

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH SISTEM TAHAN GEMPA
ANTARA SRPMK DAN CBF – KOMPOSIT PADA
MERCUSUAR
(Studi Literatur)**

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

Disusun Oleh:

**M. Arif Kuda Diri
1307210287**



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238 Telp.(061) 6623301
Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: rektor@umsu.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M. Arif Kuda Diri

NPM : 1307210287

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Sistem Tahan Gempa Antara SRPMK dan
CBF – Komposit Pada Mercusuar (Studi Literatur).

Bidang Ilmu : Struktur

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada
Panitia Ujian

Medan, 23 Maret 2019

Pembimbing I

Tondi Amrasyah Putra, ST, MT

Pembimbing II

Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, Msc

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M. ARIF KUDA DIRI
NPM : 1307210287
Program Studi: Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Sistem Tahan Gempa Antara SRPAK dan
CHF - Komposit Pada Mercusuar,
(Studi Literatur)
Bidang ilmu : Struktur.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Maret 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Tondi Ananda Putra, ST, MT

Dosen Pembimbing II / Penguji

Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc

Dosen Pembimbing I / Penguji

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

Dosen Pembimbing II / Penguji

Bambang Hadibroto, ST, MT

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : M. Arif Kuda Diri
Tempat /Tanggal Lahir : Medan / 04 Januari 1996
NPM : 1307210287
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil,

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

“Analisis Pengaruh Sistem Tahan Gempa Antara SRPMK dan CBF – Komposit Pada Mercusuar”,

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

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

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

Medan, Maret 2019

Saya yang menyatakan,



M. Arif Kuda Diri
M. Arif Kuda Diri

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH SISTEM TAHAN GEMPA ANTARA SRPMK DAN CBF-KOMPOSIT PADA MERCUSUAR (STUDI LITERATUR)

M.Arif Kuda diri
1307210287
Tondi Amirsyah P, ST, MT
DR.Fahrizal Zulkarnain

SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) adalah desain struktur beton bertulang dengan pendetailan yang menghasilkan struktur yang fleksibel sehingga dapat menjadi salah satu alternatif perencanaan bangunan tahan gempa di Indonesia. Sementara Sistem rangka bresing konsentrik merupakan pengembangan dari sistem portal tak berpengaku atau lebih dikenal dengan *momen resisting frame (MRF)* yang dikembangkan sebagai sistem penahan gaya lateral dan memiliki tingkat kekakuan yang cukup baik. Kekakuan ini terjadi akibat adanya elemen pengaku yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral pada struktur. Dimensi profil baja yang digunakan pada sistem CBF - Komposit direncanakan menggunakan baja IWF 300.200.9.14. Nilai *Drift Storey* maksimal yang terjadi pada arah X, model 1= 22 mm, model 2= 15 mm, dan pada arah Y model 1= 40 mm, model 2 = 41 mm.

Nilai *Displacement* maksimal yang terjadi pada arah X, model 1= 37,9 mm, model 2 = 25,5 mm, dan pada arah Y model 1= 97,7 mm, model 2 = 69 mm.

Kata kunci: SRPMK, CBF-Komposit, gaya lateral, *Drift Storey*.*Displacement*.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECT OF EARTHQUAKE RESISTANCE SYSTEM BETWEEN SRPMK AND CBF-COMPOSITE IN MERCUSUAR (STUDY OF LITERATURE)

M.Arif Kuda diri
1307210287
Tondi Amirsyah P, ST, MT
DR Fahrizal Zulkarnain

SRPMK (Special Moment Resisting Frame System) is a design of reinforced concrete structures with detail that produces a flexible structure so that it can be an alternative to planning earthquake resistant buildings in Indonesia. While the concentric bracing system is the development of an unmanned system or better known as moment resisting frame (MRF) which was developed as a lateral force retaining system and has a fairly good degree of rigidity. the stiffener dimensions used in the CBF-Composite system are planned to use IWF steel 300.200.9.14. The maximum Storey Drift value that occurs in the X direction, model 1 = 22 mm, model 2 = 15 mm, and in the direction Y model 1 = 40 mm, model 2 = 41 mm. The maximum Displacement value that occurs in the X direction, model 1 = 37.9 mm, model 2 = 25.5 mm, and in the direction of Y model 1 = 97.7 mm, model 2 = 69 mm.

Keywords: SRPMK, CBF-Composite, lateral force, Storey.Displacement Drift.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi alam semesta. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah “Analisis pengaruh sistem tahan gempa antara SRPMK dan CBF – Komposit pada mercusuar”

Selesaiannya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Tondi Amirsyah Putra, S.T,M.T., selaku Dosen Pembimbing I dikampus yang telah memberi ide-ide dan masukkan dalam menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnaen, selaku Dosen Pembimbing II, sekaligus sebagai ketua program studi teknik sipil dikampus yang selalu sabar membimbing dan memberikan pengarahan pada penulis dalam penelitian serta penulisan laporan tugas akhir ini.
4. Ibu Hj. Irma Dewi, ST, Msi selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Segenap Bapak & Ibu dosen di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Teristimewa Buat ayahanda (Arianto Kuda Diri,SH) dan ibunda (Nurmaiya Siregar) tercinta yang telah banyak memberikan pengorbanan dan memberi

kasih sayang segenap hati dan tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini..

7. Kepada teman seperjuangan Keluarga Besar Himpunan Mahasiswa Sipil (HMS-FT-UMSU) yang selalu memberikan semangat dan suasana kekeluargaan yang luar biasa. Salam Kompak Selalu.
8. Terima kasih kepada Abang kandung (Hamzah Kuda Diri), Adik kandung (Rianaldi Kudadiri), yang telah membantu dan mendoakan penulis cepat menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Terima kasih kepada rekan saya Wawan syahputra, Abrar Nash, Tamsil Hasan Nasution, Arnaldo Faria Harahap, Ihsan, Japiral, Reza Suwandi Harahap, Rizal Gozali Malau, ST, Riza, Ramadhan, Mukhtarudin Zulfandi, M. Isan, Windi, M. Alfin, Pratama, dan Marwan Syahputra. yang telah banyak berkontribusi untuk membantu saya dalam penulisan hingga tugas akhir ini dapat saya selesaikan.
10. Serta semua pihak yang telah mendukung dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Medan, 2019

Penulis

M. Arif Kuda Diri

NPM : 1307210287

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	2
1.3.Batasan Masalah	2
1.4.Tujuan Penelitian	3
1.5.Manfaat Penelitian	3
1.6.Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1.Pendahuluan	5
2.2. Konsep Perencanaan Struktur Tahan Gempa	7
2.3. Beban Gempa dan Kinerja Pada Gedung	7
2.3.1. Perhitungan Berat Bangunan	8
2.3.2. Faktor Keutmaan Struktur	8
2.3.3. Faktor Respon Gempa C	13
2.4. Klasifikasi Tanah	15
2.4.1. Percepatan Tanah Puncak	17
2.4.2. Penentuan Respon Spektra Percepatan Gempa	18
2.5. Analisis Gaya Lateral Ekuivalen	21
2.5.1. Gaya Geser Dasar Seismik	21
2.5.2. Periode Alami Fundamental	23
2.5.3. Ketentuan Untuk Analisa Respon Dinamik	25

2.5.4.	Distribusi Vertikal Gaya Gempa	26
2.5.5.	Distribusi Horizontal Gaya Gempa	27
2.5.6.	Penentuan Simpangan Antar Lantai	27
2.5.7.	Distribusi Kekakuan Secara Vertikal	2
2.5.7.1.	<i>Soft Storey</i>	29
2.5.8.	Beban dan Kombinasi Pembebanan	30
2.6.	Stabilitas Struktur	35
2.6.1.	Perhitungan Kekuatan Perlu	36
2.6.2.	Persyaratan Analisis	36
2.6.3.	Pertimbangan Ketidak Sempurnaan Awal	37
2.6.3.1.	Penggunaan Beban Notional	37
2.6.3.2.	Koreksi Kekakuan	38
2.7.	Desain Struktur SRPMK	39
2.7.1.	Prinsip SRPMK	40
2.7.2.	Strong Column / Weak Beam	41
2.7.3.	Menghindari Keruntuhan Geser	41
2.7.4.	Pendetailan Untuk Perilaku Daktail	42
2.7.5.	Reduksi Kekakuan Elemen Struktur	42
2.7.6.	Prosedur Perencanaan Struktur	42
2.7.6.1.	Balok Lentur dan Penulangan Longitudinal	42
2.7.7.	Joint Shear	44
2.7.8.	Gaya Geser Balok dan Tulangan Geser	46
2.7.9.	Desain Kolom	48
2.8.	Struktur Komposit	50
2.8.1.	Perkuatan Struktur	51
2.8.2.	Konfigurasi Struktur Baja Penahan Gaya Seismic	52
2.8.2.1.	Rangka Pemikul Momen	52
2.8.2.2.	Sistem Rangka Bresing Konsentrik	52

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1.	Diagram Alir Penelitian	53
3.2.	Pemodelan Struktur	54

3.3.Pembebanan Struktur	59
3.4. <i>Preliminary Design</i>	62
3.4.1. <i>Preliminary Design</i> Kolom	62
3.4.2. <i>Preliminary Design</i> Balok	63
3.4.3. <i>Preliminary Design</i> <i>Bressing</i>	63
3.5 Faktor Respon Gempa (C)	63
3.5.1 Faktor Keutamaan Struktur	67
3.5.2 Nilai Waktu Getar Alami Fundamental	67
3.5.3 Penentuan Faktor Respon Gempa (C)	68

BAB IV ANALISA PERHITUNGAN STRUKTUR

4.1 Tinjauan Umum	71
4.2 Hasil Analisa Gedung	71
4.2.1 Struktur Model 1 (SRPMK)	71
4.2.1.1 Berat Struktur	71
4.2.1.2 Koreksi Gaya Geser	73
4.2.1.3 Koreksi Faktor Redudansi	74
4.2.1.4 Gaya Geser Lantai	76
4.2.1.5 Nilai Simpangan	77
4.2.1.6 Pengaruh P-Delta	78
4.2.2 Struktur Model 2 (CBF - Komposit)	80
4.2.2.1 Berat Struktur	80
4.2.2.2 Koreksi Gaya Geser	82
4.2.2.3 Koreksi Faktor Redudansi	84
4.2.2.4 Gaya Geser Lantai	85
4.2.2.5 Nilai Simpangan	86
4.2.2.6 Pengaruh P-Delta	87
4.3 Hasil Perbandingan Pemodelan Struktur	89
4.3.1 Perbandingan Simpangan Antar Lantai	89
4.3.2 Perbandingan Gaya Geser Lantai	92

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	94
5.2 Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. : Faktor keutamaan (I) untuk berbagai gedung dan bangunan berdasarkan SNI 1726:2012	9
Tabel 2.2. : Kategori resiko Bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban banjir dan angin, salju, gempa dan es SNI 1726:2012	9
Tabel 2.3. : Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2012	11
Tabel 2.4. : Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons Percepatan pada perioda 1 detik berdasarkan SNI 1726:2012	11
Tabel 2.5. : Faktor koefisien modifikasi respons (R^a), faktor kuat lebih sistem (Q_0^s), faktor pembesaran defleksi (C_d^b), dan batasan tinggi sistem struktur (m) ^c berdasarkan SNI 1726:2012	12
Tabel 2.6. : Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2012	12
Tabel 2.7. : Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2012	16
Tabel 2.8. : Koefisien situs untuk PGA (F_{PGA}) berdasarkan SNI 1726:2012	17
Tabel 2.9. : Koefisien perioda pendek (F_a) berdasarkan SNI 1726:2012	19
Tabel 2.10. : Koefisien perioda 1,0 detik (F_v) berdasarkan SNI 1726:2012	19
Tabel 2.11. : Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan X berdasarkan SNI 1726:2012	23
Tabel 2.12. : Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2012	23
Tabel 2.13. : Simpangan antar lantai izin (Δ_a) berdasarkan SNI 1726:2012	28
Tabel 2.14. : Persyaratan masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar	35
Tabel 3.1. : Kombinasi yang digunakan sesuai dengan SNI 1727:2013	61
Tabel 3.2. : Dimensi kolom yang digunakan pada struktur	62
Tabel 3.3. : Dimensi balok yang digunakan pada struktur	63
Tabel 3.4. : Spektrum Respon untuk urutan warna gradiasi ke - 15 SNI-1727-2013	63
Tabel 3.5. : pengecekan T berdasarkan waktu getar alami <i>fundamental</i> menara mercusuar dengan penerapan Sistem Rangka Pemikul Momen	

Tabel 3.6.	: pengecekan T berdasarkan waktu getar alami <i>fundamental</i> menara mercusuar dengan penerapan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan penambahan Composite Bracing Frame (CBF – Composite) berdasarkan SNI 1727:2013	68
Tabel 3.7.	: Rangkuman nilai C_s yang digunakan pada model menara mercusuar dengan menggunakan SRPMK	69
Tabel 3.8.	: Rangkuman nilai C_s yang digunakan pada kedua model menara mercusuar dengan menggunakan SRPMK dan CBF – Komposit	70
Tabel 4.1.	: Massa struktur, pusat massa dan pusat kekakuan	72
Tabel 4.2.	: Gaya geser dasar nominal hasil analisis ragam respon spectrum	73
Tabel 4.3.	: Rekapitulasi faktor skala hasil respon spektrum dengan statik ekuivalen masing–masing arah Model 1	74
Tabel 4.4.	: Koreksi <i>story shear</i> dengan 35% <i>base shear</i> redundansi (ρ)	75
Tabel 4.5.	: Nilai gaya geser gabungan maksimum x dan y pada setiap lantai	76
Tabel 4.6.	: Nilai simpangan berdasarkan SNI 1726:2012	78
Tabel 4.7.	: Perhitungan P-Delta pada arah X berdasarkan SNI 1726:2012	79
Tabel 4.8.	: Perhitungan P-Delta pada arah Y berdasarkan SNI 1726:2012	79
Tabel 4.9.	: Massa struktur, pusat massa dan pusat kekakuan	81
Tabel 4.10.	: Gaya geser dasar nominal hasil analisis ragam respon spectrum	82
Tabel 4.11.	: Rekapitulasi faktor skala hasil respon spektrum static ekuivalen masing–masing arah Model 1	83
Tabel 4.12.	: Koreksi <i>story shear</i> dengan 35% <i>base shear</i> redundansi	84
Tabel 4.13.	: Nilai gaya geser gabungan maksimum x dan y pada setiap Lantai	85
Tabel 4.14.	: Nilai simpangan berdasarkan SNI 1726:2012	87
Tabel 4.14.	: Perhitungan P-Delta pada arah X berdasarkan SNI 1726:2012	88
Tabel 4.15.	: Perhitungan P-Delta pada arah Y berdasarkan SNI 1726:2012	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Jenis struktur dan perencanaan yang mengalami leleh	6
Gambar 2.2 : Grafik respon spektra pulau mursala (puskim.go.id)	8
Gambar 2.3 : Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (S_E) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI1726:2012)	14
Gambar 2.4 : Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (S_s) di batuan dasar (S_E) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012)	14
Gambar 2.5 : Peta respon spektra percepatan 1,0 detik (S_1) di batuan dasar (S_E) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012)	15
Gambar 2.6 : Bentuk tipikal spektrum respon desain di permukaan tanah (SNI1726:2012)	21
Gambar 2.7 : Penentuan simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726:2012. Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.13	28
Gambar 2.8 : Efek P-delta pada kolom.	37
Gambar 2.9 : Desain SRPMK mencegah terjadinya mekanisme soft story (a) dengan membuat kolom kuat sehingga drfit tersebar merata sepanjang lantai (c) atau sebagian besar lantai (b).	41
Gambar 2.10: Ketentuan Tulangan Longitudinal Balok (NIST GCR 8-917-1).	41
Gambar 2.11: Lokasi sendi plastis (NIST GCR 8-917-1).	44
Gambar 2.12: Lokasi Kelelehan (yielding) (NIST GCR 8-917-).	45
Gambar 2.13: Free body diagram pada (a) kolom dan (b) join	45
Gambar 2.14: Luasan Joint Efektif A_j (ACI 318-08).	46
Gambar 2.15: perhitungan kuat geser balok dengan mempertimbangkan M_{pr} .	47
Gambar 2.16: Ketentuan tulangan geser pada balok.	48
Gambar 2.17: Ketentuan kuat kolom (ACI 318-08).	49

Gambar 2.18: Mpr pada kolom dipengaruhi gaya aksial yang dipikulnya	49
Gambar 2.19: Tulangan Geser pada Kolom (NIST GCR 8-917-1).	50
Gambar 2.20: Perbandingan keefektifan perkuatan struktur	51
Gambar 3.1 : Diagram alir penelitian	53
Gambar 3.2 : Denah Struktur Menara Mercusuar	55
Gambar 3.3 : Tampak depan struktur menara mercusuar dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).	56
Gambar 3.4 : Tampak depan struktur menara mercusuar dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	57
Gambar 3.5 : Model 3 dimensi struktur menara mercusuar dengan Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	58
Gambar 3.6 : Model 3 dimensi struktur menara mercusuar dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan <i>Concentriclly Bracing Frame</i> (CBF-Komposit)	59
Gambar 3.7 : Respon Spektrum Pulau Mursarala	66
Gambar 4.1 : Grafik perbandingan nilai simpangan arah x terhadap ketinggian gedung (Model 1 dan 2)	90
Gambar 4.2 : Grafik perbandingan nilai simpangan arah y terhadap ketinggian gedung (Model 1 dan 2)	90
Gambar 4.3 : Grafik perbandingan nilai rasio simpangan antar tingkat arah x terhadap ketinggian gedung (Model 1 dan 2)	91
Gambar 4.4 : Grafik perbandingan nilai rasio simpangan antar tingkat arah y terhadap ketinggian gedung (Model 1 dan 2)	92
Gambar 4.5 : Grafik perbandingan nilai gaya geser dasar arah x terhadap ketinggian gedung (Model 1 dan 2)	93
Gambar 4.6 : Grafik perbandingan nilai gaya geser dasar arah y terhadap ketinggian gedung (Model 1 dan 2)	94

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

- a = faktor koreksi level gaya.
- C_d = factor pembesaran defleksi.
- C_s = koefisien respon seismik.
- CQC = *complete quadratic combination*
- CVX = factor distribusi vertikal.
- D = beban mati.
- DFBK = desain faktor beban dan ketahanan.
- E = modulus elastisitas baja 200000 MPa.
- F_a = koefisien situs periode pendek (pada periode 0,2 detik).
- F_i = gaya desain yang diterapkan di tingkat i .
- FPGA = faktor amplifikasi untuk PGA.
- F_v = koefisien situs pada perioda panjang (pada periode 1 detik).
- F_c' = kuat tekan beton, MPa.
- F_y = kuat leleh tulangan baja, MPa.
- g = percepatan gravitasi mm/det².
- H = tinggi gedung yang ditinjau, m.
- H_i = tinggi gedung pada tingkat i , m.
- I = faktor keutamaan hunian.
- I_e = faktor keutamaan gempa.
- I_x, I_y = momen inersia, m⁴.
- K = kekakuan tingkat.
- k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur.
- L = beban hidup.
- MCER = Maximum considered earthquake risk target. xvii
- M_u = momen lentur terfaktor, N.mm.
- M_p = momen plastis penampang.
- N_i = beban notional yang digunakan pada level i .
- p = faktor redudansi.
- R = faktor modifikasi respon.

SI = respon spektral percepatan gempa pada periode 1,0 detik.
 SDI = parameter respon spektral percepatan desain periode 1 detik.
 SDS = parameter respon spektral percepatan desain periode pendek.
 $SRSS$ = *Square Root The Sum of Square*.
 Ss = respon spektral percepatan gempa perioda pendek 0,2 detik.
 SI = respon spektral percepatan gempa periode 1,0 detik.
 T = perioda getar fundamental struktur.
 $T0$ = 0,2 SDI/SDS , detik.
 Tw = tebal badan pelat baja.
 Tf = tebal sayap pelat baja.
 V = gaya geser desain total.
 Vt = gaya geser dasar dari kombinasi modal respon spektrum.
 W = berat seismik efektif.
 Wt = berat total gedung.
 Wi = berat lantai di tingkat i .
 Yi = beban gravitasi di level i dari kombinasi pembebanan DFBK.
 Zx = modulus penampang plastis pada arah x , mm^3 .
 Δi = simpangan antar tingkat yang telah dibagi faktor skala, cm .
 Δu = perpindahan rencana, mm .

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1.LatarBelakang

Indonesia merupakan negara maritim atau kepulauan terbesar didunia, antara pulau satu dengan pulau lainnya dipisahkan oleh laut selain itu Indonesia juga termasuk kedalam wilayah *ring of fire*, dimana hampir seluruh kepulauan yang ada berpotensi mengalami gempa. Gempa yang timbul di pusat gempa (*episentrum*) akan menyebabkan perambatan gelombang sehingga tanah ikut bergerak (*ground motion*) dan akan menyebabkan kerusakan dan keruntuhan pada bangunan di sekitarnya.

Sebagai engineer sudah selayaknya dan merupakan sebuah kewajiban kita dalam merancang Struktur bangunan tahan gempa sebagai salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan agar terciptanya bangunan *life safety*, khusus nya menara mercusuar untuk membantu navigasi kapal laut di Indonesia, artinya saat gempa terjadi struktur bangunan tersebut masih memiliki kekuatan dan kekakuan sebelum mencapai batas keruntuhannya.

Menara Mercusuar biasanya di gunakan untuk menandai daerah-daerah yang berbahaya, misalnya karang dan daerah laut yang dangkal. Pada umumnya menara mercusuar yang dibangun di lepas pantai atau pulau-pulau kecil maupun bebatuan karang berbentuk kerucut atau dengan kata lain memiliki dimensi bagian bawah lebih besar dibandingkan dengan dimensi bagian atasnya hal tersebut diterapkan untuk mendukung daya tahan struktur terhadap beban-beban yang bekerja.

Penerapan metode SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) yang menghasilkan struktur fleksibel (memiliki daktilitas yang tinggi) dan *Concentrically Braced Frame* (CBF) dengan kemampuan menahan beban lateral yang di dapat dari pengaku (*bracing*) dengan mengembangkan aksi gaya dalam aksial dan lentur yang relatif kecil, merupakan alternatif pilihan dalam perancangan struktur tahan gempa. Berdasarkan konsep diatas maka penulisan tugas akhir ini akan mengkaji tentang kinerja dari bangunan menara mercusuar dengan 2 sampel struktur sebagai pembanding, sedangkan analisa beban gempa menggunakan respon spectrum dan interaksi antara struktur dengan tanah

dianggap oke.

1.2.Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas, masalah yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tata letak formasi struktur sistem rangka pemikul moment khusus (SRPMK) dan *Concentrically Braced Frame* (CBF) – Komposit pada menara mercusuar ?
2. Bagaimana tinjauan analisis menara mercusuar dengan penerapan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) terhadap gaya gempa ?
3. Bagaimana kinerja / respon menara mercusuar dengan penerapan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) setelah diberi pengaku CBF-Komposit terhadap gaya gempa ?

1.3. Batasan Masalah

1. Bangunan menara mercusuar direncanakan akan dibangun di pulau mursala kabupaten tapanuli tengah dengan kondisi site adalah bebatuan.
2. Analisa struktur terhadap gaya gempa mengacu pada SNI:1726:2012 serta pembebanan beban mati struktur berpedoman pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk rumah dan gedung (PPURG 1983).
3. Pedoman Pembebanan berdasarkan beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain sesuai SNI:1727:2013.
4. Adapun analisis beban gempa ditinjau dalam bentuk 3 dimensi menggunakan *software* analisis struktur .
5. Asumsi seluruh perletakan pondasi adalah perletakan jepit.

