

TUGAS AKHIR

**REDESAIN STRUKTUR GEDUNG 10 LANTAI
(Studi Pada Struktur Gedung Amaris Madiun)**

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



Disusun Oleh :

Joko Sampurno

Lilik Purnomo Setiawan

NIM : 30201800097

NIM : 30201800105

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

LEMBAR PENGESAHAN

REDESAIN STRUKTUR GEDUNG 10 LANTAI (Studi Pada Struktur Gedung Amaris Madiun)



Joko Sampurno
NIM : 30201800097



Lilik Purnomo Setiawan
NIM : 30201800105

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 Setiyawan, 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: 16 / 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:

Joko Sampurno Lilik Purnomo Setiawan
NIM : 30201800097 NIM : 30201800105

Judul : "Redesain Struktur Gedung 10 Lantai (Studi Pada Struktur Gedung Amaris Madiun)"

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	09 Februari 2022	ACC
2	Seminar Proposal	31 Maret 2022	
3	Pengumpulan data	31 Mei 2022	
4	Analisis data	9 Juni 2022	
5	Penyusunan laporan	29 juni 2022	ACC
6	Selesai laporan	19 Juli 2022	

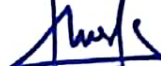
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama



Dr. Ir. H. Sumirin, MS

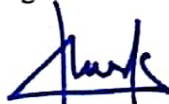
Dosen Pembimbing Pendamping



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Joko Sampurno

NIM : 30201800097

NAMA : Lilik Purnomo Setiawan

NIM : 30201800105

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Redesain Struktur Gedung 10 Lantai (Studi Pada Struktur Gedung Amaris Madiun).

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, Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Joko Sampurno

Lilik Purnomo Setiawan

NIM : 30201800097

NIM : 30201800105

PERNYATAAN KEASLIAN

kami yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Joko Sampurno

NIM : 30201800097

NAMA : Lilik Purnomo Setiawan

NIM : 30201800105

JUDUL TUGAS AKHIR : Redesain Struktur Gedung 10 Lantai
(Studi Pada Struktur Gedung Amaris Madiun)

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 kami buat.

Semarang, Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Joko Sampurno

NIM : 30201800097

Lilik Purnomo Setiawan

NIM : 30201800105

MOTTO

- Kamu (umat islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang mukruf, 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.

(QS. Ali ‘Imran : 110)

- Dan katakanlah kepada keduanya perkataan yang baik dan rendahkan dirimu dengan penuh kasih sayang. Dan katakanlah “wahai Rabb-ku sayangi keduanya sebagaimana mereka menyayangiku di waktu kecil,”

(QS. Al-Isra’: 23-24)

- Allah tidak akan merubah nasib suatu kaum jika kaum itu tidak mau merubahnya.

(QS. Ar-Ra’du : 11)

- Manusia yang baik adalah manusia yang berilmu, jika diperlukan dia berguna dan jika tidak diperlukan maka ia dapat mengurus diri sendiri.

(Al-Hadist)

- Engkau tidak akan bisa mencukupi kebutuhan manusia dengan harta kekayaanmu, tetapi engkau bisa cukupi dengan senyum yang manis dan tingkah laku yang baik.

(Al Hadists)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta Bapak PAEMAN dan Ibu NARNI, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran dan doa yang selalu dipanjatkan disetiap saat.
2. Keluarga dan saudara dengan segala dukungan yang telah diberikan kepada penulis.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS yang selalu sabar dan selalu memberi nasehat serta bimbingan selama penulisan Laporan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. yang selalu sabar dan selalu memberi nasehat serta bimbingan selama penulisan Laporan Tugas Akhir ini.
5. Bapak dan Ibu dosen Program studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah mengajari dan membina penulis selama berada di fakultas Teknik.
6. Lilik Purnomo Setiawan selaku rekan Tugas Akhir dalam segala kondisi, senang maupun duka dalam pekerjaan Tugas Akhir ini.
7. Sahrul Budiyanto yang telah sabar membantu serta mengajari dalam mengerjakan Tugas Akhir ini dan selalu menyemangati penulis.
8. Rahmat Maulana S.T.P Harmita Sri Rahmadani S.Ak, dan Yudi Candra yang selalu menghibur dan menyemangati dalam proses penulisan.
9. Teman-teman Teknik Sipil B 2018 UNISSULA yang selalu memberi dukungan dan semangat pada penulis.
10. Teman-teman Angkatan 2018 program studi Teknik Sipil UNISSULA yang selalu memberi dukungan dan semangat pada penulis.
11. Teman-teman fakultas Teknik Jurusan Teknik sipil dan seluruh mahasiswa Teknik UNISSULA.

Joko Sampurno
NIM : 30201800097

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua tercinta Bapak SUMARNO dan Ibu MURNI, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran dan doa yang selalu dipanjatkan disetiap saat.
2. Keluarga dan saudara dengan segala dukungan yang telah diberikan kepada penulis.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS yang selalu sabar dan selalu memberi nasehat serta bimbingan selama penulisan Laporan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. yang selalu sabar dan selalu memberi nasehat serta bimbingan selama penulisan Laporan Tugas Akhir ini.
5. Bapak dan Ibu dosen Program studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah mengajari dan membina penulis selama berada di fakultas Teknik.
6. Joko Sampurno selaku rekan kerja tugas besar dalam segala kondisi, senang maupun duka dalam pekerjaan tugas besar ini.
7. Sahrul Budiyo yang telah sabar membantu dan mengajari dalam mengerjakan Tugas Akhir ini dan selalu menyemangati penulis.
8. Aprintya Dwi Susilawati yang selalu menghibur dan menyemangati dalam proses penulisan.
9. Teman-teman Teknik Sipil B 2018 UNISSULA yang selalu memberi dukungan dan semangat pada penulis.
10. Teman-teman Angkatan 2018 program studi Teknik Sipil UNISSULA yang selalu memberi dukungan dan semangat pada penulis.
11. Teman-teman fakultas Teknik Jurusan Teknik sipil dan seluruh mahasiswa Teknik UNISSULA.

