

TUGAS AKHIR

**STUDI PENGARUH VARIASI DIMENSI TERHADAP RASIO
PENULANGAN BALOK DAN KOLOM SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN KHUSUS SESUAI SNI 2847:2019 PADA
DESAIN GEDUNG PERKANTORAN 5 LANTAI**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

Firman Irsyadul Anam

NIM : 30201900092

Moch Chamid Ali

NIM : 30201900117

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGARUH VARIASI DIMENSI TERHADAP RASIO
PENULANGAN BALOK DAN KOLOM SISTEM RANGKA PEMIKUL
MOMEN KHUSUS SESUAI SNI 2847:2019 PADA DESAIN GEDUNG
PERKANTORAN 5 LANTAI



Firman Irsyadul Anam
NIM : 30201900092



Moch Chamid Ali
NIM : 30201900117

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 7. Agustus 2023

Tim Penguji

1. **Dr. Ir. H. Sumirin, MS.**
NIDN: 00-0405-6302
2. **Muhamad Rusli Ahyar, ST, M. Eng**
NIDN: 06-2505-9102
3. **Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D.**
NIDN: 06-0704-6802

Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 06-2505-9102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 51/A.2/SA-T/VII/2023

Pada hari ini tanggal 7 Agustus 2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II :

1. Nama : Dr. Ir. H. Sumirin, M.S.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Firman Irsyadul Anam
NIM : 30201900092

Moch Chamid Ali
NIM : 30201900117

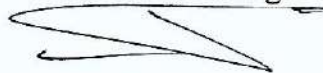
Judul : Studi Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Rasio Penulangan Balok Dan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Sesuai SNI 2847:2019 Pada Desain Gedung Perkantoran 5 Lantai

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	14/03/2023	
2	Seminar Proposal	27/06/2023	ACC
3	Pengumpulan data	03/07/2023	
4	Analisis data	05/07/2023	
5	Penyusunan laporan	07/07/2023	
6	Selesai laporan	07/08/2023	ACC

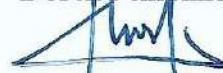
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Stripsi ini dibuat Untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak – pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. H. Sumirin, MS.

Dosen Pembimbing II



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Firman Irsyadul Anam
NIM : 30201900092

Nama : Moch Chamid Ali
Nim : 30201900117

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Studi Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Rasio Penulangan Balok Dan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Sesuai SNI 2847:2019 Pada Desain Gedung Perkantoran 5 Lantai, benar benar bebas dari pelagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yang membuat pernyataan



Firman Irsyadul Anam
NIM: 30201900092

Semarang, 7 Agustus 2023
Yang membuat pernyataan



Moch Chamid Ali
NIM : 30201900117



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Firman Irsyadul Anam

Nim : 30201900092

Judul : Studi Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Rasio Penulangan Balok Dan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Sesuai SNI 2847:2019 Pada Desain Gedung Perkantoran 5 Lantai.

Nama : Moch Chamid Ali

Nim : 30201900117

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Yang membuat pernyataan



Firman Irsyadul Anam
NIM : 30201900092

Semarang, 7 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan



Moch Chamid Ali
NIM : 30201900117

MOTTO

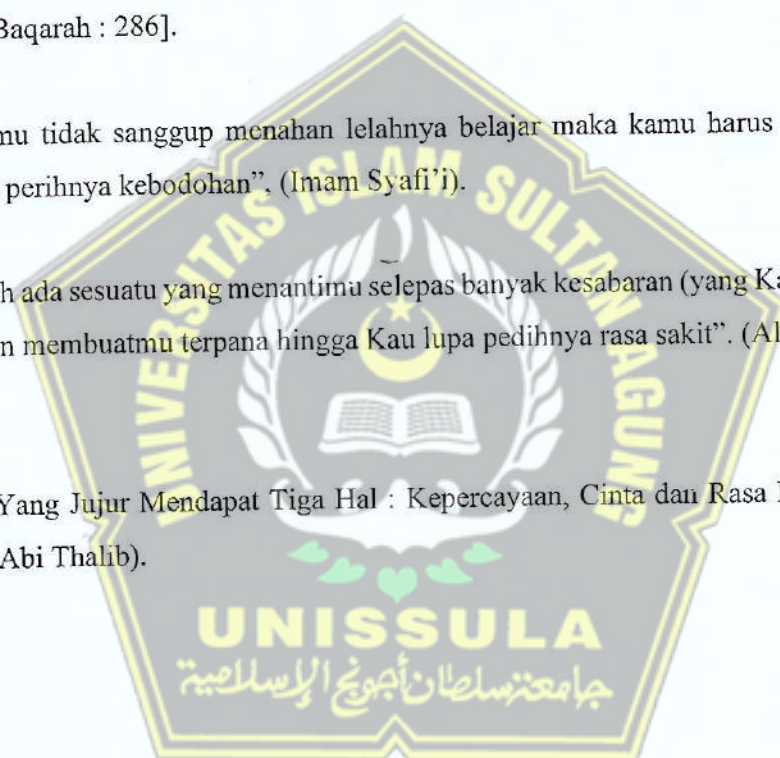
“Kamu adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik”. [Q.S. Ali Imron : 110].

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”. [Q.S Al-Baqarah : 286].

“Jika kamu tidak sanggup menahan lelahnya belajar maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan”, (Imam Syafi’i).

“Yakinlah ada sesuatu yang menantimu selepas banyak kesabaran (yang Kau jalani) yang akan membuatmu terpana hingga Kau lupa pedihnya rasa sakit”. (Ali bin Abi Thalib).

“Orang Yang Jujur Mendapat Tiga Hal : Kepercayaan, Cinta dan Rasa Hormat”, (Ali bin Abi Thalib).



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Dalam hal ini saya persembahkan dan saya ucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Abdul Jalil dan Ibu Siti Solekhah, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Keluarga dan saudara dengan segala dukungan yang telah diberikan kepada penulis.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumrin, MS. dan Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar membimbing saya dalam pembuatan laporan ini.
4. Dosen – dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu – ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
5. Moch Chamid Ali selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Teman – teman saya
7. Teman – teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019 dan yang lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

UNISSULA
جامعة سلطان أبجوع الإسلامية



Firman Irsyadul Anam
NIM : 3020190092

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Dalam hal ini saya persembahkan dan saya ucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta.... Dan.... atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Keluarga dan saudara dengan segala dukungan yang telah diberikan kepada penulis.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumrin, MS. dan Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar membimbing saya dalam pembuatan laporan ini.
4. Dosen – dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu – ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
5. Firman Irsyadul Anam selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Teman – teman saya
7. Teman – teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019 dan yang lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.



Moch Chamid Ali
NIM : 30201900117

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmatdan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul "Studi Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Rasio Penulangan Balok dan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Sesuai SNI 2847:2019 Pada Desain Gedung Perkantoran 5 Lantai" guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
2. Ibu Dr. Henny Pratiwi Adi, ST., MT, selaku dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan dorongan dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumrin, MS, selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, 7 Agustus 2023


Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR NOTASI.....	xviii
Abstrak	xxv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Sistematika Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Konsep Struktur.....	4
2.2. Sistem Struktur Tahan Gempa	4
2.2.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	4
2.3. Beban yang Terjadi pada Struktur Bangunan Gedung.....	5
2.3.1. Beban Mati	5

2.3.2. Beban Hidup.....	6
2.3.3. Kombinasi Pembebanan untuk Desain Kekuatan	6
2.4. Perancangan Struktur Bangunan Tahan Gempa.....	7
2.4.1. Gempa Rencana.....	7
2.4.2. Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa	7
2.4.3. Klasifikasi Situs.....	8
2.4.4. Respons Spektral Percepatan Gempa Tertarget	8
2.4.5. Parameter Percepatan Spektral Desain.....	10
2.4.6. Spektrum Respons Desain.....	10
2.4.7. Kategori Desain Seismik.....	12
2.4.8. Kombinasi Sistem Pemikul Gaya Seismik pada Arah yang Berbeda	13
2.4.9. Periode Fundamental Pendekatan	13
2.4.10. Periode Fundamental Struktur.....	13
2.4.11. Gaya Geser Dasar Seismik.....	14
2.4.12. Simpangan Antar Tingkat	15
2.4.13. Pengaruh P-Delta.....	16
2.4.14. Analisis Spektrum Respons Ragam	17
2.4.15. Ketidakberaturan Struktur	17
2.4.15.1. Ketidakberaturan Horizontal	17
2.4.15.2. KetidakberaturanpVertikal	19
2.5. Perancangan Elemen Struktur Beton Bertulang-Sesuai SNI 2847:2019....	21
2.5.1. Perancangan Pelat.....	21
2.5.2. Perancangan Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)22	
2.5.3. Perancangan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	
.....	30
BAB III	34

METODE PERANCANGAN.....	34
3.1. Diagram Alir.....	34
3.2. Pengumpulan Data	35
3.3. Tahapan Analisis dan Perhitungan	35
3.4. Pemodelan Struktur	35
3.5. Perencanaan Beban.....	37
3.6. Analisa Struktur.....	37
3.7. Perencanaan Pelat.....	38
3.8. Perencanaan Balok	38
3.9. perencanaan Kolom.....	39
3.10. Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Penulangan Balok dan Kolom.....	39
BAB IV	40
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1. Data Struktur Gedung.....	40
4.1.1. Deskripsi Umum	40
4.1.2. Permodelan Struktur	42
4.1.3. Spesifikasi Material/Bahan.....	42
4.1.4. Pembebanan	42
4.2. Analisa beban Seismik	43
4.2.1. Klasifikasi Situs	44
4.2.2. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa tertarget	45
4.2.2.1. Data Parameter respons spectra percepatan gempa tertarget	45
4.2.2.2. Kategori resiko gempa	46
4.3. periode Getar Pada Struktur	46
4.3.1. Rambat Energi Gaya Seismik	47
4.3.2. Simpangan Antar Lantai	50

4.3.3.	Moment Lentur Tambahan	52
4.3.4.	Ketidak Beraturan Struktur	55
4.3.4.1.	Ketidak beraturan Horizontal 1a dan 1b	55
4.3.4.2.	Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b	57
4.3.4.3.	Ketidakberaturan Berat	58
4.3.4.4.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal.....	60
4.3.4.5.	Ketidakberaturan kekakuan lateral tingkat 5a dan 5b	61
4.4.	Perencanaan Pelat.....	62
4.4.1.	Spesifikasi pelat	62
4.4.2.	Gaya Dalam	64
4.4.3.	Penulangan Lentur Pelat (analisis untuk per m').....	64
4.3.1.	Pengecekan Lendutan Pelat	78
4.5.	Perancangan Balok	83
4.6.	Perancangan Kolom	115
4.7.	Pengaruh Variasi Dimensi Dan Penulangan Balok dan Kolom	130
BAB V	134
PENUTUP	134
5.1.	Kesimpulan.....	134
5.2.	Saran.....	135

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Parameter Gerak Tanah (S_s)	9
Gambar 2.2. Parameter Gerak Tanah (S_1)	9
Gambar 2.3. Spektrum Respons Desain	11
Gambar 2.4. Peta Transisi Periode Panjang (T_L).....	12
Gambar 2.5. Perhitungan Simpangan Antar Tingkat	15
Gambar 2.6. Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b.....	17
Gambar 2.7. Ketidakberaturan Sudut Dalam.....	18
Gambar 2.8. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	18
Gambar 2.9. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4	18
Gambar 2.10. Ketidakberaturan Horizontal Sistem Nonparalel.....	19
Gambar 2.11. Ketidakberaturan Kekakuan	19
Gambar 2.12. Ketidakberaturan Berat Massa.....	20
Gambar 2.13. Ketidakberaturan Geometri Vertikal	20
Gambar 2.14. Ketidakberaturan Vertikal tipe 4	20
Gambar 2.15. Ketidakberaturan Tingkat Lemah	21
Gambar 2.16. Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar.....	23
Gambar 2.17. Persyaratan Tulangan Lentur SRPMK	25
Gambar 2.18. Persyaratan Sambungan Lewatan SRPMK	26
Gambar 2.19. Contoh Penulangan Sengkang Tertutup Yang Bertumpuk.....	28
Gambar 2.20. Geser Desain untuk Balok dan Kolom	30
Gambar 2.21. Contoh Penulangan Transversalipada Kolom	31
Gambar 2. 22. Luas Joint Efektif.....	32
Gambar 3.1. Diagram Alir Pelaksanaan.....	34
Gambar 3.2. Denah Struktur lantai 1- 5.....	36
Gambar 3.3. Denah Struktur Lantai Atap.....	36
Gambar 3.4. Tampak 3D struktur Gedung.....	37
Gambar 4.1. Denah Struktur Balok dan kolom lantai 1- 5	41
Gambar 4.2. Denah Struktur Balok dan Kolom Lantai Atap	41
Gambar 4.3. Grafik Respon Spektrum Gempa tertarget 2023	45
Gambar 4.4. Distribusi Gaya Geser Gempa variasi 1	49
Gambar 4.5. Distribusi Gaya Geser Gempa variasi 2	49

Gambar 4.6. Distribusi Gaya Geser Gempa variasi 3	50
Gambar 4.7. Grafik Simpangan Antar Lantai variasi 1	51
Gambar 4.8. Grafik Simpangan Antar Lantai variasi 2	51
Gambar 4.9. Grafik Simpangan Antar Lantai variasi 3	52
Gambar 4.10. Grafik Stabilitas P-delta variasi 1	54
Gambar 4.11. Grafik Stabilitas P-delta variasi 2	54
Gambar 4.12. Grafik Stabilitas P-delta variasi 3	55
Gambar 4.13. Tipe Pelat	63
Gambar 4.14. Denah Balok G1 Lantai 1 pada Variasi 2	84
Gambar 4.15. Momen Ultimit Tumpuan Balok G1 variasi 1	85
Gambar 4.16. Momen Ultimit Lapangan Balok G1 variasi 1	86
Gambar 4.17. Gaya Geser Ultimit Tumpuan Balok G1 Variasi 1	99
Gambar 4.18. Gaya Geser Ultimit Lapangan Balok G1 Variasi 1	99
Gambar 4.19. Potongan Memanjang Balok	114
Gambar 4.20. Tulangan Tumpuan Balok	115
Gambar 4.21. Tulangan Lapangan Balok	115
Gambar 4.22. Denah Kolom K1 Lantai 1 pada Variasi 1	116
Gambar 4.23. Tulangan Longitudinal Kolom K1 variasi 1	118
Gambar 4.24. Diagram Interaksi P_n - M_{pr} SPColumn Kolom K1	118
Gambar 4.25. Potongan Memanjang Kolom K1 Variasi 1	123
Gambar 4.26. Tulangan Ujung Kolom K1 Variasi 1	124
Gambar 4.27. Tulangan Tengah Kolom K1 Variasi 1	124
Gambar 4.28. Hubungan Balok Kolom (Joint) Variasi 1	127
Gambar 4.29. Potongan Melintang struktur variasi 1	128
Gambar 4.30. Potongan Melintang struktur variasi 2	129
Gambar 4.31. Potongan Melintang struktur variasi 3	129
Gambar 4.32. Detail Balok Variasi 1	130
Gambar 4.33. Detail Balok Variasi 2	131
Gambar 4.34. Detail Kolom Variasi 2	132
Gambar 4.35. Detail Kolom Variasi 3	132

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Beban Mati Komponen Bangunan	5
Tabel 2.2. Beban Hidup Yang Kemungkinan Terjadi Pada Gedung Perkantoran .	6
Tabel 2.3. Klasifikasi Situs.....	8
Tabel 2.4. Koefisien Situs (F_a)	10
Tabel 2.5. Koefisien Situs (F_v)	10
Tabel 2.6. Kategori Desain Seismik-pada Periode Pendek (S_{DS}).....	12
Tabel 2.7. Kategori Desain Seismik-pada Periode 1 Detik (S_{D1}).....	12
Tabel 2.8. Koefisien Batas Atas untuk Periode yang Dihitung (C_u)	14
Tabel 2.9. Syarat Tebal Minimum-Pelat 1 Arah	22
Tabel 2.10. Syarat Tebal Minimum Pelat 2 Arah	22
Tabel 2.11. $A_{S_{min}}$ untuk Pelat	22
Tabel 2.12. Tinggi-Balok Minimum (h).....	23
Tabel 2.13. Faktor penghubung (β_1)	25
Tabel 2.14. Faktor reduksi Kekuatan	25
Tabel 2.15. Batas ambang torsi prnampangisolid	27
Tabel 2. 16. Tulangani Transversal kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	32
Tabel 4.1. Data Model Struktur Gedung	40
Tabel 4.2. Dimensi variasi balok dan kolom.....	42
Tabel 4.3. Nilai N-SPT	44
Tabel 4.4. Besaran Gaya Statik Pada Variasi 1 sampai 3.....	48
Tabel 4.5. Besaran Gaya Dinamik Pada Variasi 1 sampai 3	48
Tabel 4.6. Besaran Gaya Dinamik Pada Setiap Variasi Setelah Pembesaran	49
Tabel 4.7. Pengecekan simpangan antar lantai variasi 1	50
Tabel 4.8. Pengecekan simpangan antar lantai variasi 2	51
Tabel 4.9. Pengecekan simpangan antar lantai variasi 3	52
Tabel 4.10. pengecekan stabilitas P-delta variasi 1	53
Tabel 4.11. pengecekan stabilitas P-delta variasi 2	54
Tabel 4.12. pengecekan stabilitas P-delta variasi 3	55
Tabel 4.13. ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b variasi 1	56
Tabel 4.14. ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b variasi 2	56

Tabel 4.15. ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b variasi 3	56
Tabel 4.16. ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b variasi 1	57
Tabel 4.17. ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b variasi 2.....	57
Tabel 4.18. ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b variasi 3.....	58
Tabel 4.19. Ketidakberaturan Vertikal Berat (Massa) Variasi 1	58
Tabel 4.20. Ketidakberaturan Vertikal Berat (Massa) Variasi 2	59
Tabel 4.21. Ketidakberaturan Vertikal Berat (Massa) Variasi 3	59
Tabel 4.22. Ketidakberaturan Geometri Vertikal Variasi 1	60
Tabel 4.23. Ketidakberaturan Geometri Vertikal Variasi 2	60
Tabel 4.24. Ketidakberaturan Geometri Vertikal Variasi 3	60
Tabel 4.25. ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b variasi 1	61
Tabel 4.26. ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b variasi 2.....	61
Tabel 4.27. ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b variasi 3.....	62
Tabel 4.28. Rekapitulasi tulangan Balok G1.....	115
Tabel 4.29. Hasil Analisis Interaksi P_n - M_{pr} Kolom K1.....	118
Tabel 4.30. Hasil Analisis Interaksi P_n - M Kolom K1 dengan $1,25 f_y$	120
Tabel 4.31. Rekapitulasi Strong Column – Weak Beam.....	123
Tabel 4.32. Rekapitulasi Tulangan Kolom K1	124
Tabel 4.33. Perbandingan Balok Variasi 1 dengan Variasi 2.....	130
Tabel 4.34. Perbandingan Kolom Variasi 2 dengan Variasi 3	132

DAFTAR NOTASI

a	= Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)
A_b	= Luas setiap batang atau kawat individu (mm^2)
A_{ch}	= Luas penampang komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal (mm^2)
A_{cp}	= Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (mm^2)
A_{cv}	= Luas bruto penampang beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang dalam arah gaya geser yang ditinjau pada kasus dinding dan luas bruto penampang beton dalam kasus diafragma, tebalnya tidak melebihi lebar diafragma (mm^2)
A_{cw}	= Luas penampang beton pilar tunggal, segmen horizontal dinding, atau balok kopel yang menahan geser (mm^2)
A_g	= Luas bruto penampang (mm^2)
A_j	= Luas penampang efektif pada <i>joint</i> di bidang paralel terhadap bidang tulangan yang menimbulkan geser dalam <i>joint</i> (mm^2)
A_l	= Luas total tulangan longitudinal untuk menahan torsi (mm^2)
A_o	= Luas bruto yang dilingkupi oleh lintasan alir geser (mm^2)
A_{oh}	= Luas yang dilingkupi oleh garis pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar (mm^2)
A_s	= Luas tulangan tarik longitudinal nonprategang (mm^2)
A_s'	= Luas tulangan tekan (mm^2)
A_{sh}	= Luas penampang total tulangan transversal (termasuk ikat silang) dalam spasi s dan tegak lurus terhadap dimensi b_c
$A_{s \min}$	= Luas minimum tulangan lentur (mm^2)
A_{st}	= Luas total tulangan longitudinal nonprategang (mm^2)
A_t	= Luas 1 kaki sengkang tertutup menahan torsi dalam spasi s (mm^2)
A_v	= Luas tulangan geser dalam spasi s (mm^2)
$A_{v \min}$	= Luas minimum tulangan geser dalam spasi s (mm^2)
A_x	= Faktor amplifikasi torsi
A_s'	= Luas tulangan tekan (mm^2)
b	= Lebar muka tekan komponen struktur (mm)

b_c	= Dimensi penampang inti komponen struktur yang diukur ke tepi luar tulangan transversal yang membentuk luas A_{sh} (mm)
b_f	= Lebar sayap efektif penampang T (mm)
b_w	= Lebar badan, tebal dinding, diameter penampang lingkaran (mm)
c	= Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral (mm)
c_c	= Selimut bersih (<i>clear cover</i>) tulangan (mm)
c_t	= Jarak dari muka interior kolom ke tepi pelat yang diukur parallel terhadap c_1 , tetapi tidak melebihi c_1 (mm)
c_1	= Dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom (<i>capital</i>), atau braket yang diukur dalam arah bentang dimana momen ditentukan (mm)
c_2	= Dimensi kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom (<i>capital</i>), atau braket yang diukur dalam arah tegak lurus terhadap c_1 (mm)
C	= Konstanta penampang untuk menentukan properti torsi pelat dan balok
C_d	= Faktor pembesaran simpangan lateral
C_s	= Koefisien respons seismik
C_u	= Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung
C_v	= Koefisien vertical
d	= Tinggi efektif pelat; jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal (mm)
d'	= Jarak serat tekan jauh ke pusat tulangan tekan longitudinal (mm)
d_b	= Diameter nominal batang tulangan (mm)
D	= Pengaruh beban mati layan
D_F	= Faktor distribusi momen di bagian atas dan kolom yang didesain
E	= Pengaruh gaya gempa horizontal dan vertikal
E_c	= Modulus elastisitas beton (MPa)
E_h	= Pengaruh gaya seismik horizontal
E_s	= Modulus elastisitas tulangan dan baja struktural (MPa)
E_v	= Pengaruh gaya seismik vertikal
f_c'	= Kekuatan tekan beton (MPa)

f_r	= Modulus hancur (<i>rupture</i>) beton (MPa)
f_s	= Tegangan tarik dihitung dalam tulangan saat beban layan (MPa)
f_s'	= Tegangan dalam tulangan tekan terkena beban terfaktor (MPa)
f_y	= Kekuatan leleh tulangan (MPa)
f_{yt}	= Kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan f_y (MPa)
F_a	= Koefisien situs untuk periode pendek (pada periode 0,2 detik)
F_i, F_x	= Bagian dari gaya geser dasar, V , pada tingkat- i atau tingkat- x
F_p	= Gaya seismik yang bekerja pada elemen atau komponen dari struktur
F_v	= Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)
F_x	= Gaya seismik lateral (kN) di level- x
h	= Tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur (mm)
h_n	= Batasan tinggi struktur (m)
h_{sx}	= Tinggi tingkat untuk tingkat- x (mm)
h_w	= Tinggi dinding keseluruhan dari dasar ke tepi atas atau tinggi bersih segmen dinding atau pilar dinding yang ditinjau (mm)
h_x	= Spasi horizontal ikat silang atau kaki sengkang pengekang (<i>hoop</i>) pusat ke pusat maksimum pada semua muka kolom
I_{cr}	= Momen inersia penampang retak ditransformasi ke beton (mm ⁴)
I_e	= Faktor keutamaan gempa; momen inersia efektif untuk perhitungan defleksi (mm ⁴)
I_g	= Momen inersia penampang beton bruto terhadap sumbu pusat, yang mengabaikan tulangan (mm ⁴)
k	= Faktor panjang efektif untuk komponen struktur tekan
k_f	= Faktor kekuatan beton
k_n	= Faktor efektivitas pengekangan
l	= Panjang bentang balok atau pelat satu arah (mm)
l_c	= Panjang komponen tekan, diukur dari pusat ke pusat <i>joint</i> (mm)
l_n	= Panjang bentang bersih diukur muka ke muka tumpuan (mm)
l_o	= Panjang, diukur dari muka joint sepanjang sumbu komponen struktur, dimana tulangan transversal khusus disediakan (mm)
l_w	= Panjang seluruh dinding, atau panjang segmen dinding atau pilar dinding yang ditinjau dalam arah gaya geser (mm)

L	= Pengaruh beban hidup layan
Lr	= Pengaruh beban hidup atap layan
MCE_R	= Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget
M_{cr}	= Momen retak (N-mm)
M_{max}	= Momen maksimum terfaktor pada penampang akibat beban luar yang bekerja (N-mm)
M_n	= Kekuatan lentur nominal pada penampang (N-mm)
M_{nb}	= Kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik, yang merangka ke dalam <i>joint</i> (N-mm)
M_{nc}	= Kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur yang terendah (N-mm)
M_{pr}	= Kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit $1,25f_y$ dan faktor reduksi kekuatan ϕ sebesar 1,0
M_u	= Momen terfaktor pada penampang (N-mm)
n	= Jumlah batang tulangan
N_i	= Tahanan penetrasi standar sesuai SNI 4153:2008
\bar{N}	= Tahanan penetrasi standar rata-rata lapisan 30 m paling atas
\bar{N}_{ch}	= Tahanan penetrasi standar rata-rata tanah nonkohesif dalam lapisan 30 m paling atas
N_u	= Gaya aksial terfaktor tegak lurus terhadap penampang yang terjadi serentak dengan V_u atau T_u (N-mm)
p_{ep}	= Keliling luar penampang beton (mm)
p_h	= Keliling pusat tulangan torsi transversal tertutup terluar (mm)
P_n	= Kekuatan aksial nominal penampang (N)
P_u	= Gaya aksial terfaktor (N)
q_u	= Beban terfaktor per satuan luas (N/m ²)
Q_E	= Pengaruh gaya seismik horizontal

r	= Radius girasi penampang komponen struktur tekan (mm)
R	= Koefisien modifikasi respons
s	= Spasi pusat ke pusat suatu benda (mm)
s_o	= Spasi pusat ke pusat tulangan transversal dalam panjang I_c (mm)
s_u	= Kuat geser niralir
\bar{s}_u	= Kuat geser niralir rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas
s_{ui}	= Kuat geser niralir suatu lapisan tanah kohesif i di dalam lapisan 30 m paling atas
S_a	= Respons spektra percepatan
S_{DS}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek
S_{D1}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik
S_{MS}	= Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{M1}	= Percepatan percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_s	= Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek
S_1	= Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik
S_n	= Kekuatan momen, geser, aksial, torsi atau tumpu nominal
t	= Tebal dinding penampang (mm)
T	= Periode fundamental bangunan
T_a	= Periode fundamental pendekatan
T_{cr}	= Momen retak torsi (N-mm)
T_L	= Peta transisi periode panjang
T_n	= Kekuatan momen torsi nominal (N-mm)
T_u	= Momen torsi terfaktor pada penampang (N-mm)
U	= Kekuatan perlu untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang terkait dengan kombinasinya
v_s	= Kecepatan rambat gelombang geser pada regangan geser yang kecil (m/detik) ($< 10^{-3}$ persen)

- \bar{v}_s = Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas
- v_{si} = Kecepatan rambat gelombang geser dalam lapisan tanah atau batuan ke- i , di dalam lapisan 30 m paling atas
- V = Geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau
- V_c = Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton (N)
- V_e = Gaya geser desain untuk kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa (N)
- V_{IX} = Gaya geser dasar inelastik pada arah X
- V_{IY} = Gaya geser dasar inelastik pada arah Y
- V_n = Kekuatan geser nominal (N)
- V_s = Kekuatan geser nominal diberikan oleh penulangan geser (N)
- V_{sway} = Gaya geser rencana berdasarkan momen kapasitas pada balok
- V_t = Nilai desain dari gaya geser dasar akibat seismik
- V_u = Gaya geser terfaktor penampang (N)
- V_x = Geser seismik desain di tingkat-x
- V_X = ELF gaya geser dasar pada arah X
- V_Y = ELF gaya geser dasar pada arah Y
- w_c = Berat volume beton normal atau berat volume ekuivalen beton ringan (kg/m³)
- w_u = Beban terfaktor per satuan panjang balok atau pelat satu arah (N/mm)
- W = Berat seismik efektif bangunan
- W_t = Berat total struktur
- x = Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih pendek (mm)
- y = Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih panjang (mm)
- α = Sudut yang menentukan orientasi tulangan
- α_c = Koefisien yang menentukan kontribusi relatif kekuatan beton terhadap kekuatan geser dinding nominal
- β_1 = Faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral

δ	= Faktor pembesaran momen untuk mencerminkan pengaruh kurvatur komponen struktur antara ujung-ujung komponen struktur tekan
δ_u	= Perpindahan desain
δ_{\max}	= Perpindahan maksimum (mm) di tingkat-x
δ_{avg}	= Rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat-x
δ_x	= Defleksi pusat massa di tingkat-x
δ_{xe}	= Defleksi pada lokasi ditentukan dengan analisis elastik
Δ	= Simpangan antar tingkat desain
Δ_a	= Simpangan antar tingkat yang diizinkan
ε_t	= Regangan tarik netto dalam lapisan terjauh baja tarik longitudinal pada kekuatan nominal, tidak termasuk regangan akibat dari prategang efektif, rangkai, susut, dan suhu
ε_{ty}	= Nilai regangan tarik netto pada lapisan terluar dari tulangan tarik longitudinal yang digunakan untuk menentukan penampang terkontrol tekan
θ	= Sudut antara sumbu strut, diagonal tekan, atau bidang tekan dan kord (chord) tarik komponen struktur; Koefisien stabilitas untuk pengaruh P-Delta
ρ	= Rasio A_s terhadap bd ; Faktor redundansi struktur
ϕ	= Faktor reduksi kekuatan
λ	= Faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan, semuanya relatif terhadap beton normal dengan kekuatan tekan yang sama; Faktor pengaruh waktu
Ω_0	= Faktor kuat lebih; Faktor amplifikasi untuk memperhitungkan kekuatan lebih sistem penahan gaya seismik yang ditetapkan sesuai dengan tata cara bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal

**STUDI PENGARUH VARIASI DIMENSI TERHADAP RASIO
PENULANGAN BALOK DAN KOLOM SISTEM RANGKA PEMIKUL
MOMEN KHUSUS SESUAI SNI 2847:2019 PADA DESAIN GEDUNG
PERKANTORAN 5 LANTAI**

Abstrak

Untuk memenuhi kriteria keamanan, dalam mendesain elemen struktur balok dan kolom harus kuat dalam menahan gaya lentur, geser dan torsi. Nilai kapasitas balok maupun kolom dipengaruhi oleh dimensi penampang dan rasio tulangan.

Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan 3 variasi dimensi balok dan kolom untuk gedung perkantoran lima lantai dengan menggunakan program ETABS 18.1.1. Berdasarkan Analisa yang dilakukan ditetapkan sistem struktur yang digunakan yaitu Sistem rangka Pemikul Momen Khusus. Dari 3 Variasi simpangan antar tingkat semuanya memenuhi syarat dengan simpangan terbesar pada variasi 1 yaitu 59,59 mm kurang dari batas izinnnya 61,54 mm. Dari dilakukannya perbandingan pengaruh dimensi balok, pada variasi (G1 40×70; K1 65×65) cm memiliki rasio tulangan longitudinal total (ρ total) 2,64 %, yang lebih besar 19,65 % dari balok pada variasi (G1 40×80; K1 65×65) cm dengan rasio tulangan longitudinal total (ρ total) 2,12 %. Dan pengaruh dimensi kolom, pada variasi (G1 40×80; K1 60×60) cm memiliki rasio tulangan longitudinal (ρ) 2,53 %, yang lebih besar 43,20 % dari kolom pada variasi (G1 40×80; K1 65×65) cm dengan rasio tulangan longitudinal (ρ) 1,44 %.

Kata Kunci : *Balok; Kolom; Tulangan; Rasio*

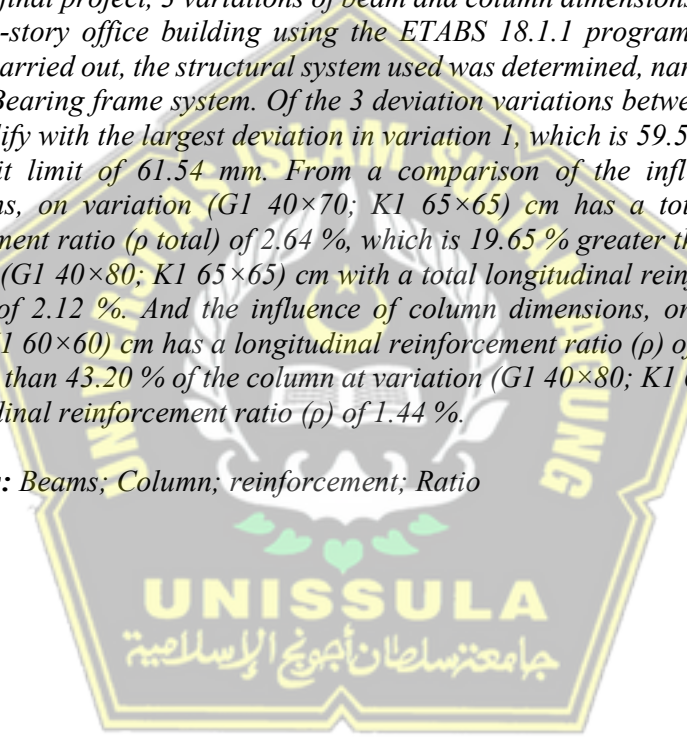
**STUDY EFFECT OF DIMENSIONAL VARIATIONS ON THE
REINFORCEMENT RATIO OF BEAMS AND COLUMNS IN SPECIAL
MOMEN FRAME SYSTEM ACCORDING TO SNI 2847:2019 IN THE
DESIGN 5 STOREY OFFICE BUILDING**

Abstract

To meet the criteria of safety, in designing the structural elements of beams and columns must be strong in resisting bending, shear and torsion forces. The value of the capacity of the beam and column is influenced by the cross-sectional dimensions and the ratio of reinforcement.

In this final project, 3 variations of beam and column dimensions were designed for a five-story office building using the ETABS 18.1.1 program. Based on the analysis carried out, the structural system used was determined, namely the Special Moment Bearing frame system. Of the 3 deviation variations between levels, all of them qualify with the largest deviation in variation 1, which is 59.59 mm, less than the permit limit of 61.54 mm. From a comparison of the influence of beam dimensions, on variation (G1 40×70; K1 65×65) cm has a total longitudinal reinforcement ratio (ρ total) of 2.64 %, which is 19.65 % greater than the beam at variation (G1 40×80; K1 65×65) cm with a total longitudinal reinforcement ratio (ρ total) of 2.12 %. And the influence of column dimensions, on variation (G1 40×80; K1 60×60) cm has a longitudinal reinforcement ratio (ρ) of 2.53 %, which is greater than 43.20 % of the column at variation (G1 40×80; K1 65×65) cm with a longitudinal reinforcement ratio (ρ) of 1.44 %.

