

TUGAS AKHIR

**REDESAIN STRUKTUR GEDUNG DUA BELAS LANTAI
BERDASARKAN SNI 1726-2019
(Studi Pada Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang)**

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



Disusun Oleh :

Rozy Bagus Andika Putra

NIM : 30201800166

Sahrul Budiyanto

NIM : 30201800169

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

REDESAIN STRUKTUR GEDUNG DUA BELAS LANTAI BERDASARKAN
SNI 1726-2019
(Studi Pada Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang)



Rozy Bagus Andika Putra
NIM : 30201800166



Sahrul Budiyanto
NIM : 30201800169

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Agustus 2022

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Ir. H. Sumirin, MS.**
NIDN: 0004056302
2. **Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.**
NIDN: 0625059102
3. **Ir. H. Prabowo Setiawan, MT., Ph.D**
NIDN: 0607046802

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 17 / A.2 / SA - T / VII / 2022

Pada hari ini tanggal Agustus 2022 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

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

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

Rozy Bagus Andika Putra
NIM : 30201800166

Sahrul Budiyanto
NIM : 30201800169

Judul : Redesain Struktur Gedung Dua Belas Lantai Berdasarkan SNI 1726-2019
(Studi Pada Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang)

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	14 Februari 2022	-
2	Seminar Proposal	31 Maret 2022	ACC
3	Pengumpulan data	14 April 2022	-
4	Analisis data	18 Mei 2022	-
5	Penyusunan laporan	08 Juli 2022	-
6	Selesai laporan	25 Juli 2022	ACC

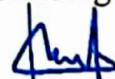
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama



Dr. Ir. H. Sumirin, MS.

Dosen Pembimbing Pendamping



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Rozy Bagus Andika Putra

NIM : 30201800166

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Redesain Struktur Gedung Dua Belas Lantai Berdasarkan SNI 1726-2019 (Studi Pada Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang) benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 15 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Rozy Bagus Andika Putra

NIM : 30201800166

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Sahrul Budiyanto

NIM : 30201800169

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Redesain Struktur Gedung Dua Belas Lantai Berdasarkan SNI 1726-2019 (Studi Pada Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang) benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 15 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Sahrul Budiyanto

NIM : 30201800169

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Rozy Bagus Andika Putra
NIM : 30201800166
JUDUL TUGAS AKHIR : Redesain Struktur Gedung Dua Belas Lantai
Berdasarkan SNI 1726-2019 (Studi Pada Struktur
Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang)

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 ijazah 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.

Semarang, 15 Agustus 2022
Yang membuat pernyataan,



Rozy Bagus Andika Putra
NIM : 30201800166

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Sahrul Budiyanto
NIM : 30201800169
JUDUL TUGAS AKHIR : Redesain Struktur Gedung Dua Belas Lantai
Berdasarkan SNI 1726-2019 (Studi Pada Struktur
Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang)

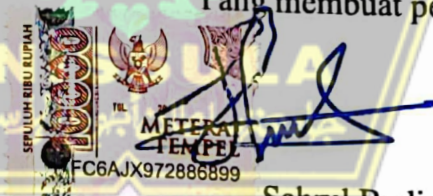
Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau 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.

Semarang, 15 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Sahrul Budiyanto
NIM : 30201800169

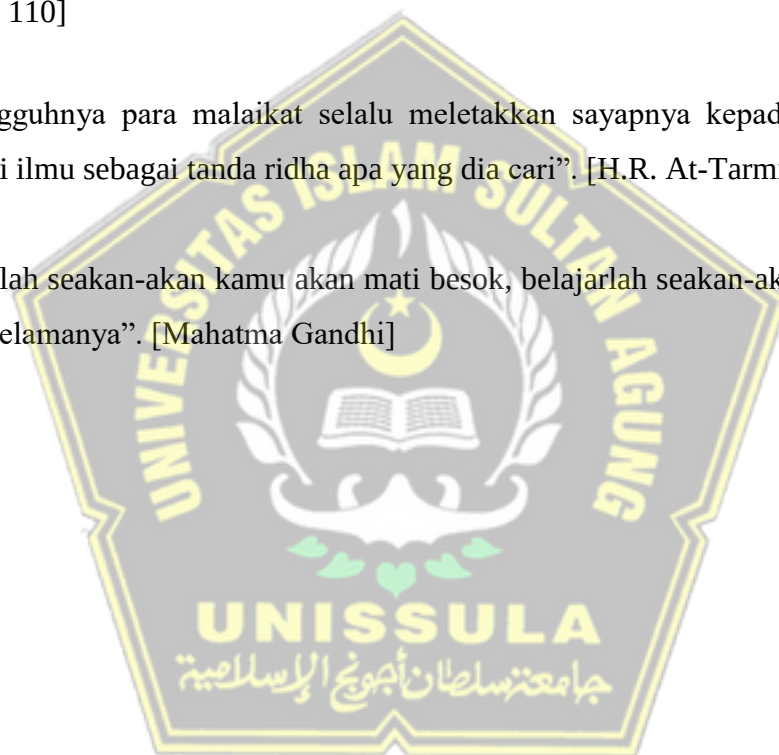
MOTTO

“Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tidaklah seseorang itu berputus asa kecuali orang-orang yang kafir”. [Q.S. Yusuf : 87]

“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]

“Sesungguhnya para malaikat selalu meletakkan sayapnya kepada orang yang mencari ilmu sebagai tanda ridha apa yang dia cari”. [H.R. At-Tarmidzi : 3535]

“Hiduplah seakan-akan kamu akan mati besok, belajarlh seakan-akan kamu akan hidup selamanya”. [Mahatma Gandhi]



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Yanto dan Ibu Yuli Ambarwati, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran, dan doa.
2. Sahrul Budiyo rekan tugas, teman seperjuangan, teman sepermainan, dan saudara seiman.
3. Fasikhullisan, ST. yang sabar membantu dan mengajari dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Teman-teman teknik sipil C 2018 yang selalu mendukung dan memberi semangat.
5. Teman teknik sipil se-Angkatan 2018 yang telah memberikan dukungan dan semangat.
6. Teman-teman Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dan seluruh Mahasiswa Teknik UNISSULA

Rozy Bagus Andika Putra
NIM : 30201800166

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Tasim dan Ibu Karniti, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran, dan doa.
2. Dosen-dosen UNISSULA Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil yang telah membagikan ilmu.
3. Dosen pembimbing Dr. Ir. H. Sumirin, MS dan Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng yang dengan sabar membimbing dalam pengerjaan tugas akhir kami.
4. Rozy Bagus Andika Putra rekan tugas, teman seperjuangan, teman sepermainan, dan saudara seiman.
5. Fasikhullisan, ST. yang sabar membantu dan mengajari dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman teknik sipil C 2018 yang selalu mendukung dan memberi semangat.
7. Teman teknik sipil angkatan 2018 yang telah memberikan dukungan dan semangat.
8. Teman-teman Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dan seluruh Mahasiswa Teknik UNISSULA.

Sahrul Budiyanto
NIM : 30201800169

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Redesain Struktur Gedung Dua Belas Lantai Berdasarkan SNI 1726-2019 (Studi Pada Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang)”** guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

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

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT, Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST.,M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin MS selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Muhammad 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 ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Agustus 2022

Rozy Bagus Andika Putra (30201800166)

Sahrul Budiyanto (30201800169)

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR NOTASI	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxv
ABSTRAK	xxvi
 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 Penulisan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 4
2.1. Tinjauan Umum	4
2.2. Pembebanan Pada Bangunan.....	4
2.2.1. Beban Mati	4
2.2.2. Beban Hidup.....	5
2.2.3. Beban Gempa	5
2.2.4. Kombinasi Pembebanan	6
2.2.5. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)	6
2.3. Konsep Analisis Beban Seismik	7
2.3.1. Kategori Risiko Bangunan	7
2.3.2. Klasifikasi Situs.....	10
2.3.3. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Tertarget	10
2.3.4. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Desain	12
2.3.5. Respon spektrum Desain	12
2.3.6. Katagori Desain Seismik	14
2.3.7. Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda.....	14
2.3.8. Batasan Periode Fundamental	15
2.3.9. Geser Dasar Seismik	17
2.3.10. Distribusi Vertikal Gaya Seismik.....	18
2.3.11. Analisis Respon spektrum Ragam.....	18
2.3.12. Kombinasi dan Pengaruh Gempa	19
2.3.13. Penentuan dan Batasan Simpangan Antar Lantai	19
2.3.14. Pengaruh P-Delta.....	20

2.3.15. Ketidakberaturan Struktur	21
2.4. Perancangan Elemen Struktur.....	25
2.4.1. Perancangan Pelat	25
2.4.2. Perancangan Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). 26	
2.4.3. Perancangan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) 31	
2.4.4. <i>Strong Column Weak Beam</i>	33
2.4.5. Hubungan Balok Kolom (<i>Joint</i>) pada SRPMK.....	33
2.4.6. Dinding Geser	34
2.4.7. Struktur Baja Tahan Gempa.....	38
2.5. Sistem Ganda (<i>Dual System</i>)	41
2.6. <i>Software</i> Yang Digunakan.....	42
2.6.1. ETABS V.18	42
2.6.2. <i>SPColumn</i>	43
 BAB III METODOLOGI.....	 45
3.1. Pengumpulan Data.....	45
3.2. Standar yang Digunakan.....	46
3.3. Analisis dan Perhitungan	46
3.3.1. Pemodelan dan Pradimensi Struktur Gedung.....	46
3.3.2. Perhitungan Pembebanan Statik (<i>Live Load</i> dan <i>Dead Load</i>)	56
3.3.3. Analisis Struktur.....	58
3.3.4. Perhitungan Beban Gempa.....	59
3.4. Metode Penulisan Laporan	60
3.5. Diagram Alir.....	60
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 62
4.1. Data Struktur Gedung	62
4.1.1. Dimensi Penampang Struktur	62
4.1.2. Pemodelan Struktur	63
4.2. Kombinasi Pembebanan Struktur	65
4.3. Mutu Bahan Struktur	68
4.4. Analisis Beban Seismik	69
4.4.1. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa.....	69
4.4.2. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Terpetakan.....	69
4.4.3. Klasifikasi Situs.....	69
4.4.4. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Tertarget	70
4.4.5. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Desain	71
4.4.6. Respon spektrum Desain	72
4.4.7. Kategori Desain Seismik.....	73
4.4.8. Faktor R , Ω_0 , C_d Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	73
4.4.9. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai.....	73
4.4.10. Periode Fundamental Struktur.....	76
4.4.11. Perhitungan Gaya Geser	77
4.4.12. Persyaratan Simpangan Antar Lantai	82
4.5. Perkuatan Struktur Dengan Dinding Geser	84
4.5.1. Dimensi Dinding Geser	84
4.5.2. Pemodelan Dinding Geser.....	85
4.5.3. Faktor R , Ω_0 , C_d Sistem Ganda	86

4.5.4. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai	86
4.5.5. Periode Fundamental Struktur.....	89
4.5.6. Perhitungan Gaya Geser.....	90
4.5.7. Persyaratan Simpangan Antar Lantai	94
4.5.8. Cek Efektifitas Sistem Struktur.....	97
4.6. Perkuatan Struktur Dengan Bresing Baja dan Dinding Geser.....	97
4.6.1. Mutu Baja.....	98
4.6.2. Dimensi Bresing.....	98
4.6.3. Pemodelan Bresing dan Dinding Geser	98
4.6.4. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai	100
4.6.5. Periode Fundamental Struktur.....	103
4.6.6. Perhitungan Gaya Geser.....	104
4.6.7. Persyaratan Simpangan Antar Lantai	108
4.6.8. Pengecekan P-Delta.....	111
4.6.9. Cek Ketidakberaturan Struktur	113
4.6.10. Cek Efektifitas Sistem Struktur.....	117
4.7. Rekap Hasil Pemodelan.....	118
4.8. Perancangan Pelat.....	119
4.8.1. Dasar Perancangan	119
4.8.2. Data Pelat Lantai	120
4.8.3. Momen Pelat Akibat Beban Terfaktor	120
4.8.4. Penulangan Pelat	120
4.8.5. Kontrol Lendutan Pelat	123
4.9. Perancangan Balok	127
4.9.1. Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok	129
4.9.2. Perhitungan Tulangan Transversal Balok	145
4.9.3. Perhitungan Tulangan Torsi Balok	151
4.10. Perancangan Kolom.....	162
4.10.1. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom.....	163
4.10.2. Cek syarat Strong Column Weak Beam.....	166
4.10.3. Perhitungan Tulangan Transversal Kolom.....	166
4.11. Hubungan Balok-Kolom (<i>Joint</i>) Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	172
4.12. Perancangan Dinding Geser	175
4.12.1. Properti Material dan Penampang.....	175
4.12.2. Gaya Dalam.....	177
4.12.3. Pengecekan Geometri.....	177
4.12.4. Kebutuhan Tulangan Minimum	178
4.12.5. Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan SP Column).....	179
4.12.6. Pengecekan Kapasitas geser.....	181
4.12.7. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus	181
4.12.8. Penulangan Elemen Batas Khusus	184
4.13. Perancangan Bresing	190
4.13.1. Properti Material dan Penampang.....	191
4.13.2. Gaya Dalam Pada Bresing.....	192
4.13.3. Kontrol Penampang Bresing	192
4.13.4. Kontrol Kekuatan Bresing.....	193

BAB V PENUTUP.....	196
5.1. Kesimpulan.....	196
5.2. Saran	197
DAFTAR PUSTAKA	198



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)	11
Gambar 2. 2. parameter gerak tanah S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)	11
Gambar 2. 3. Respon spektrum Desain	13
Gambar 2. 4. Penentuan simpangan antar tingkat	19
Gambar 2. 5. Ketidakberaturan Horizontal	23
Gambar 2. 6. Ketidakberaturan Vertikal	25
Gambar 2. 7. Lebar efektif maksimum balok lebar (<i>wide beam</i>) dan persyaratan tulangan transversal (SNI 2847:2019)	27
Gambar 2. 8. Persyaratan Tulangan Lentur SRPMK	28
Gambar 2. 9. Persyaratan Sambungan Lewatan SRPMK	29
Gambar 2. 10. Contoh sengkang tertutup pada balok SRPMK (SNI 2847:2019)	29
Gambar 2. 11. Geser desain untuk balok dan kolom	30
Gambar 2. 12. Contoh penulangan transversal pada kolom (SNI 2847:2019)	31
Gambar 2. 13. Luas <i>joint</i> efektif	33
Gambar 2. 14. Konfigurasi Sistem CBF	39
Gambar 2. 15. Perilaku Konfigurasi Sistem CBF	39
Gambar 2. 16. <i>Eccentrically Braced Frames</i> (EBF)	41
Gambar 2. 17. Interaksi Rangka dan Dinding dalam Sistem Ganda	42
Gambar 2. 18. Tampilan ETABS V.18	43
Gambar 2. 19. Tampilan Diagram Interaksi Pada <i>Software</i> SPColumn	44
Gambar 3. 1. Denah Bangunan	45
Gambar 3. 2. <i>Model Initialization</i>	47
Gambar 3. 3. <i>Model Grid</i>	47
Gambar 3. 4. <i>Edit Grid</i>	48
Gambar 3. 5. Tampilan <i>Grid</i> dan <i>Story</i>	48
Gambar 3. 6. <i>Input Material Properties</i>	49
Gambar 3. 7. <i>Section Shape Concrete</i>	50
Gambar 3. 8. <i>Input Dimensi Kolom</i>	50
Gambar 3. 9. <i>Reinforcement Data Column</i>	51
Gambar 3. 10. <i>Reinforcement Data Beam</i>	52
Gambar 3. 11. <i>Input Data Slab</i>	53
Gambar 3. 12. <i>Plan View Lantai 1</i>	54
Gambar 3. 13. <i>Plan View Lantai 2 – 12 (Tipikal)</i>	54
Gambar 3. 14. <i>Plan View Atap</i>	55
Gambar 3. 15. <i>3D View ETABS v18</i>	55
Gambar 3. 16. <i>Define Load Patterns</i>	56
Gambar 3. 17. Pendefinisian Beban Mati dan Hidup	57
Gambar 3. 18. <i>Load Case Data</i>	57
Gambar 3. 19. Input Beban Mati Tambahan Atap	58
Gambar 3. 20. Input Beban Hidup	58

Gambar 4. 1. Pemodelan struktur 3D Gedung 12 lantai (Modifikasi Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang)	64
Gambar 4. 2. Denah Gedung FT-MIPA Universitas Muhammadiyah Semarang	65
Gambar 4. 3. Respon spektrum Desain Lokasi Perancangan.....	71
Gambar 4. 4. Grafik respon spektrum ETABS 18	72
Gambar 4. 5. Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 1.....	74
Gambar 4. 6. Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 1.....	74
Gambar 4. 7. Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 1.....	75
Gambar 4. 8. Distribusi Gaya Geser Gempa Arah X.....	80
Gambar 4. 9. Distribusi Gaya Geser Gempa Arah Y	81
Gambar 4. 10. Simpangan antar tingkat arah X	83
Gambar 4. 11. Simpangan antar tingkat arah Y	84
Gambar 4. 12. Denah Perletakan Dinding Geser	85
Gambar 4. 13. Pemodelan 3D Dinding Geser.....	85
Gambar 4. 14. Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 2.....	87
Gambar 4. 15. Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 2.....	87
Gambar 4. 16. Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 2.....	88
Gambar 4. 17. Distribusi Gaya Geser Gempa Arah X.....	93
Gambar 4. 18. Distribusi Gaya Geser Gempa Arah Y.....	93
Gambar 4. 19. Simpangan antar tingkat arah X.....	95
Gambar 4. 20. Simpangan antar tingkat arah Y	96
Gambar 4. 21. Denah Perletakan Dinding Geser dan Bresing.....	99
Gambar 4. 22. Pemodelan 3D Dinding Geser dan Bresing.....	99
Gambar 4. 23. Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 3.....	101
Gambar 4. 24. Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 3.....	101
Gambar 4. 25. Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 3.....	102
Gambar 4. 26. Distribusi Gaya Geser Gempa Arah X.....	107
Gambar 4. 27. Distribusi Gaya Geser Gempa Arah Y	107
Gambar 4. 28. Simpangan antar tingkat arah X	109
Gambar 4. 29. Simpangan antar tingkat arah X	110
Gambar 4. 30. Cek stabilitas P-Delta Arah X	112
Gambar 4. 31. Cek stabilitas P-Delta Arah Y	113
Gambar 4. 32. Tipe Pelat.....	119
Gambar 4. 33. Gaya Momen Pada Pelat	120
Gambar 4. 34. Penulangan Pelat	126
Gambar 4. 35. Denah Balok Sampel.....	127
Gambar 4. 36. Elevasi Balok Sampel.....	128
Gambar 4. 37. Dimensi Balok Rencana	128
Gambar 4. 38. V_u Tumpuan Hasil ETABS.....	145
Gambar 4. 39. V_u Lapangan Hasil ETABS	146
Gambar 4. 40. Gaya Torsi Hasil ETABS	151
Gambar 4. 41. Potongan Memanjang Balok	160
Gambar 4. 42. Tulangan Tumpuan Balok.....	160
Gambar 4. 43. Tulangan Lapangan Balok	161
Gambar 4. 44. Denah Kolom Sampel	162
Gambar 4. 45. Elevasi Kolom Sampel.....	163
Gambar 4. 46. Tulangan Longitudinal Kolom	165
Gambar 4. 47. Diagram interaksi SPColumn Kolom.....	165

Gambar 4. 48. Hasil analisis interaksi P_n-M_{pr} Kolom.....	165
Gambar 4. 49. Diagram interaksi P_n-M SPColumn dengan $1,25 f_y$	169
Gambar 4. 50. Hasil Analisis interaksi P_n-M SPColumn dengan $1,25 f_y$	169
Gambar 4. 51. Potongan Memanjang Kolom.....	171
Gambar 4. 52. Tulangan Ujung Kolom.....	171
Gambar 4. 53. Tulangan Tengah Kolom.....	172
Gambar 4. 54. Hubungan Balok Kolom (<i>Joint</i>).....	175
Gambar 4. 55. Denah Dinding Geser Sampel	176
Gambar 4. 56. Penampang Dinding Geser Rencana	176
Gambar 4. 57. Diagram interaksi SPColumn Dinding Geser.....	179
Gambar 4. 58. Hasil analisis interaksi SPColumn Dinding Geser	180
Gambar 4. 59. Detail Tulangan Dinding Geser.....	189
Gambar 4. 60. Denah Bresing Sampel	190
Gambar 4. 61. Lokasi Bresing.....	191
Gambar 4. 62. <i>Output</i> Gaya dalam pada ETABS	192
Gambar 4. 63. Bresing Konsentris dengan Konfigurasi V Inverted	195
Gambar 4. 64. Profil Baja Untuk Bresing.....	195



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Daftar Berat Bahan Bangunan dan Komponen Gedung	4
Tabel 2. 2. Daftar Beban Hidup Pada Lantai	5
Tabel 2. 3. Kombinasi beban.....	6
Tabel 2. 4. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ).....	7
Tabel 2. 5. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non gedung untuk Beban Gempa.	7
Tabel 2. 6. Faktor keutamaan gempa	9
Tabel 2. 7. Klasifikasi Situs	10
Tabel 2. 8. Koefisien Situs, F_a	12
Tabel 2. 9. Koefisien situs F_v	12
Tabel 2. 10. Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek.....	14
Tabel 2. 11. Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik	14
Tabel 2. 12. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik	15
Tabel 2. 13. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	16
Tabel 2. 14. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	16
Tabel 2. 15. Simpangan antar tingkat izin.....	20
Tabel 2. 16. Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur	21
Tabel 2. 17. Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur	24
Tabel 2. 18. Ketebalan Minimum Pelat	26
Tabel 2. 19. $A_{s\ min}$ Untuk Pelat	26
Tabel 2. 20. Tinggi Balok Minimum (h).....	27
Tabel 2. 21. Tulangan transversal untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK)	32
Tabel 4. 1. Penampang balok.....	62
Tabel 4. 2. Penampang kolom.....	63
Tabel 4. 3. Tebal pelat.....	63
Tabel 4. 4. Beban Mati Tambahan Pada Lantai	67
Tabel 4. 5. Beban Mati Tambahan Pada Atap	68
Tabel 4. 6. Beban Hidup (<i>Live Load</i>).....	68
Tabel 4. 7. Mutu Baja Tulangan.....	68
Tabel 4. 8. Data Parameter Respon Spektra Terpetakan.....	69
Tabel 4. 9. Nilai N-SPT.....	70
Tabel 4. 10. Data Parameter Respon Spektra Desain.....	72
Tabel 4. 11. Nilai Respon spektrum Percepatan Desain	72
Tabel 4. 12. Massa Efektif Tiap Lantai.....	73
Tabel 4. 13. Rasio Partisipasi Beban.....	75
Tabel 4. 14. Hasil Partisipasi Massa Bangunan	76
Tabel 4. 15. Output Gaya Geser Dasar Statik	78
Tabel 4. 16. Output Gaya Geser Dasar Dinamik	78
Tabel 4. 17. Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik.....	79
Tabel 4. 18. Output Gaya Geser Dinamik Terkoreksi	79
Tabel 4. 19. Gaya Geser Desain.....	80
Tabel 4. 20. Gaya Gempa Desain.....	81

Tabel 4. 21. Besaran Simpangan Struktur Arah X.....	82
Tabel 4. 22. Besaran Simpangan Struktur Arah Y.....	83
Tabel 4. 23. Massa Efektif Tiap Lantai.....	86
Tabel 4. 24. Rasio Partisipasi Beban.....	88
Tabel 4. 25. Hasil Partisipasi Massa Bangunan	89
Tabel 4. 26. Output Gaya Geser Dasar Statik	90
Tabel 4. 27. Output Gaya Geser Dasar Dinamik	91
Tabel 4. 28. Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik.....	91
Tabel 4. 29. Output Gaya Geser Dinamik Terkoreksi	92
Tabel 4. 30. Gaya Geser Desain.....	92
Tabel 4. 31. Gaya Gempa Desain.....	94
Tabel 4. 32. Besaran Simpangan Struktur Arah X.....	95
Tabel 4. 33. Besaran Simpangan Struktur Arah Y	96
Tabel 4. 34. Perbandingan Gaya Lateral Pada Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen	97
Tabel 4. 35. Dimensi Bresing.....	98
Tabel 4. 36. Massa Efektif Tiap Lantai.....	100
Tabel 4. 37. Rasio Partisipasi Beban.....	102
Tabel 4. 38. Hasil Partisipasi Massa Bangunan	103
Tabel 4. 39. Output Gaya Geser Dasar Statik	104
Tabel 4. 40. Output Gaya Geser Dasar Dinamik	105
Tabel 4. 41. Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik.....	105
Tabel 4. 42. Output Gaya Geser Dinamik Terkoreksi	106
Tabel 4. 43. Gaya Geser Desain.....	106
Tabel 4. 44. Gaya Gempa Desain.....	108
Tabel 4. 45. Besaran Simpangan Struktur Arah X	109
Tabel 4. 46. Besaran Simpangan Struktur Arah Y	110
Tabel 4. 47. Pengecekan P-Delta arah X.....	111
Tabel 4. 48. Pengecekan P-Delta arah Y.....	112
Tabel 4. 49. Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah X	114
Tabel 4. 50. Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b arah Y.....	114
Tabel 4. 51. Cek Ketidakberaturan Struktur Vertikal 1a	115
Tabel 4. 52. Cek Ketidakberaturan Berat (Massa).....	116
Tabel 4. 53. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat	117
Tabel 4. 54. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat	117
Tabel 4. 55. Rekap Hasil Pemodelan	118
Tabel 4. 56. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat	127
Tabel 4. 57. Rekapitulasi Tulangan Balok	161
Tabel 4. 58. Gaya aksial lentur.....	164
Tabel 4. 59. Rekapitulasi Tulangan Kolom	172
Tabel 4. 60. Gaya Aksial-Lentur Pada Dinding Geser	177
Tabel 4. 61. Gaya Geser Pada Dinding Geser.....	177
Tabel 4. 62. Rekapitulasi Hasil Perancangan Dinding Geser	189
Tabel 4. 63. Gaya Aksial Pada Bresing	192
Tabel 4. 64. Rekapitulasi Bresing Baja.....	195

DAFTAR NOTASI

A_b	= Luas penampang ujung tiang (cm^2)
A_g	= Luas bruto penampang (mm^2)
A_s	= Luas tulangan tarik (cm^2)luas s
A_{sh}	= Luas penampang inti beton, diukur dari serat terluar hoop ke serat terluar hoop di sisi lainnya
A_p	= Luas penampang tiang (cm^2)
A_v	= Luas tulangan sengkang ikat dalam daerah sejarak s (mm^2)
A_s'	= Luas tulangan tekan (mm^2)
b	= Lebar penampang balok (mm)
b_w	= Lebar badan atau diameter penampang lingkaran (mm)
C_a	= Koefisien akselerasi
C_d	= Faktor pembesaran defleksi
C_p	= <i>Collapse Pervention</i>
C_s	= Koefisien respon seismik; kohesi <i>undrained</i> (ton/m^2)
C_v	= Koefisien respon gempa vertikal
D	= Diameter tiang (cm)
D_F	= Faktor distribusi momen di bagian atas dan kolom yang didisain
D_t	= <i>Displacement</i> total
D_1	= <i>Displacement</i> Pertama
d	= Tinggi efektif pelat; jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm); diameter tiang (cm)
E	= Pengaruh beban gempa
E_c	= Modulus elastisitas beton (MPa)
E_g	= Efisiensi kelompok tiang
E_h	= Pengaruh beban gempa horizontal
E_s	= Modulus elastisitas tulangan (MPa)
E_v	= Pengaruh beban gempa vertical
F	= Gaya lateral ekuivalen
F_a	= Koefisien situs untuk periode pendek (pada periode 0,2)

F_s	= Faktor keamanan = 2,5
F_{sc}	= <i>Local friction</i> (kg/cm ²)
F_v	= Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)
f_s	= Tahanan selimut sepanjang tiang (kg/cm ²)
f_y	= Tegangan leleh profil baja (MPa)
f_c'	= Kuat tekan karakteristik beton (MPa)
H	= Tebal lapisan tanah (m)
h_c	= Lebar penampang inti beton (yang terkekang) (mm)
h_n	= Ketinggian struktur (m)
h_x	= Spasi horizontal maksimum untuk kaki sengkang tertutup atau sengkang ikat pada muka kolom
I	= Faktor keutamaan struktur
I_o	= <i>Immediate occupancy</i>
J	= Koefisien lengan momen
k	= Faktor panjang efektif
k_c	= Faktor tahanan ujung
LL	= <i>Live load</i> (beban hidup)
LS	= <i>Life safety</i>
l_n	= Panjang sisi terpanjang
l_o	= Panjang minimum
MCE_R	= <i>Respon spektrum</i> gempa maksimum yang dipertimbangkan-tertarget
M_n	= Kuat momen nominal pada penampang
M_{nb}	= Momen terfaktor nominal pada penampang (kN-m)
M_{pr}	= Momen lentur dari suatu komponen struktur dengan atau tanpa beban aksial, yang di tentukan menggunakan sifat-sifat komponen strukyur pada joint dengan menganggap kuat tarik pada tulangan
M_u	= Momen yang terjadi pada penampang
M_x	= Momen arah x (ton.m)
M_y	= Momen arah y (ton.m)
m	= Jumlah lapisan tanah yang ada di tanah
n	= Jumlah lantai gedung

n	= Jumlah tingkat gedung; jumlah tiang dalam 1 baris; banyaknya tiang pancang
n_x	= Banyaknya tiang dalam satu arah y
n_y	= Banyaknya tiang dalam satu arah x
p	= Keliling tiang (cm)
$p_{izin} = p_{all}$	= Daya dukung vertikal yang diizinkan untuk sebuah tiang tunggal (ton)
p_{max}	= Beban maksimum yang diterima 1 tiang (ton)
p_n	= Kuat nominal penampang yang mengalami beban (N)
p_{tiang}	= Daya dukung taing pancang (ton)
p_u	= Kuat beban aksial terfaktor pada eksentrisitas tertentu (N)
Q_{all}	= Nilai daya dukung tanah (ton)
Q_E	= Pengaruh gaya seismik horizontal dari V
Q_p	= Tahanan ujung selmut tiang (kg)
Q_s	= Tahanan geser selimut tiang (kg)
Q_{ult}	= Daya dukung pondasi tiang pancang (ton)
R	= Faktor reduksi gempa
S_{DS}	= Parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek
S_{MS}	= Parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek
S_{M1}	= Parameter respon spektrum percepatan pada periode 1 detik
S_s	= Percepatan batuan dasar pada periode pendek
S_x	= Spasi longitudinal tulangan transversal dalam panjang l_o
S_1	= Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik
s	= Jarak antar tiang (cm)
T_a	= Periode getar fundamental struktur
T_{eff}	= Waktu getar gedung efektif (dt)
t_i	= Tebal lapisan tanah ke- i
V	= Gaya lateral (kg)
V_t	= Beban gempa dasar nominal
V_n	= Kuat geser nominal penampang (N)
V_s	= Kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke- i ; kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)

V_{sway}	= Gaya geser rencana berdasarkan momen kapasitas pada balok
V_u	= Gaya geser terfaktor penampang (N)
V_x	= Beban gempa arah x
V_y	= Beban gempa arah y
W	= Berat lantai
W_t	= Berat total struktur
x	= Absis tiang ke pusat koordinat penampang (m)
y	= Ordinat tiang ke pusat koordinat penampang (m)
α (alpha)	= Faktor adhesi antara tanah dan tiang
β_1	= 0,85 untuk $f_c' \leq 30$ Mpa
β_c	= Sisi panjang kolom atau sisi pendek kolom
δ_e (delta a)	= Deformasi elastis
δ_p	= Deformasi plastis
δ_y	= Pelelehan pertama
ρ (rho)	= Rasio tulangan, faktor reduksi untuk desain seismik
ρ_b	= Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan seimbang
ρ_g	= Rasio penulangan total terhadap luas penampang kolom
ρ_{min}	= Rasio penulangan minimum
ρ_{max}	= Rasio penulangan maksimum
σ_b (sigma b)	= Tegangan izin beton (Mpa)
ϕ (phi)	= Faktor reduksi lentur
λ	= Angka kelangsingan
$\sum M_c$	= Jumlah M_n kolom yang bertemu di joint balok kolom
$\sum M_g$	= Jumlah M_n balok yang bertemu di joint balok kolom
$\sum P_v$	= Jumlah beban vertikal (ton)

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Berita Acara Seminar Proposal Tugas Akhir
Lampiran 2 : Berita Acara Seminar Hasil Tugas Akhir
Lampiran 3 : Lembar Koreksi Tugas Akhir
Lampiran 4 : Daftar Hadir Dosen Penguji Seminar Hasil Tugas Akhir
Lampiran 5 : Daftar Hadir Seminar Hasil Tugas Akhir
Lampiran 6 : Lembar Bimbingan Tugas Akhir
Lampiran 7 : Turnitin
Lampiran 8 : Gambar Kerja



**REDESAIN STRUKTUR GEDUNG DUA BELAS LANTAI
BERDASARKAN SNI 1726-2019
(Studi Pada Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang)**

Oleh :

Rozy Bagus Andika Putra¹⁾, Sahrul Budiyanto¹⁾, Sumirin²⁾, Muhammad Rusli Ahyar²⁾

Abstrak

Gempa bumi di Indonesia sering terjadi disebabkan karena letak Indonesia berada di kawasan pasifik *Ring of fire* yang merupakan jalur rangkaian gunung berapi aktif di dunia. Berdasarkan masalah tersebut, dalam perancangan gedung di Indonesia diperlukan struktur tahan gempa berdasarkan peraturan gempa terbaru yaitu SNI 1726-2019.

Pada tugas akhir ini dilakukan redesain struktur gedung tahan gempa yaitu struktur gedung 12 lantai yang diambil studi dari gedung 8 lantai FT-MIPA Universitas Muhammadiyah Semarang. Redesain struktur ini dibantu dengan *software* ETABS, SPColumn, dan AUTOCAD.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan sistem struktur yang memenuhi syarat yaitu struktur sistem ganda (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Bresing Baja). Efektifitas struktur *frame* mampu menahan gaya lateral lebih dari 25% yaitu 47,76%. Kontrol simpangan antar lantai telah memenuhi syarat dimana simpangan terbesar 32,86 mm kurang dari batas izinnnya sebesar 33,08 mm. Pada struktur sitem rangka pemikul momen khusus didapatkan 13 tipe balok dengan dimensi balok terbesar yaitu 400 x 800 mm dan didapatkan 6 tipe kolom dengan dimensi kolom terbesar 1100 x 1100 mm dengan hasil *strong column-weak beam* didapatkan kuat lentur kolom lebih besar dari kuat lentur balok dengan rasio 5,14 lebih dari rasio minimumnya yaitu 1,2.

Kata Kunci : Redesain; Struktur; Gempa

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

²⁾Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

STRUCTURE REDESIGN OF TWELVE FLOOR BUILDING BASED ON SNI 1726-2019

(Study on Building Structure FT-MIPA UNIMUS Semarang)

By :

Rozy Bagus Andika Putra¹⁾, Sahrul Budiyanto¹⁾, Sumirin²⁾, Muhammad Rusli Ahyar²⁾

Abstract

Earthquakes in Indonesia often occur because Indonesia is located in the Pacific Ring of fire, which is the path of a series of active volcanoes in the world. Based on these problems, in the planning of buildings in Indonesia, earthquake-resistant structures are needed based on the latest earthquake regulations, namely SNI 1726-2019.

In this final project, the earthquake-resistant building structure redesign is carried out, namely the 12-storey building structure which is taken from the study of the 8-storey FT-MIPA building, Universitas Muhammadiyah Semarang. This structural redesign was assisted by ETABS v18, SPColumn, and AUTOCAD v10 software.

Based on the results of the analysis that has been carried out, it is found that the structural system that meets the requirements is a dual system structure (Special Moment Resistant Frame System and Steel Brass). The effectiveness of the frame structure is able to withstand lateral forces of more than 25%, namely 47,76%. The deviation control between floors has met the requirements where the largest deviation is 32,86 mm which is less than the permit limit of 33,08 mm. On the structure of the skeletal system bearing special moments obtained 13 types of beams with the largest beam dimensions of 400 x 800 mm and obtained 6 types of columns with the largest column dimensions 1100 x 1100 mm with the results of the strong column-weak beam obtained the flexural strength of the column is greater than the flexural strength of the beam with a ratio of 5,14 more than the minimum ratio of 1,2.

Keyword : Redesign; Structure; Earthquake

¹⁾ Students of the Faculty of Engineering, UNISSULA Civil Engineering Study Program

²⁾ Lecturer of the Faculty of Engineering Civil Engineering Study Program UNISSULA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam waktu beberapa tahun terakhir Indonesia dilanda duka akibat gempa yang terjadi di berbagai wilayah sebagaimana yang terjadi di Lombok, Manggarai, Palu, Geumpang Aceh Barat yang mengakibatkan kematian serta hancurnya Struktur Bangunan yang berada di Wilayah tersebut. Gempa Bumi di Indonesia sering terjadi disebabkan karena letak Indonesia terletak di daerah *Pasific Ring of Fire* yang menjadi lajur rangkaian gunung berapi aktif di dunia.

Berdasarkan masalah tersebut, dalam perancangan gedung di Indonesia diperlukan struktur tahan gempa berdasarkan pedoman gempa terbaru yaitu SNI 1726-2019. Pada peraturan gempa SNI 1726-2019 telah mengakibatkan suatu pergantian yang sangat banyak, alasan perubahan peraturan perancangan beban gempa tersebut yaitu agar didapatkan suatu komponen struktur gedung tahan gempa yang lebih baik. Dengan pedoman SNI yang paling *update*, diharapkan bisa memberikan desain bangunan tahan gempa yang lebih baik.

Sebagai objek penulisan dari laporan Tugas Akhir berikut adalah Gedung 8 Lantai Fakultas Teknik – MIPA Universitas Muhammadiyah Semarang yang akan diredesain dengan menambahkan jumlah lantai menjadi 12 lantai.

Pada perancangan ini, sistem penahan gempa yang terpilih sesuai SNI 1726-2019 ialah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Perancangan beban gempa yang diberikan untuk struktur gedung pada portal SRPMK relatif kecil, sehingga diharapkan memperoleh dimensi balok dan kolom yang kecil. Namun demikian, portal SRPMK mampu berperilaku daktail penuh dan dapat menjamin bahwa kolom lebih kuat daripada balok (*strong column weak beam*). Faktor reduksi *power* kolom lebih kecil dari faktor reduksi kekuatan balok, dan mengakibatkan kondisi daktilitas yang sempurna dapat dicapai.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang sudah diuraikan di atas, maka rumusan masalah yang dapat dirumuskan pada tugas akhir ini yaitu:

1. Bagaimana merancang sistem struktur dan dimensi elemen struktur dengan *preliminary* desain berdasarkan peraturan SNI 2847-2019?
2. Bagaimana menganalisis respon struktur berupa gaya-gaya dalam, ragam getar, periode getar, dan simpangan antar lantai sesuai peraturan SNI 1726-2019?
3. Bagaimana merancang dimensi dan tulangan beton yang dibutuhkan pada pelat, balok, dan kolom pada gedung 12 lantai yang memenuhi persyaratan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)?

1.3. Tujuan

Tujuan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Merancang sistem struktur dan dimensi elemen struktur dengan *preliminary* desain berdasarkan peraturan SNI 2847-2019.
2. Menganalisis respon struktur berupa gaya-gaya dalam, ragam getar, periode getar, dan simpangan antar tingkat pada peraturan SNI 1726-2019.
3. Merancang dimensi dan tulangan beton yang dibutuhkan pada pelat, balok, dan kolom pada gedung 12 lantai yang sesuai persyaratan SRPMK.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penyusunan tugas akhir ini yaitu :

1. Peraturan yang digunakan antara lain:
 - a. “Tata Cara Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non-Gedung” SNI 1726:2019.
 - b. “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung” SNI 2847:2019.
 - c. “Peraturan Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain” SNI 1727:2020.
 - d. “Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural” SNI 1729:2020.
2. Perancangan beban gempa yang bekerja menggunakan perhitungan respon spektrum.

3. Perancangan ini hanya membahas struktur atas meliputi pelat lantai, balok, kolom, dan dinding geser.
4. Tidak membahas struktur atap dan struktur bawah (pondasi).

1.5. Sistematika Penulisan

Pada penulisan laporan tugas akhir ini, adapun sistematika penulisan tersusun dari 5 bab yakni:

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan menjelaskan terkait latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah serta sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka menjelaskan tentang pola struktur umum serta teori yang dimanfaatkan pada perancangan.

BAB III METODOLOGI

Metodologi penelitian menguraikan tentang pengumpulan data serta tahapan analisis dalam perancangan gedung.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini menguraikan terkait langkah-langkah perancangan dan hasil dari perhitungan konstruksi bangunan yang dilaksanakan.

BAB V PENUTUP

Bab ini menjelaskan terkait kesimpulan dari perancangan gedung yang sudah dilaksanakan dan saran dari penulis kepada pembaca.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Struktur ialah suatu elemen dari bagian suatu bangunan yang berfungsi guna mendukung keberadaan elemen non struktur yang saling menguatkan seperti, kolom, balok, dan pelat sehingga membentuk struktur yang dapat menahan beban sesuai perancangan.

2.2. Pembebanan Pada Bangunan

Beban ialah kumpulan gaya yang diterapkan dalam bidang struktural. Dalam konstruksi gedung bertingkat, beban dapat dipisahkan menjadi dua kategori berdasarkan arah kerjanya: beban vertikal (gravitasi) dan beban horizontal (lateral). Beban vertikal tersusun atas beban mati, beban hidup, dan beban curah hujan, sedangkan beban horizontal tersusun atas air tanah, tekanan tanah, beban gempa, dan beban angin.

2.2.1. Beban Mati

Beban mati ialah berat total suatu struktur permanen, termasuk material tambahan, bagian yang bergerak, dan peralatan tetap yang membentuk struktur tersebut.

Menurut standar SNI 1727:2020 untuk Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya, dimungkinkan untuk menetapkan berat satuan atau berat sendiri dari bahan dan penyangga bangunan tertentu.

Tabel 2. 1. Daftar Berat Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

No.	Jenis Beban Mati	Beban (t/m ²)
1.	Beban Pasir setebal 1 cm	0,016
2.	Beban Spesi setebal 3 cm	0,066
3.	Beban Keramik setebal 1 cm	0,022
4.	Beban <i>Plafond</i>	0,02
5.	Beban Mekanikal & Elektrikal	0,025

Sumber : SNI 1727:2020

2.2.2. Beban Hidup

Beban hidup ialah keseluruhan beban yang diakibatkan oleh penggunaan atau hunian suatu gedung. Hal ini tergolong beban di lantai yang disebabkan oleh mesin, peralatan bergerak, dan peralatan lain yang bukan merupakan perlengkapan permanen dalam struktur dan yang dapat diganti selama umur bangunan, mengubah cara lantai dan atap struktur. Syarat khusus guna atap yang diklaim dapat memikul beban hidup, seperti beban yang bersumber dari curah hujan karena banjir atau tekanan dari tetesan air yang jatuh (energi kinetik).

Beban hidup pada gedung harus diambil menurut SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, seperti yang terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Daftar Beban Hidup Pada Lantai

No.	Jenis Ruangan dan Struktur	Beban (t/m ²)
1.	Ruang Kelas	0,192
2.	Laboratorium	0,287
3.	Ruang Penyimpanan	0,718
4.	Kantor	0,240
5.	Atap	0,096

Sumber : SNI 1727:2020

2.2.3. Beban Gempa

Beban gempa ialah keseluruhan beban statis yang sama yang ditempatkan dalam struktur atau gaya yang dialami oleh struktur sebagai akibat dari gempa, seperti yang ditentukan oleh analisis dinamis. Tingginya kesempatan beban yang hendak dilampaui dalam jangka waktu tertentu, tingkat daktilitas struktur yang berpengalaman, dan *power* ekstra yang ditahan di dalam struktur semuanya berperan dalam menentukan nilai beban gempa.

Beban gempa rencana yang dihitung adalah gempa rencana ringan berdasarkan SNI 1726:2019. Tegangan internal yang diberikan pada setiap anggota struktur selama gempa besar mungkin lebih besar dari yang diperkirakan. Gempa rencana adalah gempa yang memiliki peluang 2% terjadi selama umur bangunan 50 tahun dan memiliki magnitudo lebih besar dari biasanya.

2.2.4. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban dasar untuk desain kekuatan tercantum dalam pasal 5.3.1 SNI 2847:2019. Struktur, komponen, dan pondasi wajib dipersiapkan sebaik mungkin hingga *power* desainnya sama atau bahkan lebih dari efek beban terfaktor pada kombinasi sebagai berikut:

Tabel 2. 3. Kombinasi beban

Kombinasi Beban	Beban Utama
$U = 1,4D$	D
$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	L
$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$	$L_r \text{ atau } R$
$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$	W
$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$	E
$U = 0,8D + 1,0W$	W
$U = 0,8D + 1,0E$	E

Sumber: SNI 2843:2019

Keterangan :

D : Beban Mati

L : Beban Hidup

L_r : Beban Hidup di Atap

R : Beban Hujan

W : Beban Angin

2.2.5. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Faktor reduksi kekuatan, yaitu angka yang menurunkan kekuatan material sesuai dengan aturan dalam SNI 2847:2019, digunakan untuk mendapatkan situasi terburuk selama konstruksi, seperti perbedaan kualitas.

Tabel 2. 4. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Gaya Atau Elemen Struktur		ϕ
1.	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 - 0,90
2.	Geser	0,75
3.	Torsi	0,75
4.	Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65
5.	Angkur dalam elemen beton	0,45 - 0,75

Sumber : SNI 2847:2019

2.3. Konsep Analisis Beban Seismik

Pada struktur bangunan tahan gempa diperlukan adanya perancangan serta perhitungan untuk meminimalisir kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh gempa. “SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur dan Struktur Gedung” merupakan acuan yang dimanfaatkan pada perancangan gedung tahan gempa. Gempa rencana ialah gempa yang memiliki peluang 2% terjadi selama umur struktur 50 tahun dan memiliki magnitudo lebih besar dari itu.

2.3.1. Kategori Risiko Bangunan

Dalam aturan SNI 1726:2019 telah ditetapkan kategori resiko gedung dan nongedung berdasar pada jenis pemanfaatan gedung rencana terlihat pada tabel 2.5 serta faktor keutamaan gempa terlihat dalam table berikut.

Tabel 2. 5. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa.

Jenis Pemanfaatan	Katagori risiko
Sarana pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan hanyalah beberapa contoh bangunan dan bukan bangunan dengan tingkat bahaya yang rendah bagi kehidupan manusia jika terjadi kegagalan. ➤ Akomodasi jangka pendek ➤ Ruang Gudang ➤ Menara pengawal dan bangunan kompak lainnya	I

Tabel 2. 5. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Katagori risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : ➤ Perumahan ➤ Rumah toko dan rumah kantor ➤ Pasar ➤ Gedung perkantoran ➤ Gedung apartemen/ rumah susun ➤ Pusat perbelanjaan/ mall ➤ Bangunan industri ➤ Fasilitas manufaktur ➤ Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: ➤ Bioskop ➤ Gedung pertemuan ➤ Stadion ➤ Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat ➤ Fasilitas penitipan anak ➤ Penjara ➤ Bangunan untuk orang jompo Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk ➤ Pusat pembangkit listrik biasa ➤ Fasilitas penanganan air ➤ Fasilitas penanganan limbah ➤ Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

Tabel 2. 5. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: ➤ Bangunan-bangunan monumental ➤ Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan ➤ Rumah ibadah ➤ Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat ➤ Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat ➤ Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya ➤ Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat ➤ Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat ➤ Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2. 6. Faktor keutamaan gempa

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

Sumber: SNI 1726:2019

2.3.2. Klasifikasi Situs

Penentuan tipe kelas situs mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 5.3 diklasifikasikan kelas situs *SA*, *SB*, *SC*, *SD*, *SE*, atau *SF* terlihat sesuai tabel berikut :

Tabel 2. 7. Klasifikasi Situs

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
SB (batuan)	750 sampai 1500	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $P_I > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir, $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: ➢ Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah ➢ Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

Sumber : SNI 1726:2019

2.3.3. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Tertarget

Faktor amplifikasi seismik diperlukan untuk periode 0,2 detik dan 1 detik untuk menghitung respons target spektra percepatan gempa (MCE_R) di lapangan. Faktor amplifikasi berisi faktor getaran yang berhubungan dengan kecepatan selama waktu yang singkat (F_a) dan faktor getaran yang terkait dengan kecepatan selama waktu 1 detik (F_v). Pasal 6.2 SNI 1726:2019 harus diubah. Persamaan berikut menentukan parameter respon dari spektrum percepatan periode pendek (S_{MS}) dan periode satu detik (S_{M1}) yang dimodifikasi untuk pengaruh klasifikasi situs:

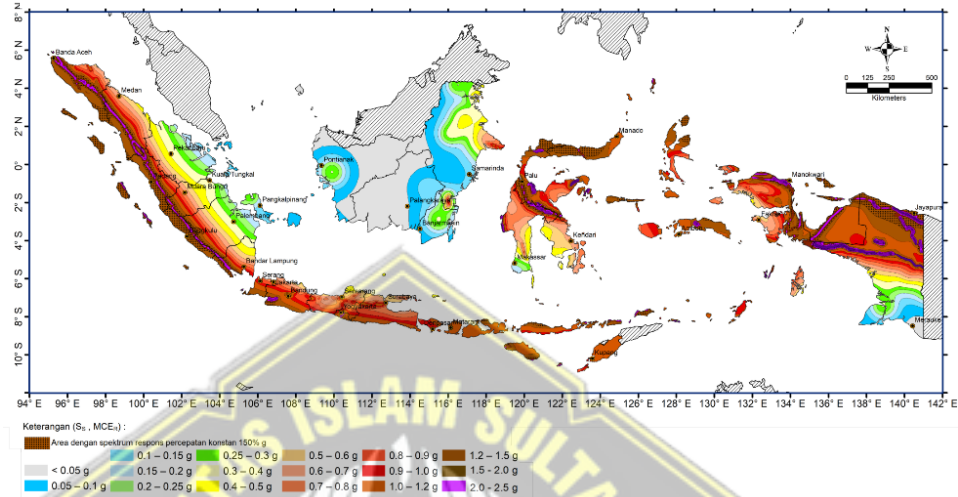
$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (2.1)$$

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

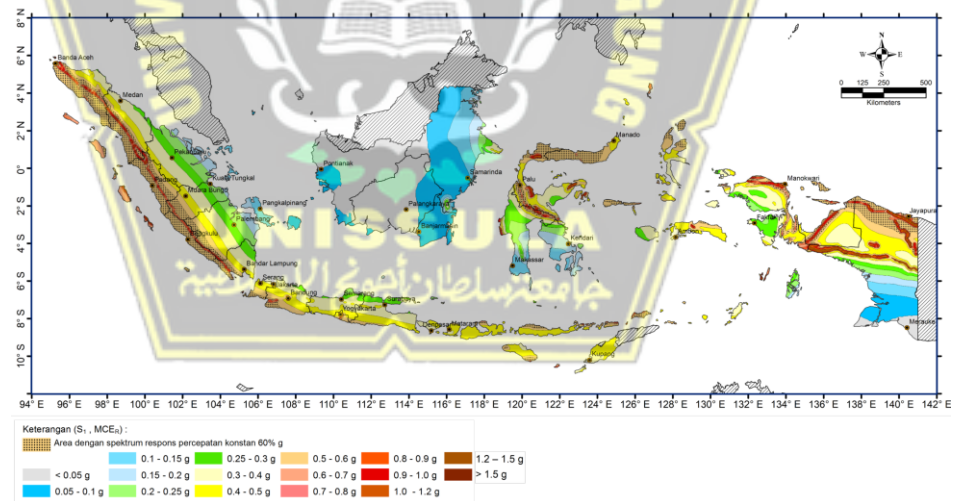
Keterangan :

S_s = Parameter respon spektra percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_1 = Parameter respon spektra percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik



Gambar 2. 1. Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)



Gambar 2. 2 parameter gerak tanah S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)

Tabel 2. 8. Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respon spektra percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$S_s^{(a)}$					

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2. 9. Koefisien situs F_v

Kelas situs	Parameter respon spektra percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
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

Sumber: Tabel 1726:2019

2.3.4. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Desain

Penentuan nilai parameter respon spektra percepatan gempa desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

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

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

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respon spektrum desain pada periode pendek

S_{D1} = Parameter respon spektrum desain pada periode 1 detik

2.3.5. Respon spektrum Desain

Respon spektrum desain dalam peraturan SNI 1726:2019 mempunyai perbedaan apabila dihadapkan pada peraturan SNI 1726:2012, yaitu dilakukan penjumlahan

periode panjang dalam kurva respon spektrum. Ketentuan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Nilai $T < T_0$, maka nilai S_a yaitu:

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

Nilai $T > T_1$, maka S_a yaitu

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

Nilai $T > T_s$, maka nilai S_a yaitu

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

Nilai $T > T_L$, maka S_a nilai S_a yaitu

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

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respon spektrum desain pada periode pendek

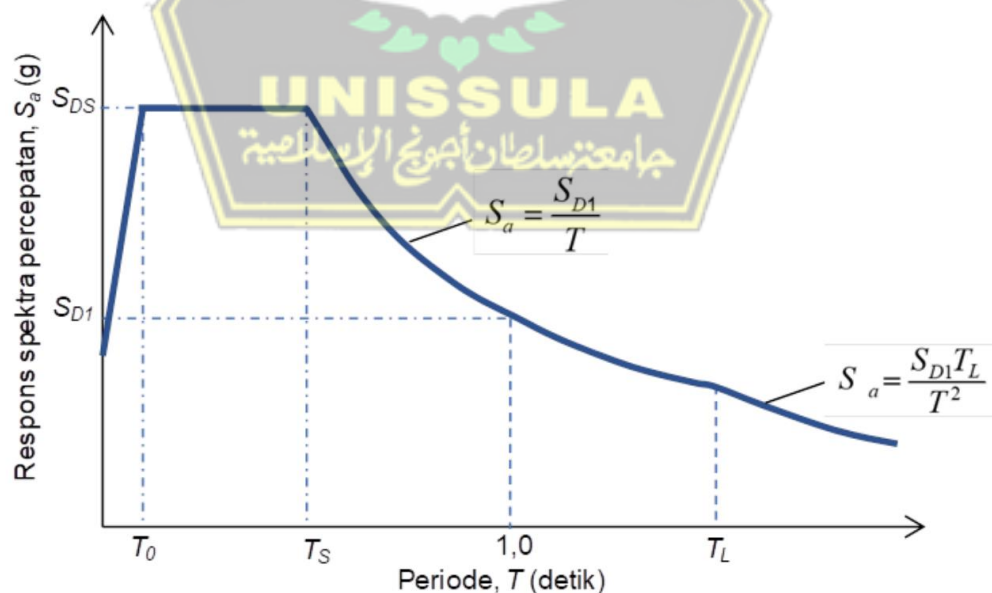
S_{D1} = Parameter respon spektrum desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

Nilai T_0 , T_s dan T_L dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2.10)$$



Gambar 2. 3. Respon spektrum Desain

2.3.6. Katagori Desain Seismik

Menentukan jenis kategori desain seismik (KDS) struktur bangunan memanfaatkan acuan SNI 1726:2019 pasal 6.5. Kategori desain seismik dapat dipilih sesuai dengan nilai S_{DS} dan S_{D1} yang sudah didapatkan dengan cara menentukan kategori risiko bangunan paling tinggi. Semakin tinggi huruf pada tabel kategori risiko maka semakin tinggi pula risiko gempa pada struktur bangunan.