Lilik Purnomo Setiawan
NIM : 30201800105

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT. Yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul **“Redesain Struktur Gedung 10 Lantai (Studi Pada Struktur Gedung Amaris Madiun)”** dapat terselesaikan dengan tepat waktu 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 Mudiyono, 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 Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin MS. selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak 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

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxiv
ABSTRAK	xxv
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Sistematika Penulisan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1. Pembebanan Struktur	5
2.1.1. Beban Mati (D).....	5
2.1.2. Beban Hidup (L)	5
2.1.3. Beban Gempa	6
2.1.4. Kombinasi Pembebanan	7
2.1.5. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ).....	7
2.1.6. Konsep Analisis Beban Seismik.....	8
2.1.7. Kategori Resiko Bangunan.....	8
2.1.8. Klasifikasi Situs	12
2.1.9. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Tertarget	12
2.1.10. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain	15
2.1.11. Spektrum Respon Desain	16
2.1.12. Katagori Desain Seismik.....	17
2.1.13. Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda.....	18
2.1.14. Periode Fundamental Pendekatan	20
2.1.15. Geser dasar Seismik	22
2.1.16. Distribusi vertikal gaya seismik	23
2.1.17. Penentuan dan Batasan Simpangan Antar Lantai.....	23
2.1.18. Eksetrisitas dan Torsi	25
2.1.19. Pengaruh P-Delta.....	30
2.1.20. Analisis Spektrum Respon Ragam	31
2.1.21. Kombinasi dan Pengaruh Gempa	31

2.1.22. Hubungan Balok Kolom (<i>joint</i>) pada SRPMK	31
2.1.23. <i>Strong Column Weak Beam (Beam Sway)</i>	32
2.2. Perencanaan Elemen Struktur	33
2.2.1. Persyaratan Penulangan Balok	33
2.2.2. Persyaratan Penulangan Kolom.....	37
2.2.3. Persyaratan Analisa Pelat Lantai	41
2.2.4. Dinding Geser.....	43
2.3. Sistem Ganda (<i>Dual System</i>)	46
2.4. Program Bantu	47
2.4.1. ETABS V18.....	47
2.4.2. PCA <i>Coloumn</i>	48
2.4.3. Perencanaan Pondasi	49
 BAB III METODOLOGI PENULISAN.....	50
3.1. Pendahuluan.....	50
3.2. Langkah Umum Perencanaan Struktur	50
3.2.1. Pengumpulan Data.....	50
3.2.2. <i>Preliminary Design</i>	51
3.2.3. Pemodelan Struktur	51
3.2.4. Perhitungan Pembebanan	51
3.2.5. Perhitungan Analisa Struktur.....	52
3.2.6. Perhitungan Dimensi dan Penulangan.....	52
3.2.7. Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>) Perencanaan	53
3.3. Modelling ETABS V.18	54
3.3.1. <i>Model Initialization</i>	55
3.3.2. <i>Grid System Data</i>	55
3.3.3. Input material properties.....	56
3.3.4. <i>Input Frame Section</i> (Elemen Struktur)	57
 BAB IV PERHITUNGAN ANALISIS DAN PERENCANAAN	63
4.1. Data Struktur Gedung Percobaan pertama.....	63
4.1.1. Dimensi Penampang Struktur	63
4.1.2. Permodelan Struktur	64
4.2. Formulasi Pembebanan Struktur.....	65
4.2.1. Beban mati (<i>Dead Load</i>)	67
4.2.2. Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	67
4.3. Mutu Bahan Struktur.....	68
4.3.1. Mutu beton.....	68
4.3.2. Mutu Baja Tulangan	68
4.4. Analisis Beban Seismik	68
4.4.1. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa.....	68
4.4.2. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan.....	69
4.4.3. Klasifikasi Situs.....	69
4.4.4. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget	70
4.4.5. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain.....	71
4.4.6. Spektrum Respon 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.....	81
4.5. Perkuatan Struktur Dengan Dinding Geser.....	84
4.5.1. Dimensi Dinding Geser.....	84
4.5.2. Permodelan Dinding Geser.....	85
4.6. Data Struktur Gedung Percobaan Ke-2.....	86
4.6.1. Dimensi Penampang Struktur.....	86
4.6.2. Permodelan Struktur.....	87
4.7. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai.....	88
4.7.1. Periode Fundamental Struktur.....	91
4.7.2. Perhitungan Gaya Geser.....	92
4.7.3. Persyaratan Simpangan Antar Lantai.....	97
4.8. Perkuatan Struktur Dengan Dinding Geser.....	99
4.8.1. Dimensi Dinding Geser.....	99
4.8.2. Permodelan Dinding Geser.....	100
4.9. Pengecekan P-Delta.....	100
4.10. Sistem Ganda.....	103
4.11. Data Struktur Gedung Percobaan Ke-3.....	104
4.11.1. Dimensi Penampang Struktur.....	104
4.11.2. Permodelan Struktur.....	105
4.12. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai.....	106
4.12.1. Periode Fundamental Struktur.....	109
4.12.2. Perhitungan Gaya Geser.....	110
4.12.3. Persyaratan Simpangan Antar Lantai.....	115
4.13. Perkuatan Struktur Dengan Dinding Geser.....	117
4.13.1. Permodelan Dinding Geser.....	117
4.14. Pengecekan P-Delta.....	118
4.15. Sistem Ganda.....	121
4.16. Cek Ketidakberaturan Struktur.....	122
4.16.1. Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b.....	122
4.16.2. Ketidakberaturan Vertikal.....	123
4.16.3. Ketidakberaturan Berat (Massa).....	124
4.16.4. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat.....	125
4.17. Rekapitan Hasil Percobaan.....	126
4.18. Perencanaan Pelat.....	127
4.18.1. Dasar Perencanaan.....	127
4.18.2. Data Pelat Lantai.....	128
4.18.3. Analisa Pembebanan.....	128
4.18.4. Momen Pelat Akibat Beban Terfaktor.....	128
4.18.5. Penulangan Pelat.....	129
4.18.6. Kontrol Lendutan Pelat.....	131
4.19. Perhitungan Balok.....	135
4.19.1. Analisis Kapasitas Desain Balok.....	135
4.19.2. Analisis Tulangan Lentur Balok.....	135
4.19.3. Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok.....	136
4.19.4. Perhitungan Tulangan Transversal Balok.....	151

