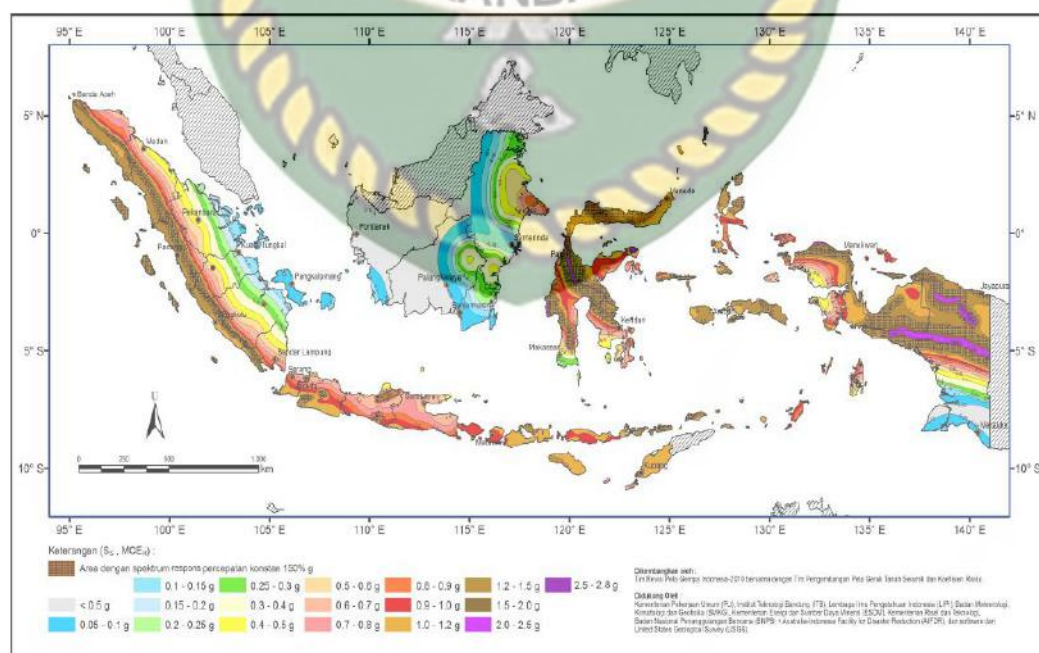
3.8 Metode Respons Spektrum

Respons spektrum merupakan konsep pendekatan yang digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan. Definisi respons spektra adalah respons maksimum dari suatu sistem struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik percepatan, kecepatan dan perpindahan akibat struktur tersebut dibebani oleh gaya luar tertentu. Absis dari respons spektra adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektra adalah respons maksimum. Kurva respon spektra akan memperlihatkan simpangan relatif maksimum (S_d), kecepatan relatif maksimum (S_v) dan percepatan total maksimum (S_a).

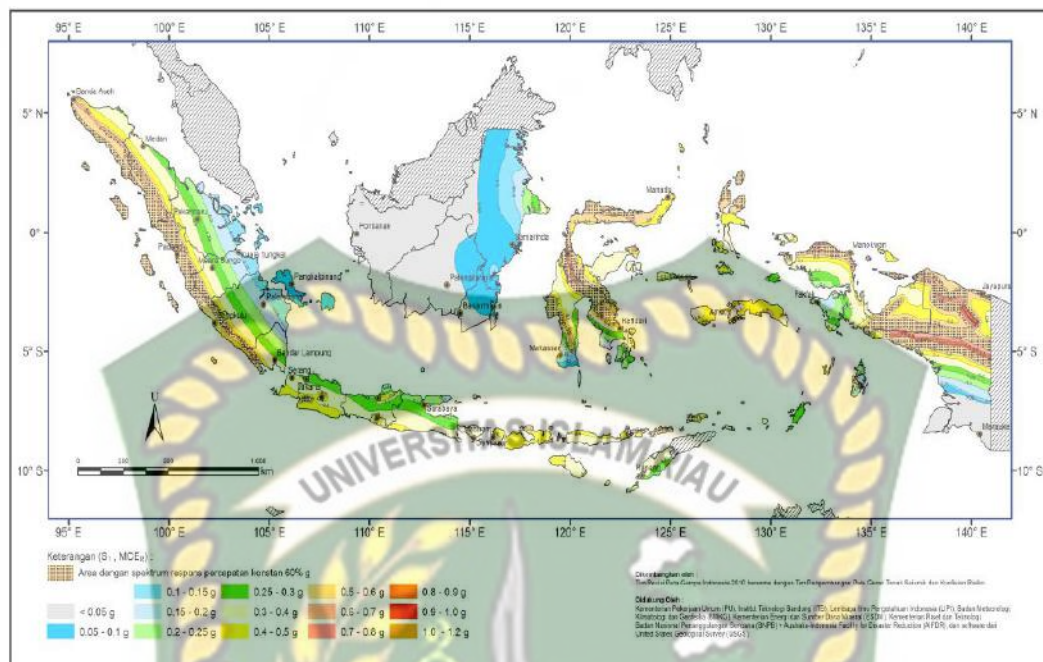
Menurut SNI 1726-2012, respons spektra rencana harus dibuat terlebih dahulu berdasarkan data-data yang ada. Data-data yang dibutuhkan dan prosedur untuk pembuatan respons spektra adalah sebagai berikut :

1. Parameter Percepatan Batuan Dasar Terpetakan

Parameter S_s (percepatan batuan dasar batuan pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan dari respons spektra percepatan 0,2 dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik seperti yang ada pada Gambar 3.2. dan Gambar 3.3. dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.



Gambar 3.2 S_s (Percepatan batuan dasar pada periode pendek), Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER). (SNI 1726-2012)



Gambar 3.3 S1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik), Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko Tertarget (MCER). (SNI 1726-2012)

2. Parameter Kelas Situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka menurut situs diklasifikasikan sebagai kelas situs SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak) dan SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik) dapat dilihat pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
A	B	C	D
SA(Batuan Keras)	>1500	N/A	N/A
SB(Batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (Tanah Keras, Sangat Padat dan Batuan Lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15sampai 50	50sampai100
SE (Tanah Lunak)	< 175	<15	< 50

	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$, 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25 kPa$
SF (Tanah Khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti Pasal 6.9.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah, 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m), 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas, $PI > 75$), Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa.

Keterangan: N/A = *Not Available*

Sumber: SNI 1726-2012

3. Koefisien-Koefisien Situs Dan Parameter-Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (M_{ce_r})

Untuk penentuan respons spektra percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_S \quad (3.7)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (3.8)$$

Koefisien situs F_a dan F_v ditentukan berdasarkan Tabel 3.13 dan Tabel 3.14.

Tabel 3.13.Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan Pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik				

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 3.14.Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan Pada Periode 1 detik, $T = 1$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik				

Sumber: SNI 1726-2012

4. Parameter Percepatan Spektra

Parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini:

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \quad (3.9)$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} \quad (3.10)$$

5. Prosedur pembuatan respons spektra desain

Semua parameter respons desain diplot dalam grafik dan akan menghasilkan respons spektra desain. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain (S_a) ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.11)$$

Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons desain (S_a) sama dengan S_{DS} . Sedangkan untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain (S_a) diambil berdasarkan persamaan berikut ini:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.12)$$

Dimana :

S_{DS} : Parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek

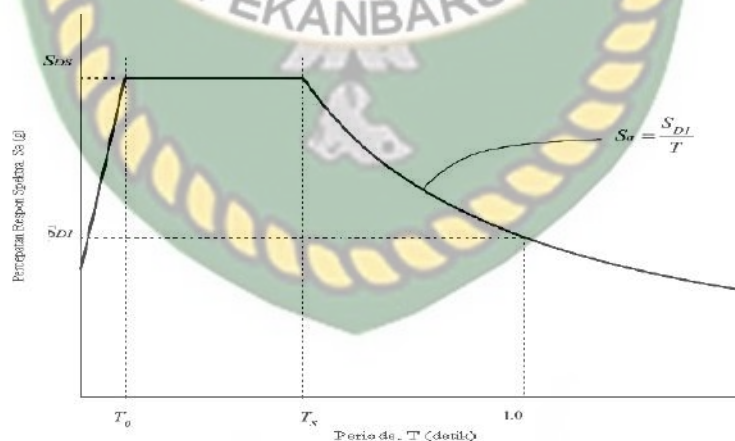
S_{D1} : Parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik

T : Periode Alami Struktur (detik)

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.13)$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.14)$$

Respons spektra desain yang dibuat seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Respon Spektra Desain (SNI 1726-2012)

3.9 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.6, simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja, yaitu pada kinerja batas ultimit. Penentuan simpangan antarlantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak

terletak segaris, dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa di tingkat atasnya.