1.4. Tujuan Penelitian

Dalam hal penulisan tugas akhir ini, ada beberapa tujuan penulis yang ingin dicapai antara lain:

1. Merencanakan profil bresing pada menara mercusuar.
2. Untuk mengetahui perbandingan kinerja / respon terhadap gaya gempa dari penerapan SRPMK dan CBF – Komposit pada menara mercusuar.
3. Untuk mengetahui perbandingan nilai *drift story*, *displacement* pada penerepan SRPMK dan CBF – Komposit pada menara mercusuar.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat antara lain:

1.5.1 Teoritis

1. Memberikan sumbangan ilmu pengetahuan terutama dalam bidang struktur tahan gempa serta bahan acuan bagi peneliti selanjutnya.

1.5.2 Praktis

1. Dapat digunakan sebagai bahan acuan bagi mahasiswa dalam penelitian selanjutnya.
2. Diharapkan penelitian inin dapat digunakan sebagai acuan perencanaan struktur tahan gempa yang mampu menahan gaya gempa mulai dari tingkat sedang sampai tinggi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai latar belakang masalah, ru,usan masalah, tujuan penelitian batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini menyajikan penjelasan mengenai konsep perencanaan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan *Concentrically Braced Frame*.

BAB 3 Metodologi Penulisan

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai cara memodelkan dan mendesain tata letak struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan *Concentrically Braced Frame* dengan menggunakan *softwere* analisis struktur.

BAB 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai perhitungan, analisa, serta perbandingan hasil analisis dari tata letak Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan *Concentrically Braced Frame* untuk bangunan sesuai persyaratan bangunan gedung dan non gedung tahan gempa.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini akan menyajikan penjelasan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari hasil analisis yang dilakukan serta saran untuk pengembangan penselitian lebih lanjut.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

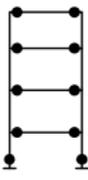
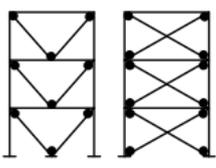
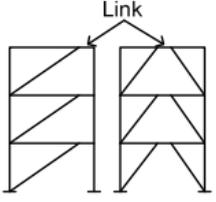
2.1 Pendahuluan

Perencanaan struktur tahan gempa mensyaratkan kekuatan, kekakuan dan stabilitas struktur pada komponen-komponennya. Konsep dasar statika, dinamika, mekanika bahan dan analisa struktur harus benar dipahami oleh seorang perencana, agar struktur yang direncanakan dapat memenuhi kriteria stuktur tahan gempa menurut standarisasi nasional Indonesia.

Kemungkinan terjadinya gempa besar pada umur layan bangunan sangat kecil sehingga merencanakan struktur tetap berperilaku elastik saat gempa besar terjadi sangat tidak ekonomis. Dalam hal ini, lebih baik mendisain dengan gempa rencana yang lebih kecil tetapi dapat menyerap energi gempa tersebut dengan baik dari pada mendesain secara elastis yang akan menghasilkan dimensi struktur yang besar.

Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur tahan gempa konsep yang diterapkan adalah disipasi energi melalui plastifikasi komponen struktur tertentu, tanpa menyebabkan keruntuhan struktur sehingga kinerja struktur baja ditentukan oleh penyerapan energi secara efektif melalui terbentuknya sendi plastik pada komponen tersebut.

Bangunan kita rencanakan mengalami leleh pada daerah yang telah kita tentukan dengan cara elemen-elemen struktur tersebut tidak dibuat sama kuat terhadap gaya yang direncanakan, tetapi ada elemen-elemen struktur atau titik pada struktur yang dibuat lebih lemah dibandingkan dengan yang lain dengan harapan di elemen atau titik itulah kegagalan struktur terjadi pada saat beban maksimum bekerja. Perencanaan daerah yang mengalami leleh tersebut ditentukan berdasarkan jenis struktur. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.1.

	Sistem struktur	Bagian yang leleh
	<p>Sistem rangka pemikul momen</p> <p>Moment resisting frames</p>	Ujung balok
	<p>Sistem rangka bresing konsentrik</p> <p>Concentricly braced frames</p>	Pelat buhul
	<p>Sistem rangka bresing eksentrik</p> <p>Eccentrically braced frames</p>	<i>Link</i>

Gambar 2.1: Jenis struktur dan perencanaan yang mengalami leleh.

Dalam bab ini penulis akan membahas beberapa teori yang mendasari penulisan tugas akhir ini, antara lain:

- Konsep perencanaan bangunan tahan gempa berdasarkan studi komparasi desain bangunan tahan gempa yang mengacu pada SNI 1726:2012.
- Konsep perencanaan spesifikasi untuk bangunan baja struktural SNI 1729:2015.
- Konsep perencanaan beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain SNI 1727:2013.

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) mempunyai kemampuan menyerap energi yang baik. Penyerapan energi tersebut memerlukan terjadinya simpangan yang cukup besar, sehingga dapat menyebabkan kerusakan nonstruktural yang besar. Pengembangan dari sistem SRPM adalah sistem rangka bresing konsentrik (SRBK) yang memiliki kekakuan yang cukup baik dengan adanya elemen pengaku.

2.2 Konsep perencanaan Struktur Tahan Gempa

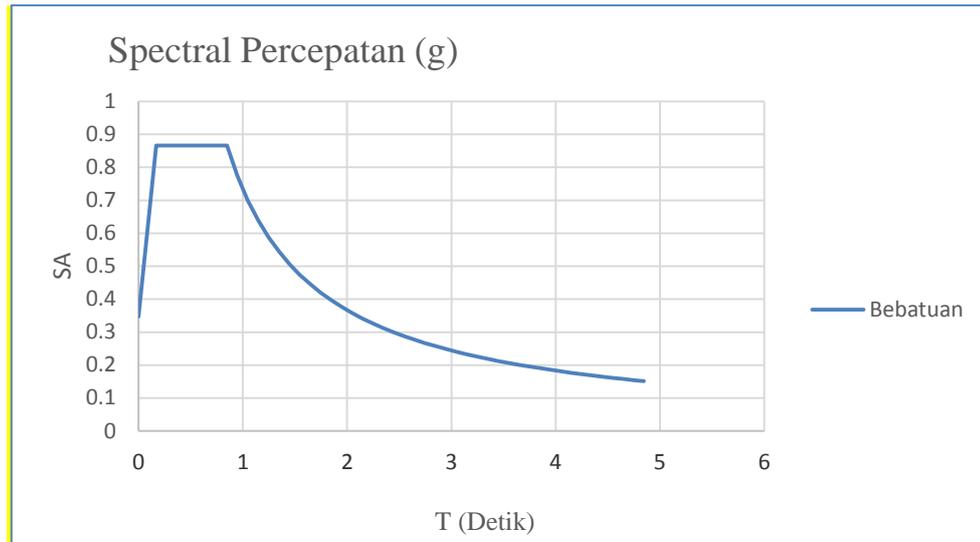
Konsep desain tahan gempa yang umum digunakan adalah konsep *capacity design*. Konsep ini merupakan konsep desain yang memperhitungkan distribusi momen ketika ada bagian dari struktur yang sudah mengalami leleh sehingga pada struktur akan terbentuk sendi plastis yang menyebabkan terjadinya mekanisme keruntuhan plastis.

Filosofi dasar dari perencanaan struktur bangunan tahan gempa adalah terdapatnya komponen struktur yang diperbolehkan untuk mengalami kelelahan. Salah satu aspek penting dalam merencanakan bangunan tahan gempa adalah daktilitas. Daktilitas didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk berdeformasi secara plastis tanpa mengalami fraktur. Sebaliknya, kegetasan adalah kualitas bahan yang menyebabkan keretakan tanpa mengalami deformasi plastis. Dalam perspektif tersebut, baja struktur adalah material yang paling daktil yang secara luas digunakan dalam rekayasa material. Pada konsep perencanaan struktur tahan gempa harus diperhitungkan kemampuan dalam memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, diantaranya adalah beban gravitasi dan beban lateral (gempa dan angin).

Berdasarkan *uniform building code* (UBC) 1997, tujuan desain bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa, dengan tiga kriteria standar sebagai berikut:

1. Ketika terjadi gempa kecil, tidak terjadi kerusakan sama sekali.
2. Ketika terjadi gempa sedang, diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektural tetapi bukan merupakan kerusakan struktural.
3. Ketika terjadi gempa kuat, diperbolehkan terjadinya kerusakan structural dan non structural namun kerusakan yang terjadi tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh.

Berikut ini adalah grafik dan table respon spectra pada wilayah gempa 5 untuk kondisi batuan, tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak.



Gambar 2.2: Grafik respon spektra pulau mursala (puskim.go.id).

2.3. Beban Gempa dan Kinerja Pada Gedung

2.3.1. Perhitungan Berat Bangunan

Berat dari masing-masing lantai pada struktur perlu dihitung besarnya, karena beban gempa sangat berpengaruh pada struktur bangunan saat terjadi gempa. Karena kemungkinan terjadinya gempa bersamaan dengan beban hidup yang bekerja penuh pada bangunan adalah kecil, oleh karena itu beban hidup yang bekerja dapat direduksi besarnya.

2.3.2. Faktor Keutamaan Struktur

Menurut SNI 1726:2012, pengaruh Gempa Rencana harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan (I) menurut Pers. 2.1.

$$I = I_1 \cdot I_2 \quad (2.1)$$

dimana:

I_1 = Faktor keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa selama umur rencana dari gedung.

I_2 = Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan umur rencana dari gedung tersebut.

Tabel 2.1: Faktor Keutamaan (I) untuk berbagai gedung dan bangunan berdasarkan SNI 1726:2012.

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan		
	<i>I₁</i>	<i>I₂</i>	<i>I₃</i>
Gedung umum seperti untuk penghunian,perniagaan dan kantor	1,0	1,0	1,0
Gomen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio, dan televise	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam dan bahan beracun	1,6	1,0	1,6
Cerobong , tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 4.1.2 mengenai Faktor keutamaan dan kategori resiko struktur bangunan menyatakan untuk berbagai kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 1 SNI 1726:2012, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I menurut Tabel 2 SNI 1726:2012. Berikut kategori resiko dan faktor keutamaan dengan jenis pemanfaatan gedung yaitu gedung kantor yang disajikan pada Tabel 2.2 dan 2.3.

Tabel 2.2: Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban banjir, angin, salju, gempa dan Es berdasarkan SNI 1727:2013.

Jenis pemanfaatan	Kategori Risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam Kategori Risiko I, II, dan IV	II

Tabel 2.2 :*Lanjutan.*

Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Risiko
<p>bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam risiko IV dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari-ke-hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam risiko kategori IV (termasuk namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak dimana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada public jika dirilis.</p>	<p>III</p>
<p>Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun dimana</p>	<p>IV</p>

Tabel 2.2 :*Lanjutan.*

Jenis pemanfaatan	Kategori Risiko
jika dirilis. Bangunan dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari kategori risiko IV struktur lainnya.	

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

Kategori resiko	Faktor Keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Dari kategori resiko diperoleh kategori desain seismik pasal 6.5 berdasarkan SNI 1726:2012 yang didasari dengan nilai parameter respons percepatan pada perioda pendek (SDS), dan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik (S1), yang dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan 2.5.

Tabel 2.4: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek berdasarkan SNI 1726:2012.

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

Tabel 2.5: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan

pada perioda 1 detik berdasarkan SNI 1726:2012.

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

Di dalam SNI 1726:2012 Pasal 7.2 Struktur penahan gaya gempa dimana sistem penahan gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan pada struktur memiliki penahan gaya seismik yang ditentukan oleh parameter yang disajikan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6: Faktor koefisien modifikasi respons (R^a), faktor kuat lebih sistem (Ω_0^g), faktor pembesaran defleksi (C_d^b), dan batasan tinggi sistem struktur (m^c) berdasarkan SNI 1726:2012.

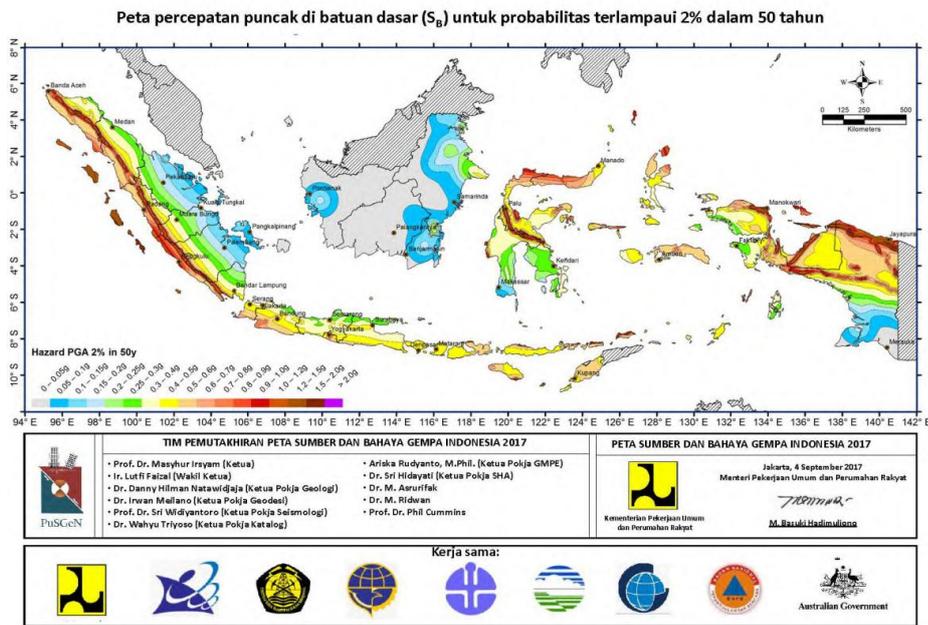
Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, (m^c)				
				Kategori desain Seismic				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^c
Sistem rangka pemikul momen: Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5/2	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 2.6 :*Lanjutan.*

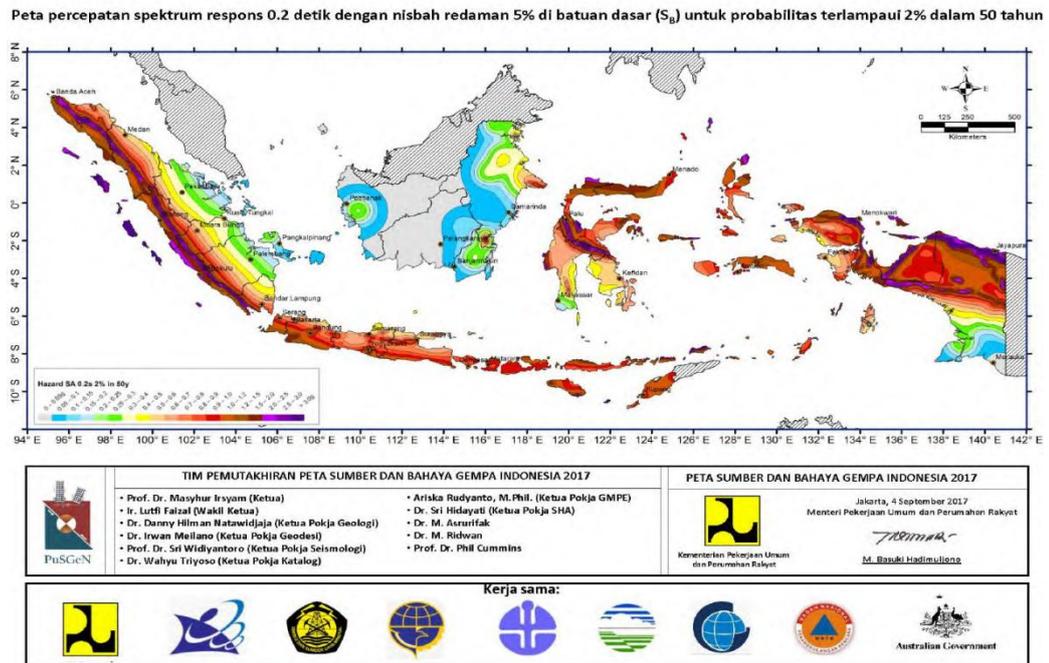
Sistem penahan gaya Seismic	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembebasan defleksi C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, (m) ^c				
				Kategori desain Seismic				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 5 persen gaya gempa yang ditetapkan: Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB

2.3.3. Faktor Respon Gempa (C)

Berdasarkan SNI 1726:2012, didapat peta perioda ulang 2500 tahun disajikan pada Gambar 2.1-2.3 dan cara mendapatkan respon spektranya.



Gambar 2.3: Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (S_E) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012).



Gambar 2.4: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (S_s) di batuan dasar (S_E) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012).

Tabel 2.7: Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2012.

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w = 40$ persen, dan kuat geser niralinir $S_u < 25$ 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: <ul style="list-style-type: none"> • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah • Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) • Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah tegu dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa 		

2.4.1. Percepatan Tanah Puncak

Berdasarkan SNI 1726:2012, untuk menentukan besarnya percepatan tanah puncak diperoleh dengan mengalikan koefisien situs F dengan nilai PGA yang diperoleh dari peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (S_E) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5%. Besarnya F_{PGA} tergantung dari klasifikasi situs yang didasarkan pada Tabel 2.7 dan nilainya ditentukan sesuai Tabel 2.8.

Tabel 2.8: Koefisien situs untuk PGA (F_{PGA}) berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi situs (sesuai Tabel 2.7)	PGA				
	PGA≤0,1	PGA=0,2	PGA=0,3	PGA=0,4	PGA≥0,5
Batuan Keras (S_A)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (S_B)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah sangat padat dan batuan lunak (S_C)	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0
Tanah sedang (S_D)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah lunak (S_E)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah khusus (S_F)	SS	SS	SS	SS	SS

Keterangan:

PGA = Nilai PGA di batuan dasar (S_E) mengacu pada peta Gempa SNI 1726:2012 (Gambar 2.1).

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respon spesifik.

Percepatan tanah puncak dapat diperoleh dengan menggunakan Pers. 2.2.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (2.2)$$

Dimana:

$PGAM$ = Nilai percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

F_{PGA} = Nilai koefisien situs untuk PGA.

2.4.2. Penentuan Respon Spektra Percepatan Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012 untuk menentukan respon spektra percepatan gempa di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi seismik pendek 0,2 detik (F_a) dan perioda 1,0 detik (F_v). Selanjutnya parameter respons spectra percepatan gempa di permukaan tanah dapat diperoleh dengan cara mengalikan koefisien F_a dan F_v dengan spektra percepatan untuk perioda pendek 0,2 detik (S_s) dan perioda 1,0 detik (S_l) di batuan dasar yang diperoleh dari peta gempa Indonesia SNI 1726:2012 sesuai Pers. 2.3 dan 2.4:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.3)$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_l \quad (2.4)$$

Dimana:

S_s = Nilai parameter respon spektra percepatan gempa perioda pendek 0,2 detik di batuan dasar (S_E) mengacu pada peta Gempa SNI 1726:2012 (Gambar2.2).

S_l = Nilai parameter respon spektra percepatan gempa perioda pendek 1,0 detik di batuan dasar (S_E) mengacu pada peta Gempa SNI 1726:2012 (Gambar2.3).

F_a = Koefisien perioda pendek.

F_v = Koefisien perioda 1,0 detik

Tabel 2.9 dan 2.10 memberikan nilai-nilai F_a dan F_v untuk berbagai klasifikasi situs.

Tabel 2.9: Koefisien perioda pendek (F_a) berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi situs (sesuai Tabel 2.7)	S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 0,4$	$S_s \geq 1,25$
Batuan Keras (S_A)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (S_B)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah sangat padat dan batuan lunak (S_C)	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0
Tanah sedang (S_D)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah lunak (S_E)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah khusus (S_F)	SS	SS	SS	SS	SS

Tabel 2.10: Koefisien perioda 1,0 detik (F_v) berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi situs (sesuai Tabel 2.7)	S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 5$
Batuan Keras (S_A)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (S_B)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Klasifikasi situs (sesuai Tabel 2.7)	S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 5$
Tanah sangat padat dan batuan lunak (S_C)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah sedang (S_D)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah lunak (S_E)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah khusus (S_F)	SS	SS	SS	SS	SS

Menurut SNI 1726:2012 untuk mendapatkan parameter percepatan spektra desain, spektra percepatan desain untuk perioda pendek (S_{Ds}) dan perioda 1 detik (S_{D1}) dapat diperoleh dari Pers. 2.5 dan 2.6.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.5)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.5)$$

Dimana:

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

S_{DI} = Respon spektra percepatan desain untuk perioda 1,0 detik

Selanjutnya, untuk mendapatkan spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.4 dan mengikuti ketentuan berikut:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a didapatkan dari Pers. 2.7.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.7)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS} .
3. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain S_a diambil berdasarkan Pers. 2.8.

$$S_a = \frac{SD1}{T} \quad (2.8)$$

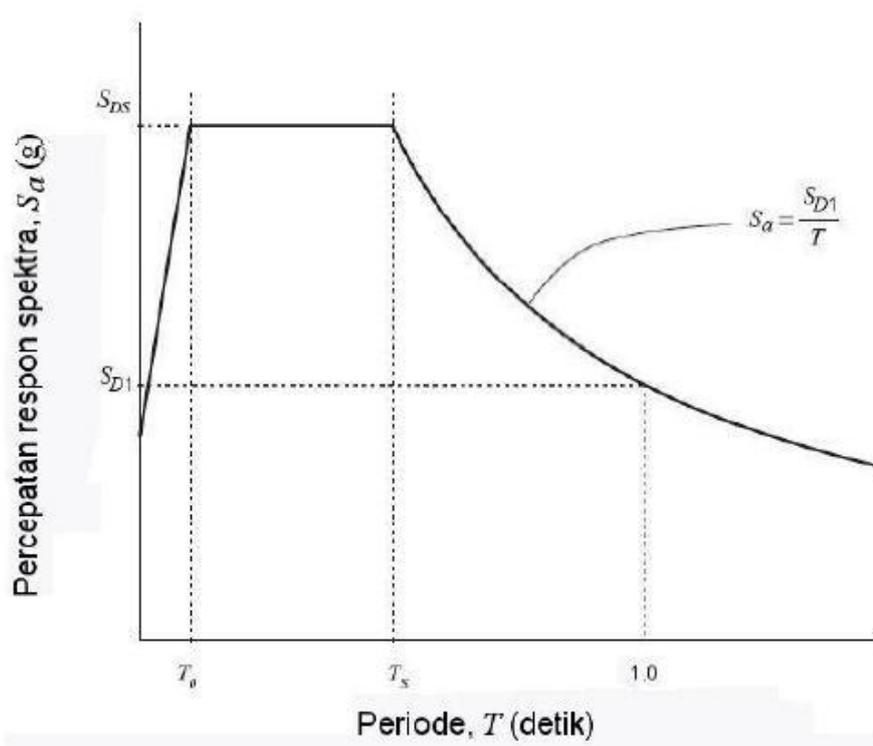
Dimana:

T = Perioda getar fundamental struktur

Untuk nilai T_0 dan T_s dapat ditentukan dengan Pers. 2.9 dan 2.10.

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{T} \quad (2.9)$$

$$T_s = 0,2 \frac{SD1}{S_{DS}} \quad (2.10)$$



Gambar 2.6: Bentuk tipikal spektrum respon desain di permukaan tanah (SNI 1726:2012).

2.5. Analisis Gaya Lateral Ekuivalen

2.5.1. Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2012, gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Pers. 2.11.

$$V = C_s \cdot W_t \quad (2.11)$$

Dimana:

C_s = Koefisien respon seismik yang ditentukan.

W_t = Berat total gedung.

Menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1, persamaan-persamaan yang digunakan untuk mendapatkan koefisien C_s adalah:

1. C_s maksimum

Untuk C_s maksimum ditentukan dengan Pers. 2.12.

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.12)$$

Dimana:

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang periode pendek.

R = Faktor modifikasi respon.

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.1.

Nilai $C_s \text{ maksimum}$ di atas tidak perlu melebihi $C_s \text{ hitungan}$ pada Pers. 2.13.