Tabel 2. 10. Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Katagori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2. 11. Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Katagori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

2.3.7. Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda

Menentukan jenis Kategori Desain Seismik (KDS) struktur bangunan menggunakan acuan SNI 1726:2019 Pasal 6.5. Kategori desain seismik dapat ditentukan berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} yang telah didapatkan dengan cara menentukan kategori risiko bangunan paling tinggi. Semakin tinggi huruf pada tabel kategori risiko maka semakin tinggi pula risiko gempa pada struktur bangunan.

Tabel 2. 12. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respon R	Faktor kuat lebih defleksi, Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d					
				B	C	D	E	F
A. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TI	TI	TI
2. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
3. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
B. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber: SNI 1726:2019

2.3.8. Batasan Periode Fundamental

Sesuai pasal 7.8.2 SNI 1726:2019 periode fundamental struktur tidakizinkan melewati hasil perkalian koefisien guna batas atas pada periode yang terhitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan (T_a). Pengklasifikasian periode alami struktur dipengaruhi pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 13. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respon spektra desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726:2019

Periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik, ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$T_a = C_t \times h_n^x \dots\dots\dots (2.11)$$

$$T_{max} = C_u \times T_a \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan

h_n = Ketinggian struktur (m)

Koefisien C_t dan x ditentukan berdasarkan tabel berikut:

Tabel 2. 14. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
➤ Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
➤ Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726:2019

Nilai T_a digunakan untuk menghitung periode dasar pendekatan untuk struktur yang tingginya tidak melampaui dari 12 lantai. Sistem penahan gaya gempa tersusun dari rangka penahan momen yang keseluruhan terbuat dari beton atau seluruhnya terbuat dari baja, dan tinggi rata-rata minimal 3 m dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$T_a = 0,1N \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

N = Jumlah tingkat

2.3.9. Geser Dasar Seismik

Sesuai dengan pasal 7.8.1 SNI 1726:2019. Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditentukan diharuskan sama dengan persamaan:

$$V = C_s \times W \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

C_s = Koefisien respon seismik

W = Berat Seismik efektif

Koefisien respon seismik (C_s), sesuai dengan pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019 wajib ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

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

R = Koefisien modifikasi respon

I_e = Faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung berdasarkan persamaan diatas tak diperbolehkan lebih dari persamaan berikut:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.16)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.17)$$

C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots(2.18)$$

Dan untuk struktur yang berlokasi didaerah dimana $S_1 \geq 0,6g$. Maka C_s ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.19)$$

S_{D1} = Parameter percepatan respon spektra desain dalam pada periode 1,0 detik

T = Periode fundamental struktur (detik)

S_1 = Parameter percepatan respon spektra maksimum yang dipetakan

2.3.10. Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Gaya seismik lateral F_x di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} \times V \dots\dots\dots(2.20)$$

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

Keterangan:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

w_i dan w_x = Bagian berat seismik efektif total struktur (w) yang ditempatkan atau dikenakan pada i atau x

h_i dan h_x = Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

- Untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, = 1
- Untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, = 2
- Untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, = 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

2.3.11. Analisis Respon spektrum Ragam

Perlu dilakukan kajian untuk mengidentifikasi rentang getaran alami struktur sesuai dengan butir 7.9.1.1 SNI 1726:2019. Studi ini harus memiliki rentang data yang cukup untuk mendapatkan 100% massa struktur dalam varian gabungan. Diperbolehkan mengambil semua variasi dengan periode $< 0,05$ detik untuk memenuhi kriteria ini untuk satu benda tegar yang memiliki periode 0,05 detik.

2.3.12. Kombinasi dan Pengaruh Gempa

Beban gempa ialah beban yang bekerja dalam rangkaian struktur bangunan yang penyebabnya ialah pergeseran tanah yang diakibatkan oleh adanya gempa. Gempa desain yaitu pengaruh suatu gempa yang besarnya $2/3$ dari pengaruh MCE_R nya.

2.3.13. Penentuan dan Batasan Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai ialah perpindahan horizontal di bagian atas tingkat relatif terhadap bawahnya. Penentuan dan batasan simpangan antar lantai tercantum dalam pasal 7.8.6 SNI 1726:2019. Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) wajib dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Bila pusat massa tak segaris pada arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin dipergunakan, Δ wajib dihitung menggunakan gaya seismik desain tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.



Gambar 2. 4. Penentuan simpangan antar tingkat (SNI 1726:2019)

Simpangan pusat massa di tingkat-x (δ_x) (mm) wajib dipilih berdasarkan persamaan di bawah ini:

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (2.22)$$

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran simpang

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

I_e = Faktor keutamaan gempa

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) telah ditentukan sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019 pasal 17.2.1 tidak diperbolehkan melampaui simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a), terlihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 15. Simpangan antar tingkat izin

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Konstruksi 4 lantai atau kurang yang tidak terbuat dari dinding geser bata dan memiliki dinding bagian dalam, partisi, langit-langit, dan sistem dinding luar yang dapat mentolerir perubahan ketinggian antar tingkat.	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber: SNI 1726:2019

Keterangan :

- Untuk struktur penahan gempa yang terdiri dari hanya pemikul momen, simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi Δ_a / ρ untuk semua tingkat.
- Faktor redundansi untuk gedung dengan KDS D, E, dan F adalah $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 1726:2019).

2.3.14. Pengaruh P-Delta

Menurut pasal 7.8.7 SNI 1726:2019, dampak P-delta pada gaya lateral tingkat dan momen pada elemen struktur yang dihasilkan serta simpangan antar lantai yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) sama dengan atau kurang dari 0,10 seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\theta = \frac{P_x \times \Delta \times I_e}{V_x \times h_{sx} \times C_d} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan:

P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat- x , (kN); bila menghitung, faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

Δ = Simpangan antar tingkat desain, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)

I_e = Faktor keutamaan gempa

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat dan $x-1$ (kN)

h_{sx} = Tinggi tingkat dibawah tingkat (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi

2.3.15. Ketidakberaturan Struktur

Klasifikasi struktur beraturan dan ketidakberaturan tercantum pada SNI 1726:2019 pasal 7.3.2. Klasifikasi struktur bangunan wajib dilandaskan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari konstruksi gedung.

2.3.15.1. Ketidakberaturan Horizontal

Sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.3.2.1, suatu bangunan yang memperlihatkan satu atau lebih bentuk ketidakberaturan ditetapkan sebagai struktur horizontal yang tidak beraturan. Tabel berikut mencantumkan spesifikasi yang harus dipenuhi oleh struktur yang dimaksudkan untuk kategori desain seismik.

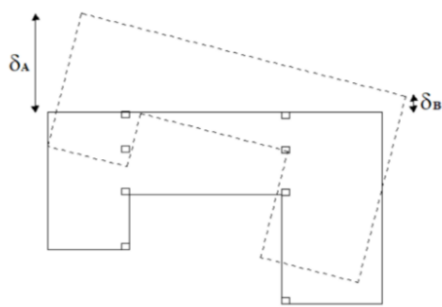
Tabel 2. 16. Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di manadiafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

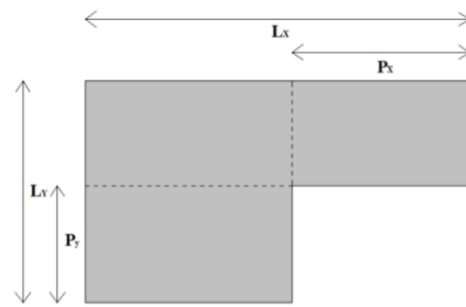
Tabel 2. 16. Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur (lanjutan)

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan kategori desain seismik
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 17.12.1 Tabel 16	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak turus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

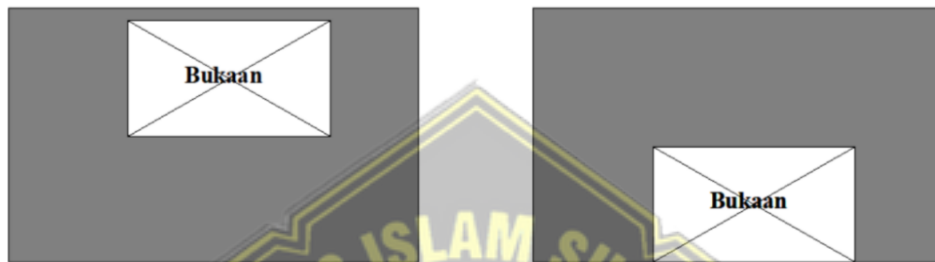
Sumber: SNI 1726:2019



(a) Ketidakberaturan 1a dan 1b



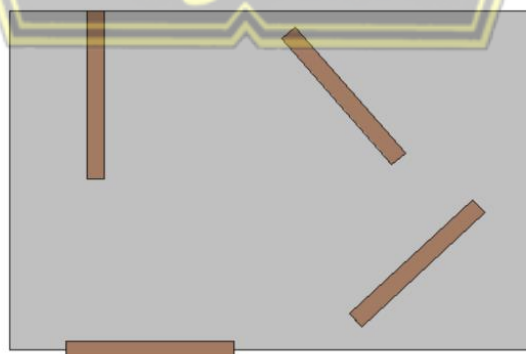
(b) Ketidakberaturan 2



(c) Ketidakberaturan 3



(d) Ketidakberaturan 4



(e) Ketidakberaturan 5

Gambar 2. 5. Ketidakberaturan Horizontal
(SNI 1726:2019)

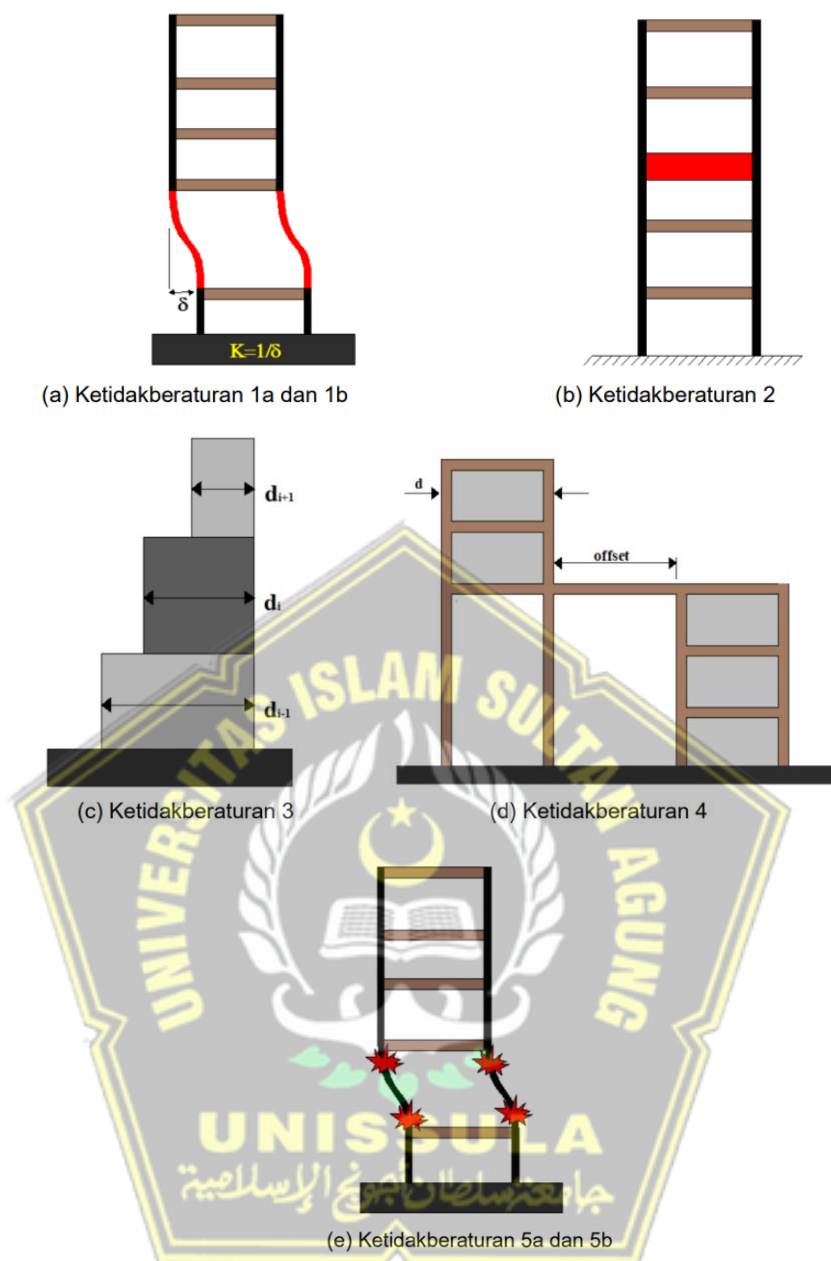
2.3.15.2. Ketidakberaturan Vertikal

Sesuai dengan pasal 7.3.2.2 SNI 1726:2019. Struktur yang memiliki satu atau lebih tipe ketidakberaturan wajib dinyatakan memiliki ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik yang ada pada tabel berikut:

Tabel 2. 17. Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65% kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

Sumber: SNI 1726:2019



Gambar 6 – Ketidakberaturan vertikal

Gambar 2. 6. Ketidakberaturan Vertikal
(SNI 1726:2019)

2.4. Perancangan Elemen Struktur

2.4.1. Perancangan Pelat

Pelat beton bertulang adalah konstruksi beton bertulang tipis yang mempunyai bidang horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus terhadap bidang itu. Jika dihadapkan pada panjang dan lebarnya, ketebalan bidang pelat itu terbilang cukup tipis. Orientasi horizontal pelat beton bertulang ini membuatnya bekerja dalam

struktur sebagai diafragma atau elemen pengaku horizontal, yang cukup membantu guna memperkuat kekakuan balok portal (Asroni, A, 2014a: 161).

Dalam merancang dimensi pelat terdapat batasan ketebalan minimum pelat yang ditentukan dalam Pasal 8 SNI 2847:2019.

Tabel 2. 18. Ketebalan Minimum Pelat

f_y (MPa)	Tanpa Drop Panel			Dengan Drop Panel		
	Panel Exterior		Panel Interior	Panel Exterior		Panel Interior
	Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi		Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi	
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

Sumber : SNI 2847:2019

Untuk menahan momen lentur yang bekerja pada pelat dibutuhkan tulangan lentur. Luas minimum tulangan ($A_{s \min}$) diatur dalam Pasal 8.6.1.1 SNI 2847:2019 yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 19. $A_{s \min}$ Untuk Pelat

Tipe Tulangan	f_y (MPa)	$A_{s \min}$	
Batang Ulir	< 420	$0,0020A_g$	
Batang Ulir / Kawat las	≥ 420	Terbesar dari :	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
			$0,0014A_g$

Sumber : SNI 2847:2019

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

Balok sistem rangka pemikul momen khusus ialah bagian sistem pemikul gaya seismik dan umumnya dirancang guna menahan lentur serta geser. Tiap komponen rangka yang terkena gaya tekan aksial terfaktor lebih dari ($A_g f_c'/10$) akibat tiap kombinasi beban wajib diproporsionalkan serta didetailkan.

Dalam perancangan dimensi balok terdapat batasan tinggi minimum yang diatur dalam SNI 2847-2019 pasal 9.3.1.1 yang bisa diketahui dari tabel 2.20.

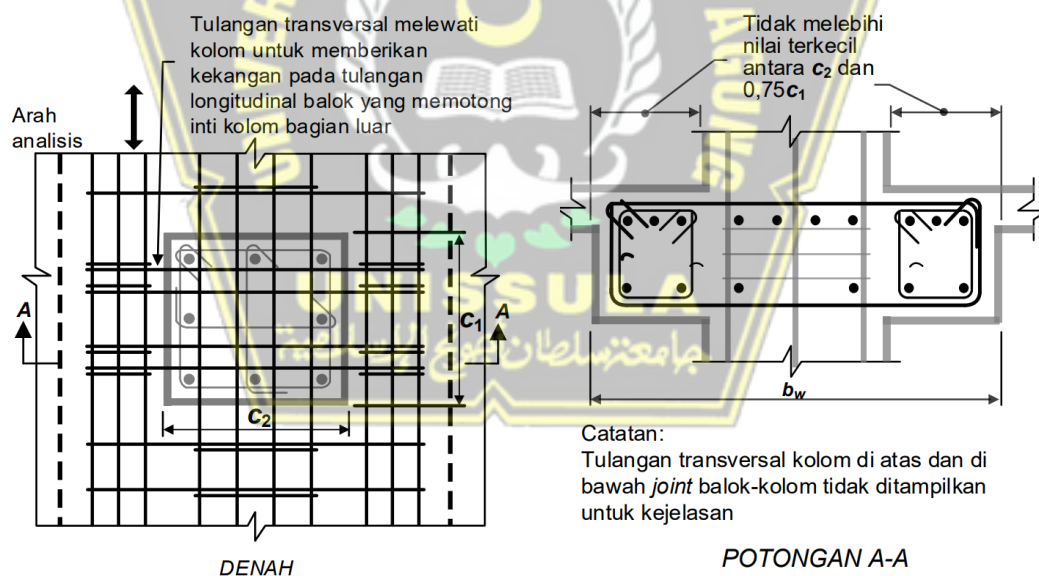
Tabel 2. 20. Tinggi Balok Minimum (h)

Kondisi Perlekatan	Minimum h
Perlekatan Sederhana	$\ell/16$
Menerus Satu Sisi	$\ell/18,5$
Menerus Dua Sisi	$\ell/21$
Kantilever	$\ell/8$

Sumber : SNI 2847:2019

Syarat dimensi penampang pada balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) diatur dalam SNI 2847-2019 pada Pasal 18.6.2.1. Berikut merupakan persyaratan yang wajib dipatuhi:

- Panjang bentang bersih (ℓ_n) harus lebih besar dari 4 kali tinggi efektif.
- Lebar penampang (b_w), diwajibkan sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm.
- Proyeksi lebar balok yang melebihi lebar kolom penumpu tidak diperbolehkan melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75 c_1$ pada tiap sisi kolom.



Gambar 2. 7. Lebar efektif maksimum balok lebar (*wide beam*) dan persyaratan tulangan transversal (SNI 2847:2019)

Syarat tulangan lentur pada balok SRPMK diatur dalam SNI 2847-2019 terdiri dari beberapa macam syarat. Berikut merupakan syarat yang harus dipenuhi:

a) Syarat tulangan lentur pada SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.1

Jumlah tulangan lentur baik di sebelah atas atau di sebelah bawah penampang (A_s) tidak boleh kurang dari :

$$\frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w \times d \left\{ \dots\dots\dots (2.34) \right.$$

$$\left. \frac{1,4}{f_y} b_w \times d \dots\dots\dots (2.35) \right\} \text{ (diambil yang terbesar) } \leq A_s \leq 0,025.b_w.d$$

Minimal harus dipasang dua buah tulangan longitudinal, baik di sisi atas maupun di sisi bawah.

b) Syarat tulangan lentur pada SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2

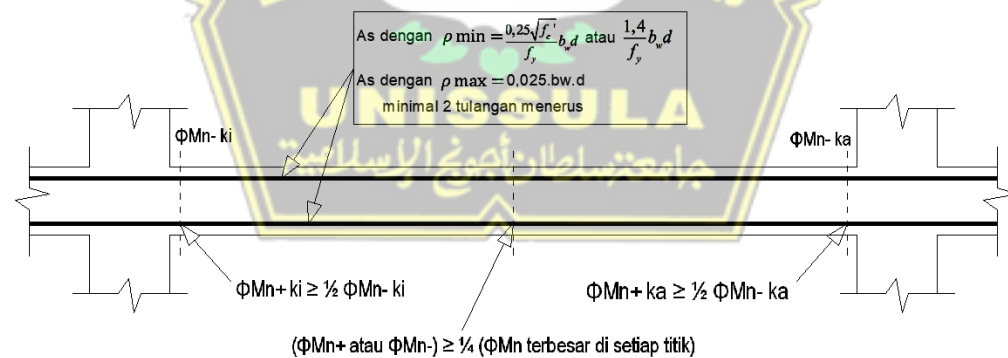
Kekuatan momen positif pada muka kolom harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka kolom tersebut :

$$\phi M_n^+ \text{ ki} \geq \frac{1}{2} \phi M_n^- \text{ ki} \quad \text{(tumpuan kiri)} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$\phi M_n^+ \text{ ka} \geq \frac{1}{2} \phi M_n^- \text{ ka} \quad \text{(tumpuan kanan)} \dots\dots\dots (2.37)$$

Kekuatan lentur negatif dan kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang harus lebih dari $\frac{1}{4}$ kekuatan momen maksimum pada kedua penampang kolom tersebut.

$$(\phi M_n^+ \text{ atau } \phi M_n^-) \geq \frac{1}{4} (\phi M_n \text{ terbesar di setiap titik}) \dots\dots\dots (2.38)$$

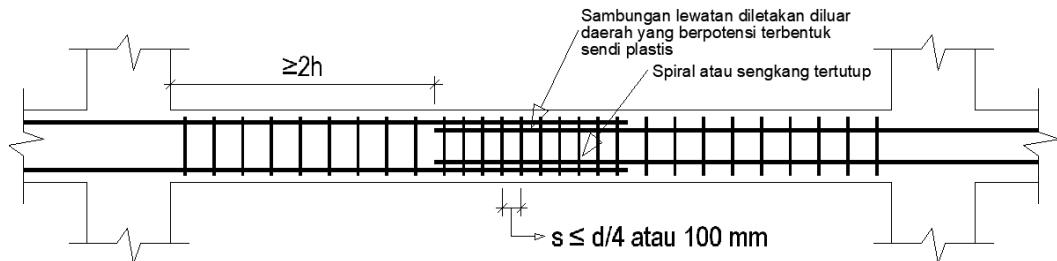


Gambar 2. 8. Persyaratan Tulangan Lentur SRPMK

c) Syarat tulangan lentur pada SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.3

Sambungan Tulangan lentur hanya diperbolehkan jika bagian sambungan sambungan dilekatkan dengan tulangan spiral. Jaraknya tidak lebih dari $d/4$ atau 100 mm dapat digunakan untuk mengikat daerah sambungan layang. Sambungan overhead tidak diperbolehkan untuk digunakan pada:

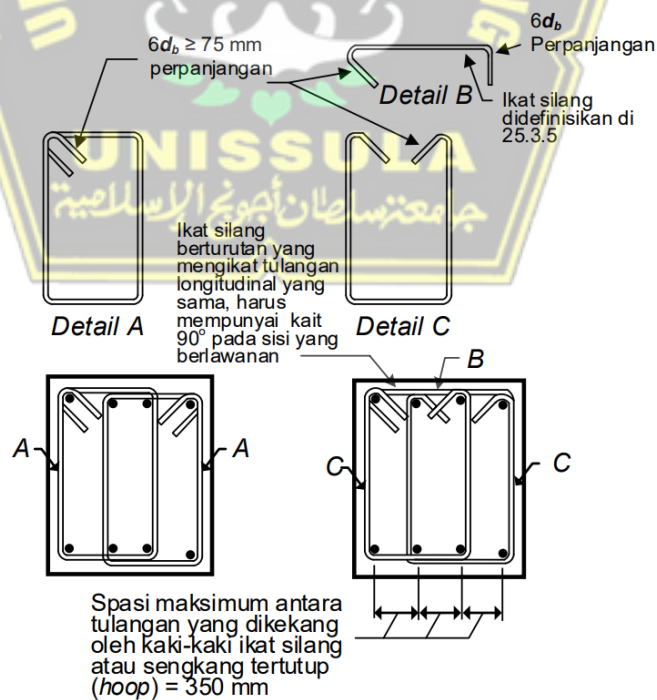
- Daerah hubungan balok-kolom
- Daerah hingga sejarak $2x$ tinggi balok dari muka kolom
- Pada tempat yang berdasarkan analisis, menunjukkan kemungkinan terjadinya leleh lentur akibat perpindahan inelastis struktur rangka.



Gambar 2. 9. Persyaratan Sambungan Lewatan SRPMK

Sengkang pengekat pertama wajib diletakkan tidak melebihi dari 50 mm ujung kolom penumpu. Jarak sengkang pengekat tidak diperbolehkan lebih dari nilai terkecil:

- $d/4$
- 6 kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama, tidak termasuk tulangan longitudinal samping
- 150 mm

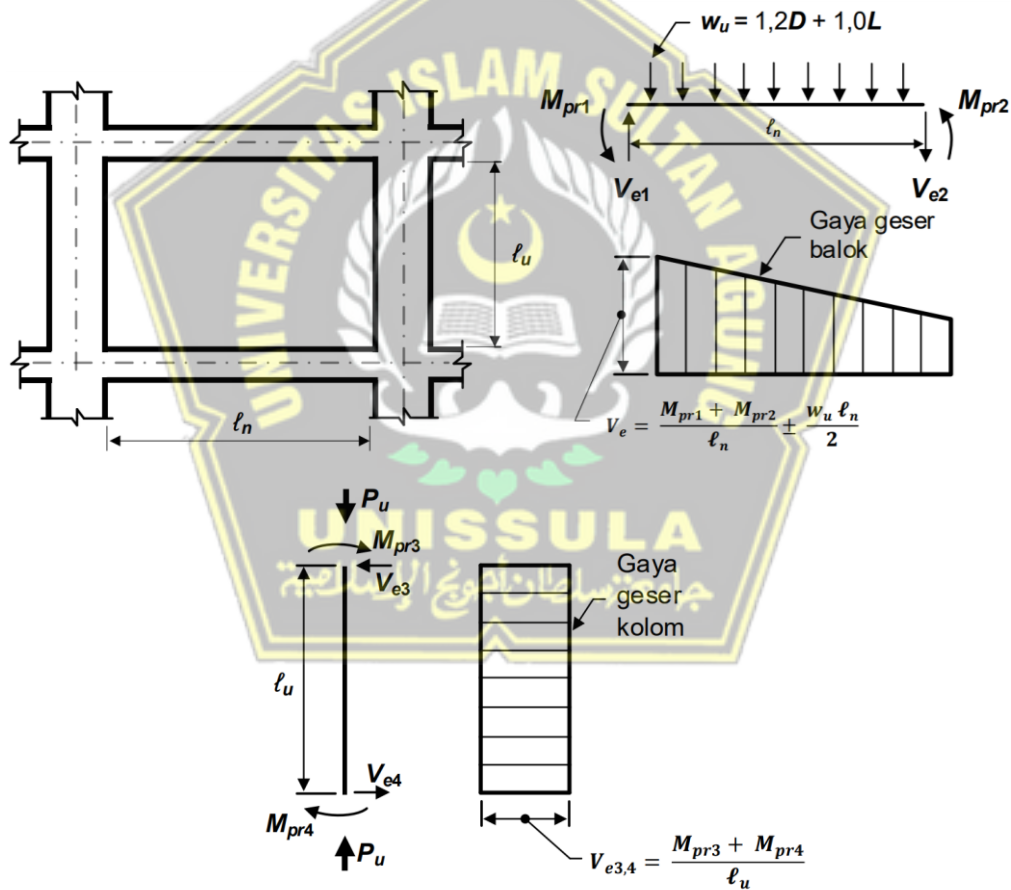


Gambar 2. 10. Contoh sengkang tertutup pada balok SRPMK (SNI 2847:2019)

Gaya-gaya di penampang balok antara dua ujung sambungan wajib ditinjau kembali untuk menghitung gaya geser rencana V_e . Ketika balok diberi beban dengan beban gravitasi terfaktor dengan panjang sama bentangnya, momen-momen dengan tanda yang bertolak belakang dari momen kuat momen lentur fisibel tertinggi, M_{pr} wajib diperkirakan bekerja pada ujung-ujung sambungan.

Jika kriteria berikut terpenuhi, tulangan transversal di lokasi yang ditentukan harus dikonstruksi untuk menahan pergeseran dengan menganggap $V_c = 0$.

- Gaya geser akibat gempa yang dihitung mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum pada bentang tersebut.
- Gaya geser akibat gempa yang dihitung mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum pada bentang tersebut.



Gambar 2. 11. Geser desain untuk balok dan kolom
(SNI 2847:2019)

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

1. Kolom harus mencakup syarat-syarat berikut:

- Ukuran penampang terendah, diukur sepanjang garis lurus melewati pusat geometri, harus paling sedikit 300 mm.
- Harus ada rasio minimum 0,4 antara dimensi penampang terendah dan dimensi tegak lurus.

2. Kekuatan lentur kolom harus memenuhi:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \quad \dots\dots\dots (2.39)$$

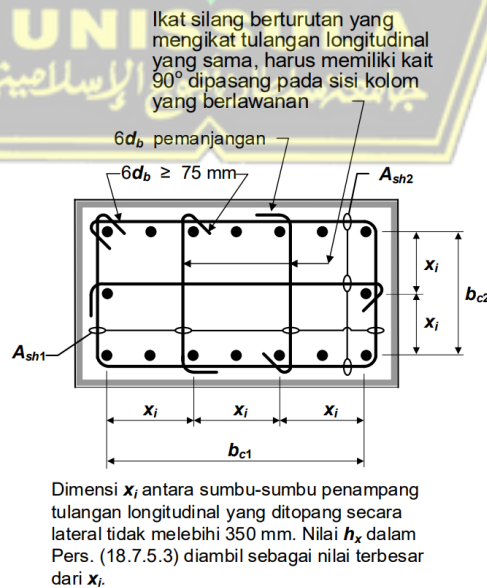
$\sum M_{nc}$: Total kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka kedalam *joint*, yang dievaluasi pada muka-muka *joint*.

$\sum M_{nb}$: Total kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi pada muka-muka *joint*.

3. Luas tulangan longitudinal A_{st} tidak diperbolehkan kurang dari $0,01A_g$ dan tidak melebihi $0,06A_g$.

4. Panjang ℓ_o tidak diizinkan kurang dari nilai terbesar antara persamaan berikut:

- Tinggi kolom di muka *joint* atau di penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan timbul
- 1/6 tinggi bersih timbul
- 450 mm



Gambar 2. 12. Contoh penulangan transversal pada kolom (SNI 2847:2019)

5. Spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari persamaan berikut:

- a) Seperempat dimensi terkecil penampang kolom
- b) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- c) Jadi, yang dihitung dengan

$$S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \dots\dots\dots (2.40)$$

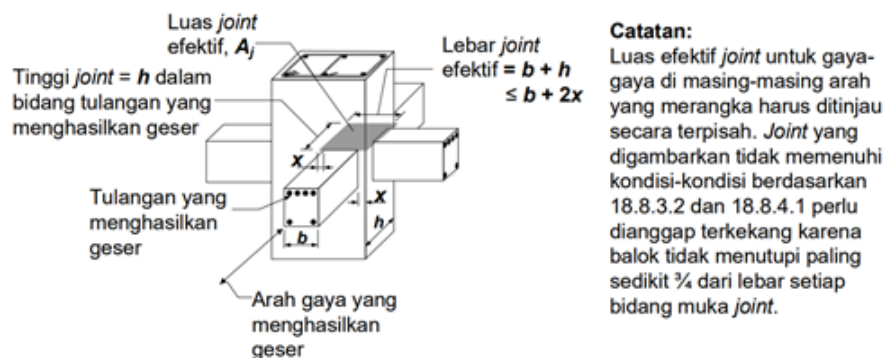
Tabel 2. 21. Tulangan transversal untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK)

Kombinasi Beban	Kondisi	Persamaan yang berlaku	
A_{sh}/S_{bc} Untuk sengkang pengekan persegi	$P_u \leq 0,3A_g \times f_c'$ Dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)	$0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (a)$ $0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (b)$
	$P_u \leq 0,3A_g \times f_c'$ Dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c)	$0,2 k_f \times k_n \frac{P_u}{f_{yt} \times A_{ch}} \quad (c)$
ρ_s untuk spiral ataupun sengkang pengekan lingkaran	$P_u \leq 0,3A_g \times f_c'$ Dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d) dan (e)	$0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (a)$ $0,12 \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (b)$
	$P_u \leq 0,3A_g \times f_c'$ Dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d), (e) dan (f)	$0,35 k_f \times k_n \frac{P_u}{f_{yt} \times A_{ch}} \quad (c)$

Sumber: Tabel 18.7.5.4 SNI 2847:2019

6. Tinggi *joint* dikalikan lebar efektif *joint* untuk menentukan luas penampang efektif pada *joint* (A_j). Tinggi sambungan dan lebar kolom h harus cocok, kecuali ada balok yang membingkai kolom yang lebih luas, lebar sambungan efektif harus sesuai dengan lebar kolom. Juga tidak boleh melebihi nilai terkecil dari persamaan berikut:

- a) Lebar balok ditambah tinggi *joint*.
- b) Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.



Gambar 2. 13. Luas *joint* efektif
(SNI 2847:2019)

2.4.4. Strong Column Weak Beam

Persyaratan mekanisme *Strong Column Weak Beam* (Kolom Kuat Balok Lemah) adalah :

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \dots\dots\dots (2.33)$$

Definisi sesuai dalam pasal 18.7.3.3 SNI 2847:2019.

$\sum M_{nc}$ = Momen total pada muka sambungan, yang dihubungkan dengan kekuatan lentur nominal kolom yang menopang sambungan dan dihitung untuk beban aksial terfaktor, sesuai dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\sum M_{nb}$ = Jumlah total momen pada muka sambungan, yang berhubungan dengan kekuatan lentur nominal balok (termasuk pelat dalam tarik) yang menopang persimpangan.

2.4.5. Hubungan Balok Kolom (*Joint*) pada SRPMK

Merupakan daerah pertemuan antara kolom dan balok yang harus didetailkan dengan baik. Analisis perhitungan hubungan balok-kolom dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Cek syarat panjang *joint*

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.8.2.3, untuk beton standar dan beton ringan, dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok masing-masing harus kurang dari 20 kali dan 26 kali diameter tulangan memanjang terbesar dari balok dimensi tulangan.

2. Cek tulangan geser untuk *confinement*

Pada pasal 18.8.3.1 SNI 2847:2019 jumlah tulangan *confinement* dapat memakai seperti pada detail tulangan geser kolom pada ℓ_o .

3. Menghitung gaya geser pada *joint*

➤ Momen balok yang timbul

$$M_c = 0,5 \times (M_{pr}^+ - M_{pr}^-) \dots\dots\dots (2.24)$$

4. Menghitung gaya geser pada kolom

$$V_{goyangan} = \frac{M_c + M_c}{l_n} \dots\dots\dots (2.25)$$

5. Menghitung gaya pada tulangan balok longitudinal

➤ Luas tulangan atas

$$T_1 = 1,25 \times A_s \times f_y \dots\dots\dots (2.26)$$

➤ Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kiri hubungan balok-kolom

$$C_1 = T_1 \dots\dots\dots (2.27)$$

➤ Luas tulangan bawah

$$T_2 = 1,25 \times A_s \times f_y \dots\dots\dots (2.28)$$

➤ Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kanan hubungan balok-kolom

$$C_2 = T_2 \dots\dots\dots (2.29)$$

6. Menghitung kuat geser pada *joint*

$$V_j = T_1 + T_2 - V_{goyangan} \dots\dots\dots (2.30)$$

7. Menghitung kuat geser yang dikekang keempat sisinya

$$V_n = 1,7 \lambda \times \sqrt{f_c} \times A_g \dots\dots\dots (2.31)$$

$$\phi V_n = 0,85 \times V_n \dots\dots\dots (2.32)$$

Dari analisis perhitungan yang dilakukan, kuat geser yang dikekang keempat sisinya harus lebih besar daripada gaya geser *joint* yang ditimbulkan.

2.4.6. Dinding Geser

2.4.6.1. Pengertian Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dinding geser ialah konstruksi dinding vertikal yang dimaksudkan guna menahan tegangan geser seismik lateral. Sebagian besar beban gempa akan diserap oleh dinding geser kaku bangunan karena keberadaannya. Desain dinding geser yang baik tidak terlepas dari opsi bentuk dinding, posisi peletakannya pada denah, dan

jenis keruntuhannya. Dinding geser sering terletak di luar, di dalam, atau dalam bentuk inti yang menahan *lift* atau tangga.

2.4.6.2. Klasifikasi Dinding Geser

Dinding geser dapat dikategorikan menjadi 3 kategori berdasarkan lokasi dan tujuannya, yaitu:

1. Dinding geser yang dikenal sebagai dinding bantalan menopang sebagian besar beban gravitasi. Di antara bagian tetangga dari dinding ini, dinding partisi juga digunakan.
2. Dinding rangka adalah dinding geser yang dapat menahan beban lateral, dengan rangka beton bertulang memberikan beban gravitasi. Di antara kolom bagian dalam ditempatkan dinding ini.
3. Dinding inti, yang biasanya terlihat pada poros elevator atau tangga, adalah dinding geser yang merupakan bagian dari inti pusat sebuah bangunan. Dinding area inti pusat melayani dua tujuan dan dipandang sebagai pilihan yang hemat biaya.

Menurut geometrinya, dinding geser termasuk dalam salah satu kategori berikut:

1. *Flecural Wall* (dinding ramping), yaitu dinding geser dengan perbandingan $h_w/l_w \leq 2$ dan perilaku lenturnya diatur dalam desain.
2. *Squat Wall* (dinding pendek), dinding geser dengan rasio $h_w/l_w \geq 2$ dimana desainnya disesuaikan dengan perilaku lentur.
3. Dinding Geser Berpasangan: Dinding geser jenis ini menggunakan balok penghubung untuk menahan sepasang dinding geser bersama-sama sehingga tekanan tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dinding dasar dapat menahan momen guling yang disebabkan oleh tegangan gempa.

2.4.6.3. Tulangan Minimum

1. Rasio minimum luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton ρ_l , harus :
 - a. 0,0012 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y tidak kurang dari 420 Mpa, atau
 - b. 0,0015 untuk batang tulangan ulir lainnya, atau
 - c. 0,0012 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari $\emptyset$ -16 atau D-16

2. Rasio minimum luas tulangan horizontal terhadap luas beton ρ_t harus:
 - a. 0,0020 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y tidak kurang dari 420 Mpa, atau
 - b. 0,0025 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
 - c. 0,0020 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari $\emptyset$ -16 atau D-16

2.4.6.4. Batas Ketinggian Bangunan yang Ditingkatkan untuk Dinding Geser Beton Bertulang

Untuk struktur yang dikembangkan dengan kategori desain seismik D atau E, batasan ketinggian dapat dinaikkan dari 48 m menjadi 72 m. Spesifikasi berikut harus dipenuhi oleh struktur jika memiliki sistem penahan gaya gempa berupa dinding geser beton bertulang yang dicor di tempat:

- a. Konstruksi harus mematuhi definisi tabel 2.16 tentang kelainan torsi yang parah (ketidakteraturan struktural tipe 1b).
- b. Terlepas dari dampak torsi tak terduga, dinding geser beton bertulang yang dicor di tempat khusus harus mampu menopang tidak lebih dari 60% dari total gaya seismik di setiap arah di semua bidang.

2.4.6.5. Pengangkuran Dinding Struktural

Pelat atap, pelat lantai, dan bahan-bahan konstruksi lain yang memberi tahanan lateral atau penopang dinding semuanya harus diamankan ke dinding struktur yang bermanfaat guna penahan beban vertikal atau tahanan geser lateral dalam komponen struktur. Jangkar wajib menawarkan hubungan langsung antara dinding dan struktur lantai atau pelat atap. Jangkar harus mampu memikul gaya horizontal yang dihitung paling sedikit 0,2 kali berat luas dinding dalam sambungan tetapi $< 0,24$. Gaya ini harus diterapkan tegak lurus terhadap bidang dinding.

2.4.6.6. Gaya Pengangkuran Dinding

Dinding struktural wajib terhubung langsung ke struktur pendukung dan mampu menahan gaya desain berikut:

$$F_p = 0,4 S_{DS} \times K_a \times I_e \times W_p \dots\dots\dots(2.41)$$

F_p tidak boleh diambil kurang dari $0,2 K_a \times I_e \times W_p$

$$K_a = 1,0 \frac{L_f}{30} \dots\dots\dots(2.42)$$

K_a tidak perlu diambil sebesar 2,0

Keterangan:

F_p = Gaya desain pada angkur-angkur individu

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektra desain pada periode pendek

$$\left(S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \right)$$

I_e = Faktor keutamaan gempa (Tabel 2.4)

k_a = Faktor amplifikasi untuk fleksibilitas diafragma

L_f = Bentang diafragma fleksibel (dalam m) yang memberikan tumpuan lateral pada dinding; bentang tersebut diukur antara elemen-elemen vertikal yang menyediakan tumpuan lateral terhadap diafragma tersebut pada araha yang ditinjau.

W_p = Berat dinding sesuai luasan pada daerah angkur

Bila angkur tidak terletak di atap dan seluruh diafragma tidak fleksibel, maka nilai yang diperoleh dari $F_p = 0,4 S_{DS} \times K_a \times I_e \times W_p$ diizinkan untuk dikalikan dengan faktor $\frac{1+\frac{2z}{h}}{3}$, dimana z adalah tinggi angkur di atas dasar struktur dan h adalah tinggi atap di atas dasar.

Dinding struktural harus didesain untuk menahan lentur antara angkur-angkur bila spasi angkur melebihi 1200 mm.

2.4.6.7. Perancangan Dinding Geser

Pengekangan pada dinding geser terjadi pada daerah elemen pembatas (*boundary element*). Elemen pembatas ini ditentukan dengan persamaan :

$$c > \frac{l_w}{600 \times \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)}; \frac{\delta_u}{h_w} > 0,007 \dots\dots\dots(2.43)$$

Keterangan:

c = Panjang dari serat terluar beton ke garis normal. Untuk nilai δ_u didapat dari *drift* hasil analisa menggunakan *software*

h_w = Tinggi dinding geser

Jika nilai $\frac{\delta_u}{h_w} < 0,007$, maka nilai yang digunakan adalah 0,007.

Jika $c > \frac{l_w}{600 \times \left(\frac{\delta_u}{h_w}\right)}$, maka dinding geser tidak memerlukan tulangan pengekan.

Tulangan pengekan harus dipasang sepanjang elemen pembatas (*boundary element*). Untuk panjang elemen pembatas harus dipasang secara horizontal tidak kurang dari :

➤ $c - 0,1l_w$

➤ $\frac{c}{2}$

Menentukan luas tulangan pengekan pada dinding geser juga menggunakan rumus di bawah ini :

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s \times b_c \times f_{cr}}{f_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.44)$$

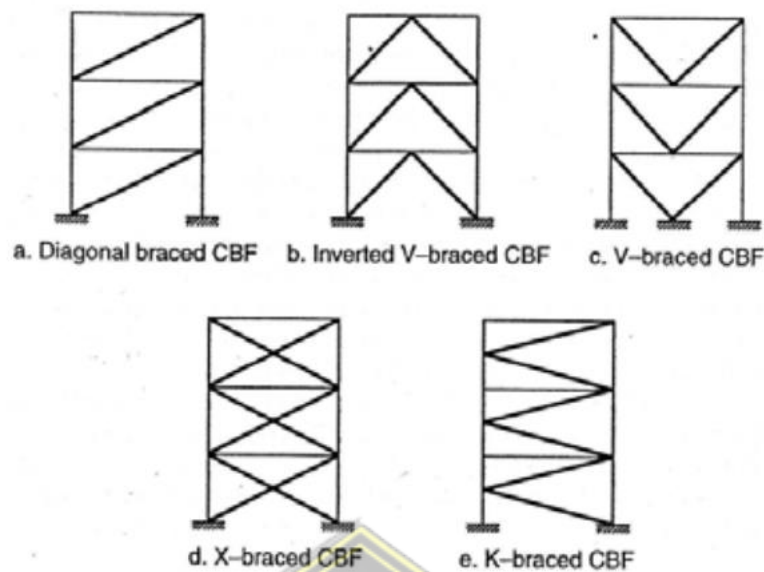
$$A_{sh} = 0,09 \frac{s \times b_c \times f_{cr}}{f_y} \dots\dots\dots(2.45)$$

2.4.7. Struktur Baja Tahan Gempa

Ada berbagai macam portal baja tahan gempa salah satunya yaitu rangka Bresing. Terdapat dua jenis rangka Bresing yaitu bresing konsentris *centrically braced frames* (CBF) dan *eccentrically braced frames* (EBF).

2.4.7.1. *Centrically Braced Frames* (CBF)

Sistem penahan gaya lateral dengan ciri-ciri kekakuan elastis yang kuat dikenal sebagai rangka bresing konsentris atau *Centrically Braced Frames* (CBF). Ketahanan penyangga diagonal terhadap tekanan lateral pada struktur rangka, yang meningkatkan aksi gaya aksial dan aksi lentur kecil, menghasilkan kekakuan tinggi. Perilaku *bracing* khas selama pembebanan siklik ketika diterapkan awalnya dalam ketegangan dan kompresi. Kapasitas tekuk awal masing-masing ditunjuk sebagai C_r dan C_r' . Momen-momen dalam sistem biasanya diabaikan saat merancang dan menganalisis bingkai berpengekang. Deformasi inelastis yang besar dari elemen bresing dalam sistem ini diperkirakan dapat terjadi tanpa mengurangi ketahanan dan kekakuan struktur secara signifikan:



Gambar 2. 14. Konfigurasi Sistem CBF

(Alfredo Simatupang, 2015)



Gambar 2. 15. Perilaku Konfigurasi Sistem CBF

(Alfredo Simatupang, 2015)

Distribusi beban lateral dalam bidang *breising* mensyaratkan bahwa komponen struktur breising dipasang pada arah yang sejajar dengan gaya lateral pada bidang breising. Paling sedikit 25% tetapi < 75% dari total gaya horizontal harus ditopang oleh komponen struktur terbreis tarik, kecuali kuat tekan nominal N_n untuk setiap batang bresing lebih besar dari beban terfaktor N_u .

Sistem Rangka Bracing Konsentris Biasa (SRBKB) dan Sistem Rangka Bracing Konsentris Khusus (SRBKK) merupakan dua subkategori dari sistem struktur CBF.

- Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB) pada sistem SRBKB ini struktur dapat mengalami deformasi inelastis secara terbatas apabila dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari gempa rencana.

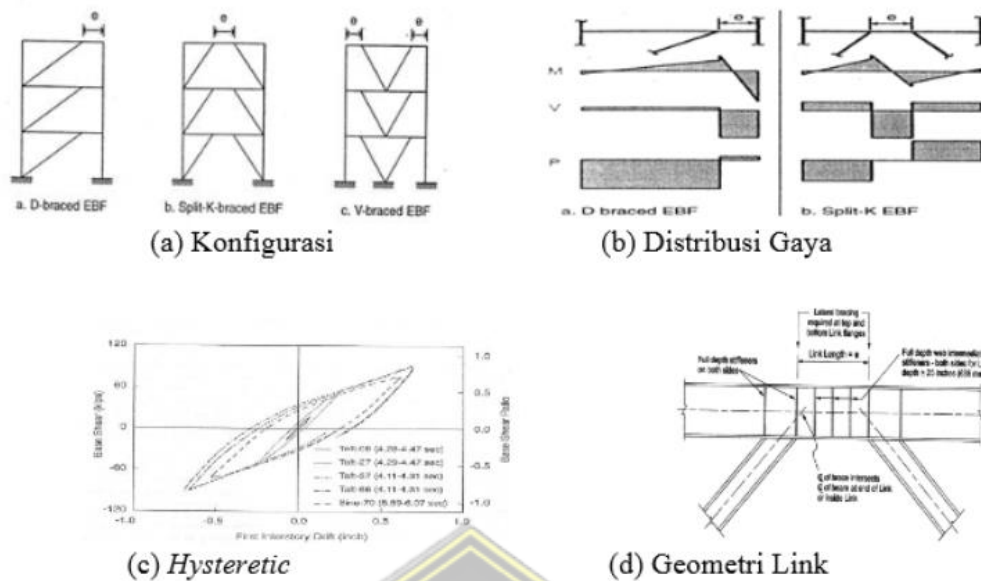
- b. Akibat gaya gempa rencana, Sistem Rangka Penguat Konsentris Khusus (SRBKK) pada sistem SRBKK struktural dapat mengalami deformasi inelastis yang relatif signifikan. Karena sistem SRBKK lebih banyak mengalami deformasi daripada sistem SRBKB, dan karena sistem SRBKK kehilangan kekuatan lebih sedikit ketika bresing tertekuk, sistem SRBKK lebih ulet daripada sistem SRBKB.

Karena adanya bagian yang dibresing, sistem struktur CBF lebih kaku daripada struktur MRF secara keseluruhan. Berbeda dengan sistem struktur MRF, struktur CBF memiliki tingkat daktilitas yang lebih rendah karena kekakuan CBF yang cukup besar, yang membatasi jumlah deformasi yang mungkin terjadi pada struktur.

2.4.7.2. *Eccentrically Braced Frames (EBF)*

Sistem struktur EBF menggabungkan ide daktilitas dan disipasi energi untuk menciptakan struktur baja yang menahan gaya lateral. Dibandingkan dengan sistem kerangka tradisional, EBF menggabungkan sejumlah fitur yang berbeda, termasuk elastisitas tinggi, respons inelastis yang stabil terhadap tekanan lateral siklis, keuletan, dan kapasitas disipasi energi yang signifikan (Alfredo Simatupang, 2015).

Filosofi desain EBF bertujuan untuk menjaga tegangan maksimum tautan tetap konstan dengan membatasi tindakan inelastis di atasnya dan dengan membuat kerangka kerja di sekitarnya. Sambungan yang digunakan dalam desain yang menggunakan metode ini harus dibuat untuk berfungsi sebagai sekering daktil seismik dan menjaga integritas struktural kerangka seismik. Kurva histeresis sistem EBF stabil dan melingkar dengan baik selama pembebanan siklik, menunjukkan disipasi energi yang signifikan. Agar elemen penghubung menjadi komponen yang akan dihancurkan sementara bagian lainnya diantisipasi untuk tetap dalam keadaan elastis, inilah ide dasar di balik konstruksi EBF. Leleh geser atau leleh lentur adalah dua jenis leleh yang berbeda yang mungkin terjadi pada elemen penghubung. Panjang sambungan memiliki dampak yang signifikan terhadap bentuk keletihan ini (Alfredo Simatupang, 2015).



Gambar 2. 16. Eccentrically Braced Frames (EBF)
(Alfredo Simatupang, 2015)

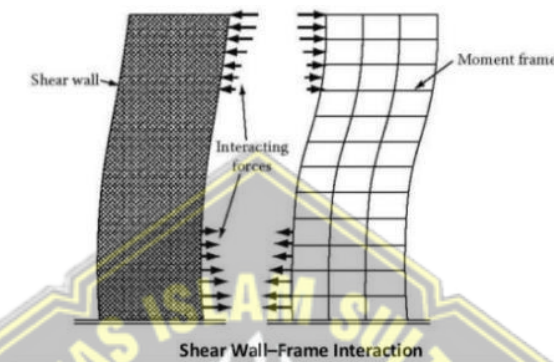
Komponen struktural yang disebut balok penghubung dimaksudkan guna berperilaku inelastis dan bisa mengalami deformasi plastis yang signifikan sebagai respons terhadap tegangan lateral. Pada saat terjadi tegangan lateral, *link section* berguna sebagai penyerap energi (gempa). Tergantung pada panjang *link* yang digunakan, mekanisme leleh pada elemen *link* tersusun atas dua mekanisme leleh: leleh geser dan leleh lentur. Kekakuan lateral sistem struktur EBF tergantung pada hubungan antara panjang link dengan panjang elemen balok. Struktur portal berubah kaku hingga mencapai kekakuan struktur CBF jika panjang elemen penghubungnya lebih kecil. Jika panjang link lebih besar, terjadi sebaliknya. Komponen struktur di luar link pada konstruksi EBF dibuat untuk berperilaku elastis, sedangkan link section dibuat agar mampu menekuk secara inelastis akibat tegangan lateral (gempa).

2.5. Sistem Ganda (Dual System)

Sistem ganda, yang sering dimanfaatkan dalam gedung bertingkat tinggi, menggabungkan portal penahan momen dengan dinding geser. Sistem ganda sebagian besar dimanfaatkan dalam konstruksi bertingkat tinggi yang dibangun di daerah rawan gempa. Konstruksi sistem ganda dapat menangani tegangan geser dengan sangat mudah.

Berdasarkan SNI 1726:2019 sistem ganda tersusun atas:

- a) Kerangka luar angkasa yang menopang berat penuh gravitasi,
- b) Memikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka tahan momen harus dikembangkan secara independen dan mampu menopang setidaknya 25% dari semua beban lateral,
- c) Kedua sistem harus dirancang guna menangani semua beban lateral secara bersamaan sambil memperhitungkan interaksi antara banyak sistem.



Gambar 2. 17. Interaksi Rangka dan Dinding dalam Sistem Ganda (SNI 1727 2019)

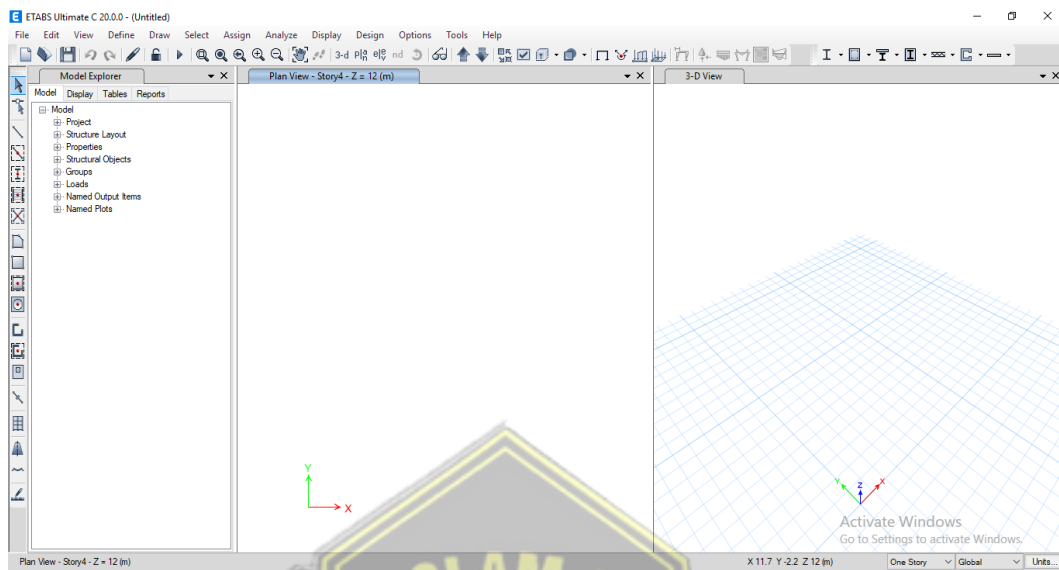
2.6. Software Yang Digunakan

2.6.1. ETABS V.18

Bisnis perangkat lunak *Computers and Structures Incorporated* (CSI) menciptakan ETABS, alat untuk analisis struktural. Pemeriksaan struktur gedung bertingkat, seperti yang ada di gedung perkantoran, tempat tinggal, rumah sakit, dan bangunan lainnya, dilakukan terutama dengan menggunakan perangkat lunak ETABS. Lima desain struktural dianalisis oleh perangkat lunak ETABS, khususnya:

1. Analisis *frame* baja
2. Analisis *frame* beton
3. Analisis balok komposit
4. Analisis baja rangka batang
5. Analisis dinding geser

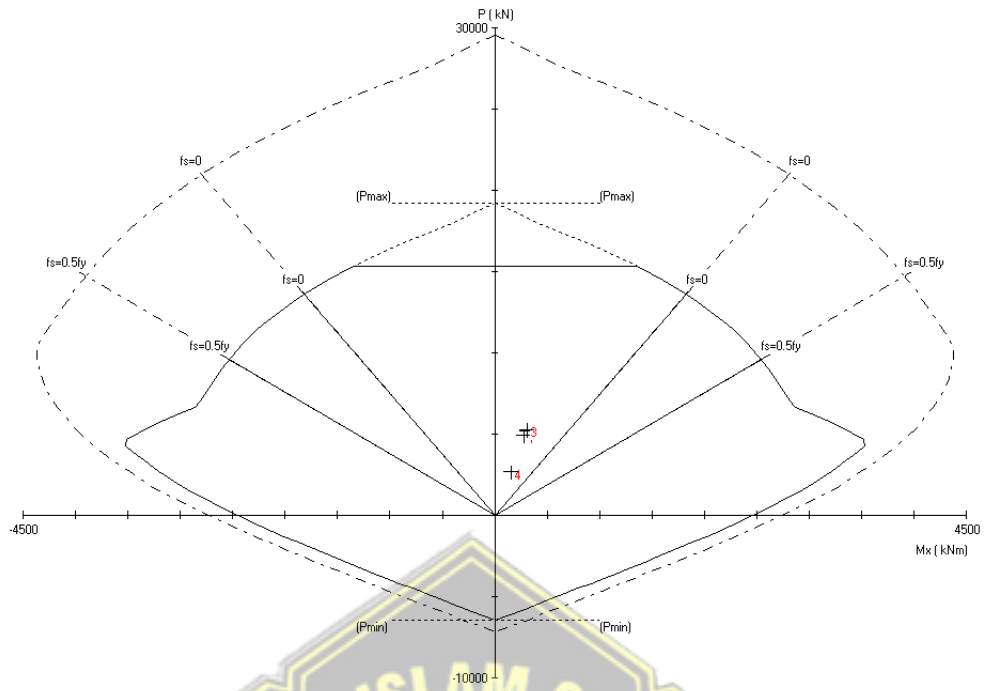
Pada perancangan ini program ETABS yang digunakan yaitu ETABS versi 2020. Berikut merupakan tampilan jendela awal dari ETABS V.18.