Bagi struktur yang dirancang untuk Kategori Desain Seismik C,D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b, simpangan antar lantai desain (Δ), harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.

Defleksi pusat massa di Tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.15)$$

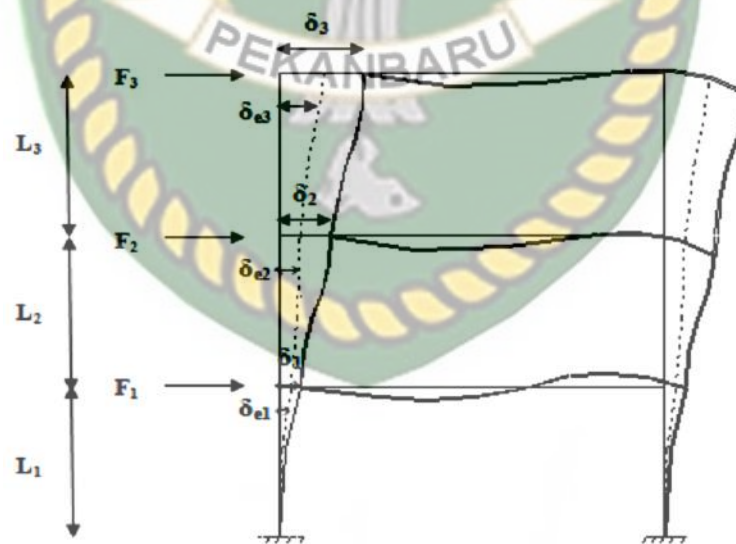
di mana:

C_d : faktor pembesaran defleksi

δ_{xe} : defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis

I_e : faktor keutamaan

Penentuan simpangan antarlantai dapat di lihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Penentuan Simpangan Antar Lantai (SNI 1726:2012)

F_3 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e3} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$$\delta_3 = C_d \delta_{e3} / I_e$$

= perpindahan yang diperbesar

$$\Delta_3 = (\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_e \leq \Delta_a$$

F_2 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e2} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$$\delta_2 = C_d \delta_{e2} / I_e$$

= perpindahan yang diperbesar

$$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_e \leq \Delta_a$$

F_1 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e1} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$$\delta_1 = C_d \delta_{e1} / I_e$$

= perpindahan yang diperbesar

$$\Delta_1 = \delta_1 C_d / I_e \leq \Delta_a$$

Simpangan antar lantai desain (Δ), tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a) yang ditentukan pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15. Simpangan Antar Lantai Izin

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk 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	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

3.10 Struktur Kolom

Kolom merupakan elemen atau batang tekan vertikal sebagai batang utama pada struktur bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban ke pondasi, dan memikul beban dari balok. Definisi kolom lainnya berdasarkan SK SNI 2847-2013

adalah komponen struktur bangunan yang tugas utama nya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil.

Kolom merupakan struktur utama yang meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), beban gempa, serta beban hembusan angin. Kolom memiliki fungsi yang sangat penting, agar bangunan tidak mudah roboh. Beban sebuah bangunan dimulai dari atap. Beban atap akan meneruskan beban yang diterima nya ke kolom. Seluruh beban yang diterima kolom di distribusikan ke permukaan tanah dibawahnya. Kesimpulannya, sebuah bangunan akan aman dari kerusakan bila besar dan jenis pondasinya sesuai dengan perhitungan.

Kolom memiliki fungsi yang sangat vital bagi suatu konstruksi dibandingkan dengan konstruksi beton lainnya seperti lantai dan balok, dikarenakan kolom lebih banyak memiliki bagian struktur. Apabila kolom runtuh maka akan lebih banyak bagian bangunan yang hancur. Oleh karena itu, dalam mendesain kolom harus mengandung dasar filosofi perencanaan kolom yaitu, Kolom Kuat Balok Lemah (*Strong Column Weak Beam*).

3.10.1. Komponen Struktur Kolom

Beberapa persyaratan geometri juga harus dipenuhi oleh struktur kolom SRPMK, diantaranya adalah sebagai berikut :

- Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom akibat pembebanan gravitasi dan gempa tidak kurang dari

$$\frac{A_g \cdot f'_c}{10} \quad (3.16)$$

- Sisi pendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm.
- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4

$$\frac{b}{h} > 0,4$$

- Rasio tulangan ρ_g dibatasi kurang dari 0,01 dan tidak lebih dari 0,06.

$$\rho_g = \frac{A_s}{(b \times h)} \quad (3.17)$$

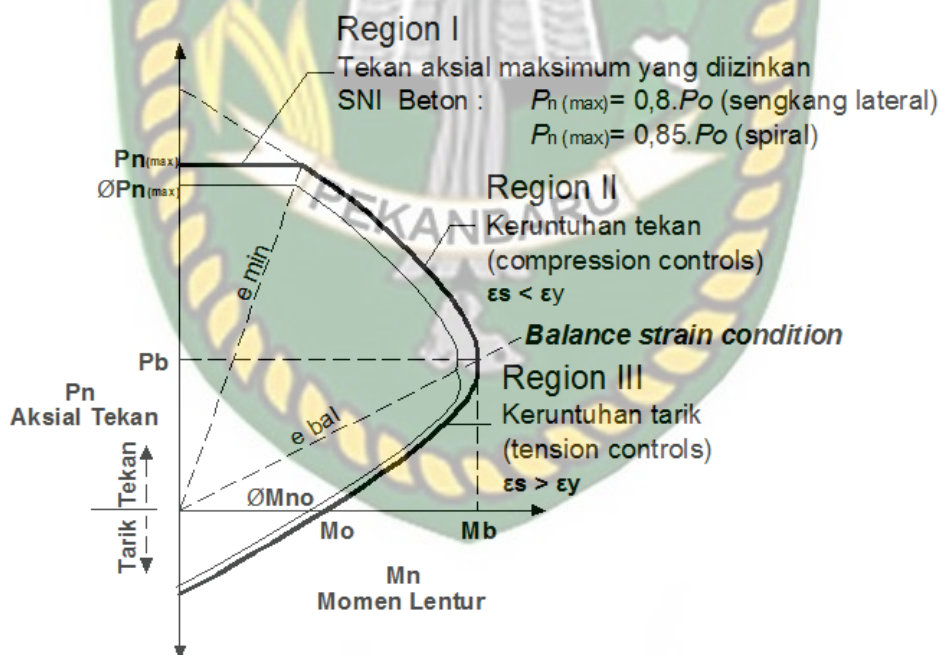
$$0,01 < \rho_g < 0,06$$

3.10.2. Diagram Interaksi

Kapasitas suatu penampang kolom beton bertulang dapat dinyatakan dalam bentuk diagram interaksi P-M (Gambar 3.8), yang menunjukkan hubungan beban axial dan momen lentur pada elemen struktur tekan dalam kondisi batas.

Berasal dari pembahasan pada bab kolom yang dibebani secara eksentrik, kosentrik, keruntuhan balance, keruntuhan tekan, dan keruntuhan tarik pada kolom dapat diduga bahwa kapasitas penampang beton bertulang untuk menahan kombinasi gaya aksial dan momen lentur dapat digambarkan dalam bentuk suatu kurva interaksi antara kedua gaya dalam tersebut. Gambar 3.8 menunjukkan contoh diagram tersebut.

Setiap titik pada diagram P-M menunjukkan satu kombinasi P_n dan M_n untuk penampang dengan kondisi/lokasi sumbu netral yang tertentu. Diagram interaksi tersebut dapat dibagi menjadi dua daerah, yaitu daerah yang ditentukan oleh keruntuhan tarik dan daerah yang ditentukan keruntuhan tekan, dengan pembatasnya adalah titik *balance*.



Gambar 3.8 Diagram P- M (Nugraha, 2016)

3.10.3. Tekuk Pada Kolom

Berdasarkan teori mekanika, beban tekuk Euler terhadap sumbu penampang yang tegak lurus arah tekuk untuk kolom dengan kondisi *restraint* (kekangan) ujung yang berbeda dapat dinyatakan secara umum sebagai berikut.

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{kl^2} \quad (3.18)$$

dimana :

E = modulus elastisitas bahan

I = momen inersia penampang terhadap sumbu penampang yang tegak lurus arah tekuk yang ditinjau

l = tinggi kolom

k = faktor panjang efektif kolom, yang nilainya bergantung pada kondisi *restraint* di ujung-ujung kolom. Nilai k = 1 untuk kolom yang ujung-ujungnya sendi.