2. $C_s \text{ hasil hitungan}$

$$C_s \text{ hasil hitungan} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.13)$$

dimana:

S_D = Parameter percepatan respon spektrum desain pada periode 1 detik.

R = Faktor modifikasi respon.

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.1.

T = Periode struktur dasar (detik).

Nilai $C_s \text{ hitungan}$ di atas tidak perlu kurang dari nilai $C_s \text{ minimum}$ pada Pers. 2.14.

3. $C_s \text{ minimum}$

$$C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} \quad I \geq 0,01 \quad (2.14)$$

dimana:

S_{DS} = Parameter percepatan spectrum respon desain dalam rentang periode pendek.

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.1.

Sedangkan sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_1 jika lebih besar dari 0,6g maka C_s harus tidak kurang dari Pers. 2.15.

$$C_s \text{ minimum tambahan} = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.15)$$

Dimana:

S_1 = Parameter percepatan spektrum respon desain yang dipetakan.

R = Faktor modifikasi respon berdasarkan tabel 2.6.

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.1.

2.5.2. Periode Alami Fundamental

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 5.6, periode struktur fundamental (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode struktur fundamental memiliki nilai batas minimum dan batas maksimum. Nilai - nilai tersebut adalah:

1. Periode fundamental pendekatan minimum ($T_{a \text{ minimum}}$) ditentukan dari Pers 2.16.

$$T_{a \text{ minimum}} = C_t h_n^x \quad (2.16)$$

Dimana:

$T_{a \text{ minimum}}$ = Nilai batas bawah periode bangunan.

H_n = Ketinggian struktur dalam m diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (meter).

C_t = Ditentukan dari Tabel 2.11.

X = Ditentukan dari Tabel 2.11.

Tabel 2.11: Nilai parameter periode pendekatan C_t dan X berdasarkan SNI 1726:2012.

Tipe Struktur	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau		

Tabel 2.11: *Lanjutan*

Tipe Struktur	Ct	X
dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi		
Rangka baja pemikul	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

2. Periode fundamental pendekatan maksimum ($T_{a \text{ maksimum}}$) ditentukan dari Pers.2.17.

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u T_{a \text{ minimum}} \quad (2.17)$$

Dimana:

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

C_u = Ditentukan dari Tabel 2.12.

Tabel 2.12: Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2012.

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

2.5.3. Ketentuan Untuk Analisis Respon Dinamik

Berdasarkan Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa, parameter respon terkombinasi respons masing-masing ragam yang ditentukan melalui

spektrum respons rencana gempa merupakan respons maksimum. Pada umumnya, respons masing-masing ragam mencapai nilai maksimum pada saat yang berbeda sehingga respons maksimum ragam-ragam tersebut tidak dapat dijumlahkan begitu saja. Terdapat dua cara metode superposisi, yaitu metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) dan Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan ragam respons menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Untuk penjumlahan respons ragam yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode yang telah disebutkan sebelumnya yaitu Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan apabila selisihnya kurang dari 15%. Untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode yang dikenal dengan Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*).

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 85% nilai respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser V_t , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dalam Pers. 2.18 berikut:

$$V_t \geq 0,85 V_l \quad (2.18)$$

Dimana:

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

Maka, apabila nilai akhir respon dinamik lebih kecil dari nilai respons ragam pertama, gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisis spektrum respons ragam dalam suatu arah tertentu harus dikalikan nilainya dengan suatu faktor skala yang ditentukan dengan Pers. 2.19.

$$\text{Faktor skala} = \frac{0,85V_t}{V_t} \geq 1 \quad (2.19)$$

Dimana:

V_t = Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spectrum respons yang telah dilakukan.

V_1 = Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekuivalen.

2.5.4. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.3, gaya gempa lateral (F_i) yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dari Pers. 2.20 dan 2.21.

$$F_i = C_{vx} \cdot V \quad (2.20)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.21)$$

Dimana:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal.

V = Gaya geser atau gaya lateral desain total.

w_i = Bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang dikenakan atau ditempatkan pada tingkat-i.

h_i = Tinggi (meter) dari dasar sampai tingkat ke-i.

k = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

- Untuk struktur yang memiliki $T = 0,5$ detik; $k = 1$.
- Untuk struktur yang memiliki $T = 2,5$ detik; $k = 2$.
- Untuk struktur yang memiliki $0,5 < T < 2,5$; k adalah hasil interpolasi.

2.5.5. Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012, geser tingkat desain gempa disemua tingkat (V_x) harus ditentukan dari Pers. 2.22.

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.22)$$

Dimana:

F_i = Bagian dari geser dasar seismik (V) (kN) yang timbul di tingkat ke- i .

2.5.6. Penentuan Simpangan Antar lantai

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.6, simpangan antar lantai pada SNI 1726:2012 hanya terdapat satu kinerja, yaitu pada kinerja batas ultimit. Penentuan simpangan antar lantai 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.

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) dalam mm harus ditentukan sesuai dengan Pers. 2.23.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_e}{I_e} \quad (2.23)$$

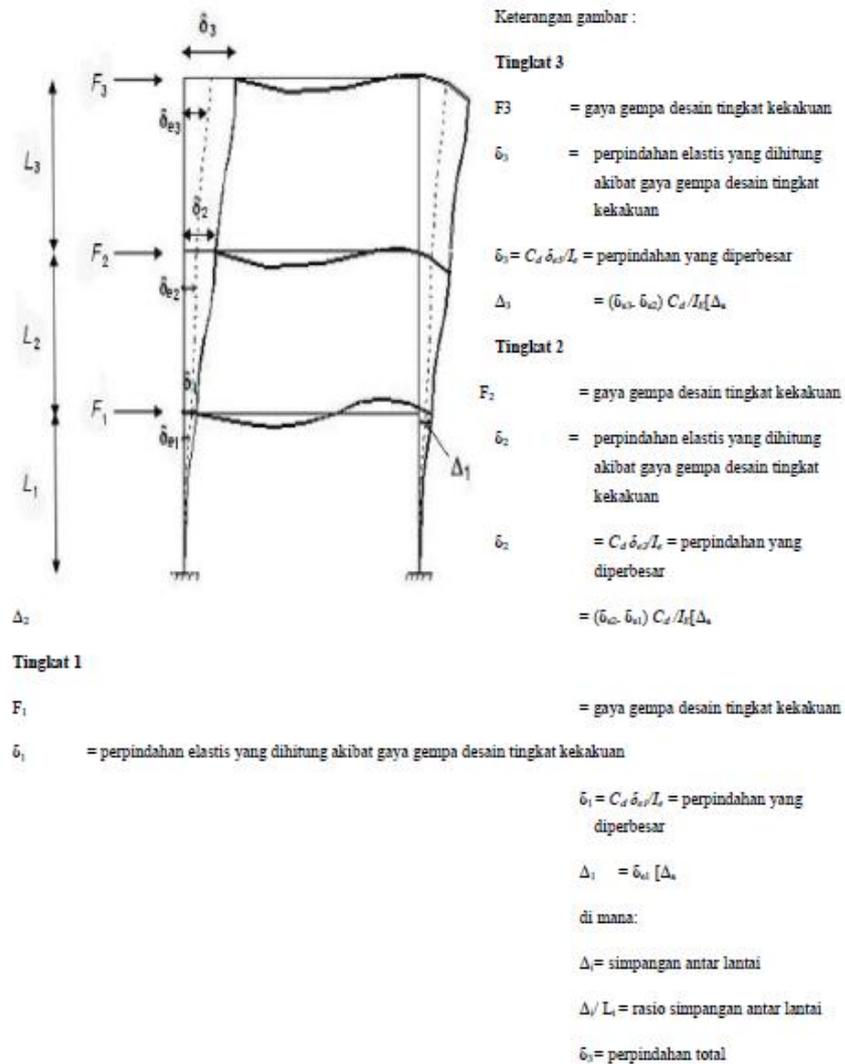
Dimana:

C_d = Faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 2.6.

δ_{xe} = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan dan ditentukan sesuai dengan analisis elastis.

I_e = Faktor keutamaan yang ditentukan sesuai dengan Tabel 2.3.

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.13.



Gambar 2.7: Penentuan simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726:2012.

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13: Simpangan antar lantai izin (Δ_a) berdasarkan SNI 1726:2012.

Struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain struktur dinding geser batu			

Tabel 2.13: *Lanjutan.*

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

2.5.7. Distribusi Kekakuan secara Vertikal

Berdasarkan Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan Kekakuan merupakan salah satu unsur penting terhadap kestabilan struktur bangunan. Struktur bangunan harus cukup kaku agar mampu menahan beban baik beban gravitasi maupun beban horisontal dengan nilai simpangan/*displacement* yang masih relatif kecil. Simpangan yang relatif besar walaupun tegangan bahannya masih relatif aman akan menjadi bangunan yang kurang/tidak nyaman untuk ditempati. Struktur atau elemen yang pendek umumnya akan ditentukan oleh keterbatasan tegangan sedangkan struktur/elemen yang besar/panjang umumnya simpangan akan menjadi penentu tingkat layanan.

Sebagaimana pada denah dan potongan, distribusi kekakuan secara vertikal menurut tinggi bangunan dipandang sebagai sesuatu yang sangat penting untuk diperhatikan. Menurut pengamatan kerusakan bangunan akibat gempa distribusi banyak diantaranya bersumber pada distribusi kekakuan secara vertikal yang tidak baik.

2.5.7.1. *Soft Storey*

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

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

Soft storey adalah suatu tingkat yang lemah, yang kekakuannya jauh lebih kecil dari pada tingkat-tingkat yang lain. Oleh karena itu dalam merencanakan kekakuan tingkat harus berhati-hati agar tidak terjadi *Soft Storey*. Kekakuan tingkat untuk setiap kolom pada lantai yang sama dapat diperkirakan dengan Pers. 2.24.

$$K = \frac{12EI}{h^3} \quad (2.24)$$

Dimana:

h = Tinggi tingkat (cm).

I = Inersia kolom (m⁴).

K = Kekakuan tingkat (kg/cm).

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

2.5.8. **Beban dan Kombinasi Pembebanan**

Beban kerja pada struktur atau komponen struktur bisa ditetapkan berdasarkan peraturan pembebanan yang berlaku.

Beban mati adalah beban-beban yang bersifat tetap selama masa layan, antara lain berat struktur, pipa-pipa, saluran-saluran listrik, AC, lampu-lampu, penutup lantai/atap, dan plafon.

Beban hidup adalah beban-beban yang berubah besar dan lokasinya selama masa layan, antara lain berat manusia, perabotan, peralatan yang dapat pindahpindah, kendaraan, dan barang-barang lainnya.

Beban angin adalah tekanan-tekanan yang berasal dari gerakan-gerakan angin. Umumnya perlu diperhitungkan pada luas bidang tangkap angin yang relatif luas pada bangunan dengan beban-beban yang relatif ringan.

Beban gempa adalah gaya-gaya yang berasal dari gerakan-gerakan tanah dikombinasi dengan sifat-sifat dinamis struktur karena seringkali percepatan horizontal tanah lebih besar daripada percepatan vertikal, dan struktur secara umum lebih sensitif terhadap gerakan horizontal dari pada gerakan vertikal, maka pengaruh gempa horizontal seringkali lebih menentukan daripada pengaruh gempa vertikal.

Kombinasi beban untuk metode ultimit struktur, komponen-komponen struktur dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sedemikian hingga kekuatan rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor.

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.4, faktor-faktor beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal, dan beban gempa nominal sama seperti pada SNI 1726:2002. Akan tetapi, pada kombinasi yang terdapat beban gempa di dalam persamaannya harus didesain berdasarkan pengaruh beban seismik yang ditentukan seperti berikut ini.

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3. 1.46 DL + 1 LL + 0,39 Ex + 1,3 Ey
4. 0.94 DL + 1 LL - 0,39 Ex - 1,3 Ey
5. 1.06 DL + 1 LL + 0,39 Ex - 1,3 Ey
6. 1,34 DL + 1 LL - 0,39 Ex + 1,3 Ey
7. 1,46 DL + 1 LL + 0,39 Ex + 1,3 Ey
8. 0,94 DL + 1 LL - 1,3 Ex + 0,39 Ey
9. 1,34 DL + 1 LL + 1,3 Ex - 0,39 Ey
10. 1,06 DL + 1 LL - 1,3 Ex + 0,39 Ey
11. 1,16 DL + 0,39 Ex + 1,3 Ey
12. 0,64 DL - 0,39 Ex - 1,3 Ey

13. $0,76 DL + 0,39 Ex - 1,3 Ey$
14. $1,04 DL - 0,39 + 1,3 Ey$
15. $1,16 DL + 1,3 Ex + 0,39 Ey$
16. $0,64 DL - 1,3 Ex - 0,39 Ey$
17. $1,04 DL + 1,3 Ex - 0,39 Ey$
18. $0,76 DL - 1,3 Ex + 0,39 Ey$
19. $1,46 DL + 1 LL + 0,39 Ex + 1,3 Eyx$
20. $0,94 DL + 1 LL - 0,39 Exy - 1,3 Eyx$
21. $1,06 DL + 1 LL + 0,39 Exy - 1,3 Eyx$
22. $1,34 DL + 1 LL - 0,39 Exy + 1,3 Eyx$
23. $1,46 DL + 1 LL - 0,39 Exy + 1,3 Eyx$
24. $0,94 DL + 1 LL - 1,3 Exy - 0,39 Eyx$
25. $1,34 DL + 1 LL + 1,3 Exy - 0,39 Eyx$
26. $1,06 DL + 1 LL - 1,3 Exy + 0,39 Eyx$
27. $1,16 DL + 0,39 Exy + 1,3 Eyx$
28. $0,64 DL - 0,39 Exy - 1,3 Exy - 1,3 Eyx$
29. $0,76 DL + 0,39 Exy - 1,3 Eyx$
30. $1,04 DL - 0,39 + 1,3 Eyx$
31. $1,16 DL + 1,3 Exy + 0,39 Eyx$
32. $0,64 DL - 1,3 Exy - 0,39 Eyx$
33. $1,04 DL + 1,3 Exy - 0,39 Eyx$
34. $0,76 DL - 1,3 Exy + 0,39 Eyx$

Dimana :

DL = Beban mati

LL = Beban hidup

Ex = Beban gempa arah-x

Ey = Beban gempa arah-y

Exy = Beban gempa arah -x terhadap -y

Eyx = Beban gempa arah -y terhadap -x

ρ = Faktor reduksi, untuk desain seismik D sampai F nilainya 1,3

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desain pada perioda pendek

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (3) dan (4), E harus didefinisikan

sesuai dengan Pers. 2.25.

$$E = E_h + E_v \quad (2.25)$$

- Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (5) dan (6), E harus didefinisikan sesuai dengan Pers. 2.26

$$E = E_h - E_v \quad (2.26)$$

Dimana :

E = Pengaruh beban seismik

E_h = Pengaruh beban seismik horizontal yang akan didefinisikan selanjutnya

E_v = Pengaruh beban seismik vertikal yang akan didefinisikan selanjutnya

- Untuk pengaruh beban seismik E_h harus ditentukan dengan Pers. 2.27.

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.27)$$

Dimana:

Q = Pengaruh gaya seismik horizontal dari V atau F_p

ρ = Faktor reduksi, untuk desain seismik D sampai F nilainya 1,3

- Sedangkan pengaruh beban seismik E_v harus ditentukan dengan Pers. 2.28.

$$E_v = 0,2 S_{Ds} DL \quad (2.28)$$

Dimana:

S_{Ds} = Parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda pendek

DL = Pengaruh beban mati

Faktor reduksi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya seismik masing-masing dalam kedua arah ortogonal untuk semua struktur. Kondisi dimana nilai ρ diizinkan 1 sebagai berikut:

- Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C.
- Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta; desain komponen nonstruktural.
- Desain struktural nongedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung.
- Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan pasal 7.4.3 pada SNI 1726:2012 yang digunakan.
- Desain elemen struktur atau sambungan dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan pasal 7.4.3 disyaratkan untuk didesain.

- Beban diafragma ditentukan dengan menggunakan Pers. (43) yang terdapat pada SNI 1726:2012, yaitu:

Dimana :

F_{px} = Gaya desain diafragma.

F_i = Gaya desain yang diterapkan di tingkat i.

w_i = Tributari berat sampai tingkat i.

w_{px} = Tributari berat sampai diafragma di tingkat x.

Dimana :

F_{px} tidak boleh kurang dari Pers. 2.29.

$$F_{px} = 0,2 S_{DS} I_{ex} W_{px} \quad (2.29) \text{ dan } F_{px}$$

tidak boleh melebihi dari Pers. 2.30.

$$F_{px} = 0,4 S_{DS} I_{ex} W_{px} \quad (2.30)$$

- Struktur bagian sistem peredaman.
- Desain dinding geser struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

Untuk struktur yang dirancang bagi kategori desain seismik D,E, dan F factor redundansi (ρ) harus sama dengan 1,3; kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi dimana ρ dizinkan diambil sebesar 1:

- Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau sesuai dengan Tabel 2.14.

Tabel 2.14: Persyaratan masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35%

gaya geser dasar.Elemen Penahan Gaya Lateral	Persyaratan
	yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kuat tingkat sebesar lebih dari 33 % atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai (ketidakberaturan struktur horizontal tipe b)
Rangka pemikul momen	Kehilangan tahanan momen disambungan

	balok ke kolom ikedua ujung balok tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 % tau sistem yang dihasilkan tidak empunyai (ketidakberaturan struktur horizontal tipe b)
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih dari 1	Pelepasan dinding geser atau pier dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1 di semua tingkat atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kuat tingkat sebesar 33 % atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal tipe b)
Kolom kantilever	Kehilangan tahanan momen disambungan dasar semua kantilever tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 % atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal tipe b)
Lainnya	Tidak ada persyaratan

2.6. Stabilitas Struktur

Menurut SNI 1729:2015 Stabilitas harus disediakan untuk struktur secara keseluruhan dan untuk setiap elemennya. Efek terhadap stabilitas struktur dan elemen-elemennya harus memperhitungkan hal-hal berikut :

- 1). Lentur geser dan deformasi komponen struktur aksial dan semua deformasi lainnya yang memberi kontribusi terhadap perpindahan struktur.
- 2). Efek orde kedua (kedua efek $P-\Delta$ dan $P-\delta$).
- 3). Ketidaksempurnaan geometri.
- 4). reduksi kekakuan akibat inelastis.
- 5). Ketidakpastian dalam kekuatan dan kekakuan.

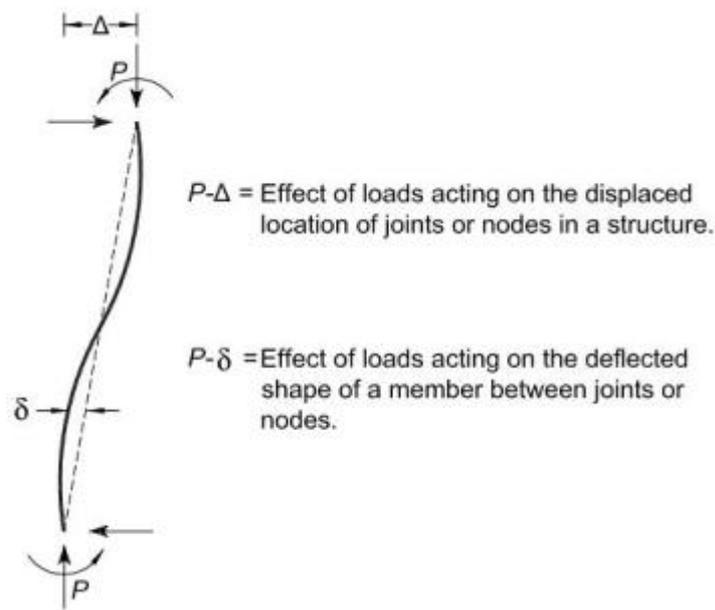
2.6.1. Perhitungan Kekuatan Perlu

Didalam metode analisis langsung kekuatan perlu komponen struktur harus ditentukan sesuai persyaratan analisis. Analisis tersebut harus mempertimbangkan ketidaksempurnaan awal dan kekakuan yang disetujui.

2.6.2. Persyaratan Analisis

Analisis struktur harus sesuai dengan persyaratan sebagai berikut:

- Analisis harus memperhitungkan deformasi lentur, geser, dan aksial dan deformasi dari semua komponen lainnya serta deformasi sambungan yang memberikan kontribusi pada perpindahan struktur. Analisis harus memperhitungkan reduksi semua kekakuan yang berkontribusi pada stabilitas struktur.
- Harus menggunakan *analisis orde-kedua* yang memperhitungkan efek $P - \Delta$ dan $P - \delta$, kecuali boleh mengabaikan efek $P - \delta$ pada respon struktur bila kondisi berikut terpenuhi: a). struktur menahan beban gravitasi melalui kolom, dinding atau portal vertical secara nominal. b). rasio dari simpangan orde-kedua maksimum terhadap simpangan orde-pertama maksimum ditentukan untuk kombinasi beban DFBK yang disetujui dengan dalam semua tingkat sama dengan atau 1,7 dan c). tidak lebih dari sepertiga beban gravitasi total pada struktur yang diterima oleh kolom yang merupakan bagian dari portal penahan momen dalam arah translasi yang ditinjau. Untuk semua kasus efek $P - \delta$ perlu dipertimbangkan dalam evaluasi masing-masing komponen struktur yang menahan tekan dan lentur.



Gambar 2.8: Efek P-delta pada kolom.

- Analisa harus mempertimbangkan semua beban gravitasi dan beban-beban lainnya yang dapat mempengaruhi stabilitas lainnya.

2.6.3. Pertimbangan Ketidak Sempurnaan Awal

2.6.3.1. Penggunaan Beban *Notional*

- Untuk struktur yang menahan beban gravitasi terutama melalui kolom untuk mewakili efek ketidaksempurnaan awal yang sesuai dengan persyaratan. Beban *notional* harus digunakan untuk model struktur berdasarkan geometri nominalnya.
- Beban *notional* harus digunakan sebagai beban lateral pada semua level. Beban *notional* harus ditambahkan ke beban lateral lainnya dan harus digunakan pada semua kombinasi beban. Besar beban *notional* tersebut adalah:

$$N_i = 0.002 \cdot a \cdot Y_i \quad (2.31)$$

Dimana:

$a = 1$ untuk DFBK

N_i = Beban imajinatif yang diterapkan pada level I, (N)

Y_i = Beban gravitasi di level i dari kombinasi pembebanan DFBK, (N)

- Beban *notional* dapat menambah besarnya gaya geser dasar pada struktur. Reaksi horizontal yang benar pada fondasi dapat diperoleh melalui penggunaan suatu gaya horizontal tambahan pada dasar dari struktur yang besarnya sama dan berlawanan arah dan jumlah semua beban *notional*, yang didistribusikan diantara elemen penahan beban vertical dengan proporsi yang sama dari beban gravitasi yang ditumpu oleh elemen-elemen ini. Beban *notional* juga dapat memperbesar efek momen guling, yang bukan merupakan besaran fiktif.
- Beban *notional* disetiap level N_i , harus didistribusikan diatas level itu dengan cara yang sama seperti beban gravitasi di level tersebut. Beban *notional* harus digunakan pada arah yang memberikan efek destabilisasi terbesar.
- Koefisien beban *notional* sebesar 0.002 pada pers (2.30) diperoleh berdasarkan suatu rasio kemiringan tingkat sebesar 1/500, nilai maksimum yang berbeda boleh digunakan untuk menaksir koefisien beban *notional* secara proporsional.