Gambar 2. 18. Tampilan ETABS V.18

2.6.2. *SPColumn*

Perangkat lunak yang disebut *SPColumn*, diperlukan karena merancang kolom beton jauh lebih sulit daripada merancang balok beton. Perangkat lunak untuk analisis dan desain kolom yang diperkuat disebut *SPColumn*. Fungsi dan tampilan program ini sederhana namun padat informasi, yang merupakan salah satu manfaatnya. Kolom yang terbuat dari beton bertulang mungkin diagram interaksinya diperiksa dan dibuat menggunakan program ini. Kuat tekan dan kuat lentur kolom beton bertulang digabungkan dalam diagram interaksi. Tampilan diagram interaksi dari program *SPColumn* ditunjukkan di bawah ini.



Gambar 2. 19. Tampilan Diagram Interaksi Pada Software SPColumn

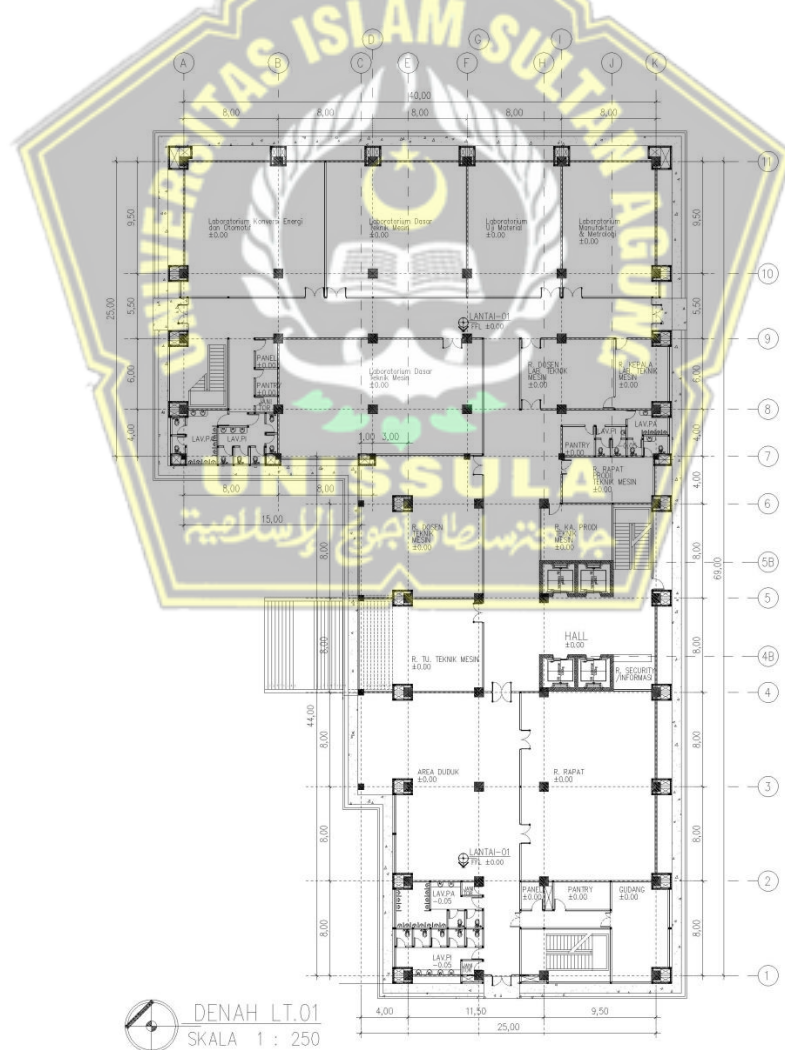


BAB III

METODOLOGI

3.1. Pengumpulan Data

Data yang dimanfaatkan pada Laporan Tugas Akhir Redesain Struktur Gedung Fakultas Teknik – MIPA Universitas Muhammadiyah Semarang yaitu data primer. Data primer ialah data yang langsung didapatkan dari pihak yang bersangkutan langsung dengan proyek ini. Data yang didapatkan berguna dalam proses perancangan ulang struktur. Adapun data yang dimanfaatkan pada laporan ini yakni gambar *Detail Engineering Design (DED)*. Denah bangunan bisa diketahui dari Gambar 3.1.



Gambar 3. 1. Denah Bangunan

3.2. Standar yang Digunakan

- SNI 1726:2019 (Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung).
- SNI 1727:2020 (Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain).
- SNI 2847:2019 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung).
- SNI 1729:2020 (Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural).

3.3. Pemodelan dan Analisis Struktur

Pada analisis struktur dilakukan pada keseluruhan bangunan gedung. Tahapan pada laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

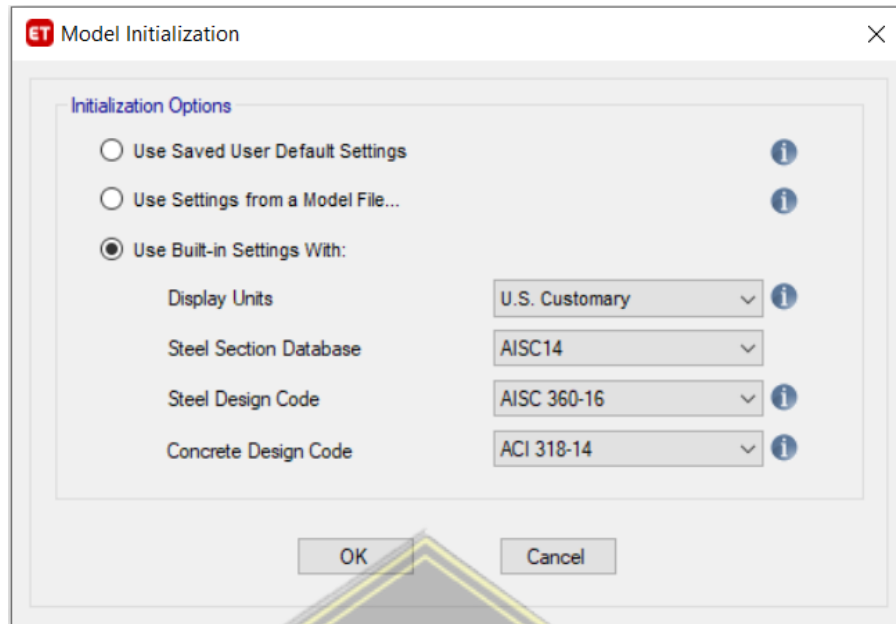
3.3.1. Pemodelan dan Pradimensi Struktur Gedung

Pemodelan dan pradimensi dilakukan dengan cara merujuk pada aturan yang menjadi pedoman saat mendesain elemen-elemen struktur. Pemodelan struktur gedung berdasarkan pada gambar gedung yang telah dirancang. Berikut merupakan langkah pemodelan yang dibuat dengan bantuan *software* ETABS v18.

1. Jendela Awal

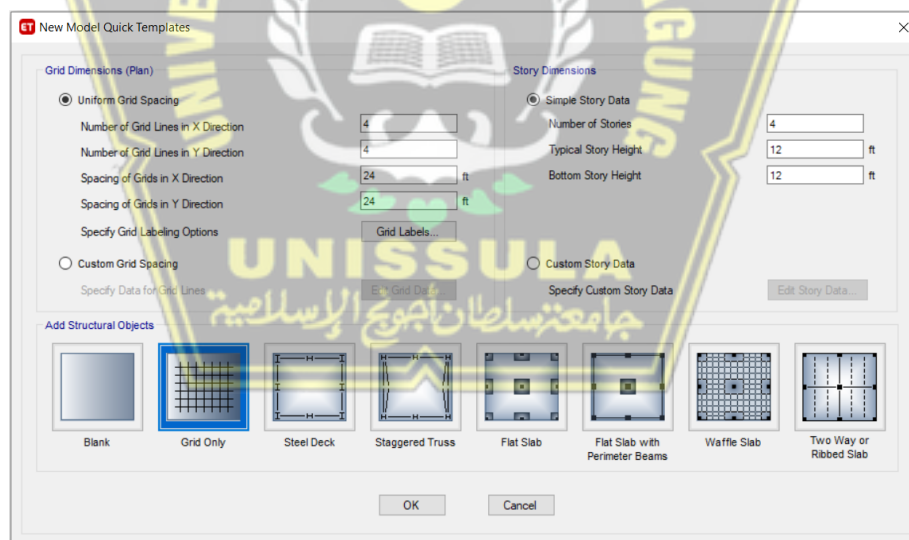
Buka *Software* ETABS 2018 pada komputer, untuk memulai/*start page* klik menu *File – New Model*. Tampak kotak dialog tampilan awal ETABS seperti gambar di bawah ini.

Pada *Initialization Options* pilih *Use Built-in Settings With* untuk menentukan *standard code* maupun *units* yang akan kita gunakan dalam pembuatan model rancangan. Pada bagian *Display Units* pilih *Metric SI* untuk Satuan Internasional dan untuk perancangan beton bertulang pada *Concrete Design Code* pilih ACI 318-14 yang merupakan acuan SNI beton Indonesia terbaru 2847:2019 kemudian klik OK.



Gambar 3. 2. Model Initialization

Standard Code yang digunakan pada *Steel Design Database* dan *Steel Design Code* merupakan *default*. Kita juga dapat menggantinya jika ingin menggunakan acuan tertentu, misal dalam perancangan gedung/struktur baja.

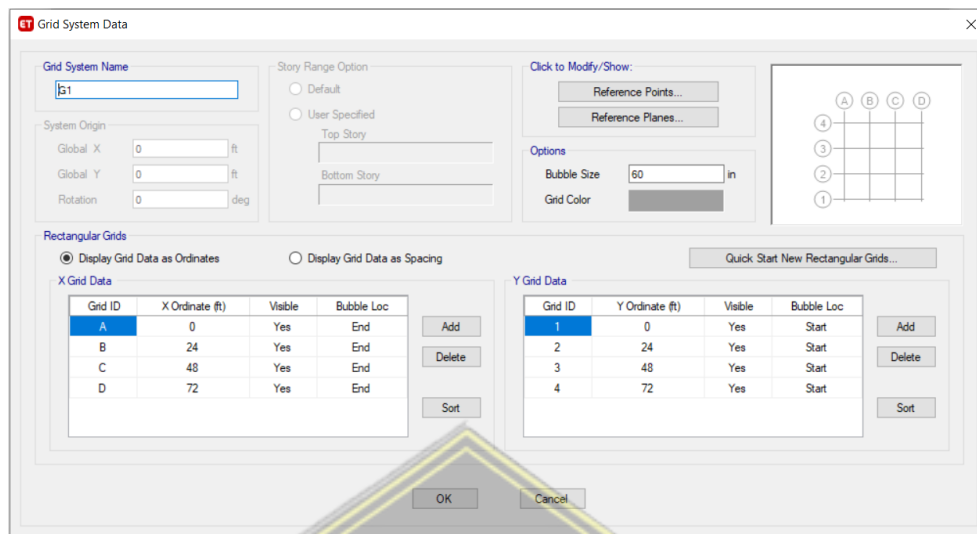


Gambar 3. 3. Model Grid

Perhatikan bagian *Uniform Grid Spacing* :

- | | |
|---|--|
| a. <i>Number of Grid Lines in X Direction</i> | : Jumlah <i>Grid/As</i> pada arah <i>X</i> |
| b. <i>Number of Grid Lines in Y Direction</i> | : Jumlah <i>Grid/As</i> pada arah <i>Y</i> |
| c. <i>Spacing of Grids in X Direction</i> | : Jarak antar <i>Grid/As</i> arah <i>X</i> |
| d. <i>Spacing of Grids in Y Direction</i> | : Jarak antar <i>Grid/As</i> arah <i>Y</i> |

Untuk denah rencana yang terdapat jarak *grid/As* yang berbeda, dapat pilih atau klik *Custom Grid Spacing – Edit Grid Data* untuk menyesuaikan jarak.

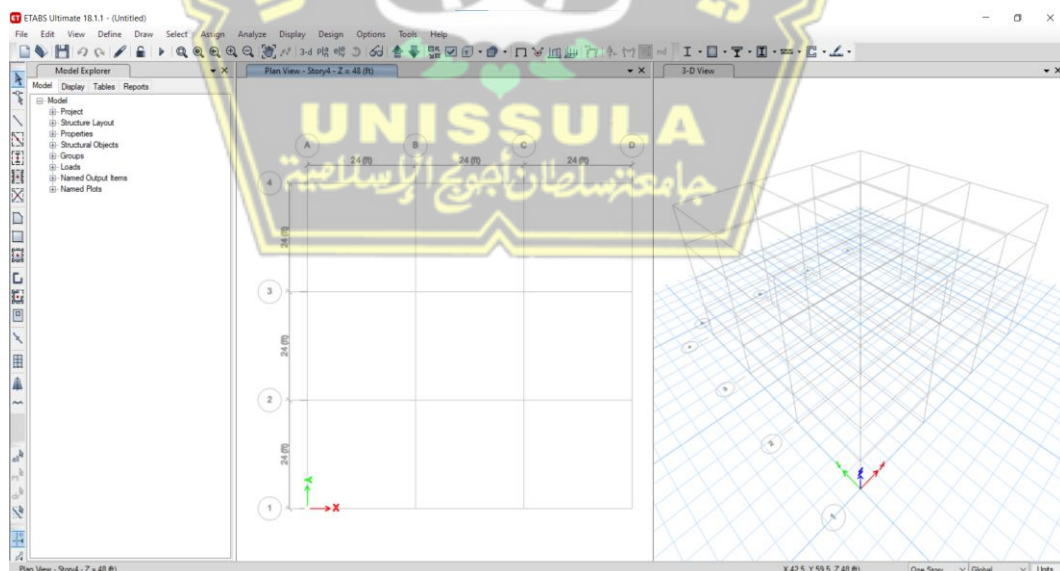


Gambar 3. 4. Edit Grid

Selanjutnya perhatikan bagian *Story Dimensions – Simple Story Data* :

- *Number of Stories* : Jumlah tingkat
- *Typical Story Height* : Tinggi antar lantai tipikal
- *Bottom Story Height* : Tinggi story 1 dari lantai *base*/dasar

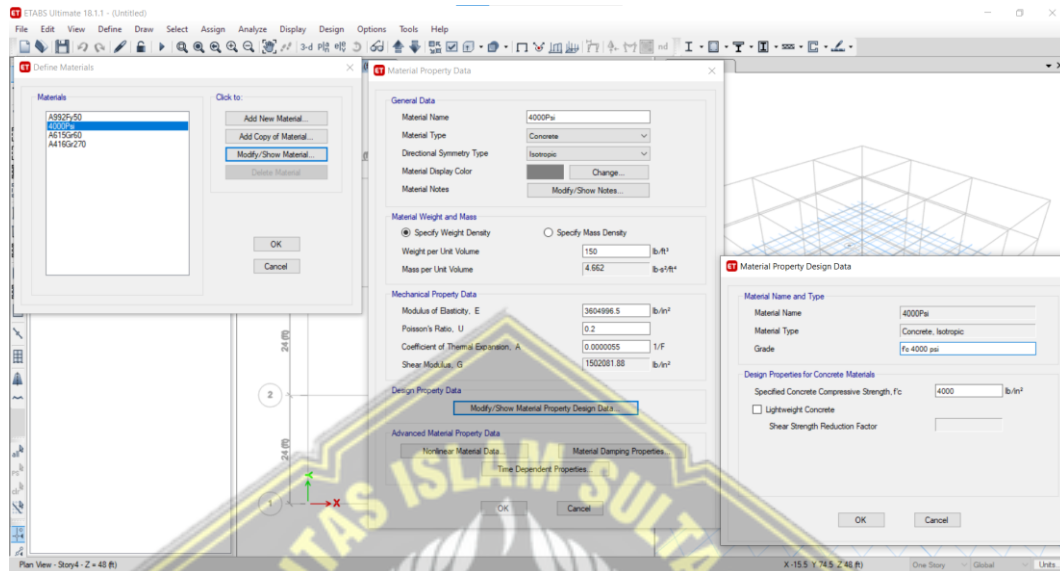
Pada bagian *Add Structural Objects* pilih *Grid Only* – OK.



Gambar 3. 5. Tampilan Grid dan Story

2. *Input Material Properties*

Pada bagian ini berfungsi untuk memasukkan jenis material sesuai mutu yang dirancang dengan cara pilih menu *Define – Material Properties –* pilih 4000psi (untuk beton) – *Modify/Show Material*.

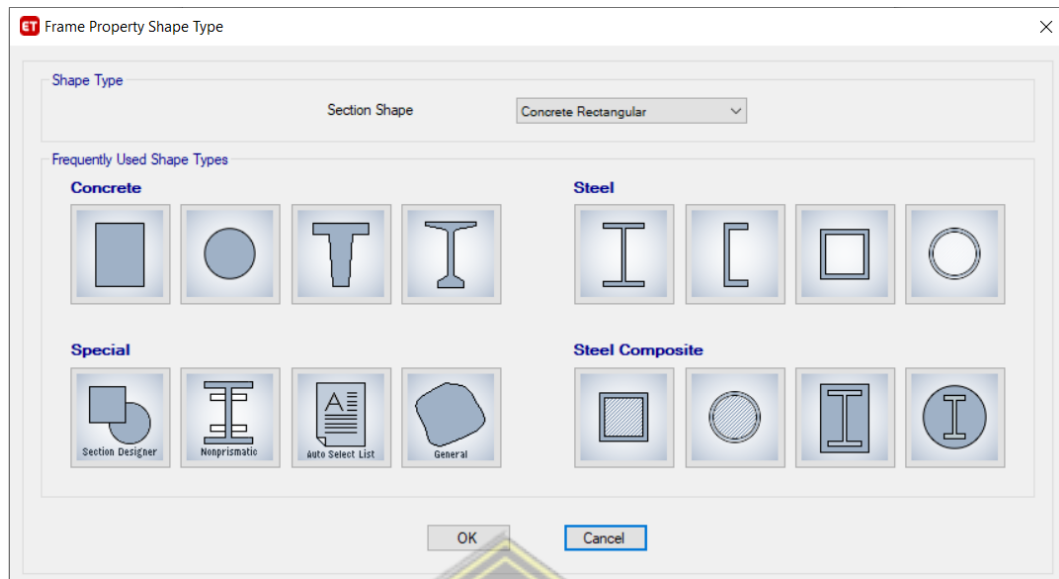


Gambar 3. 6. *Input Material Properties*

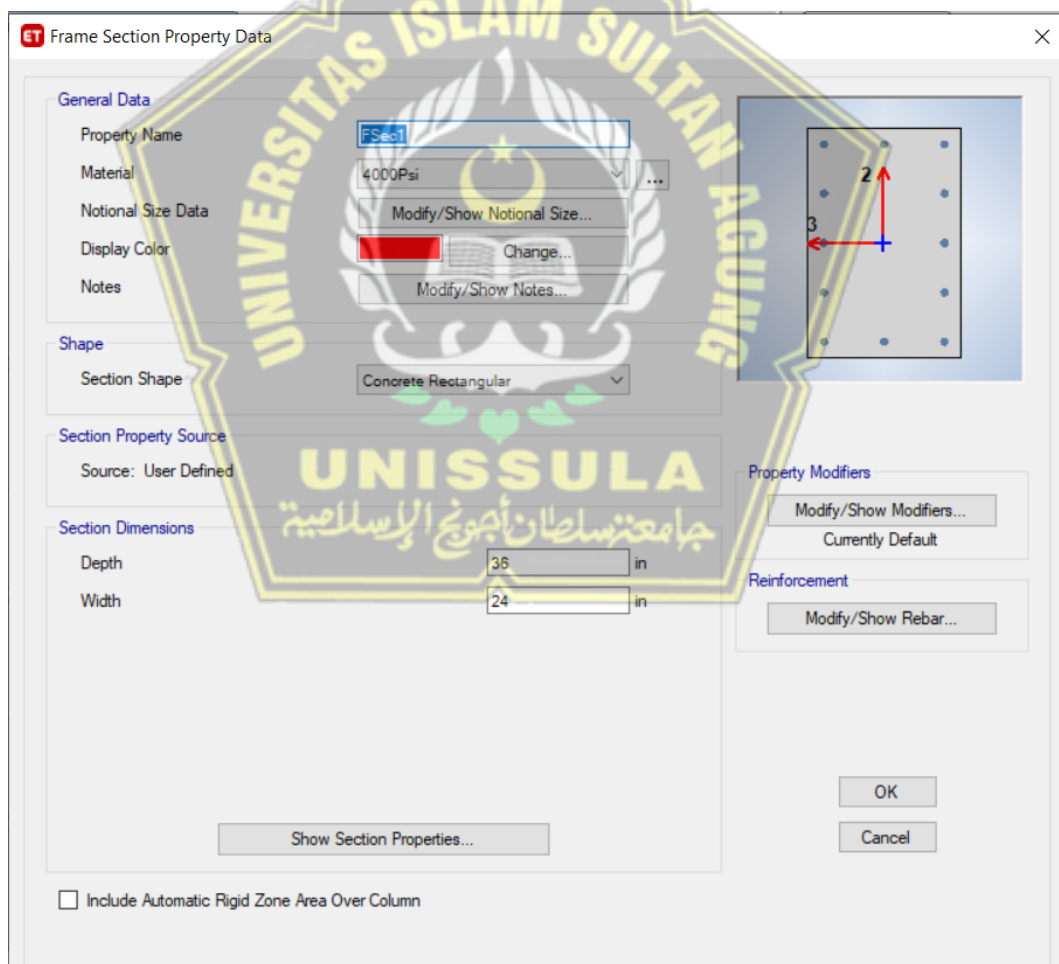
3. *Input Dimensi Elemen Struktur*

a. *Input Dimensi Kolom*

Pilih Menu *Define – Section Properties – Frame Sections –* maka akan tampil kotak dialog *Frame Properties*. Jika ingin menghapus properti *frame default* ETABS yang harus dilakukan adalah : pilih *Delete Multiple Properties* pada bagian kanan – *Select Sections to Delete* (pilih semua tipe) – *Delete Selected Frame Sections* – Pilih semua *frame* – *Delete Selected Frame Sections* – OK. (akan hanya tersisa satu *frame default* ETABS).



Gambar 3. 7. *Section Shape Concrete*



Gambar 3. 8. *Input Dimensi Kolom*

Pada kotak dialog *Frame Section Property Data* :

- *Property Name* : Ganti sesuai kode kolom
- *Material* : Sesuai mutu beton untuk kolom
- *Display Color* : Klik *change* untuk merubah warna
- *Section Dimensions* : Isikan dimensi kolom sesuai arah sumbu

Kemudian klik *Modify/Show Rebar*, maka akan tampil kotak dialog seperti gambar di bawah ini.

Gambar 3.9. *Reinforcement Data Column*

- *Design Type* : P – M2 – M3 (untuk kolom)
- *Rebar Material* : pilih *material* untuk tulangan
- *Reinforcement Configuration* : *Rectangular* (untuk kolom segi-empat)
- *Confinement Bars* : *Ties* (untuk tulangan sengkang kotak)
- *Check/Design* : *Reinforcement to be Designed*
- *Clear Cover for Conf. Bars* : Selimut beton

Pada bagian *Check/Design*, pemilihan *Reinforcement to be design* berarti menandakan bahwa penulangan akan dihitung tersendiri setelah analisis struktur mendapatkan nilai-nilai gaya dalam atau data luas kebutuhan tulangan, oleh karena itu angka-angka/nilai lainnya yang berisikan informasi tulangan boleh dihiraukan saja sesuai dengan *default* ETABS.

b. Input Dimensi Balok

Sama halnya seperti membuat dimensi kolom, pada kotak dialog *Frame Section Property Data* :

- *Property Name* : Ganti sesuai kode balok
- *Material* : Pilih mutu beton untuk balok
- *Display Color* : klik *change* untuk merubah warna
- *Section Dimensions* : *Width*, untuk lebar balok
Depth, untuk tinggi balok

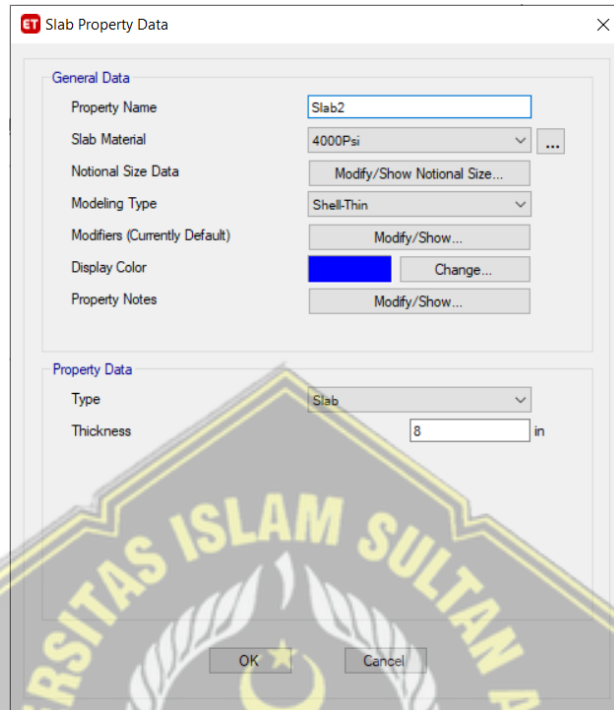
Kemudian klik *Modify/Show Rebar*, maka akan muncul tampilan kotak dialog *Frame Section Property Reinforcement Data – Design Type* (pilih *M3 Design Only (Beam)*) – OK

Gambar 3. 10. *Reinforcement Data Beam*

- *Design Type* : *M3 Design Only (Beam)*
- *Rebar Material* : Pilih *material* untuk tulangan
- *Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid* : Tebal selimut beton

c. **Input Dimensi Pelat**

Pilih menu *Define – Section Properties – Slab Sections – Add New Property – Input Data – OK*



Gambar 3. 11. Input Data Slab

- *Property Name* : Kode pelat
- *Slab Material* : Sesuai mutu beton pelat rencana
- *Modelling Type* : Membrane
- *Type* : Slab
- *Thickness* : Tebal pelat

➤ **Shell**

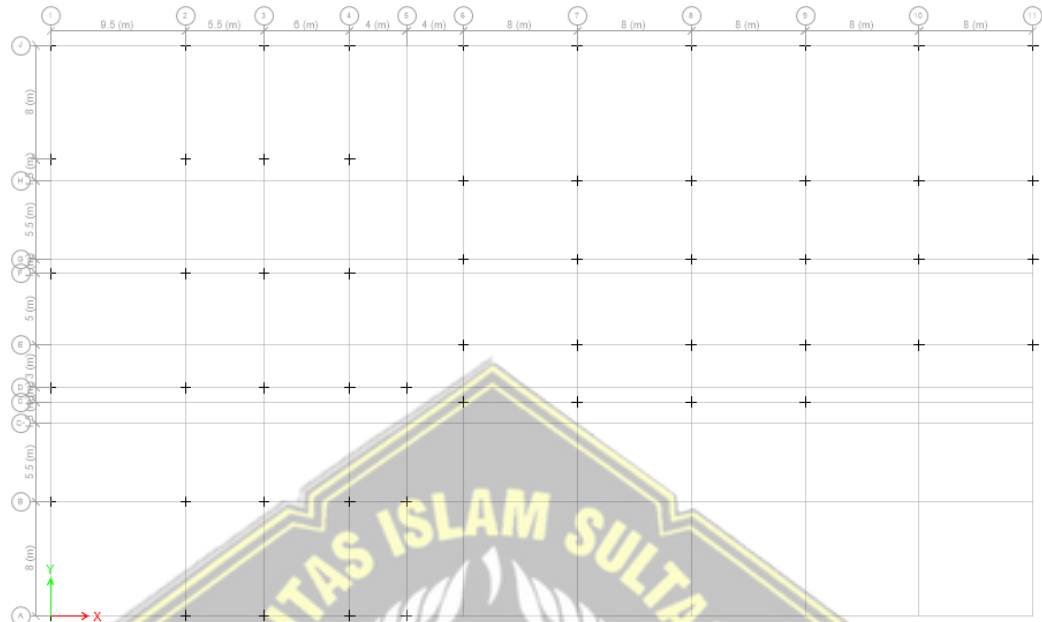
Pelat menahan dalam 2 gaya yaitu *bending forces*/momen dan *shear forces*/geser. Pelat akan menahan beban lentur akibat gravitasi dan juga geser serta akan ikut berdeformasi bersama balok terhadap beban gravitasi.

➤ **Membrane**

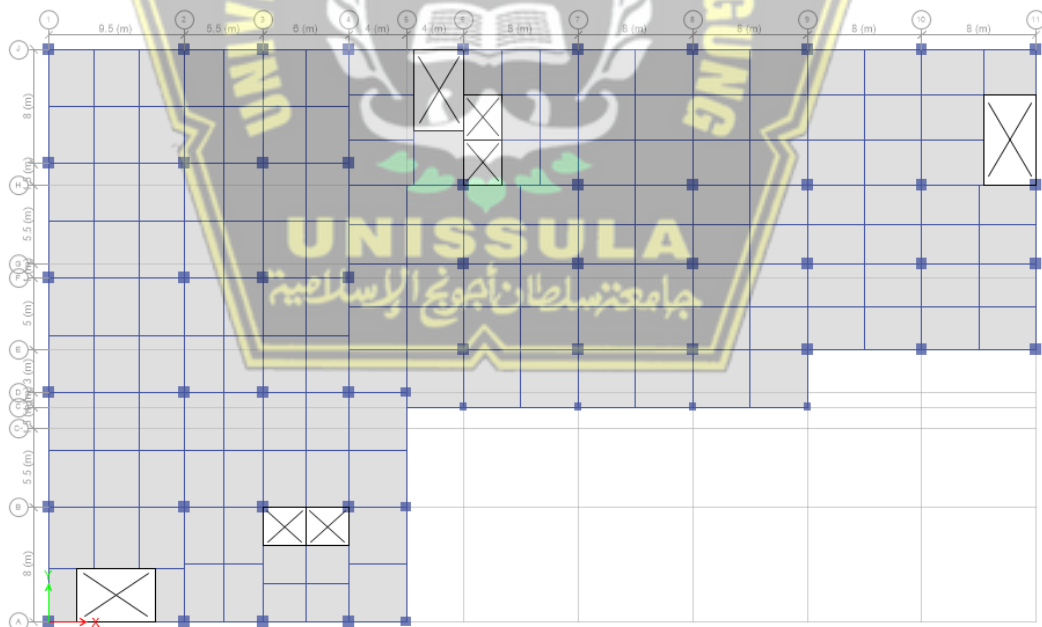
Pelat hanya menahan dalam *shear forces*/geser saja. *Modelling membrane* berarti mendistribusikan beban pelat ke balok terdekat dengan sistem distribusi 45°. Pelat tidak ikut berdeformasi bersama balok saat dikenai

beban gravitasi. Hal ini dapat mengakibatkan lendutan balok yang sedikit lebih besar dan *safety* untuk perancangan.

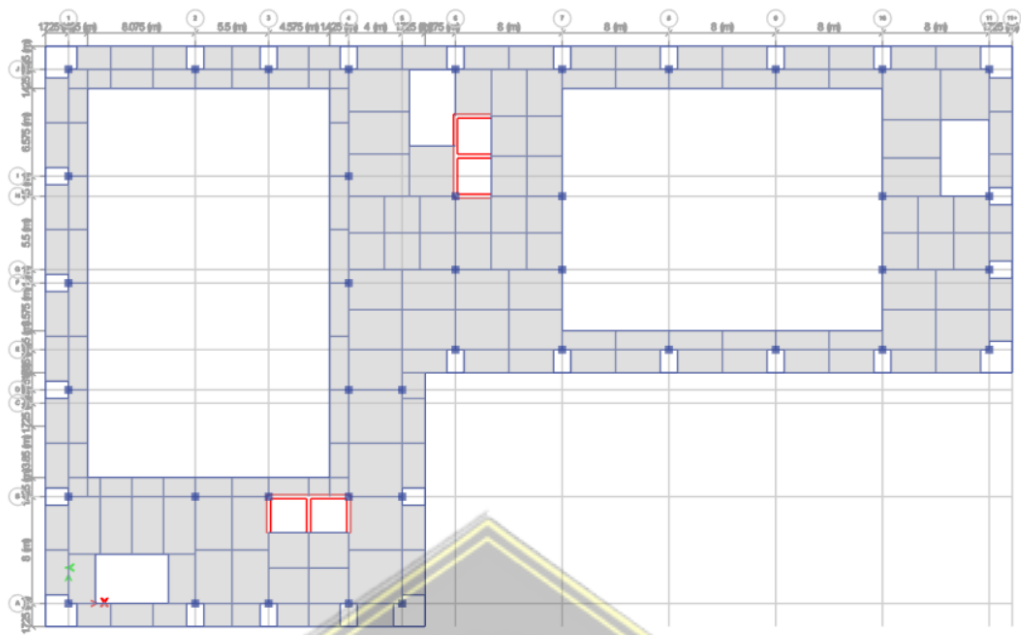
Berikut merupakan tampilan dari pemodelan pada aplikasi ETABS v18.



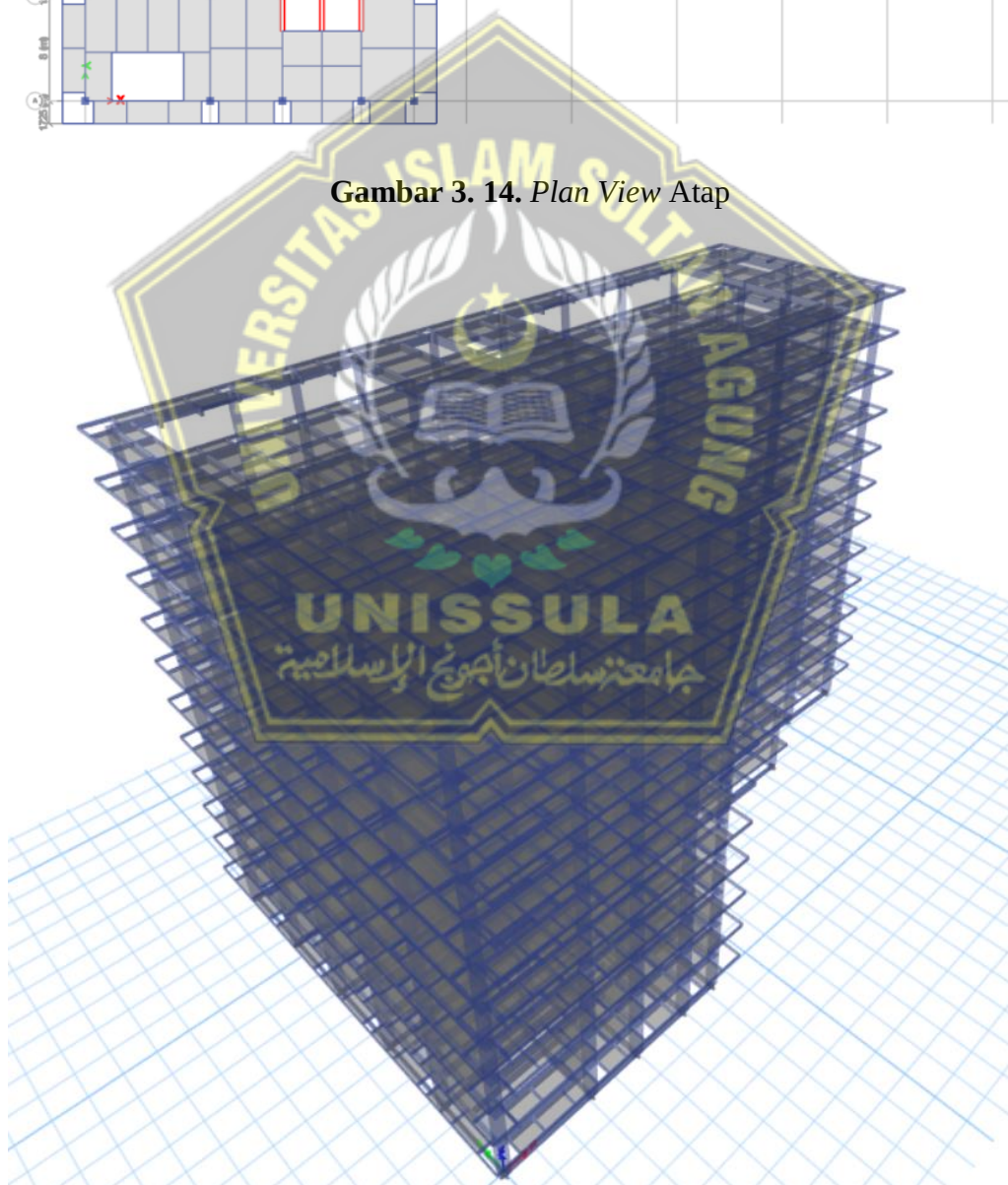
Gambar 3. 12. Plan View Lantai 1



Gambar 3. 13. Plan View Lantai 2 – 12 (Tipikal)



Gambar 3. 14. *Plan View Atap*

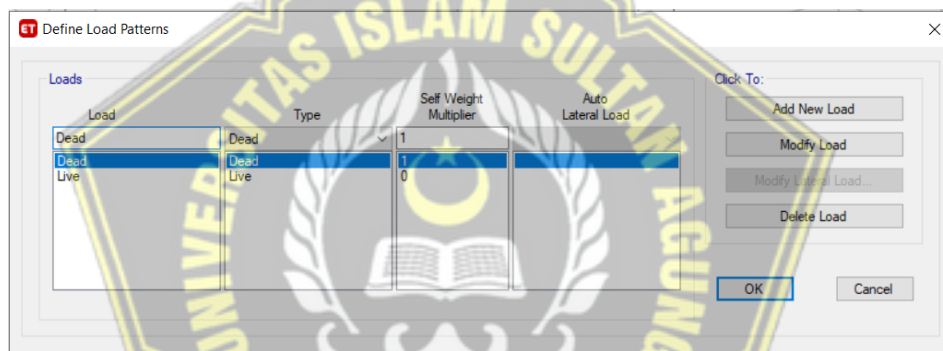


Gambar 3. 15. 3D View ETABS v18

3.3.2. Perhitungan Pembebanan Statik (*Live Load* dan *Dead Load*)

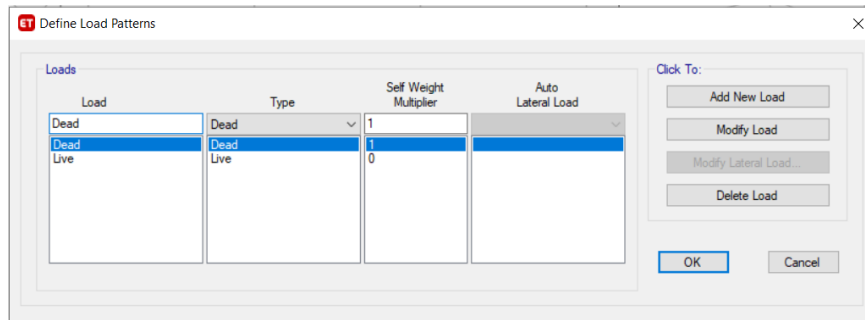
Dalam estimasi pembebanan meliputi perhitungan semua beban yang bekerja dalam struktur bangunan yaitu beban hidup dan beban mati. Struktur Beban Mati + Beban Mati Tambahan + Beban Hidup adalah beban untuk analisis struktur. Beban gravitasi yang ditimbulkan oleh komponen struktur bangunan, seperti kolom, balok, dan pelat, dikenal sebagai beban mati struktur. Karena bangunan bersifat permanen, peningkatan beban mati mengacu pada beban gravitasi yang dibawa oleh komponen baru dalam hubungannya dengan penyelesaiannya. Beban hidup adalah beban gravitasi yang diterapkan berdasarkan tujuan penggunaan bangunan.

Pendefinisian beban statik pada ETABS terdapat pada menu *Define – Load Patterns* – perhatikan kotak dialog *Define Load Patterns* di bawah ini.



Gambar 3. 16. *Define Load Patterns*

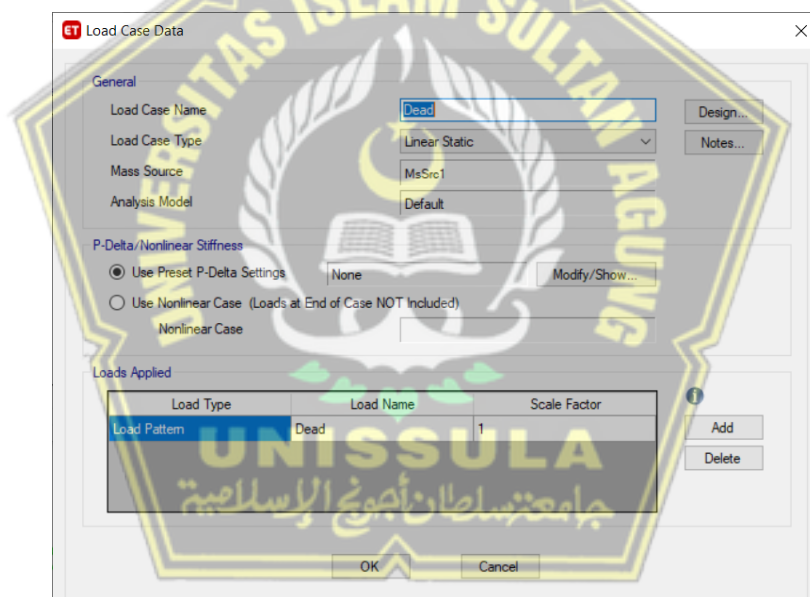
- Pada *Load : Dead*, kita dapat mengganti nama *Dead* menjadi **DL** (*Dead Load*) kemudian *click to Modify Load*. *Type* untuk beban mati adalah *Dead* dan *Self Weight Multiplier* untuk beban mati adalah 1 (untuk beban mati struktur yang akan otomatis dihitung oleh ETABS dan juga *input* beban mati tambahan yang akan kita masukan sendiri).
- Pada *Load : Live*, kita juga dapat mengganti nama *Live* menjadi **LL** (*Live Load*) kemudian *click to Modify Load*. *Type* untuk beban hidup adalah *Live* dengan *Self Weight Multiplier* = 0 (karena akan kita input sendiri beban hidup sesuai dengan fungsi bangunan).
- Jika ingin membedakan beban mati tambahan sebagai beban statik tersendiri, kita dapat input beban *SIDL* dengan *Type Super Dead* dan *Self Weight Multiplier* = 0 kemudian kita tambahkan dengan cara klik *Add New Load*.



Gambar 3. 17. Pendefinisian Beban Mati dan Hidup

Setelah mendefinisikan beban pada *load patterns* kita dapat mengecek hasil *input* pada menu *Define – Load Cases*.

Pilih *Load Case Name Dead – Modify/Show Case* – pada kotak dialog *Load Case Data* di bagian *Load Case Name* ganti menjadi **DL** agar sesuai dengan nama pada *Load Patterns* sebelumnya – *OK*.

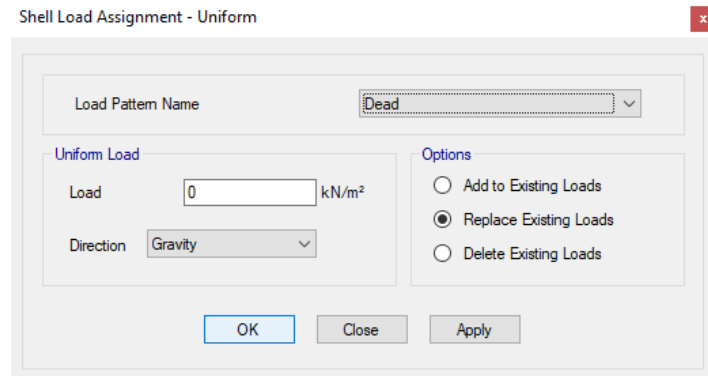


Gambar 3. 18. Load Case Data

1. *Input* Beban Mati Tambahan

Asumsi beban mati tambahan dihitung berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung, berikut adalah cara mendistribusi beban area :

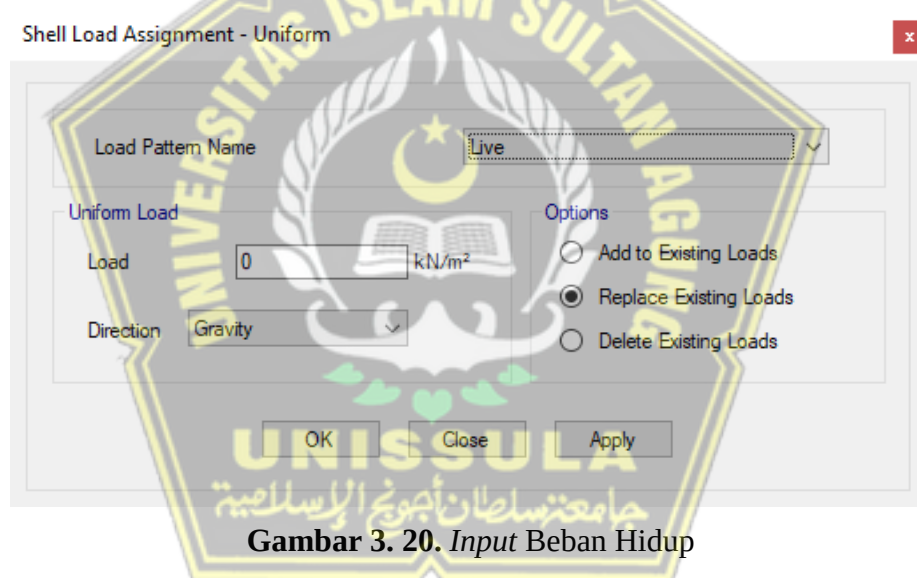
Pilih menu *Select – Select – Properties – Slab Sections* – pilih pelat yang akan dimasukan beban – *Select – Close*. Pilih menu *Assign – Shell Loads – Uniform – input* beban – *Apply* – *OK*.



Gambar 3. 19. *Input Beban Mati Tambahan Atap*

2. *Input Beban Hidup*

Pilih menu *Select – Select – Properties – Slab Sections* – pilih pelat yang akan dimasukan beban – *Select – Close*. Pilih menu *Assign – Shell Loads – Uniform – input beban – Apply – OK*.



Gambar 3. 20. *Input Beban Hidup*

3.3.3. Analisis Struktur

Dalam perhitungan analisis struktur menggunakan Respon Spektrum agar mendapatkan kurva respon spektrum yang disesuaikan dengan wilayah gempa dengan menggunakan bantuan dari *website* milik Direktorat Jenderal Kementrian PUPR yaitu rsapuskim2019.litbang.pu.go.id. Adapun data yang diperlukan pada analisis respon spektrum yaitu nilai F_a dan F_v . Nilai F_a di dapat dari percepatan muka tanah maksimum di suatu wilayah.

3.3.4. Perhitungan Beban Gempa

Pada tiap lantainya, beban gempa dianggap sebagai beban statik ekuivalen. Adapun prosedur statik ekuivalen guna mendapatkan penyaluran gaya lateral gempa pada setiap lantainya. Dan untuk langkah-langkah perhitungan gempa meliputi:

- a) Menentukan kategori risiko dan faktor keutamaan gempa.
- b) Memilih klasifikasi situs.
- c) Memilih parameter respon spektra gempa terpetakan (Nilai S_s dan S_1)
- d) Menentukan parameter respon spektra gempa tertarget (Nilai S_{MS} dan S_{MI})
- e) Desain Elemen-Elemen Struktur

Adapun perancangan struktur yang akan dirancang yaitu struktur atas meliputi pelat, balok, kolom, hubungan balok kolom (*joint*). Langkah perhitungan yang lebih detail dijelaskan pada bab 4.

- Perancangan pelat

Pertama menghitung nilai momen pada pelat M_{lx} , M_{ly} , M_{tx} dan M_{ty} . lalu digunakan untuk mendesain penulangan pelat dengan detail pada bab 4.

- Perancangan balok

- Pengambilan data Momen dan Torsi dari ETABS
- Mengecek persyaratan lentur SRPMK
- Mendesain tahanan torsi
- Mendesain penulangan lentur
- Mendesain tulangan transversal

- Perancangan kolom

- Mengambil data-data gaya aksial dan momomen dari ETABS
- Mengecek komponen struktur penahan gempa
- Menentukan tulangan longitudinal penahan lentur
- Mengontrol beban aksial kolom terhadap beban aksial terfaktor
- Pengecekan perilaku struktur *Strong Column Weak Beam*
- Perhitungan tulangan transversal sebagai *confinement*
- Perhitungan gaya geser desain (V_e)

- Perancangan hubungan balok-kolom (*joint*)
 - Perhitungan gaya geser pada *joint*
 - Perhitungan kebutuhan tulangan transversal

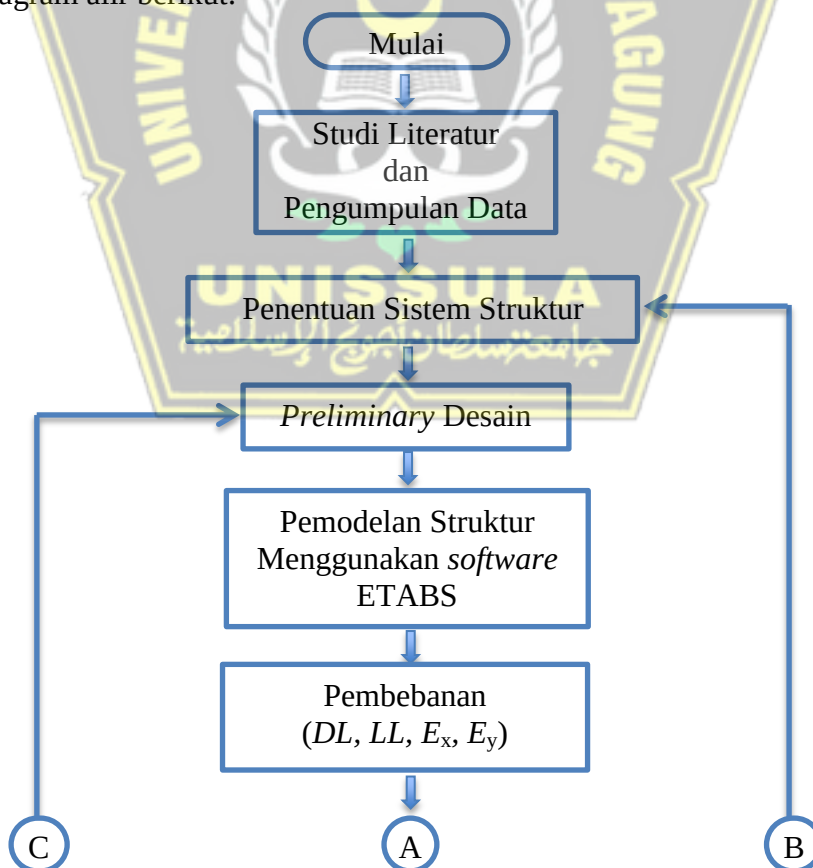
3.4. Metode Penulisan Laporan

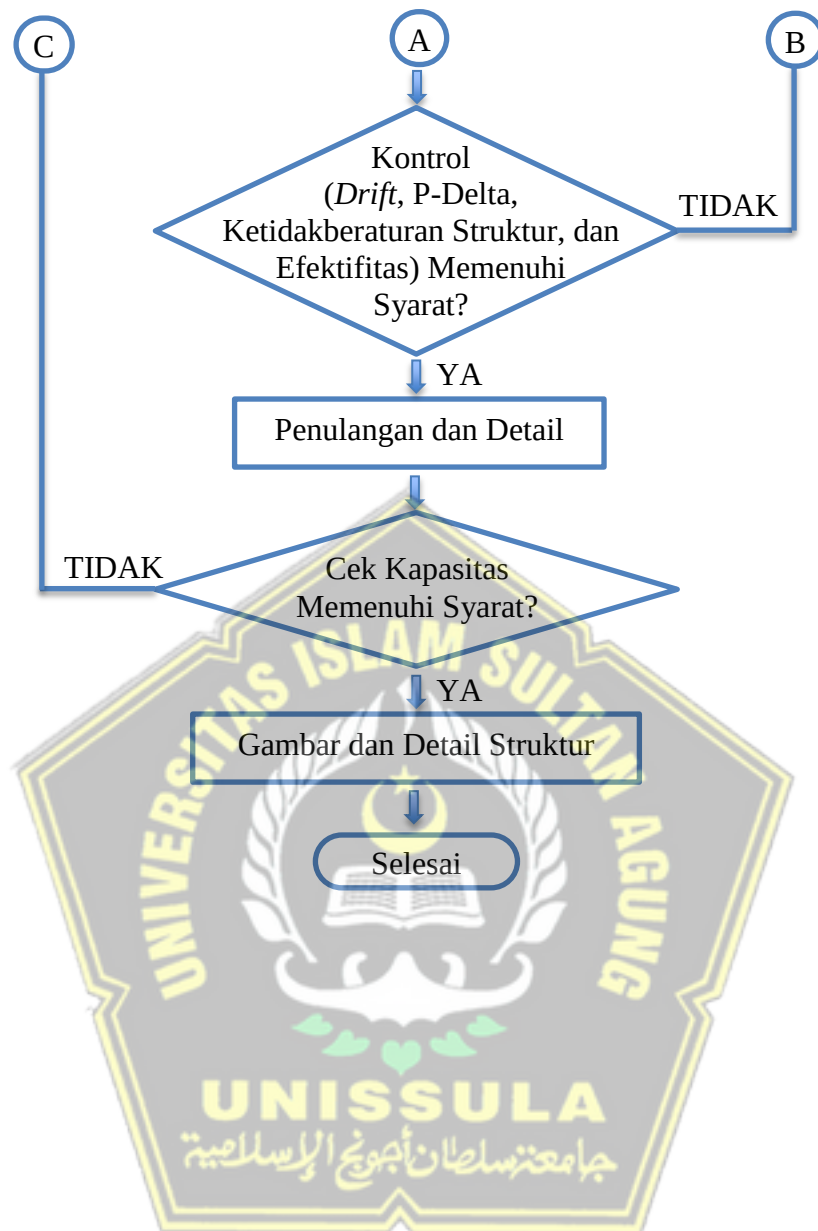
Pada Metode penyusunan laporan tugas akhir ini ada 2 (dua) metode pengumpulan data yang penulis gunakan, antara lain:

1. Penelitian Lapangan, yaitu teknik pengumpulan data yang diperoleh berdasarkan pihak yang langsung berhubungan dengan proyek yang akan dirancang.
2. Studi Kepustakaan, yaitu teknik pengumpulan data dengan menggunakan buku, literatur, dan sumber lainnya yang berkaitan dengan judul penulisan.