Keywords: Beams; Column; reinforcement; Ratio



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton bertulang merupakan salah satu teknologi bahan bangunan yang digunakan untuk perancangan konstruksi, khususnya digunakan untuk pembuatan balok dan kolom. Beton bertulang sendiri adalah sebuah material komposit yang terbuat dari gabungan antara beton yang relatif kuat terhadap gaya tekan diimbangi dengan tulangan baja yang daktilitas yang lebih tinggi sehingga semakin kuat untuk menahan gaya Tarik. Nilai kapasitas sebuah elemen dipengaruhi oleh dimensi penampang dan rasio tulangan, semakin besar dimensi penampang dan rasio tulangan maka semakin meningkat nilai kapasitas beban balok (Anwar et al., 2014).

Dalam mendesain sebuah bangunan Gedung maka Perlunya merencanakan struktur gedung yang tahan terhadap gaya gempa sesuai SNI 1726:2019. Untuk memenuhi syarat keamanannya balok dan kolom perlu di desain agar mampu menahan gaya momen maksimum yang kemungkinan besar dapat terjadi pada struktur bangunan tersebut.

Pada Analisa pengaruh variasi dimensi dan penulangan terhadap balok dan kolom akan menggunakan permodelan struktur Gedung perkantoran 5 lantai dengan sistem struktur yang akan digunakan yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai SNI 1726:2019. Penggunaan sistem struktur SRPMK diharapkan dapat menahan gaya gempa rencana karena memiliki karakteristik dimana balok maupun kolom dapat membantu menahan beban lateral sehingga dapat menahan ataupun mencegah terjadinya pergeseran. Balok dan kolom merupakan komponen struktur yang utama. Yang berperan sebagai penopang beban pada struktur gedung, maka diperlukan perhitungan yang mendetail untuk memperoleh dimensi dan penulangan balok maupun kolom yang memenuhi standar SRPMK dengan mengacu berdasarkan SNI 2847:2019.

Adapun tujuan analisa ini yang akan dibahas yaitu mengenai pengaruh variasi dimensi terhadap rasio penulangan balok dan kolom menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Yang dimana untuk menentukan kebutuhan

tulangan longitudinal dan tulangan_transversal dengan menyesuaikan ketentuan SNI 2847:2019.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada laporan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Bagaimana merencanakan struktur gedung menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dalam perancangan bangunan tahan terhadap gempa yang sesuai SNI 1726:2019 ?
2. Bagaimana menganalisis respon struktur terhadap struktur bangunan tahan gempa yang meliputi ragam getar, periode getar dan simpangan antar lantai. sesuai SNI 1726:2019
3. Bagaimana Pengaruh terhadap penulangan dimensi balok dan kolom sesuai standar SNI 2847:2019, dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus ?

1.3. Tujuan

Dalam Penulisan Tugas Akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Merencanakan struktur gedung menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus untuk bangunan gedung kantor 5 lantai
2. menganalisis respon struktur yang meliputi ragam getar, periode getar dan simpangan antar lantai, sesuai SNI 1726:2019
3. Apa pengaruh variasi dimensi terhadap penulangan balok dan kolom mengacu pada SNI 2847:2019, dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penyusunan Tugas Akhir sebagai berikut:

1. Standar perancangan yang digunakan, antara lain :
 - a. Perencanaan struktur bangunan tahan gempa (SNI 1726:2019)
 - b. Penentuan beban Desain Minimum dengan Kriteria mengenai struktur Bangunan Gedung (SNI 1727:2020)
 - c. Perencanaan struktur beton bertulang (SNI 2847:2019)

2. Analisa Struktur Atas bangunan tahan gempa dengan jumlah 5 lantai
3. Analisa pengaruh dimensi dan tulangan balok serta kolom (struktur atas)

1.5. Sistematika Laporan

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, sistematika penyusunan laporan mempunyai sebanyak lima bab, antara lain :

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan, Batasan Masalah dan Sistematika Laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas mengenai literatur yang berisikan tentang pembahasan maupun teori dari berbagai sumber.

BAB III METODE PERANCANGAN

Berisikan pengumpulan data, tahapan analisis dalam perancangan gedung, dan standar yang diacu dalam proses perancangan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan langkah - langkah perancangan dan hasil perhitungan struktur bangunan yang dilakukan.

BAB V PENUTUP

Berisikan kesimpulan dari hasil penyusunan isi laporan dan saran yang diperlukan guna mendapatkan hasil perancangan yang benar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Struktur

Struktur merupakan gabungan dari beberapa susunan elemen yang bisa menahan semua beban tanpa mengubah bentuknya melebihi batas ketentuan. Struktur bangunan yaitu seperti pondasi, balok, kolom, dinding, atap dan sebagainya yang merupakan elemen penting penyebab berdirinya sebuah bangunan. Membangun sebuah gedung harus dilakukan dengan perhitungan yang tepat dan bisa mengacu dalam standar pembangunan dengan SNI yang telah ditetapkan oleh pemerintah.

Dalam perencanaan konstruksi bangunan terbagi menjadi dua bagian struktur, yaitu struktur atas yang posisinya terdapat pada atas tanah antara lain Plat, Balok, Kolom dan struktur lainnya, kemudian struktur bawah yang posisinya terdapat pada bagian bawah permukaan tanah.

2.2. Sistem Struktur Tahan Gempa

Sistem struktur merupakan komponen struktur secara tiga dimensi yang disatukan. Sistem ini memiliki fungsi yaitu memikul beban dengan aman yang bekerja pada bangunan dan mendistribusikannya dari pondasi ke dalam tanah keras.

Berdasarkan SNI 1726:2019 sistem struktur yang digunakan untuk membangun gedung tahan gempa salah satu diantaranya adalah Sistem Rangka Pemikul Momen yang dimana gaya gempa seluruhnya ditahan pada struktur balok dan kolomnya.

2.2.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Pada sistem kerangka bangunan SRPMK yang semua bagiannya dapat menahan tegangan geser aksial dan tekuk. Dalam sistem ini, beban lateral dan gravitasi dapat didistribusikan ke semua balok dan kolom dengan desain khusus untuk lokasi gempa tinggi di setiap lantai, yang didistribusikan ke semua balok dan kolom di setiap tingkat lantai.

Sistem SRPMK layak digunakan karena sangat daktail di daerah dengan kategori risiko gempa tinggi, mencegah keruntuhan bangunan akibat gaya gempa.

2.3. Beban yang Terjadi pada Struktur Bangunan Gedung

Menurut SNI 1727:2020, beban merupakan suatu gaya maupun aksi yang terjadi pada bidang struktur dan diakibatkan oleh berat segala sesuatu yang ada di dalam bangunan.

Beban vertikal dan beban horizontal adalah dua jenis gaya berbeda yang mungkin mempengaruhi arah struktur bangunan. Beban mati, beban aktif, dan beban curah hujan merupakan komponen beban vertikal. Sedangkan beban gempa, angin, tanah, dan tekanan air termasuk dalam beban horizontal.

2.3.1. Beban Mati

Semua beban yang berasal dari konstruksi yang terpasang, seperti lantai, dinding tetap, tangga, plafon, atap dan semua komponen yang menyatu pada bangunan itu sendiri. Berat sendiri dari komponen gedung terdapat di Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Beban Mati Komponen Bangunan

No.	Komponen Beban Mati	Beban (kN/m ²)
1.	Material Pasir berketebalan 1 cm	0,16
2.	Plester dengan ketebalan 3 cm	0,66
3.	Ubin keramik dengan ketebalan 1 cm	0,22
4.	Plafond	0,2
5.	Mekanikal & Elektrikal	0,25

(sumber : SNI 1727:2020)

Beban untuk bangunan Gedung perkantoran maupun bangunan lainnya jika posisi partisi bisa dirubah tempatnya terlepas apakah ada atau tidaknya partisi tersebut di atas pelat maka ketentuan beban partisi harus ditentukan, berat partisi tidak diperbolehkan lebih kecil dari angka 15 psf (0,72 kN/m²). Dan apabila beban hidup minimum ditentukan dengan nilai 80 psf (3,83 kN/m²) atau yang lebih besar, maka beban partisi tidak perlu direncanakan.

2.3.2. Beban Hidup

jenis beban bangunan yang dapat dipindahkandapat disebut juga dengan beban hidup. Saat merancang bangunan dan struktur lainnya, beban hidup harus digunakan sebagai beban maksimum. Beban maksimum yang dihasilkan dari penggunaan gedung atau penghuninya harus diperhitungkan saat menghitung beban hidup yang digunakan dalam desain struktur, yang tidak diperbolehkan kurang dari beban merata minimum yang telah ditentukan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Beban Hidup Yang Kemungkinan Terjadi Pada Gedung Perkantoran

Fungsi Guna	Beban merata psf (kN/m ²)	Beban Terpusat lb (kN)
Gedung perkantoran		
Ruang arsip dan komputer perancangannya harus menggunakan beban yang lebih berat sesuai perkiraan hunian		
lobi	100 (4,79)	2.000 (8,90)
koridor lantai pertama	100 (4,79)	2.000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2.000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2.000 (8,90)
Atap		
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	-

(sumber : SNI 1727:2020)

2.3.3. Kombinasi Pembebanan untuk Desain Kekuatan

Analisis struktural yang dipakai untuk menentukan gaya geser dan momen mempertimbangkan faktor beban untuk memungkinkan variabilitas. Kemungkinan beban bersamaan harus diperhitungkan saat mengalokasikan komponen ke kombinasi beban.

Kombinasi beban disediakan agar struktur, baik berupa gedung maupun jenis struktur lainnya, dapat mengambil dan menahan beban yang lebih besar dari beban yang sebenarnya ada pada struktur tersebut, sehingga mencegah terjadinya kegagalan. Kombinasi yang mengikuti SNI 2847:2019 terdapat pada uraian kombinasi berikut:

1. Kombinasi Dasar meliputi:
 - Kombinasi 1,4 D
 - Kombinasi 1,2 D + 1,6 L + 1/2 (Lr atau R)
 - Kombinasi 1,2 D + 1,6 (Lr atau R) + (1 L atau 1/2 W)
 - Kombinasi 1,2 D +-1 W + 1 L + 1/2 (Lr atau R)
 - Kombinasi 0,9 D + 1 W
2. Kombinasi dasar disebabkan oleh gaya seismik:
 - Kombinasi 1,2 D + 1 Ev + Emh + 1L
 - Kombinasi 0,9 D + (-1 Ev) + 1 Emh

Keterangan:

- D* = beban yang menetap (beban mati)
L = beban yang dapat berpindah tempat (beban hidup)
Lr = beban yang terjadi pada bagian atap
R = beban dari air hujan
W = beban yang dikibatkan oleh angin
E = beban akibat gaya gempa

2.4. Perancangan Struktur Bangunan Tahan Gempa

Guna mengurangi bahaya kerusakan bangunan akibat gempa, maka harus dirancang nya struktur bangunan tahan gempa. Dalam perancangan struktur dengan mengikuti ketentuan SNI 1726:2019, agar Perencanaan dan perhitungan agar bangunan memiliki ketahanan terhadap gempa.

2.4.1. Gempa Rencana

Saat merancang dan mengevaluasi struktur bangunan, harus mempertimbangkan target resiko keruntuhan bangunan, gempa bumi dengan kemungkinan melebihi umur struktur bangunan hingga 50 tahun, atau nilai S_1 MCE sebesar 2 %.

2.4.2. Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Bangunan atau struktur lainnya dikategorikan ke dalam kelompok risiko untuk menentukan keseluruhan beban seismik berdasarkan kemungkinan terjadinya

gempa bumi besar yang tidak dapat diterima. Faktor prioritas adalah faktor yang mempertimbangkan tingkat risiko terhadap kesejahteraan, kesehatan, dan kehidupan orang yang terkait dengan kerusakan properti dan hilangnya fungsi fasilitas. Sesuai ketentuan SNI 1726:2019 kategori risiko untuk bangunan perkantoran yang termasuk kedalam kategori II, dan factor keutamaan gempa dengan kategori resiko II menggunakan nilai $le = 1$ (satu) .

2.4.3. Klasifikasi Situs

Untuk memberikan standar desain seismik untuk struktur berupa faktor amplifikasi berdasarkan kondisi tanah aktual di lapangan, dilakukan operasi klasifikasi situs. Kelas situs adalah hasil dari upaya klasifikasi situs. ketentuan untuk kategori kelas situs SE (tanah lunak) dapat dilihat Pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	Karakteristik
SE (tanah yang lunak)	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki cepata rambat gelombang geser (\bar{v}_s) $< 175\text{m/detik}$; - Tahanan penetrasi standar rata-rata (\bar{N}_{ch}) < 15; - Kuat geser niralir rata-rata (\bar{S}_u) < 50 kPa. - Bisa juga diklasifikasikan tanah yang memiliki lebih dari 3 m tanah dengan karateristik sebagai berikut : Indeks plastisitas, $PI > 20$, Kadar air, $w \geq 40\%$, Kuat geser niralir su < 25 kPa

(sumber : SNI 1726:2019)

2.4.4. Respons Spektral Percepatan Gempa Tertarget

Menurut analisis pergerakan dinamis, beban gempa adalah beban statis yang sesuai yang berkembang pada struktur di bawah aksi tanah tetapi tidak termasuk struktur. Menurut SNI 1726:2019 gaya gempa yang diperhitungkan adalah beban rencana sedang. Tegangan internal yang diberikan pada semua elemen struktur selama gempa cukup signifikan mungkin lebih besar dari yang diperkirakan. Gempa bumi dengan kemungkinan mencapai 2% sementara struktur bangunan masih berdiri setelah 50 tahun disebut sebagai gempa terencana.

untuk menghitung parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) menggunakan factor amplifikasi di periode 0,2 detik dan 1 detik. Kemudian

periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) dapat direncanakan sesuai dengan pengaruh klasifikasi situs.

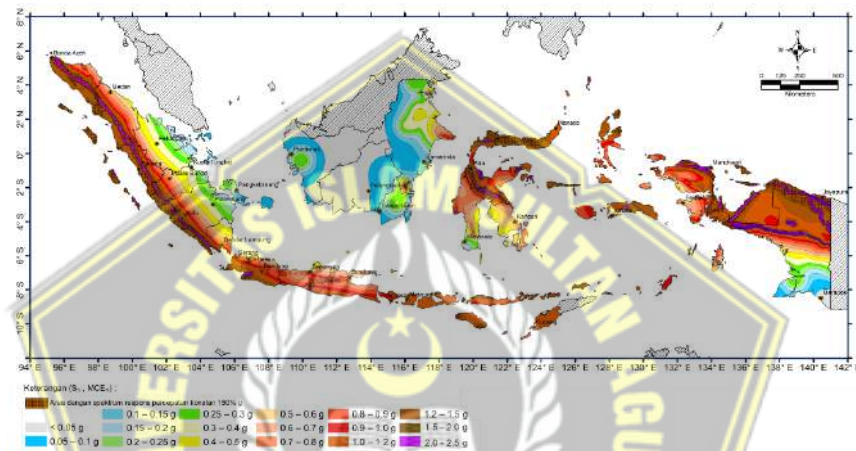
$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (2.1)$$

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

Keterangan :

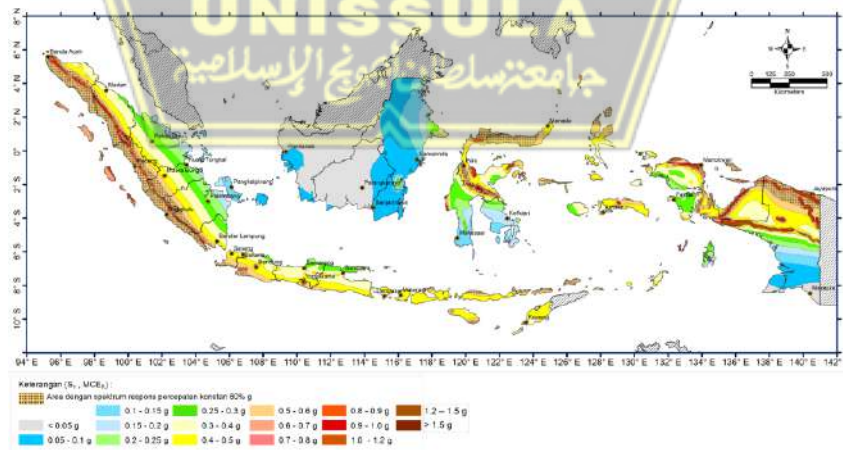
S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) pada periode pendek (terdapat pada Gambar 2.1.).

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) pada periode 1,0 detik (dapat dilihat pada Gambar 2.2.).



Gambar 2.1. Parameter Gerak Tanah (S_s)

(sumber : SNI 1726:2019)



Gambar 2.2. Parameter Gerak Tanah (S_1)

(sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2.4. Koefisien Situs (F_a)

Kelas Situs	Parameter respon spektra percepatan gempa maksimum, periode 0,2 detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,50$
SA	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
SB	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
SC	1,30	1,30	1,20	1,20	1,20	1,20
SD	1,60	1,40	1,20	1,10	1,00	1,00
SE	2,40	1,70	1,30	1,10	0,90	0,80
SF	$s_s^{(a)}$					

(sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2.5. Koefisien Situs (F_v)

Kelas Situs	Parameter respon spektra percepatan gempa maksimum, periode 1 detik, S_l					
	$S_l \leq 0,1$	$S_l = 0,2$	$S_l = 0,3$	$S_l = 0,4$	$S_l = 0,5$	$S_l \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$s_s^{(a)}$					

(sumber : SNI 1726:2019)

2.4.5. Parameter Percepatan Spektral Desain

Nilai parameter percepatan spektral desain periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) dapat dicari dalam Persamaan 2.3 dan 2.4.

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

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

Keterangan :

S_{MS} = Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek

S_{M1} = Parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik

2.4.6. Spektrum Respons Desain

Nilai spektrum respons percepatan desain (S_a) dapat dicari sesuai ketentuan pada Persamaan 2.5 hingga 2.8.

a) Untuk periode (T) yang lebih kecil dari T_0

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

b) Untuk periode (T) dengan nilai lebih dari atau sama dengan T_0 dan kurang dari atau sama dengan T_s

$$S_a = S_{DS} \dots\dots\dots (2.6)$$

c) Untuk periode (T) lebih besar dari atau sama dengan T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2.7)$$

d) Pada periode (T) lebih besar dari T_L

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

T = Periode getar fundamental pada struktur

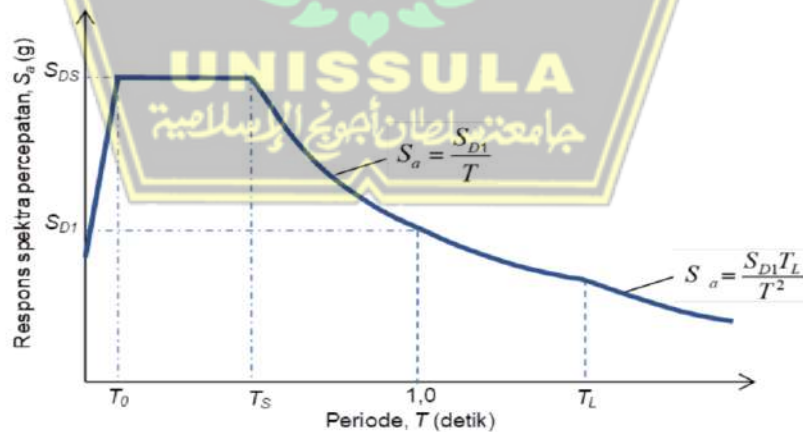
$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

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

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. yang Nilainya diambil dari Gambar 2.4.

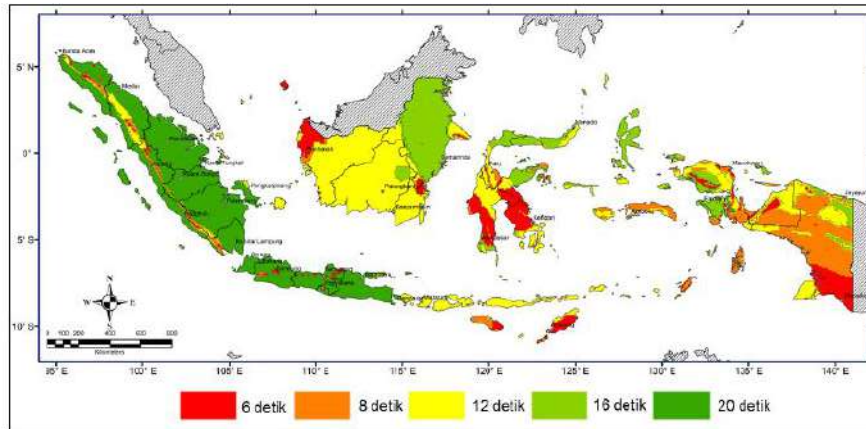
S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada 1 detik



Gambar 2.3. Spektrum Respons Desain

(sumber : SNI 1726:2019)



Gambar 2.4. Peta Transisi Periode Panjang (T_L)

(sumber : SNI 1726:2019)

2.4.7. Kategori Desain Seismik

Untuk memperoleh Nilai S_{DS} dan S_{D1} dapat dilakukan dengan menetapkan kategori risiko bangunan digunakan untuk menentukan kategori desain seismik. Kemungkinan gempa bumi dapat mempengaruhi struktur bangunan meningkat pada setiap huruf dalam tabel kategori risiko. Pada Tabel 2.6. dan 2.7. yang ketentuannya berkaitan dengan kategori desain seismik ditampilkan.

Tabel 2.6. Kategori Desain Seismik pada Periode Pendek (S_{DS})

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I, II dan III	IV
$0,167 > S_{DS}$	A	A
$0,33 > S_{DS} \geq 0,167$	B	B
$0,50 > S_{DS} \geq 0,33$	C	C
$S_{DS} \geq 0,50$	D	D

(sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2.7. Kategori Desain Seismik pada Periode 1 Detik (S_{D1})

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I, II dan III	IV
$0,067 > S_{D1}$	A	A
$0,133 > S_{D1} \geq 0,067$	B	C
$0,20 > S_{D1} \geq 0,133$	C	D
$S_{D1} \geq 0,20$	D	D

(sumber : SNI 1726:2019)

2.4.8. Kombinasi Sistem Pemikul Gaya Seismik pada Arah yang Berbeda

Dari beberapa sistem penahan gaya seismik dapat digunakan untuk menangkal gaya seismik pada arah yang benar dari dua sumbu ortogonal struktur. Salah satu sistem yang dapat digunakan yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dengan Nilai reduksi yang direncanakan, (R) = 8, Nilai kuat lebih sistem, (Q_0) = 3, dan Nilai pembesaran defleksi, (C_d) = 5,5. Yang dapat digunakan pada kategori desain sismik B sampai F.

2.4.9. Periode Fundamental Pendekatan

Untuk mencari nilai dari periode fundamental pendekatan (T_a) dapat dicari sesuai Persamaan 2.9. Koefisien pada Sistem Rangka beton pemikul momen $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$.

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

h_n = Ketinggian struktur (m)

Berdasarkan kondisi pada Persamaan 2.10, nilai T_a dapat ditentukan untuk tinggi struktur kurang dari 12 lantai yang menggunakan sistem pemikul gaya seismik rangka pemikul momen dengan bahan baja maupun struktur beton bertulang dengan tinggi rata-rata minimal 3m.

$$T_a = 0,1 N \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

N = Jumlah tingkat

2.4.10. Periode Fundamental Struktur

Koefisien batas atas pada periode hitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan (T_a) tidak dapat dikalikan dengan nilai periode fundamental struktur (T) yang tidak diperbolehkan. Berdasarkan nilai S_{D1} turunan yang ditunjukkan pada Tabel 2.8. dihitung nilai C_u .

Tabel 2.8. Koefisien Batas Atas untuk Periode yang Dihitung (C_u)

Parameter percepatan respon spektra desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,40$	1,4
0,30	1,4
0,20	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,10$	1,7

(sumber : SNI 1726:2019)

2.4.11. Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan aturan pada Persamaan 2.11 besarnya gaya geser dasar seismik (V) pada arah tertentu dapat dihitung.

$$V = C_s \times W \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

Nilai koefisien respons seismik (C_s) dapat dicari berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.12.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

S_{DS} = Parameter percepatan respons spektral desain rentang periode pendek

R = Koefisien modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung menggunakan Persamaan 2.12 tidak diharuskan melebihi :

- Untuk $T_i \geq T$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.13)$$

- Untuk $T_L < T$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.14)$$

Nilai C_s diharuskan tidak kecil dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots (2.15)$$

Untuk lokasi struktur yang berada di daerah dimana nilai $S_1 \geq 0,6g$, jadi nilai C_s dapat dicari berdasarkan Persamaan 2.16.

$$C_s = \frac{0,5 \times S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.16)$$

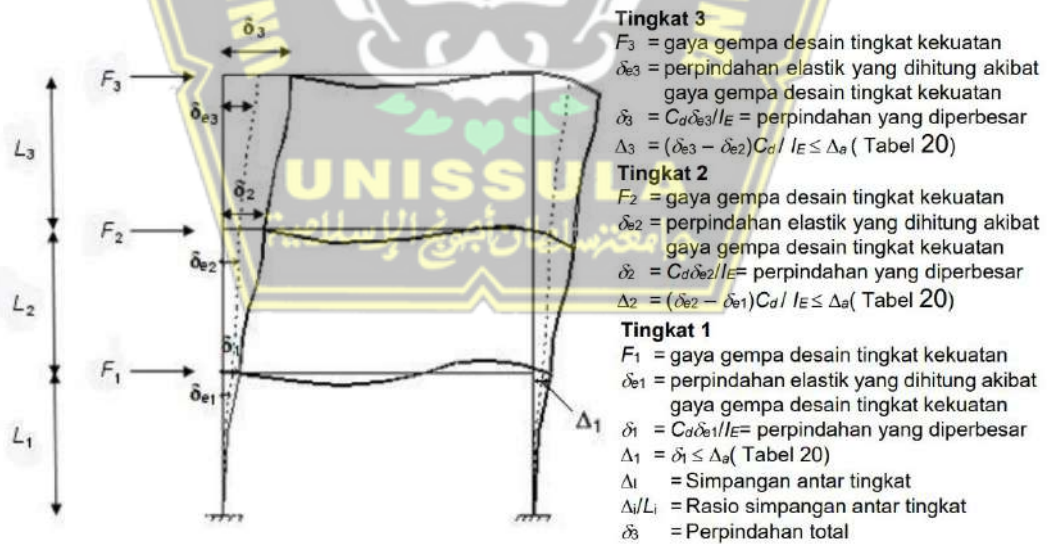
S_{D1} = Parameter percepatan respons spektral desain pada periode 1 detik

T = Periode fundamental struktur

S_1 = Parameter percepatan respon spektral maksimum yang dipetakan

2.4.12. Simpangan Antar Tingkat

Perencanaan simpangan tingkat rencana (Δ) perhitungannya antara perpindahan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Jika *centroid* tingkat tidak disejajarkan secara vertikal, dapat diterima untuk menghitung deviasi berdasarkan tingkat menggunakan proyeksi vertikal lantai di atasnya. harus, jika tegangan izin desain digunakan, dihitung dengan menggunakan gaya seismik desain tanpa memperhitungkan tegangan izin desain.



Gambar 2.5. Perhitungan Simpangan Antar Tingkat

(sumber : SNI 1726:2019)

Perlu dihitung pusat simpangan massa pada tingkat-x (δ_x) (mm) sesuai dengan pedoman pada persamaan 2.17.

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran simpang

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

I_e = Faktor keutamaan gempa

Seperti yang ditunjukkan pada SNI 1726:2019, simpangan antara tingkat izin (Δ_a) harus lebih besar daripada simpangan antara tingkat desain (Δ). Nilai (Δ_a) untuk semua struktur lainnya yang termasuk kedalam kategori resiko II dengan nilai $0,020 h_{sx}$

2.4.13. Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-delta dilihat pada ketentuan SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 pada hal ini perlu diperhatikan bahwa gaya dan momen komponen struktur yang terjadi tidak diperbolehkan lebih besar dari 0,10.

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot H_{sx} \cdot C_d} \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

P_x = gaya vertical yang didesain, batas faktor nilai 1,0;

Δ = desain simpangan, yang terjadi bersamaan dengan V_x (mm)

I_e = factor keutamaan gaya seismik

V_x = simpangan tingkat yang mengalami gaya seismik $x - 1$ (kN)

h_{sx} = ketinggian tingkat yang berada di bawah tingkat , (mm);

C_d = faktor skala.

Dengan ketentuan nilai (θ) tidak lebih besar dari (θ_{max}) dengan dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$0.5 / (\beta \times C_d) \leq 0.25 \dots\dots\dots (2.19)$$

2.4.14. Analisis Spektrum Respons Ragam

untuk mengidentifikasi Analisis spektrum respons ragam digunakan variasi getaran alami struktur. Agar analisis memberikan partisipasi massa total 100% dari massa struktur, harus ada jumlah mode yang memadai. Ragam satu badan kaku dengan periode 0,05 detik diperbolehkan menggunakan periode $\leq 0,05$ detik untuk semua ragam.

2.4.15. Ketidakberaturan Struktur

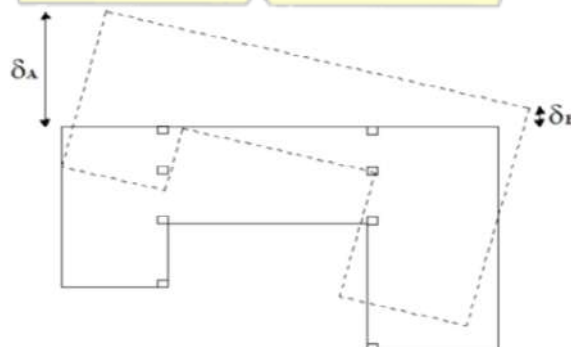
Bentuk suatu struktur bangunan dapat diklasifikasi berdasarkan ketidakberaturannya. Klasifikasi ketidakberaturan suatu bangunan diwajibkan berpedoman pada konfigurasi *horizontal* dan *vertical* dari struktur bangunan.

2.4.15.1. Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan horizontal merupakan ketidakberaturan yang terjadi apabila suatu bangunan memperlihatkan satu atau lebih bentuk ketidakberaturan struktur secara horizontal. Persyaratan dan bentuk ketidakberaturan horizontal suatu struktur.

1. Ketidakberaturan Torsi

Yang perlu diperhatikan dari tipe ketidakberaturan 1a dan 1b adalah apabila simpangan yang terjadi antara tingkat maksimum (Δ_{max}) tidak melebihi 1,2 simpangan antara tingkat rata-rata (Δ_{avg}) maka termasuk mempunyai ketidakberaturan 1a dan apabila melebihi 1,4 simpangan antara tingkat rata-rata (Δ_{avg}) maka termasuk mempunyai ketidakberaturan tipe 1b, seperti pada gambar 2.6.

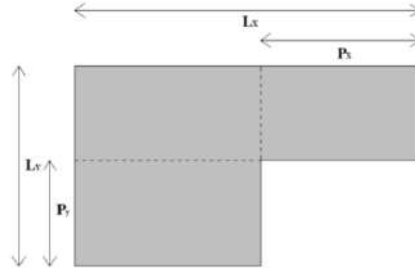


Gambar 2.6. Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b

(sumber : SNI 1726:2019)

2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Apabila dimensi proyeksi denah pada sudut dalam melebihi 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau, maka dapat disimpulkan mempunyai ketidakberaturan tipe dua ini seperti ditentukan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Ketidakberaturan Sudut Dalam

(sumber : SNI 1726:2019)

3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Didefinisikan apabila diafragma kekakuan struktur memiliki bukaan yang dari 50 % daerah diafragma bruto dan dari suatu tingkat ke tingkat berikutnya lebih besar dari 50 %. Maka dapat disimpulkan sebagai ketidakberaturan tipe 3 yang perlu diperhitungkan seperti pada gambar 2.8. berikut :

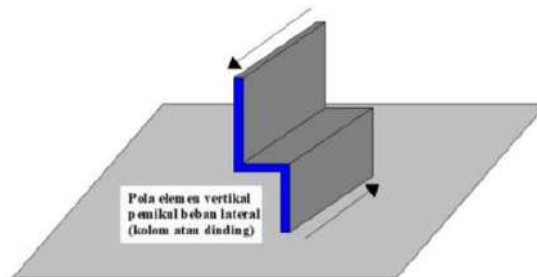


Gambar 2.8. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

(sumber : SNI 1726:2019)

4. Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Turus Terhadap Bidang

Definisi ketidakberaturan 4 ini Apabila terdapat pergeseran tegak lurus pada bidang struktur, contoh terdapat pada gambar 2.9.

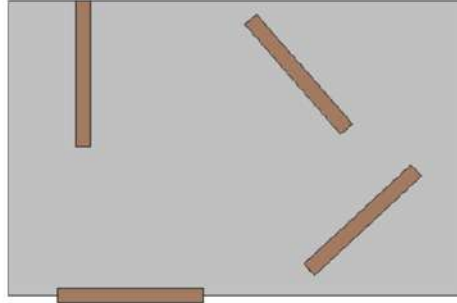


Gambar 2.9. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4

(sumber : SNI 1726:2019)

5. Ketidakberaturan sistem non paralel

Didefinisikan Sumbu orthogonal sistem yang difungsikan untuk menahan gaya seismik penempatannya tidak beraturan, seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Ketidakberaturan Horizontal Sistem Nonparalel

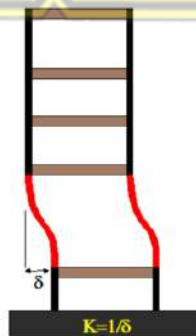
(sumber : SNI 1726:2019)

2.4.15.2. Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal merupakan ketidakberaturan yang terjadi apabila suatu bangunan memperlihatkan satu atau lebih bentuk ketidakberaturan struktur secara vertikal. Persyaratan dan bentuk ketidakberaturan vertikal suatu struktur.

1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Dapat dikatakan memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 1a Ketika kekakuan lateral suatu tingkat lebih kecil dari 70 % yang ada diatas dan lebih kecil dari 80 % kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat yang berada diatas. ketidakberaturan vertikal tipe 1b apabila kekakuan lateral suatu tingkat tidak besar dari 60 % yang ada diatas atau lebih kecil dari 70 % kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat yang berada diatasnya.

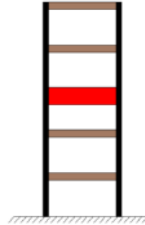


Gambar 2.11. Ketidakberaturan Kekakuan

(sumber : SNI 1726:2019)

2. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakberaturan berat dilihat dari berat efektif tingkat lebih besar dari 150 % tingkat diatas dan dibawahnya. Untuk berat atap lebih kecil maka tidak perlu ditinjau.