2.6.3.2. Koreksi Kekakuan

Analisis struktur untuk menentukan kekuatan perlu dari harus menggunakan kekakuan yang direduksi sebagai berikut:

- Analisis struktur untuk menentukan kekuatan perlu dari harus menggunakan kekakuan yang direduksi sebagai berikut:
- Suatu factor penambah, t_b diterapkan pada kekakuan lentur semua komponen struktur yang dianggap berkontribusi pada stabilitas struktur.

$$\alpha P_r/P_y < 0.5, \text{ maka } t_b = 1.0 \quad (2.32)$$

$$\alpha Pr/Py > 0.5, \text{ maka } \tau_b = 4(\alpha Pr/Py)[1 - \alpha Pr/Py] \quad (2.33)$$

Dimana:

$\alpha = 1.0$ = faktor koreksi level gaya

Pr = kekuatan tekan aksial yang perlu pada kombinasi pembebanan DFBK, (N)

Py = kekuatan leleh aksial (= $F_y A_g$) (N)

- Bila komponen terdiri dari material selain baja struktur yang dianggap memberi kontribusi untuk stabilitas struktur dan tata cara yang mengatur atau spesifikasi untuk material lainya memerlukan reduksi yang lebih besar pada kekakuan, maka reduksi kekakuan yang lebih besar harus digunakan untuk komponen.

2.7. Desain Struktur dengan SRPMK

SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) adalah desain struktur beton bertulang dengan pendetailan yang menghasilkan struktur yang fleksibel (memiliki daktilitas yang tinggi). Dengan pendetailan mengikuti ketentuan SRPMK, maka faktor reduksi gaya gempa R dapat diambil sebesar 8, yang artinya bahwa gaya gempa rencana hanya $1/8$ dari gaya gempa untuk elastis desain (Pengambilan nilai $R > 1$ artinya mempertimbangkan post-elastic desain, yaitu struktur mengalami kelelahan tanpa kegagalan fungsi). Ketentuan SRPMK dijelaskan dalam SNI 03-2847-2002 bab 23.3.

Desain struktur beton bertulang dengan SRPMK sudah dimulai sejak tahun 1960 dan pertama kali diwajibkan penggunaannya untuk wilayah yang memiliki resiko gempa tinggi dalam Uniform Building Code (ICBO 1973). Saat ini, SPRMK wajib digunakan untuk wilayah dengan resiko gempa tinggi (ketagori desain sesimik D, E dan F dalam SNI 1726-2012 atau ASCE-7). SPRMK dapat digunakan juga dalam kategori desain seismik A, B dan C, namun perlu diperhatikan jika tidak ekonomis.

Berdasarkan pengalaman para praktisi, untuk desain yang ekonomis dengan SPRMK, bentang balok yang proporsional adalah 6 sampai 9 m. Untuk jarak antar lantai disarankan tidak lebih dari 6 m. Untuk jarak antar lantai yang tinggi, perlu diperhatikan kemungkinan soft story.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, dalam SNI 1726-2012 dan ASCE-7 faktor reduksi gaya gempa R dapat diambil sebesar 8. Hal ini disebabkan karena struktur SRPMK memiliki sifat yang fleksibel dengan daktilitas yang tinggi, sehingga bisa direncanakan dengan gaya gempa rencana yang minimum. Namun kekuatan dan kekakuan dari struktur juga harus diperhatikan untuk mampu menahan beban rencana, baik beban gravitasi maupun angin dan gempa, dan juga struktur harus menghasilkan story drift yang sesuai dengan batasan peraturan.

Drift dari struktur dihitung dengan beban terfaktor yang diamplifikasi dengan faktor C_d (SNI 1726-2012 tabel 9). Dalam analisa tersebut, kekakuan efektif dari frame juga harus mempertimbangkan efek dari keretakan beton (post elastic desain). Analisa P-Delta juga perlu dilakukan karena dapat memberikan efek yang signifikan.

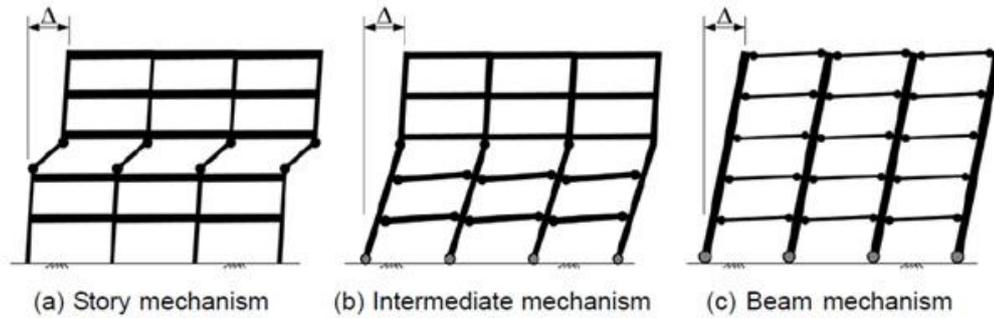
2.7.1. Prinsip SRPMK

Struktur SRPMK diharapkan memiliki tingkat daktilitas yang tinggi, yaitu mampu menerima mengalami siklus respon inelastis pada saat menerima beban gempa rencana. Pendetailan dalam ketentuan SRPMK adalah untuk memastikan bahwa respon inelastis dari struktur bersifat daktil. Prinsip ini terdiri dari tiga:

1. Strong-Column/weak-beam yang bekerja menyebar di sebagian besar lantai.
2. Tidak terjadi kegagalan geser pada balok, kolom dan joint.
3. Menyediakan detail yang memungkinkan perilaku daktil.

2.7.2. Strong Column/Weak-Beam

Pada saat struktur mengalami gaya lateral gempa, distribusi kerusakan sepanjang ketinggian bangunan bergantung pada distribusi lateral story drift (simpangan antar lantai). Jika struktur memiliki kolom yang lemah, simpangan antar lantai akan cenderung terpusat pada satu lantai (gambar a). Sebaliknya jika kolom sangat kuat, maka drift akan tersebar merata, dan keruntuhan lokal di satu lantai dapat diminimalkan (Gambar 2.9 b dan c).



Gambar 2.9: Desain SRPMK mencegah terjadinya mekanisme soft story (a) dengan membuat kolom kuat sehingga drift tersebar merata sepanjang lantai (c) atau sebagian besar lantai (b) balok (NIST GCR 8-917-1).

2.7.3. Menghindari Keruntuhan Geser

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

2.7.4. Pendetailan Untuk Perilaku Duktail

Pendetailan dalam SRPMK bertujuan untuk mendapatkan struktur yang bersifat duktail. Beberapa ketentuan SRPMK:

1. Tulangan sengkang dipasang dengan rapat terutama pada bagian struktur yang mengalami kelelahan seperti hubungan balok-kolom untuk mencegah keruntuhan geser.
2. Pada analisa kekuatan geser pada balok atau kolom, kekuatan geser dari beton (V_c) diabaikan terutama pada balok yang mengalami gaya aksial kecil, sehingga hanya tulangan saja yang menahan gaya geser.
3. Lokasi dan pendetailan splice untuk mencegah keruntuhan akibat splice.

2.7.5. Reduksi Kekakuan Elemen Struktur

Dalam analisa struktur dengan SRPMK, reduksi kekakuan akibat keretakan pada balok, kolom, joint harus diperhatikan, karena hal ini akan berpengaruh pada periode, base shear, story drift dan distribusi gaya dalam. Reduksi kekuatan dimaksudkan untuk mempertimbangkan keretakan pada elemen struktur, karena analisa SRPMK adalah saat struktur mengalami kelelahan namun tidak terjadi keruntuhan. Dalam kondisi tersebut, luasan penampang yang efektif yang diperhitungkan.

2.7.6. Prosedur Perencanaan SRPMK

2.7.6.1. Balok Lentur dan Penulangan Longitudinal

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

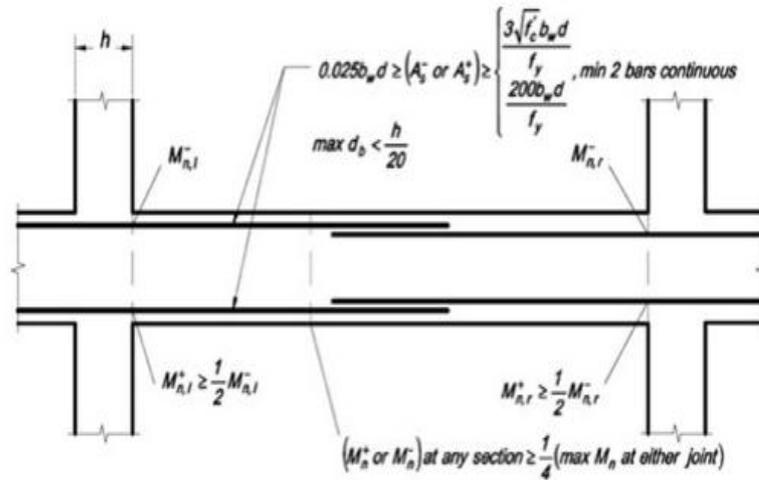
$$\phi M_n > M_u \quad (2.35)$$

ketentuan untuk dimensi balok:

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

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

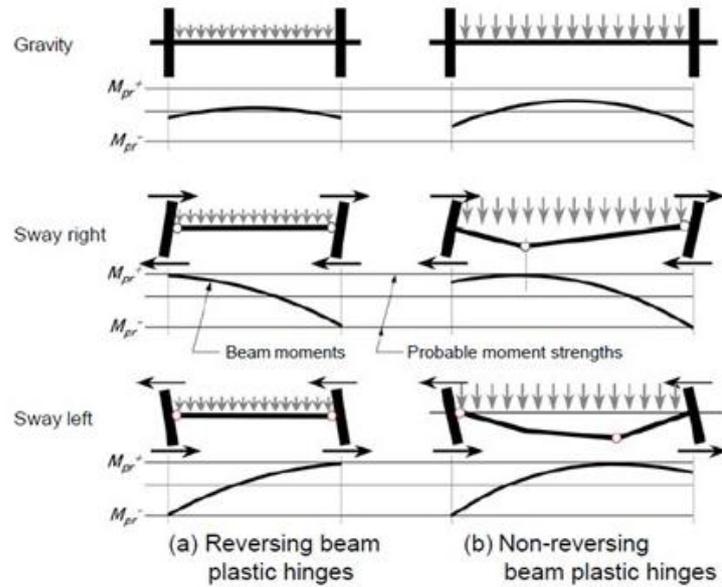
1. $\rho = A_s/A_g$ maksimal 0.025 dan minimum sesuai dengan ketentuan konvensional.
2. di joint, momen nominal positif $> 1/2$ momen nominal negative.
3. momen nominal sepanjang balok $> 1/4$ momen nominal maksimum di ujung balok.
4. splice tidak boleh diletakkan di daerah sepanjang $2h$ dari ujung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



Gambar 2.10: Ketentuan Tulangan Longitudinal Balok (NIST GCR 8-917-1).

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

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



Gambar 2.11: Lokasi sendi plastis balok (NIST GCR 8-917-1).

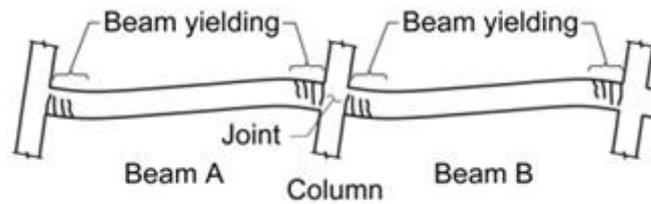
Sebaliknya, jika momen akibat gaya gravitasi relatif lebih besar daripada momen akibat gaya gempa, sendi plastis akan terjadi di lokasi agak di tengah balok. Pada saat berkebalikan, sendi plastis bergeser ke sisi lainnya, namun juga tidak sampai tepi balok. Dalam hal ini sendi plastis tidak mengalami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

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

$$(M_{pr+}) + (M_{pr-}) > w_u l^2 / 2 \quad (2.36)$$

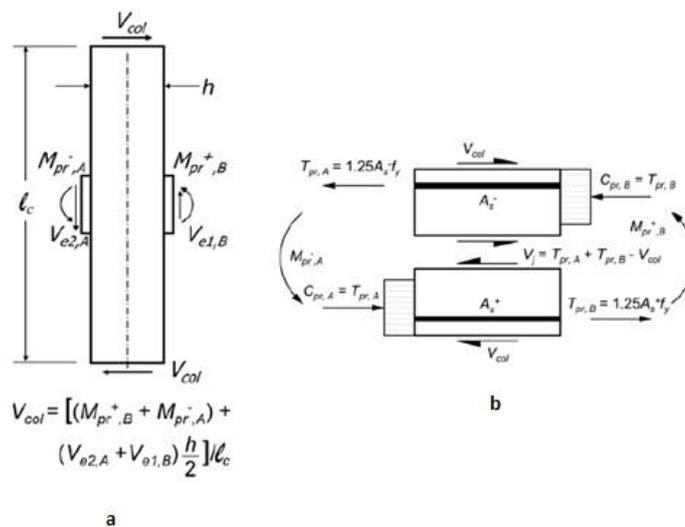
2.7.7. Joint Shear

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



Gambar 2.12: Lokasi Kelelahan (yielding) balok (NIST GCR 8-917-).

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



Gambar 2.13: Free body diagram pada (a) kolom dan (b) joint balok (NIST GCR 8-917-1).

Gaya geser pada joint V_j dihitung dengan mempertimbangkan M_{pr} dan V_e (V_e , gaya geser akibat M_{pr} , lihat prosedur no.3) dari balok di setiap sisi dan juga dengan mengasumsikan adanya gaya T sebesar $1.25A_sF_y$ akibat tulangan yang menerus melalui joint. V_j ini harus lebih kecil dari gaya geser nominal joint V_n yang dihitung berdasarkan rumus:

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

$$\phi = 0.85$$

$$(2.37)$$

Dimana:

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

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

Nilai $\gamma = 1.0$ untuk untuk lainnya

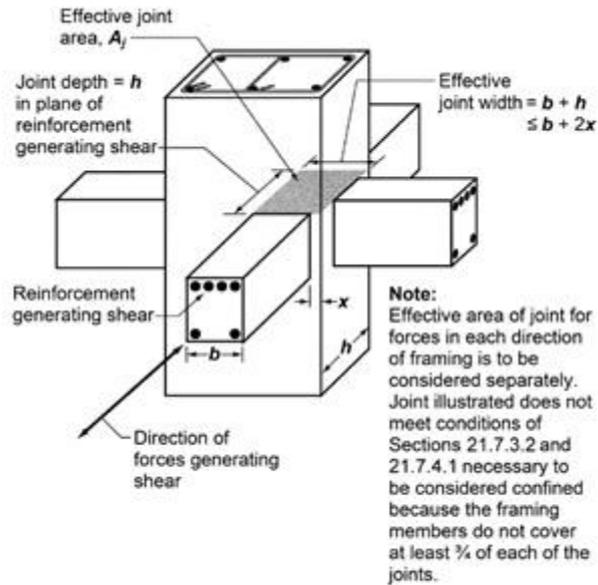
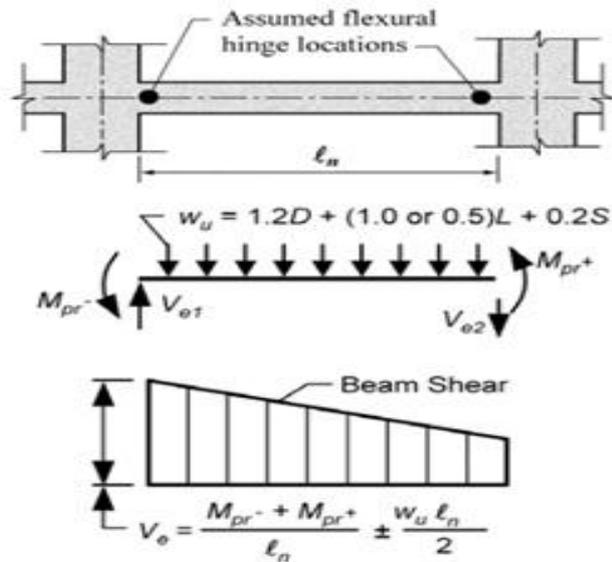


Fig. R21.7.4—Effective joint area.

Gambar 2.14: Luasan Joint Efektif A_j (ACI 318-08).

2.7.8. Gaya Geser Balok dan Tulangan Geser

Kuat geser balok dihitung berdasarkan pendekatan kapasitas, yaitu dengan mempertimbangkan gaya geser akibat Mpr dan gaya geser akibat beban gravitasi.

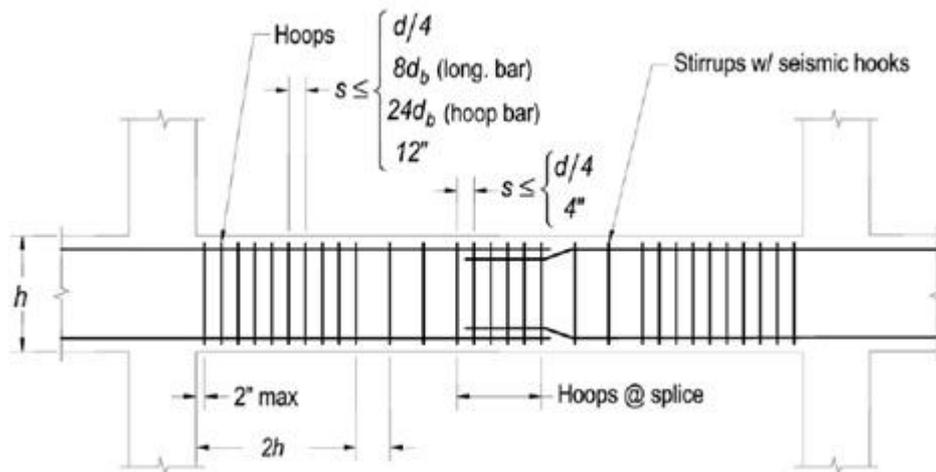


Gambar 2.15: perhitungan kuat geser balok dengan mempertimbangkan M_{pr} (SNI - 03-2847-2002).

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

Ketentuan tulangan geser pada balok:

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



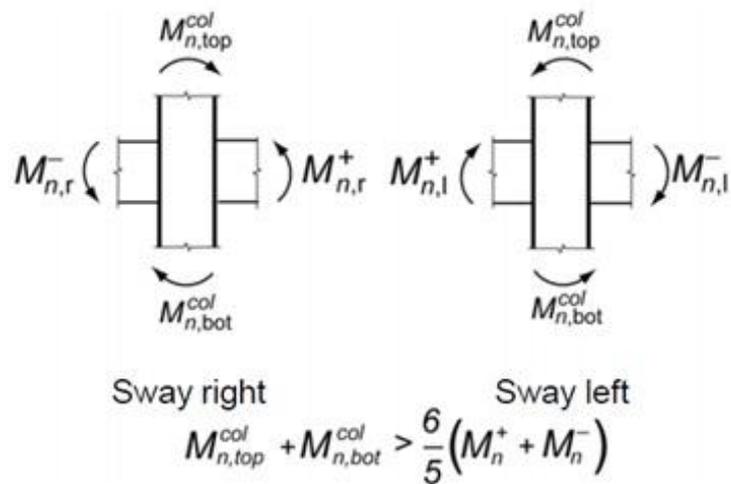
Gambar 2.16: Ketentuan tulangan geser pada balok (NIST GCR 8-917-1).

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

2.7.9. Desain kolom

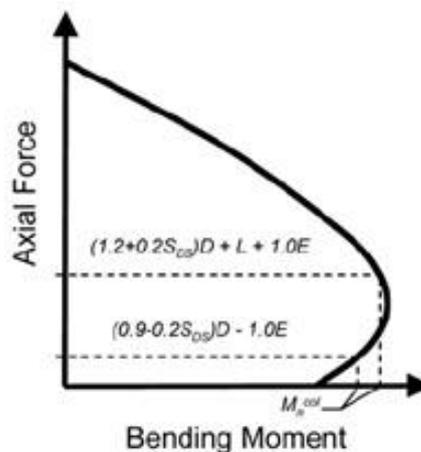
Dalam SRPMK, tulangan kolom dibatasi minimum 1% dan maksimum 6% dari luasan penampang kolom. Namun tulangan sebanyak 6% biasanya menghasilkan tulangan yang sangat padat, terutama pada bagian splice, sehingga jika memungkinkan biasanya digunakan jumlah tulangan 2%-4%.

Untuk perilaku strong column-weak beam, jumlah nominal M_n dari kolom minimal 1.2 kali dari jumlah M_n dari balok yang menyambung sambungan balok-kolom. Pemeriksaan ini harus dilakukan pada semua arah gaya gempa.



Gambar 2.17: Ketentuan kuat kolom (ACI 318-08).

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

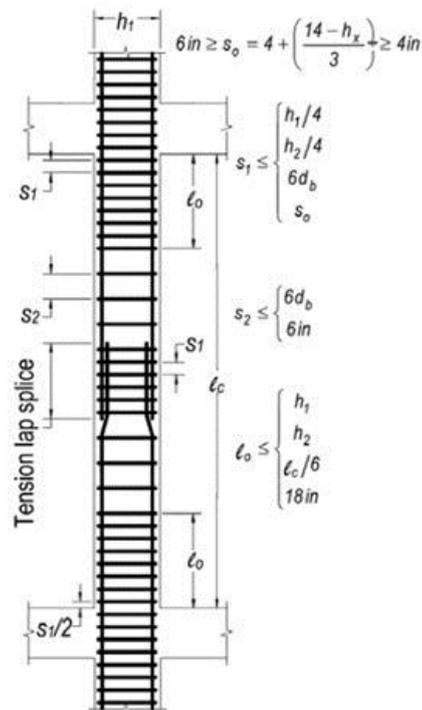


Gambar 2.18: Mpr pada kolom dipengaruhi gaya aksial yang dipikulnya Tulangan Geser pada Kolom (NIST GCR 8-917-1).

Ketentuan tulangan geser pada kolom:

1. Sengkang harus disediakan sepanjang l_o , dimana l_o diambil yang terkecil dari:
 - Minimal antara tinggi balok dan kolom

- 1/6 dari bentang bersih balok
 - 450 mm
2. Pada wilayah sepanjang l_o , spasi antara sengkang diambil tidak lebih dari:
- $d/4$
 - $6 d_b$ (d_b = diameter tekecil tulangan longitudinal)
 - $S_o = 100+(350-h_x)/3$. $100 < S_o$
3. Pada wilayah di luar l_o , spasi antara sengkang diambil tidak lebih dari:
- $6 d_b$
 - 150 mm



Gambar 2.19: Tulangan Geser pada kolom (NIST GCR 8-917-1).

2.8. Struktur Komposit

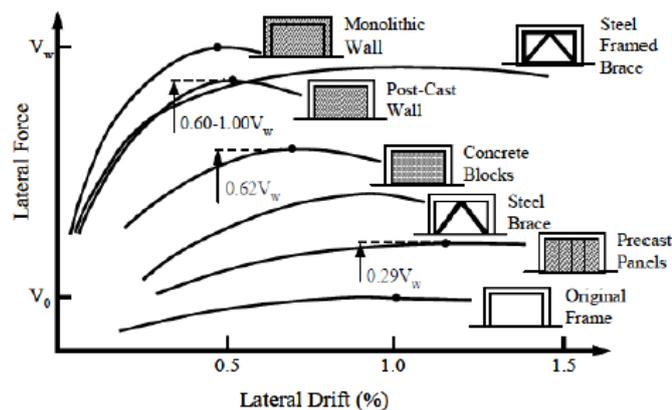
Struktur komposit (Composite) merupakan struktur yang terdiri dari dua material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda dan membentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik. Umumnya struktur komposit berupa :

1. Kolom baja terbungkus beton / balok baja terbungkus beton.
2. Kolom baja berisi beton/tiang pancang.
3. Balok baja yang menahan slab beton

Perencanaan komposit mengasumsi bahwa baja dan beton bekerja sama dalam memikul beban yang bekerja, sehingga akan menghasilkan desain profil/element yang lebih ekonomis. Dimping itu struktur komposit juga mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya adalah lebih kuat (*stronger*) dan lebih kaku (*stiffer*) dari pada struktur non-komposit.