4.19.5. Perhitungan Tulangan Torsi Balok	158
4.20. Desain Penulangan Kolom	169
4.20.1. Analisis Tulangan Longitudinal Kolom	170
4.20.2. Hubungan Balok-Kolom (<i>Joint</i>) Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	179
4.21. Desain Penulangan Dinding Struktur	182
4.21.1. Desain Dinding Geser	182
4.21.2. Perencanaan Geometri.....	184
4.21.3. Perencanaan Geometri.....	184
4.21.4. Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan <i>SP Column</i>).....	185
4.21.5. Pengecekan Kapasitas geser	187
 BAB V PENUTUP.....	 189
5.1. Kesimpulan	189
5.2. Saran	190
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (M_{CER}).....	13
Gambar 2.2. parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (M_{CER}).....	13
Gambar 2.3. Spektrum Respons Desain	17
Gambar 2.4. Penentuan simpangan antar tingkat	24
Gambar 2.5. Ketidakberaturan Horizontal	28
Gambar 2.6. Ketidakberaturan Vertikal	30
Gambar 2.7. Lebar efektif maksimum balok lebar (<i>wide beam</i>) dan persyaratan tulangan transversal.....	33
Gambar 2.8. potongan balok.....	35
Gambar 2.9. Contoh sengkang tertutup (<i>hoop</i>) yang dipasang bertumpuk dan ilustrasi batasan maksimum spasi horizontal penumpu batang longitudinal.	36
Gambar 2.10. Contoh penulangan transversal pada kolom	41
Gambar 2.11. Interaksi Rangka dan Dinding dalam Sistem Ganda	47
Gambar 3.1. Diagram Alir Perencanaan Umum Struktur Gedung.....	53
Gambar 3.2. Denah ruangan.....	54
Gambar 3.3. Potongan	54
Gambar 3.4. <i>Model Initializaation</i>	55
Gambar 3.5. menentukan model awal.....	55
Gambar 3.6. <i>Grid System Data</i>	56
Gambar 3.7. Input Material properties Mutu Beton	56
Gambar 3.8. Input Material Properties Mutu Besi Tulangan	57
Gambar 3.9. Input Balok	57
Gambar 3.10. Input <i>Stiffness Modifikation Factors</i>	58
Gambar 3.11. Input Kolom.....	58
Gambar 3.12. Input <i>Stiffness Modifikation Factors</i>	59
Gambar 3.13. Input Pelat Lantai.....	59
Gambar 3.14. Input <i>Stiffness Modifikation Factors</i>	60
Gambar 3.15. Denah Lantai 1.....	60
Gambar 3.16. Denah Lantai 2-10	61
Gambar 3.17. Proyeksi Tampak Kanan.....	61
Gambar 3.18. Proyeksi Tampak Depan.....	62
Gambar 3.19. proyeksi tampak belakang	62
Gambar 4.1. Permodelan struktur 3D Gedung 10 Lantai dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Geser.....	64
Gambar 4.2. Denah Gedung Amaris Madiun	65
Gambar 4.3. Spektrum Respon Desain Lokasi Perencanaan.....	71
Gambar 4.4. Grafik respon spektrum ETABS 18.....	72
Gambar 4.5. Ragam 1 terjadi dengan arah y translasi dengan nilai $T = 2,408$	74
Gambar 4.6. Ragam 2 terjadi dengan arah x translasi dengan nilai $T = 1,55$	74
Gambar 4.7. Ragam 3 terjadi dengan arah z rotasi dengan nilai $T = 1,28$	74
Gambar 4.8. Distribusi Gaya Geser Arah X.....	80
Gambar 4.9. Distribusi Gaya Geser 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. Permodelan 3D Dinding Geser.....	85
Gambar 4.14. Permodelan struktur 3D Gedung 10 Lantai dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	87
Gambar 4. 15. Denah Ruang Amaris Madiun	87
Gambar 4.16. Ragam 1 terjadi dengan arah y translasi dengan nilai $T = 1,32$	89
Gambar 4.17. Ragam 2 terjadi dengan arah x translasi dengan nilai $T = 1,20$	89
Gambar 4.18. Ragam 3 terjadi dengan arah z rotasi dengan nilai $T = 0,88$	89
Gambar 4.19. Distribusi Gaya Geser Arah X.....	95
Gambar 4.20. Distribusi Gaya Geser Arah Y	96
Gambar 4.21. Simpangan antar tingkat arah X	98
Gambar 4.22. Simpangan antar tingkat arah Y	99
Gambar 4.23. Denah Perletakan Dinding Geser.....	100
Gambar 4.24. Permodelan 3D Dinding Geser.....	100
Gambar 4.25. Cek stabilitas P-Delta Arah X.....	102
Gambar 4.26. Cek stabilitas P-Delta Arah Y.....	103
Gambar 4.27. Permodelan struktur 3D Gedung 10 Lantai dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	105
Gambar 4.28. Denah Ruang Amaris Madiun	106
Gambar 4.29. Ragam 1 terjadi dengan arah y translasi dengan nilai $T = 1,25$..	107
Gambar 4.30. Ragam 2 terjadi dengan arah x translasi dengan nilai $T = 1,14$..	107
Gambar 4.31. Ragam 3 terjadi dengan arah z rotasi dengan nilai $T = 0,98$	107
Gambar 4.32. Distribusi Gaya Geser Arah X.....	113
Gambar 4.33. Distribusi Gaya Geser Arah Y	114
Gambar 4.34. Simpangan antar tingkat arah X	116
Gambar 4.35. Simpangan antar tingkat arah Y	117
Gambar 4.36. Denah Perletakan Dinding Geser.....	118
Gambar 4.37. Permodelan 3D Dinding Geser.....	118
Gambar 4.38. Cek stabilitas P-Delta Arah X.....	120
Gambar 4.39. Cek stabilitas P-Delta Arah Y.....	121
Gambar 4.40. Tipe Pelat.....	128
Gambar 4.41. gaya dalam pada etabs	129
Gambar 4.42. Penulangan pelat.....	134
Gambar 4.43. Denah Balok Sampel	135
Gambar 4.44. Elevasi Balok Sampel.....	136
Gambar 4.45. Dimensi Balok Rencana	136
Gambar 4.46. M_u Tumpuan Balok dari ETABS.....	137
Gambar 4.47. M_u Lapangan Balok dari ETABS	138
Gambar 4.48. Detail Tulangan Tumpuan Atas.....	139
Gambar 4.49. Detail Tulangan Tumpuan Bawah.....	142
Gambar 4.50. Detail Tulangan lapangan Atas.....	145
Gambar 4.51. Detail Tulangan Lapangan Bawah.....	148
Gambar 4 52. V_u Tumpuan Hasil ETABS	152
Gambar 4.53. V_u Lapangan Hasil ETABS.....	152
Gambar 4.54. Gaya Torsi Hasil ETABS	159
Gambar 4.55. Potongan Memanjang Balok.....	168