3.5. Diagram Alir

Penyusunan tugas akhir ini dilakukan dengan tahapan-tahapan yang dapat dilihat pada diagram alir berikut.





BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Struktur Gedung

4.1.1. Dimensi Penampang Struktur

Dimensi penampang struktur gedung dirancang dengan menggunakan acuan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perancangan Tahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung dan SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

1. Penampang balok

Penampang balok yang digunakan untuk redesain struktur gedung 12 lantai studi pada gedung FT-MIPA Universitas Muhammadiyah Semarang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 1. Penampang balok

No	Nama Balok	Lebar Balok (mm)	Tinggi Balok (mm)
1	G1	400	800
2	G2	300	700
3	G3	300	500
4	G4	250	700
5	G5	250	400
6	B1	250	700
7	B2	250	400
8	B3	200	300
9	B4	150	300
10	BK	200	300

2. Penampang kolom

Adapun penampang kolom yang dipakai untuk perancangan struktur gedung dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 2. Penampang kolom

No	Nama Kolom	Lebar Kolom (mm)	Panjang Kolom (mm)
1	K1	900	900
2	K2	800	800
3	K3	700	700
4	K4	600	600

3. Penampang pelat lantai

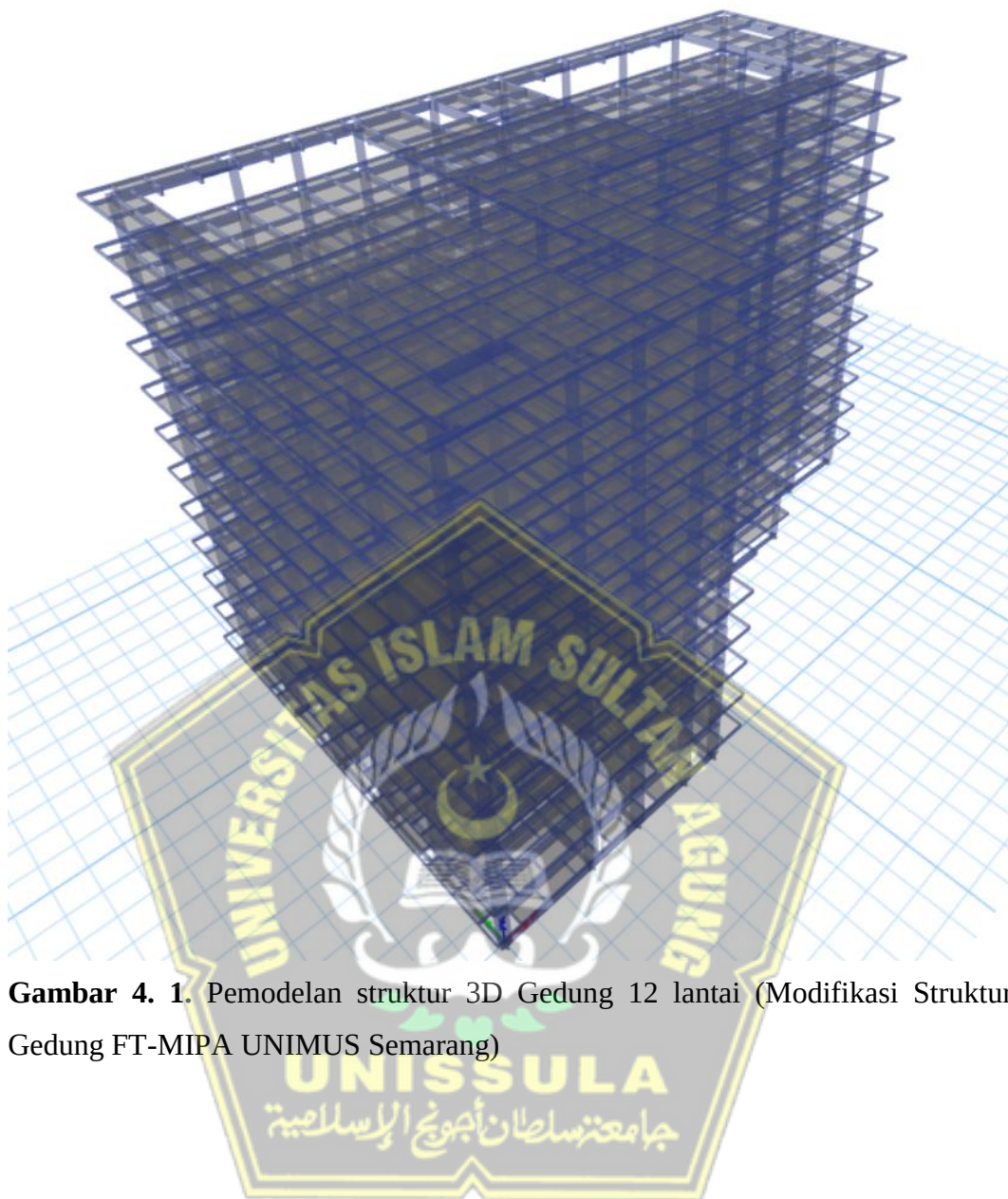
Penampang pelat lantai yang dipakai untuk perancangan struktur gedung ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 3. Tebal pelat

No	Nama Pelat	Tebal Pelat (mm)
1	S1	125
2	S2	125

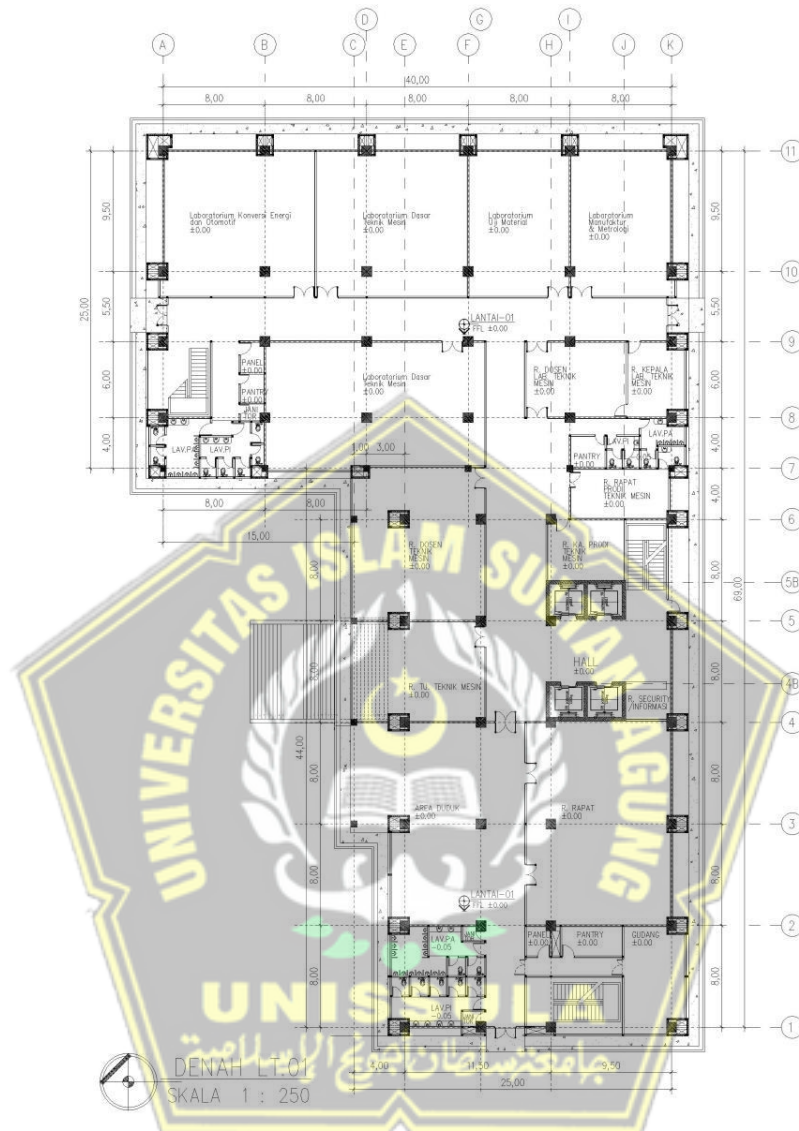
4.1.2. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dalam perancangan struktur gedung 3D Gedung 12 lantai (studi pada Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang) bisa dilihat di gambar 4.1.



Gambar 4. 1. Pemodelan struktur 3D Gedung 12 lantai (Modifikasi Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang)

Denah gedung FT-MIPA Universitas Muhammadiyah Semarang dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2. Denah Gedung FT-MIPA Universitas Muhammadiyah Semarang

4.2. Kombinasi Pembebanan Struktur

Pada redesain struktur gedung 12 lantai (studi pada struktur gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang), kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada peraturan SNI 2847:2019 pasal 4.2.2.

- 1,4 D
- 1,2 D + 1,6 L

- c. $1,2 D + 1,0 L + 1,0 E_v \pm 1,0 E_h$
d. $0,9 D - 1,0 E_v \pm 1,0 E_h$

Kombinasi pembebanan untuk beban gempa dijabarkan lagi untuk memperoleh kondisi beban gempa pada arah X dan arah Y dengan arah gempa bolak-balik.

Comb.1	$= 1,4 DL$
Comb.2	$= 1,2 DL + 1,6 LL$
Comb.3	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL + \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
Comb.4	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL + \rho E_x - 0,3 \rho E_y$
Comb.5	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL - \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
Comb.6	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL - \rho E_x - 0,3 \rho E_y$
Comb.7	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL + 0,3 \rho E_x + \rho E_y$
Comb.8	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$
Comb.9	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL + 0,3 \rho E_x - \rho E_y$
Comb.10	$= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL - 0,3 \rho E_x - \rho E_y$
Comb.11	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
Comb.12	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + \rho E_x - 0,3 \rho E_y$
Comb.13	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
Comb.14	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - \rho E_x - 0,3 \rho E_y$
Comb.15	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + 0,3 \rho E_x + \rho E_y$
Comb.16	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$
Comb.17	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + 0,3 \rho E_x - \rho E_y$
Comb.18	$= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - 0,3 \rho E_x - \rho E_y$

S_{DS} (g) $= 0,6442$ (UNIMUS Semarang, Tanah Sedang)

ρ $= 1,3$ (Lihat Pasal 7.3.4.2 SNI 1726:2019)

Dengan menggunakan nilai S_{DS} dan ρ , maka hasil perhitungan kombinasi pembebanan yang akan digunakan dapat dilihat di bawah ini.

Comb.1	$= 1,4 DL$
Comb.2	$= 1,2 DL + 1,6 LL$
Comb.3	$= 1,33 DL + 1,0 LL + 1,3 E_x + 0,39 E_y$
Comb.4	$= 1,33 DL + 1,0 LL + 1,3 E_x - 0,39 E_y$
Comb.5	$= 1,33 DL + 1,0 LL - 1,3 E_x + 0,39 E_y$

$$\begin{aligned}
\text{Comb.6} &= 1,33 DL + 1,0 LL - 1,3 E_x - 0,39 E_y \\
\text{Comb.7} &= 1,33 DL + 1,0 LL + 0,39 E_x + 1,3 E_y \\
\text{Comb.8} &= 1,33 DL + 1,0 LL - 0,39 E_x + 1,3 E_y \\
\text{Comb.9} &= 1,33 DL + 1,0 LL + 0,39 E_x - 1,3 E_y \\
\text{Comb.10} &= 1,33 DL + 1,0 LL - 0,39 E_x - 1,3 E_y \\
\text{Comb.11} &= 0,77 DL + 1,3 E_x + 0,39 E_y \\
\text{Comb.12} &= 0,77 DL + 1,3 E_x - 0,39 E_y \\
\text{Comb.13} &= 0,77 DL - 1,3 E_x + 0,39 E_y \\
\text{Comb.14} &= 0,77 DL - 1,3 E_x - 0,39 E_y \\
\text{Comb.15} &= 0,77 DL + 0,3 \rho E_x + 1,3 E_y \\
\text{Comb.16} &= 0,77 DL - 0,39 E_x + 1,3 E_y \\
\text{Comb.17} &= 0,77 DL + 0,39 E_x - 1,3 E_y \\
\text{Comb.18} &= 0,77 DL - 0,39 E_x - 1,3 E_y
\end{aligned}$$

Mengacu pada peraturan SNI 1727:2020 jenis serta beban merata yang digunakan pada perancangan bangunan adalah sebagai berikut:

1. Beban mati (*Dead Load*)

a. Beban Mati Tambahan Pada Lantai

Beban mati tambahan yang akan didistribusikan pada pelat lantai dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 4. Beban Mati Tambahan Pada Lantai

No	Jenis Beban Mati	Berat Jenis (kN/m ³)	Beban Merata (kN/m ²)
1	Pasir setebal 1 cm	16	0,16
2	Spesi setebal 3 cm	22	0,66
3	Keramik setebal 1 cm	22	0,22
4	Plafond & Penggantung		0,2
5	Dinding Rebah		1,8
6	ME (Mekanikal & Elektrikal)		0,25
TOTAL			3,29

b. Beban Mati Tambahan Pada Atap

Beban mati tambahan yang akan didistribusikan pada pelat atap dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 5. Beban Mati Tambahan Pada Atap

No	Jenis Beban Mati	Beban Merata (kN/m ²)
1	Plafond & Penggantung	0,2
2	ME (Mekanikal & Elektrikal)	0,25
TOTAL		0,45

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup (*live load*) yang akan dimasukkan untuk pembebanan merata pada tiap lantai berdasarkan fungsi ruangnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 6. Beban Hidup (*Live Load*)

No	Jenis Ruangan	Beban Merata (kN/m ²)
1	Ruang Kelas	1,92
2	Kantor	2,4
3	Laboratorium	2,87
4	Atap	0,96

4.3. Mutu Bahan Struktur

Mutu bahan struktur yang digunakan untuk menganalisis pemodelan struktur meliputi:

1. Mutu Beton

Mutu beton yang akan digunakan untuk merancang gedung ini yaitu menggunakan mutu beton f'_c 30 Mpa.

2. Mutu Baja Tulangan

Mutu baja yang akan digunakan untuk menganalisis tulangan pada perancangan gedung ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 7. Mutu Baja Tulangan

No	Jenis Tulangan	f_y (Mpa)	f_u (Mpa)	f_{ye} (Mpa)	f_{ue} (Mpa)
1	Ulir ($D \geq 10$ mm)	420	620	462	682
2	Polos ($\emptyset \leq 10$ mm)	240	370	264	407

4.4. Analisis Beban Seismik

Analisis beban seismik berlandaskan dalam peraturan SNI 1726:2019 tentang tata cara perancangan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.

4.4.1. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Gedung ini dirancang untuk gedung yang bermanfaat guna sarana perkuliahan. Sesuai dengan tabel 4 SNI 1726:2019, gedung tersebut dikategorikan pada kategori risiko IV dengan nilai faktor keutamaan gempa (I_e) yaitu 1,50.

4.4.2. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Terpetakan

Nilai parameter respon spektra percepatan gempa didapat dari Aplikasi Desain Spektra Indonesia tahun 2021 (rsapuskim2019.litbang.pu.go.id) yang disediakan oleh Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia dengan cara menentukan titik koordinat atau menginput nama kota lokasi perancangan bangunan sehingga secara otomatis diperoleh hasil nilai parameter respon spektra percepatan gempa terpetakan. Nilai parameter respon spektra percepatan gempa terpetakan di lokasi Universitas Muhammadiyah Semarang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 8. Data Parameter Respon Spektra Terpetakan

Variabel	Nilai
F_{PGA}	0,3606
S_s (g)	0,8262
S_1 (g)	0,3595
TL (detik)	20

4.4.3. Klasifikasi Situs

Mengacu pada peraturan 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 standart ($N-SPT$) yang merupakan hasil pengujian tanah lokasi gedung.

Dengan analisis perhitungan rata-rata nilai $N-SPT$ sampai dengan kedalaman 30 m dapat dihitung:

Tabel 4. 9. Nilai $N-SPT$

Kedalaman	Tebal (d_i)	$N-SPT$	d_i / N_i
-2,5	2,5	6	0,4167
-5	2,5	19	0,1316
-7,5	2,5	20	0,1250
-10	2,5	28	0,0893
-12,5	2,5	50	0,0500
-15	2,5	60	0,0417
-17,5	2,5	60	0,0417
-20	2,5	60	0,0417
-22,5	2,5	60	0,0417
-25	2,5	60	0,0417
-27,5	2,5	60	0,0417
-30	2,5	60	0,0417
Total	30		1,1042

Berdasarkan Tabel 4.10 diatas maka dapat dihitung tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N) yaitu:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{30}{1,1042} = 27,17$$

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N) sebesar 27,17. Jika dilihat dari tabel 5 SNI 1726:2019 apabila nilai $15 < (N) < 50$ maka termasuk ke dalam kategori **Tanah Sedang (SD)**.

4.4.4. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Tertarget

Nilai parameter respon spektra percepatan gempa tertarget pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs yang diperoleh dari Aplikasi Desain Spektra Indonesia di *website* resmi Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia dengan cara menentukan jenis tanah maka didapatkan nilai parameter respon spektra gempa

tertarget berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2 sebagai berikut:

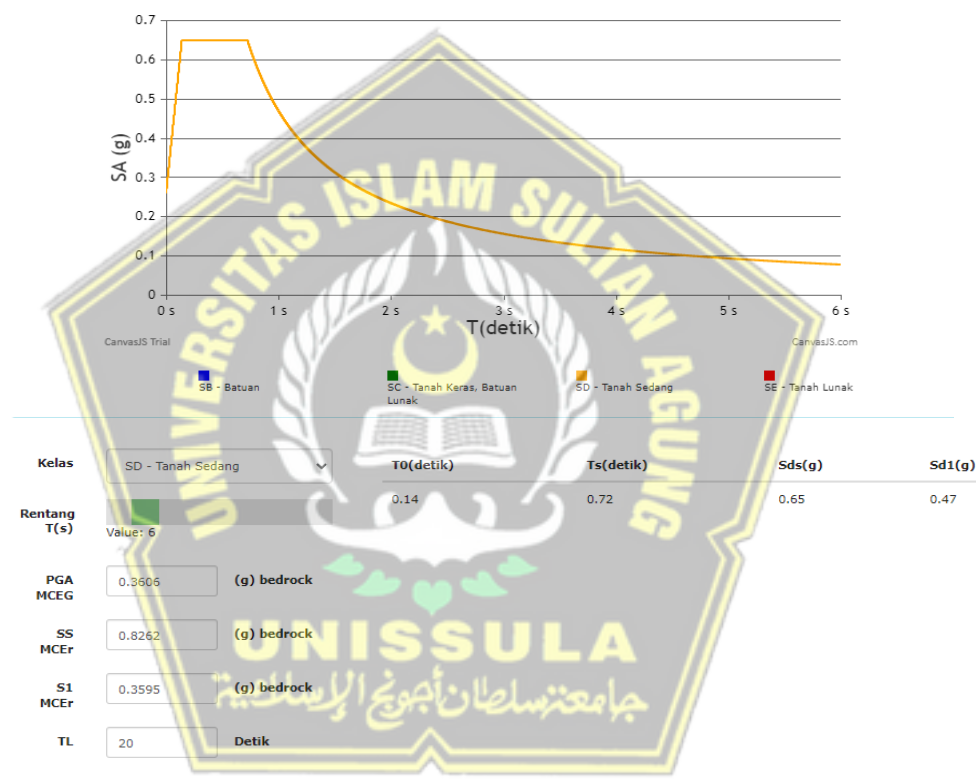
$$F_a = 1,1695$$

$$F_v = 1,9405$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,1695 \times 0,8262 = 0,9662$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,9405 \times 0,3595 = 0,6976$$

Respon spektrum desain yang diperoleh dari aplikasi desain spektra Indonesia di *website* resmi Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia sesuai lokasi perancangan dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3. Respon spektrum Desain Lokasi Perancangan

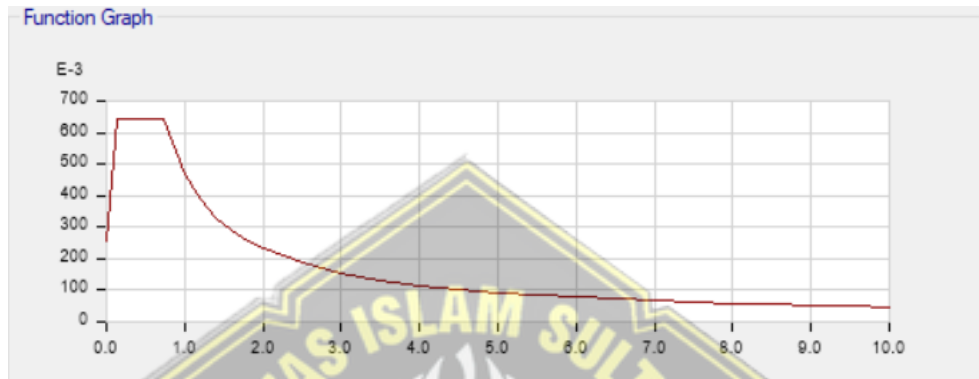
4.4.5. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Desain

Nilai parameter respon spektra percepatan gempa desain didapat dari Aplikasi Desain Spektra Indonesia di *website* resmi Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia dengan cara menginput titik koordinat lokasi perancangan proyek maka didapatkan nilai S_{DS} dan S_{D1} yang terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 10. Data Parameter Respon Spektra Desain

Variabel	Nilai
S_{DS} (g)	0,644
S_{D1} (g)	0,465

Adapun hasil input grafik respon spektrum pada *software* ETABS 18 dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 4. Grafik respon spektrum ETABS 18

4.4.6. Respon spektrum Desain

Nilai respon spektrum desain dapat dihasilkan secara otomatis dari *website* yang disediakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum sehingga dapat mempermudah dalam penentuan Respon spektrum Desain. Nilai respon spektrum desain gempa yang dihasilkan dari laman tersebut bisa diketahui dari tabel berikut ini.

Tabel 4. 11. Nilai Respon spektrum Percepatan Desain

T (detik)	S_a (g)	T (detik)	S_a (g)
0,00	0,2577	4,50	0,1033
0,14	0,6442	5,00	0,0930
0,72	0,6442	5,50	0,0846
1,00	0,4651	6,00	0,0775
1,20	0,3876	6,50	0,0715
1,40	0,3322	7,00	0,0664
1,60	0,2907	7,50	0,0620
1,80	0,2584	8,00	0,0581
2,00	0,2325	8,50	0,0547
2,50	0,1860	9,00	0,0517
3,00	0,1550	9,50	0,0490
3,50	0,1329	10,00	0,0465
4,00	0,1163		

4.4.7. Kategori Desain Seismik

Berlandaskan pada SNI 1726:2019 tiap struktur bangunan diharuskan memiliki suatu Kategori Desain Seismik. Gedung yang dirancang tergolong pada Kategori Risiko IV dan mempunyai nilai $S_{DS} \geq 0,50$ dan nilai $S_{D1} \geq 0,20$ hingga gedung perancangan termasuk Kategori Desain Seismik tinggi yaitu D.

4.4.8. Faktor R , Ω_0 , C_d Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sistem penahan gempa lateral dan vertikal basic dalam konstruksi bangunan dirancang mempunyai penahan gaya seismik sistem rangka pemikul momen khusus. Menggunakan acuan SNI 1726:2019 tabel 12 dihasilkan koefisien modifikasi respon (R) = 8, faktor kuat lebih sistem (Ω_0) = 3, dan faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5.

4.4.9. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai

Perhitungan beban dan model massa terpusat pada struktur dibutuhkan di tiap lantainya dimana beban yang digunakan adalah beban mati yaitu beban struktur tiap lantai itu sendiri. Untuk Massa Efektif Tiap Lantai bisa dilihat pada tabel di bawah ini.

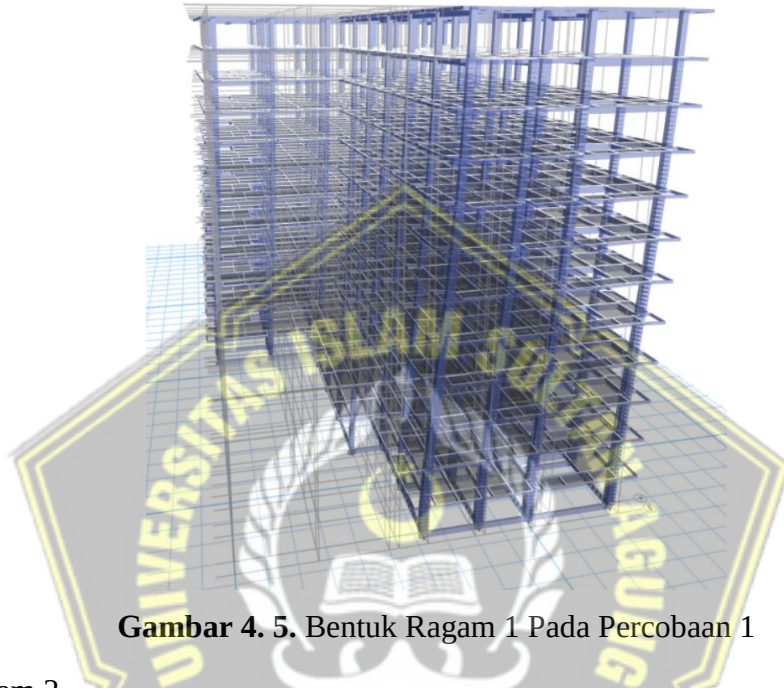
Tabel 4. 12. Massa Efektif Tiap Lantai

Lantai	Tinggi lantai dari dasar, Z_x (m)	Berat lantai, W_x (Ton)	Berat lantai, W_y (Ton)
12	51,6	848,21	848,21
11	47,3	2831,56	2831,56
10	43	4865,68	4865,68
9	38,7	6899,80	6899,80
8	34,4	8968,97	8968,97
7	30,1	11077,30	11077,30
6	25,8	13185,64	13185,64
5	21,5	15293,97	15293,97
4	17,2	17442,63	17442,63
3	12,9	19635,70	19635,70
2	8,6	21890,14	21890,14
1	4,3	24184,44	24184,44

Analisa dinamis getaran bebas akibat gempa dilakukan dengan bantuan *software* ETABS dan menunjukkan ragam gempa yang terjadi. Berikut merupakan hasil dari ragam getar yang terjadi pada struktur.

a. Ragam 1

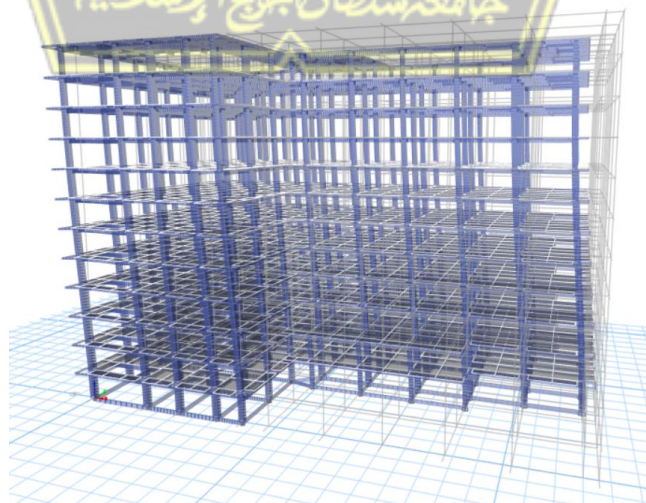
Pada ragam 1 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah Y dengan periode $T = 2,408$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 1 pada percobaan 1.



Gambar 4. 5. Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 1

b. Ragam 2

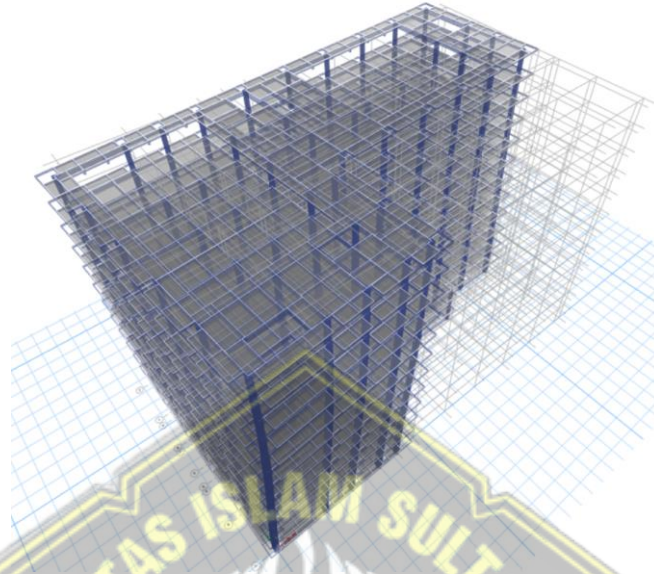
Pada ragam 2 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah X dengan periode $T = 2,331$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 2 pada percobaan 1.



Gambar 4. 6. Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 1

c. Ragam 3

Pada ragam 3 ini didapatkan struktur mengalami rotasi pada arah Z dengan periode $T = 2,261$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 3 pada percobaan 1.



Gambar 4. 7. Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 1

Sesuai dengan SNI 1726:2019 analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Maka digunakan 20 pola ragam getar dalam analisis dinamik yang dilakukan dengan partisipasi massa yang disumbangkan oleh masing-masing pola getar. Hasil partisipasi massa dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 13. Rasio Partisipasi Beban

<i>Case</i>	<i>ItemType</i>	<i>Item</i>	<i>Static</i> (%)	<i>Dynamic</i> (%)
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UX	100	97,67
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UY	100	97,68
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UZ	0	0

Adapun Hasil Partisipasi Massa Bangunan bisa dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 14. Hasil Partisipasi Massa Bangunan

Mode	Periode (detik)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	2,408	0,001	0,597	0,160	0,001	0,597	0,160
2	2,331	0,749	0,007	0,007	0,750	0,604	0,167
3	2,261	0,014	0,159	0,598	0,764	0,763	0,765
4	0,777	0,000	0,086	0,022	0,764	0,849	0,787
5	0,756	0,104	0,001	0,001	0,868	0,850	0,788
6	0,735	0,001	0,020	0,083	0,869	0,869	0,871
7	0,427	0,000	0,038	0,007	0,869	0,907	0,878
8	0,419	0,044	0,000	0,000	0,913	0,907	0,878
9	0,407	0,000	0,006	0,036	0,913	0,913	0,914
10	0,278	0,000	0,025	0,003	0,913	0,938	0,917
11	0,273	0,027	0,000	0,000	0,940	0,938	0,917
12	0,266	0,000	0,002	0,024	0,940	0,940	0,941
13	0,198	0,000	0,016	0,001	0,940	0,956	0,941
14	0,196	0,017	0,000	0,000	0,957	0,956	0,941
15	0,19	0,000	0,001	0,016	0,957	0,957	0,957
16	0,15	0,000	0,012	0,000	0,957	0,968	0,958
17	0,149	0,011	0,000	0,000	0,968	0,968	0,958
18	0,143	0,000	0,000	0,012	0,969	0,968	0,969
19	0,117	0,000	0,009	0,000	0,969	0,977	0,969
20	0,116	0,008	0,000	0,000	0,977	0,977	0,969

4.4.10. Periode Fundamental Struktur

Nilai periode fundamental struktur awal bangunan (T_a) yang diperoleh dari hasil analisis model program struktur dibatasi tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari tabel 17 SNI 1726:2019. Sedangkan nilai periode fundamental pendekatan (T_a) didapatkan dimana tinggi struktur (h_n) adalah 51,6 m dan nilai C_t dan x dapat diperoleh dari Tabel 18 SNI 1726:2019 maka dihitung dengan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$T_a = C_t \times h_n^x$$

$$= (0,0466) \times (51,6)^{0,9} = 1,621 \text{ detik}$$

Dengan berpedoman pada SNI 1726:2019, periode getar struktur (T) tidak diperbolehkan melebihi hasil koefisien untuk batasan terhadap getar yang dihitung (C_u), seperti yang tercantum pada Tabel 17 SNI 1726:2019 maka diperoleh persamaan 2.12 berikut:

$$\begin{aligned} C_u &= 1,4 \\ T_{\max} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 1,621 \\ &= 2,269 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berdasarkan program ETABS maka didapatkan nilai periode berdasarkan mode untuk masing-masing arah yaitu:

$$T_x = 2,331 \text{ detik (mode-2)}$$

$$T_y = 2,408 \text{ detik (mode-1)}$$

Periode desain yang digunakan harus memenuhi persyaratan berikut:

$$T_c < T_a, T = T_a,$$

$$T_a < T_c < C_u T_a, T = T_c,$$

$$T_c > C_u T_a, T = C_u T_a$$

Karena periode getar struktur gedung yang didapat yaitu nilai T_{cx} dan T_{cy} lebih besar dari $T_{\max}$, maka diambil nilai T_{cx} dan $T_{cy} = 2,269$ detik.

4.4.11. Perhitungan Gaya Geser

Perhitungan gaya geser dasar seismik statik dihitung secara otomatis menggunakan program ETABS. Perhitungan nilai gaya geser dasar seismik statik yang dihasilkan ETABS ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 15. Output Gaya Geser Dasar Statik

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
12	51,6	1020,80	1020,80
11	47,3	3044,98	3044,98
10	43	4779,64	4779,64
9	38,7	6201,92	6201,92
8	34,4	7360,71	7360,71
7	30,1	8278,74	8278,74
6	25,8	8965,32	8965,32
5	21,5	9452,26	9452,26
4	17,2	9778,15	9778,15
3	12,9	9971,58	9971,58
2	8,6	10064,18	10064,18
1	4,3	10089,71	10089,71

Sedangkan perhitungan gaya geser dinamik yang dihasilkan oleh ETABS ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 16. Output Gaya Geser Dasar Dinamik

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
12	51,6	936,04	909,35
11	47,3	2339,46	2227,60
10	43	3393,34	3205,67
9	38,7	4149,98	3901,42
8	34,4	4708,01	4410,49
7	30,1	5167,01	4828,73
6	25,8	5597,28	5222,53
5	21,5	6050,00	5641,03
4	17,2	6543,83	6103,07
3	12,9	7034,39	6568,53
2	8,6	7451,88	6972,55
1	4,3	7668,10	7186,28

Sesuai dengan SNI Pasal 7.9.2.5.2 1726:2019 Gaya geser dasar, V_x dan V_y harus dihitung untuk arah x dan arah y sesuai pasal 7.8.1.1. Untuk tiap gerak tanah yang dianalisis, faktor skala gaya geser dasar untuk tiap arah respon harus ditentukan sebagai berikut:

$$\eta_x = \frac{V_x}{I_x} \geq 1,0$$

$$\eta_y = \frac{V_y}{I_y} \geq 1,0$$

Untuk perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik bisa dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 17. Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik

	V_{Statik} (kN)	V_{Dinamik} (kN)	$\frac{V_x / V_y}{V_{ix} / V_{iy}} \geq 1,0$
Sumbu X	10089,708	7668,098	1,316
Sumbu Y	10089,708	7186,277	1,404

Faktor pembesaran gempa arah X = $\frac{10089,708}{7668,098} = 1,316$

Faktor pembesaran gempa arah Y = $\frac{10089,708}{7186,277} = 1,404$

Selanjutnya gempa dibesarkan dari kedua arahnya maka didapatkan nilai gaya geser dasar dinamik dilihat dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4. 18. Output Gaya Geser Dinamik Terkoreksi

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
12	51,6	1231,64	1276,72
11	47,3	3078,27	3127,54
10	43	4464,96	4500,77
9	38,7	5460,55	5477,59
8	34,4	6194,81	6192,33
7	30,1	6798,76	6779,53
6	25,8	7364,91	7332,44
5	21,5	7960,61	7920,01
4	17,2	8610,38	8568,72
3	12,9	9255,86	9222,22
2	8,6	9805,20	9789,46
1	4,3	10089,70	10089,53

Gaya geser desain yang akan digunakan diambil dari yang terbesar dari gaya geser statik ekuivalen dan gaya geser dinamik terkoreksi. Gaya geser desain untuk setiap lantai dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 19. Gaya Geser Desain

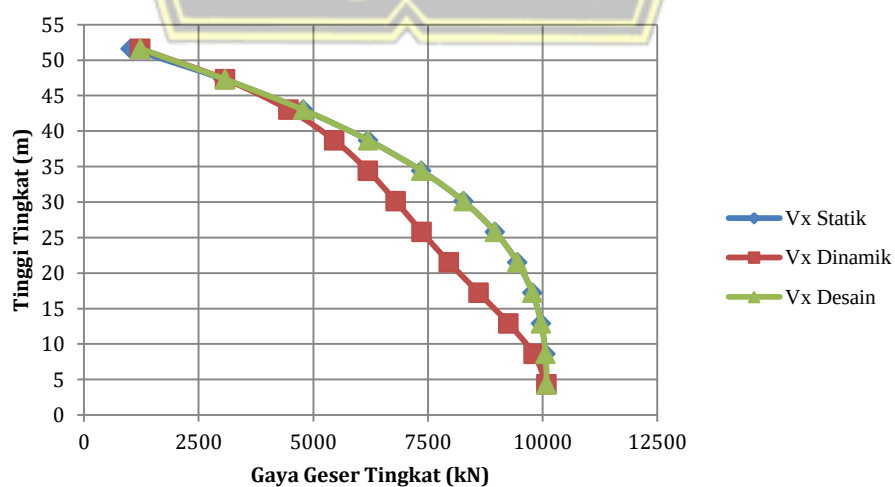
Lantai	Elevasi (m)	Statik		Dinamik Terkoreksi		Gaya Geser Desain	
		V_x (kN)	V_y (kN)	V_{Spec-X} (kN)	V_{Spec-Y} (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)
12	51,6	1020,80	1020,80	1231,64	1276,72	1231,64	1276,72
11	47,3	3044,98	3044,98	3078,27	3127,54	3078,27	3127,54
10	43	4779,64	4779,64	4464,96	4500,77	4779,64	4779,64
9	38,7	6201,92	6201,92	5460,55	5477,59	6201,92	6201,92
8	34,4	7360,71	7360,71	6194,81	6192,33	7360,71	7360,71
7	30,1	8278,74	8278,74	6798,76	6779,53	8278,74	8278,74
6	25,8	8965,32	8965,32	7364,91	7332,44	8965,32	8965,32
5	21,5	9452,26	9452,26	7960,61	7920,01	9452,26	9452,26
4	17,2	9778,15	9778,15	8610,38	8568,72	9778,15	9778,15
3	12,9	9971,58	9971,58	9255,86	9222,22	9971,58	9971,58
2	8,6	10064,18	10064,18	9805,20	9789,46	10064,18	10064,18
1	4,3	10089,71	10089,71	1008,70	10089,53	10089,71	10089,71

Keterangan :

V_{Spec-X} : Gaya geser dinamik arah X

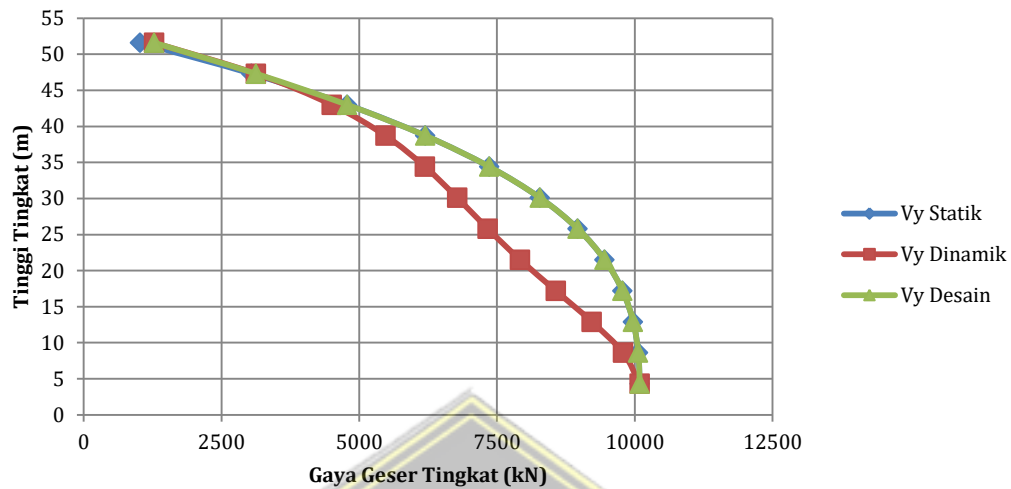
V_{Spec-Y} : Gaya geser dinamik arah Y

Grafik dari hasil perhitungan gaya geser desain arah X dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 8. Distribusi Gaya Geser Gempa Arah X

Grafik dari hasil perhitungan gaya geser desain arah Y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 9. Distribusi Gaya Geser Gempa Arah Y

Perhitungan gaya gempa desain diambil dari gaya geser desain pada suatu lantai dikurangi gaya geser desain lantai di atasnya. Gaya gempa desain yang akan dimasukan pada tiap lantai dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 20. Gaya Gempa Desain

Lantai	Gaya Geser Desain		Gempa Desain	
	V_x (kN)	V_y (kN)	F_x (kN)	F_y (kN)
12	1231,64	1276,72	1231,64	1276,72
11	3078,27	3127,54	1846,63	1850,82
10	4779,64	4779,64	1701,37	1652,10
9	6201,92	6201,92	1422,28	1422,28
8	7360,71	7360,71	1158,79	1158,79
7	8278,74	8278,74	918,03	918,03
6	8965,32	8965,32	686,59	686,59
5	9452,26	9452,26	486,94	486,94
4	9778,15	9778,15	325,89	325,89
3	9971,58	9971,58	193,42	193,42
2	10064,18	10064,18	92,61	92,61
1	10089,71	10089,71	25,52	25,52

4.4.12. Persyaratan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019 faktor-faktor dalam kriteria persyaratan simpangan adalah sebagai berikut:

- Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk Sistem Ganda = 5,5 (Tabel 8 SNI 1726:2019),
- Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1,5 (Tabel 2 SNI 1726:2019),
- Faktor redundansi untuk gedung dengan KDS D adalah $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 1726:2019),
- Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1, simpangan antar lantai izin untuk gedung dengan kategori risiko IV adalah $= (0,010) \times h$, dimana h adalah tinggi tingkat.

Simpangan antar lantai ialah perpindahan horizontal di bagian atas tingkat relatif terhadap bawahnya. Berdasarkan analisis *software* ETABS, didapat simpangan arah X dan Y yang ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 21. Besaran Simpangan Struktur Arah X

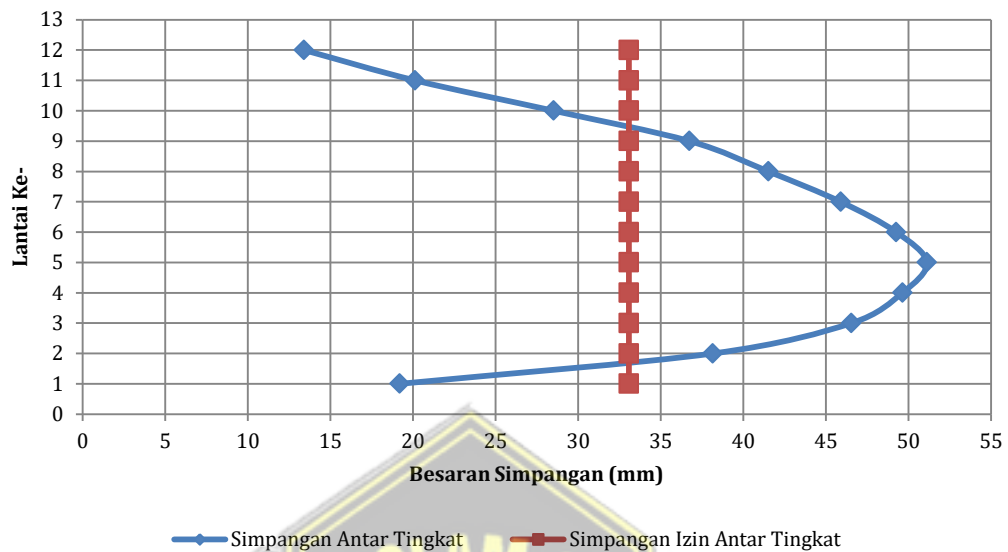
Lantai	h (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar lantai (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
12	4300	120,04	440,16	13,40	33,08	OK
11	4300	116,39	426,76	20,13	33,08	OK
10	4300	110,90	406,62	28,52	33,08	OK
9	4300	103,12	378,10	36,75	33,08	NOT
8	4300	93,10	341,35	41,52	33,08	NOT
7	4300	81,77	299,83	45,90	33,08	NOT
6	4300	69,25	253,93	49,27	33,08	NOT
5	4300	55,82	204,66	51,12	33,08	NOT
4	4300	41,88	153,54	49,64	33,08	NOT
3	4300	28,34	103,90	46,56	33,08	NOT
2	4300	15,64	57,34	38,16	33,08	NOT
1	4300	5,23	19,19	19,19	33,08	OK

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar $= (\delta_e \times C_d) / I_e$

Simpangan antar lantai $= (\delta_n - \delta_i)$

Grafik dari hasil analisis simpangan antar lantai arah X dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 10. Simpangan antar tingkat arah X

Tabel 4. 22. Besaran Simpangan Struktur Arah Y

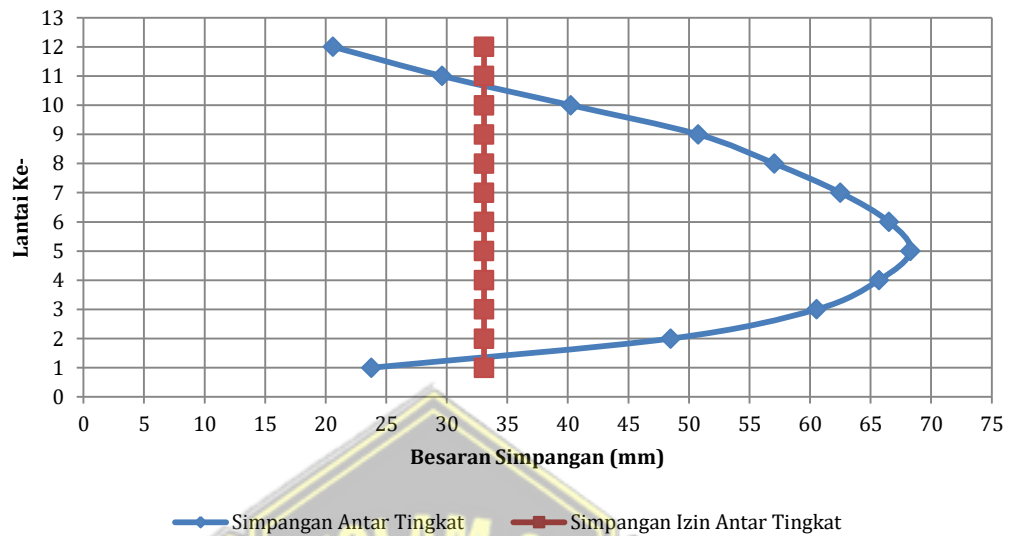
Lantai	h (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar lantai (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
12	4300	162,02	594,08	20,61	33,08	OK
11	4300	156,40	573,47	29,60	33,08	OK
10	4300	148,33	543,87	40,24	33,08	NOT
9	4300	137,35	503,63	50,75	33,08	NOT
8	4300	123,51	452,88	57,05	33,08	NOT
7	4300	107,95	395,83	62,51	33,08	NOT
6	4300	90,91	333,32	66,52	33,08	NOT
5	4300	72,76	266,80	68,29	33,08	NOT
4	4300	54,14	198,51	65,69	33,08	NOT
3	4300	36,22	132,82	60,55	33,08	NOT
2	4300	19,71	72,27	48,50	33,08	NOT
1	4300	6,48	23,77	23,77	33,08	OK

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar = $(\delta_e \times C_d) / I_e$

Simpangan antar lantai = $(\delta_n - \delta_i)$

Grafik dari hasil analisis simpangan antar lantai arah Y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 11. Simpangan antar tingkat arah Y

Berdasarkan kontrol simpangan antar lantai di atas, terdapat simpangan yang melebihi batas izinnya. Untuk mengatasi masalah tersebut, bisa dilakukan dengan memperbesar ukuran dimensi pada elemen struktur, akan tetapi hal tersebut dapat menyebabkan struktur menjadi lebih boros. Maka dari itu, diperlukan perkuatan dengan menambah elemen struktur agar struktur menjadi lebih kuat dan efisien.

4.5. Perkuatan Struktur Dengan Dinding Geser

Berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan untuk meredesain Gedung FT-MIPA Universitas Muhammadiyah Semarang dengan menambah lantai menjadi 12 lantai, tidak cukup hanya dengan jenis struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

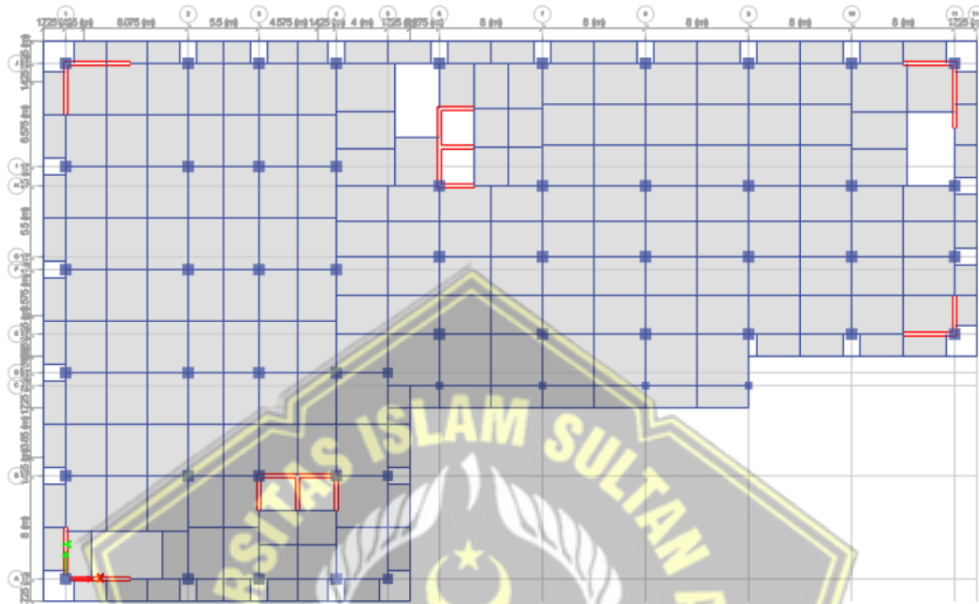
Pada percobaan ini akan dilakukan penambahan elemen struktur yaitu Dinding Geser yang bertujuan untuk memperkaku bangunan sehingga diharapkan pada saat kontrol simpangan antar lantai dapat memenuhi syarat.

4.5.1. Dimensi Dinding Geser

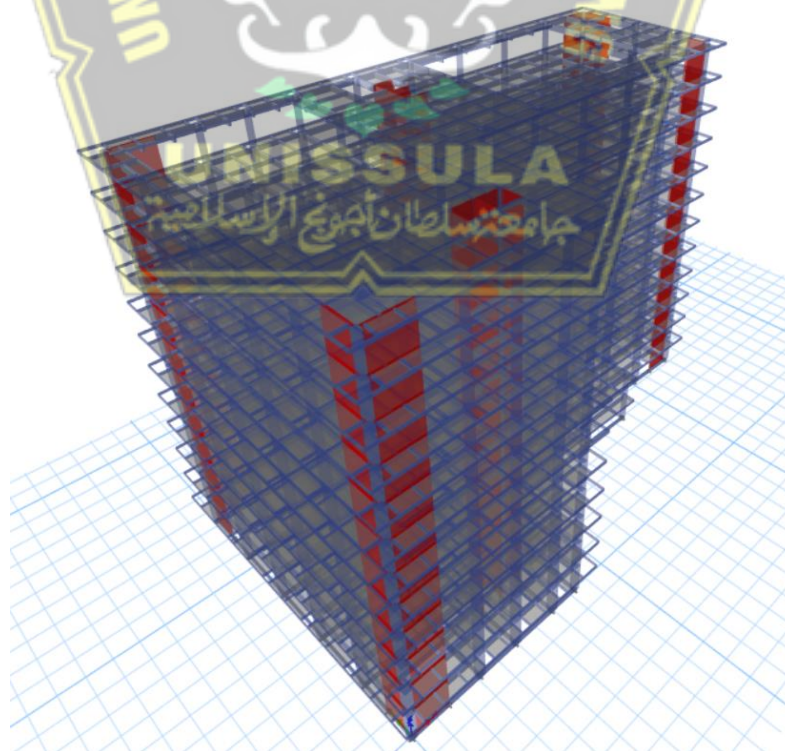
Pada perancangan dinding geser ini dibuat dengan ketebalan 300 mm dengan ketinggian sesuai dengan tinggi total bangunan yaitu 51,6 m.

4.5.2. Pemodelan Dinding Geser

Dinding geser yang berfungsi untuk memperkuat struktur diletakan di beberapa lokasi yang berpotensi mengalami deformasi yang besar. Untuk lebih jelasnya, perletakan dinding geser bisa diketahui dari gambar berikut ini.



Gambar 4. 12. Denah Perletakan Dinding Geser



Gambar 4. 13. Pemodelan 3D Dinding Geser

4.5.3. Faktor R , Ω_0 , C_d Sistem Ganda

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 12, untuk sistem ganda dengan dinding geser beton bertulang khusus didapatkan koefisien modifikasi respon (R) = 7, faktor kuat lebih sistem (Ω_0) = 2,5, dan faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5.

4.5.4. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai

Perhitungan beban dan model massa terpusat pada struktur dilakukan secara otomatis menggunakan *software* ETABS. Hasil perhitungan beban dan model massa terpusat setelah ditambahkan elemen struktur dinding geser bisa diketahui dari tabel berikut ini.