2.8.1. Perkuatan Struktur

Terdapat berbagai macam metode perkuatan yang umum digunakan pada struktur beton bertulang, antara lain penambahan dinding geser (*shear wall*), bresing (*bracing*), *column jacketing*, serta *beam jacketing*. Metode ini merupakan metode yang sering digunakan untuk perkuatan struktur beton bertulang. Keefektifan dari beberapa metode perkuatan disajikan dalam gambar yang dikutip dari Sugano (1989); CEB (1997).



Gambar 2.20: Perbandingan keefektifan perkuatan struktur *Effectiveness of structural walls and bracings* (Sugano, 1989; CEB, 1997).

2.8.2. Konfigurasi Struktur Baja Penahan Gaya Seismic

2.8.2.1. Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen memiliki kemampuan menyerap energi yang baik, tetapi memerlukan terjadinya simpangan antar lantai yang cukup besar

supaya timbul sendi plastis pada balok yang akan berfungsi menyerap energy gempa. Simpangan yang terlalu besar akan menyebabkan struktur menjadi tidak kaku sehingga mengakibatkan kerusakan non-struktural yang begitu besar disamping akan menambah pengaruh $P-\Delta$ efek.

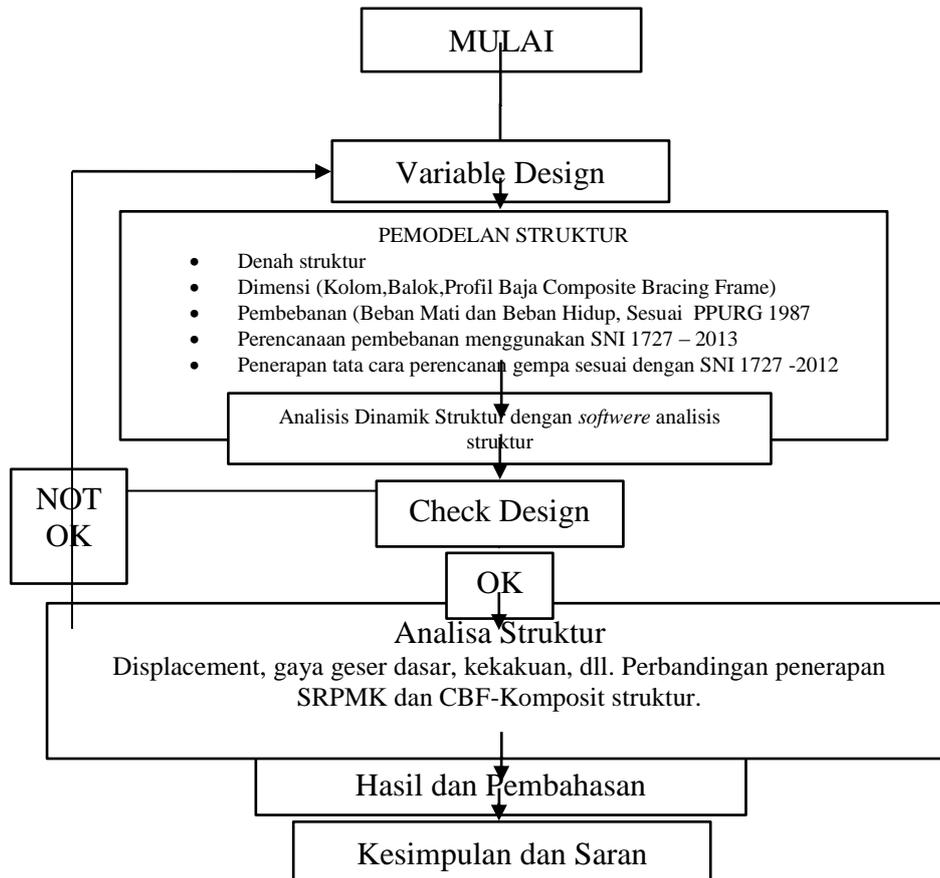
2.8.2.2. Sistem Rangka Bresing Konsentrik (*Concentrically Braced Frames*)

Sistem rangka bresing konsentrik merupakan pengembangan dari sistem portal tak berpengaku, Sistem *CBF* dikembangkan sebagai sistem penahan gaya lateral dan memiliki tingkat kekakuan yang cukup baik. Hal ini bertolak belakang dengan *MRF* yang hanya bisa digunakan sebagai penahan momen. Kekakuan ini terjadi akibat adanya elemen pengaku yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral pada struktur. Sistem ini penyerapan energinya dilakukan melalui elemen yang dirancang terjadi pada pelat buhul. Sistem ini daktilitasnya kurang begitu bagus sehingga kegagalannya ditentukan oleh tekuk bresing.

BAB 3 METODOLGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Adapun tahapan penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

3.2. Pemodelan Struktur

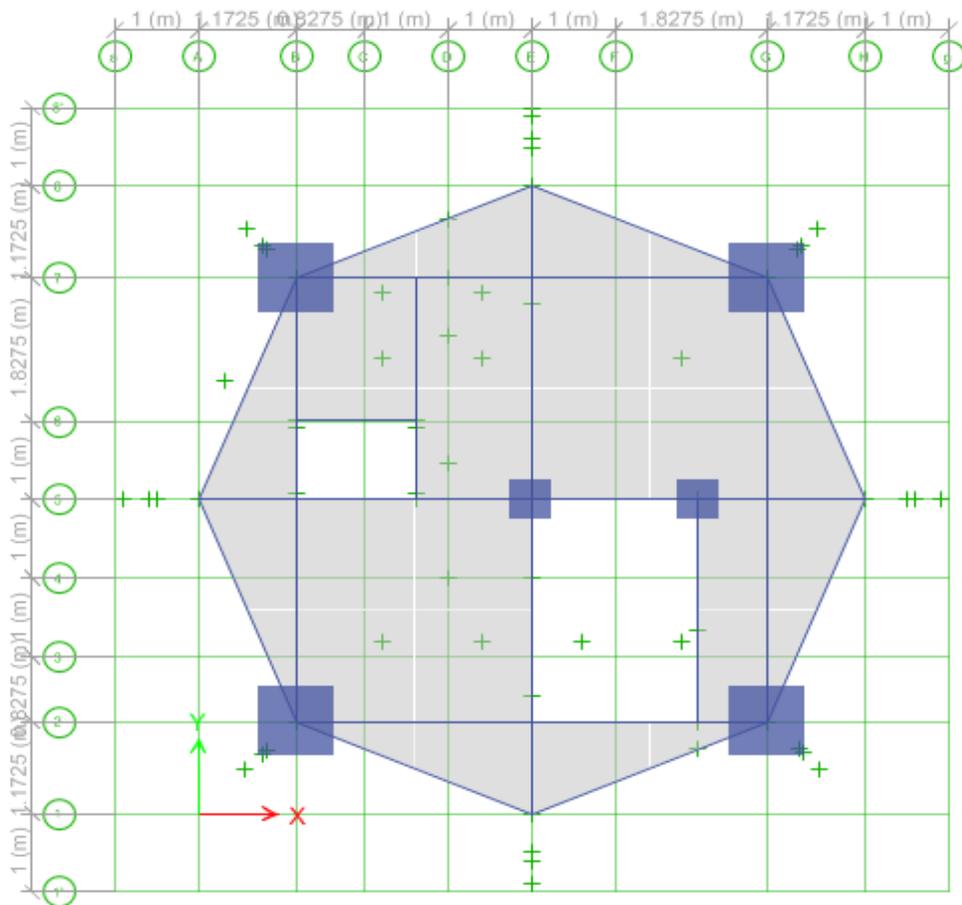
Pada tugas akhir ini, struktur dimodelkan tiga dimensi dengan gaya penahan lateral (gempa) menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dan *centrically braced frame* (CBF) komposit. Dimensi dari struktur menara mercusuar yang dibuat berbentuk segi delapan Dengan lebari terpanjang balok 9.1 m tinggi antar lantai 4 m dan terdiri dari 21 lantai dengan total tinggi bangunan menara mercusuar yaitu 84 m, pemodelan struktur ini menggunakan *software* analisis struktur.

Pemodelan untuk masing-masing elemen struktur adalah sebagai berikut:

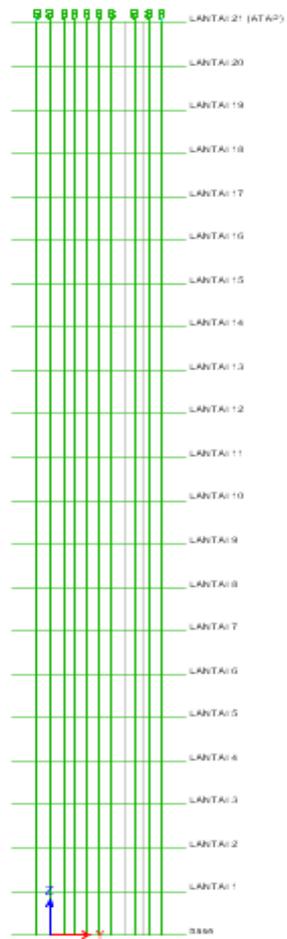
- a. Pemodelan pondasi dilakukan dengan menganggap bahwa pondasi jepit, memberikan kekangan translasi dan rotasi yang cukup pada semua arah sumbu bangunan
- b. Balok dan kolom dimodelkan sebagai elemen *frame* dengan memiliki hubungan (*joint*) yang kaku sehingga momen-momen maksimum tempat terjadinya sendi plastis akibat gempa adalah kedua ujung balok dan kolom, namun, kolom yang diperbolehkan plastis hanya kolom kaki-kaki lantai dasar.
- c. Bresing dimodelkan sebagai elemen *frame* dengan hubungan *joint* yang kaku terhadap kolom beton.
- d. Untuk pelat lantai 1 dan pelat lantai 1-21 dimodelkan sebagai pelat satu arah *shell-thin* pada *software* analisis struktur. pelat lantai juga dimodelkan untuk bekerja sebagai *rigid diaphragm* karena lantai tingkat pada atap dengan ikatan struktur bangunan dianggap sangat kaku pada bidangnya terhadap beban kerja horizontal sehingga perpindahan pada setiap titik dianggap sama besar.

Untuk material, $f_y = 240$ MPa dan $f_u = 400$ MPa, sedangkan mutu beton yang digunakan adalah $f_c' = 45$ Mpa untuk untuk kolom dan $f_c' = 35$ Mpa untuk balok. dan mutu baja bresing yang digunakan adalah Profil baja IWF 300 x 250 x 9 x 14.

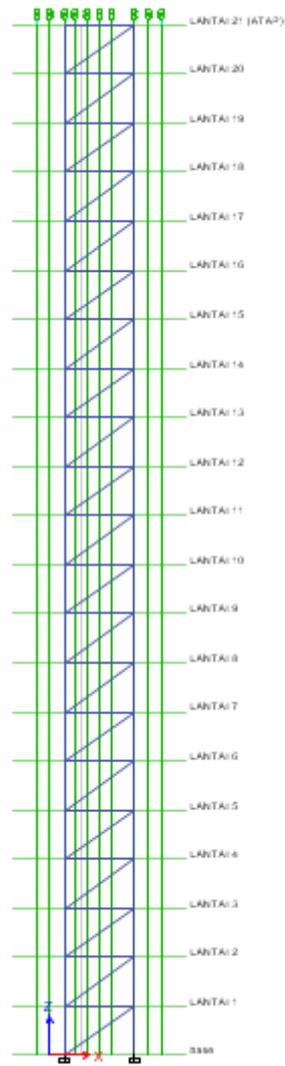
Denah struktur, tampak, dan gambar 3 dimensi pemodelan struktur ini dapat dilihat pada gambar berikut ini:



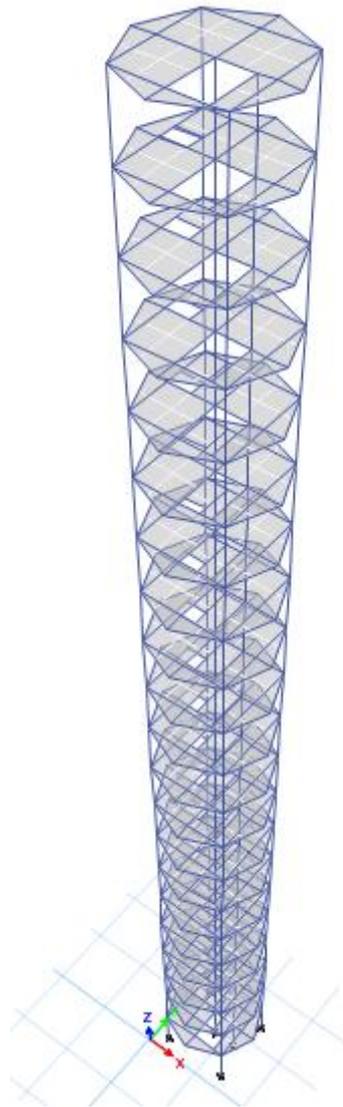
Gambar 3.2: Denah struktur menara mercusuar.



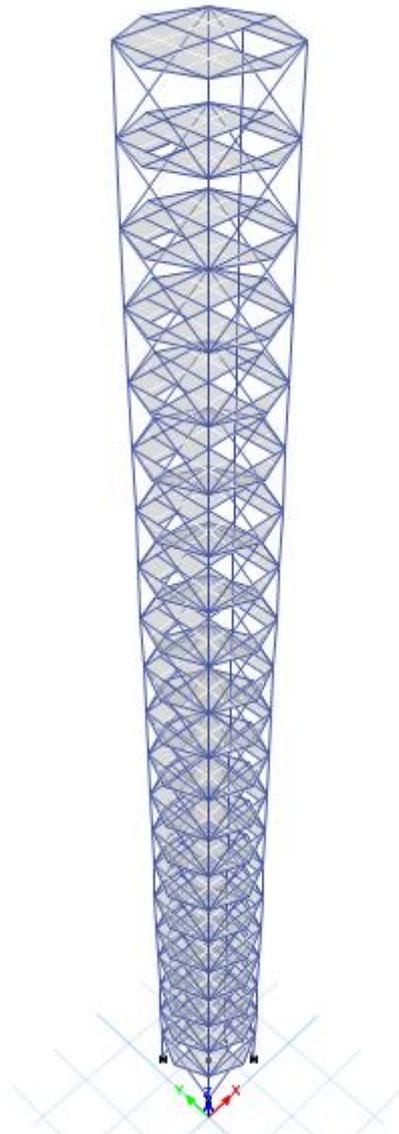
Gambar 3.3: Tampak depan struktur menara mercusuar dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).



Gambar 3.4: Tampak depan struktur menara mercusuar dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).



Gambar 3.5: Model 3 dimensi struktur menara mercusuar dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).



Gambar 3.6: Model 3 dimensi struktur menara mercusuar dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan *Concentriclly Bracing Frame* (CBF-Komposit). .

3.3. Pembebanan Struktur

Untuk memberikan pemodelan dalam menentukan beban-beban yang bekerja pada bangunan maka dilakukan perencanaan pembebanan. Beban yang ada, terdiri atas:

- a. Beban Mati

Beban mati adalah seluruh bagian bangunan yang bersifat tetap dan tidak terpisahkan dari bangunan yang dimaksud selama masa layannya. Beban mati yang diperhitungkan dari moedel ini antara lain:

- Berat pelat beton bertulang sebesar : 2400 kg/m³.
- Berat tambahan komponen gedung:
 1. Plafond an penggantung : 18 Kg/m²
 2. Adukan / cm tebal dari semen : 21 Kg/m²
 3. Pasangan bata setengah batu : 250 Kg/m²
 4. Penutup lantai dari keramik : 24 Kg/m²
 5. M/E : 40 Kg/m²
 6. Berat dinding kaca : 6,84 Kg/m²
 7. Berat profil baja : 450,192 Kg/m²

b. Beban hidup

Berdasarkan penggunaan atau pemanfaatan fungsi bangunan gedung dan struktur, Sesuai dengan SNI 1727:2013 bangunan dan struktur lainnya untuk kategori risiko II.

- Beban Hidup Atap
Pada bangunan dengan atap yang dapat dicapai orang, dikenai beban hidup atap sebesar 100 kg/m².
- Beban Gempa
Beban gempa sesuai dengan SNI 1727-2013 tentang cara perencanaan gempa untuk bangunan gedung, dimana gaya geser rencana dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung dan bekerja pada pusat massa pada setiap lantai. Perhitungan pengaruh beban gempa menggunakan analysis respon spectrum.

Seluruh baban tersebut diperhitungkan dengan kombinasi pembebanan sebagai berikut:

Dengan masing masing beban gempa (E) merupakan kombinasi gaya gempa arah acuan dan 0,3 gaya gempa arah tegak lurus nya. Penguraian dari kombinasi pembebanan di atas dapat di lihat dari table berikut:

Tabel 3.1: Kombinasi yang digunakan sesuai dengan SNI 1727:2013.

No.	Kombinasi
1.	1,4 D
2.	1,2 D + 1,6 L
3.	1.46 DL + 1 LL + 0,39 Ex + 1,3 Ey
4.	0.94 DL + 1 LL - 0,39 Ex - 1,3 Ey
5.	1.06 DL + 1 LL + 0,39 Ex - 1,3 Ey
6.	1,34 DL + 1 LL - 0,39 Ex + 1,3 Ey
7.	1,46 DL + 1 LL + 0,39 Ex + 1,3 Ey
8.	0,94 DL + 1 LL - 1,3 Ex + 0,39 Ey
9.	1,34 DL + 1 LL + 1,3 Ex - 0,39 Ey
10.	1,06 DL + 1 LL - 1,3 Ex + 0,39 Ey
11.	1,16 DL + 0,39 Ex + 1,3 Ey
12.	0,64 DL - 0,39 Ex - 1,3 Ey
13.	0,76 DL + 0,39 Ex - 1,3 Ey
14.	1,04 DL - 0,39 + 1,3 Ey
15.	1,16 DL + 1,3 Ex + 0,39 Ey
16.	0,64 DL - 1,3 Ex - 0,39 Ey
17.	1,04 DL + 1,3 Ex - 0,39 Ey
18.	0,76 DL - 1,3 Ex + 0,39 Ey
19.	1,46 DL + 1 LL + 0,39 Ex + 1,3 Eyx
20.	0,94 DL + 1 LL - 0,39 Eyx - 1,3 Eyx
21.	1,06 DL + 1 LL + 0,39 Eyx - 1,3 Eyx
22.	1,34 DL + 1 LL - 0,39 Eyx + 1,3 Eyx
23.	1,46 DL + 1 LL - 0,39 Eyx + 1,3 Eyx
24.	0,94 DL + 1 LL - 1,3 Eyx - 0,39 Eyx
25.	1,34 DL + 1 LL + 1,3 Eyx - 0,39 Eyx
26.	1,06 DL + 1 LL - 1,3 Eyx + 0,39 Eyx
27.	1,16 DL + 0,39 Eyx + 1,3 Eyx
28.	0,64 DL - 0,39 Eyx - 1,3 Eyx - 1,3 Eyx
29.	0,76 DL + 0,39 Eyx - 1,3 Eyx

Tabel 3.1 : *Lanjutan*

No.	Kombinasi
30	1,04 DL - 0,39 + 1,3 Eyx
31	1,16 DL + 1,3 Exy + 0,39 Eyx
32	0,64 DL - 1,3 Exy - 0,39 Eyx
33	1,04 DL + 1,3 Exy - 0,39 Eyx
34	0,76 DL - 1,3 Exy + 0,39 Eyx

3.4. *Preliminary Design*

Langkah awal penentuan dimensi struktur adalah *Preliminary design*. Dilakukan untuk memperkirakan dimensi elemen struktur yang mampu memikul beban yang bekerja pada struktur. Pada tahap ini, penentuan dimensi struktur dilakukan dengan cara *try and error*. setelah itu diberikan beban sesungguhnya yang selanjutnya dicek apakah dimensi masing-masing komponen struktur beton serta profil baja yang digunakan kuat atau tidak dalam menahan beban yang di rencanakan. Jika ternyata dimensi masing-masing komponensn struktur serta profil baja yang digunakan tidak kuat, maka nantinya dapat diubah dengan yang lebih kuat dan memiliki rasio antara beban *ultimate* terhadap ketahanan struktur kurang dari 1.

3.4.1. *Preliminary Design Kolom*

Untuk perencanaan awal digunakan kolom sebagai berikut:

Tabel 3.2: Dimensi kolom yang digunakan pada struktur.

Kolom	Dimensi
Lantai 1 – 5	175 Cm x 175 Cm . Ø32.Ø16
Lantai 6 – 10	145 Cm x 145 Cm . Ø32.Ø16
Lantai 11 – 15	115 Cm x 115 Cm . Ø32.Ø16
Lantai 16 – 21	95 Cm x 95 Cm . Ø32.Ø16

3.4.2. Preliminary Design Balok

Untuk perencanaan awal digunakan Balok sebagai berikut:

Tabel 3.3: Dimensi balok yang digunakan pada struktur.

Balok Utama	Dimensi
Lantai 1 – 21	B 600 mm x H 800 mm Ø28.Ø12
Balok Anak	
Lantai 1- 21	B 350 mm x H 50 mm Ø25.Ø12

3.4.3. Preliminary Design Bressing

Untuk perencanaan awal digunakan bressing IWF 340 x 250 x 9 x 14 untuk semua lantai.

3.5. Faktor Respon Gempa (C)

Berdasarkan SNI 1727:2013, wilayah gempa indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun dengan kondisi kelas situs bebatuan untuk pulau mursala Tabel 3..4 berikut:

Tabel 3.4: Spektrum Respon pulau mursala untuk kelas situs bebatuan.

T (Detik)	T (Detik)	Sa
0	0	0.394
T0	0.081	0.985
	0.181	0.985
	0.281	0.985
Ts	0.406	0.985
T + 0,1	0.506	0.790
T + 0,2	0.606	0.660

Tabel 3.4: Lanjutan.

T (Detik)	T (Detik)	Sa
T + 0,3	0.706	0.566
T + 0,4	0.806	0.496
T + 0,5	0.906	0.441

T + 0,6	1.006	0.398
T + 1,4	1.806	0.221
T + 1,5	1.906	0.210
T + 1,6	2.006	0.199
T + 1,7	2.106	0.190
T + 1,8	2.206	0.181
T + 1,9	2.306	0.173
T + 2,0	2.406	0.166
T + 2,1	2.506	0.160
T + 2,2	2.606	0.153
T + 2,3	2.706	0.148
T + 2,4	2.806	0.143
T + 2,5	2.906	0.138
T + 2,6	3.006	0.133
T + 2,7	3.106	0.129
T + 2,8	3.206	0.125
T + 2,9	3.306	0.121
T + 3,0	3.406	0.117
T + 3,1	3.506	0.114
T + 3,2	3.606	0.111
T + 3,3	3.706	0.108
T + 3,4	3.806	0.105
T + 3,5	3.906	0.102
T + 3,6	4.006	0.100
T + 3,7	4.106	0.097
T + 3,8	4.206	0.095
T + 3,9	4.306	0.093

Menurut SNI 1727:2013, spektrum respon gempa desain harus dianalisis terlebih dahulu. Dengan data PGA (Gambar 2.3), $S_s = 1,477g$ (Gambar 2.4), dan $S_1 = 0,6g$ (Gambar 2.5). Langkah yang perlu dilakukan untuk membuat spektrum respon gempa desain berikut:

a. Penentuan koefisien F_a dan F_v

- Berdasarkan Tabel 2.9 untuk klasifikasi situs batuan (SB) maka diperoleh nilai $F_a = 1$.