Gambar 4.56. Tulangan Tumpuan Balok	168
Gambar 4.57. Tulangan Lapangan Balok.....	168
Gambar 4.58. Denah Kolom Sampel.....	170
Gambar 4.59. Elevasi Kolom Sampel	170
Gambar 4.60. Tulangan Longitudinal Kolom	172
Gambar 4.61. Diagram interaksi SPColumn Kolom	172
Gambar 4.62. Diagram interaksi P_n -M SPColumn Kolom Bawah $1,25 f_y$	176
Gambar 4.63. Potongan Memanjang Kolom	178
Gambar 4.64. Tulangan Ujung Kolom	179
Gambar 4.65. Tulangan Tengah Kolom	179
Gambar 4.66. Hubungan Balok Kolom (<i>Joint</i>)	181
Gambar 4.67. Denah Dinding Geser Sampel	182
Gambar 4.68. Penampang Dinding Geser Rencana	183
Gambar 4.69. Diagram interaksi SPColumn Dinding Geser	186
Gambar 4.70. Detail Tulangan Dinding Geser	188



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Daftar Berat Bahan Bangunan dan Komponen Gedung	5
Tabel 2.2. Daftar Beban Hidup Pada Lantai Gedung Hotel.....	6
Tabel 2.3. Kombinasi beban.....	7
Tabel 2.4. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)	8
Tabel 2.5. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non gedung untuk Beban Gempa.	9
Tabel 2.6. Faktor keutamaan gempa.....	11
Tabel 2.7. Klasifikasi Situs.....	12
Tabel 2.8. Koefisien Situs, F_a	15
Tabel 2.9. Koefisien situs F_v	15
Tabel 2.10. Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek.....	17
Tabel 2.11. Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik	18
Tabel 2.12. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik	18
Tabel 2.13. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	20
Tabel 2.14. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	21
Tabel 2.15. Simpangan antar tingkat izin.....	24
Tabel 2.16. Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur	26
Tabel 2.17. Ketidakberaturan vertikal Pada Struktur	28
Tabel 2.18. Bagian Pasal 18 yang harus dipenuhi dalam penerapan pada umumnya.....	38
Tabel 2.19. Tulangan transversal untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus.....	40
Tabel 2.20. Ketebalan minimum Pelat dua arah non prategang tanpa balok interior.....	41
Tabel 2.21. Ketebalan minimum pelat dua arah non prategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya	42
Tabel 2.22. A_s min untuk pelat dua arah nonprategang.....	42
Tabel 4.1. Penampang balok	63
Tabel 4.2. Penampang plat	64
Tabel 4.3. beban mati tambahan pada lantai	66
Tabel 4.4. Beban Mati Tambahan Pada Lantai	67
Tabel 4.5. Beban Mati Tambahan Pada Atap.....	67
Tabel 4.6. Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	68
Tabel 4.7. Mutu Baja Tulangan.....	68
Tabel 4.8. Data Paramater Respon Spektral Terpetakan.....	69
Tabel 4.9. Nilai N-SPT	69
Tabel 4.10. Data Parameter Respon Spektral Desain.....	71
Tabel 4.11. Nilai Spektrum Respon 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	75
Tabel 4.15. <i>Output</i> Gaya Geser Dasar Statik	77