Portal yang diberi beban lateral cenderung bergoyang (*bergeser*) ke arah lateral bila diberi *restraint* arah lateral. Adanya goyangan tersebut menyebabkan semakin membesarnya panjang efektif kolom dan membuat kolom semakin rawan tekuk.

Pada struktur portal, kondisi kekangan (*restraint*) pada join/ujung batang umumnya berada antara kondisi sendi (*pinned*) dan kondisi jepit sempurna (*fixed*). Untuk struktur portal dengan kondisi kekangan (*restraint*) tersebut, SNI Beton Pasal 10.10.6 memberikan persamaan untuk menghitung nilai k, yaitu :

1. Komponen struktur tekan pada rangka tak bergoyang

Faktor panjang efektif k untuk komponen struktur tekan pada rangka tak bergoyang dapat diambil sebagai nilai terkecil dari kedua persamaan berikut :

$$k = 0,7 + 0,05(\psi_A + \psi_B) \leq 1,0 \quad (3.19)$$

$$k = 0,85 + 0,05\psi_{min} \leq 1,0 \quad (3.20)$$

di mana:

$$\psi_{min} = \min(\psi_A, \psi_B)$$

ψ_A & ψ_B adalah nilai-nilai ψ di kedua ujung kolom

Faktor ψ didefinisikan sebagai rasio jumlah kekakuan komponen-komponen struktur tekan terhadap jumlah kekakuan komponen-komponen struktur lentur yang bertemu pada salah satu ujung komponen struktur tekan dan dihitung dalam bidang rangka yang ditinjau, yaitu :

$$\psi = \frac{\sum E_c I_c / l_{uc}}{\sum E_b I_b / l_b} \quad (3.21)$$

dimana :

l_{uc} = panjang bebas kolom tanpa penopang lateral

l_b = panjang komponen struktur lentur diukur dari pusat ke pusat join

2. Komponen struktur tekan pada rangka bergoyang dan terkekang di kedua ujungnya

Faktor panjang efektif k komponen struktur tekan pada rangka bergoyang dan terkekang di kedua ujungnya dapat dihitung sebagai berikut.

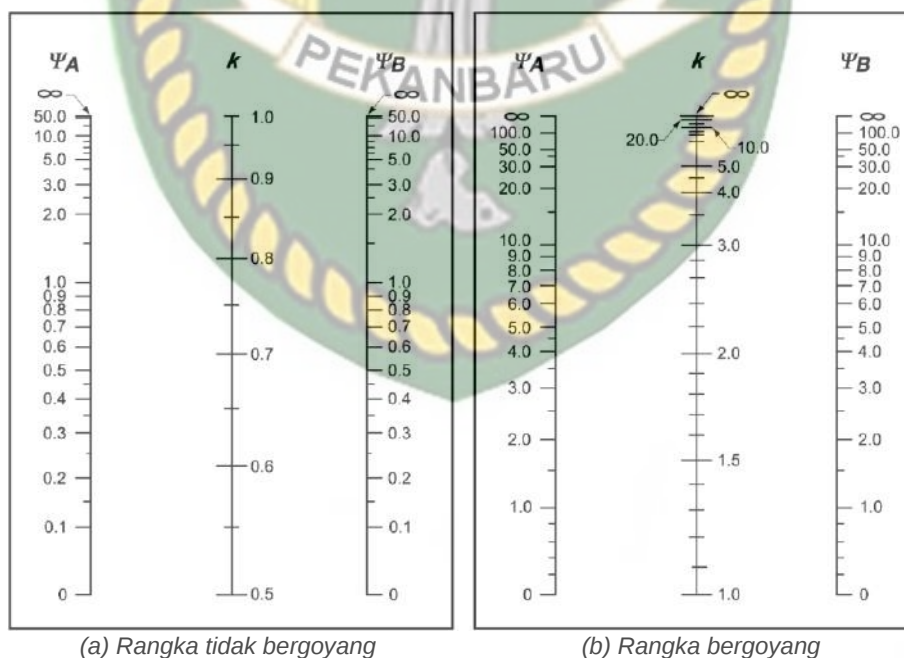
$$\psi_m < 2: k = \frac{20 - \psi_m}{20} \sqrt{1 + \psi_m} \quad (3.22)$$

$$\psi_m \geq 2: k = 0,9 \sqrt{1 + \psi_m} \quad (3.23)$$

dimana :

ψ_m = harga rata-rata nilai ψ di kedua ujung komponen struktur tekan yang ditinjau.

Diagram Jackson dan Moreland dapat digunakan untuk mengestimasi faktor panjang efektif (k) secara grafis untuk kolom dengan penampang prismatis pada suatu rangka portal dengan bentang banyak (Purwono dkk, 2007). Berdasarkan diagram Jackson dan Moreland nilai k adalah perpotongan antara garis lurus yang menghubungkan nilai-nilai ψ di kedua ujung kolom dan sumbu k .



Gambar 3.9 Faktor panjang efektif k (SNI 2847-2013)

3.10.4. Analisis Kolom Langsing

Berdasarkan SNI Beton Pasal 10.10, analisis kolom langsing dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

1. Analisis Rangka Orde Kesatu Dengan Perbesaran Momen.

Analisi rangka orde kesatu adalah analisis struktur portal linier tanpa memperhitungkan pengaruh deformasi terhadap matriks kekakuan struktur. Perbesaran nilai-nilai momen yang diperoleh dari analisis struktur orde kesatu dilakukan dengan mengalikannya dengan faktor perbesaran.

2. Analisis Rangka Orde Kedua

Analisis rangka orde kedua merupakan analisis struktur portal nonlinier, yang memperhitungkan pengaruh nonlinier geometri di dalam analisisnya. Pada analisis ini, matriks kekakuan struktur dipengaruhi oleh deformasi struktur.

Kedua cara tersebut dapat digunakan untuk kolom dengan angka kelangsingan kurang dari 100. Berdasarkan Pasal 12.11.5 SNI Beton yang lama, khusus untuk kolom dengan angka kelangsingan lebih besar dari 100, analisisnya harus dilakukan dengan analisis orde kedua. Angka kelangsingan (λ) suatu komponen struktur tekan dapat dihitung sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{kl_u}{r} \quad (3.24)$$

$$r = 0,3h \quad (\text{untuk penampang persegi}) \quad (3.25)$$

$$r = 0,25D \quad (\text{untuk penampang bundar}) \quad (3.26)$$

dimana :

k = faktor panjang efektif kolom

l_u = panjang bebas kolom tanpa penopang lateral (mm)

r = radius girasi atau jari-jari inersia kolom (mm)

Pada analisis kolom langsing, gaya aksial terfaktor P_u dan momen terfaktor M_1 dan M_2 pada ujung-ujung kolom dan storey drift Δ_o idealnya dihitung dengan menggunakan sifat-sifat penampang yang telah memperhitungkan pengaruh beban aksial, retak, dan durasi pembebanan. Namun sebagai alternative, berdasarkan SNI Beton Pasal 10.10.4.1, sifat-sifat penampang berikut dapat digunakan sebagai nilai pendekatan dalam analisis struktur orde kesatu, yaitu :

$$1. E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (3.27)$$

2. Momen Inersia :

Balok	$0,35I_g$
Kolom	$0,70 I_g$
Dinding	$0,70 I_g$ (tidak retak)
	$0,35 I_g$ (retak)

Pelat dan lantai datar $0,25 I_g$

3. Luas Penampang $1,00 A_g$

Nilai-nilai momen inersia tersebut di atas harus dibagi lagi dengan faktor $(1 + \beta_d)$ untuk memperhitungkan pengaruh rangkai. Ada dua kondisi yang harus dilihat, yaitu:

1. Bila pada struktur bekerja gaya lateral yang bersifat permanen (sebagai contoh tekanan lateral tanah), maka dalam hal ini faktor rangkai dihitung sebagai:

$$\beta_d = \frac{\text{beban lateral tetap terfaktor maksimum}}{\text{beban lateral total terfaktor maksimum}} \quad (3.28)$$

2. Bila diperlukan pengecekan stabilitas sesuai dengan SNI Beton Pasal 10.10.4.2:

$$\beta_d = \frac{\text{beban aksial tetap terfaktor maksimum}}{\text{beban aksial total terfaktor maksimum}} \quad (3.29)$$

3.10.5. Batasan Angka Kelangsingan untuk Kolom Langsing

Berdasarkan SNI Beton Pasal 10.10.1, pengaruh kelangsingan pada komponen struktur tekan dapat diabaikan, jika:

1. Untuk kolom pada rangka tak bergoyang atau kolom dengan tumpuan sendi :

$$\frac{kl_u}{r} < 34 - 12 \frac{M_1}{M_2} \leq 40 \quad (3.30)$$

Rasio (M_1/M_2) dan M_1 bernilai positif bila kolom melentur dengan kelengkungan tunggal dan bernilai negatif bila kolom melentur dengan kelengkungan ganda. M_1 ada nilai rasio tersebut didefinisikan sebagai momen ujung terfaktor yang terkecil pada komponen tekan. Sedangkan M_2 adalah momen ujung terfaktor yang terbesar dan selalu bernilai positif.