- Berdasarkan Tabel 2.10 untuk klasifikasi situs batuan (SB) maka diperoleh nilai $F_v = 1$.

b. Penentuan nilai S_{MS} dan S_{M1}

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

$$S_{MS} = 1 \times 1,477$$

$$S_{MS} = 1,477$$

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

$$S_{M1} = 0,6 \times 1$$

$$S_{M1} = 0,6$$

c. Penentuan nilai S_{DS} dan S_{D1}

$$\text{Nilai } S_{DS} = 2/3 \cdot S_{MS}$$

$$S_{DS} = (2/3) \times 1,477$$

$$S_{DS} = 0,985$$

$$\text{Nilai } S_{D1} = 2/3 \cdot S_{M1}$$

$$S_{D1} = (2/3) \times 0,6$$

$$S_{D1} = 0,52$$

d. Penentuan nilai T_s dan T_0

$$T_s = S_{D1} / S_{DS}$$

$$T_s = 0,52 / 0,985$$

$$T_s = 0,406$$

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

$$T_0 = 0,2 \times 0,406$$

$$T_0 = 0,081$$

e. Penentuan nilai S_a

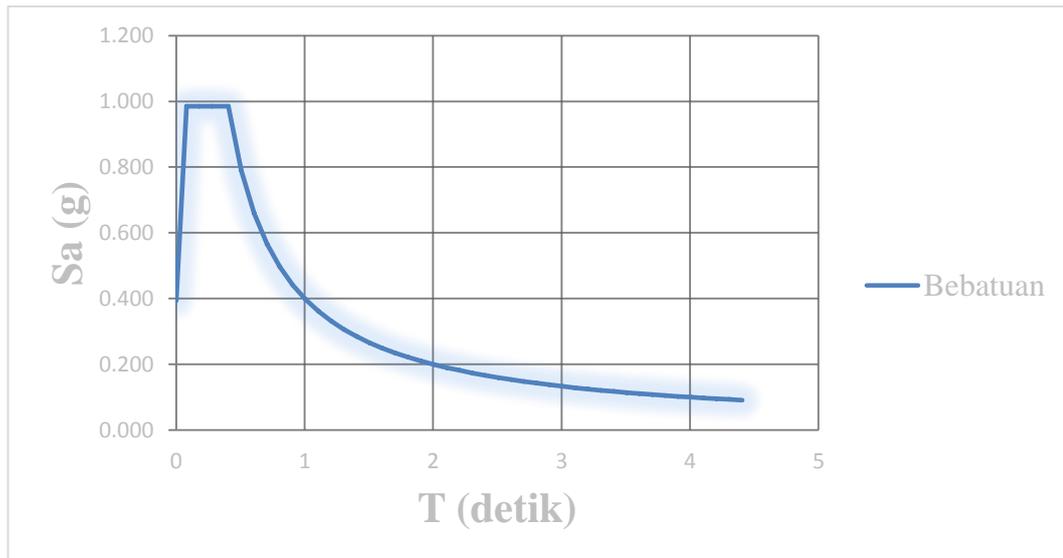
- Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 . Spektrum respon percepatan desain (S_a) harus diambil dari persamaan:

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

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

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

Spektrum Respon percepatan disajikan dalam Tabel 3.4 diplot dan disajikan dalam bentuk grafik data ke dalam *software* pengolah data *Microsoft Excel* seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3.7: Respon Spektrum Pulau Mursarala.

3.5.1. Faktor Keutamaan Struktur,

Menurut SNI 1727 : 2013 bangunan dan gedung struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting dengan kategori resiko IV maka nilai $I_e = 1$.

3.5.2. Nilai Waktu Getar Alami Fundamental

Nilai fundamental memiliki nilai batas maksimum dan minimum seperti yang telah di jelaskan pada Pers.2.16 dan 2.17.

Dimana:

$C_t = 0.0466$ (Tabel 2.11).

$h_m = 84$ m (tinggi gedung dari dasar).

$x = 0,9$ (Tabel 2.11 dengan tipe struktur rangka beton pemikul momen).

$C_u = 1,4$ (Tabel2.12 dengan nilai $S_{D1} 0,4$).

Tabel 3.5: pengecekan T berdasarkan waktu getar alami *fundamental* menara mercusuar dengan penerapan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berdasarkan SNI 1727:2013.

Syarat Perioda			Hasil		
Arah	Ta Min = Ct*hn	Ta Max = Cu*Ta Min	T hasil dari ETABS	Cek Min	Cek Max
Arah X	3,914	5,479	3,975	NOT OK	NOT OK
Arah Y	3,914	5,479	3,813	NOT OK	NOT OK

Nilai fundamental memiliki nilai batas maksimum dan minimum seperti yang telah di jelaskan pada Pers.2.16 dan 2.17.

Dimana:

$$Ct = 0.0488 \text{ (Tabel 2.11).}$$

$$h_n = 84 \text{ m (tinggi gedung dari dasar).}$$

$$x = 0,75 \text{ (Tabel 2.11 semua sistem struktur lainnya).}$$

$$Cu = 1,4 \text{ (Tabel 2.12 dengan nilai } S_{D1} 0,4\text{).}$$

Tabel 3.6: pengecekan T berdasarkan waktu getar alami *fundamental* menara mercusuar dengan penerapan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan penambahan Composite Bracing Frame (CBF – Composite) berdasarkan SNI 1727:2013.

Syarat Perioda			Hasil		
Arah	Ta Min = Ct*hn	Ta Max = Cu*Ta Min	T hasil dari ETABS	Cek Min	Cek Max
Arah X	4,099	5,738	2,516	OK	OK
Arah Y	4,099	5,738	2,486	OK	OK

3.5.3. Penentuan Faktor Respon Gempa (C)

Berdasarkan SNI 1727:2013, penentuan nilai koefisien respon seismic (C_s) berdasarkan Pers. 2.12,2.13,2.14 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

- a. Model 1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

$$C_{s\text{maksimum arah x}} = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_{s\text{maksimum arah x}} = 0,985/(8/1) = 0,123$$

$$C_{s\text{maksimum arah y}} = 0,985/(8/1) = 0,123$$

$$C_{\text{Shitungan}} = \frac{SD1}{T \left(\frac{R}{I} \right)}$$

$$C_{\text{Shitungan arah x}} = \frac{0,55}{3,975 \left(\frac{8}{I} \right)} = 0,016$$

$$C_{\text{Shitungan arah y}} = \frac{0,55}{3,914 \left(\frac{8}{I} \right)} = 0,020$$

$$C_{\text{sminimum}} = 0,044 SD1. I \geq 0,01$$

$$C_{\text{sminimum y}} = 0,044.0,52. 1 = 0,022$$

$$C_{\text{sminimum y}} = 0,044.0,52. 1 = 0,022$$

Nilai Cs diatas yang digunakan dirangkum ke dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.7: Rangkuman nilai Cs yang digunakan pada model menara mercusuar dengan menggunakan SRPMK.

Arah	Cs Max	Cs Hitungan = SD1 / (T.(R/I)	Cs Min = 0,044.SD1.1	Cs yang digunakan
T1	0,123	0,016	0,022	0,123
T2	0,123	0,020	0,022	0,123

- a. Model 2 Sistem Rangka Pemikul Momen Khisus (SRPMK) dan Composite Bracing Frame (CBF – Composite).

$$C_{\text{Smaksimum arah x}} = 0,985/(8/1) = 0,123$$

$$C_{\text{Smaksimum arah y}} = 0,985/(8/1) = 0,123$$

$$C_{\text{Shitungan}} = \frac{SD1}{T \left(\frac{R}{I} \right)}$$

$$C_{\text{Shitungan arah x}} = \frac{0,55}{4,099 \left(\frac{8}{I} \right)} = 0,158$$

$$C_{\text{Shitungan arah y}} = \frac{0,55}{4,099 \left(\frac{8}{I} \right)} = 0,158$$

$$C_{\text{sminimum}} = 0,044 SD1. I \geq 0,01$$

$$C_{\text{sminimum y}} = 0,044.0,52. 1 = 0,022$$

$$C_{\text{sminimum y}} = 0,044.0,52. 1 = 0,022$$

Nilai Cs diatas yang digunakan dirangkum ke dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.8: Rangkuman nilai Cs yang digunakan pada kedua model menara mercusuar dengan menggunakan SRPMK dan CBF – Komposit.

Arah	Cs Max	Cs Hitungan = $SD1 / (T.(R/I))$	Cs Min = $0,044.SD1.1$	Cs yang digunakan
T1	0,123	0,158	0,022	0,123
T2	0,123	0,158	0,022	0,123

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Pada bab ini akan membahas beberapa nilai perbedaan hasil analisis dengan menggunakan software analisis struktur pada tiap model. Diantaranya adalah nilai simpangan, gaya-gaya dalam struktur gedung, kekakuan gedung dan tahanan gempa. Berdasarkan tiga jenis pemodelan struktur, yaitu struktur gedung yang dimodelkan dengan SRPMK dan CBF - Komposit. Model Struktur 1 menggunakan rangka beton bertulang pemikul momen khusus, Model Struktur 2 menggunakan rangka beton bertulang pemikul momen khusus dengan *Composite Bracing Frame* dengan jumlah lantai sebanyak 21 lantai. Semua bentuk input beban, klasifikasi zona gempa dan jumlah tingkat adalah sama.

4.2. Hasil Analisa Gedung

4.2.1. Struktur Model 1 (SRPMK)

Pada Model 1 analisis respon spektrum ini dilakukan dengan metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*).

4.2.1.1. Berat Struktur

Besarnya beban gempa sangat dipengaruhi oleh berat struktur dari suatu bangunan, maka perlu diketahui berat bangunan untuk menahan gaya geser statik. Berat dari bangunan berasal dari beban mati yang terdiri dari berat sendiri material bangunan dan elemen-elemen struktur seperti kolom, balok dan plat lantai, serta beban hidup yang diakibatkan oleh penggunaan bangunan. Pada tugas akhir ini perhitungan berat struktur Menara mercusuar bangunan diambil dari analisis menggunakan software analisis struktur.

Peneliti tidak melakukan analisis perhitungan manual, sebab program analisis struktur telah menghitung berat struktur secara otomatis. Adapun massa

struktur gedung dari output hasil program analisis struktur yang disajikan dalam table 4.1.

Tabel 4.1. Massa struktur, pusat massa dan pusat kekakuan.

Lantai	Mass X	Mass Y	XCM	YCM
	Ton	Ton	M	M
LT 21	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 20	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 19	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 18	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 17	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 16	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 15	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 14	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 13	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 12	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 11	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 10	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 9	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 8	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 7	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 6	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 5	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 4	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 3	71.0457	71.0457	4.0399	4.0505
LT 2	72.099	72.099	4.0096	4.0575
LT 1	51.4771	51.4771	4.0582	4.0281
TOTAL	1473.4444	1473.4444		

Pada Tabel 4.1, menunjukkan hasil massa struktur bangunan per lantai, dimana nilai absis pusat massa adalah sama dengan nilai absis pusat kekakuan adalah 4 m. Oleh karena itu, struktur bangunan pada Model 1 tidak memiliki eksentrisitas sebab nilai pusat massa dan pusat kekakuan saling berimpit satu sama lain, maka struktur tidak diperiksa terhadap ketidakberaturan torsi berdasarkan SNI 1726:2012.

4.2.1.2. Koreksi Gaya Geser

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

Dari hasil analisis respon spektrum yang menggunakan program Analisis Struktur diperoleh nilai gaya geser dasar (V) berdasarkan SNI 1726-2012 yang disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Gaya geser dasar nominal hasil analisis ragam respon spektrum.

Base Reaction				
Output Case	Case Type	Step Type	Global FX	Global FY
Text	Text	Text	(kN)	(kN)
Gempa X	LinRespSpec	Max	182.804	33.439
Gempa Y	LinRespSpec	Max	13.8013	193.9684

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

- Gempa Arah X

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

$$V_{Ix} = 0,0208 (1473,4444 \text{ (Tabel 4.1)})$$

$$= 30,6476, \text{ kN (Gaya geser statik ekivalen arah X)}$$

- Gempa Arah Y

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

$$V_{Iy} = 0,0166 \times 1473,4444 \text{ (Tabel 4.1)}$$

$$= 29,46888 \text{ kN (Gaya geser statik ekivalen arah Y)}$$

Berdasarkan SNI 1726-2012 kontrol faktor skala:

- Arah X

$$V_x = 182,804 \text{ kN}$$

$$V_{Ix} = 30,6476 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Skala} &= \frac{0,85 \times V_{Ix}}{V_x} \leq 1 \\ &= \frac{0,85 \times 30,6476}{182,804} = 0,142 \leq 1 \end{aligned}$$

- Arah Y

$$V_x = 193,9684 \text{ kN}$$

$$V_{Ix} = 29,46888 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Skala} &= \frac{0,85 \times V_{Ix}}{V_x} \leq 1 \\ &= \frac{0,85 \times 29,46888}{193,9684} = 0,129 \leq 1 \end{aligned}$$

Tabel 4.3: Rekapitulasi faktor skala hasil respon spektrum dengan statik ekuivalen masing-masing arah Model 1.

V1		Vt		Faktor Skala	
Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
30,6476	29,46888	182,804	193,9684	0,142	0,129

Karena faktor skala yang didapat untuk masing-masing arah kurang dari 1, maka gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisa ragam respon spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa dikalikan dengan faktor

skala $\frac{0,85 \times C_s W}{V_t}$.

4.2.1.3. Koreksi Faktor Redundansi

Untuk struktur yang dirancang kategori desain seismik D, redundansi (ρ) harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, dimana redundansi (ρ) diijinkan diambil 1,0. Salah satu kondisi untuk menentukan yaitu

masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau, maka redundansi (ρ) diijinkan diambil 1,0. Apabila kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka redundansi (ρ) 1,0 harus diganti dengan redundansi (ρ) 1,3. Sebagaimana tertera pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* redundansi (ρ) 1,3.

Lantai	V _x	V _y	35% V _x	35% V _y	Kontrol	Kontrol
	(kN)	(kN)	Base Shear	Base Shear		
LT 21	13.2	13.2	28.4	28.4	NOT OKE	NOT OKE
LT 20	24.7	24.7	28.4	28.4	NOT OKE	NOT OKE
LT 19	34.7	34.7	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 18	43.4	43.4	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 17	50.8	50.8	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 16	57.1	57.1	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 15	62.4	62.4	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 14	66.8	66.8	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 13	70.4	70.4	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 12	73.3	73.3	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 11	75.6	75.6	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 10	77.3	77.4	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 9	78.7	78.7	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 9	79.6	79.7	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 7	80.3	80.3	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 6	80.8	80.8	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 5	81.0	81.1	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 4	81.2	81.2	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 3	81.2	81.3	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 2	81.3	81.3	28.4	28.4	OKE	OKE
LT 1	81.3	81.3	28.4	28.4	OKE	OKE

Dari Tabel 4.4, gaya geser pada lantai 1 - 21 dengan redundansi 1,0 tidak memenuhi syarat lebih besar dari 35 persen gaya geser dasar, maka nilai redundansi (ρ) pada pemodelan struktur menggunakan dengan nilai redundansi 1,3.

4.2.1.4. Gaya Geser Lantai

Gaya geser lantai merupakan distribusi dari gaya geser dasar yang dibagi pada setiap lantai untuk masing-masing arah arah gempa yaitu arah x dan arah y. Nilai gaya geser setiap lantai didapat dari hasil pemodelan struktur dengan menggunakan program analisis struktur yang dapat disajikan pada Tabel 4.5 sebagai nilai gaya geser yang terjadi pada struktur menara mercusuar.

Tabel 4.5: Nilai gaya geser gabungan maksimum x dan y pada setiap lantai.

Tingkat	Tinggi	Lokasi	Vx	Vy
	(m)		(kN)	(kN)
Story21	84	<i>Top</i>	29.0762	7.2837
		<i>Bottom</i>	29.0762	7.2837
Story20	80	<i>Top</i>	57.3409	13.5625
		<i>Bottom</i>	57.3409	13.5625
Story19	76	<i>Top</i>	74.5701	16.4238
		<i>Bottom</i>	74.5701	16.4238
Story18	72	<i>Top</i>	84.4014	17.4591
		<i>Bottom</i>	84.4014	17.4591
Story17	68	<i>Top</i>	91.8798	18.7781
		<i>Bottom</i>	91.8798	18.7781
Story16	64	<i>Top</i>	99.7461	20.7879
		<i>Bottom</i>	99.7461	20.7879
Story15	60	<i>Top</i>	107.2837	22.2653
		<i>Bottom</i>	107.2837	22.2653
Story14	56	<i>Top</i>	113.3468	22.6813
		<i>Bottom</i>	113.3468	22.6813
Story13	52	<i>Top</i>	118.3648	22.932
		<i>Bottom</i>	118.3648	22.932
Story12	48	<i>Top</i>	123.2407	23.9298
		<i>Bottom</i>	123.2407	23.9298
Story11	44	<i>Top</i>	128.0339	25.2273
		<i>Bottom</i>	128.0339	25.2273
Story10	40	<i>Top</i>	132.6643	25.9641
		<i>Bottom</i>	132.6643	25.9641

Tabel 4.5: *Lanjutan*

Tingkat	Tinggi	Lokasi	V _x	V _y
	(m)		(kN)	(kN)
Story9	36	<i>Top</i>	137.8248	26.326
		<i>Bottom</i>	137.8248	26.326
Story8	32	<i>Top</i>	143.974	27.2113
		<i>Bottom</i>	143.974	27.2113
Story7	28	<i>Top</i>	150.1575	28.7324
		<i>Bottom</i>	150.1575	28.7324
Story6	24	<i>Top</i>	155.2965	30.0798
		<i>Bottom</i>	155.2965	30.0798
Story5	20	<i>Top</i>	160.3424	30.9564
		<i>Bottom</i>	160.3424	30.9564
Story4	16	<i>Top</i>	167.5253	32.1045
		<i>Bottom</i>	167.5253	32.1045
Story3	12	<i>Top</i>	176.7784	34.0397
		<i>Bottom</i>	176.7784	34.0397
Story2	8	<i>Top</i>	184.5855	35.9688
		<i>Bottom</i>	184.5855	35.9688
Story 1	4	<i>Top</i>	187.7129	36.8019
		<i>Bottom</i>	187.7129	36.8019

Pada Tabel 4.5, menunjukkan gaya geser maksimum dari masing-masing arah tiap lantai.

4.2.1.5 Nilai Simpangan

Simpangan antar lantai merupakan selisih nilai defleksi pada pusat massa gedung antara lantai teratas dan lantai dibawahnya. Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.6, simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.13. Pada Tabel 4.6 menunjukkan hasil nilai perpindahan dan simpangan antar lantai pada setiap lantai.

Tabel 4.6: Nilai simpangan berdasarkan SNI 1726:2012.

Tingkat	H (m)	Perpindahan Elastis (δ_e)		Perpindahan Total ($\delta_e * C_d$)/ I_e		Simpangan Antar Lantai (Δ)		Syarat $\Delta a/\rho$ (m)	Cek X	Cek Y
		X	Y	X	Y	X	Y			
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)			
21	4	0.0689	0.0124	0.379	0.068	0.012	0.0022	0.062	OK	OK
20	4	0.066	0.0120	0.368	0.066	0.013	0.0023	0.062	OK	OK
19	4	0.064	0.0115	0.355	0.064	0.014	0.0026	0.062	OK	OK
18	4	0.061	0.0111	0.341	0.061	0.015	0.0028	0.062	OK	OK
17	4	0.059	0.0106	0.326	0.058	0.016	0.0029	0.062	OK	OK
16	4	0.056	0.0100	0.310	0.055	0.017	0.0031	0.062	OK	OK
15	4	0.0531	0.0095	0.293	0.052	0.018	0.0032	0.062	OK	OK
14	4	0.0499	0.0089	0.275	0.049	0.019	0.0033	0.062	OK	OK
13	4	0.0465	0.0083	0.256	0.046	0.019	0.0034	0.062	OK	OK
12	4	0.0430	0.0077	0.237	0.042	0.020	0.0035	0.062	OK	OK
11	4	0.0394	0.0070	0.217	0.039	0.020	0.0036	0.062	OK	OK
10	4	0.0356	0.0064	0.196	0.035	0.021	0.0037	0.062	OK	OK
9	4	0.0319	0.0057	0.175	0.032	0.021	0.0038	0.062	OK	OK
8	4	0.0280	0.0050	0.154	0.028	0.022	0.0038	0.062	OK	OK
7	4	0.0241	0.0043	0.133	0.024	0.022	0.0039	0.062	OK	OK
6	4	0.0201	0.0036	0.111	0.020	0.022	0.0039	0.062	OK	OK
5	4	0.0161	0.0029	0.089	0.016	0.022	0.0040	0.062	OK	OK
4	4	0.0121	0.0022	0.067	0.012	0.022	0.0039	0.062	OK	OK
3	4	0.0081	0.0014	0.045	0.008	0.020	0.0037	0.062	OK	OK
2	4	0.0044	0.0008	0.024	0.005	0.017	0.0031	0.062	OK	OK
1	4	0.0014	0.0002	0.008	0.001	0.008	0.0014	0.062	OK	OK

Pada Tabel 4.6 menunjukkan, perpindahan dan simpangan antar lantai maksimum dari setiap arah saja.

4.2.1.6. Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.7, pengaruh P-Delta ditentukan berdasarkan nilai koefisien stabilitas (θ). Jika nilai koefisien stabilitas lebih kecil dari 0,1 maka pengaruh P-Delta dapat diabaikan. Berikut ini hasil perhitungan P-

Delta masing-masing arah baik arah x dan y yang disajikan pada Tabel 4.7 dan 4.8.

Tabel 4.7: Perhitungan P-Delta pada arah X berdasarkan SNI 1726:2012.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, V_x (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio (θ_x)	Cek
21	84	0.3792	29.8	71.0	71.0	0.00196	P-Delta No
20	80	0.3675	58.4	71.0	142.1	0.00203	P-Delta No
19	76	0.3548	75.4	71.0	213.1	0.00240	P-Delta No
18	72	0.3409	84.5	71.0	284.2	0.00289	P-Delta No
17	68	0.3258	91.4	71.0	355.2	0.00338	P-Delta No
16	64	0.3097	99.1	71.0	426.3	0.00378	P-Delta No
15	60	0.2926	106.6	71.0	497.3	0.00413	P-Delta No
14	56	0.2746	112.5	71.0	568.4	0.00450	P-Del No
13	52	0.2559	117.2	71.0	639.4	0.00488	P-Del No
12	48	0.2366	121.8	71.0	710.5	0.00523	P-Del No
11	44	0.2167	126.4	71.0	781.5	0.00554	P-Del No
10	40	0.1963	130.9	71.0	852.5	0.00581	P-Del No
9	36	0.1755	135.8	71.0	923.6	0.00603	P-Del No
8	32	0.1542	141.5	71.0	994.6	0.00616	P-Del No
7	28	0.1326	147.5	71.0	1065.7	0.00622	P-Del No
6	24	0.1107	152.7	71.0	1136.7	0.00624	P-Del No
5	20	0.0887	157.7	71.0	1207.8	0.00617	P-Del No
4	16	0.0666	164.5	71.0	1136.7	0.00523	P-Del No
3	12	0.0448	172.9	71.0	1207.8	0.00475	P-Del No
2	8	0.0244	180.0	71.0	1278.8	0.00395	P-Del No
1	4	0.0077	182.8	51.5	1330.3	0.00256	P-Del No

Tabel 4.8: Perhitungan P-Delta pada arah Y berdasarkan SNI 1726:2012.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, V_y (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio (θ_y)	Cek
21	84	0.0257	2.7	71.0	71.0	0.0014	P-Del No
20	80	0.0248	5.1	71.0	142.1	0.0016	P-Del No
19	76	0.0240	6.2	71.0	213.1	0.0020	P-Del No

Tabel 4.8: *Lanjutan.*

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, V_y (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio (θ_y)	Cek
18	72	0.0230	6.5	71.0	284.2	0.0025	P-Del No
17	68	0.0219	7.0	71.0	355.2	0.0030	P-Del No
16	64	0.0208	7.8	71.0	426.3	0.0032	P-Del No
15	60	0.0196	8.3	71.0	497.3	0.0035	P-Del No
14	56	0.0184	8.5	71.0	568.4	0.0040	P-Del No
13	52	0.0172	8.6	71.0	639.4	0.0045	P-Del No
12	48	0.0159	9.0	71.0	710.5	0.0048	P-Del No
11	44	0.0145	9.5	71.0	781.5	0.0050	P-Del No
10	40	0.0132	9.7	71.0	852.5	0.0052	P-Del No
9	36	0.0118	9.9	71.0	923.6	0.0056	P-Del No
8	32	0.0104	10.2	71.0	994.6	0.0058	P-Del No
7	28	0.0090	10.8	71.0	1065.7	0.0058	P-Del No
6	24	0.0075	11.3	71.0	1136.7	0.0057	P-Del No
5	20	0.0060	11.6	71.0	1207.8	0.0057	P-Del No
4	16	0.0045	12.0	71.0	1136.7	0.0049	P-Del No
3	12	0.0031	12.8	71.0	1207.8	0.0044	P-Del No
2	8	0.0017	13.5	71.0	1278.8	0.0037	P-Del No
1	4	0.0005	13.8	51.5	1330.3	0.0024	P-Del No
5	20	0.0060	11.6	71.0	1207.8	0.0057	P-Del No

Pada Tabel 4.6 dan 4.7 menunjukkan nilai stabilitas rasio (θ) untuk masing-masing arah baik arah x dan y. Sesuai SNI 1726:2012 pada semua lantai kurang dari 0,1 sehingga pengaruh P-Delta dapat diabaikan.