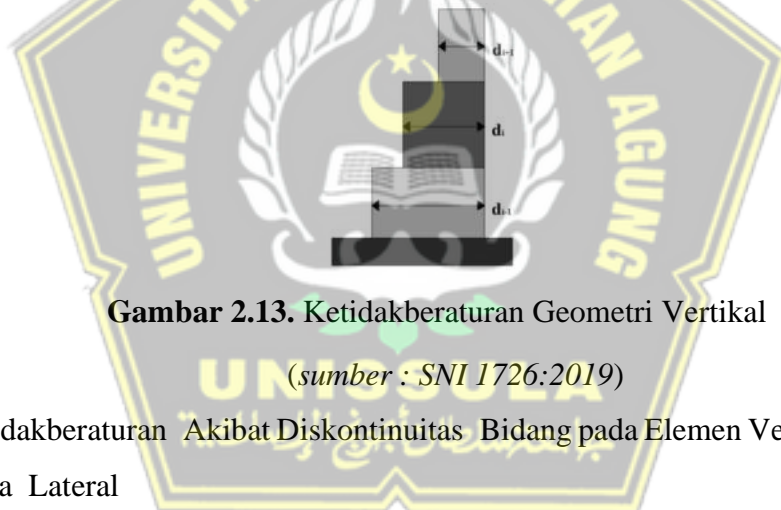


Gambar 2.12. Ketidakberaturan Berat Massa

(sumber : SNI 1726:2019)

3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Didefinisikan apabila dimensi suatu tingkat lebih besar dari 130 % Massa efektif di atas maupun dibawahnya. Pengecualian untuk atap yang kemungkinan besar memiliki massa yang lebih ringan.

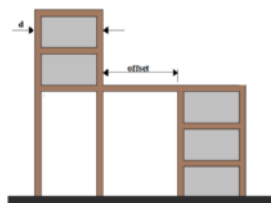


Gambar 2.13. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

(sumber : SNI 1726:2019)

4. Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral

Didefinisikan pada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.

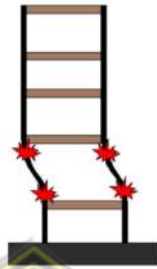


Gambar 2.14. Ketidakberaturan Vertikal tipe 4

(sumber : SNI 1726:2019)

5. Ketidakberaturan Tingkat Lemah

Ketidakberaturan 5a dapat diasumsikan apabila Kekakuan_lateral tingkat lebih kecil dari 80 % kuat lateral tingkat yang berada di atasnya, sedangkan Ketidakberaturan 5a dapat diasumsikan Kekakuan lateral tingkat lebih kecil dari 65 % kuat lateral tingkat yang berada di atasnya.



Gambar 2.15. Ketidakberaturan Tingkat Lemah

(sumber : SNI 1726:2019)

2.5. Perancangan Elemen Struktur Beton Bertulang Sesuai SNI 2847:2019

Perancangan elemen struktur bangunan memerlukan perencanaan dan perhitungan untuk meminimalkan risiko kerusakan bangunan. Untuk melakukan perancangan elemen structural sesuai, SNI 2847:2019 mengenai syarat perencanaan beton *structural* pada bangunan gedung.

2.5.1. Perancangan Pelat

Konstruksi beton bertulang tipis yang memiliki bidang horizontal tegak lurus terhadap beban yang bekerja pada bidang tersebut dikenal sebagai pelat beton bertulang. Dilihat dari dimensi panjang dan lebarnya, ketebalan pelat beton bertulang relatif cukup tipis. Untuk mendukung kekakuan balok portal dalam struktur, pelat beton bertulang bertindak sebagai diafragma atau pengaku horizontal dan memiliki kualitas yang sangat kaku.

Modulus elastisitas dan beban beton, yang berdampak besar pada lendutan, tidak berpengaruh pada ketebalan minimum pelat. Berdasarkan aturan pada Tabel 2.9. dan 2.10. digunakan untuk membedakan batasan ketebalan pelat minimum yang digunakan dalam mendesain dimensi pelat.

Tabel 2.9. Syarat Tebal Minimum Pelat 1 Arah

Kondisi Perlekatan	Tebal minimum pelat (h) ^[1]
Secara Sederhana	$L/20$
Menerus pada Satu ujung	$L/24$
Menerus pada kedua ujungnya	$L/28$
Kantilever	$L/10$

(sumber : SNI 2847:2019)

Tabel 2.10. Syarat Tebal Minimum Pelat 2 Arah

f_y (MPa) ^[1]	Tanpa Drop Panel			Menggunakan Drop Panel		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi		Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi	
280	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/36$	$L_n/40$	$L_n/40$
420	$L_n/30$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/33$	$L_n/36$	$L_n/36$
520	$L_n/28$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/31$	$L_n/34$	$L_n/34$

(sumber : SNI 2847:2019)

Untuk menahan momen lentur yang bekerja pada pelat membutuhkan tulangan lentur. Ketentuan mengenai luas minimum tulangan lentur (A_{smin}) terdapat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11. A_{smin} untuk Pelat

Jenis Tulangan	f_y (MPa)	A_s minimal
Baja ulir	< 420	$0,0020 A_g$
Baja ulir / Kawat las	≥ 420	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
		$0,0014 A_g$

(sumber : Tabel 8.6.1.1 SNI 2847:2019)

2.5.2. Perancangan Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Balok sistem rangka pemikul momen khusus salah satu sistem pemikul gaya seismik yang dirancang untuk menahan geser dan lentur. Setiap komponen rangka

harus diproporsikan dan didetailkan jika akan mengalami gaya aksial lebih besar dari $(A_g f_c'/10)$ sebagai akibat dari setiap kombinasi beban.

Batasan dimensi balok SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) digunakan untuk menentukan lebar efektif maksimum balok yang bisa meneruskan gaya ke sambungan balok kolom. Lebar efektif maksimum balok bisa dilihat pada Gambar 2.16. Dimensi balok harus memenuhi syarat geometrik dari ketentuan Pasal 18.6.2.1 sebagai berikut:

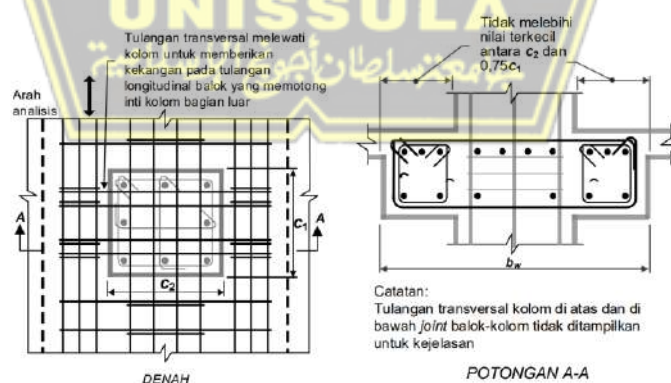
a) Batasan tinggi minimum dimensi balok sesuai Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Tinggi Balok Minimum (h)

Kondisi Perlekatan	Tinggi minimum (h)
Secara Sederhana	$L/16$
Menerus pada Satu ujung	$L/18,5$
Menerus pada Kedua ujungnya	$L/21$
Kantilever	$L/8$

(sumber : SNI 2847:2019)

- b) Panjang bersih (L_n) minimal $4d$
- c) Lebar penampang (b_w) diharus sekurangnya dengan nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm
- d) Proyeksi lebar balok yang melebihi lebar kolom penumpu pada tiap sisi kolom tidak diizinkan melampaui nilai terkecil dari c_2 dan $0,75 c_1$



Gambar 2.16. Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar

(sumber : SNI 2847:2019)

Penulangan lentur pada balok sistem rangka SRPMK harus memenuhi ketentuan sesuai Pasal 9.6.1 sebagai berikut:

- a) Jumlah tulangan lentur di sebelah atas atau di sebelah bawah penampang sesuai pasal 9.6.1.2, (A_s) tidak diizinkan kurang dari Persamaan 2.19 dan Persamaan 2.20.

$$\frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w \times d \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w \times d \dots\dots\dots (2.21)$$

(diambil yang terbesar) $\leq A_s \leq 0,025.b_w.d$

Sesuai pada pasal 5.2.1 jarak-bersih antar tulangan tidak diperbolehkan kurang dari 25 mm, dan db.

- b) Balok minimal harus mempunyai dua tulangan menerus di bagian atas maupun bawah penampang sesuai dengan pasal 18.6.3.1. Setiap penampang harus memiliki jumlah tulangan minimum yang sama atau lebih dari yang dijelaskan dalam pasal 9.6.1.2 dan rasio tulangan maksimum 0,025 untuk tulangan atas dan bawah.

- c) Sesuai dengan Persamaan 2.21 dan 2.22, kuat lentur positif pada muka kolom harus sekurang kurangnya setengah dari kuat momen negatif.

$$\phi M_n^+_{ki} \geq \frac{1}{2} \phi M_n^-_{ki} \text{ (tumpuan sebelah kiri)} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\phi M_n^+_{ka} \geq \frac{1}{2} \phi M_n^-_{ka} \text{ (tumpuan sebelah kanan)} \dots\dots\dots (2.23)$$

Persamaan 2.23 menyatakan-bahwa kuat lentur positif dan negatif pada setiap titik sepanjang bentang harus lebih dari 1/4 kuat momen maksimum pada kedua bagian kolom.

$$(\phi M_n^+ \text{ atau } \phi M_n^-) \geq \frac{1}{4} (\phi M_n \text{ terbesar di setiap titik}) \dots\dots\dots (2.24)$$

Dengan ketentuan pasal 22.2.2.4.1 Tegangan beton $0,85f_c'$ diasumsikan terdistribusi rata terhadap zona tekan ekuivalen dengan batas penampang terujung dan garis yang paralel pada sumbu netral, yang terletak pada jarak a dari serat tekan terjauh, seperti persamaan berikut:

$$a = \beta_1 c \dots\dots\dots (2.25)$$

Nilai β_1 ditentukan dengan cara eksperimental seperti pada table 2.13.

Tabel 2.13. Faktor penghubung ($\beta 1$)

f_c'	$\beta 1$
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$
$f_c' \geq 55$	0,65

(sumber : SNI 2847:2019)

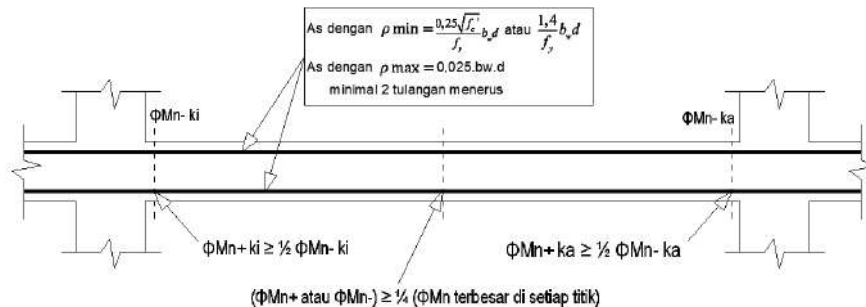
nilai regangan tekan maksimum untuk beton pada penghancuran berkisar antara 0,003 hingga lebih dari 0,008. Namun, dalam kebanyakan kasus, ketika komponen beton dengan proporsi material dan kekuatan normal mencapai kekuatan nominalnya, nilai regangan tekan maksimum berkisar antara 0,003 hingga 0,004.

Tabel 2.14. Faktor reduksi Kekuatan

Regangan Tarik- (ϵ_t)	ϕ Jenis tulangan transversal	
	Spiral	Tulangan-lainnya
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	0,75	0,65
$\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$	$0,75 + 0,15 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$	$0,65 + 0,25 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$
$\epsilon_t \geq 0,005$	0,90	0,90

(sumber : SNI 2847:2019)

Persyaratan tulangan lentur dapat dilihat pada Gambar 2.17.



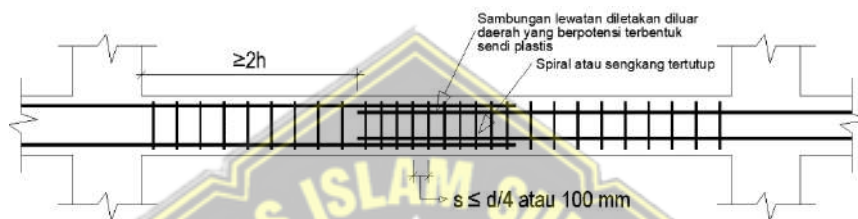
Gambar 2.17. Persyaratan Tulangan Lentur SRPMK

(sumber : SNI 2847:2019)

d) Sambungan tulangan lentur hanya diizinkan apabila bagian sambungan dilekatkan dengan tulangan spiral. Jaraknya tidak lebih dari $d/4$ atau 100 mm dapat digunakan untuk mengikat daerah sambungan layang. Sambungan lewatan tidak diizinkan pada :

- *joint*
- Daerah dengan jarak dua kali tinggi balok dari muka kolom
- Posisi berbasis analisis menunjukkan potensi pelepasan lentur yang disebabkan oleh perpindahan inelastis dari struktur rangka.

Persyaratan sambungan lewatan dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Persyaratan Sambungan Lewatan SRPMK

(sumber : SNI 2847:2019)

e) Sedangkan pemasangan Sengkang kekang pada balok di pasang pada :

- Dibuat jarak dua kali tinggi balok dan diukur dari muka kolom hingga tengah bentang, pada kedua sisi ujung balok.
- Pada kedua sisi suatu bagian di mana lelehian lentur diantisipasi terjadi sebagai akibat dari deformasi lateral yang melebihi perilaku elastis, pada jarak yang sama dengan dua kali kedalaman balok.

Penempatan sengkang pengekan pertama sesuai Pasal 18.6.4.4 diharuskan tidak lebih 50 mm dari tumpuan muka kolom. Penempatan sengkang pengekan dapat dilihat pada Gambar 2.11. Jarak sengkang pengekan tidak diperbolehkan melebihi nilai terkecil dari hal berikut:

- $d/4$
- Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
- 150 mm
- Sesuai dengan pasal 18.6.4.6, sengkang dengan pengait seismik pada kedua ujungnya harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ sepanjang bentang balok meskipun sengkang tidak diperlukan.

f) Nilai A_o dalam Persamaan (22.7.6.1a) dan (22.7.6.1b), diizinkan sama dengan $0,85A_{oh}$.

nilai T_n untuk komponen struktur prategang dan non prategang antara (a) dan (b) dipilih mana yang nilainya paling sedikit. Dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$T_n = \frac{2A_o A_{fy}}{s} \cot \theta \dots \dots \dots (2.26)$$

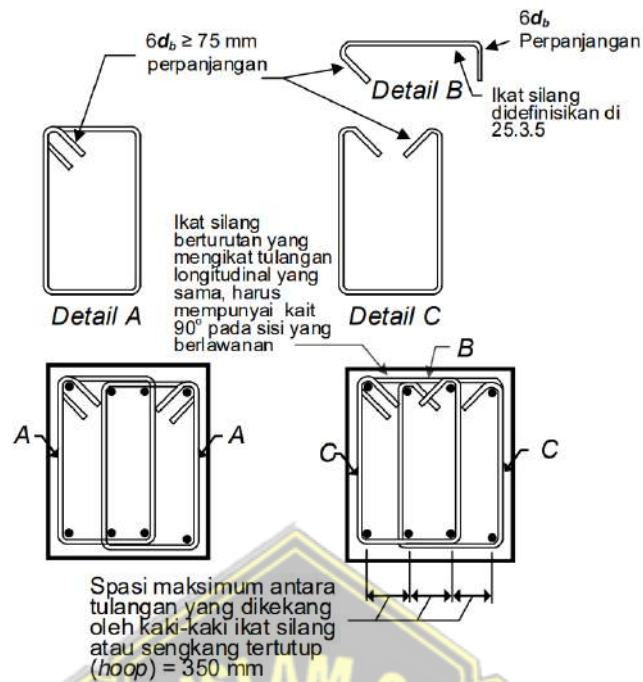
$$T_n = \frac{2A_o A_{fy}}{P_h} \cot \theta \dots \dots \dots (2.27)$$

Jika analisis menentukan A_o , tidak boleh mengambil di bawah 30° atau di atas 60° , A_o adalah luas tulangan longitudinal torsional, p_h adalah keliling diameter terluar sengkang tertutup, dan A_t adalah luas satu kaki tulangan penahan torsi sengkang tertutup.

Tabel 2.15. Batas ambang torsi prnampang solid

Jenis komponen	T_{th}
non prategang	$0,083\lambda\sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$
prategang	$0,083\lambda\sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0,33\lambda\sqrt{f_c'}}$
non prategang yang menerima beban aksial	$0,083\lambda\sqrt{f_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{N_u}{0,33A_g\lambda\sqrt{f_c'}}$

(sumber : SNI 2847:2019)



Gambar 2.19. Contoh Penulangan Sengkang Tertutup Yang Bertumpuk
(sumber : SNI 2847:2019)

Gaya-gaya pada penampang balok dan kolom antara kedua penampang *Joint* harus diperhitungkan saat menghitung gaya geser desain (V_e) sesuai dengan persyaratan pada kolom pasal 18.7.6.1 dan pada balok pasal 18.6.5.1 yang dijelaskan pada gambar 2.20. menunjukkan gaya geser desain (V_e).

Tulangan transversal sepanjang daerah teridentifikasi harus didesain untuk menahan geser dengan asumsi $V_c = 0$ sesuai dengan ketentuan Pasal 18.6.5.2 sebagai berikut:

- Setidaknya setengah dari kekuatan geser yang diperlukan untuk mencapai maksimum sepanjang bentang diwakili oleh gaya geser gempa yang diperkirakan.
- Faktor gaya tekan aksial (P_u) dengan dampak gempa kurang dari $A_g f_c' / 20$
- Perhitungan V_s kepada tulangan geser dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \dots \dots \dots (2.28)$$

- Sesuai pasal 22.5.1.2 desain penampang dimensinya harus memenuhi persamaan berikut :

$$V_u \leq \phi(V_c + 0,066\sqrt{f_c'}b_w d) \dots\dots\dots (2.29)$$

- e) Pembatasan dimensi penampang bertujuan untuk mengurangi kegagalan diagonal tekan pada beton dan mencegah timbulnya retak..
- f) Sesuai pasal 12.5.3.2 Nilai ϕ harus diambil sebesar 0,75, kecuali nilai yang lebih kecil disyaratkan pada 21.2.4.
- g) Untuk komponen nonprategang tanpa gaya aksial pada pasal 22.5.5.1, V_c dihitung dengan persamaan berikut :

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c'}b_w d \dots\dots\dots (2.30)$$

- h) Dimensi penampang dalam pasal 22.7.7.1 harus dipilih yang memenuhi poin a dan b

- Poin a, untuk penampang solid :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi\left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66\sqrt{f_c'}\right) \dots\dots\dots (2.31)$$

- Poin b, untuk penampang berongga :

$$\left(\frac{V_u}{b_w d}\right) + \left(\frac{T_u P_h}{1,7A_{oh}^2}\right) \leq \phi\left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66\sqrt{f_c'}\right) \dots\dots\dots (2.32)$$

- Untuk parameter umum dalam pasal 22.7.6.1.2 dapat menggunakan 45 derajat untuk komponen prategang.

- i) dalam pasal 7.6.3.3 Spasi tulangan torsi transversal tidak boleh melebihi $\phi/8$ dan 300 mm.
- j) Kebutuhan tulangan torsi dan geser pada tulangan transversal ditambahkan di R9.5.4.3, dan sengkang diberikan sekurang-kurangnya sebanyak yang diperlukan. Total luas tulangan transversal dihitung sebagai berikut karena luas tulangan A_v untuk geser didefinisikan sebagai semua kaki sengkang dan luas tulangan A_t didefinisikan hanya sebagai satu kaki.

$$\text{Total}\left(\frac{A_v+t}{s}\right) = \frac{A_v}{s} + 2\frac{A_t}{s} \dots\dots\dots (2.33)$$

Jika diperlukan tulangan torsi, tulangan transversal minimum $(A_v+2A_t)_{\min}/s$ pada pasal 9.6.4.2 harus lebih besar dari persamaan berikut:

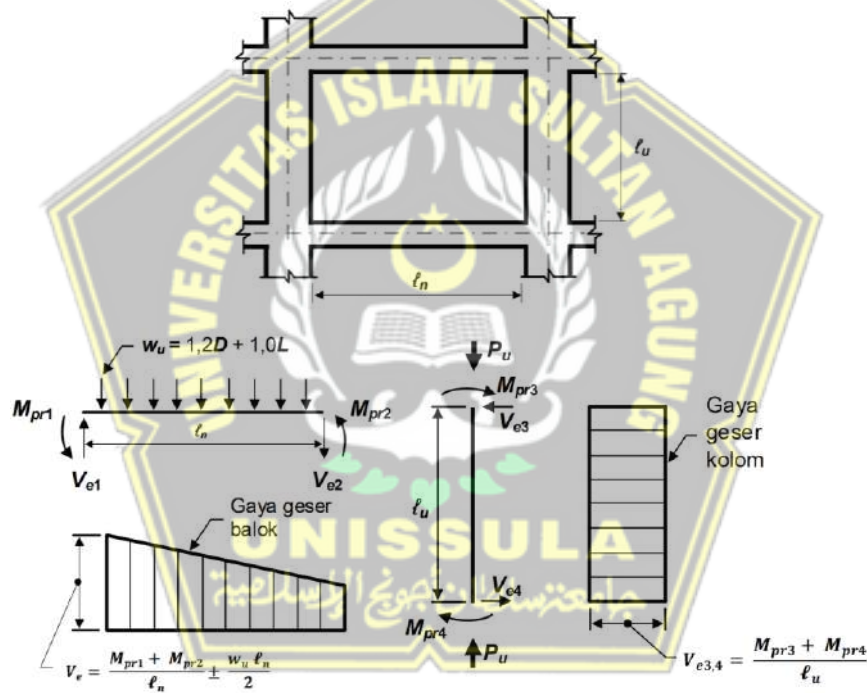
$$0,062\sqrt{f_c'} \frac{b_w}{f_{yt}} \dots\dots\dots (2.34)$$

$$0,35 \frac{b_w}{f_{yt}} \dots\dots\dots (2.35)$$

Panjang tulangan torsi longitudinal dalam 9.7.5.2 harus sekurang-kurangnya 0,042 kali jarak antar tulangan transversal dan diameternya tidak kurang dari 10 mm.

Tulangan longitudinal minimal $A_{t,min}$ pada 9.6.4.3 harus lebih kecil dari persamaan berikut jika diperlukan tulangan torsi:

$$0,42\sqrt{f_c'} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) p_n \frac{f_{yt}}{f_y} \dots\dots\dots (2.36)$$



Gambar 2.20. Geser Desain untuk Balok dan Kolom

(sumber : SNI 2847:2019)

2.5.3. Perancangan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Adapun ketentuan Perancangan Kolom SRPMK sebagai berikut:

1. Batasan ukuran kolom sesuai Pasal 18.7.2.1:
 - a) Penampang terkecil kolom harus mempunyai dimensi minimal 300 mm yang diukur pada garis lurus melewati pusat geometri.

- b) Perbandingan dimensi antara penampang terkecil kolom terhadap dimensi tegak lurusnya minimal 0,4.
2. Luas tulangan longitudinal (A_{st}) sesuai Pasal 18.7.4.1 tidak diizinkan kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih besar dari $0,06A_g$.
3. Tulangan transversal dipasang sepanjang l_0 dari masing-masing muka *joint* pada kolom. Penulangan transversal pada kolom dapat dilihat pada Gambar 2.21. Panjang l_0 sesuai Pasal 18.7.5.1 tidak diizinkan kurang dari nilai terbesar antara hal-hal sebagai berikut:
- Tinggi kolom pada muka *joint* atau pada penampang dimana dimungkinkan terjadinya pelelehan lentur
 - 1/6 dari tinggi bersih kolom
 - 450 mm



Gambar 2.21. Contoh Penulangan Transversal pada Kolom

(sumber : SNI 2847:2019)

4. Spasi tulangan transversal sesuai Pasal 18.7.5.3 tidak diizinkan melebihi nilai terkecil dari hal-hal berikut :
- dimensi terkecil dari penampang kolom 0,25
 - Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
 - s_0 , yang dihitung dengan Persamaan 2.37.

$$s_0 = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \dots \dots \dots (2.37)$$

Nilai s_0 tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm

Ketentuan mengenai tulangan transversal dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2. 16.Tulangan Transversal kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Tulangan Transversal	Situasi	Persamaan yang digunakan	
A_{sh}/s_{bc} untuk sengkang pengekang persegi	$P_u \leq 0,3A_g \times f_c'$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)	$0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$ (a)
	$P_u \leq 0,3A_g \times f_c'$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$		$0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}}$ (b)
		Terbesar antara (a), (b) dan (c)	$0,2 k_f \times k_n \frac{P_u}{f_{yt} \times A_{ch}}$ (c)

(sumber : Tabel 18.7.5.4 SNI 2847:2019)

5. Perkalian antara tinggi *joint* dengan lebar *joint* efektif menghasilkan luas penampang efektif suatu *joint* (A_j). Luas penampang efektif *joint* (A_j) dapat dilihat pada Gambar 2.22. Tinggi *joint* dan lebar *joint* efektif diharuskan selebar kolom (h). Lebar *joint* efektif diharuskan selebar kolom kecuali terdapat balok yang merangka ke dalam kolom yang lebih lebar. Lebar *joint* efektif sesuai Pasal 18.8.4.3 tidak diperbolehkan melebihi nilai terkecil dari hal-hal berikut :

- Dimensi lebar balok ditambah tinggi *joint*.
- Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.



Gambar 2. 22. Luas Joint Efektif

(sumber : SNI 2847:2019)

6. Perhitungan tahanan geser untuk komponen nonprategang dengan gaya aksial tekan, seperti yang ditentukan pada pasal 22.5.6.1, V_c dihitung dengan persamaan:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c} b_w d \dots\dots\dots (2.38)$$

Pada penampang dimana $V_u > \phi V_c$, tulangan transversal harus dipasang dan memenuhi pasal 22.5.10.1.

$$V_s \geq \frac{V_u}{\phi} - V_c \dots\dots\dots (2.39)$$

Bila tulangan geser diperlukan A_v, \min sesuai pasal 10.6.2.2 harus lebih besar dari persamaan 2.34 dan 2.335

Seperti pada pasal 18.7.5.5, kolom yang melebihi panjang λ_o harus dilengkapi dengan tulangan spiral atau sengkang dengan jarak s tidak melebihi kurang dari enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil dan 150 mm.

7. Pengecekan Syarat Strong Column-Weak Beam

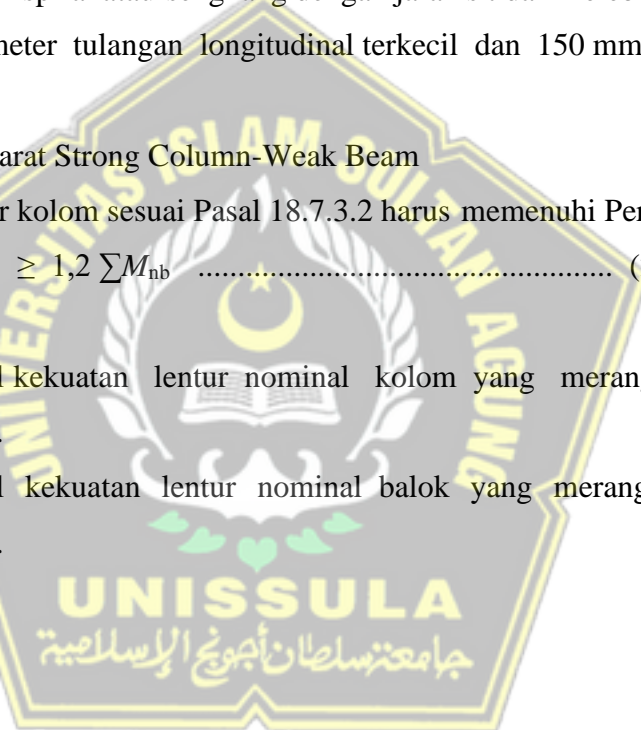
Kekuatan lentur kolom sesuai Pasal 18.7.3.2 harus memenuhi Persamaan 2.40.

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \dots\dots\dots (2.40)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = Total kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam *joint*.

$\sum M_{nb}$ = Total kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*.

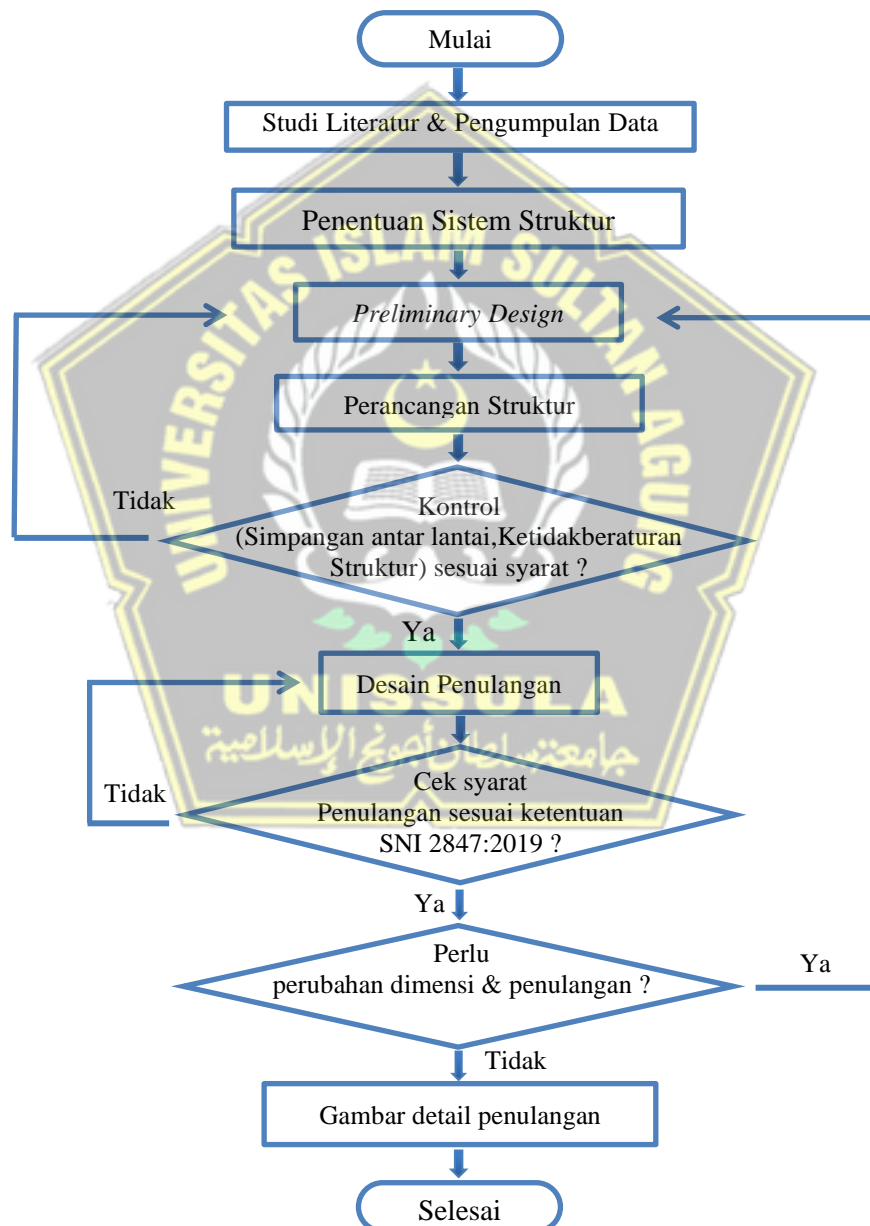


BAB III

METODE PERANCANGAN

3.1. Diagram Alir

Dalam pelaksanaan dan penyusunan Tugas Akhir ini agar tetap dalam ruang lingkup pembahasan. Oleh sebab itu kerangka pelaksanaannya disusun sesuai diagram alir pada gambar 3.1. sebagai berikut :



Gambar 3.1. Diagram Alir Pelaksanaan

3.2. Pengumpulan Data

Penyusunan tugas akhir ini diperlukannya data sekunder untuk melakukan studi pengerjaannya. Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung, dengan meminta kepada yang bersangkutan dengan proyek untuk digunakan sebagai sumber dalam penyusunan laporan tugas akhir.

Fungsi dari pengumpulan data adalah untuk proses perancangan dalam struktur bangunan. Data-data tersebut adalah sebagai berikut:

1. Gambar Perencanaan Gedung 5 lantai
2. Data tanah area proyek
3. Data parameter desain spektra area Proyek.

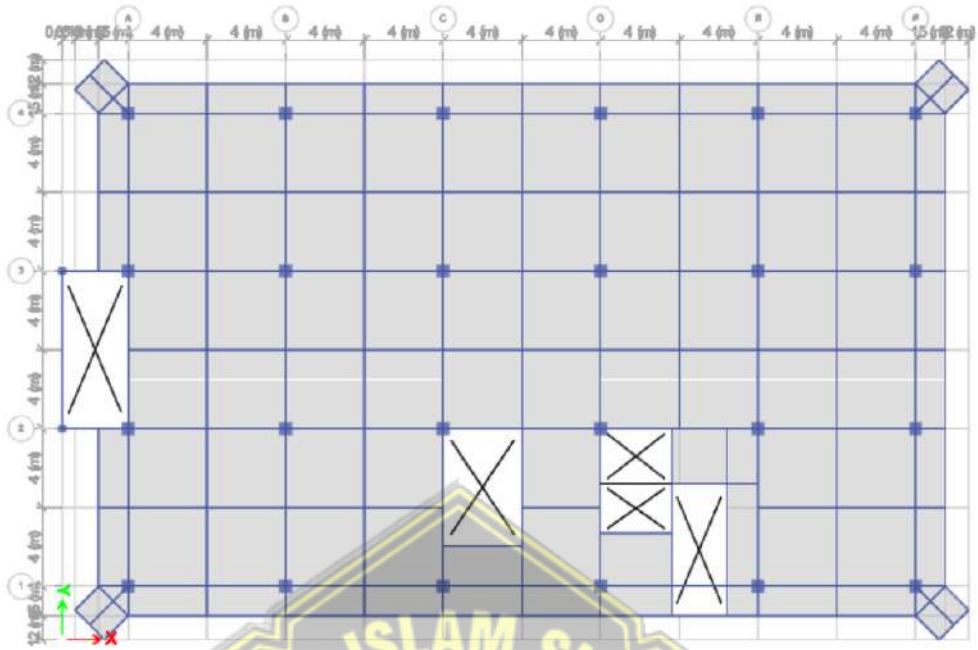
3.3. Tahapan Analisis dan Perhitungan

Adapun tahapan analisis dan perancangan adalah Langkah pengerjaan yang dilakukan untuk menyelesaikan studi perencanaan yang bakal dilakukan pada laporan Tugas Akhir ini. Untuk lebih jelasnya yang akan dijelaskan pada tahapan sebagai berikut:

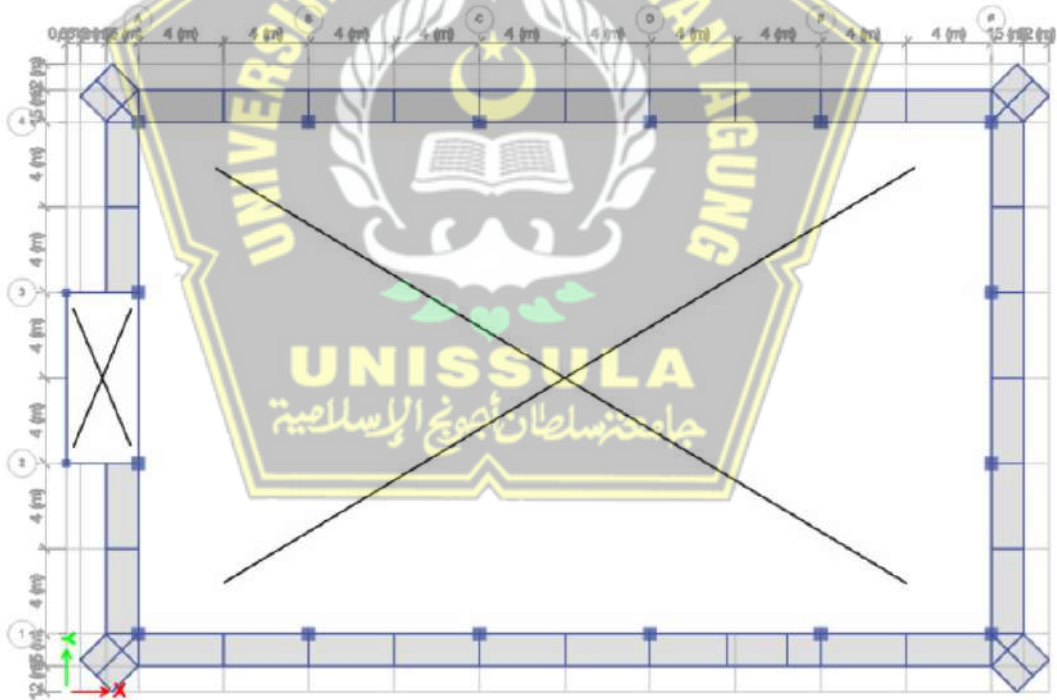
3.4. Pemodelan Struktur

Pembuatan model struktur bangunan menggunakan bantuan program *software* ETABS 2018 berdasarkan gambar kerja dan program dapat membantu sebagai tolak ukur dalam perancangan sehingga proses keluaran dapat dihasilkan gaya eksternal dan gaya internal sebagai akibat dari beban yang telah diberikan.