2. Untuk kolom pada rangka bergoyang:

$$\frac{kl_u}{r} < 22 \quad (3.31)$$

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian studi literatur, dimana studi literatur adalah cara yang dipakai untuk menghimpun data atau sumber – sumber yang berhubungan dengan topik yang diangkat dalam suatu penelitian. . Seperti jurnal dan buku yang terkait dalam perencanaan gempa dengan metode *respons spectrum*. Buku acuan yang dipakai antara lain Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012, Peraturan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Stuktur lain SNI 1727:2013, Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung SNI 2847:2013, dan buku- buku serta jurnal- jurnal yang berkaitan dengan judul skripsi penulis.

4.2 Analisis Data

Analisis yang digunakan analisis dinamik dengan metode *respons spektrum*. Setelah data terkumpul, data tersebut kemudian akan dianalisa sebagai berikut :

1. Menghitung Pembebanan

Perhitungan pembebanan dilakukan sesuai dengan data penunjang. Menghitung beban – beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup. Beban mati yang dihitung berdasarkan permodelan yang ada dimana beban sendiri didalam program dimasukan dalam *load case dead*, sedangkan Beban mati tambahan yang tidak dapat dimodelkan program dalam *load case super dead*. Perhitungan berat sendiri ini dalam program untuk *dead* adalah 1, sedangkan *super dead* adalah 0, dimana beban untuk *dead* telah dihitung secara otomatis oleh program, sedang kan untuk beban *super dead* bebannya perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang ada.

Beban hidup yang dimasukkan dalam program dinotasikan dalam *live*. Beban hidup mendapatkan reduksi gempa. Beban hidup disesuaikan dengan

peraturan yang ada. Perhitungan beban hidup ini dalam program yang untuk *live* adalah 0, dimana beban hidup perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang ada.

2. Menghitung *Respons spektrum* Desain

Menghitung *respons spektrum* desain untuk mendapat kurva spektrum respons yang mengacu pada koefisien – koefisien situs dan parameter – parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget. Menganalisis model struktur dengan *respons spektrum* untuk mendapatkan kurva *respons spektrum* sesuai wilayah gempa yang dianalisis dengan bantuan program. Data yang dibutuhkan dalam analisis *respons spektrum* adalah fungsi bangunan, letak bangunan terhadap wilayah gempa, jenis tanah dan tipe struktur yang didapat dari situs puskim.pu.go.id.

Data penentuan parameter – parameter spektrum respons desain meliputi parameter percepatan gempa S_s (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar perioda 1 detik), kelas situs yang ditetapkan berdasarkan jenis tanah tempat bangunan berdiri, faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v), parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}), parameter percepatan spectral desain untuk perioda (S_{DS}) dan pada perioda 1 detik (S_{D1}).

3. Analisis struktur gedung

Uraian penelitian dalam analisis struktur gedung dengan bantuan software ETABS Versi 9.7.4 untuk memodelkan seluruh komponen-komponen dalam bentuk tiga dimensi. Prosedur analisis struktur gedung sebagai berikut:

a. Permodelan Struktur

Setelah menentukan satuan unit, pilih *File, New Model, Grid Dimension*, kemudian struktur dimodelkan berdasarkan bentuk dan ukuran struktur bangunan yang sebenarnya.

b. Penentuan *Material Properties*

Penentuan material ini bertujuan untuk mendefinisikan properti material struktur yang digunakan, berat volume material, kuat tekan beton (f_c') dan kuat tarik baja (f_y).

c. Penentuan *Frame Section Properties*

Penentuan *Frame Section Properties* bertujuan untuk mendefinisikan data – data penampang balok dan kolom yang digunakan.

d. Penentuan Properti Objek

Penentuan Property Objek bertujuan untuk menentukan elemen – elemen struktur balok dan kolom sesuai dengan *Frame Section Properties* dan bentuk struktur bangunannya.

e. Penentuan *Joint Restraints*

Penentuan *Joint Restraints* bertujuan untuk menentukan jenis tumpuan pada struktur bangunan. Umumnya ditentukan berupa tumpuan jepit untuk melakukan analisis portal.

f. Penentuan *Static Load Cases*

Penentuan *static load cases* bertujuan untuk mendefinisikan beban yang bekerja pada struktur (beban mati dan beban hidup)

g. *Input Respons Spectrum* Gempa Rencana

Input Respons Spectrum Gempa Rencana dilakukan di *respons spectrum function*

h. Penentuan *Frame Load* dan *Area Load*

Setelah dihitung beban struktur yang bekerja berupa beban mati dan beban hidup, kemudian diinput pada *Frame Loads* (kN/m) dan *Area Loads* (kN/m²).

i. Penentuan kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan yang diinput terdiri dari 18 kombinasi pembebanan seperti yang sudah di terangkan pada subbab sebelumnya.

j. Input Beban Gempa

Setelah melakukan perhitungan *respons spektrum* desain, maka perhitungan *respons spektrum* desain diinputkan pada *respons spectrum case* RSPX dan RSPY.

k. Run Analyze

Dengan melakukan *Run Analyze*, maka dapat mengecek partisipasi ragam terkombinasi minimal 90% dan mengecek periode struktur dengan menu *show tables*, yang digunakan dalam menganalisa.

l. Analysis Result

Setelah semua langkah diatas, diperoleh Analysis Result berupa hasil partisipasi ragam terkombinasi, simpangan antar lantai, momen kolom.

4.3 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang penulis lakukan guna menyelesaikan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian yang penulis lakukan dalam memulai penelitian meliputi persiapan pemilihan struktur gedung untuk dijadikan bahan penelitian penulis.

2. Menghitung Pembebanan

Pembebanan yang diperhitungkan dalam penelitian ini yaitu: Beban gravitasi meliputi berat sendiri dari elemen struktur gedung, beban mati tambahan, dan beban hidup yang bekerja mengacu pada PPURG 1983 dan SNI 1727-2013. Beban gempa dihitung dengan metode analisis dinamis *respons spektrum* yang mengacu pada SNI 1726:2012.

3. Analisa Data

Analisis dimulai dengan mengumpulkan data-data berupa data struktur, asumsi lokasi pemodelan gedung, fungsi gedung, jenis tanah yang digunakan, dan pembebanan. Data struktur gedung berupa denah, elemen struktur balok, kolom,

pelat lantai, pada pemodelan gedung. Analisis pemodelan struktur gedung dengan menggunakan metode *respons spektrum*. Pembebanan mengacu pada SNI 1727-2013 untuk beban mati dan hidup, SNI 1726-2012 untuk beban gempa. Setelah itu gedung dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi dengan bantuan software ETABS sebanyak 3 model. Model dibuat dengan bervariasi pada tinggi kolom lantai dasar. Selanjutnya, didapat nilai gaya geser tingkat, simpangan maksimum dan simpangan struktur tersebut berpedoman pada SNI 1726-2012.

4. Hasil Analisis dan Pembahasan

Pada tahapan ini, akan disimpulkan hasil analisis dari 3 model struktur dengan variasi pada tinggi kolom berupa gaya geser tingkat, simpangan maksimum, simpangan antar lantai, dan beban tekuk kolom.