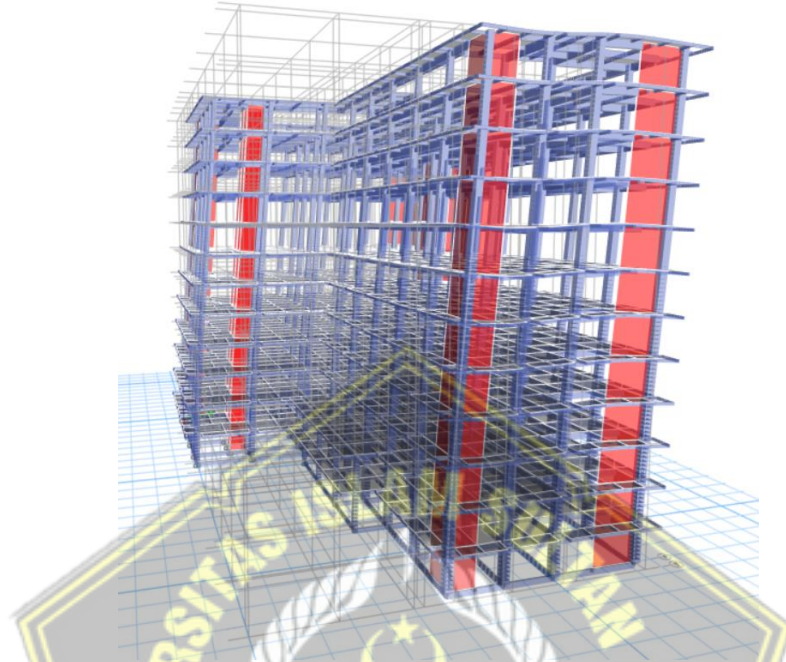
Tabel 4. 23. Massa Efektif Tiap Lantai

Lantai	Tinggi lantai Dari dasar, Z_x (m)	Berat lantai, W_x (Ton)	Berat lantai, W_y (Ton)
12	51,6	913,40	913,40
11	47,3	3058,67	3058,67
10	43	5254,71	5254,71
9	38,7	7450,75	7450,75
8	34,4	9682,23	9682,23
7	30,1	11952,87	11952,87
6	25,8	14223,52	14223,52
5	21,5	16494,16	16494,16
4	17,2	18805,50	18805,50
3	12,9	21161,27	21161,27
2	8,6	23578,40	23578,40
1	4,3	26035,39	26035,39

Analisa dinamis getaran bebas akibat gempa dilaksanakan dengan menggunakan *software* ETABS dan memperlihatkan ragam gempa yang terjadi. Berikut merupakan hasil dari ragam getar yang terjadi pada struktur.

a. Ragam 1

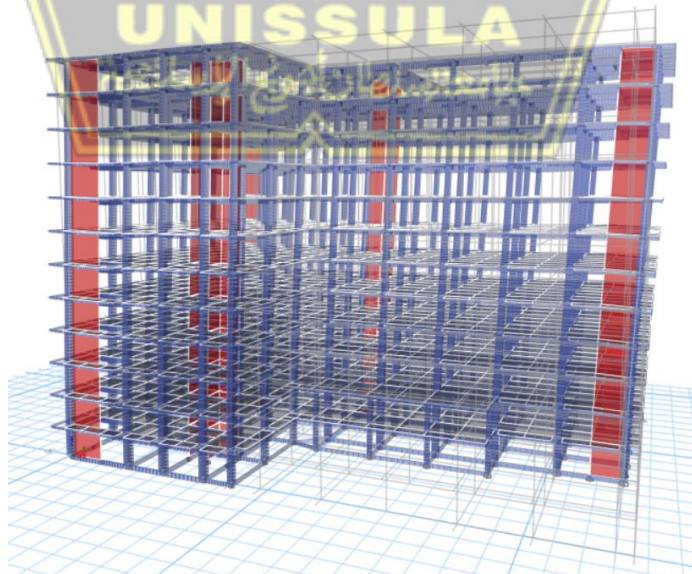
Pada ragam 1 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah Y dengan periode $T = 1,492$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 1 pada percobaan 2.



Gambar 4. 14. Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 2

b. Ragam 2

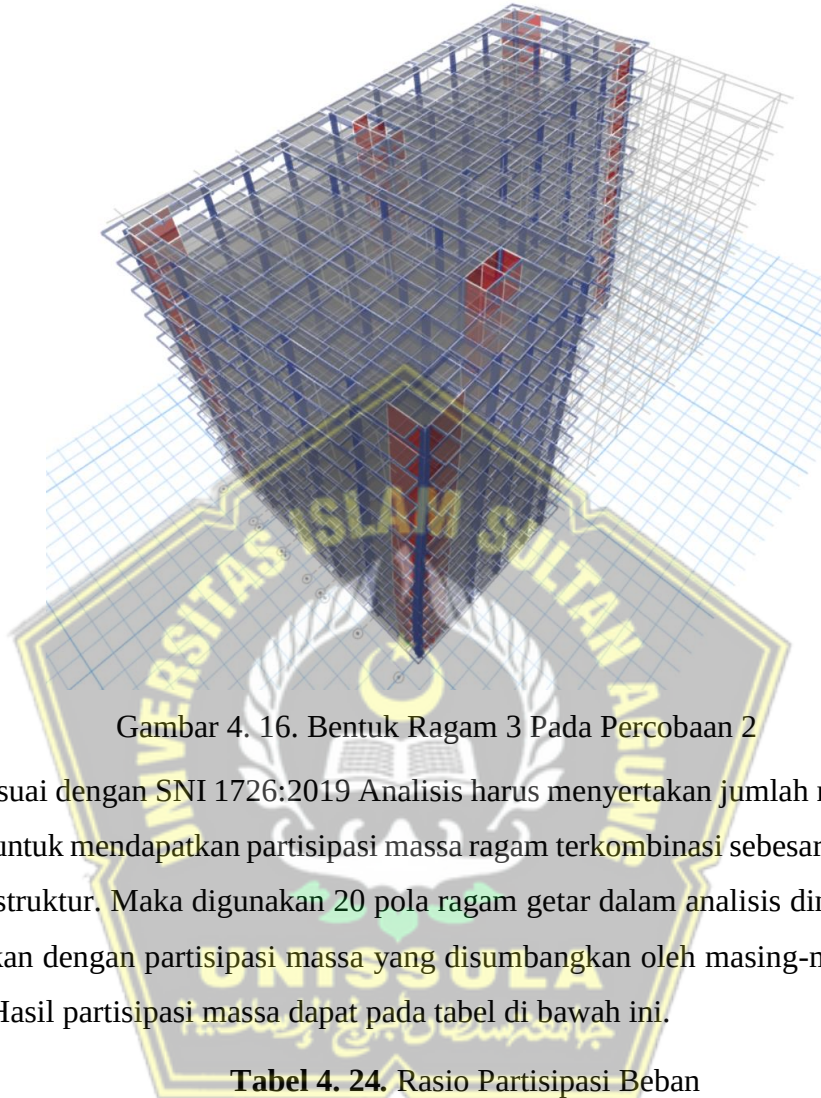
Pada ragam 2 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah X dengan periode $T = 1,451$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 2 pada percobaan 2.



Gambar 4. 15. Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 2

c. Ragam 3

Pada ragam 3 ini didapatkan struktur mengalami rotasi pada arah Z dengan periode $T = 1,203$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 3 pada percobaan 2.



Gambar 4. 16. Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 2

Sesuai dengan SNI 1726:2019 Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Maka digunakan 20 pola ragam getar dalam analisis dinamik yang dilakukan dengan partisipasi massa yang disumbangkan oleh masing-masing pola getar. Hasil partisipasi massa dapat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 24. Rasio Partisipasi Beban

<i>Case</i>	<i>ItemType</i>	<i>Item</i>	<i>Static (%)</i>	<i>Dynamic (%)</i>
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UX	100	98,88
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UY	100	98,83
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UZ	0	0

Partisipasi massa bangunan dihitung secara otomatis dengan bantuan *software* ETABS 18 dengan hasil yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 25. Hasil Partisipasi Massa Bangunan

Mode	Period (detik)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	1,492	0,013	0,683	0,000	0,013	0,683	0,000
2	1,451	0,654	0,013	0,028	0,667	0,695	0,028
3	1,203	0,025	0,001	0,663	0,692	0,696	0,691
4	0,400	0,001	0,158	0,000	0,693	0,854	0,691
5	0,387	0,149	0,001	0,009	0,842	0,855	0,700
6	0,310	0,013	0,000	0,156	0,855	0,855	0,856
7	0,185	0,000	0,063	0,000	0,855	0,918	0,856
8	0,178	0,059	0,000	0,004	0,914	0,918	0,860
9	0,140	0,005	0,000	0,061	0,919	0,918	0,921
10	0,111	0,000	0,033	0,000	0,919	0,951	0,921
11	0,107	0,031	0,000	0,002	0,950	0,951	0,923
12	0,084	0,002	0,000	0,031	0,952	0,951	0,954
13	0,077	0,000	0,019	0,000	0,952	0,969	0,954
14	0,074	0,018	0,000	0,001	0,970	0,969	0,955
15	0,058	0,001	0,000	0,018	0,971	0,969	0,972
16	0,058	0,000	0,011	0,000	0,971	0,981	0,972
17	0,056	0,011	0,000	0,001	0,981	0,981	0,973
18	0,046	0,000	0,008	0,000	0,981	0,988	0,973
19	0,045	0,007	0,000	0,000	0,989	0,988	0,973
20	0,044	0,000	0,000	0,011	0,989	0,988	0,984

4.5.5. Periode Fundamental Struktur

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 18, nilai parameter periode pendekatan C_t dan x untuk struktur dengan sistem ganda masuk kedalam Tipe Struktur Lainnya yaitu dengan nilai $C_t = 0,0488$ dan $x = 0,75$.

$$\begin{aligned}
 h_n &= 51,6 \text{ m} \\
 T_a &= C_t \times h_n^x \\
 &= (0,0488) \times (51,6)^{0,75} \\
 &= 0,94 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Sesuai Tabel 17 SNI 1726:2019, koefisien batas atas pada periode yang dihitung untuk S_{D1} yaitu $C_u = 1,4$

$$\begin{aligned} T_{\max} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,94 \\ &= 1,315 \text{ detik} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis menggunakan program ETABS didapatkan nilai periode berdasarkan mode untuk masing-masing arah yaitu:

$$T_x = 1,451 \text{ detik (mode-2)}$$

$$T_y = 1,492 \text{ detik (mode-1)}$$

Periode desain yang digunakan harus memenuhi persyaratan berikut:

$$T_c < T_a, T = T_a,$$

$$T_a < T_c < C_u T_a, T = T_c,$$

$$T_c > C_u T_a, T = C_u T_a$$

Karena periode getar struktur gedung yang didapat yaitu nilai T_{cx} dan T_{cy} lebih besar dari $T_{\max}$, maka diambil nilai T_{cx} dan $T_{cy} = 1,315$ detik.

4.5.6. Perhitungan Gaya Geser

Perhitungan gaya geser dasar seismik statik dihitung secara otomatis menggunakan program ETABS. Perhitungan nilai gaya geser dasar seismik statik yang dihasilkan ETABS ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 26. Output Gaya Geser Dasar Statik

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
12	51,6	1621,66	1621,66
11	47,3	4988,63	4988,63
10	43	8002,56	8002,56
9	38,7	10601,10	10601,10
8	34,4	12838,17	12838,17
7	30,1	14724,46	14724,46
6	25,8	16242,84	16242,84
5	21,5	17417,56	17417,56
4	17,2	18291,02	18291,02
3	12,9	18884,84	18884,84
2	8,6	19229,17	19229,17
1	4,3	19361,11	19361,11

Sedangkan perhitungan gaya geser dinamik yang dihasilkan oleh ETABS ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 27. Output Gaya Geser Dasar Dinamik

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
12	51,6	1436,63	1497,63
11	47,3	3890,05	3995,70
10	43	5686,46	5798,10
9	38,7	7027,54	7122,75
8	34,4	8131,16	8200,80
7	30,1	9119,06	9166,48
6	25,8	10038,31	10077,92
5	21,5	10912,21	10962,71
4	17,2	11741,28	11818,76
3	12,9	12477,56	12590,72
2	8,6	13029,74	13176,74
1	4,3	13288,59	13450,82

Sesuai dengan SNI Pasal 7.9.2.5.2 1726:2019 Gaya geser dasar, V_x dan V_y wajib ditentukan untuk arah X dan arah Y berdasarkan pasal 7.8.1.1. Untuk tiap gerak tanah yang dianalisa, faktor skala gaya geser dasar guna menentukan tiap arah respon wajib dipilih seperti berikut:

$$\eta_x = \frac{V_x}{I_x} \geq 1,0$$

$$\eta_y = \frac{V_y}{I_y} \geq 1,0$$

Adapun perbandingan gaya geser statik dan dinamik dapat dilihat tabel di bawah ini.

Tabel 4. 28. Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik

	V_{statik} (kN)	V_{dinamik} (kN)	$\frac{V_x / V_y}{V_{ix} / V_{iy}} \geq 1,0$
Sumbu X	19361,106	13288,585	1,457
Sumbu Y	19361,106	13450,821	1,439

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah X} = \frac{19361,106}{13288,585} = 1,457$$

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah Y} = \frac{19361,106}{13450,821} = 1,439$$

Selanjutnya gempa dibesarkan pada kedua arahnya maka didapatkan nilai gaya geser dasar dinamik sebagai padat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 29. Output Gaya Geser Dinamik Terkoreksi

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
12	51,6	2093,17	2155,68
11	47,3	5667,80	5751,41
10	43	8285,18	8345,79
9	38,7	10239,13	10252,49
8	34,4	11847,11	11804,23
7	30,1	13286,47	13194,22
6	25,8	14625,83	14506,15
5	21,5	15899,11	15779,72
4	17,2	17107,06	17011,92
3	12,9	18179,81	18123,09
2	8,6	18984,34	18966,60
1	4,3	19361,48	19361,11

Gaya geser desain yang akan digunakan diambil dari yang terbesar dari gaya geser statik ekuivalen dan gaya geser dinamik terkoreksi. Gaya geser desain untuk setiap lantai dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 30. Gaya Geser Desain

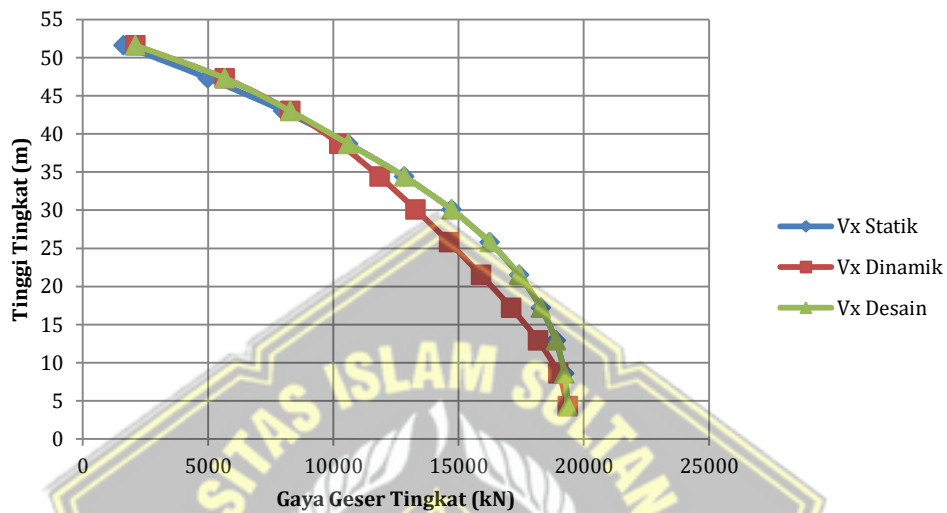
Lantai	Elevasi (m)	Statik		Dinamik Terkoreksi		Gaya Geser Desain	
		V_x (kN)	V_y (kN)	V_{Spec-X} (kN)	V_{Spec-Y} (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)
12	51,6	1621,66	1621,66	2093,17	2155,68	2093,17	2155,68
11	47,3	4988,63	4988,63	5667,80	5751,41	5667,80	5751,41
10	43	8002,56	8002,56	8285,18	8345,79	8285,18	8345,79
9	38,7	10601,10	10601,10	10239,13	10252,49	10601,10	10601,10
8	34,4	12838,17	12838,17	11847,11	11804,23	12838,17	12838,17
7	30,1	14724,46	14724,46	13286,47	13194,22	14724,46	14724,46
6	25,8	16242,84	16242,84	14625,83	14506,15	16242,84	16242,84
5	21,5	17417,56	17417,56	15899,11	15779,72	17417,56	17417,56
4	17,2	18291,02	18291,02	17107,06	17011,92	18291,02	18291,02
3	12,9	18884,84	18884,84	18179,81	18123,09	18884,84	18884,84
2	8,6	19229,17	19229,17	18984,34	18966,60	19229,17	19229,17
1	4,3	19361,11	19361,11	19361,48	19361,11	19361,48	19361,11

Keterangan :

$V_{\text{Spec-X}}$: Gaya geser dinamik arah X

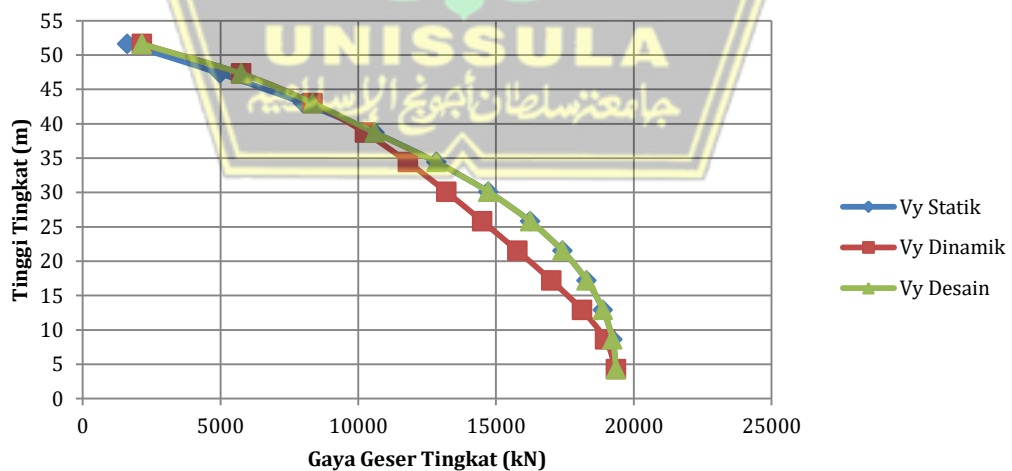
$V_{\text{Spec-Y}}$: Gaya geser dinamik arah Y

Grafik dari hasil perhitungan gaya geser desain arah X dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4. 17. Distribusi Gaya Geser Gempa Arah X

Grafik dari hasil perhitungan gaya geser desain arah Y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 18. Distribusi Gaya Geser Gempa Arah Y

Perhitungan gaya gempa desain diambil dari gaya geser desain pada suatu lantai dikurangi gaya geser desain lantai di atasnya. Gaya gempa desain yang akan dimasukan pada tiap lantai dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 31. Gaya Gempa Desain

Lantai	Gaya Geser Desain		Gempa Desain	
	V_x (kN)	V_y (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)
12	2093,17	2155,68	2093,17	2155,68
11	5667,80	5751,41	3574,63	3595,72
10	8285,18	8345,79	2617,37	2594,38
9	10601,10	10601,10	2315,93	2255,31
8	12838,17	12838,17	2237,07	2237,07
7	14724,46	14724,46	1886,29	1886,29
6	16242,84	16242,84	1518,38	1518,38
5	17417,56	17417,56	1174,72	1174,72
4	18291,02	18291,02	873,46	873,46
3	18884,84	18884,84	593,82	593,82
2	19229,17	19229,17	344,33	344,33
1	19361,48	19361,11	132,31	131,94

4.5.7. Persyaratan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019 faktor-faktor dalam kriteria persyaratan simpangan adalah sebagai berikut:

- Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk Sistem Ganda = 5,5 (Tabel 8 SNI 1726:2019),
- Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1,5 (Tabel 2 SNI 1726:2019),
- Faktor redundansi untuk gedung dengan KDS D adalah $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 1726:2019),
- Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1, simpangan antar lantai izin untuk gedung dengan kategori risiko IV adalah $= (0,010) \times h$, dimana h adalah tinggi tingkat.

Simpangan antar lantai ialah perpindahan horizontal di bagian atas tingkat relatif terhadap bawahnya. Berdasarkan analisis *software* ETABS, didapat simpangan arah X dan Y yang ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 32. Besaran Simpangan Struktur Arah X

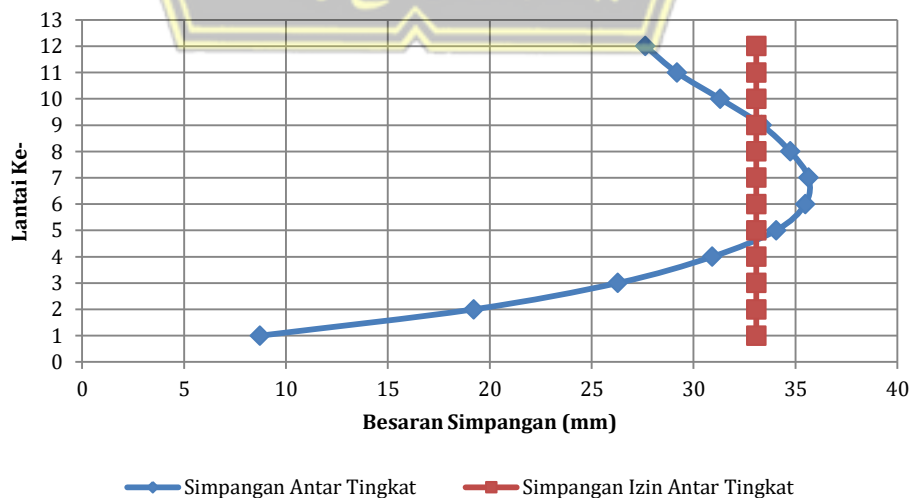
Lantai	<i>h</i> (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar lantai (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
12	4300	94,50	346,51	27,64	33,08	OK
11	4300	86,97	318,87	29,18	33,08	OK
10	4300	79,01	289,69	31,31	33,08	OK
9	4300	70,47	258,38	33,34	33,08	NOT
8	4300	61,37	225,04	34,74	33,08	NOT
7	4300	51,90	190,30	35,64	33,08	NOT
6	4300	42,18	154,66	35,48	33,08	NOT
5	4300	32,50	119,18	34,05	33,08	NOT
4	4300	23,22	85,13	30,92	33,08	OK
3	4300	14,78	54,21	26,28	33,08	OK
2	4300	7,62	27,93	19,21	33,08	OK
1	4300	2,38	8,73	8,73	33,08	OK

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar = $(\delta_e \times C_d) / I_e$

Simpangan antar lantai = $(\delta_n - \delta_i)$

Grafik dari hasil analisis simpangan antar lantai arah X dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 19. Simpangan antar tingkat arah X

Tabel 4. 33. Besaran Simpangan Struktur Arah Y

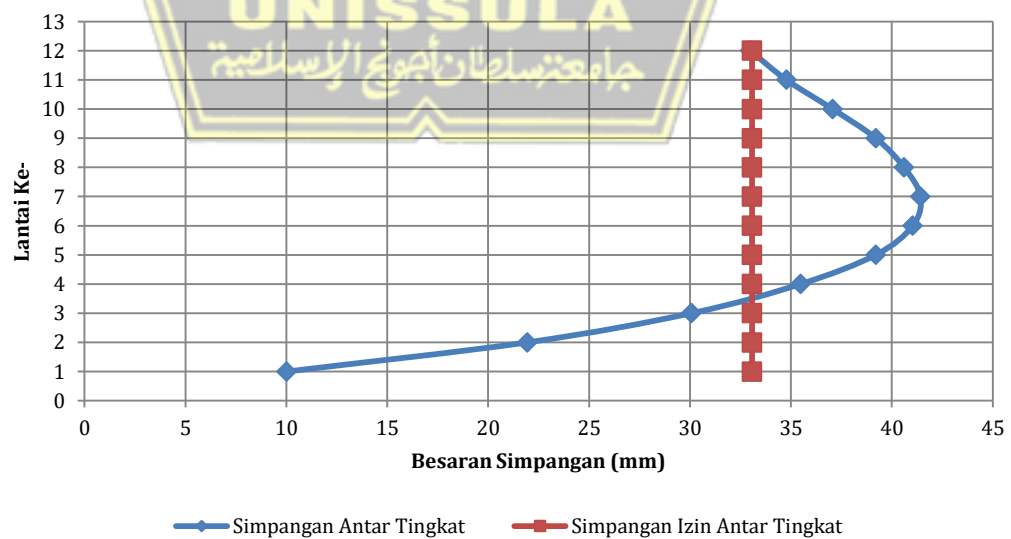
Lantai	h (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar lantai (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
12	4300	110,14	403,85	32,99	33,08	OK
11	4300	101,14	370,86	34,78	33,08	NOT
10	4300	91,66	336,08	37,07	33,08	NOT
9	4300	81,55	299,01	39,21	33,08	NOT
8	4300	70,86	259,80	40,61	33,08	NOT
7	4300	59,78	219,19	41,42	33,08	NOT
6	4300	48,48	177,77	41,04	33,08	NOT
5	4300	37,29	136,73	39,21	33,08	NOT
4	4300	26,60	97,52	35,49	33,08	NOT
3	4300	16,92	62,03	30,08	33,08	OK
2	4300	8,72	31,96	21,95	33,08	OK
1	4300	2,73	10,01	10,01	33,08	OK

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar = $(\delta_e \times C_d) / I_e$

Simpangan antar lantai = $(\delta_n - \delta_i)$

Grafik dari hasil analisis simpangan antar lantai arah Y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 20. Simpangan antar tingkat arah Y

4.5.8. Cek Efektifitas Sistem Struktur

Berdasarkan kontrol simpangan antar lantai di atas, masih terdapat simpangan yang melebihi batas izinnya. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan dengan memperbesar dinding gesernya. Sebelum melakukan penambahan dimensi dinding geser, akan lebih baik untuk melakukan analisis gaya lateral yang bekerja pada dinding geser. Hal ini bertujuan untuk memastikan gaya lateral yang bekerja pada dinding geser tidak melebihi 75% sehingga rangka pemikul momen mampu menahan gaya geser sebesar 25% dari gaya lateral total sesuai SNI 1726:2019 tabel 12.

Berdasarkan hasil perhitungan pada ETABS didapatkan jumlah gaya lateral yang bekerja pada dinding geser dan rangka pemikul momen yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 34. Perbandingan Gaya Lateral Pada Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen

Arah	V_{desain} (kN)	$V_{\text{shear wall}}$		V_{kolom}		Status
		(kN)	(%)	(kN)	(%)	
X	19361,11	17569,43	90,74	1792,05	9,26	NOT
Y	19361,11	6972,34	36,01	12388,77	63,99	OK

Dari hasil analisis pada tabel di atas, rangka pemikul momen hanya menahan gaya lateral sebesar 9,26%. Dapat disimpulkan bahwa dinding geser mendominasi dalam menahan gaya lateral, sehingga dinding geser akan sangat boros jika harus diperbesar dimensinya. Maka dari itu, untuk percobaan berikutnya akan digunakan sistem struktur yang berbeda agar mendapatkan sistem struktur yang lebih efisien.

4.6. Perkuatan Struktur Dengan Bresing Baja dan Dinding Geser

Pada percobaan yang dilakukan dengan menggunakan sistem ganda yaitu sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding geser beton khusus didapatkan hasil kontrol simpangan antar lantai masih belum memenuhi. Oleh karena itu, diperlukan percobaan lagi sampai mendapatkan struktur yang aman. Percobaan selanjutnya menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus yang

ditambahkan bresing baja untuk memperkaku struktur. Dinding geser akan tetap ditambahkan, akan tetapi hanya pada daerah *Lift*.

Pada perancangan ini, bresing yang digunakan merupakan bresing tipe *concentrically braced frame* (CBF) dengan konfigurasi V terbalik (*V inverted*). Bresing tipe ini merupakan bresing konsentris dimana kedua frame bresing dipersatukan pada satu joint pada balok sehingga bresing ini tidak memiliki eksentrisitas. Dalam segi arsitektur, bresing ini masih memungkinkan adanya pintu maupun jendela. Bresing ini dapat meningkatkan kekuatan bangunan, karena besarnya gaya-gaya yang terjadi akan terdistribusikan ke semua elemen-elemen sehingga momen yang terjadi akan lebih kecil.

4.6.1. Mutu Baja

Mutu baja yang akan digunakan untuk bresing sebagai pengaku pada struktur dapat dilihat pada data di bawah ini.

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 370 \text{ Mpa}$$

$$f_{ye} = 264 \text{ Mpa}$$

$$f_{ue} = 407 \text{ Mpa}$$

4.6.2. Dimensi Bresing

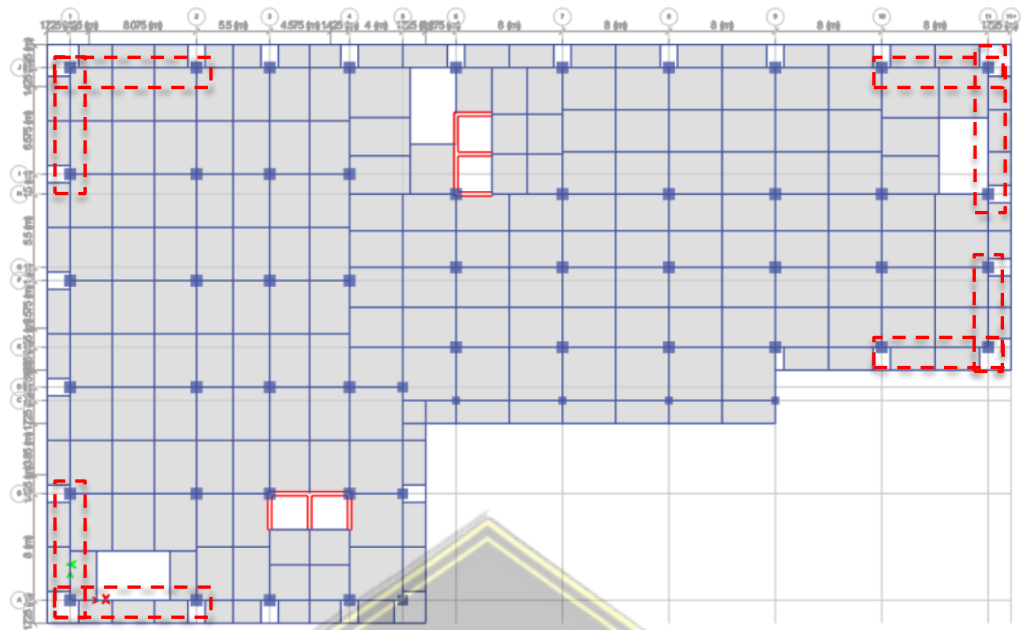
Baja yang akan digunakan untuk bresing merupakan jenis baja profil IWF. Dimensi profil baja dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 35. Dimensi Bresing

No	Nama Bresing	<i>H</i> (mm)	<i>B</i> (mm)	<i>t</i> ₁ (mm)	<i>t</i> ₂ (mm)	<i>r</i> (mm)
1	Bresing 1	400	400	13	21	22
2	Bresing 2	300	300	10	15	18

4.6.3. Pemodelan Bresing dan Dinding Geser

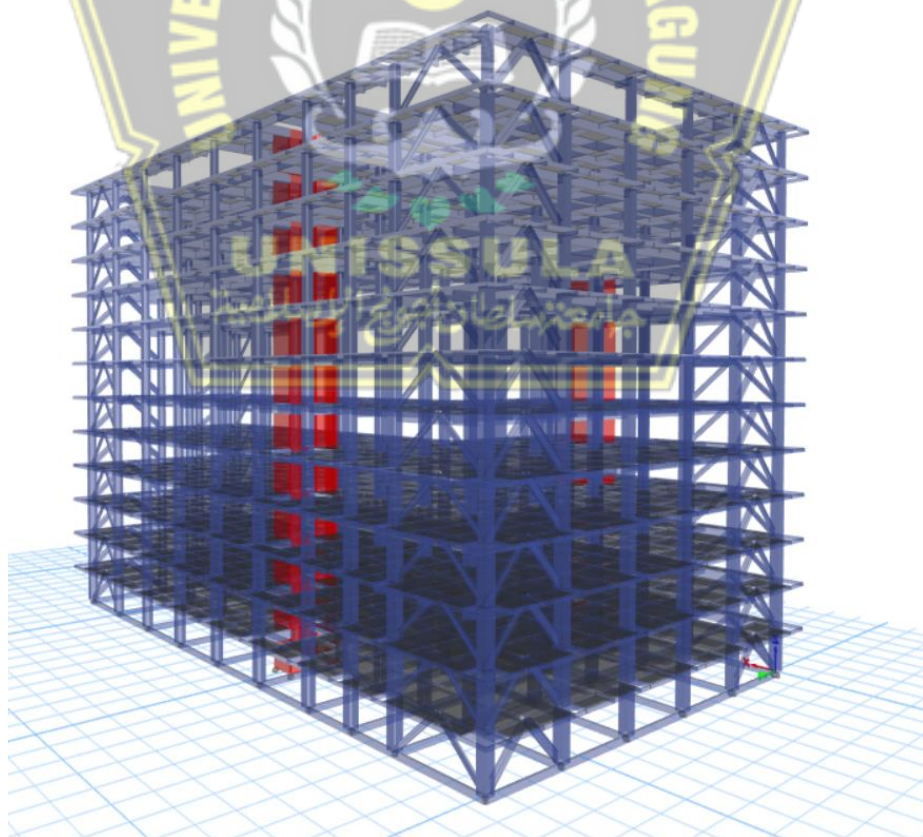
Bresing baja dan dinding geser yang berfungsi untuk memperkaku struktur diletakan di beberapa lokasi yang berpotensi mengalami deformasi yang besar. Untuk lebih jelasnya, perletakan bresing baja dan dinding geser dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Keterangan :

--- = Daerah yang diberikan bresing

Gambar 4. 21. Denah Perletakan Dinding Geser dan Bresing



Gambar 4. 22. Pemodelan 3D Dinding Geser dan Bresing

4.6.4. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai

Perhitungan beban dan model massa terpusat pada struktur dilakukan secara otomatis menggunakan *software* ETABS. Hasil perhitungan beban dan model massa terpusat setelah ditambahkan elemen bresing baja dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

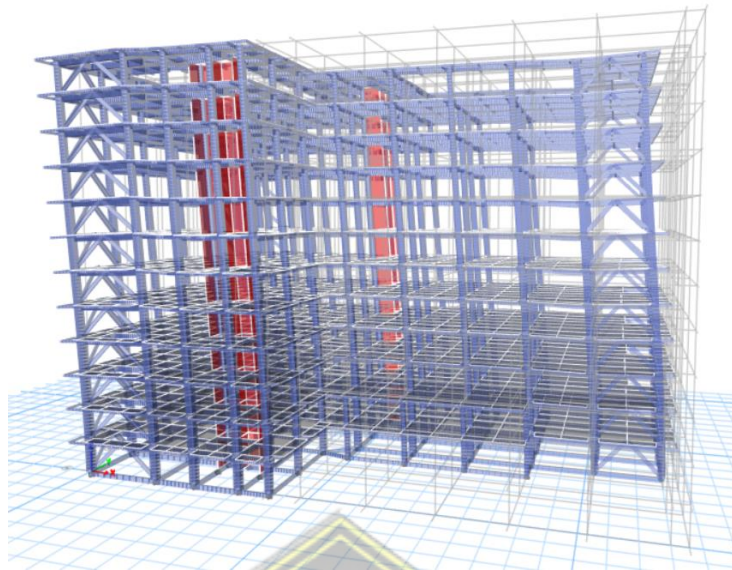
Tabel 4. 36. Massa Efektif Tiap Lantai

Lantai	Tinggi lantai Dari dasar, Z_x (m)	Berat lantai, W_x (Ton)	Berat lantai, W_y (Ton)
12	51,6	885,95	885,95
11	47,3	2956,80	2956,80
10	43	5078,43	5078,43
9	38,7	7200,06	7200,06
8	34,4	9356,89	9356,89
7	30,1	11552,89	11552,89
6	25,8	13748,88	13748,88
5	21,5	15944,88	15944,88
4	17,2	18181,34	18181,34
3	12,9	20462,23	20462,23
2	8,6	22804,48	22804,48
1	4,3	25186,59	25186,59

Analisa dinamis getaran bebas akibat gempa dilakukan dengan bantuan *software* ETABS dan menunjukkan ragam gempa yang terjadi. Berikut merupakan hasil dari ragam getar yang terjadi pada struktur.

a. Ragam 1

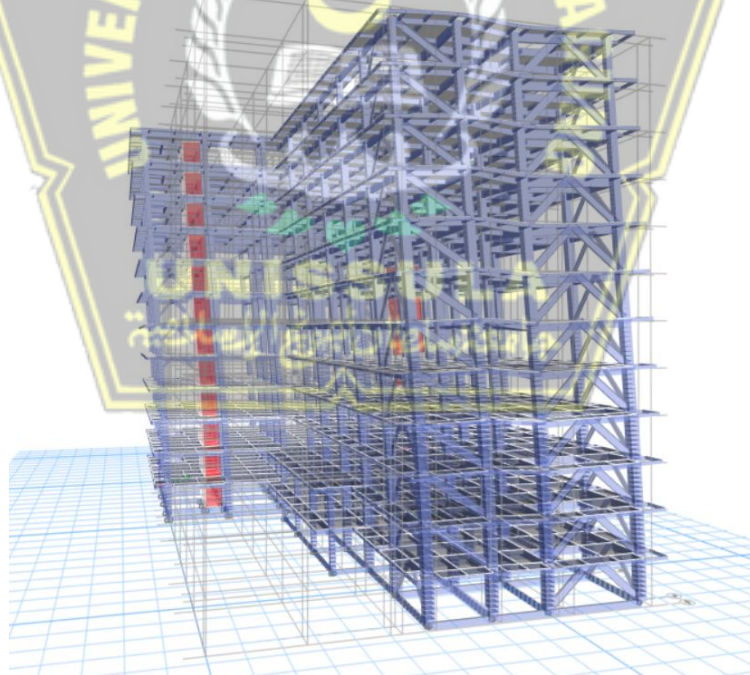
Pada ragam 1 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah X dengan periode $T = 1,405$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 1 pada percobaan 3.



Gambar 4. 23. Bentuk Ragam 1 Pada Percobaan 3

b. Ragam 2

Pada ragam 2 ini didapatkan struktur mengalami translasi pada arah Y dengan periode $T = 1,363$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 2 pada percobaan 3.



Gambar 4. 24. Bentuk Ragam 2 Pada Percobaan 3

c. Ragam 3

Pada ragam 3 ini didapatkan struktur mengalami rotasi pada arah Z dengan periode $T = 1,043$ detik. Berikut adalah gambar bentuk ragam 3 pada percobaan 3.



Gambar 4. 25. Bentuk Ragam 3 Pada Percobaan 3

Berlandaskan pada SNI 1726:2019 Analisis wajib mengikutsertakan keseluruhan ragam yang cukup guna memperoleh keikutsertaan massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Maka digunakan 20 pola ragam getar dalam analisis dinamik yang dilakukan dengan keikutsertaan massa yang diberikan oleh masing-masing pola getar. Hasil partisipasi massa dapat dilihat dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4. 37. Rasio Partisipasi Beban

<i>Case</i>	<i>ItemType</i>	<i>Item</i>	<i>Static (%)</i>	<i>Dynamic (%)</i>
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UX	100	98,57
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UY	100	98,64
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UZ	0	0

Partisipasi massa bangunan dihitung secara otomatis dengan bantuan *software* ETABS 18 dengan hasil yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 38. Hasil Partisipasi Massa Bangunan

Mode	Period (detik)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	1,405	0,703	0,000	0,012	0,703	0,000	0,012
2	1,363	0,000	0,702	0,000	0,703	0,702	0,012
3	1,043	0,008	0,000	0,714	0,711	0,702	0,726
4	0,412	0,145	0,001	0,008	0,856	0,703	0,734
5	0,388	0,001	0,167	0,000	0,857	0,870	0,734
6	0,316	0,012	0,000	0,156	0,869	0,870	0,890
7	0,207	0,047	0,001	0,004	0,916	0,871	0,894
8	0,189	0,001	0,057	0,000	0,917	0,927	0,894
9	0,161	0,008	0,000	0,045	0,925	0,927	0,939
10	0,134	0,022	0,001	0,003	0,947	0,928	0,943
11	0,120	0,001	0,028	0,000	0,948	0,955	0,943
12	0,106	0,005	0,000	0,020	0,953	0,955	0,963
13	0,097	0,012	0,001	0,003	0,965	0,956	0,965
14	0,086	0,001	0,015	0,000	0,966	0,971	0,965
15	0,078	0,003	0,001	0,010	0,970	0,971	0,976
16	0,075	0,007	0,001	0,002	0,977	0,972	0,978
17	0,067	0,001	0,008	0,000	0,978	0,980	0,978
18	0,062	0,002	0,001	0,006	0,980	0,981	0,984
19	0,061	0,004	0,001	0,002	0,984	0,982	0,985
20	0,055	0,002	0,005	0,000	0,986	0,986	0,985

4.6.5. Periode Fundamental Struktur

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 18, nilai parameter periode pendekatan C_t dan x untuk struktur dengan sistem ganda masuk kedalam Tipe Struktur Lainnya yaitu dengan nilai $C_t = 0,0488$ dan $x = 0,75$.

$$h_n = 51,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t \times h_n^x \\
 &= (0,0488) \times (51,6)^{0,75} \\
 &= 0,94 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Sesuai Tabel 17 SNI 1726:2019, koefisien batas atas pada periode yang dihitung untuk S_{D1} yaitu $C_u = 1,4$.

$$\begin{aligned} T_{\max} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,94 \\ &= 1,315 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berdasarkan program ETABS maka didapatkan nilai periode berdasarkan mode untuk masing-masing arah yaitu:

$$T_x = 1,405 \text{ detik (mode-1)}$$

$$T_y = 1,363 \text{ detik (mode-2)}$$

Periode desain yang digunakan harus memenuhi persyaratan berikut:

$$T_c < T_a, T = T_a,$$

$$T_a < T_c < C_u T_a, T = T_c,$$

$$T_c > C_u T_a, T = C_u T_a$$

Karena periode getar struktur gedung yang didapat yaitu nilai T_{cx} dan T_{cy} lebih besar dari $T_{\max}$, maka diambil nilai T_{cx} dan $T_{cy} = 1,315$ detik.

4.6.6. Perhitungan Gaya Geser

Perhitungan gaya geser dasar seismik statik dihitung secara otomatis menggunakan program ETABS. Perhitungan nilai gaya geser dasar seismik statik yang dihasilkan ETABS ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 39. Output Gaya Geser Dasar Statik

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
12	51,6	1573,96	1573,96
11	47,3	4826,25	4826,25
10	43	7739,93	7739,93
9	38,7	10252,05	10252,05
8	34,4	12415,68	12415,68
7	30,1	14241,14	14241,14
6	25,8	15710,55	15710,55
5	21,5	16847,38	16847,38
4	17,2	17693,09	17693,09
3	12,9	18268,40	18268,40
2	8,6	18602,28	18602,28
1	4,3	18730,27	18730,27

Sedangkan perhitungan gaya geser dinamik yang dihasilkan oleh ETABS ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 40. Output Gaya Geser Dasar Dinamik

Lantai	Elevasi (m)	V _x (kN)	V _y (kN)
12	51,6	1309,08	1454,46
11	47,3	3731,10	4029,90
10	43	5620,77	5979,62
9	38,7	7075,40	7451,17
8	34,4	8266,45	8648,06
7	30,1	9308,61	9701,91
6	25,8	10258,36	10675,41
5	21,5	11151,13	11604,32
4	17,2	11988,94	12491,20
3	12,9	12725,08	13284,89
2	8,6	13277,80	13892,97
1	4,3	13537,08	14182,67

Sesuai dengan SNI Pasal 7.9.2.5.2 1726:2019 Gaya geser dasar, V_x dan V_y harus dihitung untuk arah X dan arah Y sesuai pasal 7.8.1.1. Untuk tiap gerak tanah yang dianalisis, faktor skala gaya geser dasar untuk tiap arah respon harus ditentukan sebagai berikut:

$$\eta_x = \frac{V_x}{I_x} \geq 1,0$$

$$\eta_y = \frac{V_y}{I_y} \geq 1,0$$

Berdasar *output* perhitungan sumbu X dan sumbu Y menghasilkan perbandingan gaya geser statik dan dinamik, bisa diketahui pada tabel berikut.

Tabel 4. 41. Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik

	V _{statik} (kN)	V _{dinamik} (kN)	$\frac{V_x / V_y}{V_{ix} / V_{iy}} \geq 1,0$
Sumbu X	18730,274	13537,078	1,384
Sumbu Y	18730,274	14182,671	1,321

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah } X = \frac{18730,274}{13537,078} = 1,384$$

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah } Y = \frac{18730,274}{14182,671} = 1,321$$

Kemudian gempa diperbesar pada kedua arahnya maka didapatkan nilai gaya geser dasar dinamik dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 42. Output Gaya Geser Dinamik Terkoreksi

Lantai	Elevasi (m)	V _x (kN)	V _y (kN)
12	51,6	1811,24	1920,76
11	47,3	5162,35	5321,90
10	43	7776,90	7896,69
9	38,7	9789,52	9840,03
8	34,4	11437,45	11420,64
7	30,1	12879,39	12812,36
6	25,8	14193,46	14097,97
5	21,5	15428,69	15324,69
4	17,2	16587,89	16495,90
3	12,9	17606,42	17544,04
2	8,6	18371,15	18347,09
1	4,3	18729,90	18729,66

Gaya geser desain yang akan digunakan diambil dari yang terbesar dari gaya geser statik ekuivalen dan gaya geser dinamik terkoreksi. Gaya geser desain untuk setiap lantai dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 43. Gaya Geser Desain

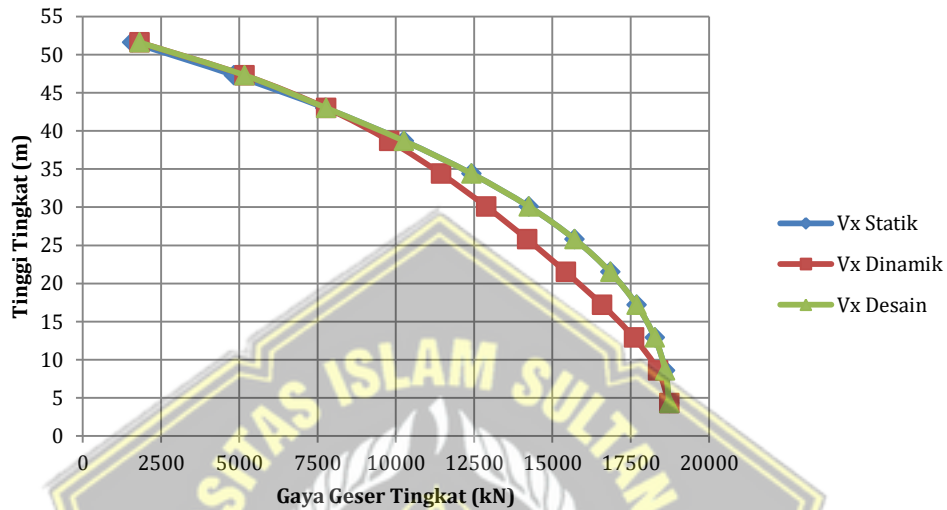
Lantai	Elevasi (m)	Statik		Dinamik Terkoreksi		Gaya Geser Desain	
		V _x (kN)	V _y (kN)	V _{Spec-X} (kN)	V _{Spec-Y} (kN)	V _x (kN)	V _y (kN)
12	51,6	1573,96	1573,96	1811,24	1920,76	1811,24	1920,76
11	47,3	4826,25	4826,25	5162,35	5321,90	5162,35	5321,90
10	43	7739,93	7739,93	7776,90	7896,69	7776,90	7896,69
9	38,7	10252,05	10252,05	9789,52	9840,03	10252,05	10252,05
8	34,4	12415,68	12415,68	11437,45	11420,64	12415,68	12415,68
7	30,1	14241,14	14241,14	12879,39	12812,36	14241,14	14241,14
6	25,8	15710,55	15710,55	14193,46	14097,97	15710,55	15710,55
5	21,5	16847,38	16847,38	15428,69	15324,69	16847,38	16847,38
4	17,2	17693,09	17693,09	16587,89	16495,90	17693,09	17693,09
3	12,9	18268,40	18268,40	17606,42	17544,04	18268,40	18268,40
2	8,6	18602,28	18602,28	18371,15	18347,09	18602,28	18602,28
1	4,3	18730,27	18730,27	18729,90	18729,66	18730,27	18730,27

Keterangan :

$V_{\text{Spec-X}}$: Gaya geser dinamik arah X

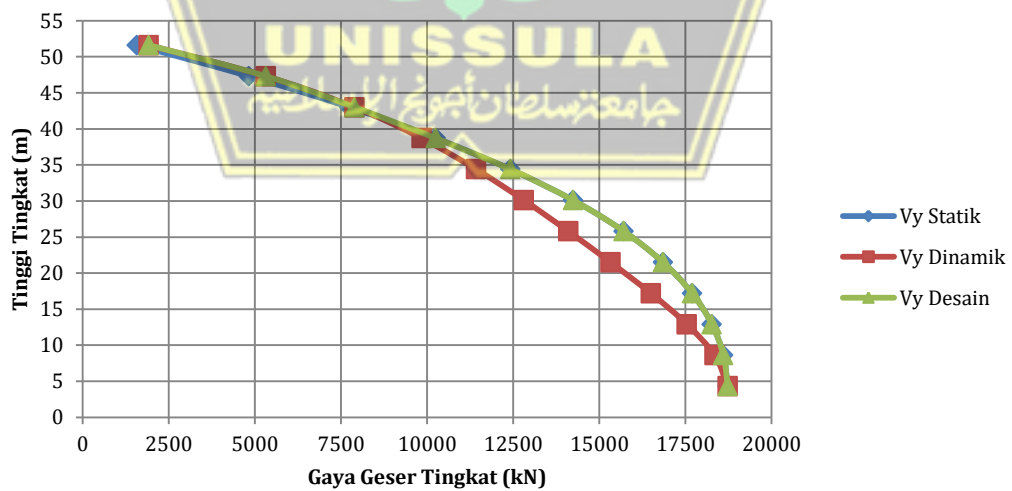
$V_{\text{Spec-Y}}$: Gaya geser dinamik arah Y

Dari gaya geser desain yang didapat menghasilkan grafik distribusi gaya geser gempa arah X yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 26. Distribusi Gaya Geser Gempa Arah X

Sedangkan untuk grafik distribusi gaya geser gempa arah Y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 27. Distribusi Gaya Geser Gempa Arah Y

Perhitungan gaya gempa desain diambil dari gaya geser desain pada suatu lantai dikurangi gaya geser desain lantai di atasnya. Gaya gempa desain yang akan dimasukkan pada tiap lantai dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 44. Gaya Gempa Desain

Lantai	Gaya Geser Desain		Gempa Desain	
	V_x (kN)	V_y (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)
12	1811,24	1920,76	1811,24	1920,76
11	5162,35	5321,90	3351,11	3401,14
10	7776,90	7896,69	2614,55	2574,79
9	10252,05	10252,05	2475,14	2355,35
8	12415,68	12415,68	2163,64	2163,64
7	14241,14	14241,14	1825,45	1825,45
6	15710,55	15710,55	1469,41	1469,41
5	16847,38	16847,38	1136,83	1136,83
4	17693,09	17693,09	845,71	845,71
3	18268,40	18268,40	575,32	575,32
2	18602,28	18602,28	333,87	333,87
1	18730,27	18730,27	128,00	128,00

4.6.7. Persyaratan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019 faktor-faktor dalam kriteria persyaratan simpangan adalah sebagai berikut:

- Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk Sistem Ganda = 5,5 (Tabel 8 SNI 1726:2019),
- Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1,5 (Tabel 2 SNI 1726:2019),
- Faktor redundansi untuk gedung dengan KDS D adalah $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 1726:2019),
- Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1, simpangan antar lantai izin untuk gedung dengan kategori risiko IV adalah $= (0,010) \times h$, dimana h adalah tinggi tingkat.

Simpangan antar lantai ialah perpindahan horizontal di bagian atas tingkat relatif terhadap bawahnya. Berdasarkan analisis *software* ETABS, didapat simpangan arah X dan Y yang ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 45. Besaran Simpangan Struktur Arah *X*

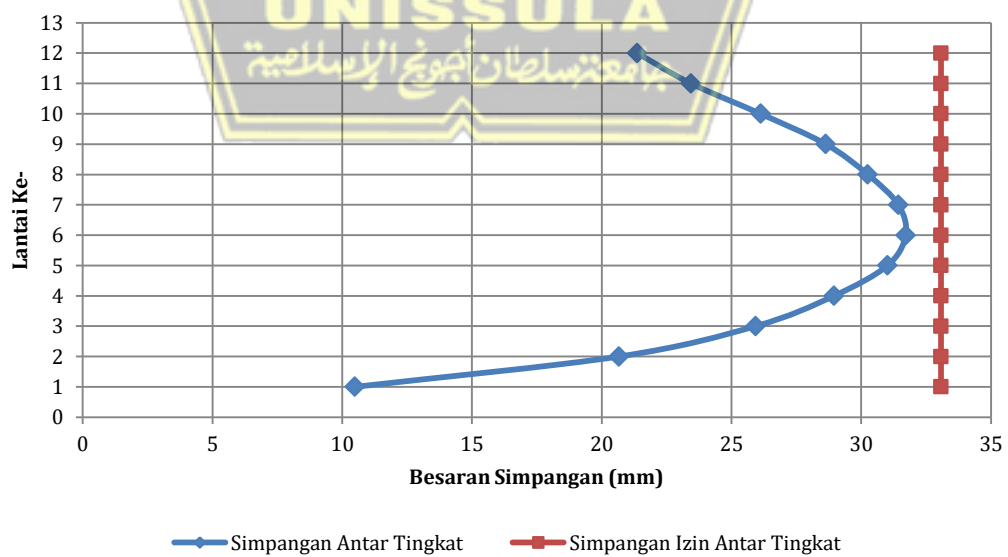
Lantai	<i>h</i> (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar lantai (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
12	4300	84,55	310,02	21,37	33,08	OK
11	4300	78,73	288,66	23,44	33,08	OK
10	4300	72,33	265,22	26,13	33,08	OK
9	4300	65,21	239,09	28,64	33,08	OK
8	4300	57,40	210,46	30,25	33,08	OK
7	4300	49,15	180,20	31,43	33,08	OK
6	4300	40,57	148,77	31,71	33,08	OK
5	4300	31,92	117,05	31,01	33,08	OK
4	4300	23,47	86,04	28,96	33,08	OK
3	4300	15,57	57,09	25,93	33,08	OK
2	4300	8,50	31,15	20,66	33,08	OK
1	4300	2,86	10,49	10,49	33,08	OK

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar = $(\delta_e \times C_d) / I_e$

Simpangan antar lantai = $(\delta_n - \delta_i)$

Dari perhitungan besaran simpangan struktur arah *X* menghasilkan grafik simpangan antar tingkat arah *X* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 28. Simpangan antar tingkat arah *X*

Tabel 4. 46. Besaran Simpangan Struktur Arah Y

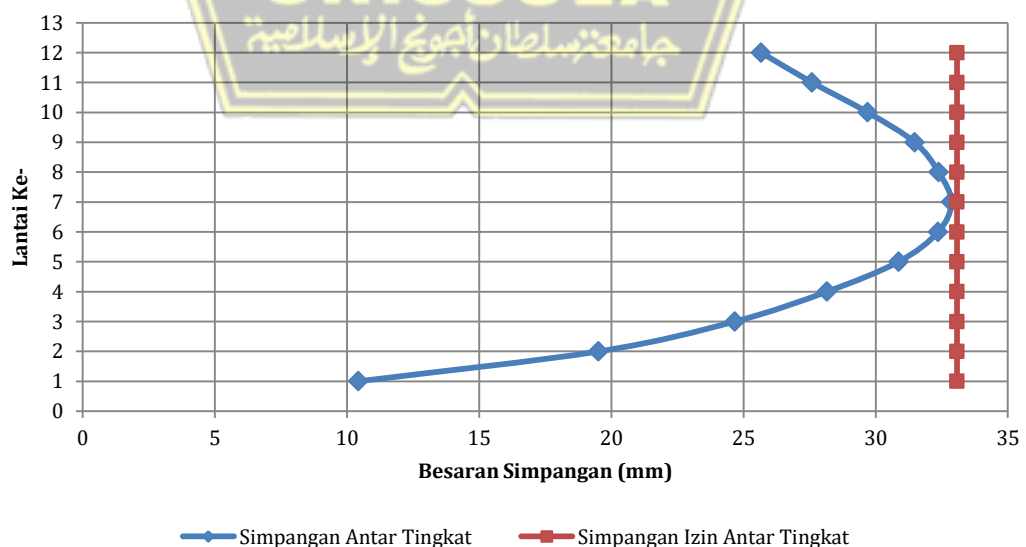
Lantai	h (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar lantai (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
12	4300	88,83	325,70	25,67	33,08	OK
11	4300	81,83	300,03	27,60	33,08	OK
10	4300	74,30	272,44	29,70	33,08	OK
9	4300	66,20	242,74	31,48	33,08	OK
8	4300	57,62	211,26	32,38	33,08	OK
7	4300	48,79	178,88	32,86	33,08	OK
6	4300	39,82	146,02	32,37	33,08	OK
5	4300	31,00	113,65	30,87	33,08	OK
4	4300	22,58	82,79	28,16	33,08	OK
3	4300	14,90	54,63	24,67	33,08	OK
2	4300	8,17	29,95	19,52	33,08	OK
1	4300	2,85	10,44	10,44	33,08	OK

Keterangan:

Perpindahan yang diperbesar = $(\delta_e \times C_d) / I_e$

Simpangan antar lantai = $(\delta_n - \delta_i)$

Sedangkan dari perhitungan besaran simpangan struktur arah Y menghasilkan grafik simpangan antar tingkat arah Y yang dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4. 29. Simpangan antar tingkat arah X

4.6.8. Pengecekan P-Delta

Pengecekan P-delta berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.7, untuk nilai θ merupakan acuan dalam menentukan kestabilan bangunan terhadap P-delta. Nilai θ maksimum dihitung dengan persamaan 2.21 sebagai berikut :

$$\theta = \frac{P_x \times \Delta \times I_e}{V_x \times h_{sx} \times C_d}$$

P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat x (kN); bila menghitung P_x , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0;

Δ = Simpangan antar tingkat desain terjadi secara serentak dengan V_x (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2.