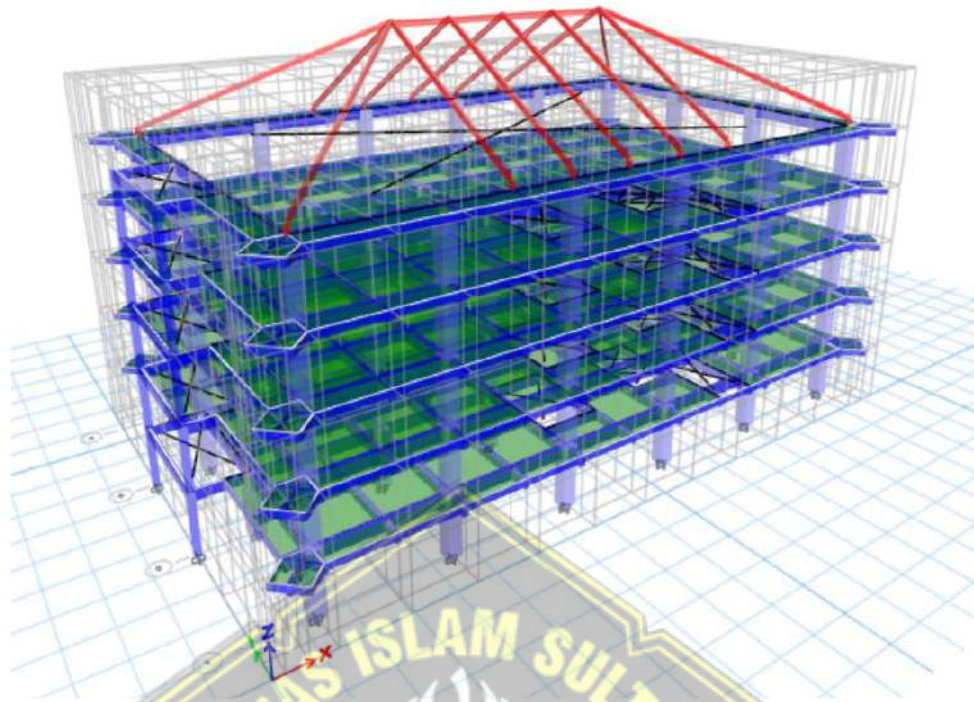
Tahapan yang dapat dilakukan desain permodelan adalah menentukan As bangunan yang sesuai dengan gambar perencanaan sehingga nantinya akan memudahkan pengerjaan, setelah itu dapat dilanjutkan untuk menggambar elemen struktur bangunan dari balok, kolom, pelat lantai hingga perencanaan rangka atap. Dengan spesifikasi teknis yang telah ditentukan dari jenis dan mutu material, hingga dimensi yang digunakan dalam permodelan. Adapun permodelan struktur dapat dilihat pada gambar 3.2. sampai 3.4. berikut :



Gambar 3.2. Denah Struktur lantai 1- 5



Gambar 3.3. Denah Struktur Lantai Atap



Gambar 3.4. Tampak 3D struktur Gedung

3.5. Perencanaan Beban

Penentuan desain pembebanan harus sesuai dengan fungsi bangunan tersebut yang telah ditentukan di SNI 1727:2019. Perencanaan tersebut meliputi beban mati yang dihitung berdasarkan bebang struktur bangunan itu sendiri. Kemudian ada beban yang dapat berpindah dan berubah yang dapat disebut dengan beban hidup contohnya seperti beban manusi beban angin dan lain sebagainya. Dan ada juga beban mati tambahan yang berasal dari komponen yang ada pada bangunan yang sifatnya menetap seperti *finishing* lantai dan plafond.

Setelah perencanaan beban maka perlu menganalisis beban tersebut kombinasi beban menganalisa terjadinya gaya yang dapat terjadi karena kombinasi beban tersebut.

3.6. Analisa Struktur

Dalam menganalisa struktur bangunan ada beberapa hal yang perlu diperhitungkan dan jugak beberapa ketentuan yang harus disesuaikan antara lain yaitu :

- menentukan parameter respon spektral percepatan gempa tertarget yang ada pada wilayah indonesia. Kemudian menentukan ketentuan lain seperti kategori resiko dan keutamaan gempa, klasifikasi situs dan parameter gempa
- Menghitung dan Menentukan periode getar struktur yang digunakan dari beberapa persamaan dengan ketentuan Periode getar (T) tidak diperbolehkan melebihi nilai dari (Cu)
- Perhitungan gaya dasar sesmik statik dan dinamik
- Perhitungan besaran gaya Simpangan anatar lantai dengan batas ketentuan sesuai kategori resiko yang ditentukan
- Perhitungan Pengaruh P-Delta terhadap geser tingkat dan momen
- Pengecekan beberapa Ketidak beraturan setruktur *vertikal* dan *horizontal* yang sesuai bentuk permodelan struktur yang dibuat.

3.7. Perencanaan Pelat

Tahapan yang perlu dilakukan dalam perancangan pelat, antara lain:

- Menentukan spesifikasi pelat
- menghitung gaya dalam pelat dengan mengambil data dari ETABS
- Mendesain penulangan lentur pelat
- Pengecekan kapasitas geser pelat
- Pengecekan lendutan pelat
- kesimpulan hasil penulangan pelat

3.8. Perencanaan Balok

Berikut tahapan perencanaan yang perlu untuk dilakukan pada balok, yaitu :

- Menentukan spesifikasi penampang balok
- menghitung gaya dalam balok dengan mengambil data dari ETABS
- Mendesain penulangan longitudinal balok
- Mendesain penulangan transversal balok
- Mendesain penulangan torsi balok
- rekapitulasi hasil variasi penulangan balok

3.9. perencanaan Kolom

Adapun tahapan perencanaan kolom mencakup pada hal berikut :

- Menentukan spesifikasi penampang kolom
- Mendesain penulangan longitudinal kolom
- menghitung gaya dalam balok $\sum M_{nb}$ dan kolom $\sum M_{nc}$ dengan mengambil data dari ETABS
- Pengecekan Syarat Kekuatan Lentur minimum pada Kolom $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$
- Mendesain penulangan transversal kolom
- Rekapitulasi hasil variasi penulangan kolom

3.10. Pengaruh Variasi Dimensi Terhadap Penulangan Balok dan Kolom

Adapun pengaruh dimensi terhadap penulangan balok dan kolom mencakup pada hal berikut :

- Perbandingan antara variasi balok G1
- Perbandingan antara variasi kolom K1



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Struktur Gedung

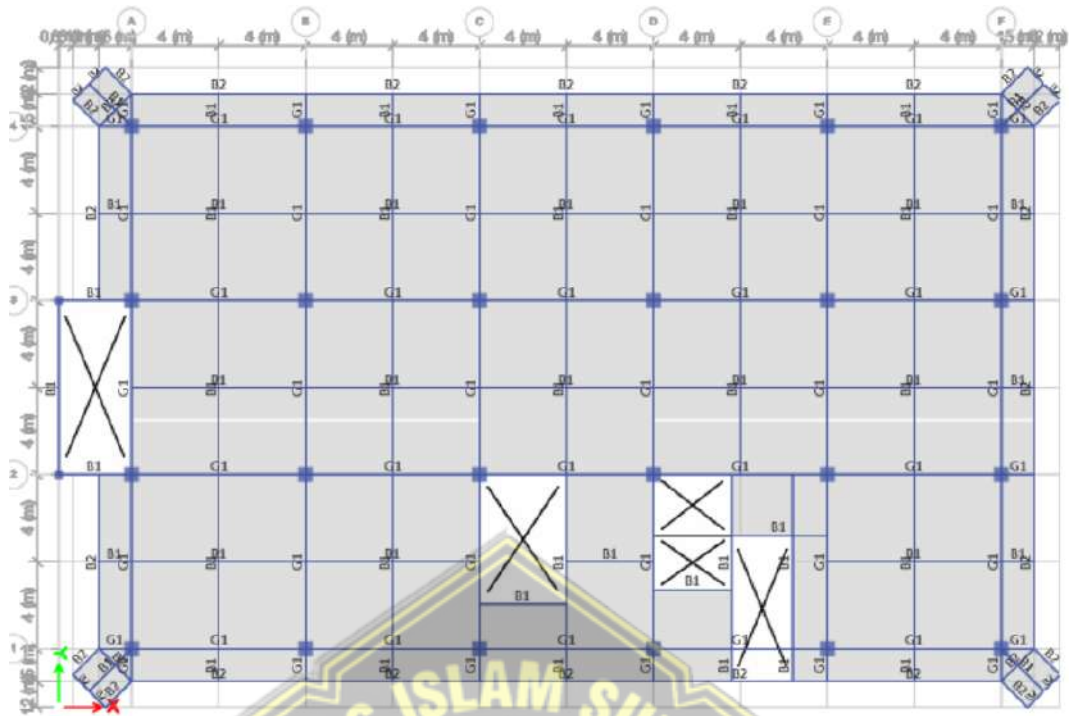
4.1.1. Deskripsi Umum

Sistem Gedung yang bertingkat lima lantai ini didesain mengikuti ketentuan yang sesuai pada SNI 1726:2019 tabel 12, dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

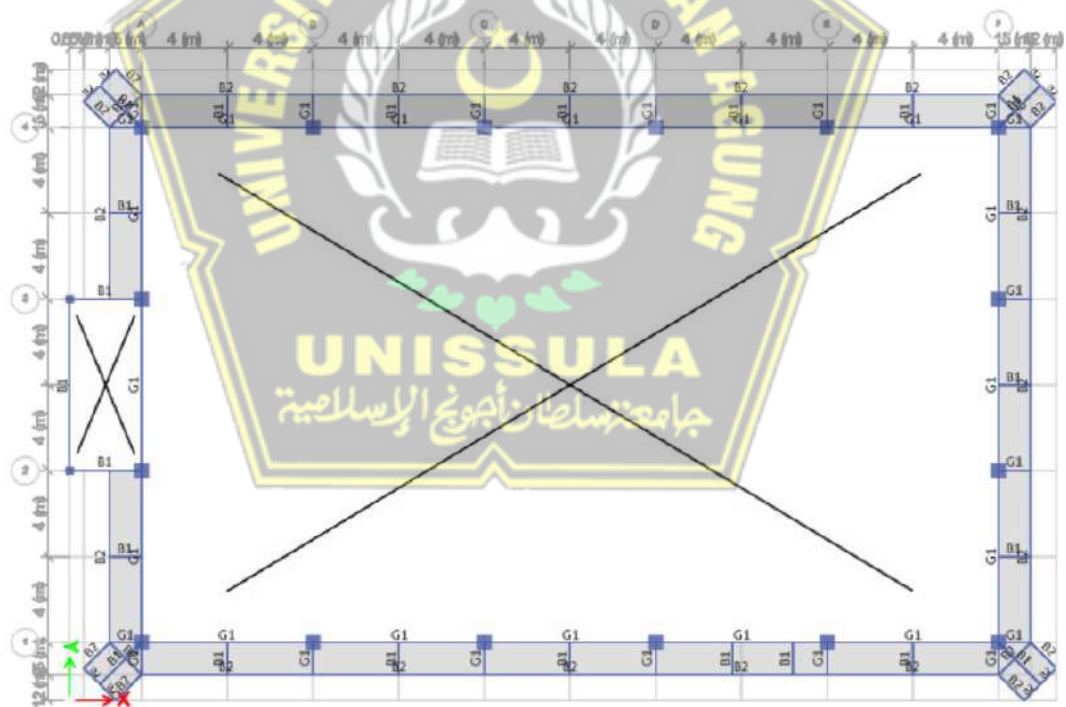
Direncanakannya bangunan Gedung ini akan difungsikan untuk perkantoran di Universitas Islam Sultan Agung Semarang, keseluruhan struktur Gedung ini mempunyai luas bangunan $27 \times 43 \text{ m}^2$ dan tinggi 24 m dengan tinggi tiap lantainya 4 m. Berikut Data model struktur gedung dapat dilihat pada tabel 4.1 dan denah struktur dari gedung yang didesain dapat dilihat pada gambar 4.1. dan gambar 4.2. sebagai berikut.

Tabel 4.1. Data Model Struktur Gedung

Fungsi Bangunan	Gedung Perkantoran
Jumlah lantai	5 lantai
Luas	$1,161 \text{ m}^2$
Tinggi struktur Portal	20 m
Sistem Struktur	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)



Gambar 4.1. Denah Struktur Balok dan kolom lantai 1- 5



Gambar 4.2. Denah Struktur Balok dan Kolom Lantai Atas

4.1.2. Permodelan Struktur

Permodelan elemen struktur Gedung perkantoran 5 lantai yang didesain berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) terdapat tiga variasi dimensi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Dimensi variasi balok dan kolom

Jenis Elemen	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
	mm	mm	mm
Balok G1	400 × 700	400 × 800	400 × 800
Balok B1	300 × 600	300 × 600	300 × 600
Balok B2	150 × 400	150 × 400	150 × 400
Kolom K1	650 × 650	650 × 650	600 × 600
Kolom K2	550 × 550	550 × 550	500 × 500
Kolom K3	450 × 450	450 × 450	400 × 400
Pelat lantai S1	125	125	125
Rangka atap I wf	350.175.7.11	350.175.7.11	350.175.7.11

4.1.3. Spesifikasi Material/Bahan

Spesifikasi untuk menganalisa Permodelan Struktur Ini menggunakan mutu bahan sebagai berikut :

- Mutu Beton : $f_c' = 29$ Mpa (Balok, Kolom dan Pelat lantai)
- Mutu Baja Tulangan : $f_y = 420$ Mpa (Besi Ulir $D \geq 10$ mm)
 $f_y = 280$ Mpa (Besi polos $D < 10$ mm)
- Mutu Baja Profil : $f_y = 420$ Mpa

4.1.4. Pembebanan

Pada perencanaan gedung ini menggunakan ketentuan yang ada pada peraturan SNI 1727:2020 pasal 4.3.1 mengenai beban hidup yang terjadi secara merata maupun terpusat yang disebabkan oleh penghunian dan pemakaian bangunan, hal ini perlu dipertimbangkan untuk menentukan beban yang kemungkinan besar dialami pada bangunan, beban tersebut antara lain :

1. Beban Mati
 - Beban struktur beton = 23,5631 kN/m³
2. Beban Hidup
 - Partisi = 0,73 kN/m²
 - Kantor = 2,4 kN/m²
 - koridor diatas lantai pertama = 3,83 kN/m²
 - koridor lantai pertama = 4,79 kN/m²
 - lobi = 4,79 kN/m²
 - Gudang penyimpanan = 6,00 kN/m²
 - Atap dengan beban pekerja pemeliharaan: = 0,96 kN/m²
3. Beban Mati Tambahan (SIDL)
 - Beban dinding Pas. ½ bata = 2,35 kN/m²
 - Beban finishing lantai t : 5-8 cm, : 8 x 21 = 1,68 kN/m²
 - Beban plafond = 0,2 kN/m²
 - Beban ME = 0,25 kN/m²

4. Kombinasi Beban

Pada perencanaan gedung ini bereacuan pada ketentuan SNI 1727:2020 tentang desain pembebanan minimum untuk Bangunan Gedung Dan Struktural yang Lainnya dengan sesuai pasal 2.3.1 dalam menentukan kombinasi dasar dan juga mempertimbangkan mengenai efek beban seismik yang dialami struktur sesuai pasal 2.3.6, kombinas beban yang digunakan diantaranya adalah:

- 1,4 D
- 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr atau R)
- 1,2 D + 1,6 (Lr atau R) + (1,0 L atau 0,5 W)
- 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (Lr atau R)
- 0,9 D + 1,0 W
- 1,2 D + 1 Ev + Emh + 1 L
- 0,9 D - 1 Ev + 1 Emh

4.2. Analisa beban Seismik

Dalam menganalisa beban sismik mengikuti peraturan yang sesuai SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan struktur bangunan tahan gempa Gedung dan nongedung.

4.2.1. Klasifikasi Situs

Mengacu pada standar SNI 1726:2019. Klasifikasi situs dapat ditentukan berdasarkan 3 parameter yaitu \tilde{V}_s = kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas. N = tahanan penetrasi standar dan S_u = kuat geser rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas. Dalam menentukan klasifikasi situs digunakan nilai penetrasi standar (N -SPT) yang merupakan hasil pengujian tanah lokasi gedung. Data N -SPT tanah yang diperoleh dari lokasi gedung ini diukur sampai kedalaman 50 m. Maka dari itu.

Dengan analisis perhitungan rata-rata nilai N -SPT sampai dengan kedalaman 50 m dapat dihitung sesuai Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Nilai N -SPT

Kedalaman	Tebal (di)	N -SPT	di/Ni
2,8	2,8	21	0,13
5,1	2,3	24	0,10
7,6	2,5	28	0,09
10,2	2,6	2	1,30
12,8	2,6	3	0,86
15,2	2,4	7	0,34
17,6	2,4	7	0,34
20,2	2,6	9	0,28
22,6	2,4	10	0,24
25,2	2,6	12	0,22
27,6	2,4	14	0,17
30,2	2,6	18	0,14
32,6	2,4	19	0,13
35,2	2,6	23	0,11
37,6	2,4	24	0,10
40,2	2,6	26	0,10
42,6	2,4	27	0,08
45,2	2,6	28	0,09
47,6	2,4	31	0,08
50	2,4	35	0,07
Total	50		4,99

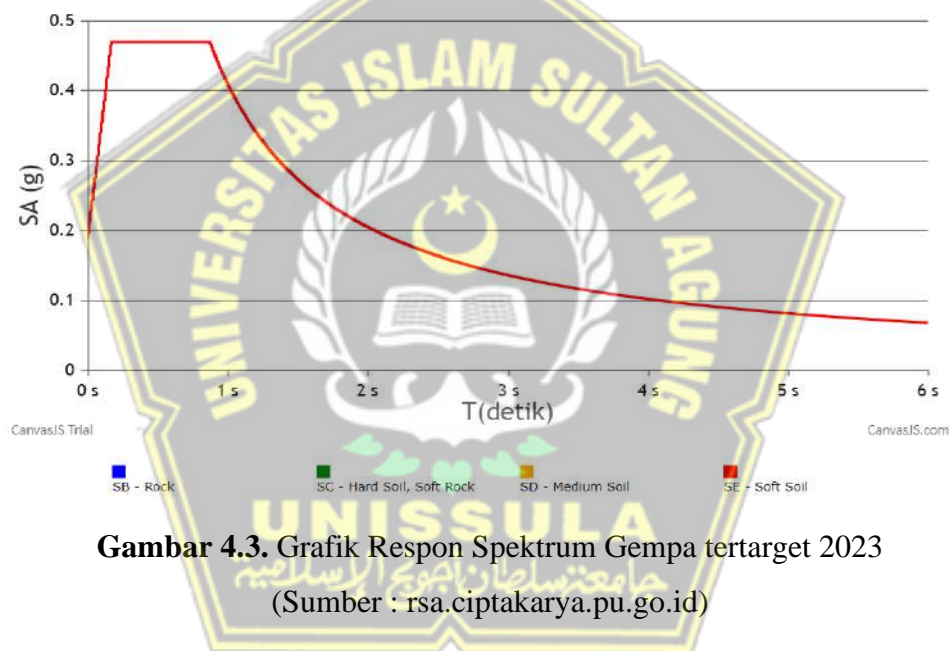
Berdasarkan Tabel 4.3 di atas maka dapat dihitung tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N) yaitu:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{50}{4,99} = 10,021$$

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N) sebesar 10,0021. Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 5, nilai $15 < N < 50$ termasuk ke dalam Kategori **Tanah Lunak (SE)**.

4.2.2. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa tertarget

Nilai parameter respon spectral percepatan gempa tertarget yang digunakan yaitu pada Titik koordinat garis lintang (-6.9556) dan garis bujur (110.4577) (Semarang, Jawa Tengah, Indonesia), untuk diagram spektrum respon desain dapat dilihat pada gambar 4.3. berikut.



Gambar 4.3. Grafik Respon Spektrum Gempa tertarget 2023
(Sumber : rsa.ciptakarya.pu.go.id)

4.2.2.1. Data Parameter respons spectra percepatan gempa tertarget

- Spektral Percepatan pada Periode Pendek S_s = 0.3263 g
- Spektral Percepatan Periode dalam 1 Detik S_1 = 0.1730 g
- Percepatan Desain Periode Pendek S_{ds} = 0,47 g
- Percepatan Desain Periode 1 Detik S_{d1} = 0,41 g

4.2.2.2. Kategori resiko gempa

Kategori resiko bangunan gedung maupun buakan gedung terkait gaya gempa sesuai ketentuan SNI 1726:2019 adalah sebagai berikut :

- a. Sesuai table 3 SNI 1726:2019 Bangunan Gedung yang digunakan untuk kantor tergolong dalam Katagori resiko II, dengan faktor keutamaan gempa ($I_e = 1$)
- b. Pemilihan sistem struktur mengacu pada SNI 1726:2019 tabel 12. Dengan perencanaan Gedung diatas tanah lunak SE maka dapat digunakan struktur dengan (Sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus) dengan parameter gempa:
 - Nilai reduksi yang direncanakan, $R_a = 8$
 - Nilai kuat lebih sistem, $\Omega_o b = 3$
 - Nialai pembesaran defleksi, $Cd c = 5,5$

4.3. periode Getar Pada Struktur

Struktur mempunyai durasi Fundamental yang didapat melalui sifat struktur dan karakteristik yang mana T tidak diperbolehkan lebih besar dari perhitungan koefisien batas atas (C_u) dari Tabel 17 SNI 1726:2019. Adapun Batasan atas koefisien pada durasi yang digunakan adalah ($C_u = 1,4$) dikarenakan parameter percepatan respon spektral desain dalam 1 detik ($SD1$) lebih dari 0,4.

parameter periode pendekatan tipe struktur rangka beton pemikul momen dengan nilai $C_t = 0,0466$ serta nilai $x = 0,9$. Dengan ketinggian struktur bangunan ($h_n = 24$ m, durasi fundamental pendekatan (T_a) ditentukan memakai persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \times h_n^x \\ &= 0,0466 \times 20^{0,9} = 0,6907 \text{ detik} \\ T_{\max} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,6907 = 0,967 \text{ detik} \end{aligned}$$

Pada program Etabs periode getar diperoleh :

- Variasi 1 : Mode 1 : $T_y = 1,261$ detik
Mode 2 : $T_x = 1,330$ detik

- Variasi 2 : Mode 1 : $T_y = 1,158$ detik
Mode 2 : $T_x = 1,216$ detik
- Variasi 3 : Mode 1 : $T_y = 1,236$ detik
Mode 2 : $T_x = 1,295$ detik

$T_c < T_a$, maka nilai $T = T_a$

$T_a < T_c < T_{max}$, maka nilai $T = T_c$

$T_c > T_{max}$, maka nilai $T = T_{max}$

Dari semua variasi model Periode getar menggunakan T_{max} (0,967 detik) dikarenakan nilai T_{cx} dan T_{cy} Lebih besar dari nilai T_{max} (0,967 detik) dan nilai T_a (0,6907).

4.3.1. Rambat Energi Gaya Seismik

persamaan koefisien respon seismik dihitung sesuai ketentuan yang ada pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1 dengan catatan Nilai C_s tidak melebihi dari nilai C_{smax} dan tidak kurang dari C_{smin} , perhitungan tersebut sebagai berikut :

Koefisien Respons Seismik	C_s	$= S_{DS} / (R/I_e)$	
			$0,4756 / (1/8)$
			$= 0,0595 \text{ g}$
Batas Atas	$C_{s \max}$	$= S_{D1} / [T \times (R/I_e)]$	
	$C_{s \max, X}$	$= 0,4086 / (0,967 \times (1/8))$	
		$= 0,0528 \text{ g}$	
	$C_{s \max, Y}$	$= 0,4086 / (0,967 \times (1/8))$	
		$= 0,0528 \text{ g}$	
Batas Bawah	$C_{s \min}$	$= 0,044 S_{DS} I_e$	
		$= 0,044 \times 0,4756 \times 1$	
		$= 0,0209 \text{ g}$	

Hasil perhitungan persamaan diatas menunjukkan nilai $C_s = 0,0595 \text{ g}$ tidak lebih besar dari $C_{smax} = 0,0528 \text{ g}$ dan tidak lebih kecil dari $C_{smin} = 0,0209 \text{ g}$. hasil perhitungan gaya dasar seismik statik dan dinamik pada Etabs dapat dilihat pada table 4.4 sampai 4.5.

Tabel 4.4. Besaran Gaya Statik Pada Variasi 1 sampai 3

Tingkat	Tinggi Lantai (m)	Variasi 1		Variasi 2		Variasi 3	
		Gaya Arah X	Gaya Arah Y	Gaya Arah X	Gaya Arah Y	Gaya Arah X	Gaya Arah Y
Atap	4	0	0	0	0	0	0
Lantai 5	4	261,77	261,77	276,79	276,79	273,70	273,70
Lantai 4	4	1324,72	1324,72	1362,62	1362,62	1351,90	1351,90
Lantai 3	4	-2087,09	2087,09	2140,74	2140,74	2122,34	2122,34
Lantai 2	4	2568,43	2568,43	2631,58	2631,58	2608,08	2608,08
Lantai 1	4	2766,99	2766,99	2834,20	2834,20	2808,52	2808,52

Tabel 4.5. Besaran Gaya Dinamik Pada Variasi 1 sampai 3

Tingkat	Tinggi Lantai (m)	Variasi 1		Variasi 2		Variasi 3	
		Gaya Arah X	Gaya Arah Y	Gaya Arah X	Gaya Arah Y	Gaya Arah X	Gaya Arah Y
Atap	4	0	0	0	0	0	0
Lantai 5	4	188,89	190,00	205,67	206,66	196,82	198,07
Lantai 4	4	819,15	770,87	904,79	852,83	846,24	801,35
Lantai 3	4	1272,08	1191,77	1421,23	1335,20	1318,77	1249,06
Lantai 2	4	1605,52	1500,50	1800,06	1687,10	1673,14	1581,47
Lantai 1	4	1761,46	1644,80	1974,60	1848,48	1843,15	1739,40

Sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.9.2.5.2 penentuan factor skala gaya seismik arah x maupun arah y tidak boleh lebih kecil dari gaya geser statik. Oleh karna itu factor skala gaya dapat direncanakan ulang menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Variasi Model 1: } \eta_x = \frac{v_x}{v_{ix}} \geq 1,0 = 2766,99 / 1761,46 = 1,5708$$

$$\eta_y = \frac{v_y}{v_{iy}} \geq 1,0 = 2766,99 / 1644,80 = 1,6823$$

$$\text{Variasi Model 2: } \eta_x = \frac{v_x}{v_{ix}} \geq 1,0 = 2834,20 / 1974,60 = 1,4353$$

$$\eta_y = \frac{v_y}{v_{iy}} \geq 1,0 = 2834,20 / 1848,48 = 1,5332$$

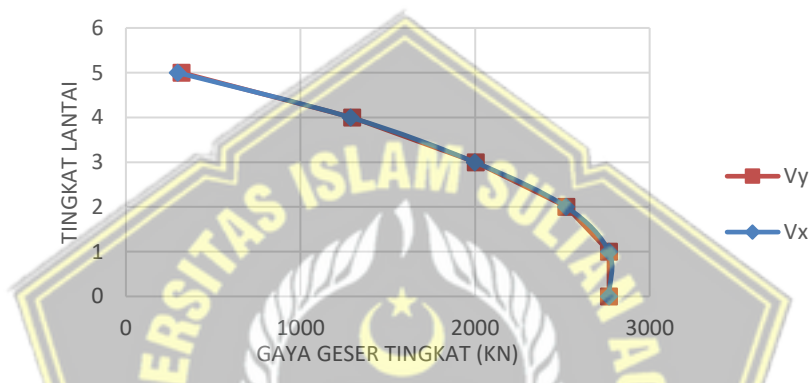
$$\text{Variasi Model 3: } \eta_x = \frac{v_x}{v_{ix}} \geq 1,0 = 2808,52 / 1843,15 = 1,5238$$

$$\eta_y = \frac{v_y}{v_{iy}} \geq 1,0 = 2808,52 / 1739,40 = 1,6165$$

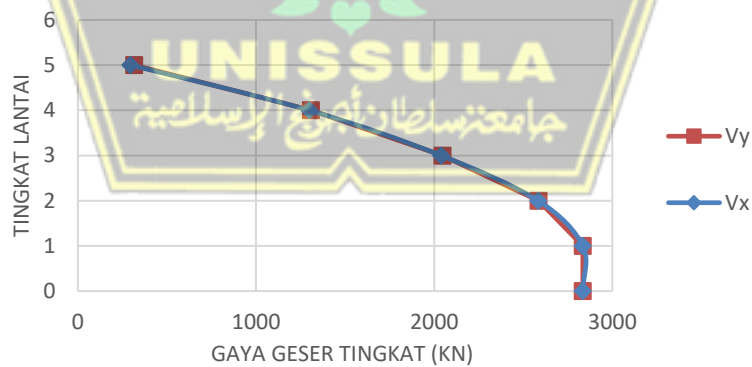
Setelah gaya gempa arah X dan Y disetiap Variasi diperbesar dan didapatkan nilai gaya dinamik membesar seperti pada table 4.6. dan distribusi gaya geser gempa pada variasi 1 sampai 6 dapat dilihat pada gambar 4.4. sampai gambar 4.6.