4.2.2. Struktur Model 2 (CBF Komposit)

Pada Model 1 analisis respon spektrum ini dilakukan dengan metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*).

4.2.2.1. Berat Struktur

Besarnya beban gempa sangat dipengaruhi oleh berat struktur dari suatu bangunan, maka perlu diketahui berat total bangunan untuk menahan gaya geser statik. Berat dari bangunan berasal dari beban mati yang terdiri dari berat sendiri

material bangunan dan elemen-elemen struktur seperti kolom, balok dan plat lantai, serta beban hidup yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan bangunan seperti manusia dan. Pada tugas akhir ini, perhitungan berat struktur Menara mercusuar bangunan diambil dari analisis menggunakan program analisis struktur *Run - Show Table – Structure Result – Center Of Mass Rigidity*.

Peneliti tidak melakukan analisis perhitungan manual, sebab program analisis struktur telah menghitung berat struktur secara otomatis. Adapun massa struktur gedung dari output hasil program analisis struktur yang disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.9: Massa struktur, pusat massa dan pusat kekakuan.

Lantai	Mass X	Mass Y	XCM	YCM
	Ton	Ton	M	M
LT 21	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 20	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 19	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 18	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 17	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 16	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 15	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 14	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 13	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 12	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 11	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 10	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 9	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 8	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 7	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 6	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 5	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 4	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 3	73.2603	73.2603	4.0387	4.049
LT 2	74.3136	74.3136	4.0094	4.0558
LT 1	52.5844	52.5844	4.0867	4.0573
TOTAL	1518.8437	1518.8437		

Pada Tabel 4.14, menunjukkan hasil massa struktur bangunan per lantai, dimana nilai absis pusat massa adalah sama dengan nilai absis pusat kekakuan adalah 4 m. Oleh karena itu, struktur bangunan pada Model 1 tidak memiliki

eksentrisitas sebab nilai pusat massa dan pusat kekakuan saling berimpit satu sama lain, maka struktur tidak diperiksa terhadap ketidakberaturan torsi berdasarkan SNI 1726:2012.

4.2.2.2. Koreksi Gaya Geser

Pada dasarnya nilai gaya geser pada gedung yang simetris akibat arah X maupun arah Y tetap sama. Tetapi, nilai gaya geser yang dihasilkan oleh respon spektrum program analisis struktur sangat teliti sehingga arah X dan arah Y tidak sama walaupun bangunannya simetris. Adapun bangunan yang direncanakan menggunakan struktur rangka pemikul momen khusus dengan CBF- Komposit ini memiliki Inersia arah X dan arah Y yang berlainan. Oleh karena itu, hasil perioda yang diperoleh terhadap arah X dan arah Y tidak sama. Ketentuan ini berlaku pada gedung setiap model.

Dari hasil analisis respon spektrum yang menggunakan program Analisis Struktur diperoleh nilai gaya geser dasar (V) berdasarkan SNI 1726-2012 yang disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.10: Gaya geser dasar nominal hasil analisis ragam respon spektrum.

Base Reaction				
Output Case Text	Case Type Text	Step Type Text	Global FX (kN)	Global FY (kN)
Gempa X	LinRespSpec	<i>Max</i>	393.8758	13.6326
Gempa Y	LinRespSpec	<i>Max</i>	36.3535	1049.2019

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

- Gempa Arah X

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

$$V_{Ix} = 0,0208 (1518.8437 \text{ (Tabel 4.1)})$$

$$= 31,59194, \text{ kN (Gaya geser statik ekuivalen arah X)}$$

- Gempa Arah Y

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

$$V_{Iy} = 0,0166 \times 1518,8437 \text{ (Tabel 4.1)}$$

$$= 25,21280 \text{ kN (Gaya geser statik ekuivalen arah Y)}$$

Berdasarkan SNI 1726-2012 kontrol faktor skala:

- Arah X

$$V_x = 393,8758 \text{ kN}$$

$$V_{Ix} = 31,59194 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Skala} &= \frac{0,85 \times V_{Ix}}{V_x} \leq 1 \\ &= \frac{0,85 \times 31,59194}{393,8758} = 0,681 \leq 1 \end{aligned}$$

- Arah Y

$$V_x = 193,9684 \text{ kN}$$

$$V_{Iy} = 29,46888 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Skala} &= \frac{0,85 \times V_{Iy}}{V_x} \leq 1 \\ &= \frac{0,85 \times 29,46888}{193,9684} = 0,129 \leq 1 \end{aligned}$$

Tabel 4.11: Rekapitulasi faktor skala hasil respon spektrum dengan statik ekuivalen masing-masing arah Model 1.

V1		Vt		Faktor Skala	
Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
31,59194	25,21280	393,8758	1518,8473	0,142	0,129

Karena faktor skala yang didapat untuk masing-masing arah kurang dari 1, maka gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisa ragam respon spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa dikalikan dengan faktor

$$\text{skala } \frac{0,85 \times C_s W}{V_t} .$$

4.2.2.3. Koreksi Faktor Redundansi

Untuk struktur yang dirancang kategori desain seismik D, redundansi (ρ) harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, dimana redundansi (ρ) diijinkan diambil 1,0. Salah satu kondisi untuk menentukan yaitu masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau, maka redundansi (ρ) diijinkan diambil 1,0. Apabila kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka redundansi (ρ) 1,0 harus diganti dengan redundansi (ρ) 1,3. Sebagaimana tertera pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12: Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* redundansi (ρ) 1,3.

Lantai	Vx	Vy	35% Vx	35% Vy	Kontrol	Kontrol
	(kN)	(kN)	Base Shear	Base Shear		
LT 21	13.6	13.6	29.3	29.3	NOT OKE	NOT OKE
LT 20	25.5	25.5	29.3	29.3	NOT OKE	NOT OKE
LT 19	35.8	35.8	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 18	44.7	44.8	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 17	52.4	52.4	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 16	58.9	58.9	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 15	64.3	64.4	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 14	68.9	68.9	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 13	72.6	72.6	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 12	75.6	75.6	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 11	77.9	77.9	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 10	79.7	79.8	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 9	81.1	81.1	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 9	82.1	82.1	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 7	82.8	82.8	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 6	83.2	83.3	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 5	83.5	83.6	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 4	83.7	83.7	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 3	83.7	83.8	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 2	83.8	83.8	29.3	29.3	OKE	OKE
LT 1	83.8	83.8	29.3	29.3	OKE	OKE

Dari Tabel 4.4, gaya geser pada lantai 19 dengan redundansi 1,0 tidak memenuhi syarat lebih besar dari 35 persen gaya geser dasar, maka nilai redundansi (ρ) pada pemodelan struktur menggunakan dengan nilai redundansi 1,3.

4.2.2.4. Gaya Geser Lantai

Gaya geser lantai merupakan distribusi dari gaya geser dasar yang dibagi pada setiap lantai untuk masing-masing arah arah gempa yaitu arah x dan arah y. Nilai gaya geser setiap lantai didapat dari hasil pemodelan struktur dengan menggunakan program analisis struktur dengan cara *Run – Display – Story Respon Plot – Display Type – Story Shers – Gempa X* atau *Gempa Y* yang dapat disajikan pada Tabel 4.12 sebagai nilai gaya geser yang terjadi pada struktur menara mercusuar.

Tabel 4.13: Nilai gaya geser gabungan maksimum x dan y pada setiap lantai.

Tingkat	Tinggi	Lokasi	Vx	Vy
	(m)		(kN)	(kN)
Story21	84	<i>Top</i>	50.6089	6.4247
		<i>Bottom</i>	50.6089	6.4247
Story20	80	<i>Top</i>	105.5407	12.7524
		<i>Bottom</i>	105.5407	12.7524
Story19	76	<i>Top</i>	144.9729	16.3865
		<i>Bottom</i>	144.9729	16.3865
Story18	72	<i>Top</i>	170.1628	17.7122
		<i>Bottom</i>	170.1628	17.7122
Story17	68	<i>Top</i>	183.7556	17.5141
		<i>Bottom</i>	183.7556	17.5141
Story16	64	<i>Top</i>	189.598	16.6111
		<i>Bottom</i>	189.598	16.6111
Story15	60	<i>Top</i>	191.4273	15.5173
		<i>Bottom</i>	191.4273	15.5173
Story14	56	<i>Top</i>	191.9347	14.5315
		<i>Bottom</i>	191.9347	14.5315
Story13	52	<i>Top</i>	192.8569	13.9877
		<i>Bottom</i>	192.8569	13.9877
Story12	48	<i>Top</i>	195.7709	14.1117
		<i>Bottom</i>	195.7709	14.1117
Story11	44	<i>Top</i>	202.4422	14.7272
		<i>Bottom</i>	202.4422	14.7272
Story10	40	<i>Top</i>	214.132	15.521
		<i>Bottom</i>	214.132	15.521

Tabel 4.13: *Lanjutan*

Tingkat	Tinggi	Lokasi	V _x	V _y
	(m)		(kN)	(kN)
Story9	36	<i>Top</i>	230.7417	16.5087
		<i>Bottom</i>	230.7417	16.5087
Story8	32	<i>Top</i>	251.0361	17.9657
		<i>Bottom</i>	251.0361	17.9657
Story7	28	<i>Top</i>	273.7174	20.0048
		<i>Bottom</i>	273.7174	20.0048
Story6	24	<i>Top</i>	298.0717	22.508
		<i>Bottom</i>	298.0717	22.508
Story5	20	<i>Top</i>	323.5368	25.4212
		<i>Bottom</i>	323.5368	25.4212
Story4	16	<i>Top</i>	348.7253	28.7545
		<i>Bottom</i>	348.7253	28.7545
Story3	12	<i>Top</i>	370.9641	32.2082
		<i>Bottom</i>	370.9641	32.2082
Story2	8	<i>Top</i>	386.9099	35.0236
		<i>Bottom</i>	386.9099	35.0236
Story1	4	<i>Top</i>	393.8758	36.3535
		<i>Bottom</i>	393.8758	36.3535

Pada Tabel 4.12, menunjukkan gaya geser maksimum dari masing-masing arah tiap lantai.

4.2.2.5 Nilai Simpangan

Simpangan antar lantai merupakan selisih nilai defleksi pada pusat massa gedung antara lantai teratas dan lantai dibawahnya. Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.6, simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.13. Pada Tabel 4.6 menunjukkan hasil nilai perpindahan dan simpangan antar lantai pada setiap lantai.

Tabel 4.14: Nilai simpangan berdasarkan SNI 1726:2012.

Tingkat	H (m)	Perpindahan Elastis (δ_e)		Perpindahan Total ($\delta_e \cdot C_d$)/ I_e		Simpangan Antar Lantai (Δ)		Syarat $\Delta a/\rho$ (m)	Cek	
		X	Y	X	Y	X	Y		X	Y
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)			
21	4	0.0464	0.1254	0.255	0.690	0.015	0.040	0.062	OK	OK
20	4	0.0437	0.1182	0.240	0.650	0.015	0.041	0.062	OK	OK
19	4	0.041	0.1108	0.226	0.610	0.015	0.041	0.062	OK	OK
18	4	0.0383	0.1034	0.211	0.569	0.015	0.041	0.062	OK	OK
17	4	0.0355	0.0959	0.195	0.528	0.015	0.041	0.062	OK	OK
16	4	0.0328	0.0884	0.180	0.487	0.015	0.041	0.062	OK	OK
15	4	0.0301	0.0811	0.165	0.446	0.015	0.040	0.062	OK	OK
14	4	0.0274	0.0738	0.151	0.406	0.014	0.039	0.062	OK	OK
13	4	0.0248	0.0667	0.136	0.367	0.014	0.038	0.062	OK	OK
12	4	0.0222	0.0598	0.122	0.329	0.014	0.037	0.062	OK	OK
11	4	0.0197	0.0530	0.109	0.292	0.013	0.036	0.062	OK	OK
10	4	0.0173	0.0465	0.095	0.256	0.013	0.034	0.062	OK	OK
9	4	0.015	0.0403	0.083	0.222	0.012	0.033	0.062	OK	OK
8	4	0.0128	0.0343	0.070	0.189	0.012	0.031	0.062	OK	OK
7	4	0.0107	0.0285	0.059	0.157	0.011	0.030	0.062	OK	OK
6	4	0.0087	0.0231	0.048	0.127	0.010	0.028	0.062	OK	OK
5	4	0.0068	0.0181	0.037	0.100	0.010	0.026	0.062	OK	OK
4	4	0.005	0.0133	0.028	0.074	0.009	0.024	0.062	OK	OK
3	4	0.0034	0.0090	0.019	0.050	0.008	0.021	0.062	OK	OK
2	4	0.002	0.0052	0.011	0.029	0.007	0.018	0.062	OK	OK
1	4	0.0007	0.0019	0.004	0.011	0.004	0.011	0.062	OK	OK
2	4	0.002	0.0052	0.011	0.029	0.007	0.018	0.062	OK	OK
1	4	0.0007	0.0019	0.004	0.011	0.004	0.011	0.062	OK	OK

Pada Tabel 4.13 menunjukkan, perpindahan dan simpangan antar lantai maksimum dari setiap arah.

4.2.2.6. Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.7, pengaruh P-Delta ditentukan berdasarkan nilai koefisien stabilitas (θ). Jika nilai koefisien stabilitas lebih kecil dari 0,1 maka pengaruh P-Delta dapat diabaikan. Berikut ini hasil perhitungan P-

Delta masing-masing arah baik arah x dan y yang disajikan pada Tabel 4.15 dan 4.16.

Tabel 4.15: Perhitungan P-Delta pada arah X berdasarkan SNI 1726:2012.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, V_x (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio (θ_x)	Cek
21	84	0.2552	29.8	71.0	71.0	0.00132	P-Del No
20	80	0.2405	58.4	71.0	142.1	0.00133	P-Del No
19	76	0.2256	75.4	71.0	213.1	0.00153	P-Del No
18	72	0.2106	84.5	71.0	284.2	0.00179	P-Del No
17	68	0.1955	91.4	71.0	355.2	0.00203	P-Del No
16	64	0.1804	99.1	71.0	426.3	0.00220	P-Del No
15	60	0.1655	106.6	71.0	497.3	0.00234	P-Del No
14	56	0.1507	112.5	71.0	568.4	0.00247	P-Del No
13	52	0.1363	117.2	71.0	639.4	0.00260	P-Del No
12	48	0.1222	121.8	71.0	710.5	0.00270	P-Del No
11	44	0.1086	126.4	71.0	781.5	0.00277	P-Del No
10	40	0.0953	130.9	71.0	852.5	0.00282	P-Del No
9	36	0.0826	135.8	71.0	923.6	0.00284	P-Del No
8	32	0.0704	141.5	71.0	994.6	0.00281	P-Del No
7	28	0.0587	147.5	71.0	1065.7	0.00275	P-Del No
6	24	0.0477	152.7	71.0	1136.7	0.00269	P-Del No
5	20	0.0373	157.7	71.0	1207.8	0.00260	P-Del No
4	16	0.0276	164.5	71.0	1136.7	0.00217	P-Del No
3	12	0.0188	172.9	71.0	1207.8	0.00199	P-Del No
2	8	0.0109	180.0	71.0	1278.8	0.00176	P-Del No
1	4	0.0041	182.8	51.5	1330.3	0.00135	P-Del No

Tabel 4.16: Perhitungan P-Delta pada arah Y berdasarkan SNI 1726:2012.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, V_y (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio (θ_y)	Cek
21	84	0.0027	2.7	71.0	71.0	0.0002	P-Del No
20	80	0.0248	5.1	71.0	142.1	0.0016	P-Del No
19	76	0.0240	6.2	71.0	213.1	0.0020	P-Del No

Tabel 4.16: *Lanjutan.*

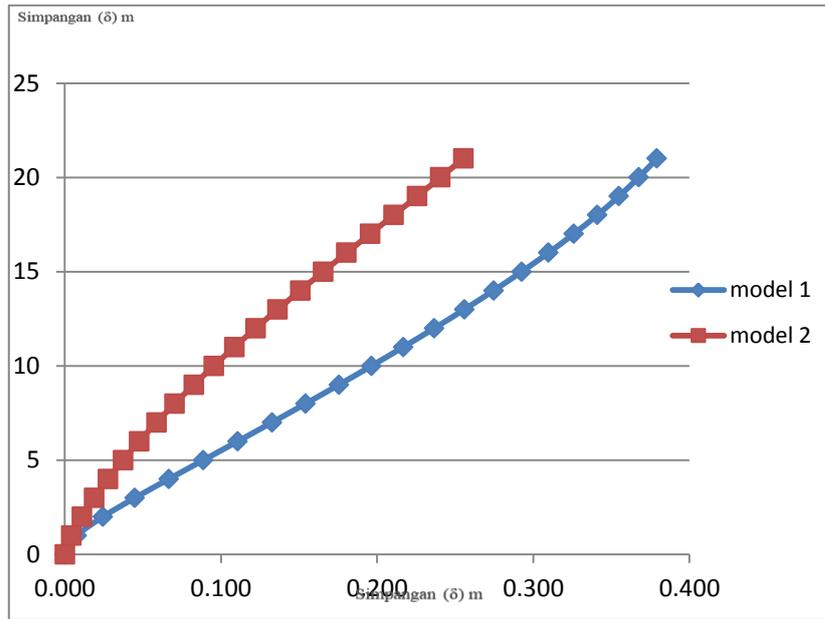
Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, V_y (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio (θ_y)	Cek
18	72	0.0230	6.5	71.0	284.2	0.0025	P-Del No
17	68	0.0219	7.0	71.0	355.2	0.0030	P-Del No
16	64	0.0208	7.8	71.0	426.3	0.0032	P-Del No
15	60	0.0196	8.3	71.0	497.3	0.0035	P-Del No
14	56	0.0184	8.5	71.0	568.4	0.0040	P-Del No
13	52	0.0172	8.6	71.0	639.4	0.0045	P-Del No
12	48	0.0159	9.0	71.0	710.5	0.0048	P-Del No
11	44	0.0145	9.5	71.0	781.5	0.0050	P-Del No
10	40	0.0132	9.7	71.0	852.5	0.0052	P-Del No
9	36	0.0118	9.9	71.0	923.6	0.0056	P-Del No
8	32	0.0104	10.2	71.0	994.6	0.0058	P-Del No
7	28	0.0090	10.8	71.0	1065.7	0.0058	P-Del No
6	24	0.0075	11.3	71.0	1136.7	0.0057	P-Del No
5	20	0.0060	11.6	71.0	1207.8	0.0057	P-Del No
4	16	0.0045	12.0	71.0	1136.7	0.0049	P-Del No
3	12	0.0031	12.8	71.0	1207.8	0.0044	P-Del No
2	8	0.0017	13.5	71.0	1278.8	0.0037	P-Del No
1	4	0.0005	13.8	51.5	1330.3	0.0024	P-Del No

Pada Tabel 4.15 dan 4.16 menunjukkan nilai stabilitas rasio (θ) untuk masing-masing arah baik arah x dan y. Sesuai SNI 1726:2012 pada semua lantai kurang dari 0,1 sehingga pengaruh P-Delta dapat diabaikan.

4.3. Hasil Perbandingan Pemodelan Struktur

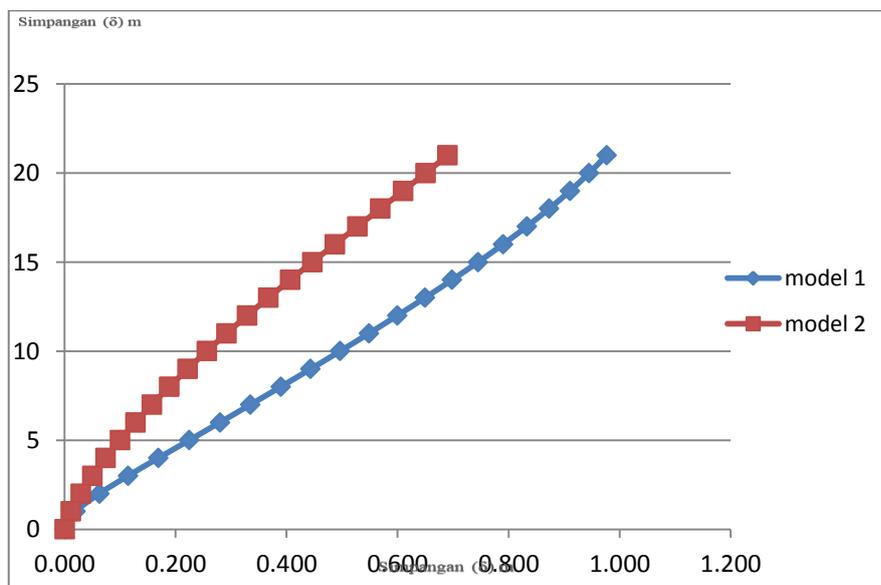
4.3.1. Perbandingan Simpangan Antar Lantai

Berikut ini akan disajikan grafik perbandingan perpindahan total dan rasio simpangan antar lantai pada setiap model dengan analisis respons spektrum ragam, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.1



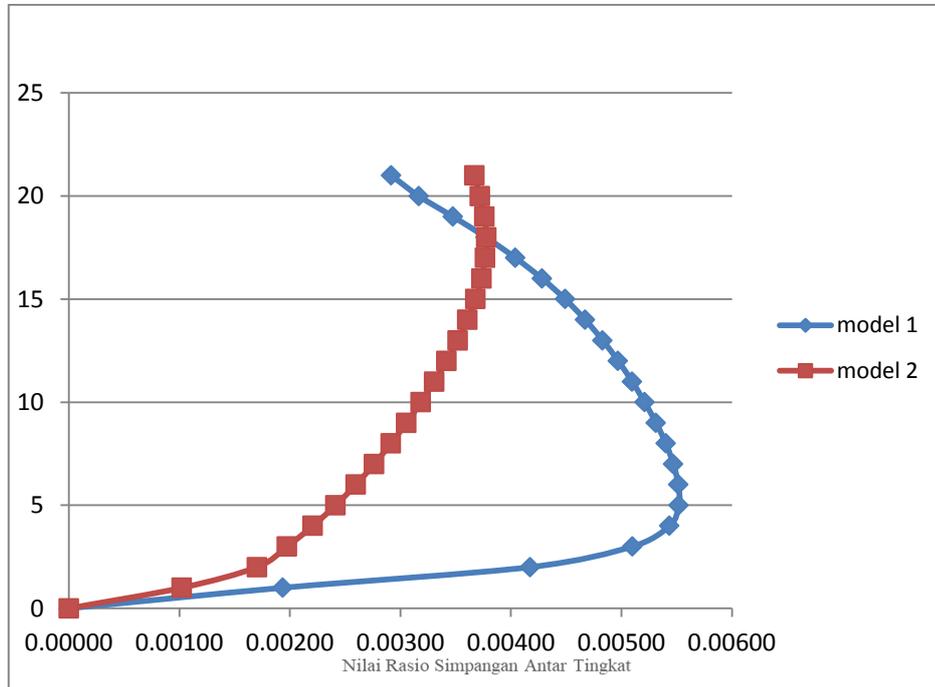
Gambar 4.1: Grafik perbandingan nilai simpangan arah x terhadap ketinggian gedung (Model 1 dan 2).