5. Kesimpulan

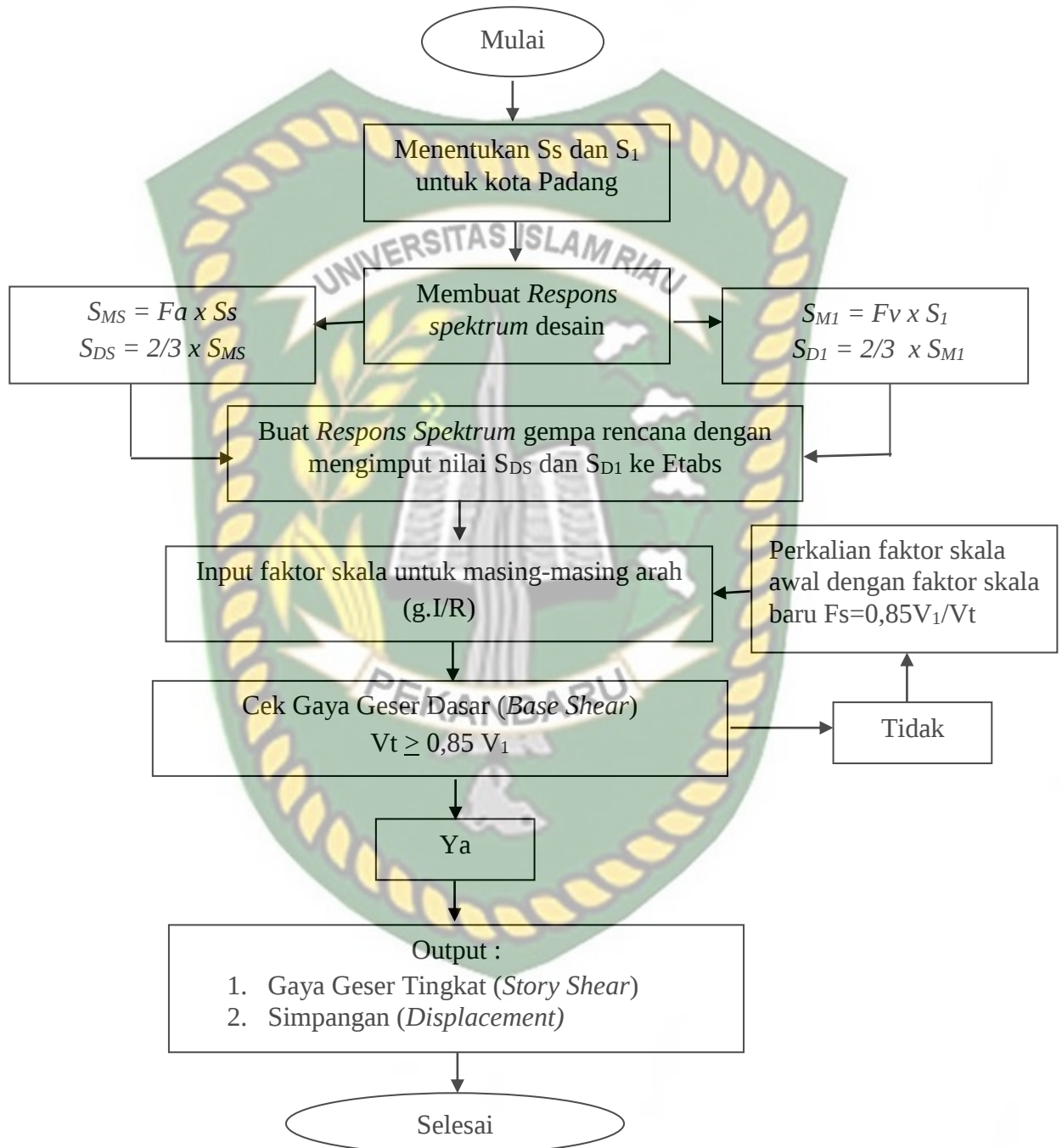
Setelah ada hasil analisa maka didapatkan kesimpulan yang bisa menjawab rumusan masalah.

Adapun bagan alir tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

Bagan Alir Analisis *Respons Spektrum* berdasarkan SNI 1726–2012 bisa dilihat Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Bagan Alir Analisis *Respons Spektrum* berdasarkan SNI 1726-2012

4.4 Pembebanan Struktur

Dalam menganalisa pembebanan yang akan dipikul oleh struktur gedung harus sesuai dengan peraturan yang ditetapkan seperti PPURG 1987 untuk beban mati, SNI-1727-2013 untuk beban hidup dan SNI-1726-2012 untuk beban gempa.

1. Beban Mati

Dasar analisis beban mati yang digunakan untuk struktur gedung yaitu menggunakan peraturan PPURG 1987. Beban mati dapat dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu, beban mati struktural dan beban mati tambahan.

a. Beban mati struktural

Beban mati struktural adalah berat sendiri elemen struktur yang terdiri dari kolom, balok dan plat dihitung secara otomatis dalam program ETABS dengan memberikan faktor pengali berat sendiri (*self weight multiplier*) sebesar 1 (satu). Beban mati struktural yang diperhitungkan didalam studi ini adalah beban struktur beton bertulang, yaitu sebesar 24 kN/m^3 .

b. Beban mati tambahan

Beban mati tambahan adalah berat elemen nonstruktural yang secara permanen membebani struktur. Beban mati tambahan pada gedung dapat dilihat dibawah ini, perhitungan beban mati tambahan dapat dilihat pada Lampiran A.

- | | |
|-----------------|-------------------------|
| 1) Pelat Atap | : $0,73 \text{ kN/m}^2$ |
| 2) Pelat Lantai | : $1,32 \text{ kN/m}^2$ |
| 3) Balok | |
| a. B1 | : $8,5 \text{ kN/m}^2$ |
| b. B2 | : $8,75 \text{ kN/m}^2$ |

2. Beban hidup

Dalam menganalisa beban hidup yang dipikul oleh struktur gedung diambil berdasarkan SNI-1727-2013 sesuai dengan fungsi gedung Rumah sakit. Beban hidup bisa dilihat sebagai berikut:

- | | |
|-----------------|-------------------------|
| a. Pelat atap | : $0,96 \text{ kN/m}^2$ |
| b. Pelat lantai | : $3,83 \text{ kN/m}^2$ |

4.5 Data Struktur Gedung

Untuk membuat model tiga dimensi gedung dalam penelitian ini maka dibutuhkan data-data dimensi keseluruhan dari komponen struktur gedung. Data tersebut didapatkan dari asumsi peneliti berdasarkan peraturan perencanaan gedung di Indonesia.

1. Lokasi bangunan diasumsi berada di kota Padang kerana kota Padang termasuk yang rawan gempa dan berdiri di atas tanah keras.
2. Fungsi bangunan diasumsikan sebagai Rumah Sakit karena Rumah Sakit termasuk Bangunan dengan kategori resiko IV.
3. Sistem struktur penahan gempa yang digunakan yaitu Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

4.5.1 Material Struktur

Pada penelitian ini spesifikasi material yang digunakan pada struktur gedung dapat dilihat Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1. Mutu material kolom, balok, dan pelat lantai

No	Mutu bahan	Nilai
1	Beton	
	Mutu beton	$f_c' = 25,2 \text{ Mpa}$
	Modulus elastisitas beton	$E_c = 23594 \text{ Mpa}$
2	Baja Tulangan	
	BJTD	$f_y = 390 \text{ Mpa}$
	Modulus elastisitas baja	$E_s = 200000 \text{ Mpa}$

4.5.2 Dimensi Elemen Struktur

Pada penelitian ini dimensi elemen struktur yang digunakan pada struktur gedung dapat dibawah ini.

1. Kolom

Dimensi kolom yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Dimensi Kolom

No	Tipe	Dimensi (mm)
1	K1	600 x 600
2	K2	500 x 500

2. Balok

Dimensi balok yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Dimensi Balok