Tabel 4.6. Besaran Gaya Dinamik Pada Setiap Variasi Setelah Pembesaran

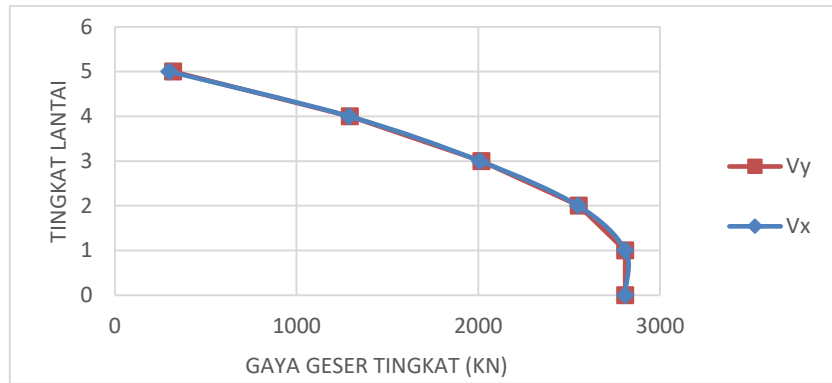
Tingkat	Tinggi Lantai (m)	Variasi 1		Variasi 2		Variasi 3	
		Gaya Arah X	Gaya Arah Y	Gaya Arah X	Gaya Arah Y	Gaya Arah X	Gaya Arah Y
Atap	4	0	0	0	0	0	0
Lantai 5	4	296,73	319,66	295,22	316,88	299,92	319,83
Lantai 4	4	1286,82	1296,92	1298,73	1307,69	1289,52	1293,97
Lantai 3	4	1998,34	2005,04	2040,04	2047,35	2009,59	2016,91
Lantai 2	4	2522,16	2524,45	2583,81	2586,94	2549,59	2553,66
Lantai 1	4	2767,13	2767,22	2834,34	2834,40	2808,66	2808,68



Gambar 4.4. Distribusi Gaya Geser Gempa variasi 1



Gambar 4.5. Distribusi Gaya Geser Gempa variasi 2



Gambar 4.6. Distribusi Gaya Geser Gempa variasi 3

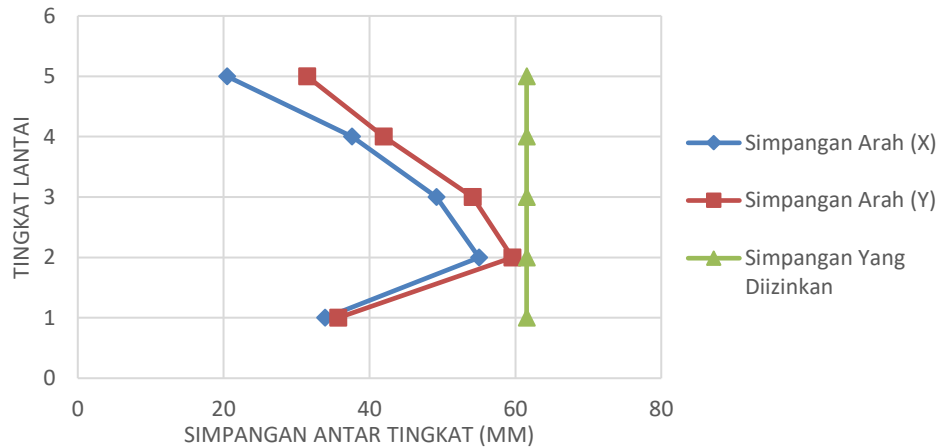
4.3.2. Simpangan Antar Lantai

Sesuai ketentuan SNI 1726:2019 Simpangan antar tingkat rencana (Δ) dirancang tidak diperbolehkan lebih besar dari nilai yang diizinkan (Δ_a), dilihat dari table 20 SNI 1726:2019 kategori risiko bangunan Gedung ini termasuk dalam kategori II sesuai jenis struktur (semua struktur lainnya) nilai simpangan tiap tingkat izin (Δ_a) = 0,020 hsx. Dengan ketentuan sesuai pasal 7.3.4.2 SNI 1726:2019 faktor redundansi jenis desain seismic E dengan nilai 1,3. hasil simpangan yang terjadi dapat ditentukan seperti berikut :

- Simpangan Antar Tingkat Izin $\Delta_a = 0,02$
- Faktor Redundansi $\rho = 1,3$
- Lantai Drift Inelastik Izin $\Delta_{max} = \Delta / \rho = 0,0154$
- Faktor Pembesaran Defleksi $C_d = 5,5$
- Faktor Keutamaan Gempa $I_e = 1,00$
- Lantai Drift Inelastik $\Delta = \delta * C_d / I_e$

Tabel 4.7. Pengecekan simpangan antar lantai variasi 1

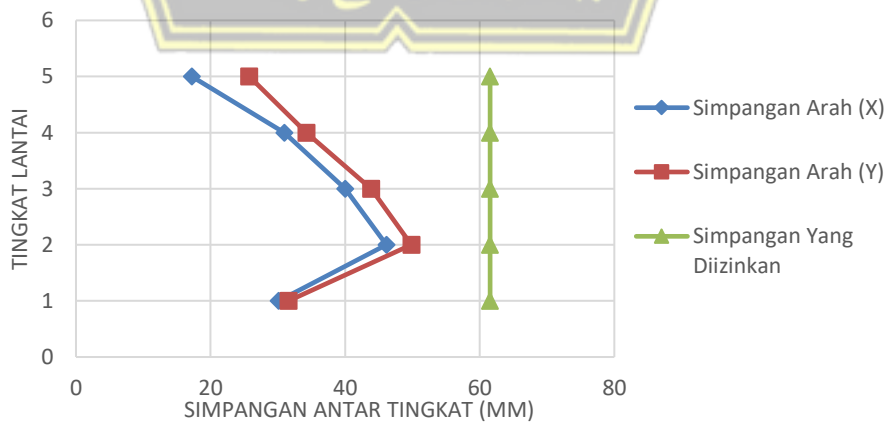
Lantai	Perpindahan		Simpangan elastis		h	Simpangan antar tingkat		Simpangan yang diizinkan	keamanan
	$\delta_e X$	$\delta_e Y$	$\delta_e X$	$\delta_e Y$		ΔX	ΔY		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	
5	35,66	40,51	3,72	5,71	4	20,45	31,43	61,54	aman
4	31,94	34,79	6,83	7,62	4	37,58	41,93	61,54	aman
3	25,11	27,17	8,94	9,85	4	49,17	54,16	61,54	aman
2	16,17	17,32	10,01	10,83	4	55,03	59,59	61,54	aman
1	6,17	6,49	6,17	6,49	4	33,91	35,68	61,54	aman



Gambar 4.7. Grafik Simpangan Antar Lantai variasi 1

Tabel 4.8. Pengecekan simpangan antar lantai varisasi 2

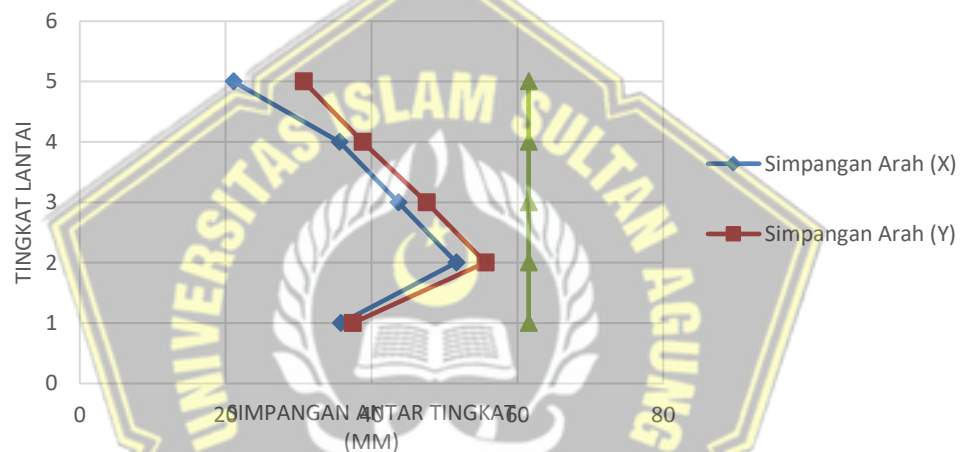
Lantai	Perpindahan		Simpangan elastis		h	Simpangan antar tingkat		Simpangan yang diizinkan	keamanan
	δeX	δeY	δeX	δeY		ΔX	ΔY		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	
5	29,90	33,69	3,13	4,68	4	17,22	25,75	61,54	aman
4	26,77	29,01	5,63	6,23	4	30,99	34,25	61,54	aman
3	21,14	22,78	7,27	7,97	4	40,01	43,85	61,54	aman
2	13,86	14,81	8,39	9,06	4	46,13	49,84	61,54	aman
1	5,48	5,75	5,48	5,75	4	30,11	31,60	61,54	aman



Gambar 4.8. Grafik Simpangan Antar Lantai variasi 2

Tabel 4.9. Pengecekan simpangan antar lantai variasi 3

Lantai	Perpindahan		Simpangan elastis		h	Simpangan antar tingkat		Simpangan yang diizinkan	keamanan
	δeX	δeY	δeX	δeY		ΔX	ΔY		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	
5	34,14	38,19	3,83	5,58	4	21,07	30,71	61,54	aman
4	30,31	32,61	6,47	7,05	4	35,60	38,75	61,54	aman
3	23,84	25,56	7,94	8,65	4	43,67	47,56	61,54	aman
2	15,90	16,92	9,39	10,11	4	51,63	55,61	61,54	aman
1	6,51	6,80	6,51	6,80	4	35,81	37,42	61,54	aman



Gambar 4.9. Grafik Simpangan Antar Lantai variasi 3

Simpangan antar latingkat yang ditunjukkan pada grafik dan gambar pada variasi 1 sampai 3 masih dalam katagorikan aman karena tidak melebihi batas simpangan yang diizinkan (61,54) mm.

4.3.3. Moment Lentur Tambahan

Pengaruh P-delta dilihat pada ketentuan SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 pada hal ini perlu diperhatikan bahwa gaya dan momen komponen struktur yang terjadi tidak diperbolehkan lebih besar dari 0,10.

$$\theta = \frac{P_x \Delta e}{V_x h_{xx} C_d}$$

Keterangan:

Px = gaya vertical yang didesain, batas faktor nilai 1,0;

Δ = desain simpangan, yang terjadi bersamaan dengan Vx (mm)

Ie = factor keutamaan gaya seismik

Vx = simpangan tingkat yang mengalami gaya seismik x – 1 (kN)

hsx = ketinggian tingkat yang berada di bawah tingkat , (mm);

Cd = faktor skala.

Dengan ketentuan nilai (θ) tidak lebih besar dari (θ_{max}) dengan dihitung menggunakan persamaan berikut :

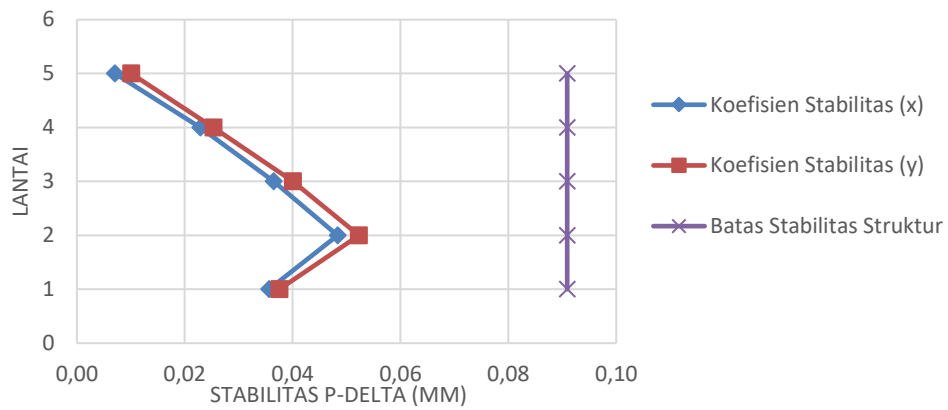
$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$$

Apabila nilai (θ) melebihi nilai θ_{max} maka struktur dapat dikatakan tidak setabil dan harus di desain ulang

$$\begin{aligned} \text{Rasio kebutuhan geser } \beta &= 1 \\ \text{Batas koefisien } \theta_{max} &= 0,5 / (\beta * C_d) \leq \\ \text{stabilitas} &= 0,25 \\ &= 0,0909 \end{aligned}$$

Tabel 4.10. pengecekan stabilitas P-delta variasi 1

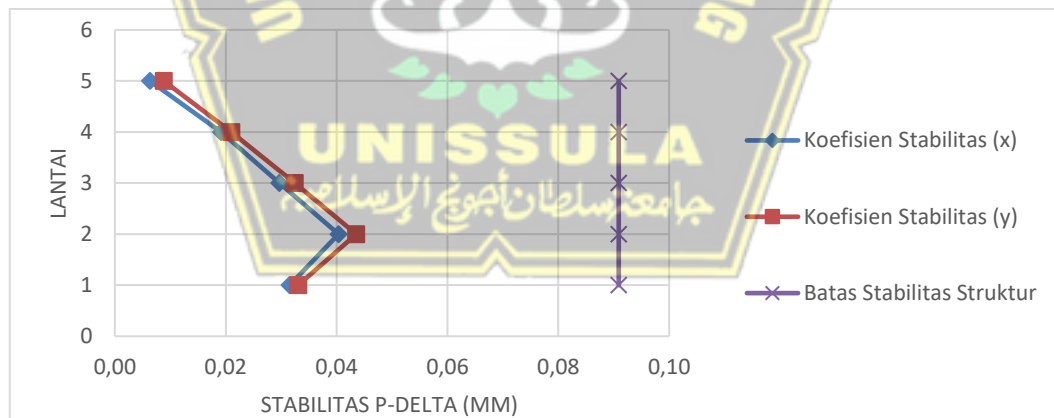
Tingkat	ΔX	ΔY	P	Vx	Vy	h	Stabilitas		θ_{max}	Cek
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)	(m)	θ_x	θ_y		
5	20,45	31,43	2254,13	296,73	319,66	4	0,007	0,010	0,0909	OK
4	37,58	41,93	17243,29	1286,82	1296,92	4	0,023	0,025	0,0909	OK
3	49,17	54,16	32602,38	1998,34	2005,04	4	0,036	0,040	0,0909	OK
2	55,03	59,59	48743,44	2522,16	2524,45	4	0,048	0,052	0,0909	OK
1	33,91	35,68	64031,91	2767,13	2767,22	4	0,036	0,038	0,0909	OK



Gambar 4.10. Grafik Stabilitas P-delta variasi 1

Tabel 4.11. pengecekan stabilitas P-delta variasi 2

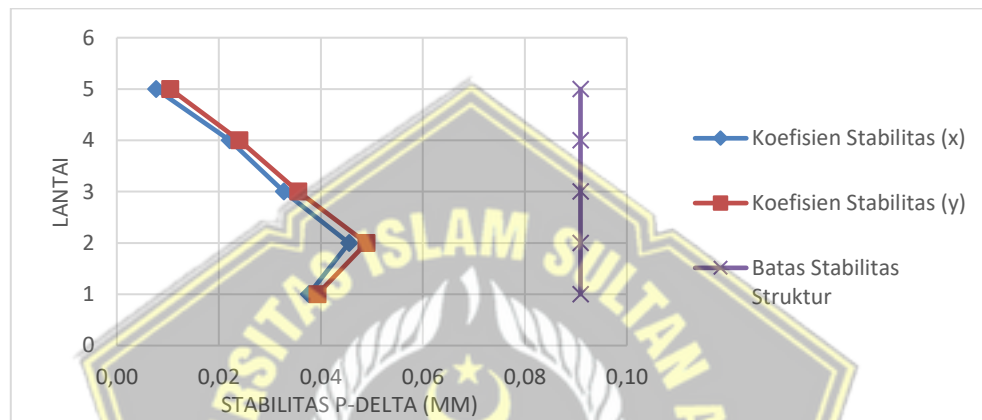
Tingkat	ΔX	ΔY	P (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)	h (m)	Stabilitas		θ max	Cek
	(mm)	(mm)					θ_x	θ_y		
5	17,22	25,75	2389,61	295,22	316,88	4	0,006	0,009	0,0909	OK
4	30,99	34,25	17666,38	1298,73	1307,69	4	0,019	0,021	0,0909	OK
3	40,01	43,85	33308,85	2040,04	2047,35	4	0,030	0,032	0,0909	OK
2	46,13	49,84	49733,09	2583,81	2586,94	4	0,040	0,044	0,0909	OK
1	30,11	31,60	65304,74	2834,34	2834,40	4	0,032	0,033	0,0909	OK



Gambar 4.11. Grafik Stabilitas P-delta variasi 2

Tabel 4.12. pengecekan stabilitas P-delta variasi 3

Tingkat	ΔX	ΔY	P	V _x	V _y	h	Stabilitas		θ max	Cek
	(mm)	(mm)					θ_x	θ_y		
5	21,07	30,71	2400,10	299,92	319,83	4	0,008	0,010	0,0909	OK
4	35,60	38,75	17623,55	1289,52	1293,97	4	0,022	0,024	0,0909	OK
3	43,67	47,56	33158,02	2009,59	2016,91	4	0,033	0,036	0,0909	OK
2	51,63	55,61	49452,60	2549,59	2553,66	4	0,046	0,049	0,0909	OK
1	35,81	37,42	64893,64	2808,66	2808,68	4	0,038	0,039	0,0909	OK



Gambar 4.12. Grafik Stabilitas P-delta variasi 3

Stabilitas P-delta yang ditunjukkan pada grafik dan gambar pada variasi 1 sampai 3 tergolong setabil karena tidak melebihi batas nilai θ_{max} (0,0909) mm.

4.3.4. Ketidak Beraturan Struktur

Ketidakberaturan pada struktur dalam SNI 1726:2019 pasal 7.3.2 bahwa sebuah setruktur harus diklasifikasikan keberaturannya dengan konfigurasi vertikal dan horizontal yang ditunjukkan pada SNI 1726:2019 Tabel 13 dan 14. Dilihat secara visual dari struktur bangunan Gedung ini ada beberapa kriteria yang perlu dilakukan pengecekan antara lain :

4.3.4.1. Ketidak beraturan Horizontal 1a dan 1b

Yang perlu diperhatikan dari tipe ketidakberaturan 1a dan 1b adalah apabila simpangan yang terjadi antara tingkat maksimum (Δ_{max}) tidak melebihi 1,2

simpangan antara tingkat rata-rata (Δ_{avg}) maka termasuk mempunyai ketidakberaturan 1a dan apabila melebihi 1,4 simpangan antara tingkat rata-rata (Δ_{avg}) maka termasuk mempunyai ketidakberaturan tipe 1b, pengecekan ketidakberaturan 1a dan 1b dapat dilihat pada table 4. 13 sampai 4. 15 berikut.

Tabel 4.13. ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b variasi 1

Lantai	Sumbu X		Sumbu Y	
	$\Delta_{max}/ \Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/ \Delta_{avg}$	Cek
5	1,014	Tidak ada	1,146	Tidak ada
4	1,013	Tidak ada	1,115	Tidak ada
3	1,014	Tidak ada	1,106	Tidak ada
2	1,011	Tidak ada	1,106	Tidak ada
1	1,009	Tidak ada	1,106	Tidak ada

Tabel 4.14. ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b variasi 2

Lantai	Sumbu X		Sumbu Y	
	$\Delta_{max}/ \Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/ \Delta_{avg}$	Cek
5	1,014	Tidak ada	1,134	Tidak ada
4	1,013	Tidak ada	1,101	Tidak ada
3	1,014	Tidak ada	1,092	Tidak ada
2	1,01	Tidak ada	1,091	Tidak ada
1	1,009	Tidak ada	1,095	Tidak ada

Tabel 4.15. ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b variasi 3

Lantai	Sumbu X		Sumbu Y	
	$\Delta_{max}/ \Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/ \Delta_{avg}$	Cek
5	1,014	Tidak ada	1,162	Tidak ada
4	1,013	Tidak ada	1,11	Tidak ada
3	1,016	Tidak ada	1,096	Tidak ada
2	1,011	Tidak ada	1,094	Tidak ada
1	1,009	Tidak ada	1,097	Tidak ada

Dapat disimpulkan dilihat dari table 4. 13 sampai 4. 15 pada gaya torsi struktur bangunan tersebut tidak melebihi ketidakberaturan torsi 1a maupun 1b pada Struktur bangunan.

4.3.4.2. Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b

Dapat dikatakan memiliki ketidak beraturan vertical tipe 1a Ketika kekakuan lateral suatu tingkat lebih kecil dari 70 % yang ada diatas dan lebih kecil dari 80 % kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat yang berada diatas. memiliki ketidak beraturan vertical tipe 1a apabila kekakuan lateral suatu tingkat lebih kecil dari 60 % yang ada diatas atau lebih kecil dari 70 % kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat yang berada diatasnya, pengecekan ketidak beraturan vertikal 1a dan 1b dapat dilihat pada table 4. 16 sampai 4. 18.

Tabel 4.16. ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b variasi 1

Tingkat	Sumbu X			Sumbu Y		
	Kekakuan		Cek	Kekakuan		Cek
	kN/m	%		kN/m	%	
5	67803,86	-	Tidak ada	49344,21	-	Tidak ada
4	178665,70	223%	Tidak ada	150440,22	255%	Tidak ada
3	217671,65	105%	Tidak ada	186864,69	108%	Tidak ada
2	248605,85	108%	Tidak ada	216172,89	110%	Tidak ada
1	444306,12	168%	Tidak ada	399403,33	173%	Tidak ada

Tabel 4.17. ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b variasi 2

Tingkat	Sumbu X			Sumbu Y		
	Kekakuan		Cek	Kekakuan		Cek
	kN/m	%		kN/m	%	
5	80315,22	-	Tidak ada	58585,26	-	Tidak ada
4	219173,64	217%	Tidak ada	187110,18	253%	Tidak ada
3	273138,63	103%	Tidak ada	237259,16	106%	Tidak ada
2	303962,76	106%	Tidak ada	266553,74	107%	Tidak ada
1	512551,01	159%	Tidak ada	464259,10	163%	Tidak ada

Tabel 4.18. ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b variasi 3

Tingkat	Sumbu X			Sumbu Y		
	Kekakuan		Cek	Kekakuan		Cek
	kN/m	%		kN/m	%	
5	64241,58	-	Tidak ada	47337,89	-	Tidak ada
4	187562,74	217%	Tidak ada	161685,62	253%	Tidak ada
3	245552,43	103%	Tidak ada	214558,19	106%	Tidak ada
2	267740,93	106%	Tidak ada	235359,08	107%	Tidak ada
1	427076,45	159%	Tidak ada	387870,43	163%	Tidak ada

Dapat disimpulkan dilihat dari table 4. 16 sampai 4. 18 pada struktur bangunan tersebut tidak melebihi batas ketentuan ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b .

4.3.4.3. Ketidakberaturan Berat

Ketidakberatan berat dilihat dari berat efektif tingkat lebih besar dari 150 % tingkat diatas dan dibawahnya. Untuk berat atap lebih kecil maka tidak perlu ditinjau. Pengecekan ketidak beraturan berat dapat dilihat pada table 4. 19 sampai 4. 21 berikut :

Tabel 4.19. Ketidakberaturan Vertikal Berat (Massa) Variasi 1

Lantai	Massa	Cek
	kg	
5	231,97	OK
4	1240,41	OK
3	1268,68	OK
2	1320,89	OK
1	1281,38	OK

Tabel 4.20. Ketidakberaturan Vertikal Berat (Massa) Variasi 2

Lantai	Massa	Cek
	kg	
5	245,7837	OK
4	1269,7336	OK
3	1297,5802	OK
2	1349,7646	OK
1	1310,2597	OK

Tabel 4.21. Ketidakberaturan Vertikal Berat (Massa) Variasi 3

Lantai	Massa	Cek
	kg	
5	243,1767	OK
4	1261,5089	OK
3	1285,463	OK
2	1336,4941	OK
1	1296,8931	OK

Dapat disimpulkan dilihat dari table 4. 19 sampai 4. 21 pada struktur bangunan ini tidak melebihi ketidakberaturan berat massa yang ditentukan.



4.3.4.4. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Didefinisikan apabila dimensi suatu tingkat lebih besar dari 130 % Massa efektif di atas maupun dibawahnya. Pengecualian untuk atap yang kemungkinan besar memiliki massa yang lebih ringan.

Tabel 4.22. Ketidakberaturan Geometri Vertikal Variasi 1

Lantai	Dimensi	Cek	
	kg	Status	%
5	450	OK	-
4	550	OK	122%
3	650	OK	118%
2	650	OK	100%
1	650	OK	100%

Tabel 4.23. Ketidakberaturan Geometri Vertikal Variasi 2

Lantai	Dimensi	Cek	
	kg	Status	%
5	450	OK	-
4	550	OK	122%
3	650	OK	118%
2	650	OK	100%
1	650	OK	100%

Tabel 4.24. Ketidakberaturan Geometri Vertikal Variasi 3

Lantai	Dimensi	Cek	
	kg	Status	%
5	400	OK	-
4	500	OK	125%
3	600	OK	120%
2	600	OK	100%
1	600	OK	100%

Dapat disimpulkan dilihat dari table 4. 22 sampai 4. 24 pada struktur bangunan ini tidak melebihi ketidakberaturan geometri vertical yang telah ditentukan.

4.3.4.5. Ketidakberaturan kekakuan lateral tingkat 5a dan 5b

Ketidakberaturan 5a dapat diasumsikan apabila Kekakuan lateral tingkat lebih kecil dari 80 % kuat lateral tingkat yang berada di atasnya, sedangkan Ketidakberaturan 5a dapat diasumsikan Kekakuan lateral tingkat lebih kecil dari 65 % kuat lateral tingkat yang berada di atasnya. pengecekan ketidak beraturan vertikal tingkat akibat diskontinuitas kekakuan lateral tingkat lebih jelasnya ada pada table 4. 25 sampai 4. 42 berikut.

Tabel 4.25. ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b variasi 1

Tingkat	Sumbu X			Sumbu Y		
	Kekakuan		Cek	Kekakuan		Cek
	kN/m	%		kN/m	%	
5	296,7318	-	Tidak ada	319,6609	-	Tidak ada
4	1286,822	434%	Tidak ada	1296,9165	406%	Tidak ada
3	1998,335	155%	Tidak ada	2005,0393	155%	Tidak ada
2	2522,1558	126%	Tidak ada	2524,4459	126%	Tidak ada
1	2767,1252	110%	Tidak ada	2767,2159	110%	Tidak ada

Tabel 4.26. ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b variasi 2

Tingkat	Sumbu X			Sumbu Y		
	Kekakuan		Cek	Kekakuan		Cek
	kN/m	%		kN/m	%	
5	295,22	-	Tidak ada	316,88	-	Tidak ada
4	1298,73	440%	Tidak ada	1307,69	413%	Tidak ada
3	2040,04	157%	Tidak ada	2047,35	157%	Tidak ada
2	2583,81	127%	Tidak ada	2586,94	126%	Tidak ada
1	2834,34	110%	Tidak ada	2834,40	110%	Tidak ada

Tabel 4.27. ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b variasi 3

Tingkat	Sumbu X			Sumbu Y		
	Kekakuan		Cek	Kekakuan		Cek
	kN/m	%		kN/m	%	
5	299,92	-	Tidak ada	319,83	-	Tidak ada
4	1289,52	430%	Tidak ada	1293,97	405%	Tidak ada
3	2009,59	156%	Tidak ada	2016,91	156%	Tidak ada
2	2549,59	127%	Tidak ada	2553,66	127%	Tidak ada
1	2808,66	110%	Tidak ada	2808,68	110%	Tidak ada

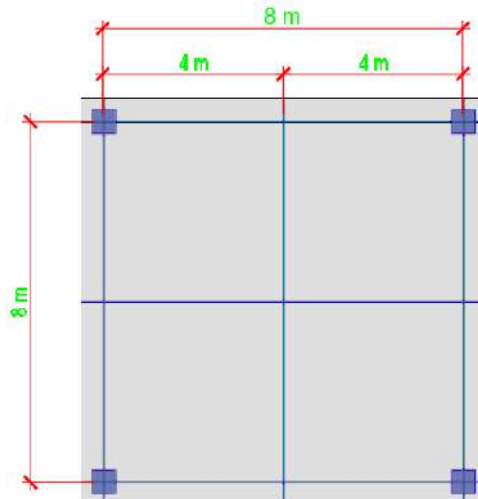
Dapat disimpulkan dilihat dari table 4. 25 sampai 4. 27 pada struktur bangunan ini tidak melebihi ketidakberaturan vertical tingkat, yang diakibatkan oleh diskontinuitas kekakuan lateral tingkat yang ditentukan.

4.4. Perencanaan Pelat

Perilaku pelat dibagi menjadi dua yaitu pelat 1 arah dan pelat 2 arah. Pelat perlu dilakukan pengecekan dengan perbandingan lebar dan panjang pelat (L_x/L_y). Contoh perhitungan Tahapan perancangan pelat yang dilakukan pada variasi 1, antara lain:

4.4.1. Spesifikasi pelat

Elemen struktur pelat lantai memiliki luasan 80 x 80 cm untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4. 13 berikut.



Gambar 4.13. Tipe Pelat

Panjang pelat arah sumbu X (L_x) = 8000 mm
 Panjang pelat arah sumbu Y (L_y) = 8000 mm
 Perbandingan panjang pelat L_y/L_x = $8000/8000 = 1$
 Jenis pelat = 2 arah, karena $L_y / L_x \leq 2$
 Tebal pelat (h) = 125 mm
 Diameter tulangan (d_b) = 10 mm
 Tebal selimut bersih (cc) = 20 mm (SNI 2847:2019 Tabel 20.6.1.3.1)
 Tebal efektif penampang (d) = $h - cc - d_s - d_b/2$
 = $125 - 20 - 10 - 10/2$
 = 90 mm
 Kuat tekan beton (f_c') = 29 MPa
 Kuat leleh tulangan (f_y) = 420 MPa
 Modulus elastisitas beton (E_c) = $4700 \times \sqrt{f_c'}$
 = $4700 \times \sqrt{29}$
 = 25310 MPa

Faktor distribusi tegangan (β_1)

(SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3)

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times (f_c' - 28) / 7$$

$$= 0,85 - 0,05 \times (30 - 28) / 7$$

$$= 0,8429$$

Faktor modifikasi (λ)

(SNI 2847:2019 Tabel 25.4.2.4)

$$\lambda = 1 \text{ (beton normal)}$$

4.4.2. Gaya Dalam

Gaya dalam untuk perancangan pelat diambil dari analisis menggunakan ETABS sebagai berikut:

- Mmax akibat M11 max = 7,29 kN/m
- Mmin akibat M11 min = -16,258 kN/m
- Mmax akibat M22 max = 7,591 kN/m
- Mmin akibat M22 min = -16,116 kN/m
- Vu = 22,52 kN

4.4.3. Penulangan Lentur Pelat (analisis untuk per m')

1. Momen Positif M11

(Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu 1 X)

- Spasi tulangan (s)
 $s = 150 \text{ mm}$
- Spasi maksimum (smax)
(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)
 $s_{max} = 2 \times h = 2 \times 125 = 250 \text{ mm}$
- Cek spasi :
 $s < s_{max} = 150 < 250 \text{ (OK)}$
- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)
 $n = b / s = 1000 / 150 = 6,6667$
- Diameter tulangan (db)
 $db = 10 \text{ mm}$

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - db = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq db \\ &= 140 \geq 10 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (As pasang)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times 1/4 \times \pi \times db^2 \\ &= 6,6667 \times 1/4 \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (As min)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} \text{As min} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} \text{As min1} &= (0,18\% \times 420 / f_y) \times b \times h \\ &= (0,18\% \times 420 / 420) \times 1000 \times 125 \\ &= 225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min2} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 125 \\ &= 175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As min} = 225 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

- Cek As min :

$$\text{Syarat} = \text{As pasang} \geq \text{As min} = 523,599 \geq 225 \text{ (OK)}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= \text{As} \times f_y / 0,85 \times f_c' \times b \\ &= 523,599 \times 420 / 0,85 \times 29 \times 1000 \end{aligned}$$

$$= 8,921 \text{ mm}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times (d - a/2) \times 10^6 \\ &= 523,599 \times 420 \times (90 - 8,921/2) \times 10^6 \\ &= 18,811 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 8,921 / 0,8429 \\ &= 10,585 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= (d - c) / c \times 0,003 \\ &= (90 - 10,585) / 10,585 \times 0,003 \\ &= 0,023 \end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ϵ_{ty})

$$\epsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$

- Batas tulangan regangan tarik

$$\text{Batas} = 0,005$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

Untuk $\epsilon_t < \epsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

Untuk $\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 + 0,25 \times (\epsilon_t - \epsilon_{ty}) / (0,005 - \epsilon_{ty}) \\ &= 0,65 + 0,25 \times (0,023 - 0,002) / (0,005 - 0,002) = 2,57 \end{aligned}$$

Untuk $\epsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi \text{ dipakai} = 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005$$

$$= 0,023 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 18,811 \\ &= 16,930 \text{ kN/m}\end{aligned}$$
- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{\max} \text{ akibat } M1 \text{ max}| \\ &= |-7,290| \\ &= 7,290 \text{ kN/m}\end{aligned}$$
- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 16,930 > 7,290 \text{ (Memenuhi)}\end{aligned}$$
- Kesimpulan :
Digunakan Tulangan D 10 – 150

2. Momen Negatif M11

(Tulangan Lapangan Atas Arah Sumbu 1 (X))

- Spasi tulangan (s)

$$s = 150 \text{ mm}$$
- Spasi maksimum (s_{max})
(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$\begin{aligned}s_{\max} &= 2 \times h \\ &= 2 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm}\end{aligned}$$
- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 150 < 250 \text{ (OK)}$$
- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = b / s = 1000 / 150 = 7$$
- Diameter tulangan (db)

$$db = 10 \text{ mm}$$
- Jarak bersih antar tulangan

$$s - db = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq db \\ &= 140 \geq 10 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (As pasang)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times 1/4 \times \pi \times db^2 \\ &= 7 \times 1/4 \times 3,14 \times 100 \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (As min)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} \text{As min} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm}^2 \quad (\text{tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa}) \end{aligned}$$

Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} \text{As min1} &= (0,18\% \times 420 / f_y) \times b \times h \\ &= (0,18\% \times 420 / 420) \times 1000 \times 125 \\ &= 225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min2} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 125 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min} &= 175 \text{ mm}^2 \\ &= 225 \text{ mm}^2 \quad (\text{dipilih yang terbesar}) \end{aligned}$$

- Cek As min :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{As pasang} \geq \text{As min} \\ &= 523,599 \geq 225 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= \text{As} \times f_y / 0,85 \times f_c' \times b \\ &= 523,599 \times 420 / 0,85 \times 29 \times 1000 \end{aligned}$$

$$= 8,921 \text{ mm}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times (d - a/2) \times 10^6 \\ &= 523,599 \times 420 \times (90 - 8,921/2) \times 10^6 \\ &= 18,811 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} c &= a / \beta_1 \\ &= 8,921 / 0,8429 \\ &= 10,585 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= (d - c) / c \times 0,003 \\ &= (90 - 10,585) / 10,585 \times 0,003 \\ &= 0,023 \end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ϵ_{ty})

$$\epsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$

- Batas tulangan regangan tarik

$$\text{Batas} = 0,005$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

Untuk $\epsilon_t < \epsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

Untuk $\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 + 0,25 \times (\epsilon_t - \epsilon_{ty}) / (0,005 - \epsilon_{ty}) \\ &= 0,65 + 0,25 \times (0,023 - 0,002) / (0,005 - 0,002) \\ &= 2,57 \end{aligned}$$

Untuk $\epsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi \text{ dipakai} = 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005)$$

$$= 0,023 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 18,811 \\ &= 16,930 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{\text{min akibat}} M_{11 \text{ min}}| \\ &= |-16,258| = 16,258 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 16,930 > 16,258 \text{ (Memenuhi)}\end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 – 150

3. Momen Positif M22

(Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu 2 (Y))

- Spasi tulangan (s)

$$s = 150 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (s_{max})

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$\begin{aligned}s_{\text{max}} &= 2 \times h \\ &= 2 \times 125 = 250 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\text{max}} = 150 < 250 \text{ (OK)}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = b / s = 1000 / 150 = 7$$

- Diameter tulangan (db)

$$db = 10 \text{ mm}$$

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}s - db &= 150 - 10 \\ &= 140 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq db \\ &= 140 \geq 10 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (As pasang)

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \times 1/4 \times \pi \times db^2 \\ &= 7 \times 1/4 \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 523,599 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (As min)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned}\text{As min} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)}\end{aligned}$$

Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned}\text{As min1} &= (0,18\% \times 420 / f_y) \times b \times h \\ &= (0,18\% \times 420 / 420) \times 1000 \times 125 \\ &= 225 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As min2} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 125 \\ &= 175 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{As min} = 225 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

- Cek As min :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \text{As pasang} \geq \text{As min} \\ &= 523,599 \geq 225 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}a &= \text{As} \times f_y / 0,85 \times f_c' \times b \\ &= 523,599 \times 420 / 0,85 \times 29 \times 1000 \\ &= 8,921 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (Mn)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times (d - a/2) \times 10^6 \\
 &= 523,599 \times 420 \times (90 - 8,921/2) \times 10^6 \\
 &= 16,612 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 c = a / \beta_1 &= 8,921/0,8429 \\
 &= 10,585 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= (d-c) / c \times 0,003 \\
 &= (90-10,585) / 10,585 \times 0,003 \\
 &= 0,023
 \end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ϵ_{ty})

$$\epsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$

- Batas tulangan regangan tarik

$$\text{Batas} = 0,005$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

Untuk $\epsilon_t < \epsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

Untuk $\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,65 + 0,25 \times (\epsilon_t - \epsilon_{ty}) / (0,005 - \epsilon_{ty}) \\
 &= 0,65 + 0,25 \times (0,023 - 0,002) / (0,005 - 0,002) \\
 &= 2,57
 \end{aligned}$$

Untuk $\epsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi \text{ dipakai} = 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005 = 0,023 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,90 \times 16,612 \\
 &= 14,951 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$M_u = |M_{\min} \text{ akibat } M22 \text{ min}|$$

$$= 7,591 \text{ kN-m}$$
- Cek kapasitas :
Syarat $= \phi M_n > M_u$

$$= 14,951 > 7,591 \text{ (Memenuhi)}$$
- Kesimpulan :
Digunakan Tulangan D 10 – 150

4. Momen Negatif M22

(Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu X)