Tabel 4.16. <i>Output</i> Gaya Geser Dasar Dinamik.....	78
Tabel 4.17. Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik	78
Tabel 4.18. <i>Output</i> Gaya Geser Dinamik Terkoreksi.....	79
Tabel 4.19. Gaya Geser Desain	79
Tabel 4.20. Gaya Gempa Desain.....	81
Tabel 4.21. Besar Simpangan Struktur Arah X.....	82
Tabel 4.22. Besaran Simpangan Struktur Arah Y	83
Tabel 4.23. Penampang balok	86
Tabel 4.24. Penampang plat	86
Tabel 4.25. Massa Efektif Tiap Lantai	88
Tabel 4.26. Rasio Partisipasi Beban	90
Tabel 4.27. Hasil Partisipasi Massa Bangunan	90
Tabel 4.28. <i>Output</i> Gaya Geser Dasar Statik	92
Tabel 4.29. <i>Output</i> Gaya Geser Dasar Dinamik.....	93
Tabel 4.30. Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik	93
Tabel 4.31. <i>Output</i> Gaya Geser Dinamik Terkoreksi.....	94
Tabel 4.32. Gaya Geser Desain	94
Tabel 4.33. Gaya Gempa Desain.....	96
Tabel 4.34. Besar Simpangan Struktur Arah X.....	97
Tabel 4.35. Besaran Simpangan Struktur Arah Y	98
Tabel 4.36. Pengecekan P-Delta arah X.....	101
Tabel 4.37. Pengecekan P-Delta arah Y.....	102
Tabel 4.38. Perbandingan Gaya Lateral Pada Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen	103
Tabel 4.39. Penampang balok	104
Tabel 4.40. Penampang plat	105
Tabel 4.41. Massa Efektif Tiap Lantai	106
Tabel 4.42. Rasio Partisipasi Beban	108
Tabel 4.43. Hasil Partisipasi Massa Bangunan	108
Tabel 4.44. <i>Output</i> Gaya Geser Dasar Statik	110
Tabel 4.45. <i>Output</i> Gaya Geser Dasar Dinamik.....	111
Tabel 4.46. Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik	111
Tabel 4.47. <i>Output</i> Gaya Geser Dinamik Terkoreksi.....	112
Tabel 4.48. Gaya Geser Desain	112
Tabel 4.49. Gaya Gempa Desain.....	114
Tabel 4.50. Besar Simpangan Struktur Arah X.....	115
Tabel 4.51. Besaran Simpangan Struktur Arah Y	116
Tabel 4.52. Pengecekan P-Delta arah X.....	119
Tabel 4.53. Pengecekan P-Delta arah Y	120
Tabel 4.54. Perbandingan Gaya Lateral Pada Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen	121
Tabel 4.55. Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah X.....	122
Tabel 4.56. Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b arah Y	123
Tabel 4.57. Cek Ketidakberaturan Struktur Vertikal 1a.....	123
Tabel 4.58. Cek Ketidakberaturan Berat (Massa)	124
Tabel 4.59. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat.....	125
Tabel 4.60. Rekapitan Hasil Permodelan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Geser	126

Tabel 4.61. Rekap Balok	168
Tabel 4.62. Gaya aksial lentur	171
Tabel 4.63. Hasil analisis interaksi P_n - M_{pr} Kolom	173
Tabel 4.64. Hasil Analisis interaksi P_n - M SPColumn Kolom Bawah $1,25 f_y$	177
Tabel 4.65. Gaya Aksial-Lentur Pada Dinding Geser	183
Tabel 4.66. Hasil analisis interaksi SPColumn Dinding Geser	186



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_b	= Luas penampang ujung tiang (cm^2)
A_g	= Luas bruto penampang (mm^2)
A_s	= Luas tulangan tarik (mm^2) luas s
A_{sh}	= Luas penampang inti beton, diukur dari serat terluar <i>hoop</i> ke serat terluar <i>hoop</i> 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 Prevention</i>
C_s	= Koefisien respon seismik; kohesi undrained (ton/m^2)
C_v	= Koefisien respon gempa vertikal
D	= Diameter tiang (cm)
D_F	= factor distribusi momen di bagian atas dan kolom yang didisain
D_t	= displacement total/
D_L	= <i>Dead load</i> (beban mati)
D_1	= Displacement 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 perioda pendek (pada perioda 0,2)
F_s	= faktor keamanan = 2,5
F_{sc}	= <i>local friction</i> (kg/cm ²)
F_v	= koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 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	= factor keutamaan struktur
IO	= <i>immediate occupancy</i>
J	= koefisien lengan momen
k	= factor panjang efektif
k_c	= factor tahanan ujung
LL	= <i>live load</i> (beban hidup)
LS	= <i>life safety</i>
l_n	= panjang sisi terpanjang
l_o	= panjang minimum
M_{CER}	= spectrum respons 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 ditentukan 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)
$p_{ijin} = p_{all}$	= daya dukung vertical yang diijinkan untuk sebuah tiang tunggal (ton)
p_{maks}	= 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 seismic 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 spectrum respons percepatan pada periode pendek
S_{M1}	= parameter spectrum respons 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_t	= 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 $f'_c \leq 30 \text{ Mpa}$
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
$\rho_{\min}$	= rasio penulangan minimum
$\rho_{\max}$	= rasio penulangan maksimum
σ_b (sigma b)	= tegangan ijin beton (Mpa)
ϕ (phi)	= faktor reduksi lentur
λ	= angka kelangsingan
$\sum M_c$	= jumlah M_n kolom yang bertemu di joint balok kolom
$\sum M_b$	= jumlah M_n balok yang bertemu di joint balok kolom
$\sum P_v$	= jumlah beban vertikal (ton)

DAFTAR LAMPIRAN

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



REDESAIN STRUKTUR GEDUNG 10 LANTAI (STUDI PADA STRUKTUR GEDUNG AMARIS MADIUN)

Oleh :

Joko Sampurno¹⁾, Lilik Purnomo Setiawan¹⁾, Sumirin²⁾, Muhamad Rusli Ahyar²⁾

Abstrak

Negara Republik Indonesia merupakan negara yang memiliki daerah yang sering mengalami gempa bumi, ini dikarenakan Kawasan Indonesia yang berada disepanjang jalur seismik bergejolak yang disebut cincin api pasifik. Hal ini mengharuskan perencanaan menggunakan perencanaan desain struktur tahan gempa, dengan acuan standarisasi terbaru.