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan $x-1$ (kN)

h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat x , (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi

Jika nilai θ lebih kecil dari nilai θ maksimum, maka pengaruh P-delta bisa diabaikan. Nilai θ maksimum dihitung menggunakan persamaan berikut:

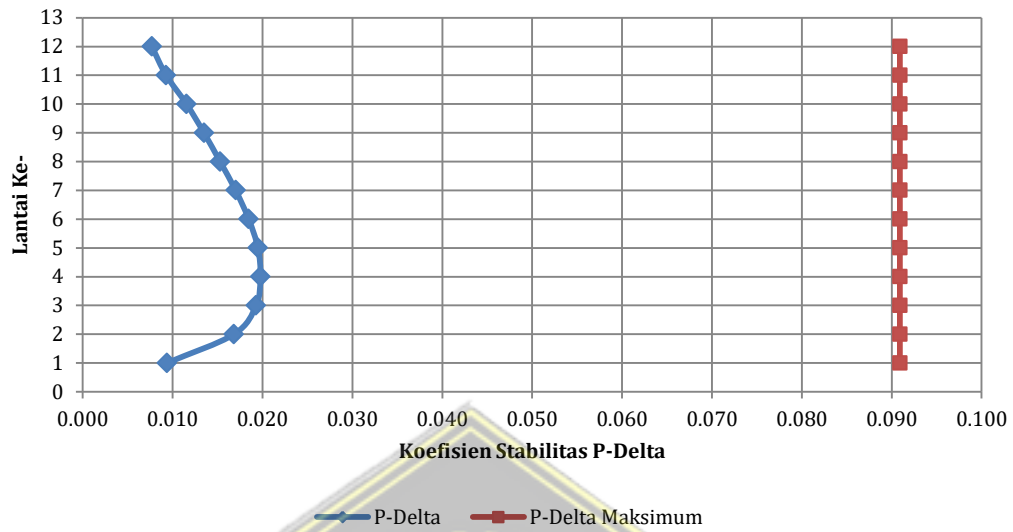
$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta_{cd}} \leq 0,25$$

Hasil dari pengecekan P-Delta arah X dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 47. Pengecekan P-Delta arah X

Lantai	h_{sx} (mm)	Δ_i (mm)	P (kN)	V_x KN	θ	$\theta_{\max}$	Cek
12	4300	21,37	10273,01	1811,24	0,0077	0,0909	STABIL
11	4300	23,44	32235,22	5162,35	0,0093	0,0909	STABIL
10	4300	26,13	54197,42	7776,90	0,0115	0,0909	STABIL
9	4300	28,64	76159,62	10252,05	0,0135	0,0909	STABIL
8	4300	30,25	98851,11	12415,68	0,0153	0,0909	STABIL
7	4300	31,43	121542,60	14241,14	0,0170	0,0909	STABIL
6	4300	31,71	144234,09	15710,55	0,0185	0,0909	STABIL
5	4300	31,01	166925,58	16847,38	0,0195	0,0909	STABIL
4	4300	28,96	190449,58	17693,09	0,0198	0,0909	STABIL
3	4300	25,93	214237,13	18268,40	0,0193	0,0909	STABIL
2	4300	20,66	238813,53	18602,28	0,0168	0,0909	STABIL
1	4300	10,49	263756,40	18730,27	0,0094	0,0909	STABIL

Dari pengecekan P-Delta arah X menghasilkan grafik stabilitas P-Delta arah X dapat dilihat di gambar di bawah ini.



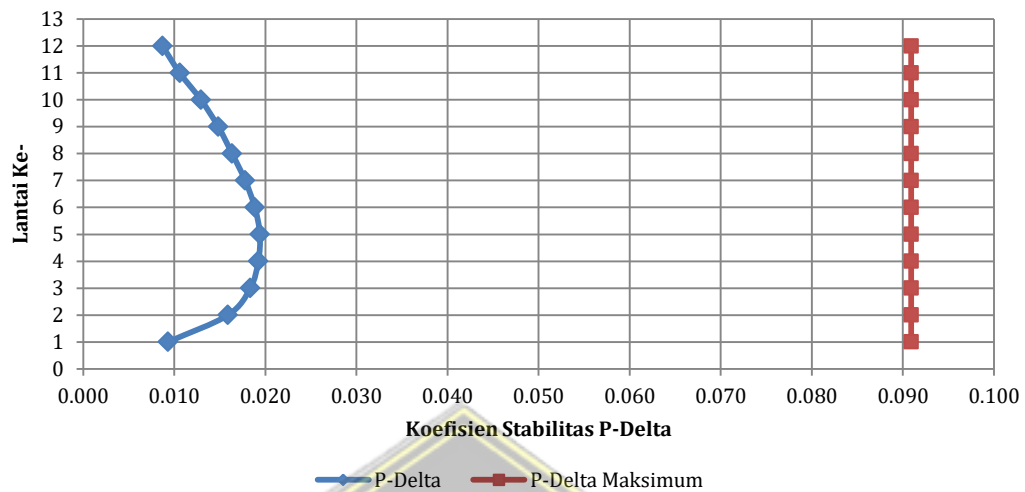
Gambar 4. 30. Cek stabilitas P-Delta Arah X

Sedangkan untuk hasil dari pengecekan P-Delta arah Y dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 48. Pengecekan P-Delta arah Y

Lantai	h_{sx} (mm)	Δ_i (mm)	P (kN)	V_x KN	θ	θ_{max}	Cek
12	4300	25,67	10273,01	1920,76	0,0087	0,0909	STABIL
11	4300	27,60	32235,22	5321,90	0,0106	0,0909	STABIL
10	4300	29,70	54197,42	7896,69	0,0129	0,0909	STABIL
9	4300	31,48	76159,62	10252,05	0,0148	0,0909	STABIL
8	4300	32,38	98851,11	12415,68	0,0164	0,0909	STABIL
7	4300	32,86	121542,60	14241,14	0,0178	0,0909	STABIL
6	4300	32,37	144234,09	15710,55	0,0188	0,0909	STABIL
5	4300	30,87	166925,58	16847,38	0,0194	0,0909	STABIL
4	4300	28,16	190449,58	17693,09	0,0192	0,0909	STABIL
3	4300	24,67	214237,13	18268,40	0,0184	0,0909	STABIL
2	4300	19,52	238813,53	18602,28	0,0159	0,0909	STABIL
1	4300	10,44	263756,40	18730,27	0,0093	0,0909	STABIL

Kemudian dari pengecekan P-Delta arah Y menghasilkan grafik stabilitas P-Delta arah Y dapat dilihat di gambar di bawah ini.



Gambar 4. 31. Cek stabilitas P-Delta Arah Y

4.6.9. Cek Ketidakberaturan Struktur

Menurut SNI 1726:2019 struktur termasuk dalam kategori ketidakberaturan struktur apabila pada suatu bangunan melebihi batas-batas dan dikategorikan sebagai ketidakberaturan struktur maka harus dilakukan prosedur analisis yang telah ditentukan dalam tabel 13 dan tabel 14 SNI 1726:2019.

1. Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b

Tipe ketidakberaturan torsi 1a dan torsi 1b ditentukan berdasarkan defleksi maksimum ($\delta_{\max}$), defleksi minimum ($\delta_{\min}$), dan defleksi rata-rata (δ_{avg}).

$$\delta_{\max} < 1,2 \delta_{\text{avg}} \quad = \text{tanpa ketidakberaturan torsi}$$

$$1,2 \delta_{\text{avg}} < \delta_{\max} < 1,4 \delta_{\text{avg}} \quad = \text{ketidakberaturan torsi 1a}$$

$$\delta_{\max} > 1,4 \delta_{\text{avg}} \quad = \text{ketidakberaturan 1b}$$

Dari hasil perhitungan mendapatkan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b arah X dan arah Y dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 49. Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah X

Lantai	Gaya Lateral	$\delta_{\max}$	δ_{avg}	$\delta_{\max} / \delta_{\text{avg}}$	Status	
					1a	1b
12	EX	7,165	6,452	1,11	OK	OK
11	EX	7,66	6,867	1,116	OK	OK
10	EX	8,29	7,415	1,118	OK	OK
9	EX	8,846	7,91	1,118	OK	OK
8	EX	9,147	8,189	1,117	OK	OK
7	EX	9,313	8,346	1,116	OK	OK
6	EX	9,221	8,264	1,116	OK	OK
5	EX	8,847	7,915	1,118	OK	OK
4	EX	8,105	7,222	1,122	OK	OK
3	EX	7,093	6,27	1,131	OK	OK
2	EX	5,635	4,864	1,159	OK	OK
1	EX	2,827	2,434	1,161	OK	OK

Tabel 4. 50. Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b arah Y

Lantai	Gaya Lateral	$\delta_{\max}$	δ_{avg}	$\delta_{\max} / \delta_{\text{avg}}$	Status	
					1a	1b
12	EY	7,941	6,671	1,19	OK	OK
11	EY	8,349	7,025	1,188	OK	OK
10	EY	8,805	7,477	1,178	OK	OK
9	EY	9,17	7,861	1,167	OK	OK
8	EY	9,304	8,049	1,156	OK	OK
7	EY	9,324	8,13	1,147	OK	OK
6	EY	9,087	7,981	1,139	OK	OK
5	EY	8,586	7,586	1,132	OK	OK
4	EY	7,768	6,887	1,128	OK	OK
3	EY	6,742	5,962	1,131	OK	OK
2	EY	5,323	4,609	1,155	OK	OK
1	EY	2,821	2,336	1,208	NOT OK	OK

Berdasarkan hasil pengecekan ketidakberaturan horizontal terdapat ketidakberaturan torsi 1a, maka diperlukan analisis tambahan berdasarkan pasal referensi pada tabel 13 SNI 1726:2019. Berikut merupakan konsekuensi yang harus diperhatikan untuk ketidakberaturan horizontal 1a:

- Pada pasal 11.3.4 SNI 1726:2019, diperlukan penambahan eksentrisitas tak terduga yaitu perpindahan sebesar 5% dimensi dari diafragma struktur, tapi tak wajib dilaksanakan saat kedua arah ortogonal dengan bersama-sama.

- b. Pada pasal 7.8.4.3 SNI 1726:2019, diperlukan pembesaran momen torsi tak terduga dengan faktor pembesaran torsi A_x yang ditentukan dari persamaan berikut:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{\max}}{1,2\delta_{\text{avg}}} \right)^2$$

Dalam kasus ini, ketidakberaturan yang terjadi yaitu pada lantai 1 arah Y dengan $\delta_{\max}/\delta_{\text{avg}}$ sebesar 1,208. Perhitungan faktor pembesaran torsi A_x dapat dilihat dibawah ini:

$$A_x = 1,2 \times 1,208 = 1,013$$

Hasil dari perhitungan didapatkan A_x masih mendekati 1, dalam hal ini penulis memberikan asumsi jika $A_x < 1,1$ maka konsekuensi untuk ketidakberaturan horizontal tipe 1a dengan memberikan pembesaran momen torsi tak terduga dapat diabaikan.

2. Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal ialah ketika suatu kekakuan memiliki batasan kekakuan, massa, bagian struktur, dan letak struktur pada setiap tingkat yang melebihi batasan pada tabel 14 SNI 1726:2019. Ketidakteraturan ini dikatakan terjadi jika tingkat kekakuan lateral kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau 80% dari kekakuan rata-rata ketiga tingkat di atasnya. Tabel di bawah ini menunjukkan temuan.

Tabel 4. 51. Cek Ketidakberaturan Sturrtur Vertikal 1a

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan (kN/m)	Cek	Kekakuan (kN/m)	Cek
12	313190,71		309780,13	
11	828206,89	OK	804610,10	OK
10	1138198,03	OK	1108411,10	OK
9	1386925,96	OK	1354655,76	OK
8	1604017,65	OK	1589273,41	OK
7	1785418,34	OK	1791629,13	OK
6	1969219,47	OK	2001108,39	OK
5	2182400,02	OK	2245665,10	OK
4	2485619,29	OK	2585707,78	OK
3	2918130,77	OK	3067586,30	OK
2	3824487,64	OK	4036297,64	OK
1	7694089,39	OK	8018949,57	OK

3. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakberaturan berat (Massa) diartikan jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150% massa efektif di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu dianalisa. Hasil dari ketidakberaturan berat (massa) bisa diketahui dari tabel di bawah ini.

Tabel 4. 52. Cek Ketidakberaturan Berat (Massa)

Lantai	Massa (kg)	Cek
12	887228,01	OK
11	2072137,83	OK
10	2122912,23	OK
9	2122912,23	OK
8	2158114,23	OK
7	2197278,63	OK
6	2197278,63	OK
5	2197278,63	OK
4	2237743,83	OK
3	2282171,43	OK
2	2343530,46	OK
1	2383395,99	OK

4. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Ketidakberaturan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang merupakan ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b dapat ditentukan berdasarkan kekuatan lateral pada suatu tingkat yang ditinjau. Berikut merupakan ketentuan ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b:

$V_x < 80\% V_{(x+1)}$ = Ketidakberaturan Vertikal 5a

$V_x < 60\% V_{(x+1)}$ = Ketidakberaturan Vertikal 5b

Keterangan :

V = Kekuatan lateral

x = Nomor tingkat lantai

Adapun hasil dari Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 53. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan (kN)	Cek	Kekuatan (kN)	Cek
12	1811,24		1920,76	
11	5162,35	OK	5321,90	OK
10	7776,90	OK	7896,69	OK
9	10252,04	OK	10252,05	OK
8	12415,68	OK	12415,68	OK
7	14241,13	OK	14241,14	OK
6	15710,54	OK	15710,55	OK
5	16847,37	OK	16847,38	OK
4	17693,08	OK	17693,09	OK
3	18268,40	OK	18268,40	OK
2	18602,27	OK	18602,28	OK
1	18730,27	OK	18730,27	OK

4.6.10. Cek Efektifitas Sistem Struktur

Dalam struktur sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan setidaknya 25% gaya gempa yang ditentukan dalam desain. Kombinasi rangka pemikul momen, dinding geser, atau rangka breising dengan distribusi yang sebanding dengan kekakuannya harus digunakan untuk mencapai ketahanan gaya gempa keseluruhan. Dinding geser 75% efektif dalam menahan gaya geser. Lihat tabel di bawah untuk detail tentang abnormalitas kekuatan lateral level dan hasilnya.

Tabel 4. 54. Perbandingan Gaya Lateral Pada Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen

Arah	V_{desain}	$V_{shear\ wall}$		V_{kolom}		Status
	(kN)	(kN)	(%)	(kN)	(%)	
X	18730,27	9784,84	52,24	8945,43	47,76	OK
Y	18730,27	8631,58	46,08	10098,70	53,92	OK

4.7. Rekap Hasil Pemodelan

Dari beberapa percobaan pemodelan yang telah dilakukan didapatkan hasil yang paling efisien yaitu dengan menggunakan struktur sistem rangka pemikul momen khusus yang diperkuat dengan bresing baja. Sistem struktur ini dapat disebut juga dengan struktur sistem ganda. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada rekapan hasil percobaan pemodelan yang ditampilkan dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 4. 55. Rekap Hasil Pemodelan

No.	Jenis Struktur	Keterangan
1.	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	• Simpangan Arah X (lantai 2 – lantai 9) melebihi batas izinnya. • Simpangan Arah Y (lantai 2 – lantai 10) melebihi batas izinnya.
2.	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Geser	• Simpangan Arah X (lantai 5 – lantai 9) melebihi batas izinnya. • Simpangan Arah Y (lantai 4 – lantai 11) melebihi batas izinnya. • Syarat Sistem Ganda : Rangka pemikul momen hanya menerima gaya lateral sebesar 9,26 %, artinya sebagian besar gaya lateral ditahan oleh dinding geser maka struktur dapat dikatakan boros.
3.	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), Dinding Geser, dan Bresing Baja	• Simpangan antar lantai Arah X dan Arah Y memenuhi syarat. • Pengecekan P-Delta Arah X dan Arah Y didapatkan struktur stabil. • Pengecekan Ketidakberaturan : Terdapat ketidakberaturan horizontal namun dapat diatasi, dan tidak terdapat ketidakberaturan vertikal. • Syarat Sistem Ganda : Rangka pemikul momen dapat menerima gaya lateral sebesar 53,92 % dari gaya lateral totalnya.

Dari hasil rekapan pemodelan di atas, dapat disimpulkan bahwa sistem struktur yang dapat digunakan dalam perancangan ini yaitu menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding geser yang diperkuat dengan menggunakan bresing baja.

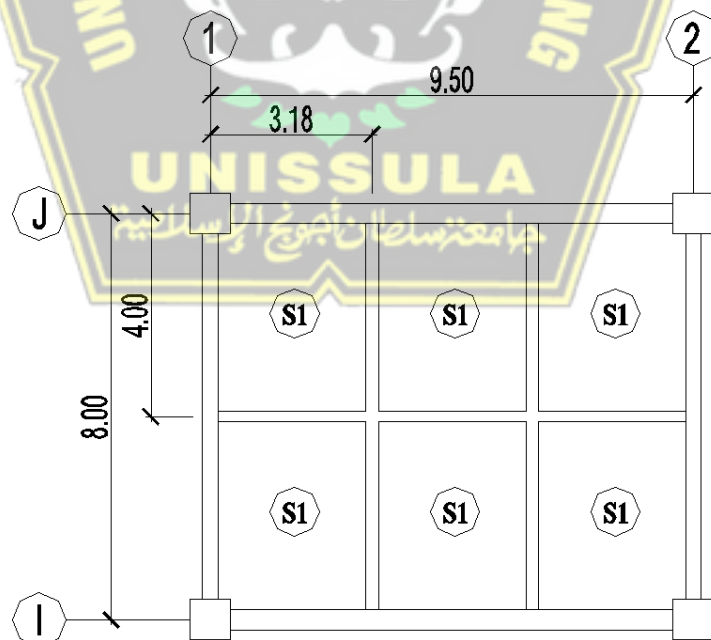
4.8. Perancangan Pelat

Perilaku pelat dibagi menjadi dua yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah. Pelat yang akan didesain perlu dilakukan pengecekan yaitu dengan perbandingan lebar dan panjang pelat (L_x/L_y). Pada perancangan pelat ini akan dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut.

4.8.1. Dasar Perancangan

Kuat tekan (f'_c)	= 30 MPa
Tegangan lelah baja untuk tulangan lentur (f_y)	= 420 MPa
Diamater tulangan yang digunakan (D)	= 10 mm
Tabel bersih selimut beton (t_s)	= 25 mm

Berikut adalah tipe pelat yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan.



Gambar 4. 32. Tipe Pelat

4.8.2. Data Pelat Lantai

Panjang bentang arah x , L_x = 3,2 m

Panjang bentang arah y , L_y = 4 m

Tebal pelat Lantai, h = 125 mm

$\frac{L_y}{L_x} = \frac{3,2}{4} = 1,25$ (Jenis pelat dua arah karena $L_y / L_x < 2$)

4.8.3. Momen Pelat Akibat Beban Terfaktor

Momen ultimit untuk perancangan pelat diambil dari hasil analisis menggunakan ETABS. Berikut merupakan *output* gaya momen pada pelat:



Gambar 4. 33. Gaya Momen Pada Pelat

Didapatkan momen ultimit (M_u) = 12,21 kNm

4.8.4. Penulangan Pelat

- Untuk $f'_c \leq 30$ Mpa, maka Faktor bentuk distribusi tegangan beton $\beta_1 = 0,85$
- Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\begin{aligned}\rho_b &= 0,85 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600+420} \\ &= 0,03\end{aligned}$$

- Faktor tahanan momen tahanan maksimum

$$\begin{aligned}
 R_{\max} &= 0,85 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{0,5 \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{0,85 \times f_c}\right) \\
 &= 0,85 \times 0,0304 \times 420 \times \left(1 - \frac{0,5 \times 0,75 \times 0,0304 \times 420}{0,85 \times 30}\right) \\
 &= 7,77
 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur

$$\phi = 0,8$$

- Jarak tulangan terhadap sisi luar beton

$$\begin{aligned}
 d_s &= t_s + \frac{D}{2} \\
 &= 25 + \frac{10}{2} = 30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Tebal efektif pelat lantai

$$\begin{aligned}
 d &= h - d_s \\
 &= 125 - 30 \\
 &= 95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Ditinjau pelat lantai selebar 1 m

$$b = 1000 \text{ mm}$$

- Momen nominal rencana

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{12,21}{0,8} \\
 &= 15,26 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Faktor tahanan momen

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n \times 10^{-6}}{(b \times d^2)} \\
 &= \frac{15,26 \times 10^{-6}}{(1000 \times 95^2)} \\
 &= 1,69 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$R_n < R_{\max}$$

$$1,69 < 7,77 \rightarrow \text{OK.}$$

- Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}\rho &= 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}}\right) \\ &= 0,85 \times \frac{30}{420} \times \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \times 1,69}{0,85 \times 30}}\right) \\ &= 0,0042\end{aligned}$$

- Rasio tulangan minimum

$$\rho_{min} = 0,0025$$

Rasio tulangan yang digunakan diambil rasio yang terbesar antara rasio ρ dan ρ_{min} , maka dapat nilai rasio diambil sebesar = 0,0042

- Luas tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0042 \times 1000 \times 95 \\ &= 396,12 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Jarak tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}S &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \\ &= \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times \frac{1000}{396,12} \\ &= 198,17 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Jarak tulangan maksimum

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

- Jarak tulangan maksimum

$$S_{max} = 150 \text{ mm}$$

- Jarak Sengkang yang digunakan

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

- Diambil jarak sengkang

$$S = 150$$

Digunakan tulangan D 10 – 150

- A_s nominal

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times \frac{1000}{150} \\ &= 523 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.8.5. Kontrol Lendutan Pelat

- Modulus elastis Beton

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \times \sqrt{30} \\ &= 25743 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Modulus elastis baja tulangan

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

- Beban merata (tak terfaktor) pada pelat

a. Beban Mati :

Berat sendiri pelat lantai	$= 0,125 \times 24 = 3 \text{ kN/m}^2$
Berat Pasir tebal 1 cm	$= 0,01 \times 16 = 0,16 \text{ kN/m}^2$
Berat spesi tebal 3 cm	$= 0,03 \times 22 = 0,66 \text{ kN/m}^2$
Berat keramik tebal 1 cm	$= 0,01 \times 22 = 0,22 \text{ kN/m}^2$
Berat plafond penggantung	$= 0,2 \text{ kN/m}^2$
Berat instalasi ME	$= 0,25 \text{ kN/m}^2$
Total	$= 4,49 \text{ kN/m}^2$

b. Beban hidup pada ruang kelas $= 1,92 \text{ kN/m}^2$

c. Beban merata tak terfaktor

$$\begin{aligned} Q &= Q_D + Q_L \\ &= 4,49 + 1,92 \\ &= 6,41 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- Panjang bentang pelat

$$L_x = 3200 \text{ mm}$$

- Batas lendutan maksimum yang diizinkan

$$\begin{aligned} \frac{L_x}{240} &= \frac{3200}{240} \\ &= 13,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Momen inersia brutto penampang pelat

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 1000 \times 125^3 \\ &= 162760417 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Modulus keruntuhan lentur beton

$$\begin{aligned} f_r &= 0,7 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 0,7 \times \sqrt{30} \\ &= 3,83 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Nilai perbandingan modulus elastis

$$\begin{aligned} n &= \frac{E_s}{E_c} \\ &= \frac{200000}{25743} \\ &= 7,77 \end{aligned}$$

- Jarak garis netral terhadap sisi atas beton

$$\begin{aligned} c &= n \times A_s / b \\ &= 7,77 \times 523 / 1000 \\ &= 4,07 \end{aligned}$$

- Momen inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \frac{1}{3} \times b \times c^3 + n \times A_s \times (d - c)^2 \\ &= \frac{1}{3} \times 1000 \times 4,07^3 + 0,77 \times 523 \times (95 - 4,07)^2 \\ &= 33642896 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_t &= \frac{h}{2} \\ &= \frac{125}{2} \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Momen retak

$$\begin{aligned} M_{cr} &= f_r \times \frac{I_g}{y_t} \\ &= 3,83 \times \frac{162760417}{62,5} \\ &= 9984526 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Momen maksimum akibat beban (tanpa faktor beban)

$$\begin{aligned} M_a &= \frac{1}{8} \times Q \times L_x^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 6,41 \times 3200^2 \\ &= 8204800 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Inersia efektif untuk perhitungan lendutan

$$\begin{aligned} I_e &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{cr} \\ &= \left(\frac{9984526}{82048800} \right)^3 \times 162760417 + \left[1 - \left(\frac{9984526}{82048800} \right)^3 \right] \times 33642896 \\ &= 266325283 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup

$$\begin{aligned} \delta_e &= \frac{5}{384} \times Q \times \frac{L_x^4}{E_c \times I_e} \\ &= \frac{5}{384} \times 6,41 \times \frac{3200^4}{25743 \times 266325283} \\ &= 1,28 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan slab lantai

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{523}{1000 \times 95} \\ &= 0,01 \end{aligned}$$

- Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati (jangka waktu > 5 tahun) nilai:

$$\begin{aligned} S &= 2 \\ \lambda &= \frac{S}{1+50+\rho} \\ &= \frac{2}{1+50+0,01} \\ &= 1,57 \end{aligned}$$

- Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut

$$\begin{aligned} \delta_g &= \frac{\lambda \times \frac{5}{384} \times Q \times L_x^4}{E_c \times I_e} \\ &= \frac{1,57 \times \frac{5}{384} \times 6,41 \times 3200^4}{25743 \times 266325283} \\ &= 2 \text{ mm} \end{aligned}$$

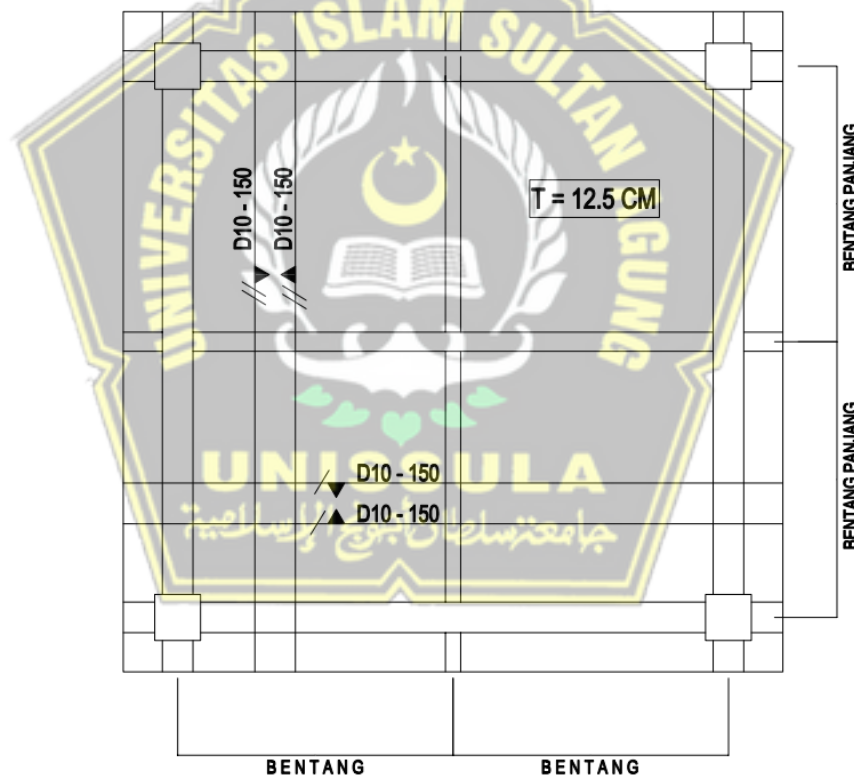
- Lendutan total

$$\begin{aligned}\delta_{\text{tot}} &= \delta_e + \delta_g \\ &= 1,28 + 2 \\ &= 3,28 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Syarat

$$\begin{aligned}\delta_{\text{tot}} &\leq \frac{L_x}{240} \\ 3,28 &\leq \frac{3200}{240} \\ 3,28 &\leq 13,33 \rightarrow \text{OK.}\end{aligned}$$

Berikut adalah gambar dari hasil perhitungan penulangan pelat lantai pada gedung FT-MIPA Universitas Muhammadiyah Semarang.



Gambar 4. 34. Penulangan Pelat

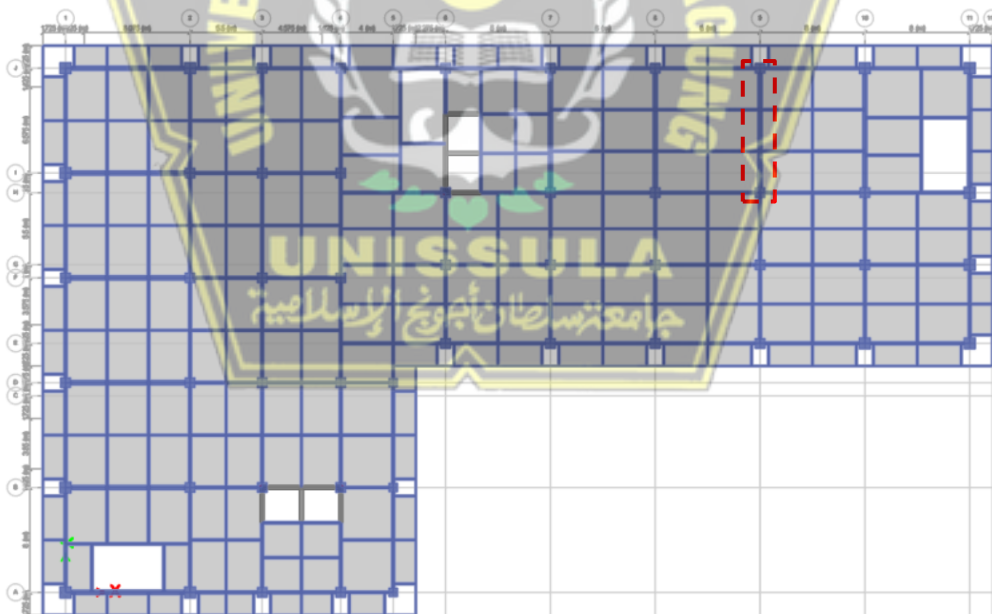
Berikut merupakan rekapitulasi hasil tulangan pelat beton yang telah dilakukan pada redesain struktur gedung FT-MIPA Universitas Muhammadiyah Semarang.

Tabel 4. 56. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

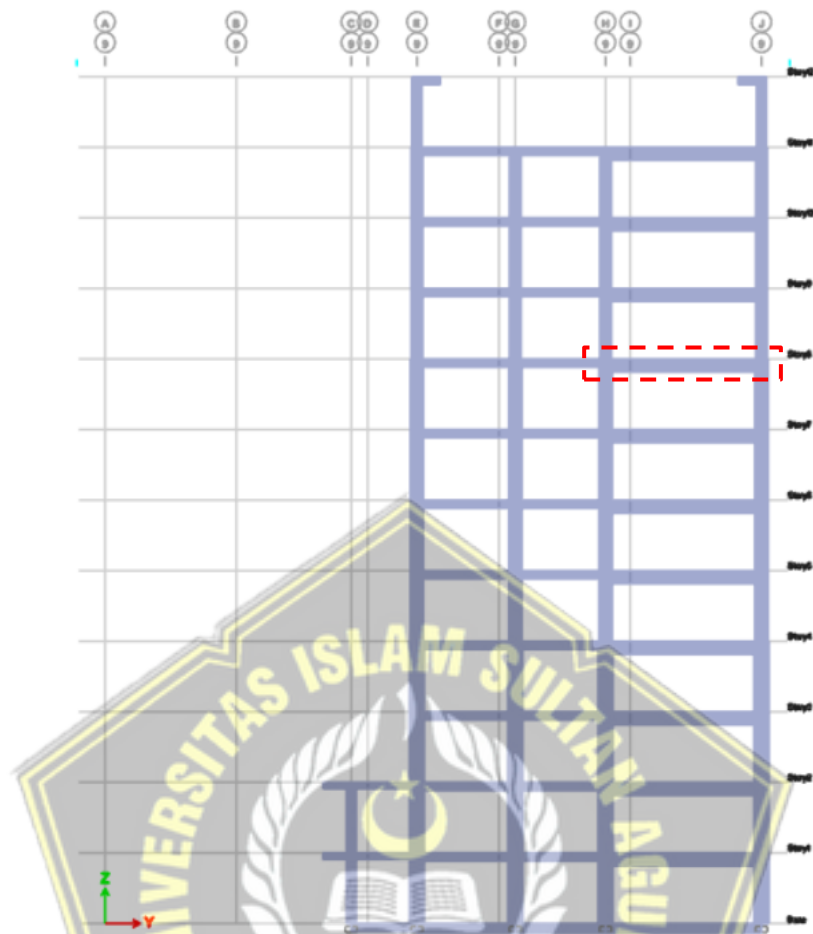
Pelat	L_x (m)	L_y (m)	Tumpuan		Lapangan	
			x	y	x	y
S1	3,2	4	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150
S2	3,2	4	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150

4.9. Perancangan Balok

Perhitungan tulangan lentur balok, perhitungan tulangan geser balok, dan perhitungan torsi semuanya dilakukan secara konvensional sebagai bagian dari analisis kapasitas rancang balok berdasarkan SRPMK untuk menentukan jumlah beban yang diperlukan bala bantuan. Balok G1, yang memikul momen ultimit terbesar, digunakan oleh penulis penelitian ini sebagai contoh untuk menguji kapasitas desain balok pada gelagar di AS 9 pada tingkat kedelapan.



Gambar 4. 35. Denah Balok Sampel



Gambar 4. 36. Elevasi Balok Sampel

Berikut merupakan data material dan dimensi penampang balok yang akan dianalisis:



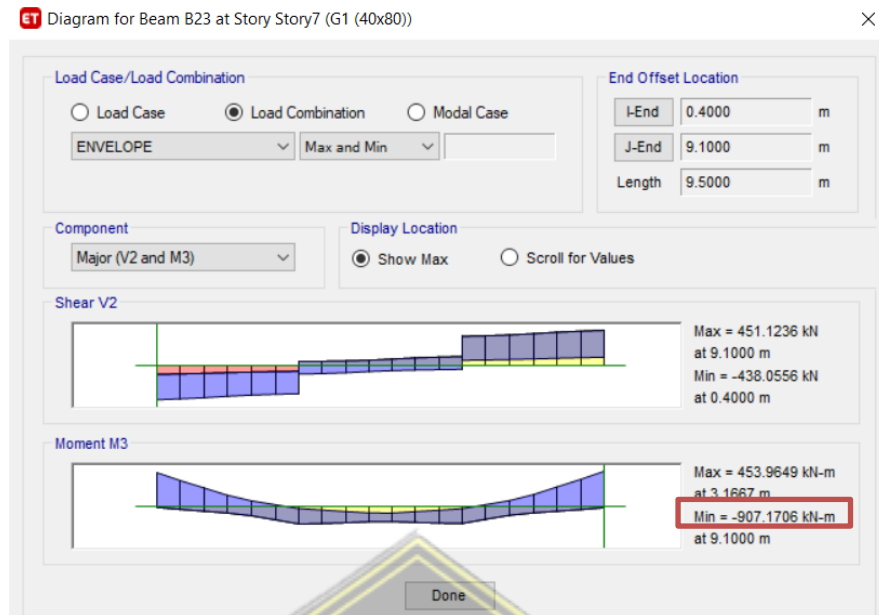
Gambar 4. 37. Dimensi Balok Rencana

Panjang balok (L)	= 9500 mm
Lebar balok (b)	= 400 mm
Tinggi balok (h)	= 800 mm
Panjang tumpuan	= SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.4.1 = $2 \times \underline{h} = 2 \times 800 = 1600$ mm
Diameter tulangan longitudinal (d_b)	= 22 mm

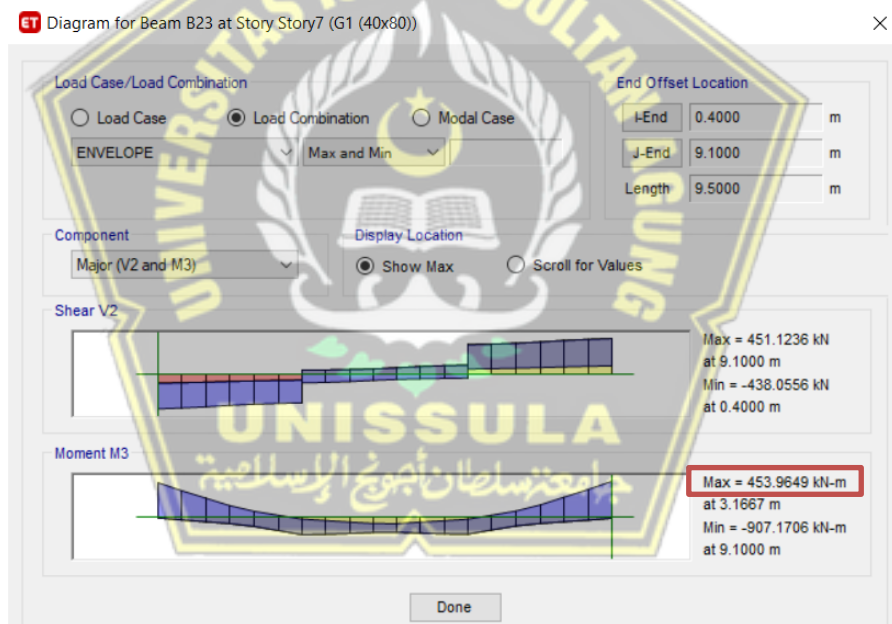
Diameter tulangan pinggang (d_{bt})	= 16 mm
Diameter tulangan sengkang (d_s)	= 10 mm
Selimut bersih (c_c)	= 30 mm
Tinggi efektif balok (d)	$= \frac{h - c_c - d_s - d_b}{2}$ = 749 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat leleh tulangan longitudinal (f_y)	= 420 MPa
Kuat leleh tulangan transversal (f_y)	= 420 MPa
β_1	= SNI 2847:2019 pada tabel 22.2.2.4.3 $= 0,65 \leq \frac{0,85 - 0,05 \times (f_c' - 28)}{7} \leq 0,85$ = 0,8357
Panjang Kolom (c_1)	= Input (Sisi tegak lurus lebar balok) = 800 mm
Lebar Kolom (c_2)	= Input (Sisi yang ditempel balok/sejajar lebar balok) = 800 mm
L_n	= $L - c_1 = 8700$ mm
λ	= 1 (Asumsi tidak menggunakan beton ringan)

4.9.1. Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok

Perhitungan tulangan lentur meninjau balok portal pada AS 9 di lantai 8 yaitu balok G1 yang memikul momen ultimit paling besar sebagai contoh yang diambil untuk menganalisis kapasitas desain balok. Berikut adalah momen ultimit tumpuan dan lapangan pada balok yang didapat dari ETABS :



Gambar 4.24. Momen Ultimit Tumpuan Balok hasil ETABS



Gambar 4.24. Momen Ultimit Lapangan hasil ETABS

Berikut merupakan momen ultimit yang akan digunakan untuk mendesain tulangan longitudinal pada balok G1:

$$\begin{aligned}
 M_u \text{ tumpuan (-)} &= -907,17 \text{ kN-m} \\
 M_u \text{ tumpuan (+)} &= 453,59 \text{ kN-m} \\
 M_u \text{ lapangan (-)} &= -226,98 \text{ kN-m} \\
 M_u \text{ lapangan (+)} &= 453,97 \text{ kN-m} \\
 P_u &= 0 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4.9.1.1. Syarat Gaya dan Geometri

- Syarat Gaya Aksial

SNI 2847:2019 (Tidak dipersyaratkan. Baca R18.6.1 dan 18.6.4.7)

$$P_u \leq 0.1 A_g \times f'_c$$

$$0 \leq 0.1 \times 400 \times 800 \times 30$$

$$0 \leq 960000 \rightarrow \text{OK}$$

- Syarat Tinggi Efektif

SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.2.1

$$L_n \geq 4d$$

$$8600 \geq 4 \times 749$$

$$8600 \geq 2996 \rightarrow \text{OK}$$

- Syarat Lebar 1

SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.2.1

$$b \geq \text{minimal } (0,3h \text{ atau } 250 \text{ mm}) \rightarrow \text{antara } 0,3h \text{ dan } 250 \text{ mm diambil yang paling besar}$$

$$400 \geq \text{minimal } (0,3 \times 800 \text{ atau } 250 \text{ mm})$$

$$400 \geq \text{minimal } (240 \text{ mm atau } 250 \text{ mm}) \rightarrow \text{diambil } 250 \text{ mm}$$

$$400 \geq 250 \rightarrow \text{OK}$$

- Syarat Lebar 2

SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.2.1

$$b \leq c_2 + 2 \times \text{minimal } (c_2 \text{ atau } 0,75 c_1) \rightarrow \text{antara } c_2 \text{ atau } 0,75 c_1 \text{ diambil yang paling besar}$$

$$400 \leq 400 + 2 \times \text{minimal } (900 \text{ atau } 0,75 \times 900)$$

$$400 \leq 400 + 2 \times \text{minimal } (900 \text{ atau } 675) \rightarrow \text{diambil } 900$$

$$400 \leq 400 + 2 \times 900$$

$$400 \leq 2200 \rightarrow \text{OK}$$

4.9.1.2. Tulangan Tumpuan Atas

- Jumlah tulangan tumpuan atas (n) = 10

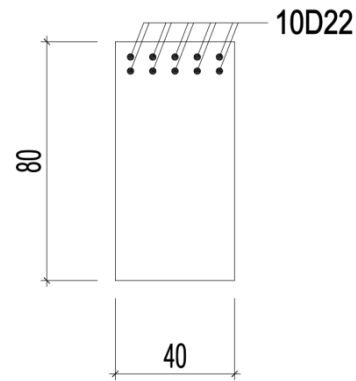
- $d_b = 22 \text{ mm}$

- Jarak Bersih Antar Tulangan

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

$$= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 10 \times 22}{10 - 1}$$

$$= 11,111 \text{ mm}$$



- Cek Jarak Bersih

SNI 2847:2019 pada pasal 25.2.1

Jarak Bersih $\geq$ maksimal (d_b dan 25 mm) $\rightarrow$ dengan asumsi 1 lapis

11,111 $\geq$ maksimal (22 dan 25) $\rightarrow$ diambil 22 mm karena paling kecil

11,111 $\geq 22 \rightarrow$ tidak ok

Jadi asumsi 1 lapis tidak memenuhi syarat, selanjutnya kita asumsikan 2 lapis

- A_s pasang

$$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= 10 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2$$

$$= 3801,327 \text{ mm}^2$$

- $A_s \text{ min } 1$

SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2

$$= \frac{\sqrt{f_c}}{(4 \times f_y) \times b \times d}$$

$$= \frac{\sqrt{30}}{(4 \times 420) \times 400 \times 749}$$

$$= 976,772 \text{ mm}^2$$

- $A_{s \text{ min } 2}$

SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2

$$= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d}$$

$$= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 400 \times 749}$$

$$= 998,667 \text{ mm}^2$$

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

$$A_{s \text{ Pasang}} \geq A_{s \text{ min}}$$

$$3801,327 \geq 998,667 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan yang diperlukan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$$

$$= \frac{3801,327}{400 \times 749} \times 100\%$$

$$= 1,27\%$$

- Rasio tulangan maksimum 1

SNI 2847:2013 pada pasal B.10.3

$$0,75\rho_b = 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times 0,8357 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \times 100\%$$

$$= 2,24 \%$$

- Rasio tulangan maksimum 2

SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.1

$$= 2,5 \%$$

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

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

$$1,27 \% \leq 2,5 \% \rightarrow \text{OK}$$

- Momen nominal

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{3801,327 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\ &= 156,525 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Momen pada balok

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 3801,327 \times 420 \left(749 - \frac{156,525}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 1070,871 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{156,525}{0,8357} \\ &= 187,295 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.1.2 dan pasal 22.2.2.1

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{d-c}{c-0,003} \\ &= \frac{749-187,295}{187,295-0,003} \\ &= 0,009 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.1.2 dan pasal 22.2.2.1

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 \leq 0,65 + (\epsilon_s - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\ \phi &= 0,65 \leq 0,65 + (0,009 - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\ \phi &= 0,9 \end{aligned}$$

- Momen tahanan balok

$$\begin{aligned} &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 1070,871 \\ &= 963,784 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas

$$\phi M_n > M_{u \text{ tumpuan (-)}}$$

$$963,784 > 907,17 \rightarrow \text{OK}$$

- A_s perlu

$$= \frac{M_u}{f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$= \frac{907,17}{420 \left(749 - \frac{156,525}{2} \right)}$$

$$= 3220,232 \text{ mm}^2$$

4.9.1.3. Tulangan Tumpuan Bawah

- Jumlah Tulangan tumpuan bawah (n) = 5

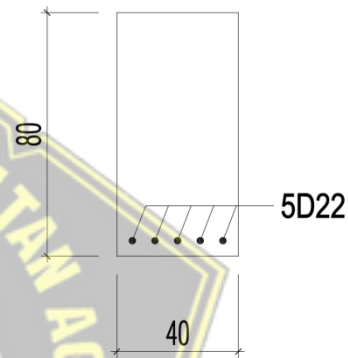
- $d_b = 22 \text{ mm}$

- Jarak Bersih Antar Tulangan

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

$$= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{5 - 1}$$

$$= 52,5 \text{ mm}$$



- Cek Jarak Bersih

SNI 2847:2019 pada pasal 25.2.1

Jarak Bersih $\geq$ maksimal (d_b dan 25 mm) $\rightarrow$ dengan asumsi 1 lapis

52,5 $\geq$ maksimal (22 dan 25) $\rightarrow$ diambil 22 mm karena paling kecil

52,5 $\geq 22 \rightarrow \text{OK}$

- A_s pasang

$$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2$$

$$= 1900,664 \text{ mm}^2$$

- $A_{s \text{ min } 1}$

SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sqrt{f_c}}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{(4 \times 420) \times 400 \times 749} \\
 &= 976,772 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- $A_{s \text{ min } 2}$

SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\
 &= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 400 \times 749} \\
 &= 998,667 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- $A_{s \text{ min } 3}$

SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.3.2

$$\begin{aligned}
 &= 0,5 \times A_{s \text{ tumpuan negatif}} \\
 &= 0,5 \times 3801,327 \\
 &= 1900,664 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

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

$$A_{s \text{ Pasang}} \geq A_{s \text{ min}}$$

$$1900,664 \geq 1900,664 \rightarrow \text{ok}$$

- Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{1900,664}{400 \times 749} \times 100\% \\
 &= 0,63 \%
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan maksimum 1

SNI 2847:2013 pada pasal B.10.3

$$\begin{aligned} 0,75\rho_b &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times 0,8357 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600+420} \\ &= 2,24 \% \end{aligned}$$

- Rasio tulangan maksimum 2

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.1 rasio tulangan maksimum diambil 2,5 % dari luas penampang balok.