Dari Gambar 4.1 dapat disimpulkan bahwa perpindahan (*displacement*) struktur arah X yang terjadi pada Model 2 lebih kecil yaitu 0,255 m dibandingkan dengan Model 1 = 0,379 m di karenakan tingkat kekakuan struktur pada Model 2 dengan Penambahan *Concetrialy Bracing Frame* lebih efektif,

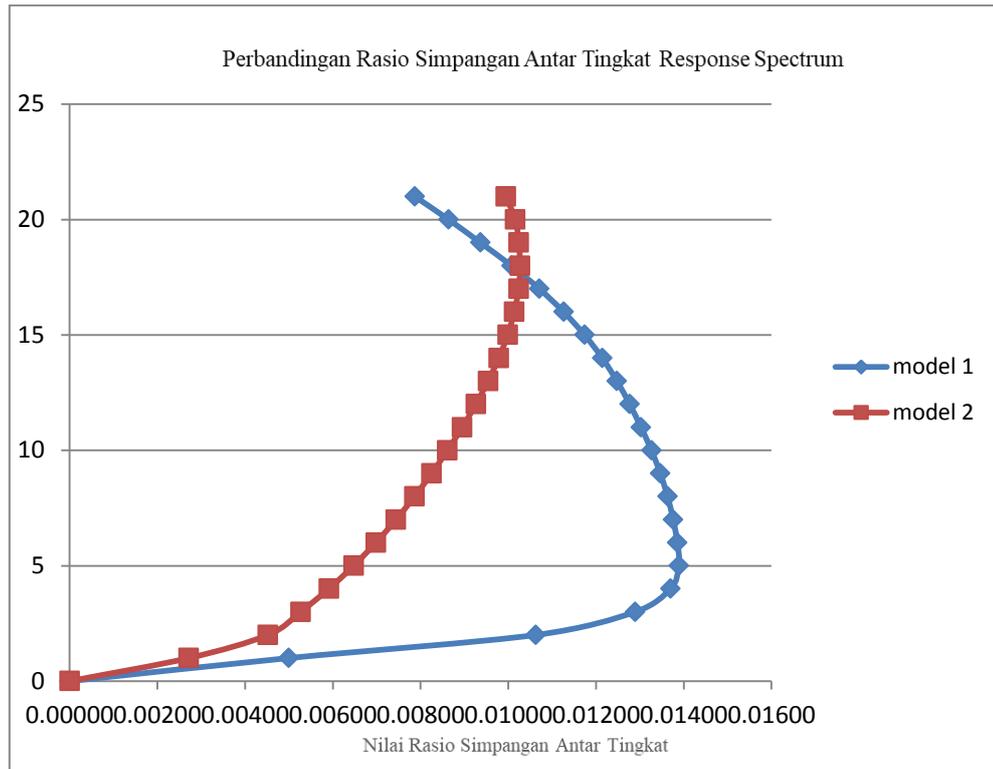


Gambar 4.2: Grafik perbandingan nilai simpangan arah y terhadap ketinggian gedung (Model 1 dan 2).

Dari Gambar 4.2 dapat disimpulkan bahwa perpindahan (*displacement*) struktur arah *y* yang terjadi pada Model 2 lebih kecil yaitu 0,6901 m dibandingkan dengan Model 1 = 0,977 m di karenakan tingkat kekakuan struktur pada Model 2 dengan Pennambahan *Concetrialy Bracing Frame* lebih efektif,



Gambar 4.3: Grafik perbandingan nilai rasio simpangan antar tingkat arah *x* terhadap ketinggian gedung (Model 1 dan 2).



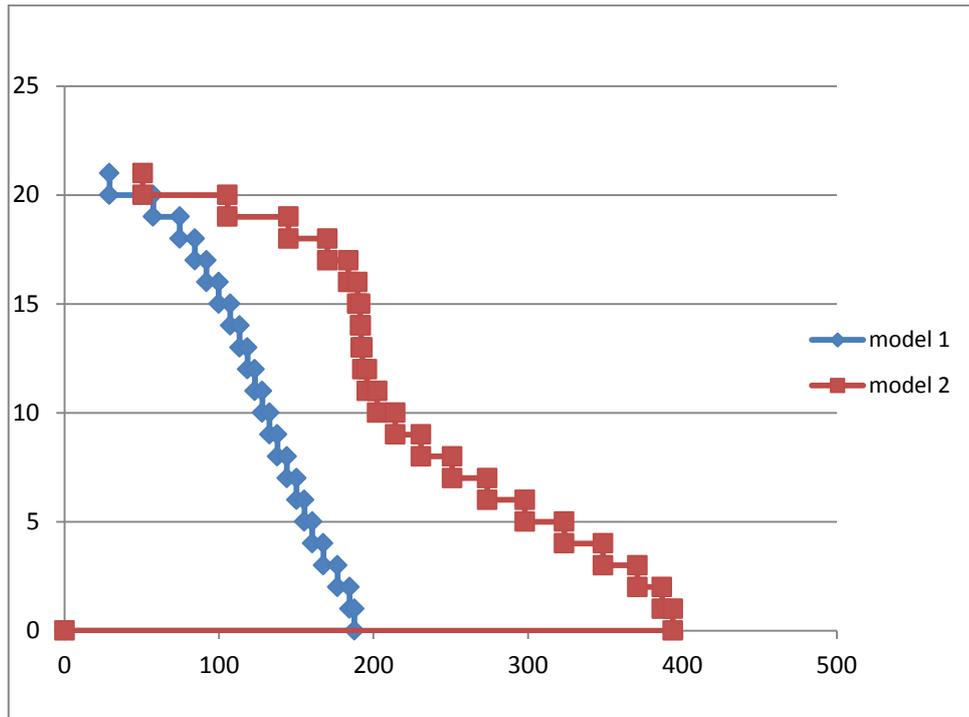
Gambar 4.4: Grafik perbandingan nilai rasio simpangan antar tingkat arah y terhadap ketinggian gedung (Model 1 dan 2).

Dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa simpangan antar lantai (*ratio drift*) struktur arah x terkecil terjadi pada Model 1 dibandingkan dengan Model 2, dan simpangan antar lantai (*ratio drift*) struktur arah y terkecil terjadi pada Model 1 dibandingkan dengan Model 2.

4.3.2. Perbandingan Gaya Geser Lantai

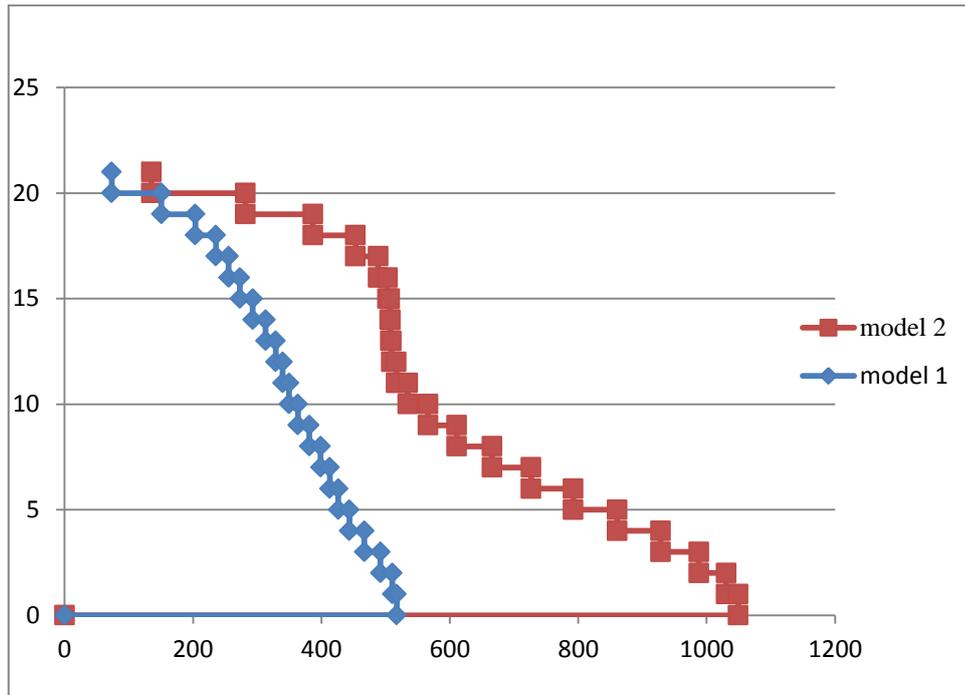
Gaya geser akibat gaya gempa respon spectrum (RS) menunjukkan perubahan pada perbedaan sistem struktur yang di terapkan. Gaya geser yang terjadi pada gedung dengan menggunakan sistem SRPMK paling rendah, lalu meningkat dengan penggunaan CBF-Komposit. Hal ini menandakan bahwa struktur yang menjadi lebih kaku akan menghasilkan gaya geser yang terjadi semakin besar.

Berikut disajikan grafik perbandingan gaya geser dasar terhadap ketinggian gedung pada setiap model dengan analisis respons spektrum ragam.



Gambar 4.5: Grafik perbandingan nilai gaya geser dasar arah x terhadap ketinggian gedung (Model 1 dan 2).

Berdasarkan pada Gambar 4.5 nilai gaya geser terbesar untuk arah X terjadi pada Model 2 dengan nilai 50,6089 kN dibandingkan dengan Model 1 yang nilainya 29.0672 kN. Besarnya gaya geser yang terjadi pada model 2 dikarenakan besarnya nilai beban lateral yang dikenai pada struktur.



Gambar 4.6: Grafik perbandingan nilai gaya geser dasar arah y terhadap ketinggian gedung (Model 1 dan 2).

Berdasarkan pada Gambar 4.5 nilai gaya geser terbesar untuk arah y terjadi pada Model 2 dengan nilai 135,3272 kN dibandingkan dengan Model 1 yang nilainya 73,2871 kN. Besarnya gaya geser yang terjadi pada model 1 dikarenakan besarnya nilai beban lateral yang dikenai pada struktur.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan dari tugas akhir ini maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dimensi baja yang digunakan dari setiap penempatan tata letaknya adalah balok IWF 340.250.9.14 dengan fungsi sebagai penahan gaya dominan geser.
2. Hasil tinjauan analisis dari penerapan sistem SRPMK dan CBF – Komposit pada Menara mercusuar :
 - a. *Drift story* yang terjadi pada struktur.
 - struktur model 1 (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) maksimum pada arah X = 22 mm, pada arah Y = 40 mm.
 - Struktur model 2 (*Concentrially Bracing Frame*) maksimum pada arah X = 15 mm, pada arah Y = 41 mm.
 - b. Nilai *Displacement* yang terjadi pada struktur.
 - struktur model 1 (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) maksimum pada arah X = 37,9 mm, pada arah Y = 97,7 mm.
 - Struktur model 2 (*Concentrially Bracing Frame*) maksimum pada arah X = 25,5 mm, pada arah Y = 69 mm.

5.2. Saran

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis ingin memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Analisa beban struktur gempa yang hanya menggunakan analisis respon spektrum hingga batas elastis. Penulis menyarankan agar peninjauan dilakukan dengan analisis *push over* dan *time history* sehingga kinerja dari bresing pada struktur bangunan ini mencapai batas leleh maksimum.
2. Penulis tidak secara lengkap menjelaskan semua analisa struktur yang tahan gempa sesuai SNI 1726:2012, diharapkan nantinya kepada peneliti selanjutnya agar menjelaskan analisis dan detail bangunan secara jelas sesuai persyaratan yang ditentukan.
3. Dalam mendesain bangunan tahan gempa, sebaiknya struktur yang didesain meninjau 3 jenis situs tanah, yaitu tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak. Di sini penulis hanya meninjau satu jenis situs yaitu situs bebatuan.
4. Penulis tidak mendesain baja secara detail pada *software* ETABS sesuai dengan SNI 1729:2015. Untuk kedepannya diharapkan peneliti selanjutnya dapat melakukan hal tersebut.
5. Pemilihan sistem struktur yang sesuai akan memberikan hasil kinerja yang lebih baik dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, S. (2016). *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*.
- Andrianda (2016). *Analisis Kinerja dan Pengaruh Tata Letak Bresing Eksentris Pada Sistem Rangka Bresing Eksentris (SRBE) Tipe – D Pada Bangunan Setback Vertikal*
Laporan tugas akhir. Program Studi Teknik Sipil. Medan. UMSU.
- ACI 318-08. (2008). *Building Code Requirement for Structural Concrete*. ACI.
- American Society of Civil Engineers. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
- Badan Standarisasi Nasional (2012) *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*, Jakarta, Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Indonesia (2015) *Spesifikasi Untuk Bangunan Baja Struktural SNI 1729:2015*, Jakarta, Departemen Pekerjaan Umum.
- Moehle, Jack P., Hooper, John D., and Lubke, Chris D. (2008). *Seismic Design of Reinforced Concrete: Special Moment Frame*. NEHRP Technical Brief no. 1. NIST GCR 8-917-1.
- Standar Nasional Indonesia (2005) *Baja Profil I Beam Proses Canai Panas SNI 0329-2005*. Jakarta, Departemen Pekerjaan Umum.
- Standar Nasional Indonesia (2013) *Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain SNI 1727:2013*. Jakarta, Departemen Pekerjaan Umum.
- .Departemen Pekerjaan Umum, (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*, Jakarta, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Standar Nasional Indonesia (2013). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan gedung*.
- Standar Nasional Indonesia (2006). *Baja Profil WF – Beam Proses Canai Panas (Bj P Wf –beam)*.

LAMPIRAN

A.1. Perhitungan Tebal Pelat Lantai

Perhitungan tebal pelat lantai untuk kedua model sebagai berikut:

$$h(\text{maks}) \leq \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36} \quad h(\text{min}) \leq \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 9\beta}$$

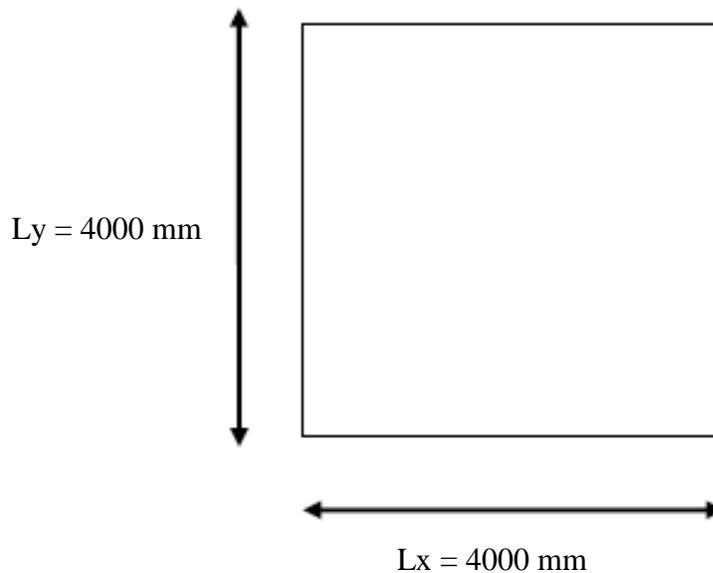
dimana:

h = tebal pelat

ln = bentang terpanjang

f_y = mutu baja tulangan

β = l_y/l_x



Gambar L.1: Dimensi pelat lantai.

l_y = 4000 mm

l_x = 4000 mm

h(min) ≤ = 82,96 mm.

h(maks) ≤ = 103,704 mm.

Dipakai tebal pelat 120 mm = 0,12m (untuk semua tipe pelat lantai dan atap)

A.2. Rekapitulasi Pembebanan Lantai 1 – 20

Tabel L.1: Beban Mati

Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm)	42	kg/m ²	0.42	kN/m ²
Penutup lantai keramik	24	kg/m ²	0.24	kN/m ²
Plafon + penggantung	18	kg/m ²	0.18	kN/m ²
M & E	40	kg/m ²	0.4	kN/m ²
Total beban mati	124	kg/m ²	1.24	kN/m ²

Tabel L.2: Beban Hidup

Beban	Berat	Satuan	Berat	Satuan
Beban hidup akses pemeliharaan	192	kg/m ²	1.92	kN/m ²
Total beban hidup	192	kg/m ²	1.92	kN/m ²

Tabel L3: Beban mati tambahan plat lantai 21

Beban	Berat	Satuan	Berat	Satuan
Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm)	42	kg/m ²	0.42	kN/m ²
Penutup lantai keramik	24	kg/m ²	0.24	kN/m ²
Plafon + penggantung	18	kg/m ²	0.25	kN/m ²
M & E	40	kg/m ²	0.4	kN/m ²
Struktur Atap Baja + Kolom	50	kg/m ²	0.5	kN/m ³
Antena Sinyal Mercusuar	25	kg/m ²	0.25	kN/m ⁴
Penutup Atap	100	kg/m ²	1	kN/m ⁵
Total beban mati	124	kg/m ²	3.06	kN/m ²

Tabel L4: Beban hidup tambahan

Beban	Berat	Satuan	Berat	Satuan
Beban hidup ruang control suar	400	kg/m ²	4	kN/m ²
Total beban hidup	400	kg/m ²	4	kN/m ²

Tabel L5: Beban mati tambahan dinding lantai 1 – 20

Beban	Berat	Satuan	Berat	Satuan
Dinding Bata t=15CM	250	kg/m ²	2.5	kN/m ²
Adukan /cm tebal dari semen	21	kg/m ²	0.21	kN/m ²
Total Beban Dinding			2.71	kN/m ²

Tabel L6: Beban mati tambahan dinding kaca lantai 21

Beban	Berat	Satuan	Berat	Satuan
Kaca 12mm	30.84	kg/m ²	0.3084	kN/m ²
Baja Alumunium	35	kg/m ²	0.35	kN/m ²
Total beban dinding	65.84		0.6584	kN/m ²

A.3. Perhitungan Beban Angin

Kecepatan angina pulau mursala yang termasuk dalam wilayah perairan 1 pada stasiun maritim

Diketahui :

$$V = 40 \text{ Knots}$$

$$= 135 \text{ Km/ jam}$$

$$= 37.5 \text{ m/s}$$

$$Kd = 0.85$$

$$Kzt = 1$$

$$z = 300$$

$$zg = 213.360$$

$$Kz = 2.01 (z/zg)^{\frac{2}{a}}$$

Maka nilai $Kz = 2.1327$

Tekanan Velositas dalam SI

$$qz = 0,613 Kz.Kzt.Kd.V^2$$

$$qz = 1562.7106 \text{ N/m}^2$$



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
(UMSU)
FAKULTAS TEKNIK - TEKNIK SIPIL

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama : M.ARIF KUDADIRI
NPM : 1307210287
FAK/JUR : TEKNIK / TEKNIK SIPIL
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PENGARUH SISTEM TAHAN
GEMPA ANTARA SRPMK DAN CBF-
KOMPOSIT PADA MERCUSUAR

NO	TANGGAL	CATATAN ASISTENSI	PARAF PEMBIMBING
①	15/3-2018	- Lanjutkan ke mode' detail - perbaiki bab I dan II	
②	17/4-2018	- Bab II → teori kurva tahanan rapuh sistematis - Bab III → manib dan jelas arah bentuk detail	

Mengetahui,
Pembimbing I

Tondi Amirsyah Putra,ST,MT



LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama : MARIF KUDADIRI
NPM : 1307210287
FAK/JUR : TEKNIK / TEKNIK SIPIL
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PENGARUH SISTEM TAHAN
GEMPA ANTARA SRPMK DAN CBF-
KOMPOSIT PADA MERCUSUAR

NO	TANGGAL	CATATAN ASISTENSI	PARAF PEMBIMBING	
3	6/09/2018	Combo check		
4	12/09/2018	1e. Turun ke kategori I atau II - Shear wall tidak digantikan; - Design kebutuhan beban Suar, - Defenisi setiap beban - Shear wall diganti kolom		
5.	24/10/2018	- Praktis - pembebanan angin - SNI 1727:2013 - Tangga ditentukan pasat bebananya - mass center rigid by story boleh di posttensi atau di rapikan.		

Mengetahui,
Pembimbing I

Tondi Amirsyah Putra, ST, MT



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
(UMSU)
FAKULTAS TEKNIK - TEKNIK SIPIL

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama : MARIF KUDADIRI
NPM : 1307210287
FAK/JUR : TEKNIK / TEKNIK SIPIL
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PENGARUH SISTEM TAHAN
GEMPA ANTARA SRPMK DAN CBF-
KOMPOSIT PADA MERCUSUAR

NO	TANGGAL	CATATAN ASISTENSI	PARAF PEMBIMBING
6	06/11/2018 06/11/2018	Pahami Teori perbedaan SRPMK dan CBF komposit.	
7	19/11/2018	Lengkapi isi dari BAB II - hapus teori tentang Link kerangka	
8	23/11/2018	pelajari dan masukkan nilai Beban angin pada model struktur	

Mengetahui,
Pembimbing I

Tondi Amirsyah Putra, ST, MT



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
(UMSU)
FAKULTAS TEKNIK – TEKNIK SIPIL

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama : MARIF KUDADIRI
NPM : 1307210287
FAK/JUR : TEKNIK / TEKNIK SIPIL
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PENGARUH SISTEM TAHAN
GEMPA ANTARA SRPMK DAN CBF-
KOMPOSIT PADA MERCUSUAR

NO	TANGGAL	CATATAN ASISTENSI	PARAF PEMBIMBING	
10	15/02/2019	check simpangan antar lantai		
11	19/02/2019	kerjakan model 2 dengan masukkan spesifikasi profil Baja		
12	20/02/2019	Lanjut ke BAB IV - Displacement - Gaya geser dasar - Kekakuan - Komentari perilaku - Perbandingan antar 2 struktur dari Grafik		

Mengetahui,
Pembimbing I

Tondi Amirsyah Putra, ST, MT



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
(UMSU)
FAKULTAS TEKNIK - TEKNIK SIPIL

LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama : M.ARIF KUDADIRI
NPM : 1307210287
FAK/JUR : TEKNIK / TEKNIK SIPIL
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PENGARUH SISTEM TAHAN
GEMPA ANTARA SRPMK DAN CBF-
KOMPOSIT PADA MERCUSUAR

NO	TANGGAL	CATATAN ASISTENSI	PARAF PEMBIMBING
1	1/3/2025	- Revisi Abstrak - Daftar isi & halaman - Daftar gambar - Daftar Tabel - Kata pengantar	
2	4/3/2025	Ace dan Seminar	

Mengetahui,
Pembimbing II

Dr. Fahrizal Zulkarnaen

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DAFTAR IDENTITAS DIRI

Nama Lengkap : M. Arif Kuda Diri
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat/Tgl. Lahir : Medan, 04 – Januari - 1996
Agama : Islam
Alamat : Jl. Taut Gg. Garuda No.5 Medan Kec. Medan Tembung
No. HP/Tel seluler : 081341333187
Nama Orang Tua
Ayah : Arianto Kuda Diri, SH
Ibu : Nurmaiya Siregar
E-mail : jackkudadiri@gmail.com

DAFTAR RIWAYAT PENDIDIKAN

No Induk Mahasiswa : 1307210287
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238

No.	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun
1	Sekolah Dasar	SD negeri 060874 Medan	2006
2	SMP	SMP Negeri 1 Sitinjo Kab. Dairi	2009
3	SMA	SMK Negeri 5 Medan	2012
4	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2012 sampai selesai.		