Pada penyusunan tugas akhir ini melakukan Redesain Struktur Gedung 10 Lantai dengan studi kasus pada bangun struktur Gedung Amaris Madiun. Perencanaan ini menggunakan acuan SNI 1726:2019 tentang ketahanan gempa untuk struktur bangunan Gedung dan non Gedung dan SNI-2847:2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan Gedung. Dengan bantuan program aplikasi seperti ETABS v18, *SPColumn*, dan AUTOCAD v10.

Hasil analisis yang didapatkan dan telah memenuhi syarat yaitu sistem struktur menggunakan sistem ganda (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser). Efektifitas struktur frame mampu menahan gaya lateral lebih dari 25% yaitu 27,37%. Kontrol simpangan antar lantai telah memenuhi syarat dimana simpangan terbesar 23,25 mm kurang dari batas izinnya sebesar 26,15 mm. Pada struktur sistem rangka pemikul momen khusus didapatkan 8 tipe balok dengan dimensi balok terbesar yaitu 350 x 700 mm dan didapatkan 1 tipe kolom dengan dimensi kolom 700 x 700 mm dengan hasil *strong column-weak beam* didapatkan kuat lentur kolom lebih besar dari kuat lentur balok dengan rasio 1,72 lebih dari rasio minimumnya yaitu 1,2.

Kata Kunci : Gempa; Redesain; Sistem Ganda; Struktur

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Unissula

²⁾Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Unissula

10 STORY BUILDING STRUCTURE REDESIGN

(STUDY ON THE STRUCTURE OF THE AMARIS MADIUN BUILDING)

By :

Joko Sampurno¹⁾, Lilik Purnomo Setiawan¹⁾, Sumirin²⁾, Muhamad Rusli Ahyar²⁾

Abstract

The Republic of Indonesia is a country that has an area that often experiences earthquakes, this is because the Indonesian Region is located along a turbulent seismic path called the Pacific Ring of Fire. This requires planning using earthquake-resistant structural design plans, with reference to the latest standardization.

In the preparation of this final project, the 10-storey Building Structure Redesign was carried out with a case study on the structure of the Amaris Madiun Building. This plan uses the reference to SNI 1726:2019 regarding earthquake resistance for building and non-building structures and SNI-2847:2019 regarding structural concrete requirements for buildings. With the help of application programs such as ETABS v18, SPColumn, and AUTOCAD v10.

The results of the analysis obtained and have met the requirements of the structural system using a dual system (Special Moment Bearing Frame System (SRPMK) and shear walls). The effectiveness of the frame structure is able to withstand lateral forces of more than 25%, namely 27.37%. The deviation control between floors has met the requirements where the largest deviation of 23.25 mm is less than the allowable limit of 26.15 mm. In the special moment-bearing frame system structure, 8 types of beams with the largest beam dimensions are 350 x 700 mm and 1 column type with column dimensions of 700 x 700 mm is obtained. the ratio of 1.72 is more than the minimum ratio of 1.2.

Keywords : Earthquake; Redesign; Dual System; Structure

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

²⁾Lecturer of the Faculty of Engineering, Unissula Civil Engineering Study Program

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Negara Republik Indonesia merupakan negara yang memiliki daerah yang sering mengalami gempa bumi, hal ini disebabkan karena Kawasan Indonesia yang terletak disepanjang jalur seismik bergejolak yang disebut cincin api pasifik. Hal ini mengharuskan perencanaan menggunakan perencanaan desain struktur tahan gempa, dengan acuan standarisasi terbaru.

Gedung bertingkat 10 Lantai yang akan di rencanakan sebagai bangunan hotel. Gedung ini berlokasi di Jl. Kalimantan No. 30 Kartoharjo, Kec. Kartoharjo, Kota Madiun, Jawa Timur. Gedung ini yang merupakan kategori resiko gempa menengah. Gedung bertingkat ini memiliki 10 lantai, dua shaft lift terletak pada sebelah kanan pintu utama, terdapat tangga konvensional pada samping lift. Gedung ini direncanakan dengan tujuan untuk mendapatkan hasil maksimal dengan nilai ekonomis serta mampu menahan gempa bumi, maka dari itu gedung ini akan menggunakan struktur beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen khusus dan dikombinasikan dengan dinding geser atau biasa disebut sistem ganda, agar balok dan kolom memiliki dimensi yang tidak besar.

Sistem ganda ini menjadi pilihan disebabkan bangunan yang akan direncanakan harus tahan gempa karena akan dibangun didaerah yang rawan gempa bumi yaitu Kota Madiun, Jawa Timur. Sistem ganda atau *dual system* memiliki ciri utama seperti pemikul gaya gravitasi bumi, pada sistem ini yang bekerja yaitu sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), kemudian ada dinding geser yang memikul beban lateral, serta mampu mimikul beban dasar geser relatif.

Redesain gedung 10 Lantai pada studi khusus bangunan hotel akan dilakukan dengan menggunakan aturan-aturan yang terbaru yang berpedoman pada buku (SNI) Standar Nasional Indonesia 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan, (SNI) Standar Nasional Indonesia 1726:2019 tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung sedangkan untuk dasar Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI) Standar Nasional Indonesia

1727:2020. Dalam tugas akhir ini yang ingin dicapai yaitu dalam pembangunan hotel 10 lantai ini mendapatkan hasil desain struktur yang aman dan efisien, serta mampu meminimalisir kegagalan struktur pada saat terjadi gempa bumi.