- Cek $A_s \text{ max}$

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

$$0,63 \% \leq 2,5 \% \rightarrow \text{OK}$$

- Momen nominal

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1900,664 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\ &= 78,263 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Momen pada balok

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 1900,664 \times 420 \left(749 - \frac{78,263}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 566,673 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{78,263}{0,8357} \\ &= 93,648 \text{ mm} \end{aligned}$$

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.1.2 dan pasal 22.2.2.1

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{d-c}{c-0,003} \\ &= \frac{749-93,648}{93,648-0,003} \\ &= 0,021\end{aligned}$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.1.2 dan pasal 22.2.2.1

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 \leq 0,65 + (\varepsilon_s - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\ \phi &= 0,65 \leq 0,65 + (0,021 - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\ \phi &= 0,9\end{aligned}$$

- Momen tahanan balok

$$\begin{aligned}&= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 566,673 \\ &= 510,006 \text{ kNm}\end{aligned}$$

- $M_{u \text{ tumpuan (+)}}$
= 453,59 kNm

- Cek kapasitas

$$\begin{aligned}\phi M_n &> M_{u \text{ tumpuan (+)}} \\ 510,006 &> 453,59 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

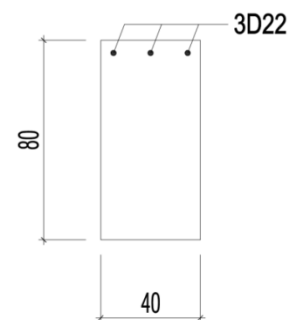
- A_s perlu

$$\begin{aligned}&= \frac{M_u}{f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)} \\ &= \frac{453,59}{420 \left(749 - \frac{78,263}{2} \right)} \\ &= 1521,359 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

4.9.1.4. Tulangan Lapangan Atas

- Jumlah tulangan lapangan atas (n) = 3
- $d_b = 22 \text{ mm}$
- Jarak Bersih Antar Tulangan

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



$$= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 3 \times 22}{3 - 1}$$

$$= 127 \text{ mm}$$

- Cek Jarak Bersih

SNI 2847:2019 pada pasal 25.2.1

Jarak Bersih $\geq$ maksimal (d_b dan 25 mm) $\rightarrow$ dengan asumsi 1 lapis

127 $\geq$ maksimal (22 dan 25) $\rightarrow$ diambil 22 mm karena paling kecil

127 $\geq 22 \rightarrow$ OK

- A_s pasang

$$= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= 3 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2$$

$$= 1140,4 \text{ mm}^2$$

- A_s min 1

SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2

$$= \frac{\sqrt{f_c}}{(4 \times f_y) \times b \times d}$$

$$= \frac{\sqrt{30}}{(4 \times 420) \times 400 \times 749}$$

$$= 976,772 \text{ mm}^2$$

- A_s min 2

SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2

$$= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d}$$

$$= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 400 \times 749}$$

$$= 998,667 \text{ mm}^2$$

- A_s min 3

SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.3.2

$$= 0,25 \times A_s \text{ tumpuan negatif}$$

$$= 0,25 \times 3801,327 = 950,332 \text{ mm}^2$$

- Cek $A_s \text{ min}$

$$A_s \text{ Pasang} \geq A_s \text{ min}$$

$$1140,4 \geq 998,667 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{1140,4}{400 \times 749} \times 100\% \\ &= 0,38 \% \end{aligned}$$

- Rasio tulangan maksimum 1

SNI 2847:2013 pada pasal B.10.3

$$\begin{aligned} 0,75\rho_b &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times 0,8357 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \times 100\% \\ &= 2,24 \% \end{aligned}$$

- Rasio tulangan maksimum 2

SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.1

$$= 2,5 \%$$

- Cek $A_s \text{ max}$

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

$$0,38 \% \leq 2,5 \% \rightarrow \text{OK}$$

- Momen nominal

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1140,4 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\ &= 46,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Momen pada balok

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 1140,4 \times 420 \left(749 - \frac{46,96}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 347,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{46,96}{0,8357} \\ &= 56,19 \text{ mm} \end{aligned}$$

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.1.2 dan pasal 22.2.2.1

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{d-c}{c-0,003} \\ &= \frac{749-56,19}{56,19-0,003} \\ &= 0,02 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.1.2 dan pasal 22.2.2.1

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 \leq 0,65 + (\varepsilon_s - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\ \phi &= 0,65 \leq 0,65 + (0,02 - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\ \phi &= 0,9 \end{aligned}$$

- Momen tahanan balok

$$\begin{aligned} &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 347,5 \\ &= 312,75 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- M_u lapangan (-)

$$= 226 \text{ kNm}$$

- Cek kapasitas

$$\begin{aligned} \phi M_n &> M_u \text{ lapangan (-)} \\ 312,75 &> 226,98 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

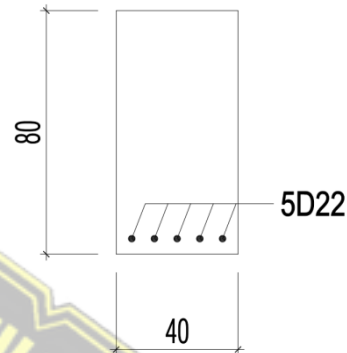
- As perlu

$$\begin{aligned}
 &= \frac{M_u}{f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)} \\
 &= \frac{226,98}{420 \left(749 - \frac{46,96}{2} \right)} \\
 &= 744,89 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

4.9.1.5. Tulangan Lapangan Bawah

- Jumlah tulangan lapangan bawah (n) = 5
- $d_b = 22 \text{ mm}$
- Jarak Bersih Antar Tulangan

$$\begin{aligned}
 &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{5 - 1} \\
 &= 52,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



- Cek Jarak Bersih

SNI 2847:2019 pada pasal 25.2.1

Jarak Bersih $\geq$ maksimal (d_b dan 25 mm) $\rightarrow$ dengan asumsi 1 lapis

52,5 $\geq$ maksimal (22 dan 25) $\rightarrow$ diambil 22 mm karena paling kecil

52,5 $\geq 22 \rightarrow$ OK

- A_s pasang

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

- $A_s \text{ min } 1$

SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sqrt{f_c}}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{(4 \times 420) \times 400 \times 749} \\
 &= 976,772 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- $A_{s \text{ min } 2}$

SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2

$$= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d}$$

$$= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 400 \times 749}$$

$$= 998,667 \text{ mm}^2$$

- $A_{s \text{ min } 3}$

SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.3.2

$$= 0,5 \times A_{s \text{ tumpuan negatif}}$$

$$= 0,5 \times 3801,327$$

$$= 1900,664 \text{ mm}^2$$

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

$$A_{s \text{ Pasang}} \geq A_{s \text{ min}}$$

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

- Rasio tulangan yang diperlukan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$$

$$= \frac{1900,664}{400 \times 749} \times 100\%$$

$$= 0,63 \%$$

- Rasio tulangan maksimum 1

SNI 2847:2013 pada pasal B.10.3

$$0,75\rho_b = 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \times 0,8357 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600+420}$$

$$= 2,24 \%$$

- Rasio tulangan maksimum 2

SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.1

$$= 2,5 \%$$

- Cek $A_s \text{ max}$

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

$$0,63 \% \leq 2,5 \% \rightarrow \text{OK}$$

- Momen nominal

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1900,664 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\ &= 78,263 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Momen pada balok

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 1900,664 \times 420 \left(749 - \frac{78,263}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 566,673 \text{ kNm} \end{aligned}$$

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{78,263}{0,8357} \\ &= 93,648 \text{ mm} \end{aligned}$$

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.1.2 dan pasal 22.2.2.1

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{d-c}{c-0,003} \\ &= \frac{749-93,648}{93,648-0,003} \\ &= 0,021 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.1.2 dan pasal 22.2.2.1

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 \leq 0,65 + (\varepsilon_s - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\ \phi &= 0,65 \leq 0,65 + (0,021 - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\ \phi &= 0,9 \end{aligned}$$

- Momen tahanan balok

$$= \phi \times M_n$$

$$= 0,9 \times 566,673$$

$$= 510,006 \text{ kNm}$$

- Cek kapasitas

$$\phi M_n > M_u \text{ lapangan (+)}$$

$$510,006 > 453,965 \rightarrow \text{OK}$$

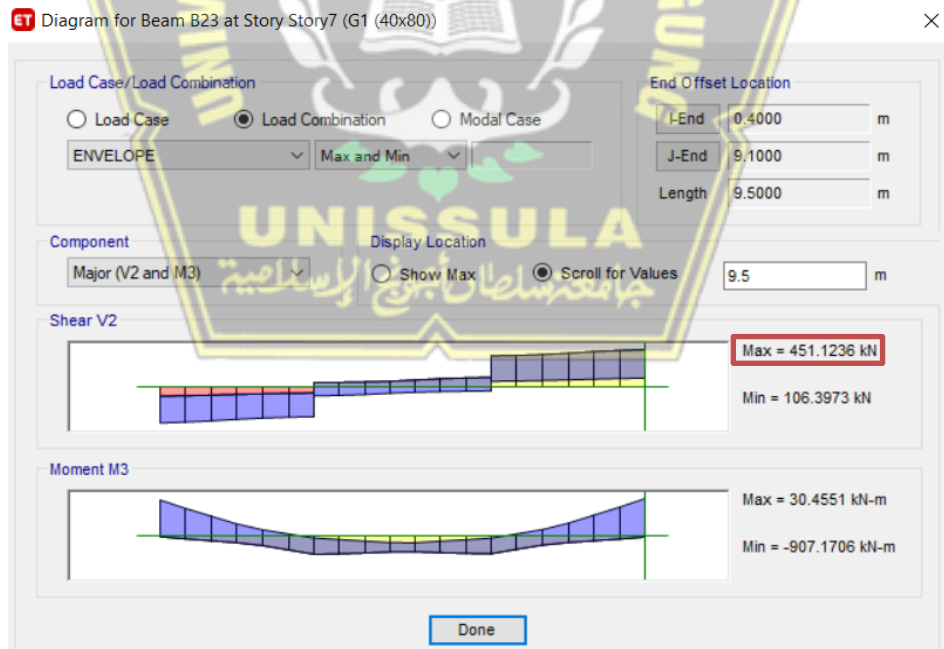
- A_s perlu

$$= \frac{M_u}{f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)}$$

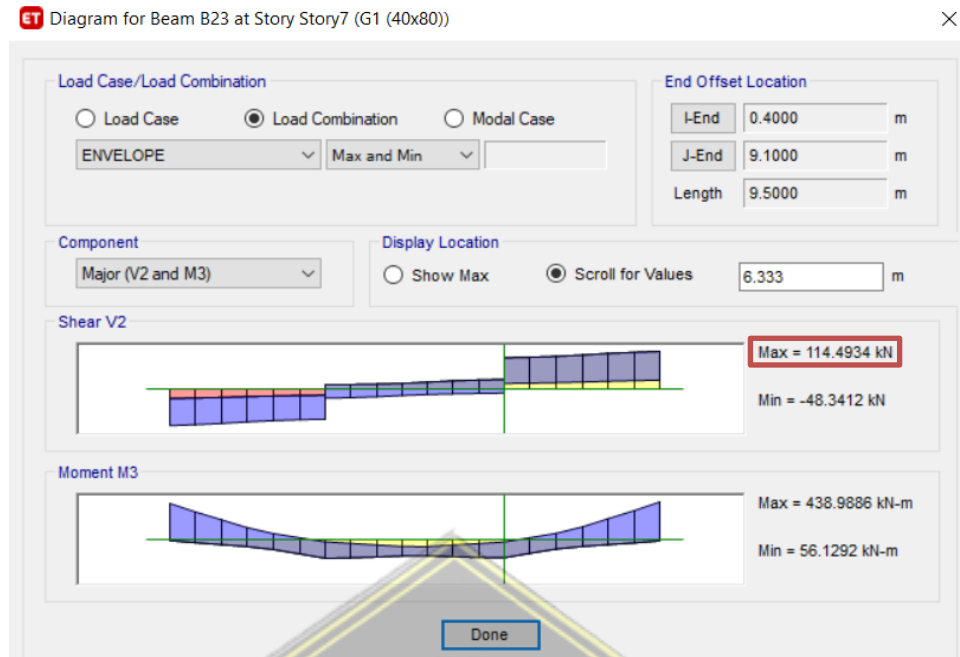
$$= \frac{453,965}{420 \left(749 - \frac{78,263}{2} \right)} = 1522,632 \text{ mm}^2$$

4.9.2. Perhitungan Tulangan Transversal Balok

Tulangan transversal pada balok adalah tulangan yang berfungsi untuk menahan gaya geser ultimit yang diterima balok. Berikut merupakan hasil gaya geser ultimit yang didapatkan dari hasil perhitungan pada program ETABS.



Gambar 4. 38. V_u Tumpuan Hasil ETABS



Gambar 4. 39. V_u Lapangan Hasil ETABS

Berdasarkan hasil perhitungan dengan program ETABS yang ditampilkan dalam bentuk diagram, didapatkan gaya geser terbesar pada balok G1 yaitu sebagai berikut:

$$V_{u \text{ tumpuan}} = 451,12 \text{ kN}$$

$$V_{u \text{ lapangan}} = 114,49 \text{ kN}$$

4.9.2.1. Tulangan Transversal Tumpuan

a. Gaya Desain

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal R18.6.5 gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi dengan kombinasi $1,2 D + L$ yang dihitung dengan program ETABS didapatkan hasil sebagai berikut:

$$V_{g \text{ tumpuan}} = 341,24 \text{ kN}$$

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

$$A_s^+ \text{ tumpuan} = 1900,664 \text{ mm}^2$$

$$A_s^- \text{ tumpuan} = 3801,327 \text{ mm}^2$$

- Menghitung *Probable Moment Capacities*:

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

$$= 1,25 \times 78,273 = 97,828 \text{ mm}^2$$

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

$$= 1,25 \times 156,525 = 195,657 \text{ mm}^2$$

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

$$= 1900,664 \times (1,25 \times 420) \times (749 - \frac{97,828}{2})$$

$$= 698579536 \text{ Nmm}$$

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

$$= 3801,327 \times (1,25 \times 420) \times (749 - \frac{195,657}{2})$$

$$= 1299541292 \text{ Nmm}$$

- Gaya Geser Akibat Goyangan

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.5.1, gaya geser akibat goyangan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

$$= \frac{698579536 + 1299541292}{8700}$$

$$= 229669 \text{ N}$$

Sehingga gaya geser desain akibat goyangan adalah sebagai berikut:

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

$$= 365,0769 \times 1000 + 229669$$

$$= 570911 \text{ N}$$

b. Tahanan Geser Beton

- $V_{pr} = 229669 \text{ N}$
- $\frac{1}{2} V_e = \frac{1}{2} 570911 = 285456 \text{ N}$
- $P_u = 0 \text{ N}$
- $\frac{A_g f_c}{20} = \frac{400 \times 800 \times 30}{20} = 48000 \text{ N}$
- V_c diperhitungkan

SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.5.2

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

$$V_{pr} \geq \frac{1}{2} V_e$$

$$232340 \geq 285456 \rightarrow \text{tidak ok}$$

$$P_u < \frac{A_g \times f_c'}{20}$$

$$0 < 48000 \rightarrow \text{ok}$$

Salah satu syarat $V_c = 0$ tidak terpenuhi maka :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 400 \times 749 \\ &= 278966 \text{ N} \end{aligned}$$

c. Penulangan Geser

- Jumlah kaki = 4

- A_v

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Spasi (s)

SNI 2847:2019 pada pasal 21.5.3.2

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

$$\begin{aligned} S_{\max 1} &= \frac{d}{4} \\ &= \frac{749}{4} = 187,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\max 2} &= 6 d_b \\ &= 6 \times 22 = 132 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max 3} = 150 \text{ mm}$$

- Cek spasi

$$S \leq (S_{\max 1} \text{ atau } S_{\max 2} \text{ atau } S_{\max 3}) \rightarrow S_{\max} = 132 \text{ mm}$$

$$100 \leq 132 \rightarrow \text{OK}$$

- V_s

SNI 2847:2019 pada pasal 22.5.10.5.3

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{314,159 \times 420 \times 749}{100} \\ &= 988282 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Batas V_s

SNI 2847:2019 pada pasal 22.5.1.2

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 400 \times 749 \\ &= 1083045 \text{ N} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kekuatan geser

SNI 2847:2019 pada pasal 12.5.3.2 dan pasal 21.2.4

$$\phi = 0,75$$

- Kapasitas

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 278966 + 988282 = 1267248 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{u \text{ tumpuan}} = V_e = 570911 \text{ N}$$

- Cek kapasitas

$$\phi \frac{V_n}{V_u} > 1$$

$$0,75 \frac{1267248}{570911} > 1$$

$$1,67 > 1 \rightarrow \text{OK}$$

4.9.2.2. Tulangan Transversal Lapangan

- Jumlah kaki = 2

- A_v

$$\begin{aligned}A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\&= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2 \\&= 157,08 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Spasi (s)

SNI 2847:2019 pada pasal 21.5.3.2

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

$$\begin{aligned}S_{\max} &= \frac{d}{2} \\&= \frac{749}{2} = 374,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Cek spasi

$$\begin{aligned}S &\leq S_{\max} \\150 &\leq 374,5 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- V_s

SNI 2847:2019 pada pasal 22.5.10.5.3

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\&= \frac{157,08 \times 420 \times 749}{150} \\&= 329427 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Batas V_s

SNI 2847:2019 pada pasal 22.5.1.2

$$\begin{aligned}\text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\&= 0,66 \times \sqrt{30} \times 400 \times 749 \\&= 1083045 \text{ N}\end{aligned}$$

- V_c

SNI 2847:2019 pada pasal 22.5.1.2

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d = 0,17 \times \sqrt{30} \times 400 \times 749 = 278966 \text{ N}$$

- Faktor reduksi kekuatan geser

SNI 2847:2019 pada pasal 12.5.3.2 dan pasal 21.2.4

$$\phi = 0,75$$

- Kapasitas

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 278966 + 329427 = 608393 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 114493,4 \text{ N}$$

- Cek kapasitas

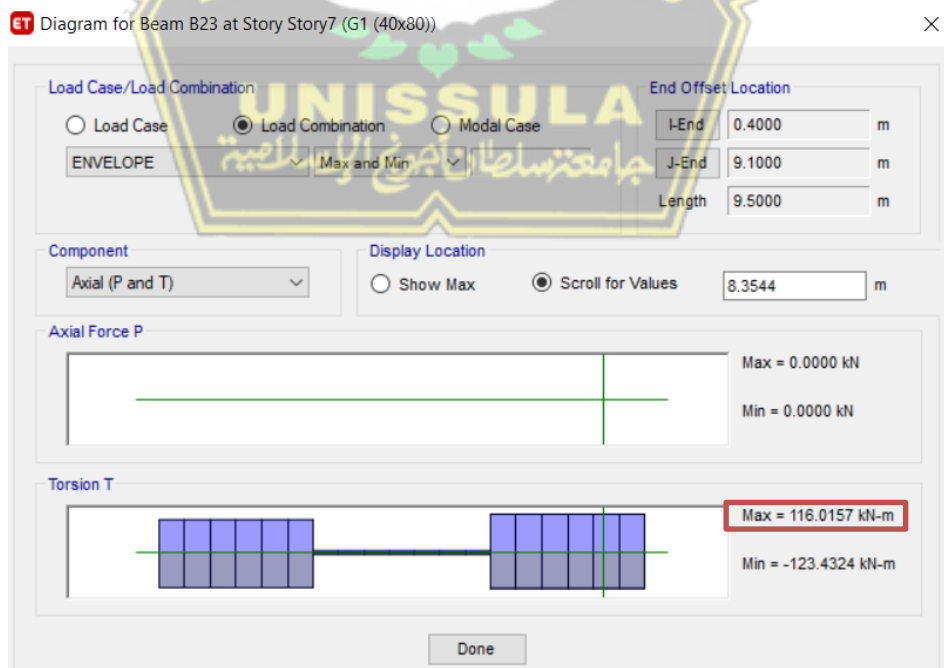
$$\phi \frac{V_n}{V_u} > 1$$

$$0,75 \frac{608393}{114493,4} > 1$$

$$3,99 > 1 \rightarrow \text{OK}$$

4.9.3. Perhitungan Tulangan Torsi Balok

Tulangan torsi pada balok adalah tulangan yang berfungsi untuk menahan gaya torsi yang diterima oleh balok. Tulangan torsi ini meliputi tulangan longitudinal dan tulangan transversal. Berikut merupakan hasil dari perhitungan gaya torsi menggunakan aplikasi ETABS.



Gambar 4. 40. Gaya Torsi Hasil ETABS

Gaya torsi maksimum pada balok G1 yang didapatkan dari hasil perhitungan menggunakan aplikasi ETABS yaitu:

$$T_u = 116,0157 \text{ kNm} = 116015700 \text{ Nmm}$$

4.9.3.1. Parameter Geometri Penampang Untuk Perhitungan Torsi

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 400 \times 800 = 320000 \text{ mm}^2 \\ P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (400 + 800) = 2400 \text{ mm} \\ X_o &= b - 2c_c - d_s \\ &= 400 - 2 \times 30 - 10 = 330 \text{ mm} \\ Y_o &= h - 2c_c - d_s \\ &= 800 - 2 \times 30 - 10 = 730 \text{ mm} \\ A_{oh} &= X_o \times Y_o \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pada pasal R22.7.1.1} \\ &= 330 \times 730 = 240900 \text{ mm}^2 \\ A_o &= 0,85 A_{oh} \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pada pasal R22.7.1.1} \\ &= 0,85 \times 240900 = 204765 \text{ mm}^2 \\ P_h &= 2 \times (X_o + Y_o) \\ &= 2 \times (330 + 730) = 2120 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.9.3.2. Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

- T_{cr}

$$\begin{aligned} T_{cr} &= 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times \frac{320000^2}{2400} \\ &= 77119336 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kekuatan torsi

SNI 2847:2019 pada tabel 21.2.1

$$\phi = 0,75$$

- Cek perlu tulangan atau tidak

SNI 2847:2019 pada tabel 22.7.4.1 perlu tulangan jika $T_u > \phi \frac{T_{cr}}{4}$

$$\begin{aligned}
 T_u &> \phi \frac{T_{cr}}{4} \\
 264075700 &> 0,75 \times \frac{77119336}{4} \\
 264075700 &> 14459876 \rightarrow \text{Perlu tulangan torsi}
 \end{aligned}$$

4.9.3.3. Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

- T_u pakai

SNI 2847:2019 pada pasal 22.7.3.2 dan pasal 22.7.5

$$\begin{aligned}
 T_u &= 116015700 \text{ Nmm} \\
 \phi T_{cr} &= 0,75 \times 77119336 \\
 &= 57839502,07 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_u \text{ pakai} &= (T_u \text{ atau } \phi T_{cr}) \rightarrow \text{diambil paling kecil yaitu } \phi T_{cr} \\
 &= 57839502,07 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- $V_u = 570911 \text{ N}$
- V_c

SNI 2847:2019 pada pasal 22.5.5.1

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 400 \times 749 = 278966 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Tegangan ultimit geser + torsi

SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.7.1

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{570911}{400 \times 749}\right)^2 + \left(\frac{57839502,07 \times 2120}{1,7 \times 240900^2}\right)^2} \\
 &= 2,28 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas tegangan beton

SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.7.1

$$\begin{aligned}
 &= \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times (\sqrt{f_c'})\right) \\
 &= 0,75 \times \left(\frac{278966}{400 \times 749} + 0,66 \times (\sqrt{30})\right) \\
 &= 3,41 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Cek dimensi penampang

SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.7.1

Ruas kiri $\leq$ Ruas kanan

2,28 $\leq$ 3,41 $\rightarrow$ OK

4.9.3.4. Parameter Umum lainnya

- f_y / f_{yt}

Kuat Leleh Baja Tulangan Torsi = Kuat Leleh Baja Tulangan = 1

- θ

SNI 2847:2019 pada pasal 22.7.6.1.2

θ diambil untuk balok komponen struktur non prategang = 45°

4.9.3.5. Penulangan Transversal Torsi

- Jumlah kaki

$n_{\text{kaki tumpuan}} = 4$

$n_{\text{kaki lapangan}} = 2$

- Spasi

SNI 2847:2019 pada pasal 9.7.6.3.3

$S_{\text{tumpuan}} = 100 \text{ mm}$

$S_{\text{lapangan}} = 150 \text{ mm}$

$S_{\text{max 1}} = \frac{P_h}{8}$
 $= \frac{2120}{8} = 265 \text{ mm}$

$S_{\text{max 2}} = 300 \text{ mm}$

- Cek spasi

- Spasi tumpuan

$S_{\text{tumpuan}} \leq S_{\text{max 1}}$

100 $\leq$ 265 $\rightarrow$ OK

- Spasi lapangan

$S_{\text{lapangan}} \leq S_{\text{max 2}}$

150 $\leq$ 300 $\rightarrow$ OK

- $A_{v+t} / S_{\text{pasang}}$

- $A_{v+t} / S_{\text{tumpuan pasang}}$

$$\begin{aligned}\frac{A_{v+t}}{s} &= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s} \\ &= 4 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 10^2}{100} \\ &= 3,142 \text{ mm}\end{aligned}$$

- $A_{v+t} / S_{\text{lapangan pasang}}$

$$\begin{aligned}\frac{A_{v+t}}{s} &= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s} \\ &= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 10^2}{150} \\ &= 1,047 \text{ mm}\end{aligned}$$

- A_t / S

SNI 2847:2019 pada pasal 22.7.6.1

$$\begin{aligned}A_t / s &= \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_y} \\ &= \frac{57839502}{2 \times 0,75 \times 204765 \times 420} = 0,448 \text{ mm}\end{aligned}$$

- A_v / S_{perlu}

- $A_v / S_{\text{tumpuan perlu}}$

$$\begin{aligned}\frac{A_v}{s} &= \frac{\frac{V_u \text{ tumpuan geser}}{\phi_{\text{geser}}} - v_c}{f_y \times d} \\ &= \frac{\frac{570911}{0,75} - 278966}{420 \times 749} \\ &= 1,533 \text{ mm}\end{aligned}$$

- $A_v / S_{\text{lapangan perlu}}$

$$\begin{aligned}\frac{A_v}{s} &= \frac{\frac{V_u \text{ lapangan geser}}{\phi_{\text{geser}}} - v_c}{f_y \times d} \\ &= \frac{\frac{114493,4}{0,75} - 278966}{420 \times 749} \\ &= 0,430 \text{ mm}\end{aligned}$$

- $A_{v+t} / S_{\text{perlu}}$

SNI 2847:2019 pada pasal R9.5.4.3

- $A_{v+t} / S_{\text{tumpuan perlu}}$

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s} &= 2 \times (A_t / s) + (A_v / S_{\text{tumpuan perlu}}) \\ &= 2 \times (0,448) + (1,533) \\ &= 2,43 \end{aligned}$$

- $A_{v+t} / S_{\text{lapangan perlu}}$

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s} &= 2 \times (A_t / s) + (A_v / S_{\text{lapangan perlu}}) \\ &= 2 \times (0,448) + (0,430) \\ &= 0,323 \end{aligned}$$

- $A_{v+t} / S_{\text{minimal}}$

SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.4.2

- $A_{v+t} / S_{\text{minimal 1}}$

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s} &= \frac{0,062 \times \sqrt{f_c} \times b}{f_y} \\ &= \frac{0,062 \times \sqrt{30} \times 400}{420} \\ &= 0,323 \end{aligned}$$

- $A_{v+t} / S_{\text{minimal 2}}$

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s} &= \frac{0,035 \times b}{f_y} \\ &= \frac{0,035 \times 400}{420} \\ &= 0,333 \end{aligned}$$

- Cek geser + torsi

- Cek geser + torsi tumpuan

$$(A_{v+t} / S_{\text{pasang}}) \geq (A_{v+t} / S_{\text{perlu}})$$

$$(3,142) \geq (2,43) \rightarrow \text{OK}$$

- Cek geser + torsi lapangan

$$(A_{v+t} / S_{\text{pasang}}) \geq (A_{v+t} / S_{\text{perlu}})$$

$$(1,047) \geq (0,495) \rightarrow \text{OK}$$

4.9.3.6. Penulangan Longitudinal Torsi

- Diameter Tulangan Pinggang (d_b) = 16 mm
- $d_{b \min}$ = 6,3 mm → SNI 2847:2019 pada pasal 9.7.5.2
- Cek d_b

$$d_b \geq d_{b \min}$$

$$16 \geq 6,3 \rightarrow \text{OK}$$

- A_s perlu

$$A_s \text{ perlu tumpuan atas} = 3220,23 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu tumpuan bawah} = 1521,36 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan atas} = 744,89 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan bawah} = 1522,63 \text{ mm}^2$$

- A_1

- A_1

SNI 2847:2019 pada pasal 22.7.6.1

$$\begin{aligned} A_1 &= (A_t / s) \times P_h \\ &= (0,448) \times 2120 \\ &= 950,526 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- $A_{1 \min}$

SNI 2847:2019 pada pasal 22.7.6.1

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{0,42 \times \sqrt{f_c} \times A_{cp}}{f_y} - (A_t / s) \times P_h \\ &= \frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 320000}{420} - (0,448) \times 2120 \\ &= 802,186 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- $A_s + A_1$ perlu

- Tumpuan

Max (A_1 atau $A_{1 \min}$) → diambil paling besar yaitu $A_1 = 950,526 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_s + A_1 &= \max(A_1 \text{ atau } A_{1 \min}) + A_s \text{ atas} + A_s \text{ bawah} \\ &= 950,526 + 3220,232 + 1521,36 \\ &= 5692,12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- lapangan

Max (A_1 atau $A_{1 \min}$) → diambil paling besar yaitu $A_1 = 950,526 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 A_s + A_1 &= \max(A_1 \text{ atau } A_1 \text{ min}) + A_s \text{ atas} + A_s \text{ bawah} \\
 &= 950,526 + 744,89 + 1522,632 \\
 &= 3218,05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

▪ Jumlah Tulangan

- n tumpuan atas

Dari Sheet Desain Lentur = 10

- n tumpuan tengah

Input (Disarankan Kelipatan 2) = 4

- n tumpuan bawah

Dari Sheet Desain Lentur = 5

- n tumpuan vertikal

$$\begin{aligned}
 2 + \frac{n_{\text{tumpuan tengah}}}{2} &= 2 + \frac{4}{2} \\
 &= 4
 \end{aligned}$$

- n lapangan atas

Dari Sheet Desain Lentur = 3

- n lapangan tengah

Input (Disarankan Kelipatan 2) = 4

- n lapangan bawah

Dari Sheet Desain Lentur = 5

- n lapangan vertikal

$$\begin{aligned}
 2 + \frac{n_{\text{tumpuan tengah}}}{2} &= 2 + \frac{4}{2} \\
 &= 4
 \end{aligned}$$

• Spasi

- Spasi horizontal tumpuan

Min (n_{atas} ; n_{bawah}) → di ambil n tengah = 4 (karena paling kecil)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}}, n_{\text{bawah}}) - 1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{4 - 1} \\
 &= 75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Spasi vertikal tumpuan

$$\begin{aligned}
 &= \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{(n_{\text{vertikal}}) - 1} \\
 &= \frac{800 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{4 - 1} \\
 &= 233 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Spasi horizontal lapangan

Min (n_{atas} ; n_{bawah}) → di ambil n tengah = 4 (karena paling kecil)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}}, n_{\text{bawah}}) - 1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{3 - 1} \\
 &= 149 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Spasi vertikal lapangan

$$\begin{aligned}
 &= \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{(n_{\text{vertikal}}) - 1} \\
 &= \frac{800 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{4 - 1} \\
 &= 233 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek spasi tulangan longitudinal

- Tumpuan

max(spasi) → diambil spasi vertikal karena paling besar = 233 mm

$$\max(\text{spasi}) \leq 300$$

$$233 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

- Lapangan

max(spasi) → diambil spasi vertikal karena paling besar = 233 mm

$$\max(\text{spasi}) \leq 300$$

$$233 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

- $A_s + A_1$ pasang

- $A_s + A_1$ tumpuan pasang

$$\begin{aligned}
 &= (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 + (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2 \\
 &= (10 + 5) \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 + (4) \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 \\
 &= 6506,238 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- $A_s + A_1$ lapangan pasang

$$= (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 + (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2$$

$$= (3 + 5) \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 + (4) \times \frac{\pi}{4} \times 16^2$$

$$= 3845,31 \text{ mm}^2$$

■ Cek lentur + torsi

○ Tumpuan

$$A_s + A_1 \text{ pasang} \geq A_s + A_1 \text{ perlu}$$

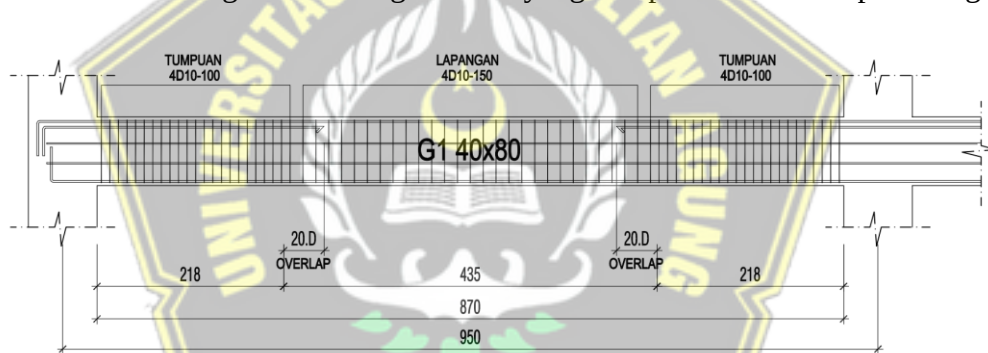
$$6506,238 \geq 5692,12 \rightarrow \text{OK}$$

○ Lapangan

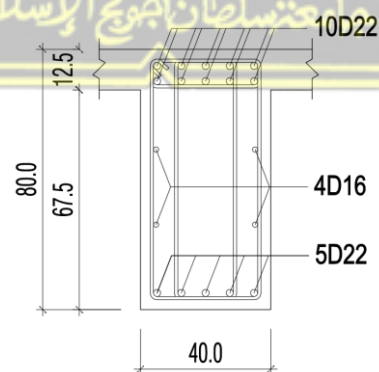
$$A_s + A_1 \text{ pasang} \geq A_s + A_1 \text{ perlu}$$

$$3845,31 \geq 3218,05 \rightarrow \text{OK}$$

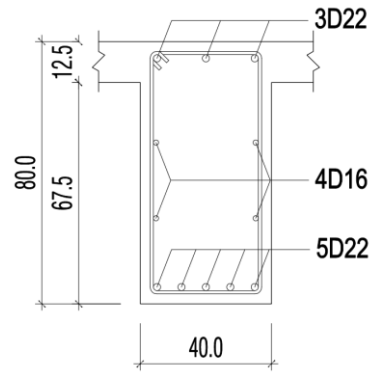
Berikut adalah gambar tulangan balok yang didapat berdasarkan perhitungan.



Gambar 4. 41. Potongan Memanjang Balok



Gambar 4. 42. Tulangan Tumpuan Balok



Gambar 4. 43. Tulangan Lapangan Balok

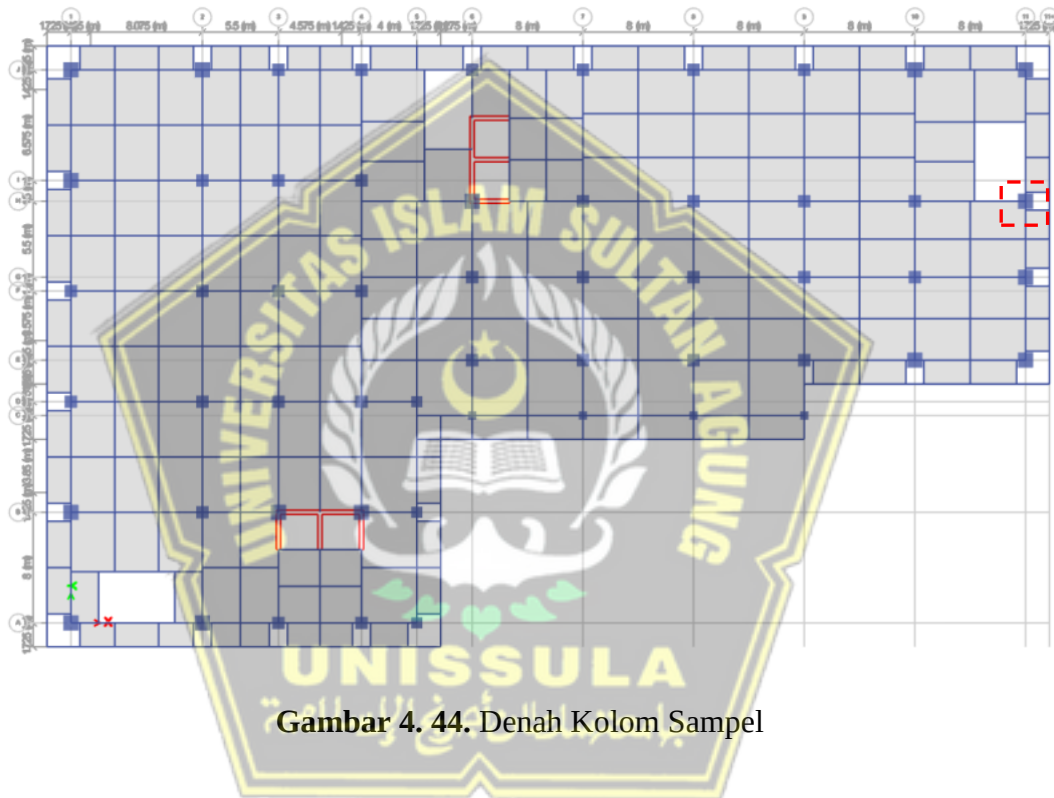
Dari hasil perhitungan terdapat rekapitulasi tulangan balok yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 57. Rekapitulasi Tulangan Balok

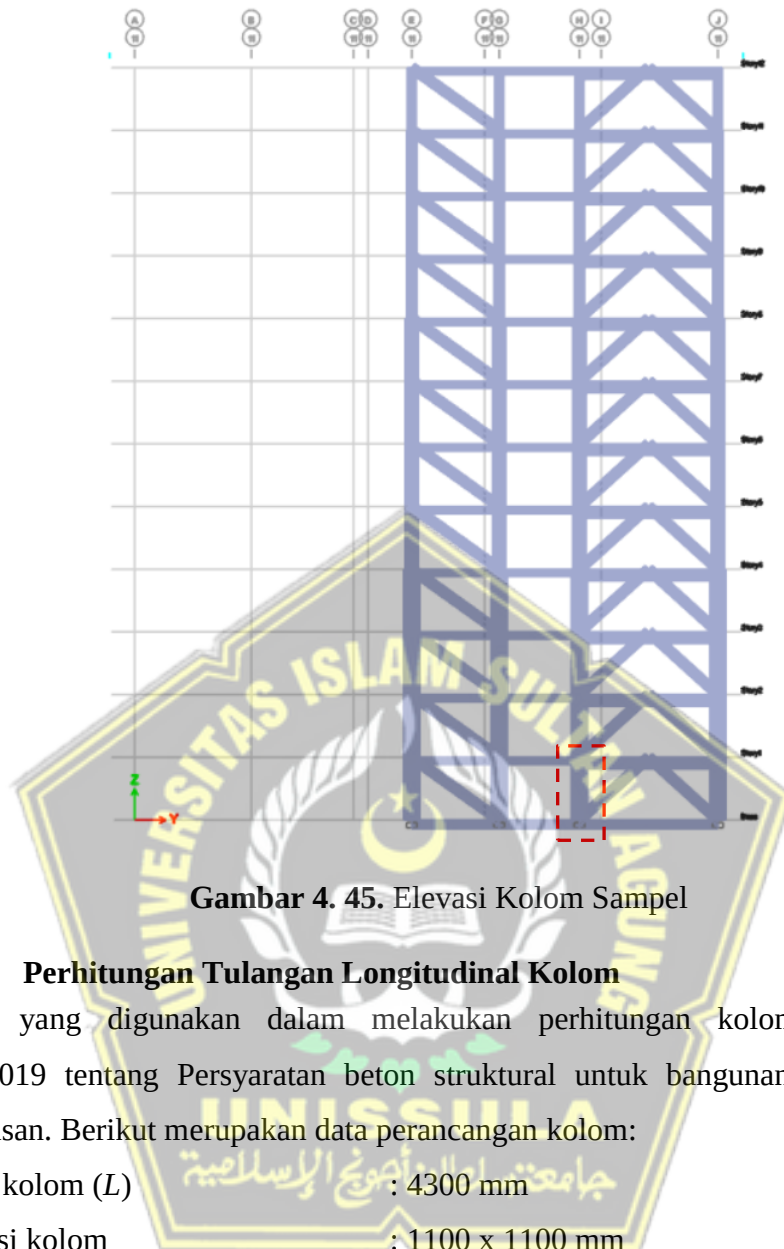
Balok Kode	Dimensi (cm)	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tulangan Torsi
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
G1	40 × 80	Atas	10 D22	3 D22	4D10-100	2D10-150	4 D16
		Bawah	5 D22	5 D22			
G2	30 × 70	Atas	9 D19	3 D19	3D10-100	2D10-150	4 D16
		Bawah	5 D19	5 D19			
G3	30 × 50	Atas	6 D22	2 D22	3D10-100	2D10-150	2 D16
		Bawah	3 D22	4 D22			
G4	25 × 70	Atas	4 D19	2 D19	2D10-100	2D10-150	-
		Bawah	2 D19	2 D19			
G5	25 × 45	Atas	4 D19	2 D19	2D10-100	2D10-150	-
		Bawah	2 D19	3 D19			
Ga	30 × 70	Atas	9 D22	3 D22	3D10-100	3D10-150	-
		Bawah	8 D22	3 D22			
B1	25 × 70	Atas	5 D19	2 D19	2D10-150	2D10-200	4 D10
		Bawah	2 D19	3 D19			
B2	25 × 50	Atas	5 D19	2 D19	2D10-150	2D10-150	-
		Bawah	3 D19	3 D19			
B3	20 × 40	Atas	3 D19	2 D19	2D10-100	2D10-150	-
		Bawah	2 D19	2 D19			
B4	15 × 30	Atas	2 D13	2 D13	2D10-200	2D10-200	-
		Bawah	2 D13	2 D13			
BK	20 × 30	Atas	3 D16	2 D16	2D10-150	2D10-200	-
		Bawah	2 D16	2 D16			
Ba	25 × 70	Atas	8 D19	2 D19	2D10-150	2D10-200	4 D10
		Bawah	4 D19	4 D19			
Bb	25 × 40	Atas	6 D19	2 D19	2D10-100	2D10-125	-
		Bawah	3 D19	3 D19			

4.10. Perancangan Kolom

Analisis kapasitas desain kolom perlu dilakukan agar mengetahui dimensi penampang kolom yang didesain mampu menahan gaya momen serta gaya geser yang dihasilkan oleh gedung hasil output ETABS. Analisis pada perhitungan ini menggunakan kolom pada lantai 1 yaitu tipe K1 ukuran 110 x 110 mm. Pada sub-bab analisis kapasitas desain kolom ditampilkan pula diagram interaksi Pn-M kolom yang digunakan untuk mengetahui kapasitas kolom terhadap gaya aksial yang menumpunya.



Gambar 4. 44. Denah Kolom Sampel



Gambar 4. 45. Elevasi Kolom Sampel

4.10.1. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Acuan yang digunakan dalam melakukan perhitungan kolom yaitu SNI 2847:2019 tentang Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. Berikut merupakan data perancangan kolom:

Tinggi kolom (L)	: 4300 mm
Dimensi kolom	: 1100 x 1100 mm
A_g	: 1210000 mm ²
Mutu beton (f'_c)	: 30 MPa
Mutu baja (f_y)	: 420 MPa
Selimut beton (t_s)	: 40 mm
D tulangan utama	: 32 mm
D tulangan Sengkang	: 13 mm
ϕ (SNI 2847:2019 tabel 21.2.1)	: 0,65
M_{nb+} (Momen kapasitas balok)	: 566,4 kNm
M_{nb-} (Momen kapasitas balok)	: 1070,39 kNm

Berikut merupakan gaya dalam yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan aplikasi ETABS.

Tabel 4. 58. Gaya aksial lentur

No	GAYA DALAM	P_u (kN)	V_u (kN)
1	Kolom Atas	21609,49	-
2	Kolom Bawah	24321,38	472,51

Langkah-langkah untuk perhitungan kolom pada sistem rangka gedung sebagai berikut :

1. Cek dimensi

Pada pasal 18.7.2.1 SNI 2847:2019 batasan dimensi untuk struktur kolom harus memenuhi :

- a) Dimensi terkecil penampang tidak kurang dari 300 mm

$$b = 1100$$

$$1100 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \rightarrow \text{OK.}$$

- b) Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4.

$$\frac{b}{h} = \frac{1100}{1100} = 1 > 0,4 \rightarrow \text{OK.}$$

2. Cek syarat komponen struktur tahan gempa

Gaya tekan aksial P_u akibat kombinasi beban yang melebihi $0,3 A_g f'_c$

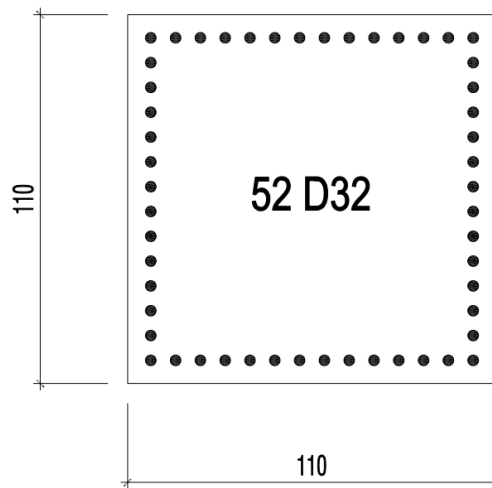
$$\begin{aligned} 0,3 A_g \times f'_c &= 0,3 \times 1210000 \times 30 \\ &= 10890000 \text{ N} = 10890 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_u > 0,3 A_g \times f'_c$$

$$24321,38 > 10890 \rightarrow \text{OK.}$$

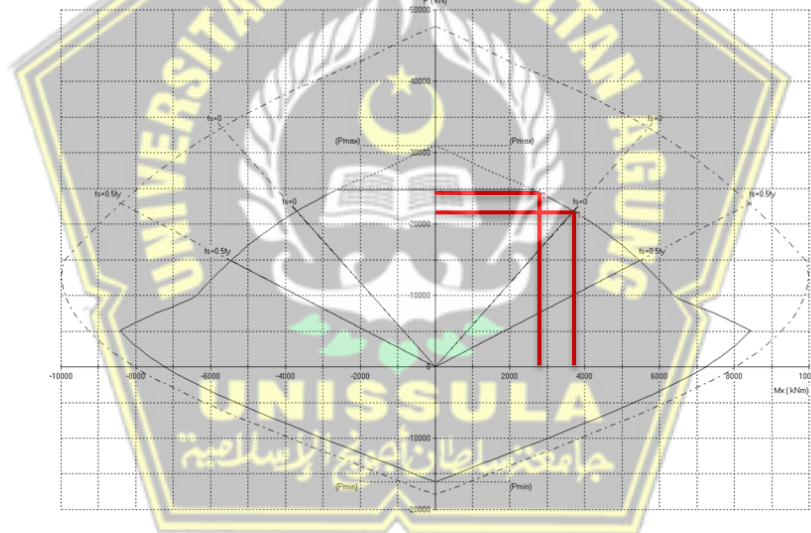
3. Menentukan tulangan longitudinal penahan lentur

Menurut pasal 18.7.4 SNI 2847:2019 luas tulangan longitudinal tidak diizinkan kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$. Dengan *trial and error* menggunakan *software* SPColumn didapatkan konfigurasi tulangan lentur kolom 52 D32.



Gambar 4. 46. Tulangan Longitudinal Kolom

Untuk diagram interaksi SPColumn Kolom dan Hasil analisis interaksi P_n - M_{pr} Kolom dapat dilihat gambar di bawah ini.



Gambar 4. 47. Diagram interaksi SPColumn Kolom

P_u	M_{ux}	ϕM_{nx}	$\phi M_n/M_u$	NA Depth	dt Depth	et	ϕ
kN	kNm	kNm		mm	mm		
21609.50	3750.00	3758.10	1.002	1027	1034	0.00002	0.650
24321.40	2800.00	2804.94	1.002	1150	1034	-0.00030	0.650

Gambar 4. 48. Hasil analisis interaksi P_n - M_{pr} Kolom

$$0,01 A_g = 0,01 \times 1210000$$

$$= 12100 \text{ mm}^2$$

$$0,06 A_g = 0,06 \times 1210000$$

$$= 72600 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= n \times 1/4 \times \pi \times D^2 \\
 &= 52 \times 1/4 \times 3,14 \times 32^2 \\
 &= 41799,68 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek } 0,01 A_g < A_{st} < 0,06 A_g$$

$$12100 < 41799,68 < 72600 \rightarrow \text{OK.}$$

4.10.2. Cek syarat Strong Column Weak Beam

Sesuai dengan pasal 18.7.3.2 SNI 2847:2019. Kekuatan lentur kolom harus memenuhi:

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2) \Sigma M_{nb}$$

- Menentukan nilai ΣM_{nb}

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_{nb} &= M_{nb}^+ + M_{nb}^- \\
 &= 566,4 + 1070,39 \\
 &= 1636,79 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Menentukan nilai ΣM_{nc}

Nilai M_{nc} didapatkan dari diagram interaksi P_n - M *SPColumn* yaitu mencari dengan gaya aksial yang dihasilkan dari kombinasi beban pada kolom atas dan kolom bawah. Dari hasil *SPColumn* didapat nilai M_{nc} atas dan M_{nc} bawah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_{nc} &= M_{nc \text{ atas}} + M_{nc \text{ bawah}} \\
 &= 5781,54 + 4313,85 \\
 &= 10095,38 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$$

$$10095,38 \geq 1,2 \times 1636,79$$

$$10095,38 > 1964,15 \rightarrow \text{OK.}$$

4.10.3. Perhitungan Tulangan Transversal Kolom

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 pasal 18.4.3.3

SNI 2847:2019 dengan ℓ_o merupakan nilai terbesar dari:

a. $1/6$ tinggi bersih kolom = $4300 / 6 = 716,67$ mm

b. Dimensi maksimum kolom = 1100 mm

c. 450 mm

Jarak ℓ_o digunakan 1100 mm.

b) Penentuan $S_{\max}$ merupakan nilai terbesar dari:

a. $1/4$ dimensi komponen struktur minimum = $1100 / 4 = 275$ mm

b. $6D = 6 \times 32 = 192$ mm

c. So, tidak melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm.

$$S_o = \frac{100 + 350 - 0,5 (1100 - 2(10) - 32)}{3} = 109,11 \text{ mm}$$

Ambil jarak tulangan transversal 100 mm

c) Penentuan luas tulangan *confinement*

Berdasarkan tabel 18.7.5.4 SNI 2847:2019. Untuk daerah sepanjang ℓ_o dari ujung-ujung kolom total luas penampang *hoop* tidak boleh kurang dari salah satu yang terbesar diantara :

- b_{c1} = tinggi penampang inti beton yang tertekan
 $= 1100 - (2 \times 40)$
 $= 1020$ mm

- b_{c2} = lebar penampang inti beton yang tertekan
 $= 1100 - (2 \times 40)$
 $= 1020$ mm

- A_{ch} = $b_{c1} \times b_{c2}$
 $= 1020 \times 1020$
 $= 1040400 \text{ mm}^2$

- A_{sh1} = $0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}}$
 $= 0,3 \left(\frac{1210000}{1040400} - 1 \right) \frac{30}{420}$
 $= 0,00349$

- K_f = $\frac{f_c'}{175} + 0,6$
 $= \frac{30}{175} + 0,6 = 0,77143 \rightarrow \text{minimal } 1$

- K_n = $\frac{n_i}{n_i - 2} = \frac{52}{52 - 2} = 1,04$

$$\begin{aligned}
 \blacksquare A_{sh2} &= 0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}} \\
 &= 0,09 \frac{30}{420} \\
 &= 0,00643 \\
 \blacksquare A_{sh3} &= 0,2 \times K_f \times K_n \times \frac{P_u}{f_{yt} \times A_{ch}} \\
 &= 0,2 \times 1 \times 1,04 \times \frac{24321,38 \times 10^6}{420 \times 10404000} \\
 &= 0,01158
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{Ash}{s} &= b_c \times A_{sh \max} \\
 &= 1020 \times 0,01158 \\
 &= 11,81 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh} &= s \times \frac{Ash}{s} \\
 &= 100 \times 11,82 \\
 &= 1180,87 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka dapat digunakan Sengkang (*hoop*) 8D13-100

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= 8 \text{ kaki} \times 1/4 \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 1193,99 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek, } A_{s \text{ pasang}} &> A_{sh} \\
 1193,99 &> 1180,87 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK.}
 \end{aligned}$$

d) Sesuai pasal 18.7.5.5 SNI 2847:2019. Untuk daerah di luar ℓ_0 diberi sengkang dengan spasi tidak melebihi nilai terkecil dari:

$$a. 6D = 6 \times 32 = 192 \text{ mm}$$

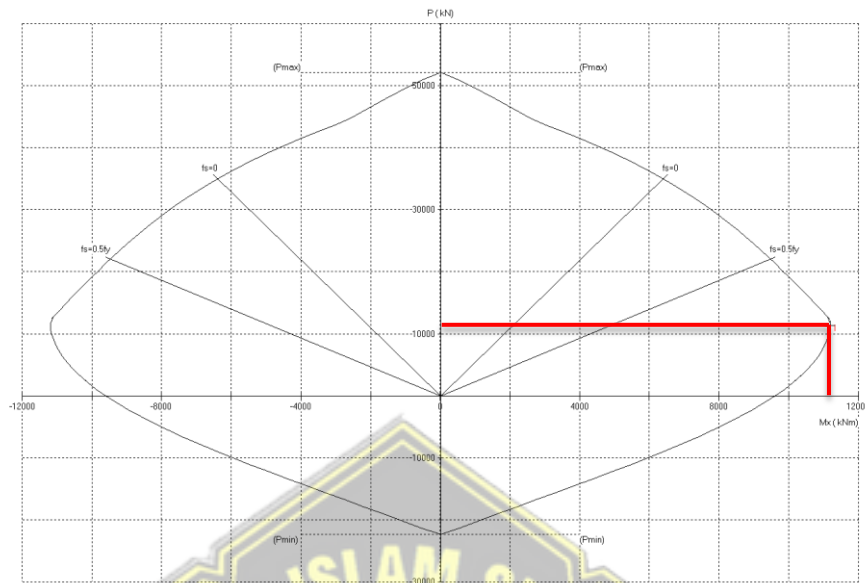
$$b. 150 \text{ mm}$$

Maka $S_{\max} = 150 \text{ mm}$ dan dapat digunakan spasi (s) = 150 mm sepanjang sisa kolom bersih.

2. Analisis Gaya geser desain tulangan Sengkang Kolom

Pada pasal 18.7.6.1.1 SNI 2847:2019. Gaya geser V_e harus diambil dari gaya geser yang berhubungan dengan sendi plastis pada kedua ujung kolom. 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 kita lihat di gambar sebagai berikut.



Gambar 4. 49. Diagram interaksi P_n - M SPColumn dengan 1,25 f_y

Pu	Mux	ϕMnx	$\phi Mn/Mu$	NA Depth	dt Depth	st	ϕ
kN	kNm	kNm		mm	mm		
11300.00	11180.00	11184.69	1.000	527	1034	0.00289	1.000

Gambar 4. 50. Hasil Analisis interaksi P_n - M SPColumn dengan 1,25 f_y

▪ Diketahui:

$$\begin{aligned}
 M_{pr\ c} &= 11184\text{ kNm} \\
 L_n &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\
 &= 4300 - 800 \\
 &= 3500\text{ mm} = 3,5\text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai } M_{pr\ b\ atas} = 698579536,25\text{ Nmm} = 698,58\text{ kNm}$$

$$\text{Nilai } M_{pr\ b\ bawah} = 1299541291,84\text{ Nmm} = 1299,54\text{ kNm}$$

$$\text{Faktor distribusi kolom } (D_f) = 0,5\text{ (atas dan bawah dianggap sama)}$$

$$\text{Faktor reduksi geser} = 0,75$$

$$\begin{aligned}
 \text{▪ } V_{e1} &= \frac{M_{pr\ c\ atas} + M_{pr\ c\ bawah}}{L_n} \\
 &= \frac{11184 + 11184}{3,5} \\
 &= 6390,86\text{ kN}
 \end{aligned}$$

- V_e tidak perlu melebihi dari:

$$\begin{aligned} V_{e2} &= \frac{\sum M_{pr \text{ atas}} \times D_{f \text{ atas}} + \sum M_{pr \text{ bawah}} \times D_{f \text{ bawah}}}{L_n} \\ &= \frac{698,58 \times 0,5 + 1299,54 \times 0,5}{3,5} \\ &= 570,89 \text{ kN} \end{aligned}$$

- V_e tidak boleh kurang dari gaya geser terfaktor hasil analisis:

$$V_{e3} = 427,51 \text{ kN}$$

- Dari nilai V_e yang telah dihitung, maka diambil $V_u = 570,89 \text{ kN}$. Asumsi kuat geser yang disumbang oleh beton, $V_c = 0$. Maka:

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{570,89}{0,75} \\ &= 761,19 \text{ kN} \\ \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_y \times d} \\ &= \frac{761,19}{420 \times (1100 - 40 - 13 - \frac{32}{2})} \\ &= 1,76 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Untuk $S = 100 \text{ mm}$, maka nilai A_v

$$\begin{aligned} &= \frac{A_v}{s} \times 100 \\ &= 1,76 \times 100 \\ &= 176 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Senggang tertutup dan ikat silang digunakan 8D13-100 dengan $A_{sh} = 1193,99 \text{ mm}^2$.

$$A_{sh} > A_v$$

$$1193,99 > 176 \rightarrow \text{OK.}$$

3. Untuk daerah diluar ℓ_0 , maka nilai V_c dihitung:

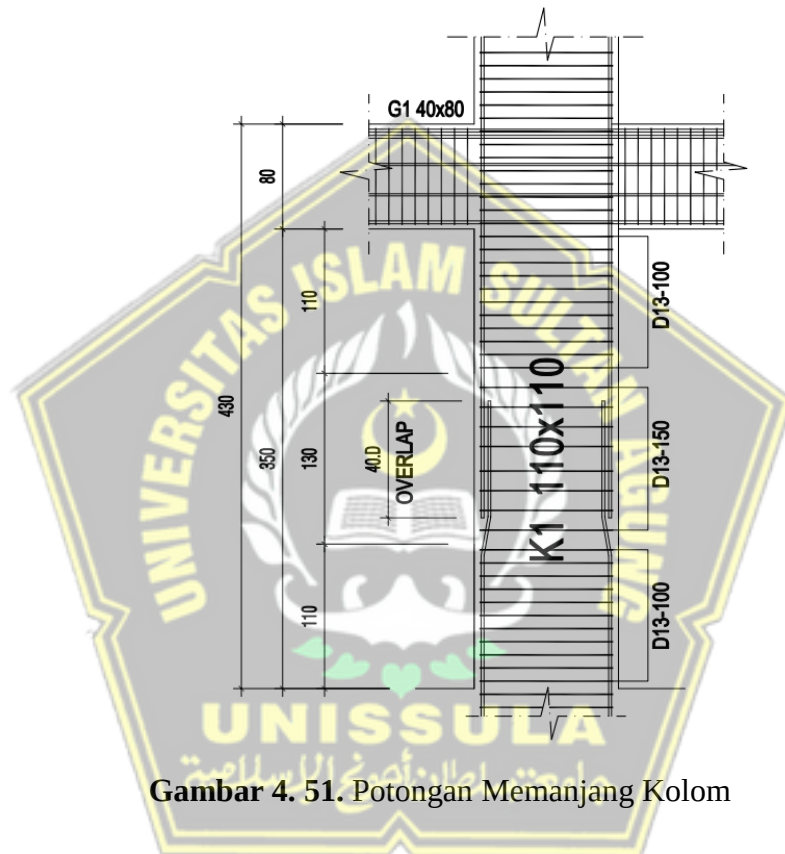
$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{P_u}{14A_g} \right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{24321,38 \times 1000}{14 \times 1210000} \right) 1\sqrt{30} \times 1100 \times (1100 - 40 - 13 - \frac{32}{2}) \end{aligned}$$

$$= 1516,13 \text{ kN}$$

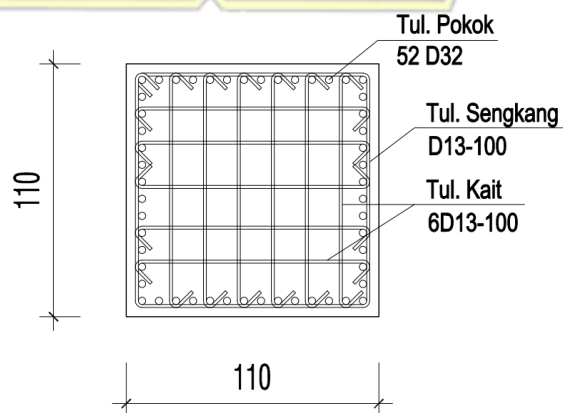
Karena $V_c > V_u$ ($V_u = 507,89 \text{ kN}$) maka daerah diluar ℓ_0 dipasang tulangan sengkang dengan jarak:

$$s = \frac{d}{2} = (1100 - 40 - 13 - \frac{32}{2}) / 2 = 515,5 \text{ mm}$$

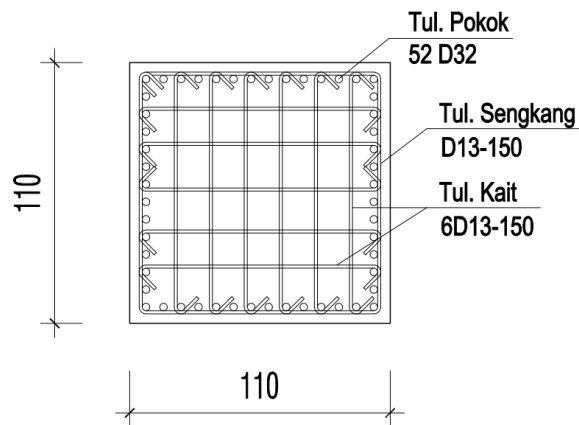
Sesuai dengan pasal 18.7.5.5 jarak tulangan transversal diluar ℓ_0 tidak boleh lebih dari 150 mm atau $6d_b$ (192 mm). Maka dipasang jarak maksimal 150 mm. Berikut adalah gambar dari hasil perhitungan.