No	Tipe	Dimensi (mm)
1	B1	300 x 600
2	B2	250 x 500

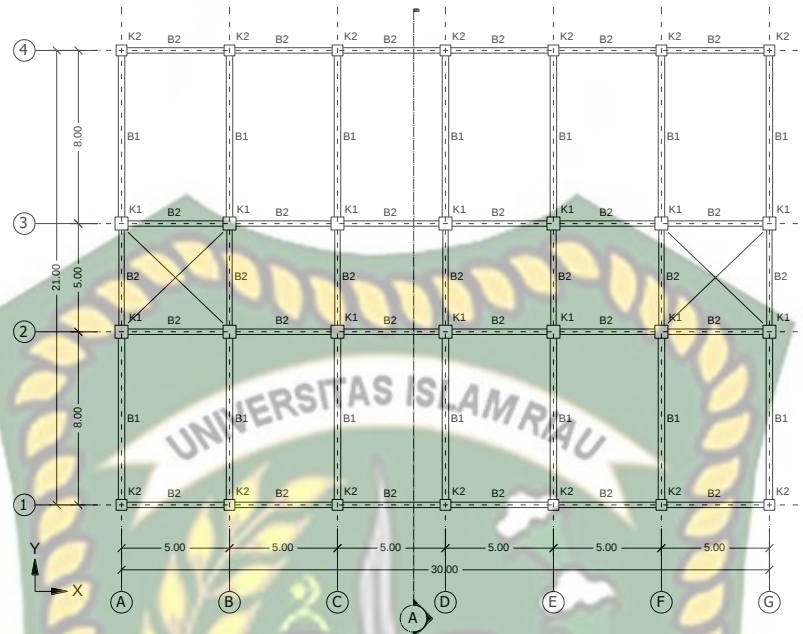
3. Pelat

Tebal pelat yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Tebal Pelat

No	Tipe	Tebal (mm)
1	Atap	100
2	Lantai	120

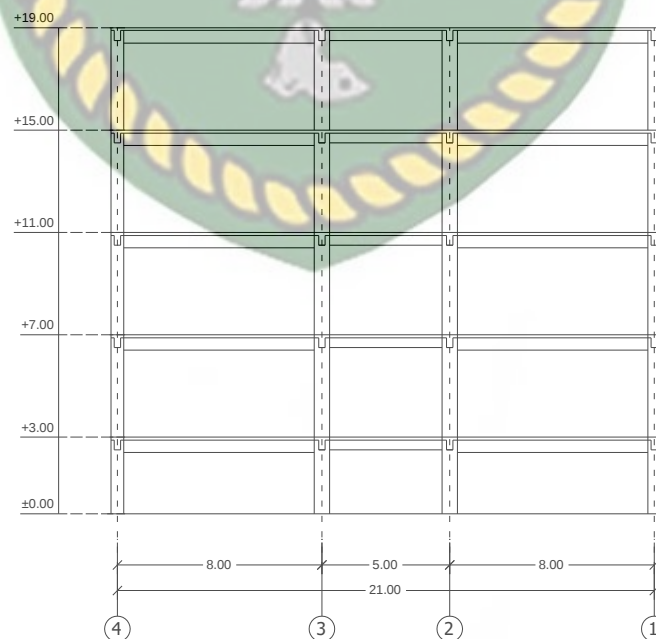
Dalam melengkapi data-data struktur gedung, dapat dilihat posisi kolom dan balok pada denah lantai 1 sampai 5 pada Gambar 4.3 dibawah.



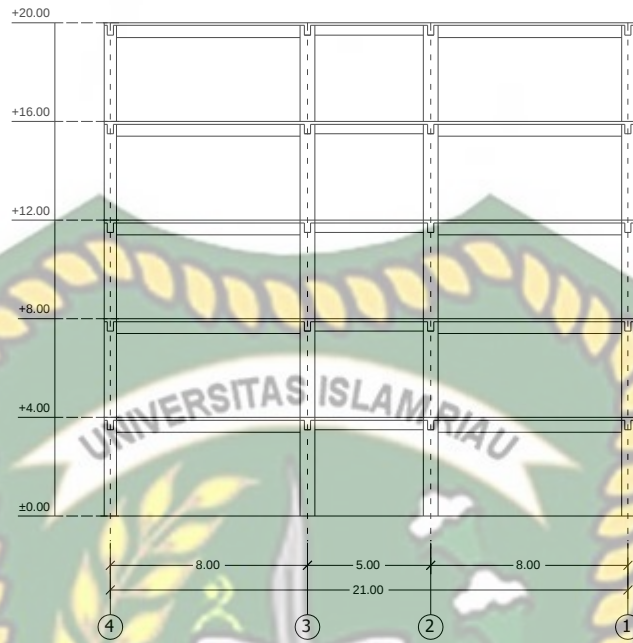
Gambar 4.3 Denah Lantai 1 sampai 5

4.6 Variasi Tinggi Kolom

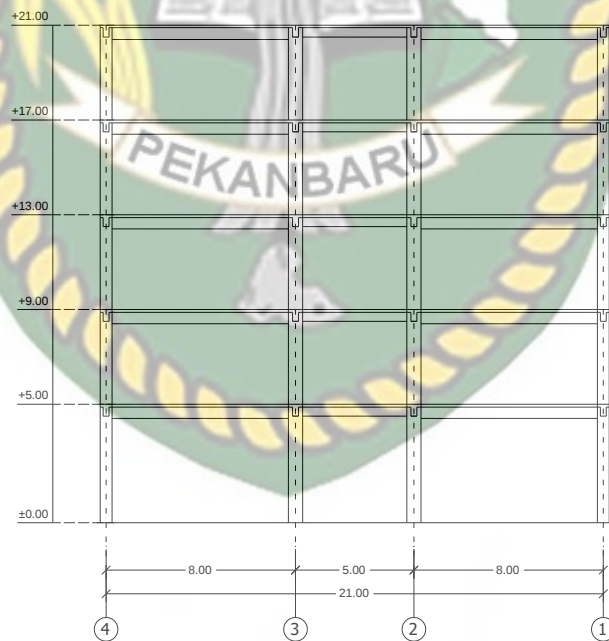
Pada penelitian ini akan dilakukan analisis pada struktur dengan bervariasi pada tinggi kolom lantai satu. Variasi tinggi kolom dapat dilihat pada gambar 4.7 sampai gambar 4.8 potongan melintang A-A di bawah ini.



Gambar 4.7 Variasi Model 1 (tinggi kolom lantai satu 3m)



Gambar 4.8 Variasi Model 2 (tinggi kolom lantai satu 4m)



Gambar 4.9 Variasi Model 3 (tinggi kolom lantai satu 5m)

BAB V

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Analisis Gempa Dengan Metode Respons Spektrum

Berdasarkan hasil analisis struktur gedung dengan metode *respons spektrum* pada pemodelan gedung dengan variasi pada tinggi kolom lantai 1, yaitu model 1 (tinggi 3m), model 2 (tinggi 4m), model 3 (tinggi 5m) dengan bantuan *software* ETABS V.9.7.4 diperoleh hasil gaya geser tingkat, simpangan maksimum, dan simpangan antar lantai struktur akibat kombinasi pembebanan maksimum sesuai SNI 1726-2012.

5.1.1 Gaya Geser Tingkat

Dari hasil analisis struktur yang dilakukan dengan metode *respons spektrum* diperoleh gaya geser tingkat (*story shear*) akibat kombinasi pembebanan maksimum. Gaya geser tingkat arah X dan arah Y akibat beban kombinasi dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2.

Tabel 5.1 Gaya Geser Tingkat Arah X

Lantai	Model 1		Model 2		Model 3	
	F _x (kN)	V _x (kN)	F _x (kN)	V _x (kN)	F _x (kN)	V _x (kN)
Lantai 5	947,07	947,07	911,54	911,54	861,81	861,81
Lantai 4	837,06	1.784,13	826,34	1.737,88	834,93	1.696,74
Lantai 3	600,08	2.384,21	574,43	2.312,31	560,42	2.257,16
Lantai 2	473,24	2.857,45	468,78	2.781,09	465,78	2.722,94
Lantai 1	222,79	3.080,24	313,53	3.094,62	376,71	3.099,65

Sumber: *Output Program ETABS*

Berdasarkan Tabel 5.1 dapat dilihat gaya geser maksimum pada lantai 1 akibat beban kombinasi pada arah X semakin meningkat. Gaya geser yang terjadi yaitu pada model 1 (3m) sebesar 3.080,24 kN, model 2 (4m) sebesar 3.094,62 kN, dan model 3 (5m) sebesar 3.099,65 kN.

Tabel 5.2 Gaya Geser Tingkat Arah Y

Lantai	Model 1		Model 2		Model 3	
	Fy (kN)	Vy (kN)	Fy (kN)	Vy (kN)	Fy (kN)	Vy (kN)
Lantai 5	918,16	918,16	882,53	882,53	832,34	832,34
Lantai 4	858,02	1.776,18	845,41	1.727,94	849,71	1.682,05
Lantai 3	618,40	2.394,58	595,09	2.323,03	582,78	2.264,83
Lantai 2	472,29	2.866,87	472,35	2.795,38	473,43	2.738,26
Lantai 1	213,58	3.080,45	303,77	3.099,15	368,87	3.107,13

Sumber: Output Program ETABS

Berdasarkan Tabel 5.2 dapat dilihat gaya geser maksimum pada lantai 1 akibat beban kombinasi pada arah Y semakin meningkat. Gaya geser yang terjadi yaitu pada model 1 (3m) sebesar 3.080,45 kN, model 2 (4m) sebesar 3.099,15 kN, dan model 3 (5m) sebesar 3.107,13 kN.