1.2. Rumusan Masalah

Berikut adalah beberapa masalah yang ditinjau dalam perencanaan ulang Gedung 10 Lantai dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Geser, yaitu :

1. Bagaimana merencanakan system struktur dan *preliminary desain* yang sesuai dengan bangunan ini.
2. Bagaimana mendapatkan respon struktur berupa pembenahan gaya-gaya ragam getar, periode geser, gempa minimum, displacement, dan simpangan antar lantai berdasarkan Analisa struktur dengan SNI beban gempa.
3. Bagaimana Merencanakan dimensi dan penulangan balok, plat dan kolom yang memenuhi persyaratan system rangka pemikul momen khusus

1.3. Maksud dan Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari perencanaan ulang Gedung 10 Lantai dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Geser yaitu :

1. Mendapatkan sistem struktur dan preliminary desain dasar dari balok, kolom dan pelat yang sesuai dengan struktur bangunan Gedung 10 lantai.
2. Mengetahui respon struktur yang berupa gaya-gaya dan reaksi-reaksi maupun perpindahan/displacement, yang memenuhi persyaratan perencanaan struktur SNI 1726-2019.
3. Mendapatkan dimensi dan penulngan berdasrkan analisis penampang struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser khusus.

1.4. Batasan Masalah

Pembahasan dan permasalahan pada tugas akhir akhir ini dibatasi oleh beberapa hal, yaitu :

1. Respon bangunan yang difokuskan hanya bagian struktur atas saja dan tidak dilakukan perencanaan pada pondasi.
2. Perencanaan beban gempa yang bekerja menggunakan perhitungan respon spektrum.
3. Peraturan yang dipakai sesuai dengan :
 - a. SNI 1726:2019 “Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung”.
 - b. SNI 2847:2019 “Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan”.
 - c. SNI 1727:2020 “Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain”.

1.5. Sistematika Penulisan

Dalam mempermudah penyusunan tugas akhir ini, maka penyusun membagi laporan ini dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Dalam bab ini membahas latar belakang, maksud dan tujuan, lokasi pekerjaan, ruang lingkup permasalahan, dan sistematika penyusunan laporan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini membahas mengenai pola struktur umum dari teori di dalam perencanaan.

BAB III: METODOLOGI PENULISAN

Dalam bab ini membahas mengenai tahapan-tapan perencanaan dan pengumpulan data.

BAB IV: PERHITUNGAN ANALISIS DAN PERENCANAAN

Pada perhitungan struktur menjelaskan terkait tahapan perencanaan dan perhitungan konstruksi bangunan pada tugas akhir ini.

BAB V: PENUTUP

Dalam bab ini berisi kesimpulan dan saran-saran mengenai hasil-hasil perhitungan dan perencanaan Gedung.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang pustaka-pustaka dari berbagai referensi untuk melengkapi dan mendukung penulisan laporan.

LAMPIRAN

Berisi tentang data tanah, tabel perhitungan, administrasi atau surat-surat, dan gambar struktur (*final design drawing*).



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembebanan Struktur

Beban adalah setiap faktor yang menimbulkan resultan dalam bentuk tegangan dan regangan di dalam struktur. Gaya beban dapat berupa aksi terpusat, merata, momen, terbagi merata, tidak merata, simetri, antisimetri dan sebagainya. Sementara itu penggolongan beban yang didasarkan pada sifat-sifat alamiahnya dapat dirinci sebagai berikut: beban mati, beban hidup, beban angin, dan Beban Gempa.

2.1.1. Beban Mati (*D*)

Beban mati adalah berat dari suatu bangunan yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, mesin-mesin serta peralatan tetap (*fixed equipment*) yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bangunan itu.

Berat satuan atau berat sendiri dari beberapa material konstruksi dan komponen bangunan gedung dapat ditentukan dari peraturan SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

Tabel 2.1. Daftar Berat Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

No.	Jenis Beban Mati	Beban (Ton/m ²)
1.	Beban Pasir setebal 1 cm	0,016
2.	Beban Spesi setebal 3 cm	0,067
3.	Beban Keramik setebal 1 cm	0,022
4.	Beban Plafond	0,02
5.	Beban Mekanikal & Elektrikal	0,026

Sumber : SNI 1727:2020

2.1.2. Beban Hidup (*L*)

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu bangunan, didalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah (*moveable equipment*), mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bangunan dan

dapat diganti selama masa hidup dari bangunan tersebut sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap bangunan tersebut. Khusus untuk atap yang dianggap beban hidup termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air.

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 Gedung Hotel

No.	Jenis Ruangan dan Struktur	Beban (Ton/m ²)	Terpusat (Ton)
1.	Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	0,147	0
	Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	0,196	0
2.	Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	0,196	0,454
3.	Semua ruang kecuali tangga	0,345	0,454

Sumber : SNI 1727:2020

2.1.3. Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau gaya-gaya di dalam struktur yang terjadi karena pengaruh gerakan tanah akibat gempa berdasarkan suatu analisa dinamik. Beban gempa nilainya ditentukan oleh 3 hal, yaitu oleh besarnya probabilitas beban itu dilampaui dalam kurun waktu tertentu, oleh tingkat daktilitas struktur yang mengalaminya dan oleh kekuatan lebih yang terkandung di dalam struktur tersebut.