Gambar 4. 51. Potongan Memanjang Kolom



Gambar 4. 52. Tulangan Ujung Kolom



Gambar 4. 53. Tulangan Tengah Kolom

Dari hasil perhitungan tulangan pada semua tipe kolom yang telah dilakukan, berikut adalah hasil rekapitulasi tulangan kolom.

Tabel 4. 59. Rekapitulasi Tulangan Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi Kolom	Tulangan Pokok	Tulangan Geser	
				Tumpuan	Lapangan
1	K1	1100 × 1100	52 D32	8 D13-100	8 D13-150
2	K2	900 × 900	52 D 25	6 D13-100	6 D13-150
3	K3	900 × 900	24 D22	5 D13-100	5 D13-150
4	K4	800 × 800	20 D22	6 D10-100	6 D10-150
5	K5	700 × 700	20 D19	6 D10-100	6 D10-150
6	K6	600 × 600	16 D19	5 D10-100	5 D10-150

4.11. Hubungan Balok-Kolom (*Joint*) Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Joint merupakan daerah pertemuan antara kolom dan balok yang harus didetailkan dengan baik. Analisis perhitungan hubungan balok G1 dengan kolom K3 lantai 1 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Cek syarat panjang *joint*

Sesuai pasal 18.8.2.3 SNI 2847:2019. Dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh (*normalweight*) kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal.

- $b = h = 900 \text{ mm}$
- $20d_b = 440 \text{ mm}$

Cek, $b > 20 d_b$

$$900 > 440 \rightarrow \text{OK.}$$

2. Cek tulangan geser untuk *confinement*

Sesuai pasal 18.8.3.1 SNI 2847:2019 jumlah tulangan *confinement* dapat memakai seperti pada detail tulangan geser kolom pada ℓ_0 . Dari hasil analisis tulangan geser kolom diatas digunakan tulangan geser 5D13-100.

3. Menghitung gaya geser pada *joint*

Momen balok yang timbul:

$$M_{prb+} = 698,58 \text{ kNm}$$

$$M_{prb-} = 1299,54 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_c &= 0,5 \times (M_{prb+} - M_{prb-}) \\ &= 0,5 \times (698,58 - 1299,54) \\ &= 999,06 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4. Menghitung gaya geser pada kolom

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif kolom } (L_n) &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\ &= 4300 - 800 \\ &= 3500 \text{ mm} = 3,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Gaya geser kolom sebesar :

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{M_c}{L_n} \\ &= \frac{999,06}{3,5} \end{aligned}$$

$$= 285,45 \text{ kN}$$

5. Menghitung gaya geser pada tulangan balok longitudinal

Luas tulangan atas 10 D22, $A_s = 3801,33 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\ &= 1,25 \times 3801,33 \times 420 \\ &= 1995,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya tekan yang bekerja pada baton di sisi kiri hubungan balok kolom, sebesar :

$$C_1 = T_1 = 1995,7 \text{ kN}$$

Luas tulangan bawah 5D22, $A_s = 1900,66 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} T_2 &= 1,25 \times A_s \times F_y \\ &= 1,25 \times 1900,66 \times 420 \\ &= 997,85 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kanan hubungan balok kolom, sebesar :

$$C_2 = T_2 = 997,85 \text{ kN}$$

6. Menghitung kuat geser pada *joint*

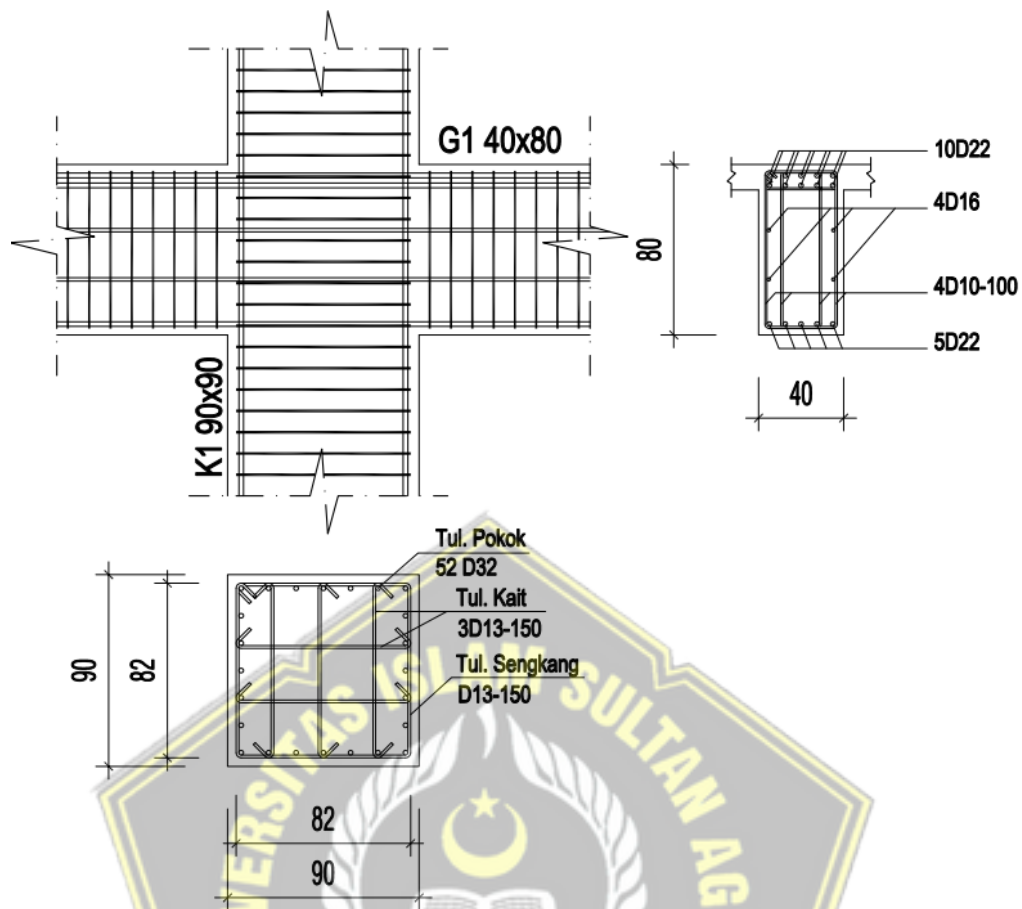
$$\begin{aligned} V_j &= T_1 + T_2 - V_h \\ &= 1995,7 + 997,85 - 285,45 \\ &= 2708,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

7. Menghitung kuat geser yang dikekang keempat sisinya.

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times A_g \\ &= 1,7 \times 1 \times \sqrt{30} \times (900 \times 900 / 1000) \\ &= 7242,14 \text{ kN} \\ \phi V_n &= 0,85 \times 7242,14 \text{ kN} \\ &= 6410,82 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek, } \phi V_n &> V_j \\ 6410,82 \text{ kN} &> 2708,1 \text{ kN} \rightarrow \text{OK.} \end{aligned}$$

Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan, kuat geser yang dikekang keempat sisinya lebih besar daripada gaya geser joint yang ditimbulkan. Dengan nilai $6410,82 \text{ kN} > 2708,1 \text{ kN}$ maka memenuhi persyaratan. Berikut adalah gambar tulangan hubungan balok-kolom dari hasil perhitungan.



Gambar 4. 54. Hubungan Balok Kolom (Joint)

4.12. Perancangan Dinding Geser

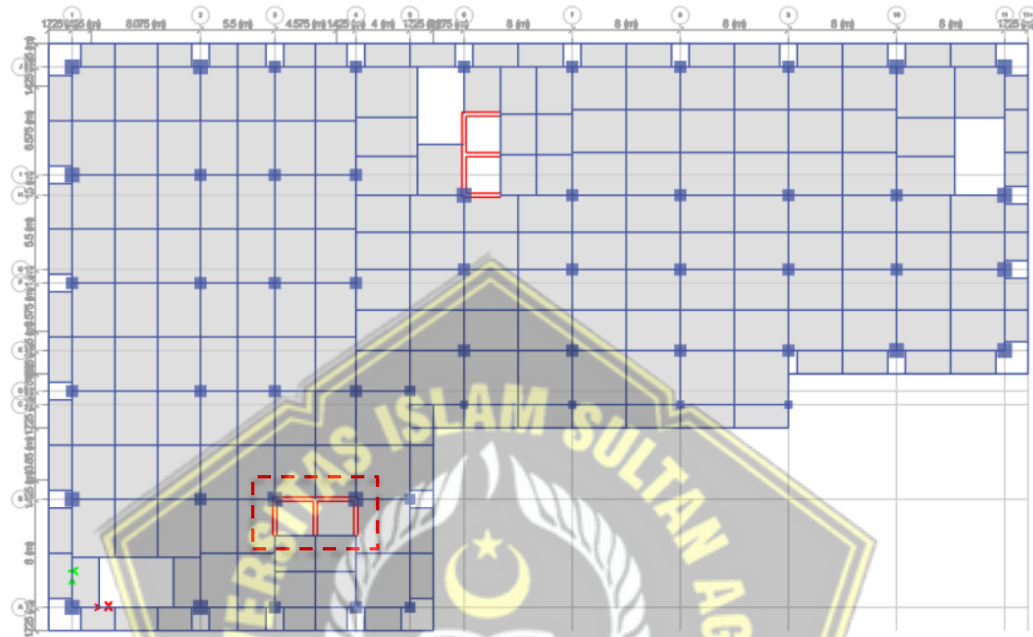
4.12.1. Properti Material dan Penampang

Analisis kapasitas desain dinding geser perlu dilakukan agar mengetahui dimensi penampang dinding geser yang didesain mampu menahan gaya momen serta gaya geser yang dihasilkan oleh gedung hasil analisis menggunakan ETABS. Desain dinding geser diambil pada dinding geser dengan data sebagai berikut:

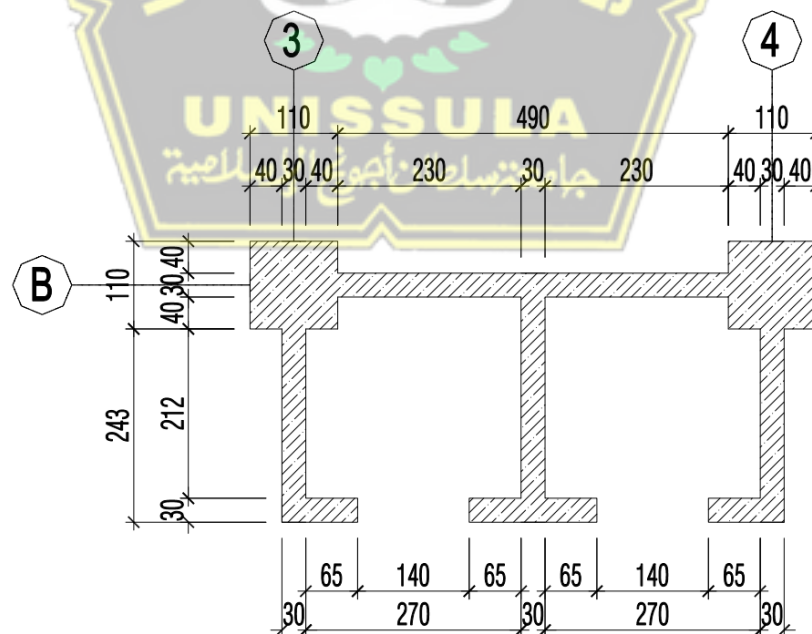
Tebal dinding geser (t_w)	= 300 mm
Panjang dinding geser (L)	= 6000 mm
Panjang kolom (h_k)	= 1100 mm
Lebar kolom (b_k)	= 1100 mm
Tinggi dinding geser total (h_w)	= 51600 mm
Diameter tulangan longitudinal badan (d_l)	= 25 mm
Diameter tulangan Transversal badan (d_t)	= 25 mm

Diameter tulangan kolom (d_b)	= 32 mm
Kuat tekan beton (f'_c)	= 30 Mpa
Kuat leleh baja tulangan (f_y)	= 420 Mpa

Berikut adalah denah sampel dan penampang dinding geser rencana



Gambar 4. 55. Denah Dinding Geser Sampel



Gambar 4. 56. Penampang Dinding Geser Rencana

4.12.2. Gaya Dalam

Gaya dalam yang digunakan untuk mendesain dinding geser diambil dari beberapa kondisi yaitu pada kondisi $P_{\max}$, $P_{\min}$, $M_{2\max}$, $M_{2\min}$, $M_{3\max}$, $M_{3\min}$. Berikut adalah hasil gaya-gaya dalam pada dinding geser yang dianalisis menggunakan *software* ETABS:

Tabel 4. 60. Gaya Aksial-Lentur Pada Dinding Geser

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)
$P_{\max}$	-155,155	918,248	958,989
$P_{\min}$	-24983,758	-52285,343	-175469,316
$M_{2\max}$	-7160,954	52154,338	173637,153
$M_{2\min}$	-24983,758	-52285,343	-175469,316
$M_{3\max}$	-9948,315	43901,250	224063,893
$M_{3\min}$	-24103,736	-44857,018	-225207,853

Tabel 4. 61. Gaya Geser Pada Dinding Geser

Geser	
V_2 (kN)	10240,020
V_3 (kN)	6367,381

4.12.3. Pengecekan Geometri

- Panjang total (L_w)

$$\begin{aligned}
 L_w &= L + h_k \\
 &= 6000 + 1100 \\
 &= 7100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Panjang bersih (L_n)

$$\begin{aligned}
 L_n &= L - h_k \\
 &= 6000 - 1100 \\
 &= 4900 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Luas penampang melintang (A_{cv})

$$\begin{aligned} A_{cv} &= t_w \times l_w \\ &= 300 \times 7100 \\ &= 2130000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas total dinding geser (A_w)

$$\begin{aligned} A_w &= t_w \times l_n + 2 \times (b_k \times h_k) \\ &= 300 \times 4900 + 2 \times (1100 \times 1100) \\ &= 3890000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.12.4. Kebutuhan Tulangan Minimum

- Faktor reduksi kekuatan geser

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser

$$\begin{aligned} \frac{V_u}{\phi} &= \frac{10240,02}{0,75} \\ &= 13653360 \text{ N} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan minimum

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.2.1 rasio tulangan minimal yaitu 0,0025, kecuali jika $V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$ maka rasio tulangan minimum diizinkan sesuai tabel 11.6.1 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned} V_u &< 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ 13653360 &< 0,083 \times 2130000 \times \sqrt{30} \\ 13653360 &> 968319 \text{ N} \rightarrow \text{NOT OK.} \end{aligned}$$

Karena $V_u > 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$ maka rasio tulangan longitudinal (ρ_l) dan rasio tulangan transversal (ρ_t) diambil sebesar 0,0025.

- Jumlah lapis tulangan pakai

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.2.2 dibutuhkan minimal 2 lapis tulangan jika $V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$ atau $\frac{h_w}{l_w} \geq 2$.

Cek batasan 1:

$$V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$$

$$13653360 > 0,17 \times 2130000 \times \sqrt{30}$$

$$13653360 > 1983303 \text{ N} \rightarrow (\text{Perlu tulangan 2 lapis})$$

Cek batasan 2:

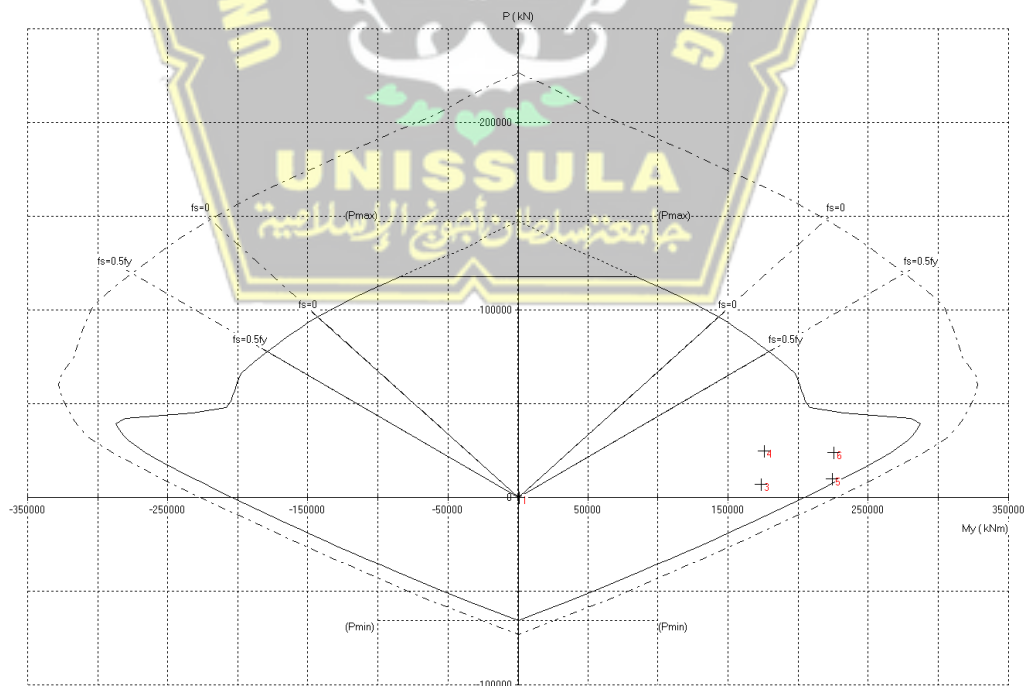
$$\frac{h_w}{l_w} \geq 2$$

$$\frac{51600}{7100} \geq 2$$

$$7,23 > 2 \rightarrow (\text{Perlu tulangan 2 lapis})$$

4.12.5. Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan SPColumn)

Dari hasil *trial and error* menggunakan *software* SPColumn didapatkan konfigurasi tulangan longitudinal pada dinding geser yaitu D25-150 dan konfigurasi tulangan pada kolom yaitu 52 D32. Untuk diagram interaksi SPColumn Kolom dan Hasil analisis interaksi P_n-M_{pr} Kolom dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 57. Diagram interaksi SPColumn Dinding Geser

No	Pu	Muy	ϕM_{ny}	$\phi M_n/\mu$	NA Depth	dt Depth	et	ϕ
	kN	kNm	kNm		mm	mm		
1	155.15	958.99	204660.53	213.413	840	7044	0.02215	0.900
2	24983.80	175469.00	268078.84	1.528	1677	7044	0.00960	0.900
3	7160.95	173637.16	223815.25	1.289	999	7044	0.01815	0.900
4	24983.76	175469.31	268078.63	1.528	1677	7044	0.00960	0.900
5	9948.32	224063.89	231238.17	1.032	1068	7044	0.01678	0.900
6	24103.74	225207.86	266201.50	1.182	1620	7044	0.01004	0.900

Gambar 4. 58. Hasil analisis interaksi SPColumn Dinding Geser

4.12.5.1. Bagian Badan

Spasi tulangan longitudinal (s) = 150 mm

- Cek spasi tulangan maksimum

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.2 spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm.

$$s \leq 450$$

$$150 \leq 450 \rightarrow \text{OK.}$$

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

$$\begin{aligned} \rho_l &= n_{\text{lapis}} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_l^2}{t_w \times s} \\ &= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 25^2}{300 \times 150} \\ &= 2,18 \% \end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan minimum

$$\rho_l \geq \rho_{l \min}$$

$$2,18 \% \geq 0,25 \% \rightarrow \text{OK.}$$

4.12.5.2. Bagian kolom

Jumlah tulangan per kolom (n) = 52 mm

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

$$\begin{aligned} \rho &= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_b^2}{b_k \times h_k} \\ &= 52 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 32^2}{1100 \times 1100} \\ &= 3,46 \% \end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan kolom

$$1 \% \leq \rho \leq 6 \%$$

$$1 \% \leq 3,46 \% \leq 6 \% \rightarrow \text{OK.}$$

4.12.6. Pengecekan Kapasitas geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada pasal 18.10.4.1, untuk $h_w/L_w > 2$ maka:

$$a_c = 0,17$$

- Kuat geser dinding

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv} \times (a_c \times \sqrt{f_c} + \rho_t \times f_y) \\ &= 2130000 \times (0,17 \times \sqrt{30} + 2,18\% \times 420) \\ &= 21500448 \text{ N} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas geser

$$\begin{aligned} V_n &\geq \frac{V_u}{\phi} \\ 21500448 &> 13653360 \rightarrow \text{OK.} \end{aligned}$$

4.12.7. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus

4.12.7.1. Displacement-Based Method

Panjang zona tekan (c) = 1677 $\rightarrow$ (NA *Depth* maksimum dari tabel hasil analisis interaksi SPColumn Dinding Geser)

$$\delta_u = 0 \rightarrow (\text{boleh diambil nol})$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.2

$$\begin{aligned} \max\left(\frac{\delta_u}{h_w}; 0,005\right) &= \max\left(\frac{0}{51600}; 0,005\right) \\ &= \max(0; 0,005) \\ &= 0,005 \rightarrow \text{diambil } 0,005 \text{ karena paling besar} \end{aligned}$$

- Cek elemen batas khusus

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.2

$$\begin{aligned} c &\geq \frac{l_w}{600 \times \frac{\delta_u}{h_w}} \\ 1677 &\geq \frac{7100}{600 \times 1,5 \times 0,005} \\ 1677 &\geq 1577,78 \rightarrow \text{perlu adanya elemen batas khusus} \end{aligned}$$

- Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.4

$$c - 0,1 L_w = 1677 - 0,1 \times 7100$$

$$= 967 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{2} = \frac{1677}{2}$$

$$= 838,5 \text{ mm}$$

$$h_c + 300 = 1100 + 300$$

$$= 1400 \text{ mm}$$

- Panjang elemen batas khusus

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.4

$$L_{BE} = \max (c - 0,1 L_w ; \frac{c}{2} ; h_c + 300)$$

$$= 1400 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil } 1400 \text{ karena paling besar}$$

$$\frac{M_u}{4 V_u} = \frac{\max(224063,89 ; 225207,85)}{4 \times 10240,02} = 5498,23 \text{ mm}$$

- Tinggi elemen batas khusus

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.4

$$h_{BE} = \max (L_w ; \frac{M_u}{4 V_u})$$

$$= \max (7100 ; 5498,23)$$

$$= 7100 \text{ mm} \rightarrow \text{diambil } 7100 \text{ karena paling besar}$$

4.12.7.2. *Strength-Based Method*

$$\text{Luas penampang total } (A_g) = 3890000 \text{ mm}^2$$

- Inersia penampang

$$I_g = \frac{1}{12} \times t_w \times l_n^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3 + \frac{L}{2} \times b_k \times h_k \right)^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 300 \times 4900^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times 1100 \times 1100^3 + \frac{L}{2} \times 1100 \times 1100 \right)^2$$

$$= 2,5 \times 10^{13} \text{ mm}^4$$

- Tegangan kondisi

➤ Tegangan kondisi 1

$$= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} = \frac{155.16}{38900000} + \frac{958.99}{2,5 \times 10^{13}} \times \frac{6000}{2} = 0,155 \text{ MPa}$$

- Tegangan kondisi 2

$$\begin{aligned}
 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
 &= \frac{24983.75}{38900000} + \frac{175469.31}{2,5 \times 10^{13}} \times \frac{6000}{2} \\
 &= 27,51 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 3

$$\begin{aligned}
 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
 &= \frac{7160.95}{38900000} + \frac{173637.15}{2,5 \times 10^{13}} \times \frac{6000}{2} \\
 &= 22,71 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 4

$$\begin{aligned}
 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
 &= \frac{24983.75}{38900000} + \frac{175469.31}{2,5 \times 10^{13}} \times \frac{6000}{2} \\
 &= 27,51 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 5

$$\begin{aligned}
 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
 &= \frac{9948.31}{38900000} + \frac{224063.89}{2,5 \times 10^{13}} \times \frac{6000}{2} \\
 &= 29,48 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 6

$$\begin{aligned}
 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
 &= \frac{24103.73}{38900000} + \frac{225207.85}{2,5 \times 10^{13}} \times \frac{6000}{2} \\
 &= 33,26 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Tegangan maksimum

= max (tegangan kondisi 1-6)

= 33,26 MPa → diambil 33,26 MPa karena paling besar

- Balas tegangan

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.3

$$= 0,2 f_c'$$

$$= 0,2 \times 30$$

$$= 6 \text{ MPa}$$

- Perlu elemen batas khusus?

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.3

$$\text{Tegangan} \geq 0,2 f_c'$$

$$33,26 \geq 6 \rightarrow \text{Perlu}$$

- Tinggi elemen batas khusus

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.3

$$\begin{aligned} h_{BE} &= h_w - \frac{0,15 \times f_c'}{\text{tegangan}} \times h_c \\ &= 51600 - \frac{0,15 \times 30}{33,26} \times 51600 \\ &= 44618 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.12.8. Penulangan Elemen Batas Khusus

4.12.8.1. Daerah Kolom

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter confinement } (d_s) = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah kaki sejajar lebar kolom } (n_1) = 5$$

$$\text{Jumlah kaki sejajar panjang kolom } (n_2) = 5$$

$$\text{Spasi } (s) = 100 \text{ mm}$$

$$A_{sh \ 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$$

$$= 5 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2$$

$$= 663,66 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \ 2} = n_2 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 5 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2$$

$$= 663,66 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \ 1 = \frac{663,66}{100}$$

$$= 6,64 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} &= \frac{663,66}{100} \\ &= 6,64 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

- Lebar penampang inti beton

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal R18.10.6.4.1

$$\begin{aligned}b_c &= b_k - 2c_c \\ &= 1100 - 2 \times 40 = 1020 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Panjang penampang inti beton

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal R18.10.6.4.1

$$\begin{aligned}h_c &= h - 2c_c \\ &= 1100 - 2 \times 40 \\ &= 1020 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Luas penampang kolom

$$\begin{aligned}A_g &= b_k \times h_k \\ &= 1100 \times 1100 \\ &= 1210000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luas penampang beton

$$\begin{aligned}A_{ch} &= b_c \times h_c \\ &= 1020 \times 1020 \\ &= 1040400 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Sejar lebar kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada tabel 18.10.6.4

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 1} &= 0,3 \times \left(h_c \times \frac{f_c'}{f_y} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \times \left(1020 \times \frac{30}{420} \right) \times \left(\frac{1210000}{1040400} - 1 \right) = 3,56 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 2} &= 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} \\ &= 0,09 \times 1020 \times \frac{30}{420} \\ &= 6,56 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

➤ Cek $\frac{A_{sh}}{s}$ 2

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ 1} \geq \max \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min 2} \right)$$

$$6,64 \geq 6,56 \rightarrow \text{OK}$$

- Sejajar panjang kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada tabel 18.10.6.4

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 1} = 0,3 \times \left(b_c \times \frac{f_c'}{f_y} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$= 0,3 \times \left(1020 \times \frac{30}{420} \right) \times \left(\frac{1210000}{1040400} - 1 \right)$$

$$= 3,56 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y}$$

$$= 0,09 \times 1020 \times \frac{30}{420}$$

$$= 6,56 \text{ mm}^2$$

➤ Cek $\frac{A_{sh}}{s}$ 1

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ 2} \geq \max \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min 2} \right)$$

$$6,64 \geq 6,56 \rightarrow \text{OK}$$

4.12.8.2. Daerah Badan

Selimut beton = 40 mm

Diameter *confinement* (d_s) = 13 mm

Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1) = 4

Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2) = 4

Spasi (s) = 100 mm

$$A_{sh \text{ 1}} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$$

$$= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2$$

$$= 530,93 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \text{ 2}} = n_2 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2$$

$$= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2$$

$$= 530,93 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ 1} = \frac{530,93}{100} = 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} 2 &= \frac{530,93}{100} \\ &= 5,31 \text{ mm}^2/\text{mm}\end{aligned}$$

- Panjang daerah EBK badan

$$\begin{aligned}b &= L_{BE} - h_k \\ &= 1400 - 1100 \\ &= 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Lebar daerah EBK (tebal dinding)

$$\begin{aligned}h &= t_w \\ &= 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Lebar penampang inti beton

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal R18.10.6.4.1

$$\begin{aligned}b_c &= b - 2c_c \\ &= 300 - 2 \times 40 \\ &= 220 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Panjang penampang inti beton

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal R18.10.6.4.1

$$\begin{aligned}h_c &= t_w - 2c_c \\ &= 300 - 2 \times 40 \\ &= 220 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Luas penampang kolom

$$\begin{aligned}A_g &= b \times h \\ &= 300 \times 300 \\ &= 90000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luas penampang beton

$$\begin{aligned}A_{ch} &= b_c \times h_c \\ &= 220 \times 220 \\ &= 48400 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Sejajar lebar kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada tabel 18.10.6.4

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 1} &= 0,3 \times \left(h_c \times \frac{f_c'}{f_y} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \times \left(220 \times \frac{30}{420} \right) \times \left(\frac{90000}{48400} - 1 \right) \\ &= 4,05 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 2} &= 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} \\ &= 0,09 \times 220 \times \frac{30}{420} \\ &= 1,41 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

➤ Cek $\frac{A_{sh}}{s}$ 2

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} \text{ 1} &\geq \max \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min 2} \right) \\ 5,31 &\geq 4,05 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Sejajar panjang kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 pada tabel 18.10.6.4

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 1} &= 0,3 \times \left(b_c \times \frac{f_c'}{f_y} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \times \left(220 \times \frac{30}{420} \right) \times \left(\frac{90000}{48400} - 1 \right) \\ &= 4,05 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 2} &= 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} \\ &= 0,09 \times 220 \times \frac{30}{420} \\ &= 1,41 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

➤ Cek $\frac{A_{sh}}{s}$ 1

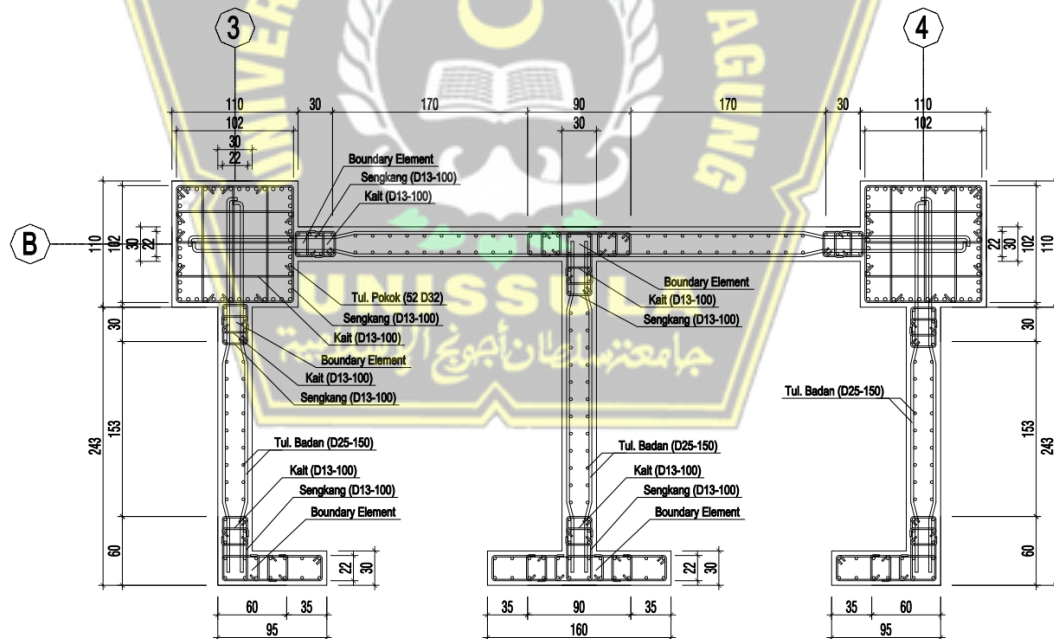
$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} \text{ 2} &\geq \max \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min 2} \right) \\ 5,31 &\geq 4,05 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perancangan dinding geser yang telah dilakukan.

Tabel 4. 62. Rekapitulasi Hasil Perancangan Dinding Geser

Tulangan Kolom	
Longitudinal	52 D32
Transversal (Sejajar Lebar)	5 D13-100
Transversal (Sejajar Panjang)	5 D13-100
Tulangan Badan	
Longitudinal	2 D25-150
Transversal	2 D25-150
Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar)	4 D13-100
Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang)	4 D13-100

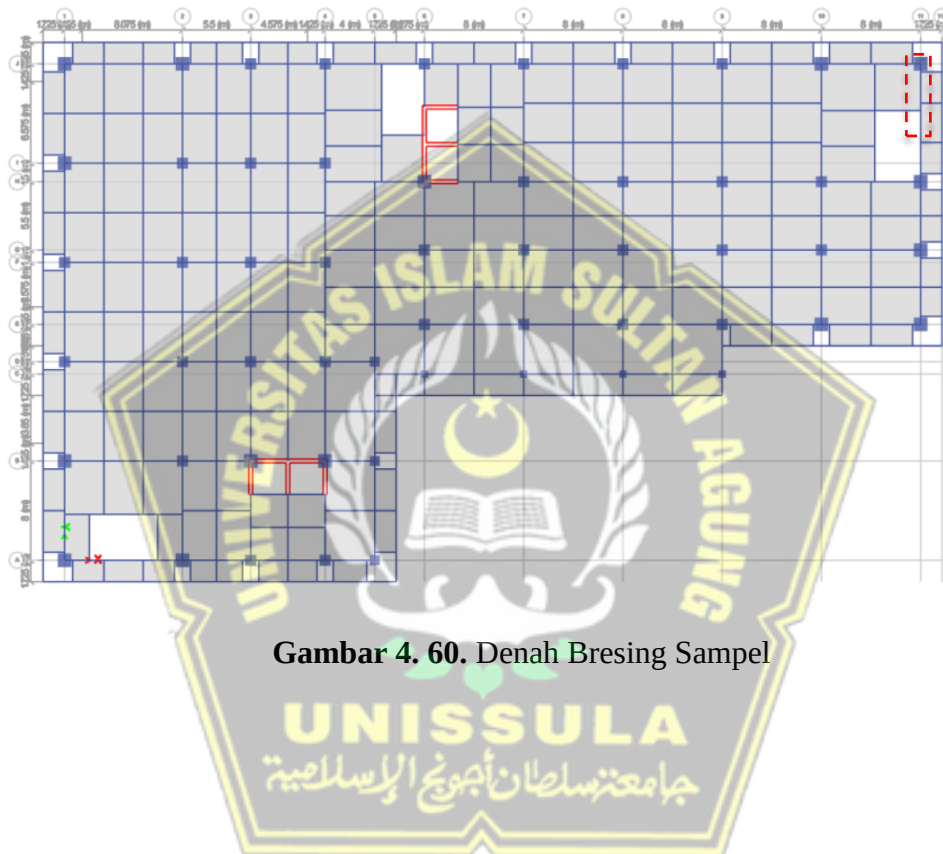
Berikut merupakan gambar detail tulangan dinding geser dari hasil analisis yang telah dilakukan.

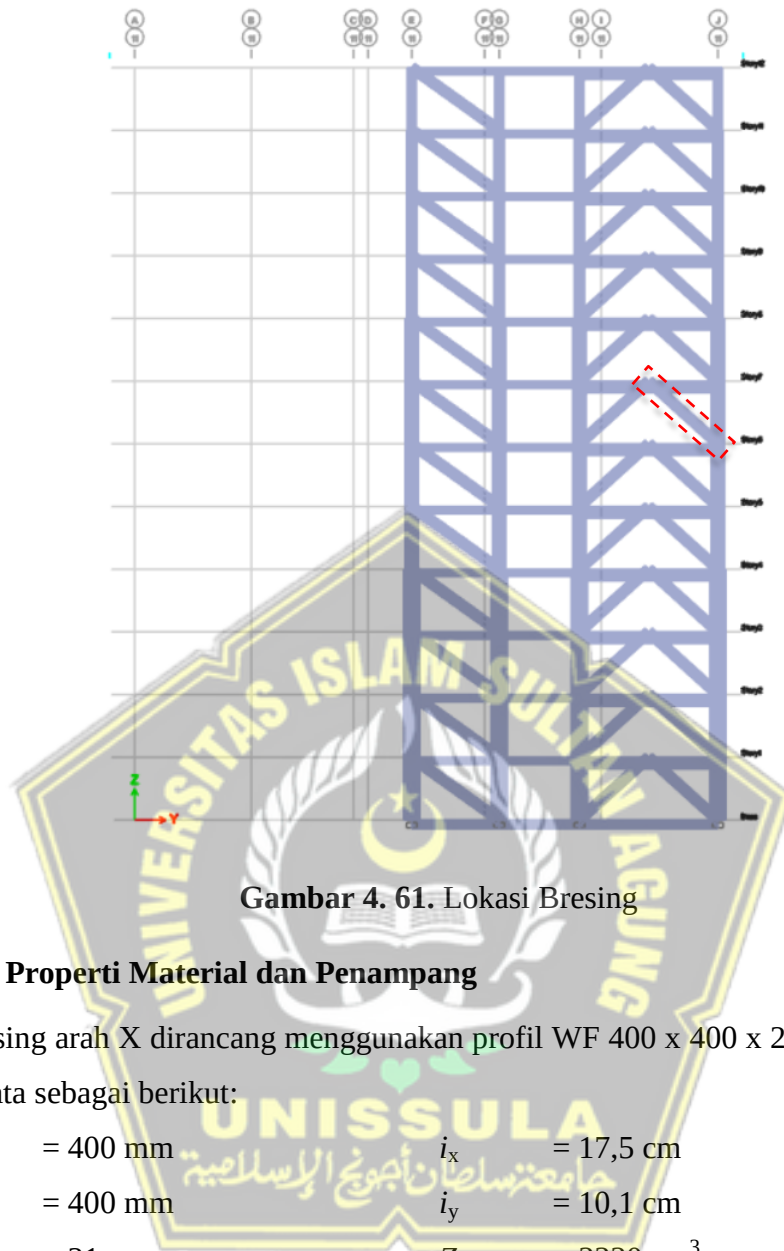


Gambar 4. 59. Detail Tulangan Dinding Geser

4.13. Perancangan Bresing

Analisis kapasitas desain bresing perlu dilakukan agar mengetahui apakah profil baja yang digunakan untuk struktur bresing mampu menahan gaya aksial tarik maupun gaya aksial tekan yang dihasilkan oleh analisis menggunakan ETABS. Bresing yang akan digunakan sebagai sampel diambil dari batang bresing yang menerima gaya aksial terbesar. Berikut merupakan letak bresing yang akan dilakukan analisis.





Gambar 4. 61. Lokasi Bresing

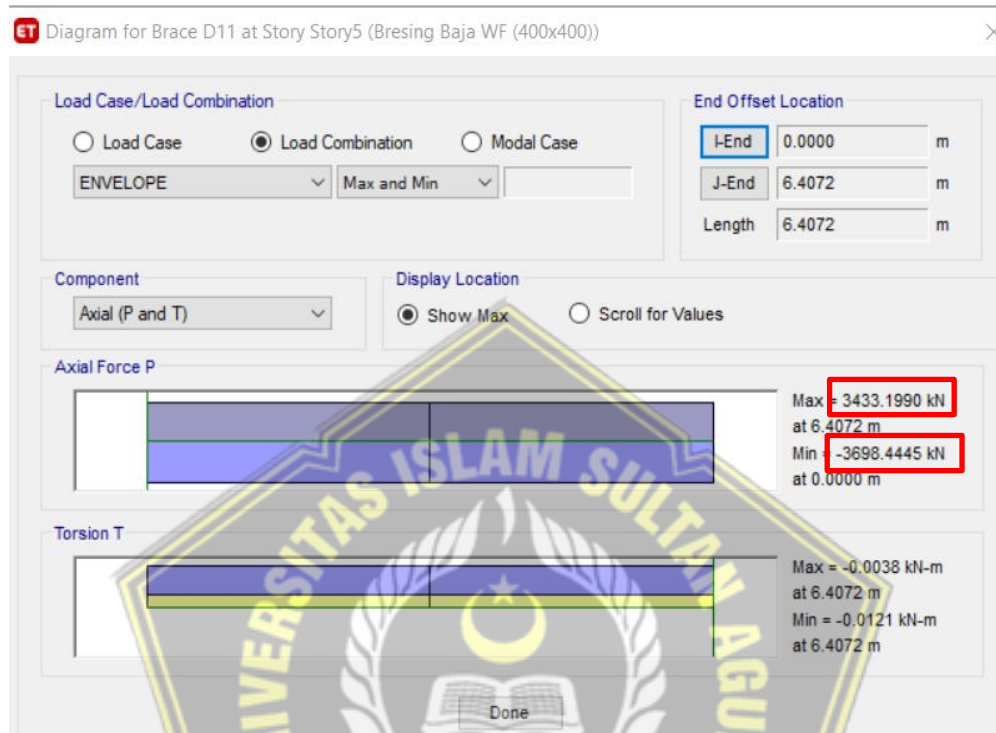
4.13.1. Properti Material dan Penampang

Bresing arah X dirancang menggunakan profil WF 400 x 400 x 21 x 13 dengan data-data sebagai berikut:

d	$= 400 \text{ mm}$	i_x	$= 17,5 \text{ cm}$
b_f	$= 400 \text{ mm}$	i_y	$= 10,1 \text{ cm}$
t_f	$= 21 \text{ mm}$	Z_x	$= 3330 \text{ cm}^3$
t_w	$= 13 \text{ mm}$	Z_y	$= 1120 \text{ cm}^3$
A	$= 21870 \text{ mm}^2$	r	$= 22 \text{ mm}$
q	$= 1720 \text{ N/m}$	h	$= d-2(t_f+r)$
I_x	$= 66600 \text{ cm}^4$		$= 314 \text{ mm}$
I_y	$= 22400 \text{ cm}^4$	f_y	$= 240 \text{ MPa}$
R_y	$= 1,5$	E	$= 200000$
L	$= 467 \text{ cm}$		

4.13.2. Gaya Dalam Pada Bresing

Gaya dalam yang digunakan untuk mendesain bresing diambil dari dua kondisi yaitu pada kondisi batang tarik dan batang tekan. Berikut adalah hasil gaya-gaya dalam pada bresing yang dianalisis menggunakan software ETABS:



Gambar 4. 62. Output Gaya dalam pada ETABS

Berdasarkan hasil *output* pada ETABS, gaya momen yang terjadi relatif sangat kecil sehingga gaya momen dapat diabaikan. Berikut gaya aksial yang akan digunakan untuk mendesain bresing.

Tabel 4. 63. Gaya Aksial Pada Bresing

No	Kondisi Batang	P_u (kN)
1	Tarik	3433,20
2	Tekan	3698,44

4.13.3. Kontrol Penampang Bresing

➤ Pelat sayap

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{b_f}{2t_f} \\
 &= \frac{400}{2 \times 21} \\
 &= 9,52
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_R &= \frac{250}{\sqrt{f_y}} \\ &= \frac{250}{\sqrt{240}} \\ &= 16,14\end{aligned}$$

$$\lambda < \lambda_R$$

$$9,52 < 16,14 \rightarrow \text{OK.}$$

➤ Pelat badan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{t_w} \\ &= \frac{314}{2 \times 13} \\ &= 24,15\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_R &= \frac{665}{\sqrt{f_y}} \\ &= \frac{665}{\sqrt{240}} \\ &= 42,93\end{aligned}$$

$$\lambda < \lambda_R$$

$$24,15 < 42,93 \rightarrow \text{OK.}$$

4.13.4. Kontrol Kekuatan Bresing

$$\begin{aligned}\text{Arah X} \rightarrow \lambda_x &= \frac{L}{i_x} \\ &= \frac{467}{17,5} \\ &= 26,69\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Arah Y} \rightarrow \lambda_y &= \frac{L}{i_y} \\ &= \frac{467}{10,1} \\ &= 46,24\end{aligned}$$

$$\lambda = \max (\lambda_x, \lambda_y) = 46,24$$

$$\begin{aligned}\lambda_c &= \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} \\ &= \frac{46,24}{\pi} \times \sqrt{\frac{240}{200000}} \\ &= 0,51\end{aligned}$$

$0,25 < \lambda < 1,2$ maka :

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \\ &= \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,51} \\ &= 1,14\end{aligned}$$

- Bresing tarik

$$\begin{aligned}P_{\max} &= R_y \times f_y \times A \\ &= 1,5 \times 240 \times 21870 \\ &= 7873200 \text{ N} = 7873,2 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,9 \times P_{\max} \\ &= 0,9 \times 7873,2 \\ &= 7085,88 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &> P_u \\ 7085,88 \text{ kN} &> 3433,20 \text{ kN} \rightarrow \text{OK.}\end{aligned}$$

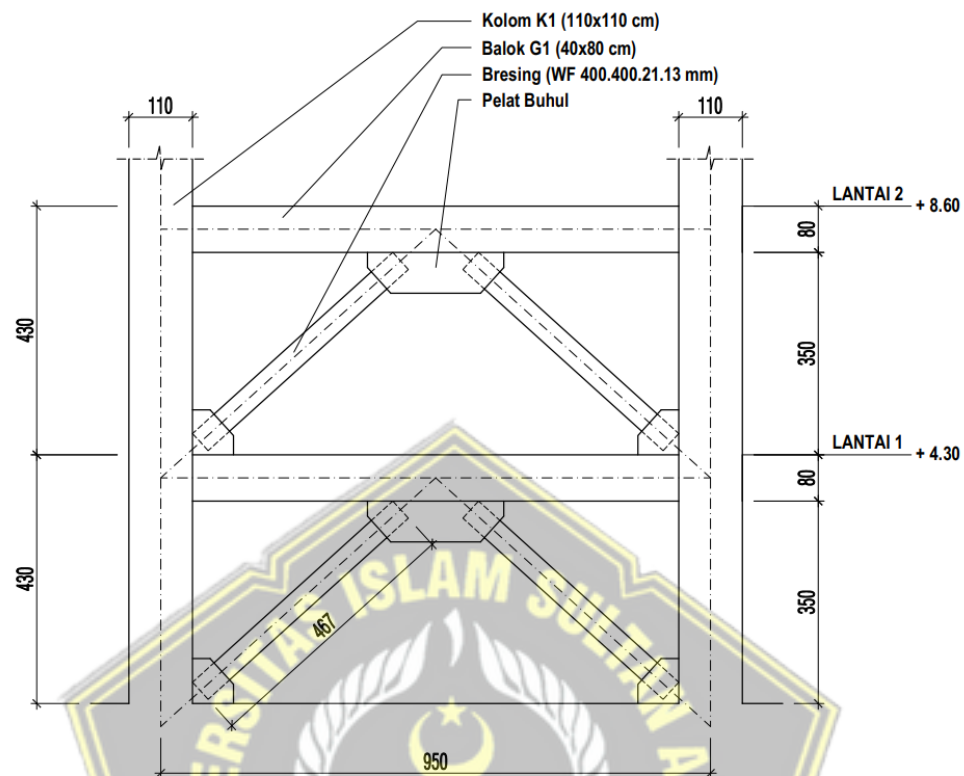
- Bresing tekan

$$\begin{aligned}P_{\max} &= 1,1 \times R_y \times f_y \times A / \omega \\ &= 1,1 \times 1,5 \times 240 \times 21870 / 1,14 \\ &= 7621290 \text{ N} = 7621,29 \text{ kN}\end{aligned}$$

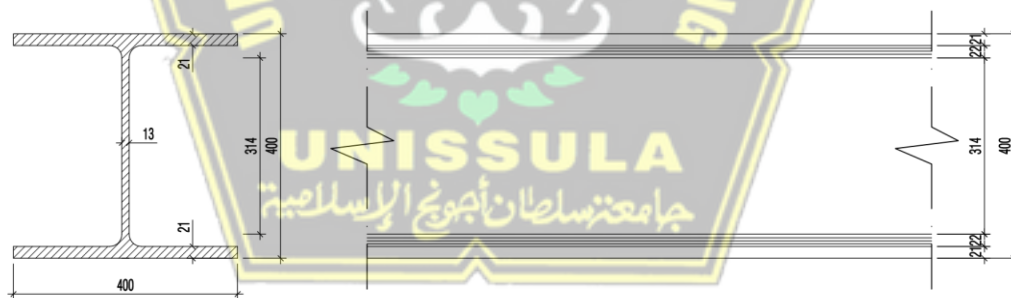
$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,85 \times P_{\max} \\ &= 0,85 \times 7621,29 \\ &= 6478,1 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &> P_u \\ 6478,1 \text{ kN} &> 3698,44 \text{ kN} \rightarrow \text{OK.}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan bresing yang telah dilakukan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 63. Bresing Konsentris dengan Konfigurasi V Inverted



Gambar 4. 64. Profil Baja Untuk Bresing

Berikut merupakan rekapitulasi hasil analisis rangka bresing baja yang diigunakan pada redesain gedung ini.

Tabel 4. 64. Rekapitulasi Bresing Baja

No	Nama Bresing	H (mm)	B (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	r (mm)
1	Bresing 1	400	400	13	21	22
2	Bresing 2	300	300	10	15	18

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Pada laporan tugas akhir “Redesain Struktur Gedung Dua Belas Lantai Berdasarkan SNI 1726-2019 (Studi Pada Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang)” telah dilakukan analisis untuk meredesain struktur gedung yang ditambahkan jumlah lantainya dari 8 lantai menjadi 12 lantai. Berdasarkan hasil analisis yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem struktur yang memenuhi syarat yaitu menggunakan struktur sistem ganda (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Bresing Baja).
2. Respon struktur yang didapatkan yaitu struktur mengalami translasi pada arah X dan Y dengan $T_{cx} = 1,405$ detik dan $T_{cy} = 1,363$ detik, serta mengalami rotasi pada arah Z dengan $T_{cz} = 1,043$ detik. Sesuai dengan SNI Pasal 7.9.2.5.2 $V_{statik} / V_{dinamik} \geq 1$, maka faktor skala untuk pembesaran $V_{dinamik}$ diperoleh 1,384 untuk arah X dan 1,321 untuk arah Y. Kontrol simpangan antar lantai diperoleh simpangan terbesar arah X sebesar 31,71 mm dan arah Y sebesar 32,86 mm lebih kecil dari simpangan izinnya yaitu $\Delta_{izin} = 0,01 h_{sx}/\rho = 33,08$ mm pada struktur dengan kategori risiko IV. Didapatkan efektifitas struktur dimana gaya lateral yang ditahan oleh *shear wall* sebesar 52,24 % pada arah X dan 46,08 % pada arah Y sehingga tidak melebihi batas maksimumnya yaitu sebesar 75% berdasarkan tabel 12 SNI 1726:2019.
3. Berikut merupakan hasil dari perhitungan dimensi dan penulangan pada struktur yang memenuhi persyaratan:
 - Pelat lantai dengan dimensi 125 x 3200 x 4000 mm didapatkan lendutan total (δ_{tot}) = 3,278 mm kurang dari batas lendutan maksimumnya $L_x/240 = 13,33$ mm menggunakan tulangan dengan diameter 10 mm dan jarak 150 mm (D10-150).

- Perancangan balok ada 13 tipe dengan dimensi yang terbesar yaitu 400 x 800 mm didapatkan $M_u = 907,17 \text{ kNm} < \phi M_n = 963,784 \text{ kNm}$ menggunakan tulangan tumpuan 10D22 dan tulangan lapangan 5D22.
- Perancangan kolom ada 6 tipe dengan dimensi yang terbesar yaitu 1100 x 1100 mm menggunakan tulangan pokok 52 D32 dan tulangan geser 8D13-100. Pada pengecekan *strong column-weak beam* didapatkan kuat lentur kolom lebih besar dari kuat lentur balok dengan nilai $M_{nc} / M_{nb} = 5,14 > 1,2$.
- Dinding geser dengan tebal 300 mm didapatkan $V_u = 10240 \text{ kN} < \phi V_n = 16125,34 \text{ kN}$ menggunakan tulangan badan 2D25-150 dan tulangan elemen batas khusus 4D13-100.
- Dimensi bresing ada 2 tipe dengan dimensi yang terbesar yaitu baja profil WF 400 x 400 x 21 x 13 mm didapatkan $P_u = 3698,44 \text{ kN} < \phi P_n = 6478,1 \text{ kN}$.

5.2. Saran

Diharapkan dilakukan studi yang lebih mendalam tentang *centrally braced frame* (CBF) terutama untuk sambungan baut pada hubungan bressing baja dan struktur beton. Studi tentang *centrally braced frame* (CBF) pada struktur beton ini diharapkan dapat mempertimbangkan aspek teknis, ekonomis, dan estetik sehingga dapat dimodelkan sesuai dengan kondisi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfredo Simatupang. (2015). *Modifikasi Perancangan Struktur Gedung Kampus UNESA Menggunakan Baja Sistem Eccentrically Braced Frames (EBF)* (Tugas Akhir, Fakultas Teknik Sipil Dan Perancangan Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 1726-2019: Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung. *Jakarta: Badan Standarisasi Nasional*, 693.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 2847-2019: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya. *Jakarta: Badan Standarisasi Nasional*, 694.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). SNI 1729-2020: Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. *Jakarta: Badan Standarisasi Nasional*, 232.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). SNI 1727-2020: Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. *Jakarta: Badan Standarisasi Nasional*, 235.
- Dewanto Atmaja, N . S. (2017). *Perancangan Struktur Gedung Kampus 6 Lantai (+1 Basement) di Sukoharjo Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)* (Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Fadli, M. Hamzah. (2015). *Aplikasi Etabs Pada Perancangan Gedung 15 Lantai Dengan Struktur Beton Bertulang Menggunakan Sistem Ganda (Dual System) Sebagai Penahan Beban Gempa Sesuai Standard Code SNI 1726:2012* (E-book). Jakarta, Indonesia.
- Iswandi Imran & Fajar Hendrik. (2014). Perancangan Lanjut Struktur Beton Bertulang. *Bandung: Institut Teknologi Bandung, Indonesia*
- Puskim PU. (2021). *Desain Spektra Indonesia*. <http://rsa.ciptakarya.go.id/>
- Setiawan, Agus, ST., MT. (2016). *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Erlangga. Jakarta, Indonesia