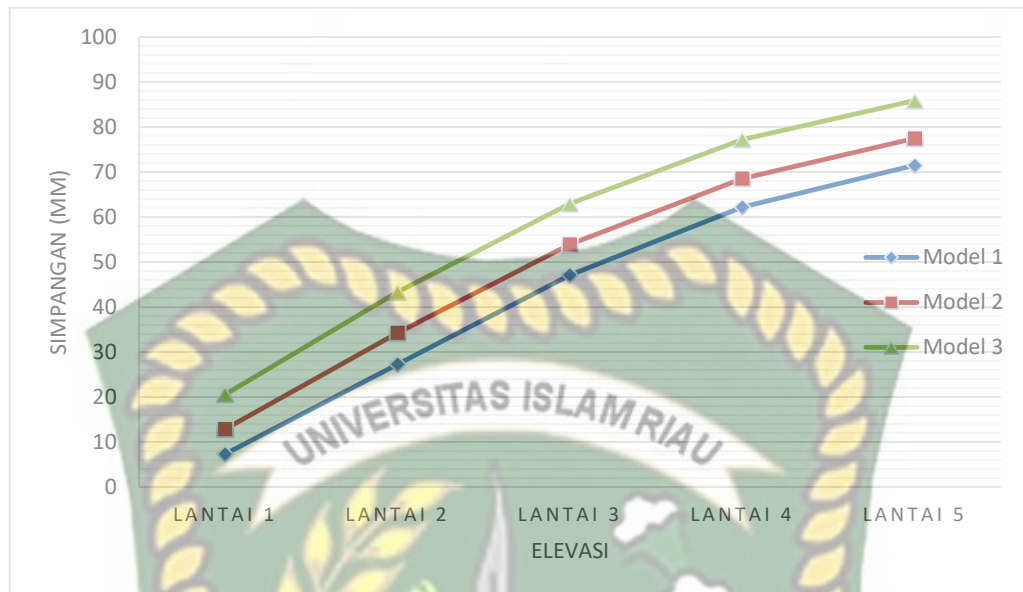
5.1.2 Simpangan Maksimum

Dari hasil analisis struktur gedung dengan metode *respons spektrum* diperoleh simpangan maksimum struktur akibat kombinasi pembebanan maksimum sesuai SNI 1726-2012. Simpangan maksimum ditampilkan dalam dua arah yaitu arah X dan arah Y pada Table 5.3 dibawah ini.

Tabel 5.3 Simpangan Maksimum

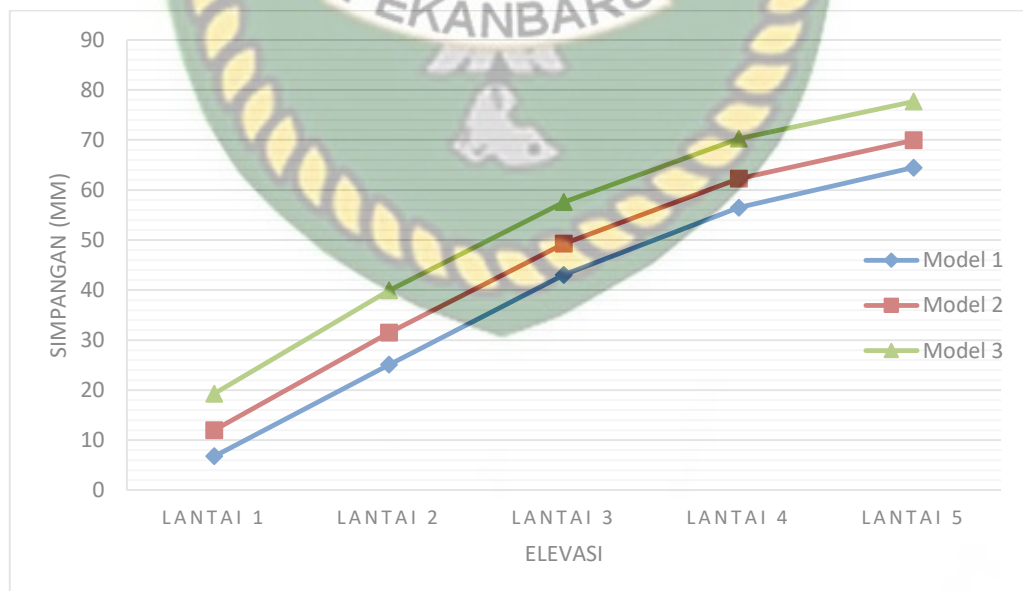
Lantai	Simpangan (mm)					
	Model 1		Model 2		Model 3	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 5	71,483	64,464	77,463	69,962	85,828	77,681
Lantai 4	62,195	56,467	68,526	62,272	77,193	70,266
Lantai 3	47,140	43,037	53,932	49,267	62,949	57,607
Lantai 2	27,280	25,079	34,248	31,504	43,325	39,954
Lantai 1	7,337	6,799	12,891	12,007	20,596	19,293

Sumber: Output Program ETABS



Gambar 5.1 Simpangan Maksimum Arah X

Berdasarkan data pada Tabel 5.3 serta Gambar 5.1 dapat dilihat simpangan maksimum arah X pada lantai 5 akibat pengaruh variasi tinggi kolom lantai satu semakin meningkat. Simpangan maksimum terbesar arah X terjadi pada struktur model 3 (tinggi 5m) sebesar 85,828 mm.



Gambar 5.2 Simpangan Maksimum Arah Y

Berdasarkan data pada Tabel 5.3 serta Gambar 5. dapat dilihat simpangan maksimum arah Y pada lantai 5 akibat pengaruh variasi tinggi kolom lantai satu

semakin meningkat. Simpangan maksimum terbesar arah Y terjadi pada struktur model 3 (tinggi 5m) sebesar 77,681 mm.

5.2 Simpangan Antar Lantai

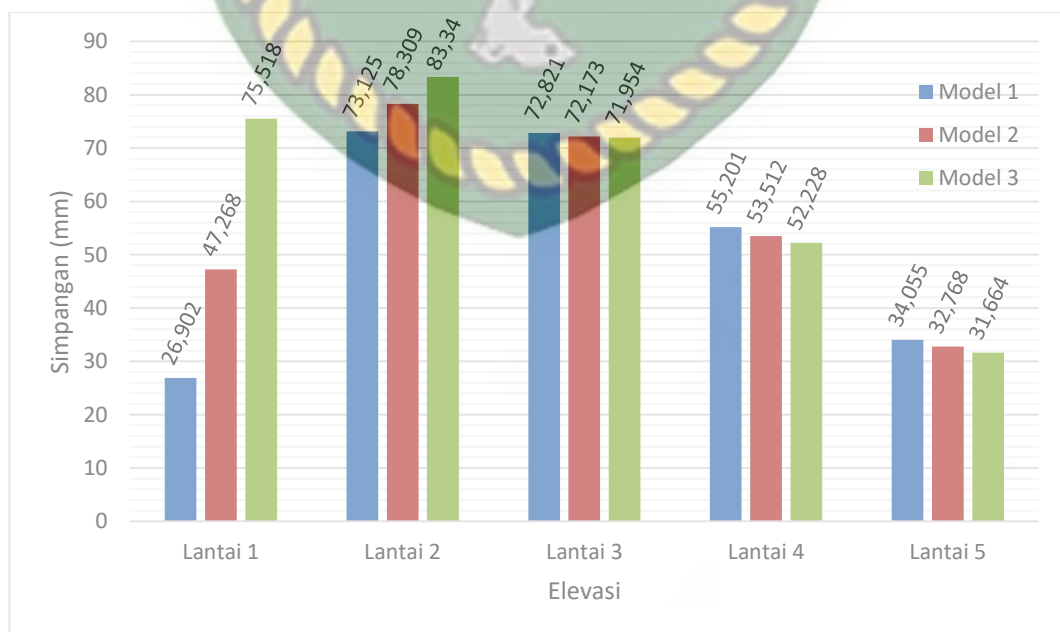
Berdasarkan SNI 1726-2012 simpangan antar lantai (Δ) merupakan selisih dari simpangan maksimum antara lantai tersebut dengan lantai di bawahnya. Simpangan antar lantai tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin ($\Delta_a = 0,015 \times h_{sx}$), h_{sx} adalah tinggi lantai. Simpangan antar lantai arah X dapat dilihat pada Tabel 5.4 serta gambar 5.3 dan arah Y pada Tabel 5.5 serta gambar 5.4 dibawah ini. Perhitungan simpangan antar lantai dapat dilihat pada Lampiran A.4.