- Spasi tulangan (s)

$$s = 130 \text{ mm}$$
- Spasi maksimum (s_{\max})
(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h$$

$$= 2 \times 125$$

$$= 250 \text{ mm}$$
- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 130 < 250 \text{ (OK)}$$
- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = b / s = 1000 / 130 = 8$$
- Diameter tulangan (db)

$$db = 10 \text{ mm}$$
- Jarak bersih antar tulangan

$$s - db = 130 - 10$$

$$= 120 \text{ mm}$$
- Cek jarak bersih
(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)
Syarat $= \text{Jarak bersih} \geq db = 120 \geq 10 \text{ (OK)}$

- Luas tulangan yang dipasang (As pasang)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times 1/4 \times \pi \times db^2 \\ &= 8 \times 1/4 \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 604,152 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (As min)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} \text{As min} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} \text{As min1} &= (0,18\% \times 420 / f_y) \times b \times h \\ &= (0,18\% \times 420 / 420) \times 1000 \times 125 \\ &= 225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min2} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 125 \\ &= 175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As min} = 225 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

- Cek As min :

$$\text{Syarat} = \text{As pasang} \geq \text{As min} = 604,152 \geq 225 \text{ (OK)}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= \text{As} \times f_y / 0,85 \times f_c' \times b \\ &= 604,152 \times 420 / 0,85 \times 29 \times 1000 \\ &= 10,294 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (Mn)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} \text{Mn} &= \text{As} \times f_y \times (d - a/2) \times 10^6 \\ &= 604,152 \times 420 \times (90 - 10,294 / 2) \times 10^6 \\ &= 18,994 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}c &= a / \beta_1 \\ &= 10,294 / 0,8429 \\ &= 12,213 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= (d-c) c \times 0,003 \\ &= (90 - 12,213) 12,213 \times 0,003 \\ &= 0,019\end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ϵ_{ty})

$$\epsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$

- Batas tulangan regangan tarik

$$\text{Batas} = 0,005$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

- Untuk $\epsilon_t < \epsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

Untuk $\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + 0,25 \times (\epsilon_t - \epsilon_{ty}) / (0,005 - \epsilon_{ty}) \\ &= 0,65 + 0,25 \times (0,019 - 0,002) / (0,005 - 0,002) \\ &= 2,57\end{aligned}$$

Untuk $\epsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\begin{aligned}\phi \text{ dipakai} &= 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005 \\ &= 0,019 \geq 0,005)\end{aligned}$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 18,994 = 17,094 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{\text{min akibat } M_{22 \text{ min}}}| \\ &= |-16,116|\end{aligned}$$

$$= 16,116 \text{ kN/m}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 17,094 > 16,116 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 – 130

5. Tulangan Minimum

(untuk Tumpuan Bawah dan Lapangan Atas, Arah X dan Y)

- Spasi tulangan (s)

$$s = 150 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (smax)

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$\begin{aligned} s_{\max} &= 2 \times h \\ &= 2 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 150 < 250 \text{ (OK)}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = b / s = 1000 / 150 = 7$$

- Diameter tulangan (db)

$$db = 10 \text{ mm}$$

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - db = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq db \\ &= 140 \geq 10 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (As pasang)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times 1/4 \times \pi \times db^2 \\ &= 7 \times 1/4 \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_s \text{ min}$)
(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)
Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$A_s \text{ min} = 0,2\% \times b \times h$$

$$= 0,2\% \times 1000 \times 125$$

$$= 250 \text{ mm} \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)}$$

 Untuk $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

$$A_s \text{ min1} = (0,18\% \times 420 / f_y) \times b \times h$$

$$= (0,18\% \times 420 / 420) \times 1000 \times 125$$

$$= 225 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min2} = 0,14\% \times b \times h$$

$$= 0,14\% \times 1000 \times 125$$

$$= 175 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = 225 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$
- Cek $A_s \text{ min}$:
Syarat $= A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ min}$

$$= 523,599 \geq 225 \text{ (OK)}$$
- Kesimpulan :
Digunakan Tulangan D 10 – 150
- Pengecekan Kapasitas Geser
Kapasitas geser beton (V_c)

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{29} \times 1000 \times 90/1000 = 82,393 \text{ kN}$$
- Faktor reduksi (ϕ)
(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,75$$
- Ambang batas geser pelat
(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.3.1)
Batas $= 0,5 \times \phi \times V_c$

$$= 0,5 \times 0,75 \times 82,393$$

$$= 30,897 \text{ kN}$$

- Cek keperluan tulangan geser pelat

$$\text{Syarat} = V_u > 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$= 21,195 < 30,897 \text{ (Tidak perlu tulangan geser)}$$

4.3.1. Pengecekan Lendutan Pelat

1. Kapasitas Retak Lentur

- Momen inersia pelat (I_g)

$$I_g = 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 1/12 \times 1000 \times 125^3$$

$$= 162760417 \text{ mm}^4$$

- Tegangan retak (f_r)

$$f_r = 0,62 \times \sqrt{f_c'}$$

$$= 0,62 \times \sqrt{29}$$

$$= 3,339 \text{ Mpa}$$

- Garis netral (y)

$$y = h/2$$

$$= 125/2$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

- Kapasitas retak lentur (M_{cr})

$$M_{cr} = f_r \times I_g / y \times 10^6$$

$$= 3,339 \times 162760417 / 62,5 \times 10^6$$

$$= 8,695 \text{ kNm}$$

- Momen inersia retak (I_{cr})

$$I_{cr} = 0,25 \times I_g$$

$$= 0,25 \times 162760417 = 40690104,2 \text{ mm}^4$$

2. Lendutan Arah Sumbu X

- Gaya dalam yang diperoleh dalam Etabs :

- M11 max akibat DL = 1,552 kN/m

- M11 min akibat DL = -3,885 kN/m
- M11 max akibat SIDL = 1,234 kN/m
- M11 min akibat SIDL = -2,829 kN/m
- M11 max akibat LL = 2,908 kN/m
- M11 min akibat LL = -5,898 kN/m

• Data hasil olah gaya dalam :

- Ma lapangan (+)

$$\begin{aligned}
 &= \sum M11 \text{ max} \\
 &= 1,552 + 1,234 + 2,908 \\
 &= 5,694 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Ma tumpuan (-)

$$\begin{aligned}
 &= \sum M11 \text{ min} \\
 &= (-3,885) + (-2,829) + (-5,898) \\
 &= -12,582 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- M_{cr} / Ma lapangan

$$\begin{aligned}
 &= 8,695 / 5,694 \\
 &= 1,527 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- M_{cr} / Ma tumpuan

$$\begin{aligned}
 &= 8,695 / 12,582 \\
 &= 0,691 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- I_e lapangan

$$\begin{aligned}
 &= (M_{cr} M_a)^3 \times I_g + [1 - (M_{cr} M_a)^3] \times I_{cr} \\
 &= (1,527)^3 \times 162760417 + [1 - (1,527)^3] \times 40690104,2 \\
 &= 475327579 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- I_e lapangan dipakai

$$= I_g = 162760417 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ lapangan} > I_g)$$

- I_e tumpuan

$$\begin{aligned}
 &= (M_{cr} M_a)^3 \times I_g + [1 - (M_{cr} M_a)^3] \times I_{cr} \\
 &= (0,691)^3 \times 162760417 + [1 - (0,691)^3] \times 4,57 \times 40690104,2
 \end{aligned}$$

$$= 80974737 \text{ mm}^4$$

- I_e tumpuan dipakai

$$I_e = 80974737 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ tumpuan} < I_g)$$

- I_e rata-rata

$$= 0,5 \times I_e \text{ lapangan} + 0,5 \times I_e \text{ tumpuan}$$

$$= 0,5 \times 162760417 + 0,5 \times 80974737$$

$$= 121867577 \text{ mm}^4$$

- Lendutan seketika akibat DL (δDL)

$$= 5/48 \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum}) E_c \times I_e \text{ rata-rata} \times 10^6$$

$$= 5/48 \times 8000 \times (1,552 + 0,2 \times 3,855) / 25310 \times 121867577 \times 10^6$$

$$= 5,021 \text{ mm}$$

- Lendutan seketika akibat SIDL ($\delta SIDL$)

$$= 5/48 \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum}) E_c \times I_e \text{ rata-rata} \times 10^6$$

$$= 5/48 \times 8000 \times (1,234 + 0,2 \times 2,829) / 25310 \times 121867577 \times 10^6$$

$$= 3,890 \text{ mm}$$

- Lendutan seketika akibat LL (δLL)

$$= 5/48 \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum}) E_c \times I_e \text{ rata-rata} \times 10^6$$

$$= 5/48 \times 8000 \times (2,908 + 0,2 \times 5,898) / 25310 \times 121867577 \times 10^6$$

$$= 8,835 \text{ mm}$$

- Syarat lendutan seketika akibat LL (δLL)

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = L / 360 = 8000 / 360 = 22,222 \text{ mm}$$

- Cek lendutan seketika akibat LL (δLL)

$$\text{Cek} = \delta LL < L / 360 = 8,835 < 22,222 \text{ (OK)}$$

- Rasio tulangan pelat (ρ)

$$\rho = A_s \text{ pakai } b \times d = 523,599 / (1000 \times 90) = 0,00582$$

- Faktor jangka panjang (λ)

$$\lambda = 2 / (1 + 50 \times \rho) = 2 / (1 + 50 \times 0,00582) = 1,549$$

- Lendutan jangka panjang (δLT)

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

- $\delta LT = \lambda \times (\delta DL + \delta SIDL) + \delta LL$

$$= 1,549 \times (5,021 + 3,890) + 8,835 = 22,640 \text{ mm}$$

- Syarat lendutan jangka panjang (δLT)

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = L / 240 = 8000 / 240 = 33,333 \text{ mm}$$

- Cek lendutan jangka panjang (δLT)

$$\text{Cek} = \delta LT < L / 240 = 22,640 < 33,333 \text{ (OK)}$$

3. Lendutan Arah Sumbu Y

- Gaya dalam yang diperoleh dalam ETABS :

- M22 max akibat DL = 1,59 kN-m

- M22 min akibat DL = -4,092 kN-m

- M22 max akibat SIDL = 1,07 kN-m

- M22 min akibat SIDL = -2,509 kN-m

- M22 max akibat LL = 2,908 kN-m

- M22 min akibat LL = -5,826 kN-m

- Data hasil olah gaya dalam :

- Ma lapangan (+)

$$\begin{aligned} &= \sum M22 \text{ max} \\ &= 1,59 + 1,07 + 2,908 \\ &= 5,568 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Ma tumpuan (-)

$$\begin{aligned} &= \sum M22 \text{ min} \\ &= (-4,092) + (-2,509) + (-5,826) \\ &= -12,43 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- M_{cr} / Ma lapangan

$$\begin{aligned} &= 8,695 / 5,568 \\ &= 1,562 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- M_{cr} / Ma tumpuan

$$\begin{aligned} &= 8,695 / 12,43 \\ &= 0,700 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- I_e lapangan

$$= (M_{cr}/Ma)^3 \times I_g + [1 - (M_{cr}/Ma)^3] \times I_{cr}$$

$$= (1,562)^3 \times 162760417 + [1 - (1,562)^3] \times 40690104,2$$

$$= 505904500,851 \text{ mm}^4$$

- Ie lapangan dipakai

$$= 162760417 \text{ mm}^4 \text{ (karena Ie lapangan} > \text{Ig)}$$

- Ie tumpuan

$$= (Mcr Ma)^3 \times Ig + [1 - (Mcr Ma)^3] \times Icr$$

$$= (0,700)^3 \times 162760417 + [1 - (0,700)^3] \times 40690104$$

$$= 82470742 \text{ mm}^4$$

- Ie tumpuan dipakai

$$Ie = 82470742 \text{ mm}^4 \text{ (karena Ie tumpuan} < \text{Ig)}$$

- Ie rata-rata

$$= 0,5 \times Ie \text{ lapangan} + 0,5 \times Ie \text{ tumpuan}$$

$$= 0,5 \times 162760417 + 0,5 \times 82470742$$

$$= 122615579 \text{ mm}^4$$

- Lendutan seketika akibat DL (δDL)

$$= 5/48 \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum}) E_c \times Ie \text{ rata-rata} \times 10^6$$

$$= 5/48 \times 8000^2 \times (1,59 + 0,2 \times 4,095) 25310 \times 122615579 \times 10^6$$

$$= 5,175 \text{ mm}$$

- Lendutan seketika akibat SIDL ($\delta SIDL$)

$$= 5/48 \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum}) E_c \times Ie \text{ rata-rata} \times 10^6$$

$$= 5/48 \times 8000^2 \times (1,07 + 0,2 \times 2,509) 25310 \times 122615579 \times 10^6$$

$$= 3,376 \text{ mm}$$

- Lendutan seketika akibat LL (δLL)

$$= 5/48 \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum}) E_c \times Ie \text{ rata-rata} \times 10^6$$

$$= 5/48 \times 8000^2 \times (2,908 + 0,2 \times 5,826) 25310 \times 129070355 \times 10^6$$

$$= 8,750 \text{ mm}$$

- Syarat lendutan seketika akibat LL (δLL)

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = L/360 = 8000/360 = 22,222 \text{ mm}$$

- Cek lendutan seketika akibat LL (δLL)

$$\text{Cek} = \delta LL < L/360$$

$$= 6,582 < 22,222 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan pelat (ρ)

$$\begin{aligned} \rho &= A_s \text{ pakai } b \times d \\ &= 523,599 / 1000 \times 90 \\ &= 0,00582 \end{aligned}$$

- Faktor jangka panjang (λ)

$$\begin{aligned} \lambda &= 2 / (1 + 50 \times \rho) \\ &= 2 / (1 + 50 \times 0,00582) \\ &= 1,549 \end{aligned}$$

- Lendutan jangka panjang (δLT)

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\begin{aligned} &= \lambda \times (\delta DL + \delta SIDL) + \delta LL \\ &= 1,549 \times (5,175 + 3,376) + 8,750 \\ &= 21,999 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Syarat lendutan jangka panjang (δLT)

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= L / 240 \\ &= 8000 / 240 \\ &= 33,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek lendutan jangka panjang (δLT)

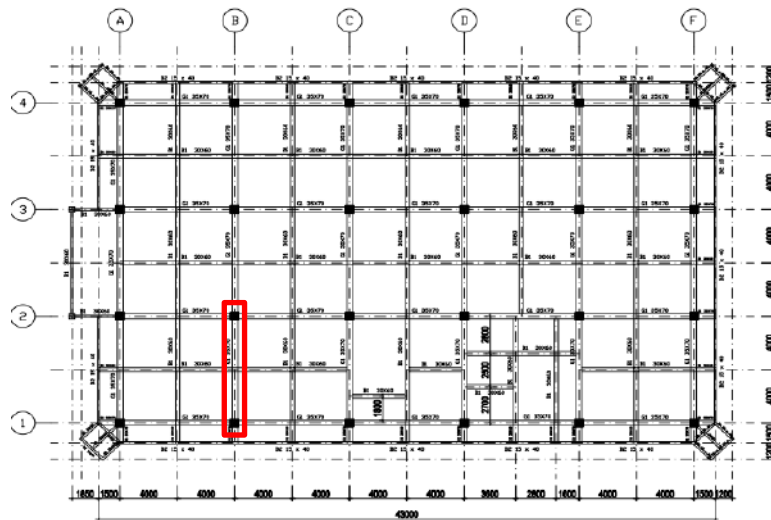
$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \delta LT < L / 240 \\ &= 21,999 < 33,33 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

4.5. Perancangan Balok

Perhitungan tulangan lentur balok, tulangan geser, dan perhitungan torsi balok Direncanakan dari analisis kapasitas perancangan balok berdasarkan SRPMK untuk menentukan jumlah beban yang diperlukan.

4.5.1. Properti Material dan Penampang

Tipe balok yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan adalah balok G1 pada tingkat kelima yang ditunjukkan Gambar 4.14.



Gambar 4.14. Denah Balok G1 Lantai 1 pada Variasi 2

- Panjang balok (L) = 8000 mm
- Lebar balok (b) = 400mm
- Tinggi balok (h) = 700 mm
- Panjang tumpuan = $2 \times h = 2 \times 700 = 1400$ mm
- Diameter tulangan longitudinal (d_b) = 22 mm
- Diameter tulangan pinggang (d_{bt}) = 10 mm
- Diameter tulangan sengkang (d_s) = 13 mm
- Tebal selimut bersih (c_c) = 40 mm
- Tebal efektif balok (d) = $h - c_c - d_s - d_b/2$
 $= 700 - 40 - 13 - 22/2$
 $= 636$ mm
- Kuat tekan beton (f'_c) = 29 MPa
- Kuat leleh tulangan longitudinal (f_y) = 420 MPa
- Kuat leleh tulangan transversal (f_y) = 420 Mpa
- Faktor distribusi tegangan (β_1) = $0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 28)}{7}$
 $= 0,85 - 0,05 \times \frac{(29 - 28)}{7}$
 $= 0,8429$
- Panjang Kolom (c_1) = 650 mm
- Lebar Kolom (c_2) = 650 mm
- Panjang bersih balok (L_n) = $L - c_1 = 8000 - 650 = 7350$ mm
- Faktor modifikasi (λ) = 1 (beton normal)

4.5.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok

Tahapan-tahapan perhitungan tulangan longitudinal balok yang dilakukan, antara lain:

1. Gaya dalam

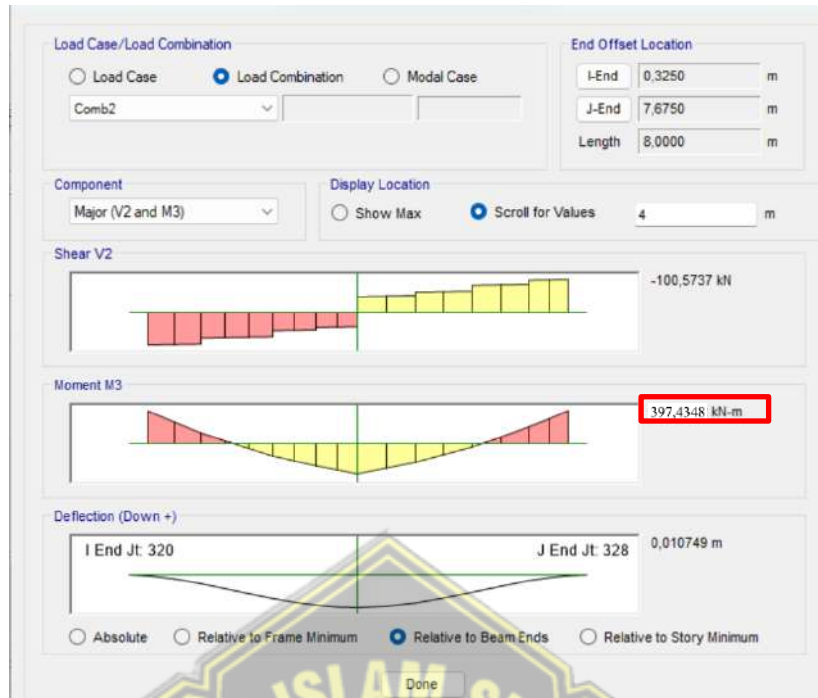
Gaya dalam berupa momen ultimit tumpuan dan lapangan pada balok G1 yang didapat dari ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan longitudinal balok sebagai berikut:

- M_u tumpuan (-) = -526,7974 kN-m
- M_u tumpuan (+) = 126,4177 kN-m
- M_u lapangan (-) = -107,365 kN-m
- M_u lapangan (+) = 397,4348 kN-m
- P_u = 93,3942 kN

Tampilan momen ultimit tumpuan dan lapangan pada balok G1 yang didapat dari ETABS dapat dilihat pada Gambar 4.15. dan Gambar 4.16.



Gambar 4.15. Momen Ultimit Tumpuan Balok G1 variasi 1



Gambar 4.16. Momen Ultimit Lapangan Balok G1 variasi 1

2. Syarat Gaya Dan Geometri

a) Syarat Gaya Aksial

(SNI 2847:2019 pada Penjelasan R18.6.1 dan Pasal 18.6.4.7)

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= P_u \leq 0,1 A_g \times f_c' \\
 &= 93394,2 \leq 0,1 \times 400 \times 700 \times 29 \\
 &= 93394,2 \leq 812000 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

b) Syarat Tinggi Efektif

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= L_n \geq 4 d \\
 &= 7350 \geq 4 \times 636 \\
 &= 7350 \geq 2544 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

c) Syarat Lebar 1

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= b \geq \text{minimal } (0,3 h \text{ atau } 250 \text{ mm}) \rightarrow \text{ambil nilai terkecil} \\
 &= 400 \geq \text{minimal } (0,3 \times 700 \text{ atau } 250 \text{ mm}) \\
 &= 400 \geq \text{minimal } (210 \text{ atau } 250 \text{ mm}) \\
 &= 400 \geq 210 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

d) Syarat Lebar 2

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= b \leq c_2 + 2 \times \text{minimal} (c_2 \text{ atau } 0,75 c_1) \rightarrow \text{ambil terkecil} \\ &= 400 \leq 650 + 2 \times \text{minimal} (650 \text{ atau } 0,75 \times 650) \\ &= 400 \leq 650 + 2 \times \text{minimal} (650 \text{ atau } 487,5) \\ &= 400 \leq 650 + 2 \times 487,5 \\ &= 400 \leq 1625 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

3. Tulangan Tumpuan Atas

- Jumlah tulangan tumpuan atas (n)

$$n = 7$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 7 \times 22}{7 - 1} \\ &= 23,333 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \text{Jarak Bersih} \geq \text{maksimal} (d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}) \\ &= 23,333 \geq \text{maksimal} (22 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar} \\ &= 23,333 \geq 25 \rightarrow \text{TIDAK}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned}A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 7 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 2660,929 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (A_s min)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2)

$$A_s \text{ min 1} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{29}}{420} \times 400 \times 636$$

$$= 716,900 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 2} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{1,4}{420} \times 350 \times 639$$

$$= 815,468 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \text{maksimum} (A_{s \text{ min } 1} \text{ atau } A_{s \text{ min } 2})$$

$$= 815,468 \text{ mm}^2$$

- Cek $A_{s \text{ min}}$:

$$\text{Syarat} = A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}}$$

$$= 2660,929 \geq 815,468 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{2660,929}{400 \times 636} = 1,05\%$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\rho_{\text{max } 1} = 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y}$$

$$= 0,75 \times 0,8429 \times 0,85 \times \frac{29}{420} \times \frac{600}{600+420}$$

$$= 2,18\%$$

$$\rho_{\text{max } 2} = 2,50\% \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\rho_{\text{max}} = \text{maksimum} (\rho_{\text{max } 1} \text{ atau } \rho_{\text{max } 2})$$

$$= 2,50\%$$

- Cek $A_{s \text{ max}}$:

$$\text{Syarat} = \rho \leq \rho_{\text{max}}$$

$$= 1,05 \leq 2,50\% \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$a = A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= 2660,929 \times \frac{420}{0,85 \times 29 \times 400}$$

$$= 113,346 \text{ mm}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 2660,929 \times 420 \times \left(636 - \frac{113,346}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 647,450 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{113,346}{0,8429} = 134,478 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(636-134,478)}{134,478} \times 0,003 \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005 = 0,011 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 647,450 \\ &= 582,705 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{u \text{ tumpuan}} (-)| \\ &= |-526,797| \\ &= 526,797 \text{ m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 582,705 > 526,797 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 10^6 \\
 &= \frac{402,6731}{420 \times (636 - \frac{113,346}{2})} \times 10^6 \\
 &= 2165,063 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

4. Tulangan Tumpuan Bawah

- Jumlah tulangan tumpuan bawah (n)

$$n = 4$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 4 \times 22}{4 - 1} \\
 &= 68,667 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq \text{maksimal } (d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}) \\
 &= 68,667 \geq \text{maksimal } (22 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar} \\
 &= 68,667 \geq 25 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\
 &= 4 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\
 &= 1140,398 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (A_s min)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ min 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{29}}{420} \times 400 \times 636 \\
 &= 815,486 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 636 \\
 &= 848,000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 3} &= 0,5 \times A_s \text{ tumpuan (-)} \\
 &= 0,5 \times 2660,929 \\
 &= 1330,464 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \text{maksimum } (A_{s \text{ min } 1} ; A_{s \text{ min } 2} ; \text{ atau } A_{s \text{ min } 3}) \\
 &= 1330,464 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \text{ min}}$:

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= A_s \text{ pasang} \geq A_{s \text{ min}} \\
 &= 1520,531 \geq 1330,464 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times d} = \frac{1520,531}{400 \times 636} = 0,60\%$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max } 1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,75 \times 0,8429 \times 0,85 \times \frac{29}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 2,18\%
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max } 2} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= \text{maksimum } (\rho_{\text{max } 1} \text{ atau } \rho_{\text{max } 2}) \\
 &= 2,50\%
 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \text{ max}}$:

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\text{max}} \\
 &= 0,60\% \leq 2,50\% \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= 1520,531 \times \frac{420}{0,85 \times 29 \times 400} \\
 &= 64,769 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 1520,531 \times 420 \times \left(636 - \frac{64,769}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 385,483 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{64,769}{0,8429} = 76,845 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(636-76,845)}{76,845} \times 0,003 \\ &= 0,022 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,022 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 385,483 \\ &= 346,934 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{u \text{ tumpuan (+)}}| \\ &= |126,418| \\ &= 126,418 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 346,934 > 126,418 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)} \times 10^6$$

$$= \frac{126,418}{420 \times (636 - \frac{64,769}{2})} \times 10^6$$

$$= 498,653 \text{ mm}^2$$

5. Tulangan Lapangan Atas

- Jumlah tulangan lapangan atas (n)

$$n = 3$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

- Jarak bersih antar tulangan

$$\text{Jarak bersih} = \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 2 \times 22}{2 - 1}$$

$$= 114 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

$$\text{Syarat} = \text{Jarak Bersih} \geq \text{maksimal } (d_b \text{ dan } 25 \text{ mm})$$

$$= 114 \geq \text{maksimal } (22 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar}$$

$$= 114 \geq 25 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang ($A_s \text{ pasang}$)

$$A_s \text{ pasang} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2$$

$$= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2$$

$$= 1140,398 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan minimum ($A_s \text{ min}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$A_{s \text{ min } 1} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{29}}{420} \times 400 \times 636$$

$$= 815,468 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 2} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 636$$

$$= 848 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 3} = 0,25 \times A_{s \text{ tumpuan (-)}}$$

$$= 0,25 \times 2660,929$$

$$= 665,232 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \text{maksimum } (A_{s \text{ min } 1} ; A_{s \text{ min } 2} ; \text{ atau } A_{s \text{ min } 3})$$

$$= 848 \text{ mm}^2$$

- Cek $A_{s \text{ min}}$:

$$\text{Syarat} = A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}}$$

$$= 1140,398 \geq 848 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{1140,398}{400 \times 636} = 0,45\%$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\rho_{\text{max } 1} = 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y}$$

$$= 0,75 \times 0,8429 \times 0,85 \times \frac{29}{420} \times \frac{600}{600+420}$$

$$= 2,18\%$$

$$\rho_{\text{max } 2} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\rho_{\text{max}} = \text{maksimum } (\rho_{\text{max } 1} \text{ atau } \rho_{\text{max } 2})$$

$$= 2,50\%$$

- Cek $A_{s \text{ max}}$:

$$\text{Syarat} = \rho \leq \rho_{\text{max}}$$

$$= 0,45 \leq 2,5\% \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$a = A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= 1140,398 \times \frac{420}{0,85 \times 29 \times 400}$$

$$= 48,577 \text{ mm}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6}$$

$$= 1140,398 \times 420 \times \left(636 - \frac{48,577}{2}\right) \times 10^{-6}$$

$$= 292,990 \text{ kN-m}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{48,577}{0,8429} = 57,633 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\varepsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{(636-57,633)}{57,633} \times 0,003$$

$$= 0,030$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,030 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,90 \times 292,990$$

$$= 263,691 \text{ kN-m}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$M_u = |M_u \text{ lapangan } (-)|$$

$$= |-107,365|$$

$$= 107,365 \text{ kN-m}$$

- Cek kapasitas :

$$\text{Syarat} = \phi M_n > M_u$$

$$= 263,691 > 107,365 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

$$A_s \text{ perlu} = \frac{M_u}{f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)} \times 10^6$$

$$= \frac{87,712}{420 \times \left(636 - \frac{48,577}{2}\right)} \times 10^6$$

$$= 417,895 \text{ mm}^2$$

6. Tulangan Lapangan Bawah

- Jumlah tulangan lapangan bawah (n)

$$n = 5$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 4 \times 22}{5 - 1} \\ &= 46 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq \text{maksimal } (d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}) \\ &= 46 \geq \text{maksimal } (22 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar} \\ &= 46 \geq 25 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 1900,664 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (A_s min)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{29}}{420} \times 400 \times 636 \\ &= 815,468 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 636 \\ &= 848 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 3} &= 0,25 \times A_s \text{ tumpuan } (-) \\ &= 0,25 \times 2660,929 \\ &= 665,232 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ min}} = \text{maksimum} (A_{s \text{ min } 1} ; A_{s \text{ min } 2} ; \text{atau } A_{s \text{ min } 3})$$

$$= 848 \text{ mm}^2$$

- Cek $A_{s \text{ min}}$:

$$\text{Syarat} = A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}}$$

$$= 1900,664 \geq 848 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{1900,664}{400 \times 636} = 0,75\%$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\rho_{\text{max } 1} = 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y}$$

$$= 0,75 \times 0,8429 \times 0,85 \times \frac{29}{420} \times \frac{600}{600+420}$$

$$= 2,18\%$$

$$\rho_{\text{max } 2} = 2,5\% \text{ (SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.3.1)}$$

$$\rho_{\text{max}} = \text{maksimum} (\rho_{\text{max } 1} \text{ atau } \rho_{\text{max } 2})$$

$$= 0,25\%$$

- Cek $A_{s \text{ max}}$:

$$\text{Syarat} = \rho \leq \rho_{\text{max}}$$

$$= 0,75\% \leq 2,5\% \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$a = A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= 1900,664 \times \frac{420}{0,85 \times 29 \times 400} = 80,961 \text{ mm}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2}) \times 10^{-6}$$

$$= 1900,664 \times 420 \times (636 - \frac{80,961}{2}) \times 10^{-6}$$

$$= 475,390 \text{ kN-m}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{80,961}{0,8429} = 96,056 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(636-96,056)}{96,056} \times 0,003 \\ &= 0,017\end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,017 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 475,390 \\ &= 427,851 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{u \text{ lapangan}} (+)| \\ &= |397,435| \\ &= 397,435 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 427,851 > 397,435 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

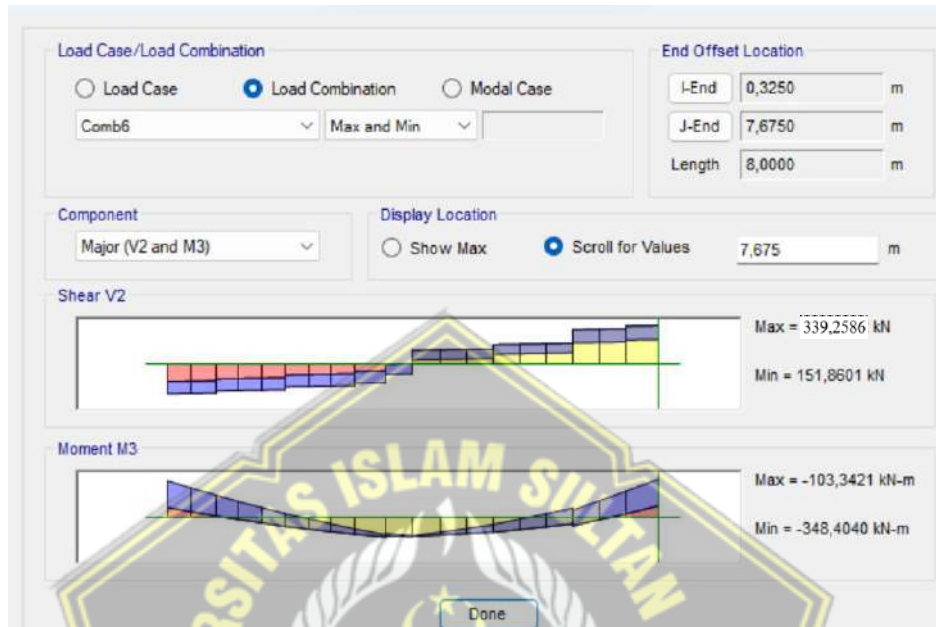
$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 10^6 \\ &= \frac{397,435}{420 \times (636 - \frac{80,961}{2})} \times 10^6 \\ &= 1588,988 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

4.5.3. Perhitungan Tulangan Transversal Balok

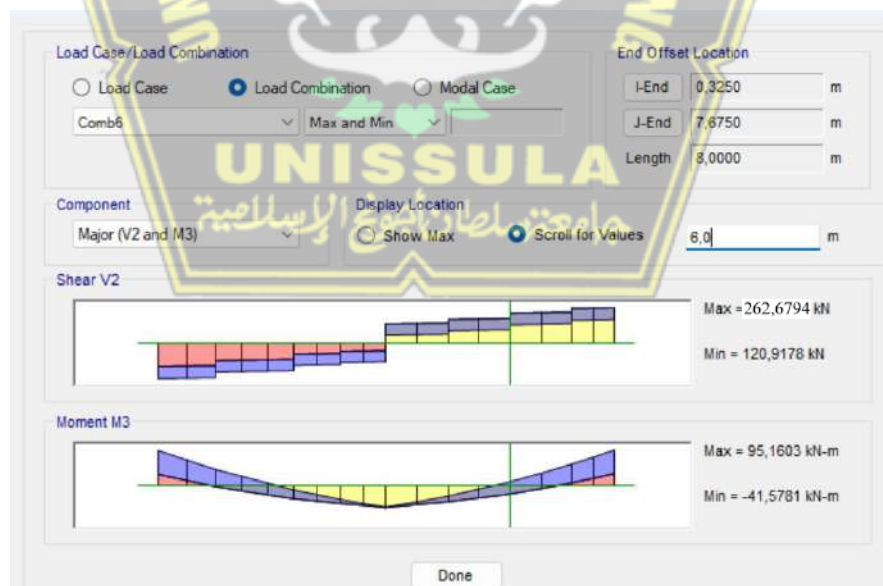
Tulangan transversal pada balok merupakan tulangan yang berguna untuk menahan gaya geser ultimit yang diterima balok. Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal balok yang dilakukan, antara lain:

1. Gaya Dalam

Gaya dalam berupa gaya geser ultimit tumpuan dan lapangan pada balok G1. Tampilan gaya geser ultimit tumpuan dan lapangan pada balok G1 yang didapat dari ETABS dapat dilihat pada Gambar 4.17. dan Gambar 4.18.



Gambar 4.17. Gaya Geser Ultimit Tumpuan Balok G1 Variasi 1



Gambar 4.18. Gaya Geser Ultimit Lapangan Balok G1 Variasi 1

Gaya dalam berupa gaya geser ultimit tumpuan dan lapangan pada balok G1 yang didapat dari ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan transversal balok sebagai berikut:

- V_u tumpuan = 339,2586 kN
- V_u lapangan = 262,6794 kN

2. Tulangan Transversal Tumpuan

a) Gaya Desain

(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R18.6.5)

Gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi dengan kombinasi $1,2 D + L$ yang didapat dari ETABS didapatkan hasil sebagai berikut:

$$V_g \text{ tumpuan} = 287,9416 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan tulangan longitudinal balok di atas, didapatkan luas tulangan pada daerah tumpuan sebagai berikut:

$$A_{s+} \text{ tumpuan} = 1520,531 \text{ mm}^2$$

$$A_{s-} \text{ tumpuan} = 2660,929 \text{ mm}^2$$

- *Probable Moment Capacities* (M_{pr})

$$a_{pr}^+ = 1,25 a \text{ (tumpuan positif desain lentur)}$$

$$= 1,25 \times 64,769 = 80,961 \text{ mm}^2$$

$$a_{pr}^- = 1,25 a \text{ (tumpuan negatif desain lentur)}$$

$$= 1,25 \times 113,346$$

$$= 141,682 \text{ mm}^2$$

$$M_{pr}^+ = A_{s^+} \times 1,25 f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^+}{2}\right)$$

$$= 1520,531 \times 1,25 \times 420 \times \left(636 - \frac{80,961}{2}\right)$$

$$= 475390397 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr}^- = A_{s^-} \times 1,25 f_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2}\right)$$

$$= 2660,929 \times 1,25 \times 420 \times \left(636 - \frac{141,682}{2}\right)$$

$$= 789519953 \text{ Nmm}$$

- Gaya Geser Akibat Goyangan (V_{sway})
(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.1)

Gaya geser akibat goyangan dihitung dengan rumus berikut:

$$V_{\text{sway}} \text{ atau } V_{\text{pr}} = \frac{M_{\text{pr}}^+ + M_{\text{pr}}^-}{L_n}$$

$$= \frac{475390397 + 789519953}{7350}$$

$$= 172097 \text{ N}$$

- Gaya Geser Desain Akibat Goyangan (V_e)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.1)

Gaya geser desain akibat goyangan dihitung dengan rumus berikut:

$$V_e = V_g + V_{\text{pr}}$$

$$= 287,9416 \times 10^3 + 172097$$

$$= 460038 \text{ N}$$

b) Tahanan Geser Beton

- Gaya Geser Akibat Goyangan (V_{sway})

$$V_{\text{sway}} \text{ atau } V_{\text{pr}} = 172097 \text{ N}$$

- $\frac{1}{2}$ Gaya Geser Desain Akibat Goyangan ($\frac{1}{2} V_e$)

$$\frac{1}{2} V_e = \frac{1}{2} \times 460038 = 230019 \text{ N}$$

- Gaya Aksial Terfaktor (P_u)

$$P_u = 93394,2 \text{ N}$$

- Menghitung $A_g f_c' / 20$:

$$\frac{A_g f_c'}{20} = \frac{350 \times 700 \times 29}{20}$$

$$= 355250 \text{ N}$$

- Kuat Geser Nominal Beton (V_c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.2)

$$\text{Syarat} = V_c = 0, \text{ jika } V_{\text{pr}} \geq \frac{1}{2} V_e \text{ dan } P_u < \frac{A_g f_c'}{20}$$

$$V_{\text{pr}} \geq \frac{1}{2} V_e = 172097 \geq 230019 \rightarrow \text{TIDAK}$$

$$P_u < \frac{A_g f_c'}{20} = 93394,2 < 355250 \rightarrow \text{OK}$$

$$V_c = 232898 \text{ N}$$

c) Penulangan Geser

- Jumlah kaki (n)

$$n = 2$$

- Luas tulangan geser (A_v)

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\ &= 265,465 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Spasi tulangan (s)

$$s = 100 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (s_{\max})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.4.4)

$$s_{\max 1} = \frac{1}{4} \times d = \frac{1}{4} \times 636 = 159 \text{ mm}$$

$$s_{\max 2} = 6 \times d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$s_{\max 3} = 150 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s_{\max} &= \text{minimal} (s_{\max 1} ; s_{\max 2} ; \text{atau } s_{\max 3}) \\ &= 132 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 100 < 132 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{265,465 \times 420 \times 636}{100} \\ &= 709109 \text{ N} \end{aligned}$$

- Bata kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s) :

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.1.2)

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{29} \times 400 \times 636 \\ &= 904191 \text{ N} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat geser (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 12.5.3.2 dan 21.2.4)

$$\phi = 0,75$$

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 232898 + 709109 \\ &= 942007 \end{aligned}$$
- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \times V_n \\ &= 0,75 \times 942007 \\ &= 706.505,25 \text{ N} \end{aligned}$$
- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned} V_u &= V_e \\ &= 460038 \end{aligned}$$
- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1 \\ &= \frac{706.505,25}{460038} \geq 1 \\ &= 1,536 \geq 1 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

3. Tulangan Transversal Lapangan

a) Gaya Dalam

$$V_u \text{ lapangan} = 262,679, \text{ kN}$$

b) Penulangan Geser

- Jumlah kaki (n)

$$n = 2$$

- Luas tulangan geser (A_v)

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\ &= 265,465 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Spasi tulangan (s)

$$s = 150 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (s_{\max})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.4.6)

$$s_{\max} = \frac{1}{2} \times d = \frac{1}{2} \times 636 = 318 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 140 < 318 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{150} \\ &= \frac{265,465 \times 420 \times 636}{150} \\ &= 472739 \text{ N} \end{aligned}$$

- Batas kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s) :

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.1.2)

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{29} \times 400 \times 636 \\ &= 904191 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kuat geser nominal beton (V_c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.5.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{29} \times 400 \times 636 = 232898 \text{ N} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat geser (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 12.5.3.2 dan 21.2.4)

$$\phi = 0,75$$

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 232898 + 472739 \\ &= 705637 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \times V_n \\ &= 0,75 \times 705637 \\ &= 529227,75 \text{ N} \end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned} V_u &= V_{u \text{ lapangan}} \times 10^3 \\ &= 262,6794 \times 10^3 \end{aligned}$$

$$= 262679,4 \text{ N}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1 \\ &= \frac{529227,75}{262679,4} \geq 1 \\ &= 2,015 \geq 1 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

4.5.4. Perhitungan Tulangan Torsi Balok

Tulangan torsi pada balok merupakan tulangan yang berguna untuk menahan gaya torsi yang diterima balok. Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal balok yang dilakukan, antara lain:

1. Parameter Umum untuk Perhitungan Torsi

- Luas dibatasi keliling luar penampang beton (A_{cp})

$$A_{cp} = b \times h = 400 \times 700 = 280000 \text{ mm}^2$$
- Keliling luar penampang beton (p_{cp})

$$\begin{aligned} p_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (400 + 700) \\ &= 2200 \text{ mm} \end{aligned}$$
- x_0

$$\begin{aligned} x_0 &= b - 2c_c - d_s \\ &= 400 - 2 \times 40 - 13 \\ &= 307 \text{ mm} \end{aligned}$$
- y_0

$$\begin{aligned} y_0 &= h - 2c_c - d_s \\ &= 700 - 2 \times 40 - 13 \\ &= 607 \text{ mm} \end{aligned}$$
- Luas lingkup garis pusat tulangan torsi (A_{oh})
(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R22.7.6.1.1)

$$\begin{aligned} A_{oh} &= x_0 \times y_0 \\ &= 307 \times 607 \\ &= 186349 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- Luas bruto lingkup lintasan alir geser (A_o)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1.1)

$$A_o = 0,85 \times A_{oh}$$

$$= 0,85 \times 186349$$

$$= 158397 \text{ mm}^2$$

- Keliling garis pusat tulangan torsi (p_h)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$p_h = 2 \times (x_0 + y_0)$$

$$= 2 \times (307 + 607)$$

$$= 1828 \text{ mm}$$

- Kuat leleh tulangan (f_y)

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

- Kuat leleh tulangan torsi (f_{yt})

$$f_{yt} = f_y$$

$$= 420 \text{ MPa}$$

- Menghitung f_y / f_{yt} :

$$\frac{f_y}{f_{yt}} = \frac{420}{420} = 1$$

- Sudut antara sumbu *strut* dan kord (θ)
(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.6.1.2)

$$\theta = 45^\circ \text{ (non prategang)}$$

2. Gaya Dalam

Gaya dalam berupa gaya torsi pada balok G1 yang didapat dari ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan torsi balok sebagai berikut:

$$T_u = 111,914 \text{ kN-m}$$

$$= 61,5215 \times 10^6$$

$$= 111914000 \text{ N-mm}$$

3. Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

- Momen retak torsi (T_{cr})

$$T_{cr} = 0,33 \times \sqrt{f_c} \times \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}$$

$$= 0,33 \times \sqrt{29} \times \frac{280000^2}{2200}$$

$$= 63329538 \text{ N-mm}$$

- Faktor reduksi kuat torsi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.1)

$$\phi = 0,75$$

- Kapasitas torsi tereduksi (ϕT_{cr})

$$\begin{aligned}\phi T_{cr} &= \phi \times T_{cr} \\ &= 0,75 \times 63329538 \\ &= 47497154 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Cek perlu tulangan torsi :

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.4.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= T_u > \frac{1}{4} \phi T_{cr} \\ &= 111914000 > \frac{1}{4} \times 47497154 \\ &= 111914000 > 11874288 \rightarrow \text{Perlu}\end{aligned}$$

4. Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

- Momen torsi ultimit yang dipakai (T_u pakai)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.3.2 dan 22.7.5)

$$\begin{aligned}T_{u \text{ pakai}} &= \text{minimal } (\phi T_{cr} \text{ atau } T_u) \\ &= \text{minimal } (47497154 \text{ atau } 111914000) \\ &= 47497154 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned}V_u &= V_{e \text{ tumpuan}} \\ &= 460038 \text{ N mm}\end{aligned}$$

- Kuat geser nominal beton (V_c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.5.1)

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{29} \times 400 \times 636 \\ &= 232898 \text{ N}\end{aligned}$$

- Tegangan ultimit geser + torsi

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.7.1)

$$\begin{aligned}\text{Tegangan ultimit geser + torsi} &= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times p_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{460038}{400 \times 636}\right)^2 + \left(\frac{47497154 \times 1828}{1,7 \times 186349^2}\right)^2}\end{aligned}$$

$$= 2,331 \text{ MPa}$$

- Kapasitas tegangan beton

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.7.1)

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas tegangan beton} &= \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f_c'} \right) \\ &= \phi \times \left(\frac{232898}{400 \times 636} + 0,66 \times \sqrt{29} \right) \\ &= 3,352 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Cek dimensi penampang :

$$\begin{aligned} &= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \times p_h}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f_c'} \right) \\ 2,331 &\leq 3,352 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

5. Penulangan Transversal Torsi

- Jumlah kaki (n)

$$n_{\text{tumpuan}} = 2$$

$$n_{\text{lapangan}} = 2$$

- Spasi tulangan (s)

$$s_{\text{tumpuan}} = 100 \text{ mm}$$

$$s_{\text{lapangan}} = 150 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum (s_{max})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.7.6.3.3)

$$s_{\text{max 1}} = \frac{1}{8} \times p_h = \frac{1}{8} \times 1828 = 229 \text{ mm}$$

$$s_{\text{max 2}} = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s_{\text{max}} &= \text{minimal } (s_{\text{max 1}} \text{ atau } s_{\text{max 2}}) \\ &= 229 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek spasi :

$$s_{\text{tumpuan}} < s_{\text{max}} = 100 < 229 \rightarrow \text{OK}$$

$$s_{\text{lapangan}} < s_{\text{max}} = 150 < 229 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t})

$$\begin{aligned} A_{v+t \text{ tumpuan}} &= n_{\text{tumpuan}} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \end{aligned}$$

$$= 265,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} \text{ lapangan} &= n \text{ lapangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\ &= 265,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi pasang (s_{pasang})

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s \text{ tumpuan pasang} &= \frac{A_{v+t} \text{ tumpuan}}{s_{\text{tumpuan pasang}}} \\ &= \frac{265,5}{100} \\ &= 2,655 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s \text{ lapangan pasang} &= \frac{A_{v+t} \text{ lapangan}}{s_{\text{lapangan pasang}}} \\ &= \frac{265,5}{150} \\ &= 1,770 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Luas satu kaki sengkang penahan torsi (A_t) / spasi (s)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned} A_t / s &= \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_{yt}} \\ &= \frac{47497154}{2 \times 0,75 \times 158397 \times 420} \\ &= 0,476 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser (A_v) / spasi perlu (s_{perlu})

$$\begin{aligned} A_v / s \text{ tumpuan perlu} &= \left(\frac{V_u \text{ tumpuan}}{\phi} - V_c \text{ tumpuan} \right) / (f_y \times d) \\ &= \left(\frac{460038}{0,75} - 232898 \right) / (420 \times 636) \\ &= 1,424 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v / s \text{ lapangan perlu} &= \left(\frac{V_u \text{ lapangan}}{\phi} - V_c \text{ lapangan} \right) / (f_y \times d) \\ &= \left(\frac{262679}{0,75} - 232898 \right) / (420 \times 636) \\ &= 0,439 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi perlu (s_{perlu})
(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R9.5.4.3)

$$A_{v+t} / s \text{ tumpuan perlu} = 2 \times (A_t / s) + (A_v / s \text{ tumpuan perlu})$$

$$= 2 \times 0,476 + 0,845$$

$$= 2,376 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{v+t} / s \text{ lapangan perlu} = 2 \times (A_t / s) + (A_v / s \text{ lapangan perlu})$$

$$= 2 \times 0,476 + 0,439$$

$$= 1,391 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi minimum (s_{\min}) (SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.4.2)

$$\begin{aligned} A_{v+t}/s_{\min 1} &= 0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b}{f_y} \\ &= 0,062 \times \sqrt{29} \times \frac{400}{420} \\ &= 0,318 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t}/s_{\min 2} &= 0,35 \times \frac{b}{f_y} \\ &= 0,35 \times \frac{400}{420} \\ &= 0,333 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t}/s_{\min} &= \text{maksimum} (A_{v+t} / s_{\min 1} \text{ atau } A_{v+t} / s_{\min 2}) \\ &= 0,333 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Cek geser + torsi :

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s \text{ tumpuan pasang} &\geq \text{maksimum} (A_{v+t} / s_{\text{perlu}} \text{ atau } A_{v+t} / s_{\min}) \\ 2,413 &\geq \text{maksimum} (2,376 \text{ atau } 0,333) \end{aligned}$$

$$2,413 \geq 2,376 \rightarrow \text{OK}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s \text{ lapangan pasang} &\geq \text{maksimum} (A_{v+t} / s_{\text{perlu}} \text{ atau } A_{v+t} / s_{\min}) \\ 1,770 &\geq \text{maksimum} (1,391 \text{ atau } 0,333) \end{aligned}$$

$$1,770 \geq 1,391 \rightarrow \text{OK}$$

6. Penulangan Longitudinal Torsi

- Diameter tulangan pinggang (d_b)

$$d_b = 10 \text{ mm}$$

- Diameter tulangan pinggang minimum ($d_{b \min}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.7.5.2)

$$\begin{aligned}
 d_{b \text{ min}} &= 0,042 s \\
 &= 0,042 \times \text{maksimum } (s_{\text{tumpuan}} \text{ atau } s_{\text{lapangan}}) \\
 &= 0,042 \times 150 \\
 &= 6,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek d_b :

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= d_b \geq d_{b \text{ min}} \\
 &= 10 \geq 6,3 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

$$A_s \text{ perlu tumpuan atas} = 2165,063 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu tumpuan bawah} = 498,653 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan atas} = 417,895 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan bawah} = 1588,988 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan longitudinal torsi (A_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned}
 A_t &= (A_t / s) \times p_h \\
 &= 0,476 \times 1828 \\
 &= 870,076 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi minimum ($A_{t \text{ min}}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.4.3)

$$\begin{aligned}
 A_{t \text{ min}} &= 0,42 \times \sqrt{f_c} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) \times p_h \\
 &= 0,42 \times \sqrt{29} \times \frac{280000}{420} - 0,476 \times 1828 \\
 &= 637,770 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal (A_s)

$$\begin{aligned}
 A_s &= \text{maksimum } (A_t \text{ atau } A_{t \text{ min}}) \\
 &= \text{maksimum } (870,076 \text{ atau } 637,770) \\
 &= 870,076 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi perlu ($A_{t \text{ perlu}}$)

$$\begin{aligned}
 A_{t \text{ perlu tumpuan}} &= A_s \text{ perlu tumpuan atas} + A_s \text{ perlu tumpuan bawah} \\
 &= 2165,063 + 498,653
 \end{aligned}$$

$$= 2.663,716 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_1 \text{ perlu lapangan} &= A_s \text{ perlu lapangan atas} + A_s \text{ perlu lapangan bawah} \\ &= 417,895 + 1588,988 \\ &= 2.006,883 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tul. longitudinal (A_s) + luas tul. longitudinal torsi perlu (A_1 perlu)

$$\begin{aligned} A_s + A_1 \text{ perlu tumpuan} &= 870,076 + 2.663,716 \\ &= 3533,792 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s + A_1 \text{ perlu lapangan} &= 870,076 + 2.006,883 \\ &= 2876,959 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan negatif (n)

$$n \text{ tumpuan atas} = 7$$

$$n \text{ tumpuan tengah} = 2 \text{ (angka kelipatan 2)}$$

$$n \text{ tumpuan bawah} = 4$$

$$\begin{aligned} n \text{ tumpuan vertikal} &= 2 + n \text{ tumpuan tengah} / 2 \\ &= 2 + 2 / 2 \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$n \text{ lapangan atas} = 3$$

$$n \text{ lapangan tengah} = 2 \text{ (angka kelipatan 2)}$$

$$n \text{ lapangan bawah} = 5$$

$$\begin{aligned} n \text{ lapangan vertikal} &= 2 + n \text{ lapangan tengah} / 2 \\ &= 2 + 2 / 2 \\ &= 3 \end{aligned}$$

- Minimal n (n_{atas} atau n_{bawah})

$$\begin{aligned} \text{Minimal } n \text{ tumpuan} &= \text{minimal } (n \text{ tumpuan atas atau } n \text{ tumpuan bawah}) \\ &= \text{minimal } (7 \text{ atau } 4) \\ &= 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Minimal } n \text{ lapangan} &= \text{minimal } (n \text{ lapangan atas atau } n \text{ lapangan bawah}) \\ &= \text{minimal } (3 \text{ atau } 5) \\ &= 3 \end{aligned}$$

- Spasi tumpuan (s_{tumpuan})

$$s \text{ horizontal tumpuan} = \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}} \text{ atau } n_{\text{bawah}}) - 1}$$

$$= \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 22}{4 - 1}$$

$$= 91 \text{ mm}$$

$$S \text{ vertikal tumpuan} = \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{n_{\text{vertikal}} - 1}$$

$$= \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 22}{3 - 1}$$

$$= 286$$

$$S \text{ tumpuan} = \text{maksimum } (S \text{ horizontal atau } S \text{ vertikal})$$

$$= \text{maksimum } (91 \text{ atau } 286)$$

$$= 286$$

- Spasi lapangan (s_{lapangan})

$$S \text{ horizontal lapangan} = \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}} \text{ atau } n_{\text{bawah}}) - 1}$$

$$= \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 22}{2 - 1}$$

$$= 124 \text{ mm}$$

$$S \text{ vertikal lapangan} = \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{n_{\text{vertikal}} - 1}$$

$$= \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 22}{3 - 1}$$

$$= 289$$

$$S \text{ lapangan} = \text{maksimum } (S \text{ horizontal atau } S \text{ vertikal})$$

$$= \text{maksimum } (124 \text{ atau } 289)$$

$$= 289$$

- Cek spasi tulangan longitudinal :

$$S \text{ tumpuan} \leq 300 = 286 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

$$S \text{ lapangan} \leq 300 = 289 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan longitudinal (A_s)

$$A_s \text{ tumpuan} = (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= (7 + 4) \times \frac{3,14}{4} \times 22^2$$

$$= 4181,46 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ lapangan} = (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= (3 + 5) \times \frac{3,14}{4} \times 22^2$$

$$= 3041,062 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan longitudinal torsi pasang ($A_{l \text{ pasang}}$)

$$A_{l \text{ pasang tumpuan}} = (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2$$

$$= 2 \times \frac{3,14}{4} \times 10^2$$

$$= 157,079 \text{ mm}^2$$

$$A_{l \text{ pasang lapangan}} = (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2$$

$$= 2 \times \frac{3,14}{4} \times 10^2$$

$$= 157,079 \text{ mm}^2$$

- Luas tul. longitudinal (A_s) + luas tul. longitudinal torsi pasang ($A_{l \text{ pasang}}$)

$$A_s \text{ tumpuan} + A_{l \text{ pasang tumpuan}} = 4181,46 + 157,079$$

$$= 4338,539 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ lapangan} + A_{l \text{ pasang lapangan}} = 3041,062 + 157,079$$

$$= 3198,141 \text{ mm}^2$$

- Cek lentur + torsi :

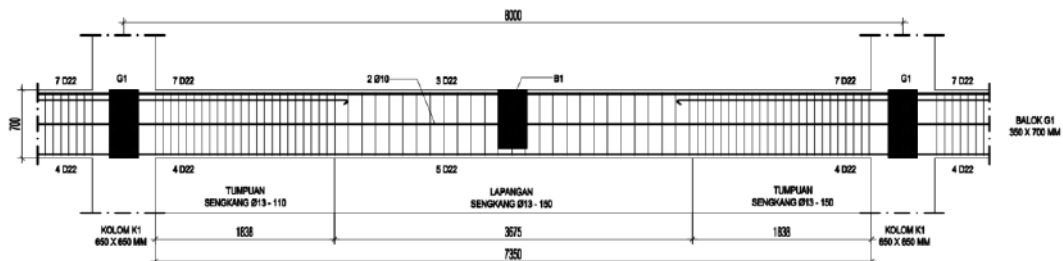
$$A_s \text{ tumpuan} + A_{l \text{ pasang tumpuan}} \geq A_s + A_{l \text{ perlu tumpuan}}$$

$$4338,539 \geq 3533,792 \rightarrow \text{OK}$$

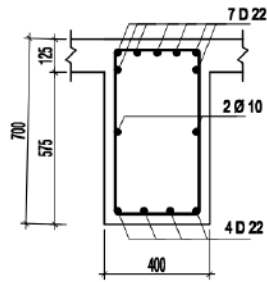
$$A_s \text{ lapangan} + A_{l \text{ pasang lapangan}} \geq A_s + A_{l \text{ perlu lapangan}}$$

$$3198,141 \geq 2876,959 \rightarrow \text{OK}$$

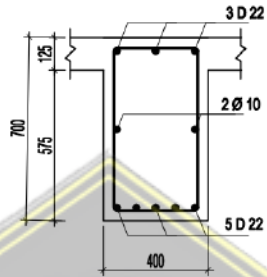
Gambar tulangan balok G1 pada variasi 1 yang didapat berdasarkan perhitungan di atas dapat dilihat pada Gambar 4.19. sampai Gambar 4.21.



Gambar 4.19. Potongan Memanjang Balok



Gambar 4.20. Tulangan Tumpuan Balok



Gambar 4.21. Tulangan Lapangan Balok

4.5.5. Rekapitulasi Hasil Tulangan Balok

Dari hasil perhitungan terdapat rekapitulasi tulangan balok pada variasi 1 sampai 3 dapat dilihat pada Tabel 4.28. di bawah ini.

Tabel 4.28. Rekapitulasi tulangan Balok G1

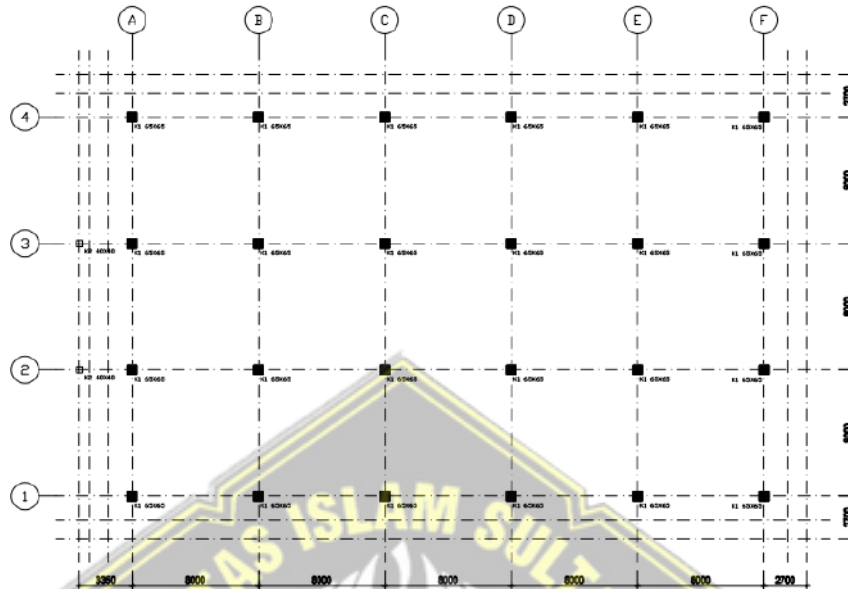
Variasi Balok G1	Dimensi (cm)	Tumpuan / Lapangan	Tulangan Longitudional			Tulangan Transversal
			Atas	Bawah	Torsi	
1	40 × 70	Tumpuan	7 D22	4 D22	2 D10	2D13-100
		Lapangan	3 D22	5 D22	2 D10	2D13-150
2	40 x 80	Tumpuan	6 D22	3 D22	4 D10	2D13-100
		Lapangan	3 D22	5 D22	4 D10	2D13-150
3	40 x 80	Tumpuan	6 D22	3 D22	4 D10	2D13-100
		Lapangan	3 D22	5 D22	4 D10	2D13-150

4.6. Perancangan Kolom

Desain dimensi penampang kolom harus mampu menahan gaya momen dan gaya geser sehingga diperlukan analisis kapasitas desain kolom. Diagram interaksi Pn-M kolom juga disertakan dalam analisis kapasitas desain kolom untuk mengetahui kapasitas kolom terhadap gaya aksial yang menumpunya.

4.6.1. Properti Material dan Penampang

Tipe kolom yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan adalah kolom K1 pada tingkat pertama yang ditunjukkan Gambar 4.22.



Gambar 4.22. Denah Kolom K1 Lantai 1 pada Variasi 1

Tinggi kolom (L) = 4000 mm
 Dimensi ($b \times h$) = 650 x 650 mm
 Luas penampang (A_g) = 422500 mm²
 Tebal selimut bersih (c_c) = 40 mm
 Diameter tulangan longitudinal (d_b) = 22 mm
 Diameter tulangan sengkang (d_s) = 10 mm
 Tinggi efektif kolom (d) = $b - c_c - d_s - d_b/2$
 = 650 - 40 - 10 - 19/2 = 590,5 mm

Kuat tekan beton (f_c') = 40 MPa
 Kuat leleh baja tulangan (f_y) = 420 MPa
 Faktor reduksi kekuatan (ϕ) = 0,65 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
 Momen kapasitas balok (M_{nb+}) = 126,418kNm
 Momen kapasitas balok (M_{nb-}) = 526,797 kNm

4.6.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Tahapan-tahapan perhitungan tulangan longitudinal kolom yang dilakukan, antara lain:

1. Gaya Dalam

Gaya dalam berupa gaya tekan aksial yang diterima kolom dan gaya geser pada kolom K1 dan kolom atasnya yang didapat dari ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan longitudinal kolom sebagai berikut:

- P_u kolom atas = 556,99 kN
- P_u kolom desain = 4786,75 kN
- V_u kolom desain = 191,63kN

2. Cek Dimensi

Batasan dimensi untuk struktur kolom sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1 harus memenuhi :

a) Dimensi terkecil penampang tidak kurang dari 300 mm

$$\text{Syarat} = b \geq 300 = 650 \geq 300 \rightarrow \text{OK}$$

b) Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4

$$\text{Syarat} = \frac{b}{h} \geq 0,4 = \frac{650}{650} \geq 0,4 = 1 \geq 0,4 \rightarrow \text{OK}$$

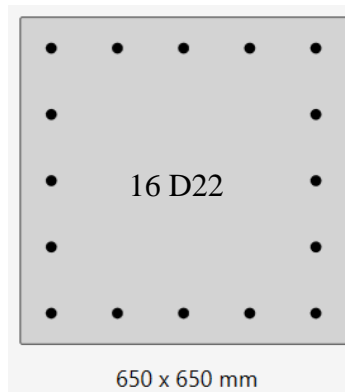
3. Cek syarat komponen struktur tahan gempa

Gaya tekan aksial P_u akibat kombinasi beban yang kurang dari $0,3 A_g f_c'$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= P_u \leq 0,3 A_g \times f_c' \\ &= 4786,75 \leq 0,3 \times 422500 \times 29 \times 10^{-3} \\ &= 4786,75 \leq 5070 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

4. Menentukan tulangan longitudinal penahan lentur

Luas tulangan longitudinal tidak diizinkan kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$ sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4. Hasil konfigurasi tulangan lentur kolom K1 didapatkan dengan cara *trial and error* menggunakan program *SPColumn* ditunjukkan pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23. Tulangan Longitudinal Kolom K1 variasi 1

Diagram interaksi P_n - M_{pr} SPColumn kolom K1 dan hasil analisis interaksi P_n - M_{pr} kolom K1 dapat dilihat pada Gambar 4.24. dan Tabel 4.29.



Gambar 4.24. Diagram Interaksi P_n - M_{pr} SPColumn Kolom K1

Tabel 4.29. Hasil Analisis Interaksi P_n - M_{pr} Kolom K1

No	P_u (kN)	M_{ux} (kNm)	ϕM_{nx} (kNm)	$\phi M_n / M_u$	NA depth (mm)	dt depth (mm)	ϵ_t	ϕ
1	556,99	164,76	698,44	4.239	629,67	747	0,00616	0,9
2	4786,75	10	495,68	49.565	-470,19	830	0,00101	0,65

$$0,01 A_g = 0,01 \times 422500$$

$$= 4225 \text{ mm}^2$$

$$0,06 A_g = 0,06 \times 422500$$

$$= 25350 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = n \times 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$= 16 \times 1/4 \times 3,14 \times 22^2$$

$$= 6079,04 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= 0,01 A_g < A_{st} < 0,06 A_g \\ &= 4225 < 6079,04 < 25350 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

4.6.3. Perhitungan Tulangan Transversal Kolom

Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal kolom yang dilakukan, antara lain:

1. Analisis Tulangan Geser sebagai *Confinement*

Pada analisis tulangan geser sebagai kolom ini melalui beberapa tahap, yaitu:

a) Menentukan daerah pemasangan tulangan sengkang persegi (*hoop*), tulangan *hoop* diperlukan sepanjang ℓ_o dari ujung-ujung kolom. Sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.4.3.3 dengan ℓ_o merupakan nilai terbesar dari:

- a. $1/6$ tinggi bersih kolom = $3300 / 6 = 550$ mm
- b. Dimensi maksimum kolom = 650 mm
- c. 450 mm

Jadi, jarak ℓ_o digunakan 650 mm

b) Penentuan s_{max} merupakan nilai terbesar dari:

- a. $1/4$ dimensi komponen struktur minimum = $650 / 4 = 162,5$ mm
- b. $6db = 6 \times 22 = 132$ mm
- c. s_o , tidak melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm

$$s_o = 100 + \frac{350 - 0,25(900 - 2 \times 40 - 2(10) - 2)}{3} = 142,5 \text{ mm}$$

Ambil jarak tulangan transversal 130 mm

c) Penentuan luas tulangan *confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 18.7.5.4. Untuk daerah sepanjang ℓ_o dari ujung-ujung kolom total luas penampang *hoop* tidak boleh kurang dari salah satu yang terbesar di antara :

- Tinggi penampang inti beton yang tertekan (b_{c1})
 $b_{c1} = h - (2 \times c_c) = 650 - (2 \times 40) = 570$ mm
- Lebar penampang inti beton yang tertekan (b_{c2})
 $b_{c2} = b - (2 \times c_c) = 650 - (2 \times 40) = 570$ mm
- Luas penampang inti beton (A_{ch})
 $A_{ch} = b_{c1} \times b_{c2} = 570 \times 570 = 324900 \text{ mm}^2$
- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$\begin{aligned}
 A_{sh1/Smin} &= 0,3 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f_c' \times bc}{f_{yt}} \\
 &= 0,3 \times \left(\frac{422500}{324900} - 1 \right) \times \frac{29 \times 570}{420} \\
 &= 3,547
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh2/Smin} &= 0,09 \times \frac{f_c' \times bc}{f_{yt}} \\
 &= 0,09 \times \frac{29 \times 570}{420} \\
 &= 3,542
 \end{aligned}$$

Maka dapat digunakan Sengkang (*hoop*) 5 D10-100

$$A_s \text{ pasang} = 5 \text{ kaki} \times 1/4 \times 3,14 \times 10^2 = 392,70 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh/Smin} \text{ pasang} = 392,70 / 100 = 3,927 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= A_s \text{ pasang} > A_{sh} \\
 &= 3,927 > 3,547 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

d) Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5. Untuk daerah di luar ℓ_0 diberi sengkang dengan spasi tidak melebihi nilai terkecil dari:

a. $6D = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$

b. 150 mm

Maka s_{max} diambil = 150 mm sepanjang sisa kolom bersih.

2. Analisis Gaya Geser Desain Tulangan Sengkang Kolom

Gaya geser V_e harus diambil dari gaya geser yang berhubungan dengan sendi plastis pada kedua ujung kolom sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1. Nilai M_{pr} pada kolom ditentukan dengan anggapan kekuatan tarik memanjang minimal $1,25f_y$ dan $\phi = 1$. Untuk diagram interaksi P_n - M SPColumn dengan $1,25 f_y$ dan hasil analisis interaksi P_n - M SPColumn dengan $1,25 f_y$ dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30. Hasil Analisis Interaksi P_n - M Kolom K1 dengan $1,25 f_y$

No	P_u (kN)	ϕM_{nx} (kNm)	NA depth (mm)	dt depth (mm)	ϵ_t	ϕ
X	1968,6	1107,77	221	589	0.00500	0.90000

- Probable Moment of Column (M_{prc})

$$M_{prc} = 1107,77 \text{ kNm}$$

- Tinggi bersih kolom (L_n)

$$\begin{aligned} L_n &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\ &= 4000 - 700 \\ &= 3300 \text{ mm} \\ &= 3,3 \text{ m} \end{aligned}$$

Faktor reduksi geser (ϕ)

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser desain (V_e)

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{prc \text{ atas}} + M_{prc \text{ bawah}}}{L_n} \\ &= \frac{1107 + 1107}{3,33} \\ &= 0,67137576 \text{ kN} \\ &= 671375,76 \text{ N} \end{aligned}$$

V_e tidak boleh kurang dari gaya geser terfaktor hasil analisis:

$$V_e = 671375,76 \text{ N}$$

- Dari nilai V_e yang telah dihitung, maka diambil $V_u = 671375,76 \text{ N}$. Asumsi kuat geser yang disumbang oleh beton, $V_c = 0$. Maka:

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} = \frac{671375,76}{0,75} = 525010 \text{ N} \\ \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{671375,76}{420 \times 590} = 2,12 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Cek $A_{sh} > A_v$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_{sh/s} > A_{v/s} \\ &= 3,927 > 2,12 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

Digunakan 5 D10 -100 untuk sengkang tertutup dan ikat silang dengan $A_{sh} = 392,699 \text{ mm}^2$ atau $A_{sh/s} = 3,927$

3. Menghitung nilai V_c daerah di luar ℓ_0

(SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1)

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{P_u}{14A_g}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{3777 \times 10^3}{14 \times 422500}\right) \times 1 \times \sqrt{29} \times 650 \times 589$$

$$= 370158 \text{ N}$$

Karena $V_c > V_u$ ($V_u = 193126$) maka daerah di luar ℓ_0 dipasang tulangan sengkang dengan jarak:

$$s = \frac{d}{2} = \frac{589}{2} = 294,5 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5, jarak tulangan transversal diluar ℓ_0 tidak boleh lebih dari 150 mm atau $6d_b$ (132 mm). Maka dipasang jarak maksimal 150 mm.