Tabel 5.4 Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	Model 1			Model 2			Model 3		
	(Δ)	(Δ_a)	Ket	(Δ)	(Δ_a)	Ket	(Δ)	(Δ_a)	Ket
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	
Lantai 5	34,055	60	M	32,768	60	M	31,664	60	M
Lantai 4	55,201	60	M	53,512	60	M	52,228	60	M
Lantai 3	72,821	60	TM	72,173	60	TM	71,954	60	TM
Lantai 2	73,125	60	TM	78,309	60	TM	83,340	60	TM
Lantai 1	26,902	45	M	47,268	60	M	75,518	75	TM

Sumber: Output Program ETABS dan Perhitungan

M: Memenuhi, TM: Tidak Memenuhi



Gambar 5.3 Simpangan Antar Lantai Arah X

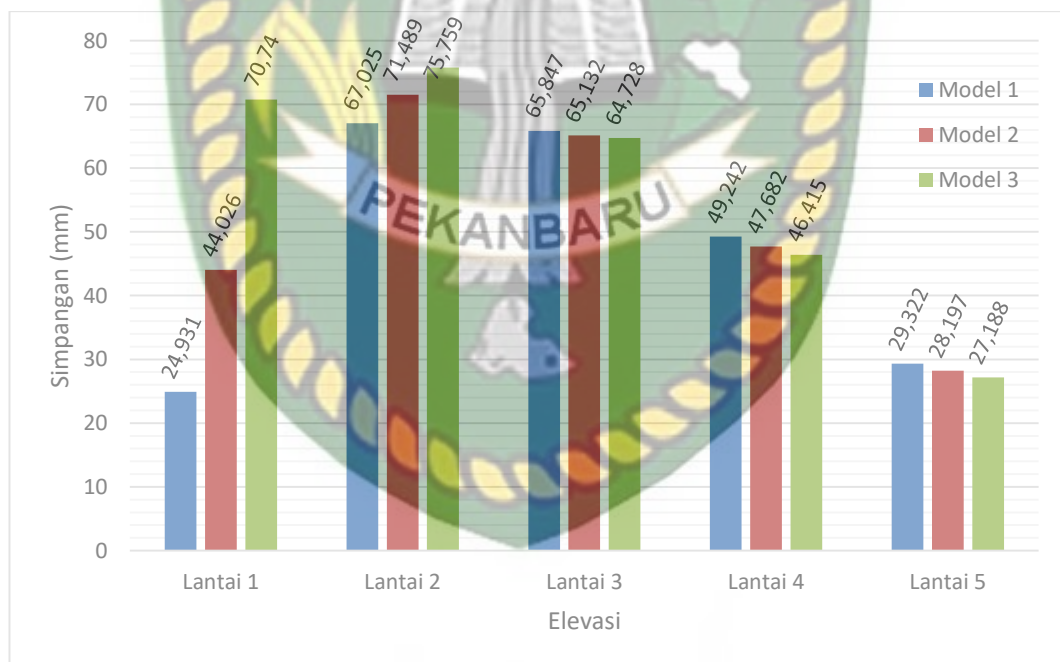
Berdasarkan Tabel 5.4 dan gambar 5.3 diatas dapat dilihat simpangan antar lantai arah X pada lantai 1 semakin meningkat. Simpangan antar lantai terbesar terjadi pada struktur model 3 (tinggi 5m) sebesar 75,518 mm, tidak memenuhi batas simpangan yang diizinkan.

Tabel 5.5 Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	Model 1			Model 2			Model 3		
	(Δ)	($\Delta\alpha$)	Ket	(Δ)	($\Delta\alpha$)	Ket	(Δ)	($\Delta\alpha$)	Ket
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	
Lantai 5	29,322	60	M	28,197	60	M	27,188	60	M
Lantai 4	49,242	60	M	47,682	60	M	46,415	60	M
Lantai 3	65,847	60	TM	65,132	60	TM	64,728	60	TM
Lantai 2	67,025	60	TM	71,489	60	TM	75,759	60	TM
Lantai 1	24,931	45	M	44,026	60	M	70,740	75	M

Sumber: Output Program ETABS dan Perhitungan

M: Memenuhi, TM: Tidak Memenuhi



Gambar 5.4 Simpangan Antar Lantai Arah Y

Berdasarkan Tabel 5.5 dan gambar 5.4 diatas dapat dilihat simpangan antar lantai arah Y pada lantai 1 semakin meningkat. Simpangan antar lantai terbesar terjadi pada struktur model 3 (tinggi 5m) sebesar 70,74 mm, masih memenuhi batas simpangan yang diizinkan.

5.3 Hasil Pemeriksaan Tekuk Kolom

Beban tekuk Euler terhadap sumbu penampang yang tegak lurus arah tekuk untuk kolom dengan kondisi *restraint* (kekangan) ujung yang berbeda dapat ditentukan dengan persamaan $P_c = \frac{\pi^2 EI}{kl^2}$. Beban tekuk pada suatu kolom harus diperitungkan apabila kolom tersebut merupakan kolom langsing. Kolom langsing ditentukan oleh rasio kelangsingan yaitu rasio antara panjang efektif kolom (kl_u) dengan jari-jari girasi (r), seperti dinyatakan dalam SNI 2847-2013 bahwa efek kelangsingan kolom boleh diabaikan apabila rasio kelangsingan $\lambda = \frac{kl_u}{r} \leq 22$.

Hasil pemeriksaan pemeriksaan rasio kelangsingan dan beban tekuk kolom dapat dilihat dalam Tabel 5.6 dibawah ini. Perhitungan tekuk kolom dapat dilihat pada Lampiran A.5.

Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Tekuk Kolom

Model	Tinggi Kolom	k	$\lambda = \frac{kl_u}{r} < 22$	Beban Tekuk (P_c)
	(m)			(kN)
Model 1	3	2,38	35,911	15239,327
Model 2	4	2,21	45,640	9435,479
Model 3	5	2,11	55,345	6417,182

Sumber: *Perhitungan*

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa kolom pada Model 1, Model 2, dan Model 3 merupakan kolom langsing karena rasio kelangsingan kolom $kl_u/r > 22$.. Dari tabel diatas juga dapat diketahui semakin tinggi kolom nilai rasio kelangsingan kolom semakin besar dan beban tekuk Euler atau beban kritis semakin kecil. Nilai rasio kelangsingan (λ) yaitu pada Model 1 (tinggi 3m) 35,911, Model 2 (tinggi 4m) 45,640, dan Model 3 (tinggi 5m) 55,345.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pengaruh variasi tinggi kolom terhadap kinerja struktur gedung bertingkat dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis diketahui semakin tinggi kolom lantai 1 nilai gaya geser yang terjadi semakin meningkat. Gaya geser maksimum terjadi pada model 3 sebesar 3.107,13 kN pada arah Y.
2. Dari hasil analisis diketahui semakin tinggi kolom lantai 1 simpangan antar lantai semakin meningkat. Simpangan antar lantai terbesar terjadi pada model 3 (tinggi 5m) arah X sebesar 75,518 mm, tidak memenuhi batas simpangan yang diizinkan.
3. Dari hasil pemeriksaan tekuk pada kolom lantai 1, diketahui kolom pada model 1 (tinggi 3m), model 2 (tinggi 4m), dan model 3 (tinggi 5m) termasuk kolom langsing serta mengalami tekuk. Semakin tinggi kolom nilai rasio kelangsingan kolom semakin meningkat. Rasio kelangsingan terbesar terjadi pada model 3 sebesar 55,345 dan beban tekuk (P_c) sebesar 6417,182 kN.

6.2 Saran

Adapun beberapa saran dilakukan untuk penelitian lebih lanjut, yaitu sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan analisis pengaruh variasi tinggi kolom dengan bentuk penampang kolom yang berbeda.
2. Dalam analisis model struktur pada penelitian ini hanya menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum saja, untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan metode analisis dinamik *time history* sebagai pembanding dari analisis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriani, Widya., Anggraini, Muthia., Trisep Haris, Virgo.,** 2017, *Analisis Pengaruh Variasi Bentang Kolom Terhadap Kinerja Struktur Gedung*, Pekanbaru.
- Budiono, Bambang., dan Supriatna, Lucky.,** 2011. *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201X*. Bandung: Penerbit ITB.
- Departemen Pekerjaan Umum,** 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung*. PPPURG. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum,** 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum,** 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan*. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum,** 2013. *Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain SNI 03 – 1727 – 2013*. Jakarta.
- Hartoyo,** 2010. Syarat – Syarat Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang Lantai Banyak, (<http://hartoyo-hartoyo.blogspot.com/2010/01/syarat-syarat-struktur-bangunan-gedung.html?m=1>)
- Limbongan, Steven,** 2016. Analisis Struktur Beton Bertulang Kolom Pipih Pada Gedung Bertingkat. *Jurnal Sipil Statik*. 4(8):499-508.
- Rendra, Rezky,** 2015, Analisis Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa Dengan Metode Respon Spektrum dan *Time History*. *Tugas Akhir*, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Schueller, Wolfgang,** 1989, *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*, PT. Bresco, Bandung.
- Siajaya, Kiemberly,** 2018, Respons Struktur Gedung Bertingkat Dengan Variasi Kekakuan Kolom Akibat Gempa Berdasarkan SNI 03-17266-2012, *Jurnal Sipil Statik*, 6(6):411-422
- Sukoco, Mabruri,** 2017, Analisa Beban Gempa Dasar Rencana (*Base Shear*) Dan *Detailing* Penulangan Struktur Dengan Membandingkan SNI 03–1726–2002 Dan SNI 03 –1726–2012 Pada Gedung Rektorat Universitas Islam Riau. *Tugas Akhir*. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.