4. Pengecekan Syarat Strong Column-Weak Beam

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi Persamaan 4.13 sesuai SNI 2847:2019

Pasal 18.7.3.2 sebagai berikut:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \dots\dots\dots (4.13)$$

- Menentukan nilai $\sum M_{nb}$

$$\begin{aligned} \sum M_{nb} &= M_{nb}^+ + M_{nb}^- \\ &= 126,418 + 526,797 \\ &= 653,215 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Menentukan nilai $\sum M_{nc}$

Nilai M_{nc} didapatkan dari diagram interaksi P_n - M *SPColumn* dengan mencari gaya aksial yang dihasilkan dari kombinasi beban pada kolom atas dan kolom bawah. Nilai M_{nc} atas dan M_{nc} bawah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum M_{nc} &= M_{nc} \text{ atas} + M_{nc} \text{ bawah} \\ &= 421,922 + 421,922 \\ &= 843,844 \text{ kNm} \end{aligned}$$

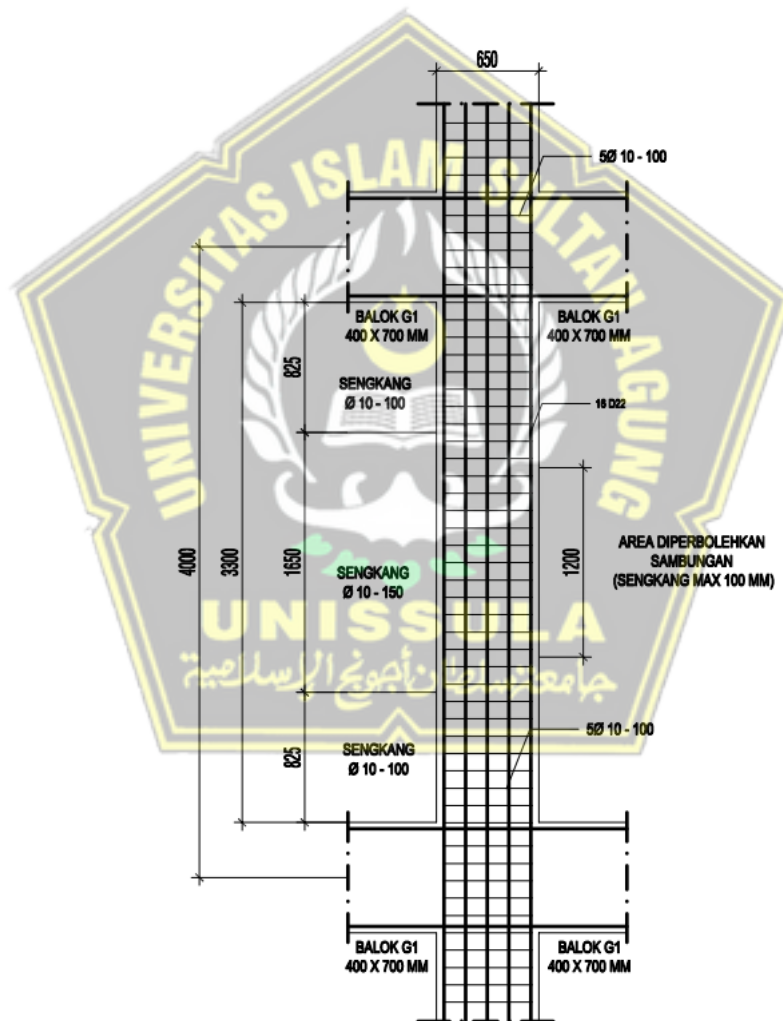
$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \\ &= 843,844 \geq 1,2 \times 526,797 + 126,418 \\ &= 843,844 \geq 783,858 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

berikut adalah rekapitulasi hasil cek *Strong Column – Weak Beam* pada variasi 1 sampai 3 ditunjukkan pada Tabel 4.31.

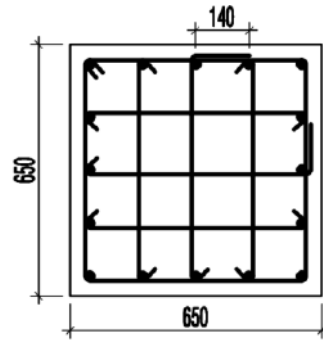
Tabel 4.31. Rekapitulasi *Strong Column – Weak Beam*

No	Variasi Elemen		Luas Kolom	Tulangan Longitudional Kolom			SCWB	
	Balok	Kolom	Beton	Jumlah	(As)	Rasio (ρ)	$1,2 \sum M_{nb}$	$\sum M_{nc}$
	mm	mm	mm ²	kelipatan 4	mm ²	%		
1	400 x 700	650 x 650	422500	16 D22	6082,12	1,44%	783,86	843,84
2	400 x 800	650 x 650	422500	16 D22	6082,12	1,44%	855,26	903,54
3	400 x 800	600 x 600	360000	24 D22	9123,19	2,53%	888,26	927,53

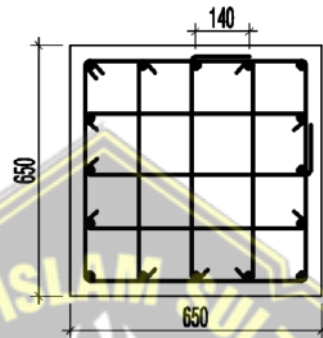
Berikut adalah gambar dari hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.25. sampai Gambar 4.27.



Gambar 4.25. Potongan Memanjang Kolom K1 Variasi 1



Gambar 4.26. Tulangan Ujung Kolom K1 Variasi 1



Gambar 4.27. Tulangan Tengah Kolom K1 Variasi 1

4.6.4. Rekapitulasi Hasil Tulangan Kolom

Dari hasil perhitungan tulangan pada semua tipe kolom yang telah dilakukan, berikut adalah rekapitulasi hasil tulangan kolom kolom K1 pada variasi 1 sampai 3 ditunjukkan pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32. Rekapitulasi Tulangan Kolom K1

Variasi Kolom K1	Dimensi (mm)	Tumpuan / Lapangan	Tulangan Longitudional	Tulangan Transversal
1	650 × 650	Tumpuan	16 D22	5D10-100
		Lapangan		5D10-150
2	650 x650	Tumpuan	16 D22	5D10-100
		Lapangan		5D10-150
3	600 x600	Tumpuan	24 D22	5D10-100
		Lapangan		5D10-150

4.6.5. Perancangan Hubungan Balok-Kolom (Joint)

Hubungan balok-kolom (*joint*) merupakan daerah pertemuan antara kolom dan balok yang harus didetailkan dengan baik. Analisis perhitungan hubungan balok B3 dengan kolom K1 lantai 1 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Syarat Panjang Joint

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.2.3, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal.

- Lebar kolom (b)

$$b = h = 900\text{mm}$$

- Diameter tulangan longitudinal terbesar balok (d_b)

$$d_b = 22\text{ mm}$$

$$16d_b = 16 \times 22 = 352\text{ mm}$$

- Cek $b > 16d_b$

$$\text{Syarat} = b > 16d_b = 900 > 352 \rightarrow \text{OK}$$

2. Tulangan Geser untuk Confinement

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.3.1, jumlah tulangan *confinement* dapat menggunakan seperti pada detail tulangan geser kolom pada ℓ_0 . Dari hasil analisis tulangan geser kolom di atas digunakan tulangan geser 5 D10-100.

3. Gaya Geser pada Joint

Momen balok yang timbul:

- Probable Moment of Beam Positive (M_{prb+})

$$M_{prb+} = 475,39\text{ kNm}$$

- Probable Moment of Beam Negative (M_{prb-})

$$M_{prb-} = 789,52\text{ kNm}$$

- Faktor distribusi kolom (D_f)

$$D_f = 0,5 \rightarrow \text{OK}$$

- Momen terfaktor diperbesar (M_c)

$$\begin{aligned} M_c &= 0,5 \times (M_{prb+} + M_{prb-}) \\ &= 0,5 \times (475,39 + 789,52) = 632,46\text{ kNm} \end{aligned}$$

4. Gaya Geser pada Kolom

- Tinggi efektif kolom (L_n)

$$\begin{aligned} L_n &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\ &= 4000 - 700 \end{aligned}$$

$$= 330 \text{ mm}$$

$$= 3,30 \text{ m}$$

- Gaya geser kolom (V_h)

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{M_c}{L_n} \\ &= \frac{632,46}{3,30} \\ &= 191,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

5. Gaya Geser pada Tulangan Longitudinal Balok

- Luas tulangan atas 7 D22, $A_s = 2660,93 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\ &= 1,25 \times 2660,93 \times 420 \\ &= 1396,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kiri hubungan balok kolom, sebesar:

$$C_1 = T_1 = 1396,99 \text{ kN}$$

- Luas tulangan bawah 2 D19, $A_s = 567,06 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} T_2 &= 1,25 \times A_s \times F_y \\ &= 1,25 \times 2660,93 \times 420 \\ &= 1396,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kanan hubungan balok kolom, sebesar :

$$C_2 = T_2 = 1396,99 \text{ kN}$$

6. Kuat Geser pada Joint

- Kuat geser pada joint (V_j) sebesar:

$$\begin{aligned} V_j &= T_1 + T_2 - V_h \\ &= 1396,99 + 1396,99 - 191,65 \\ &= 2602,32 \text{ kN} \end{aligned}$$

7. Kuat Geser yang dikekang Keempat Sisi

- Kuat geser nominal (V_n)

$$V_n = 1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times A_g$$

$$= 1,7 \times 1 \times \sqrt{29} \times 422500 \times 10^{-3}$$

$$= 3867,89 \text{ kN}$$

- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

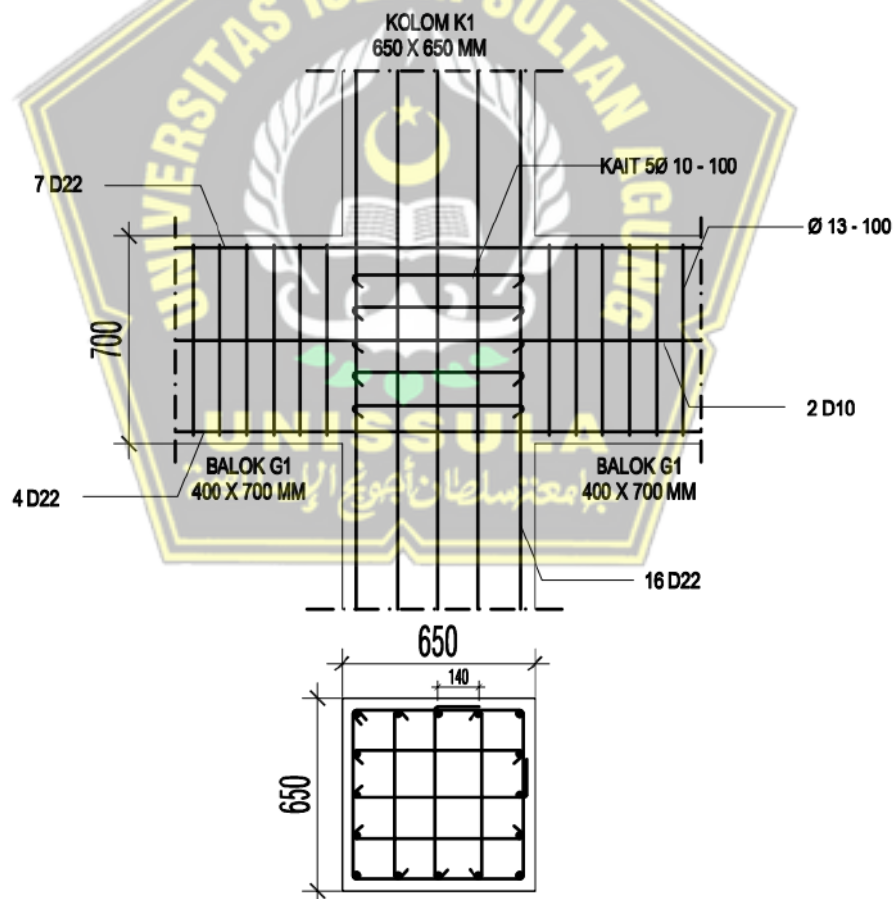
$$\phi V_n = \phi \times V_n = 0,85 \times 3867,89 = 3287,71 \text{ kN}$$

- Cek $\phi V_n > V_j$

$$\text{Syarat} = \phi V_n > V_j$$

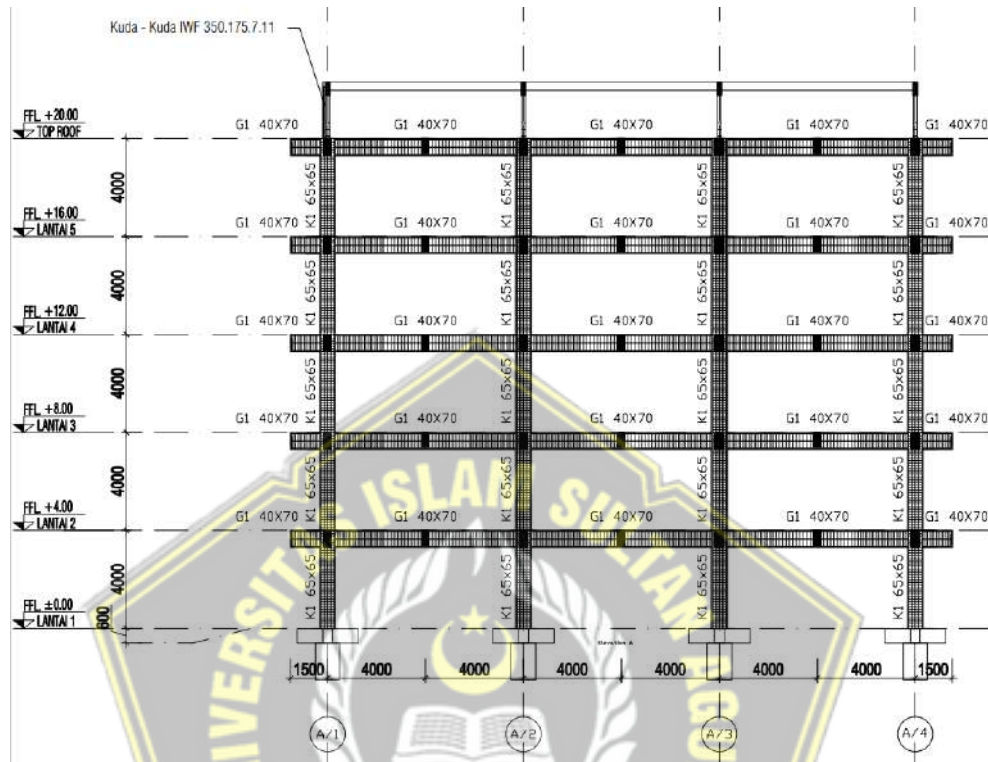
$$= 3287,71 > 2602,32 \rightarrow \text{OK}$$

Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan, kuat geser yang dikekang keempat sisinya lebih besar daripada gaya geser *joint* yang ditimbulkan. Dengan nilai $3287,71 \text{ kN} > 2602,32 \text{ kN}$ maka memenuhi persyaratan. Gambar tulangan hubungan balok dan kolom dari hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.28.

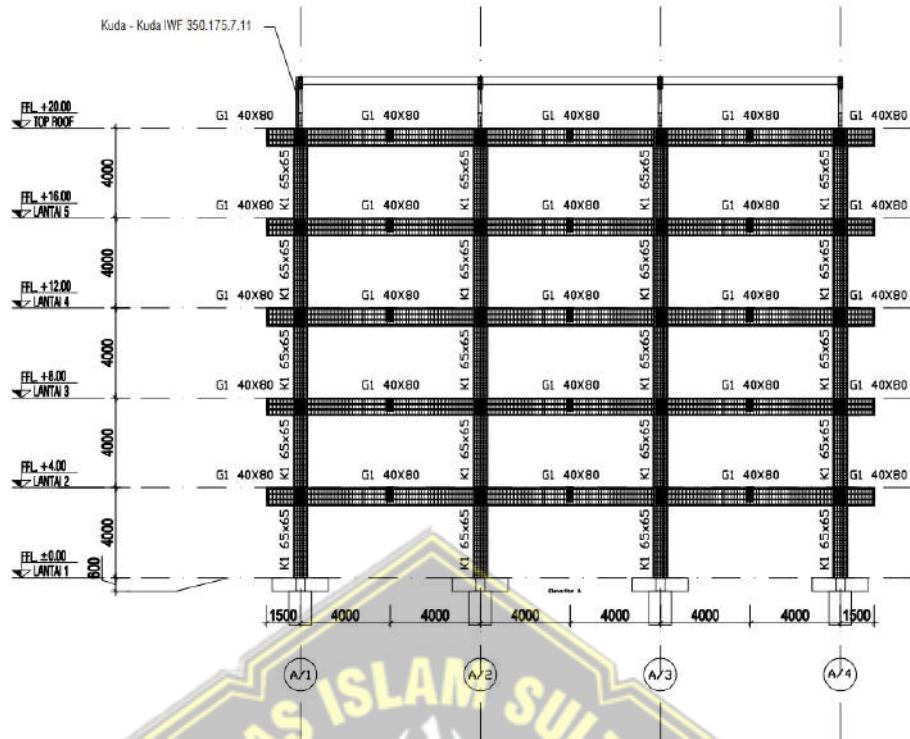


Gambar 4.28. Hubungan Balok Kolom (*Joint*) Variasi 1

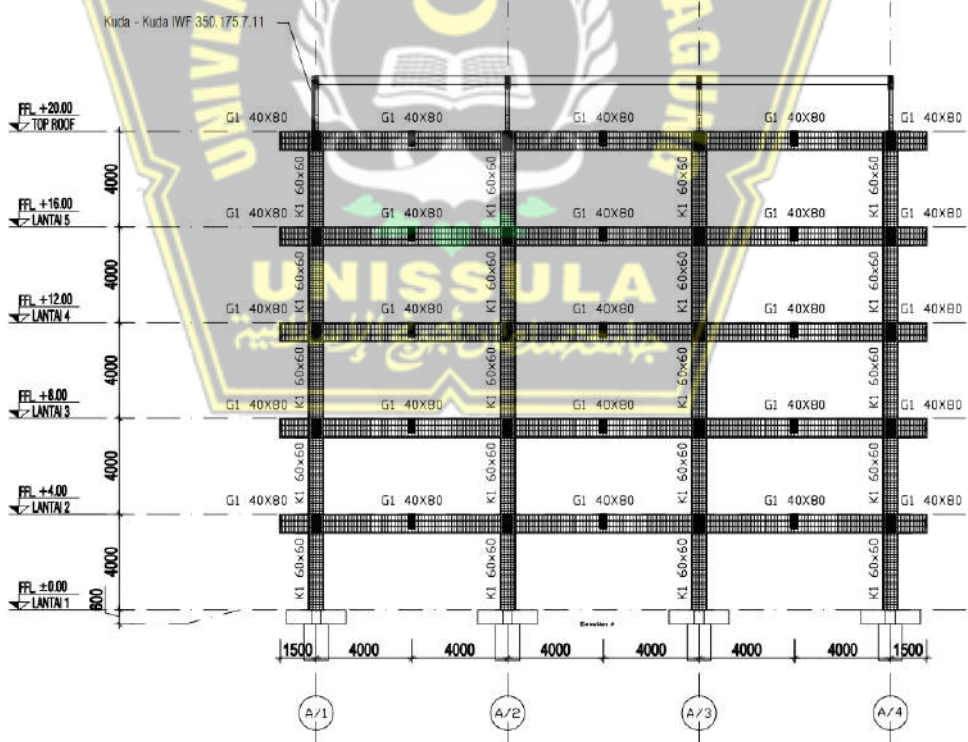
Berikut potongan struktur gedung perkantoran dari tiga variasi yang didesain dapat dilihat pada Gambar 4. 29 sampai Gambar 4.31 sebagai berikut:



Gambar 4.29. Potongan Melintang struktur variasi 1



Gambar 4.30. Potongan Melintang struktur variasi 2



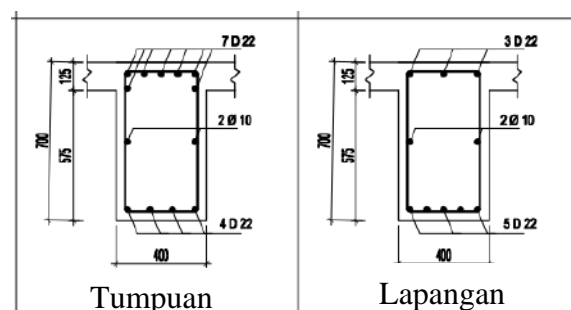
Gambar 4.31. Potongan Melintang struktur variasi 3

4.7. Pengaruh Variasi Dimensi Dan Penulangan Balok dan Kolom

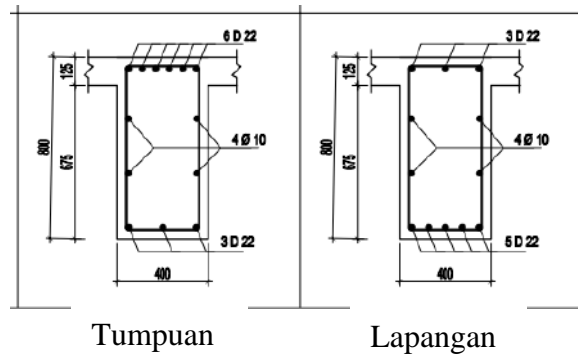
Untuk mengetahui pengaruh apa saja yang terjadi Ketika melakukan variasi dimensi terhadap penulangan pada balok dan kolom maka perlunya melakukan perbandingan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat perbandingan pada tabel 4.33. sampai tabel 4.34. berikut :

Tabel 4.33. Perbandingan Balok Variasi 1 dengan Variasi 2

No.	Variabel	Variasi 3 Balok (40 X 70), Kolom (60 X 60)		Variasi 6 Balok (40 X 80), Kolom (60 X 60)	Selisih
1	Luas Balok	280000	<	320000	12,5 %
2	Tulangan Longitudional				
	Tumpuan Atas	7D22	=	6D22	
	Tumpuan Bawah	4D22	=	3D22	
	Lapangan Atas	3D22	=	3D22	
	Lapangan Bawah	5D22	=	5D22	
	Tulangan Torsi	2D10	<	4D10	
3	As Total	7379,60	<	6776,42	8,17%
4	Rasio Total	2,64%	>	2,12%	19,65%
5	Tulangan Transversal				
	Tumpuan	2D13-100	=	2D13-100	
	Lapangan	2D13-150	<	2D13-150	



Gambar 4.32. Detail Balok Variasi 1



Gambar 4.33. Detail Balok Variasi 2

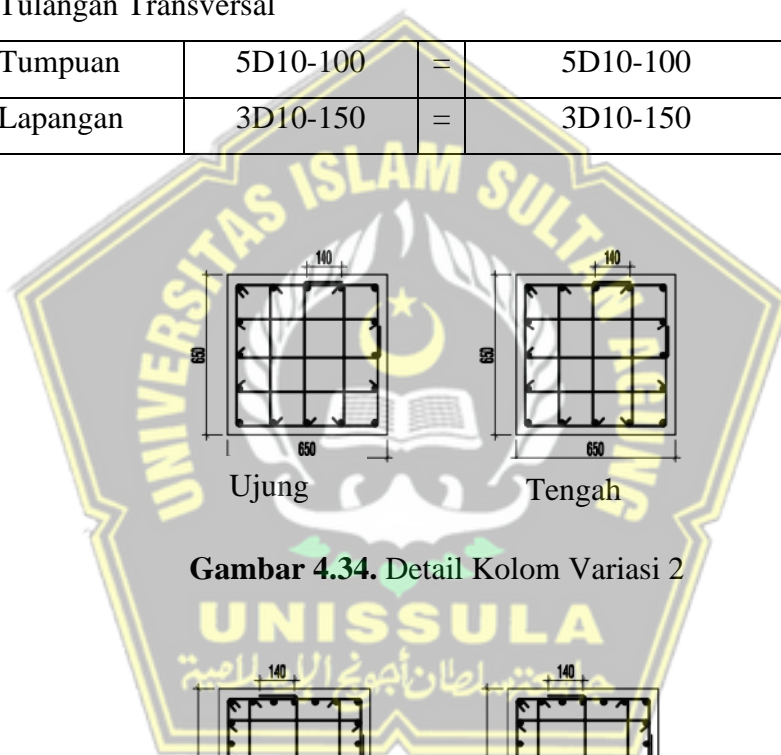
Pada variasi 1 (balok G1 40 x 70; kolom K1 65 x 65) cm Desain balok G1 (40 x 70) cm memiliki tulangan atas pada tumpuan 7 D22 bawah pada tumpuan 4 D22, Tulangan atas pada lapangan 3 D22 bawah pada lapangan 5 D22, tulangan transversal pada tumpuan 2D13 – 100 pada lapangan 2D13 – 150. Tulangan torsi 2 D10, dengan luas tulangan longitudinal total ($A_s \text{ total}$) = 7379,60 mm²

Pada variasi 1 (balok G1 40 x 80; kolom K1 65 x 65) cm Desain balok G1 (40 x 80) cm memiliki tulangan atas pada tumpuan 6 D22 bawah pada tumpuan 3 D22, Tulangan atas pada lapangan 3 D22 bawah pada lapangan 5 D22, tulangan transversal pada tumpuan 2D13 – 100 pada lapangan 2D13 – 150. Tulangan torsi 4 D10. dengan luas tulangan longitudinal total ($A_s \text{ total}$) = 6776,42 mm²

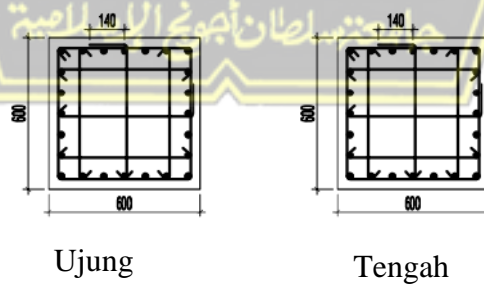
Untuk perbandingan balok, pada variasi 1 (balok G1 40 x 70; kolom K1 65 x 65) cm Desain balok G1 (40 x 70) cm memiliki rasio tulangan longitudinal total ($\rho \text{ total}$) 2,64 % mm² lebih besar 19,65 % dari Desain balok G1 (40 x 80) pada variasi 2 (balok G1 40 x 80 dengan kolom K1 65 x 65) cm yang memiliki rasio tulangan longitudinal total ($\rho \text{ total}$) 2,12 %.

Tabel 4.34. Perbandingan Kolom Variasi 2 dengan Variasi 3

No.	Variabel	Variasi 2		Variasi 3	Selisih
		Balok (40x80), Kolom (65x65)		Balok (40x80), Kolom (60x60)	
1	Luas Kolom	422500	<	360000	14,79
2	Tulangan Longitudional	16D22	>	24D22	
3	As	6082,12	>	9123,19	33,33 %
4	Rasio	1,44 %	>	2,53 %	43,20 %
5	Tulangan Transversal				
	Tumpuan	5D10-100	=	5D10-100	
6	Lapangan	3D10-150	=	3D10-150	



Gambar 4.34. Detail Kolom Variasi 2



Gambar 4.35. Detail Kolom Variasi 3

Pada variasi 2 (balok G1 40 x 80; kolom K1 65 x 65) cm Desain kolom K1 (65 x 65) cm memiliki tulangan pokok 16 D22 tulangan geser tumpuan 5 D10 -100

tulangan geser lapangan 5 D10 – 150, dengan luas tulangan longitudinal (A_s) = 6082,12 mm²

Pada variasi 3 (balok G1 40 x 80; kolom K1 60 x 60) cm Desain kolom K1 (60 x 60) cm memiliki tulangan pokok 24 D22 tulangan geser tumpuan 5 D10 -100 tulangan geser lapangan 5 D10 – 150, dengan luas tulangan longitudinal (A_s) = 9123,19 mm²

Untuk perbandingan kolom, pada variasi 2 (balok G1 40 x 80; kolom K1 65 x 65) cm Desain kolom K1 (65 x 65) cm memiliki rasio tulangan longitudinal (ρ) = 1,44 % mm² lebih kecil 43,20 % dari Desain kolom K1 (60 x 60) cm pada variasi 3 (balok 40 x 80; kolom 60 x 60) cm yang memiliki rasio tulangan longitudinal (ρ) = 2,53 %.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dirangkum dapat disimpulkan seperti sebagai berikut:

1. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Parameter desain pada perancangan gedung perkantoran lima lantai ini, tergolong Kategori Risiko (II), Faktor Keutamaan (I_e) = 1, Klasifikasi Situs = SE (Tanah Lunak), Percepatan gempa terpetakan periode pendek (S_s) = 0,3263, Percepatan gempa terpetakan periode 1 detik (S_1) = 0,1730, Percepatan desain pada periode pendek (S_{DS}) = 0,47, Percepatan desain pada periode 1 detik (S_{D1}) = 0,41.

2. hasil respon struktur yang diperoleh sebagai berikut :

- Ragam Getar

Pada variasi 1 sampai 3 Struktur mengalami translasi pada arah X pada ragam 1 dan struktur mengalami translasi pada arah Y pada ragam 2.

- Periode Getar

Periode Getar yang diperoleh yaitu periode minimum (T_{min}) = 0,6907 detik, periode maksimum (T_{max}) = 0,967 detik, periode getar yang paling besar dari program Etabs terdapat pada Variasi 1 yaitu : T_y = 1,261 detik, T_x = 1,330 detik dan periode yang digunakan yaitu T_x = 0,967 detik dan T_y = 0,967 detik.

- Simpangan Antar Tingkat

Kontrol simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat, dimana simpangan terbesar terjadi pada variasi 1 yaitu arah X = 55,03 mm dan arah Y = 59,59 kurang dari batas izin = 61,54 mm.

3. Pengaruh variasi dimensi balok dan kolom terhadap penulangannya. Pada perbandingan balok dan kolom yang telah dilakukan, pembesaran dimensi

penampang akan membuat kebutuhan tulangan semakin mengecil seperti hasil perbandingan berikut:

- Untuk perbandingan balok, pada variasi 1 (balok G1 40 x 70; kolom K1 65 x 65) cm Desain balok G1 (40 x 70) cm memiliki rasio tulangan longitudinal total (ρ total) 2,64 % mm² lebih besar 19,65 % dari Desain balok G1 (40 x 80) pada variasi 2 (balok G1 40 x 80 dengan kolom K1 65 x 65) cm yang memiliki rasio tulangan longitudinal total (ρ total) 2,12 %.
- Untuk perbandingan kolom, pada variasi 2 (balok G1 40 x 80; kolom K1 65 x 65) cm Desain kolom K1 (65 x 65) cm memiliki rasio tulangan longitudinal (ρ) = 1,44 % mm² lebih kecil 43,20 % dari Desain kolom K1 (60 x 60) cm pada variasi 3 (balok 40 x 80; kolom 60 x 60) cm yang memiliki rasio tulangan longitudinal (ρ) = 2,53 %.

5.2. Saran

Saran yang didapat berdasarkan hasil analisis dan perancangan yang telah dibahas adalah sebagai berikut:

1. Dalam studi pengaruh variasi dimensi terhadap penulangan balok dan kolom ini, semoga dapat dijadikan pertimbangan dalam melakukan perancangan struktur gedung Sistem Rangka Pemikul Momen Kusus, terutama dalam mendesain balok dan kolom.
2. dapat dilakukan studi pengaruh yang serupa pada variasi dimensi balok dan kolom ini dengan perbandingan yang berbeda terutama pada perbandingan yang lebih besar, serta dapat dilakukan pada sistem setruktur yang lainnya dengan tetap mengikuti ketentuan yang berlaku pada SNI yang terbaru.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryanata, Raditya & Atalah, Fairuz Izdiyar (2023). *Evaluasi Struktur Gedung Bertingkat Eksisting (Studi Kasus Gedung Bea Cukai Semarang)*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).
- Cholida, Nur F. F., Antonius and F. Ni'am (2018); *A Parametric Study Of Confinement Effects to the Interaction Diagram of P-M for High-Strength Concrete Columns*, Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering, Vol.1, No.1, 2018, pp 30-37.
- Durrotunnaimah E, Kusumaningrum A (2022). *Perancangan Struktur Atas Gedung Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Islam Sultan Agung Semarang*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).
- Mughis. Ahmad & Suwartono (2017). *Pengaruh Keseragaman Kekakuan Antar Tingkat Terhadap Perilaku Struktural Gedung Polda Jateng*. (Undergraduate Thesis, Fakultas Teknik Unissula).
- Nasional, B. S. (2017). *SNI 2052-2017 : Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 19
- Nasional, B. S. (2019). *SNI 1726-2019 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 693.
- Nasional, B. S. (2019). *SNI 2847-2019 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 694.
- Nasional, B. S. (2020). *SNI 1727-2020 : Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 235.
- PU, Puskim. (2021). *Desain Spektra Indonesia*. <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>
- Putra, Rozy B. A. & Budiyanto, S. (2022). *Redesain Struktur Gedung Dua Belas Lantai Berdasarkan SNI 1726-2019 (Studi pada Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang)*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).
- Pradika, Aldy Gilang & Hidayat, Alfian Nur (2023). *Desain Struktur Gedung Rumah Sakit % lantai Di Kota Banda Aceh*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).
- Reza, Alif Muhammad. (2022, 1 September). *Desain Penulangan Lentur Pelat*. 8 Minutes Learn, <https://youtu.be/q7AhrEsfZOE>
- Reza, Alif Muhammad. (2021, 13 Januari). *Penulangan Balok*. 8 Minutes Learn, <https://youtu.be/iWj6L-jefoU>
- Safari, M. A., Tjitradi, D., & Chairunnisa, Nursiah (2014). *Pengaruh Mutu Bahan dan Rasio Penulangan Terhadap Kapasitas Lentur Beton Mutu Normal*, Jurnal Teknologi Berkelanjutan, Vol. 3, No. 1, 2014, pp 30-36
- Salsabiel SH. & Shofyan, Shofyansah SM (2023). *Perencanaan Ulang Struktur Gedung Pendidikan 8 Lantai Di Gunung Pati Semarang*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).
- Setiawan, Agus. (2021, 16 Januari). *Desain Kolom SRPMK*. 8 Minutes Learn, https://youtu.be/Uyu_sS2Ixpw
- Setiawan, Prabowo (2021); *Behavior of Normal Concrete Reinforced With Fiber*, Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering, Vol.4, No.2, 2021, pp 123-129.