Berdasarkan pada SNI 1726:2019, beban gempa rencana yang diperhitungkan adalah gempa rencana sedang. Apabila terjadi gempa kuat, maka gaya-gaya dalam yang bekerja pada setiap elemen struktur dapat melampaui gaya-gaya dalam yang telah diperhitungkan. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

2.1.4. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban dasar untuk desain kekuatan tercantum dalam pasal 5.3.1 SNI 2847:2019. Struktur, komponen, dan fondasi wajib didesain sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek beban-beban terfaktor dalam 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
$U = 0,9D + 1,0W$	W
$U = 0,9D + 1,0E$	E

Sumber : SNI 2843:2019

Keterangan :

D : Beban Mati

L : Beban Hidup

L_r : Beban Hidup di Atap

R : Beban Hujan

W : Beban Angin

2.1.5. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Untuk bisa mendapatkan kondisi paling buruk pada saat pelaksanaan konstruksi seperti perbedaan mutu, maka digunakan faktor reduksi kekuatan yang merupakan suatu bilangan yang bersifat mereduksi kekuatan bahan sesuai peraturan yang terdapat pada SNI 2847:2019.

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

2.1.6. Konsep Analisis Beban Seismik

Struktur bangunan tahan gempa. Diperlukan adanya perencanaan serta perhitungan untuk meminimalisir kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh gempa. Acuan yang digunakan dalam perancangan bangunan tahan gempa yaitu SNI 1726:2019 mengenai “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung”. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

2.1.7. Kategori Resiko Bangunan

Dalam aturan SNI 1726:2019 telah ditetapkan kategori risiko bangunan gedung dan nongedung sesuai dengan jenis pemanfaatan gedung rencana terlihat pada tabel 2.5 serta faktor keutamaan gempa terlihat pada tabel 2.5

Tabel 2.5. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non gedung untuk Beban Gempa.

Jenis Pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: • Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan. • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung 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	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori resiko
• 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.	
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	IV

Jenis Pemanfaatan	Kategori resiko
• 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.	

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	1,50

Sumber : SNI 1726:2019

2.1.8. 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 dan N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$. 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respos spesifik-situs yang mengikuti 0)	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

2.1.9. Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Tertarget

Dalam menentukan respon spektra percepatan gempa tertarget (MCE_R) dipermukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik serta periode 1 detik. Factor amplifikasi meliputi factor getaran terkait percepatan pada periode pendek (F_a) dan factor amplifikasi mencangkup factor getaran terkait percepatan pada periode 1 detik (F_v). Sesuaikan dengan pasal 6.2 SNI 1726:2019.

Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs ditentukan sesuai persamaan berikut:

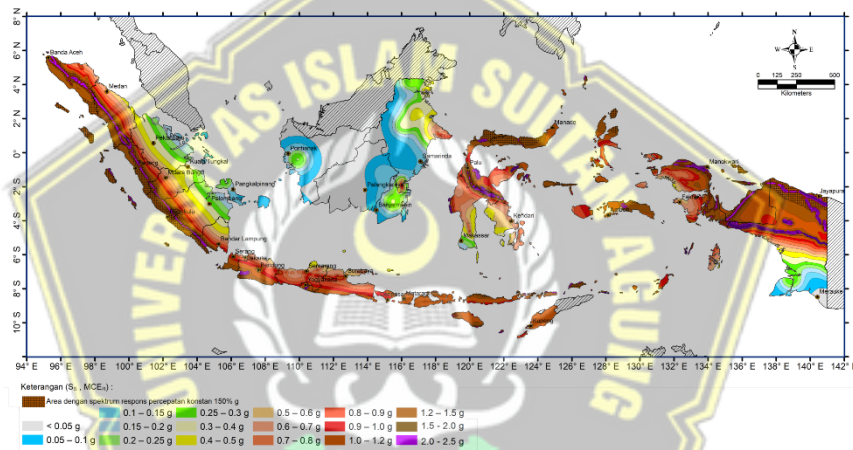
$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots (2-1)$$

$$S_{M1} = F_V S_1 \dots\dots\dots (2-2)$$

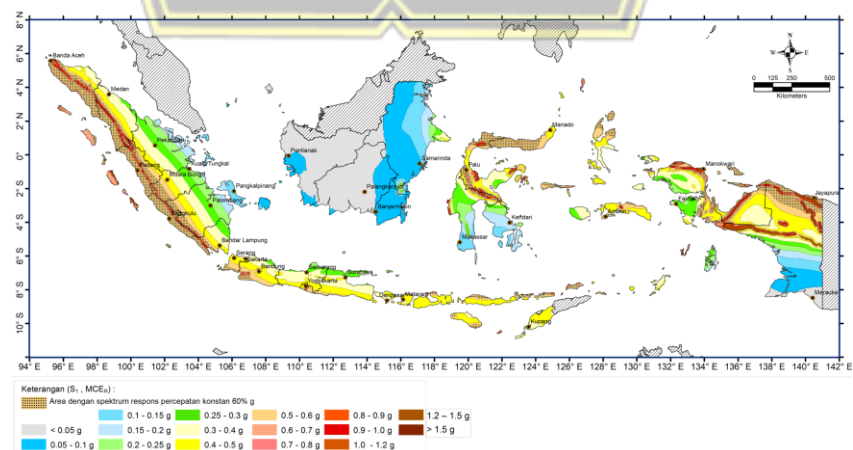
Keterangan :

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa M_{CER} terpetakan untuk periode pendek

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa M_{CER} terpetakan untuk periode 1,0 detik



Gambar 2.1. parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (M_{CER})



Gambar 2.2. parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (M_{CER})



Tabel 2.8. Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-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	$SS^{(a)}$					

Sumber : SNI 1726:2019

Tabel 2.9. Koefisien situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-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	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,6	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber : SNI 1726:2019

2.1.10. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain

Penentuan nilai parameter respons spektral 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 spectrum respons desain pada periode pendek

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

2.1.11. Spektrum Respon Desain

Spektrum respon desain pada peraturan SNI 1726:2019 mempunyai perbedaan apabila dibandingkan dengan peraturan SNI 1726:2012, yaitu terjadi penambahan periode Panjang pada 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

$$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} \dots\dots\dots (2-8)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter spectrum respons desain pada periode pendek

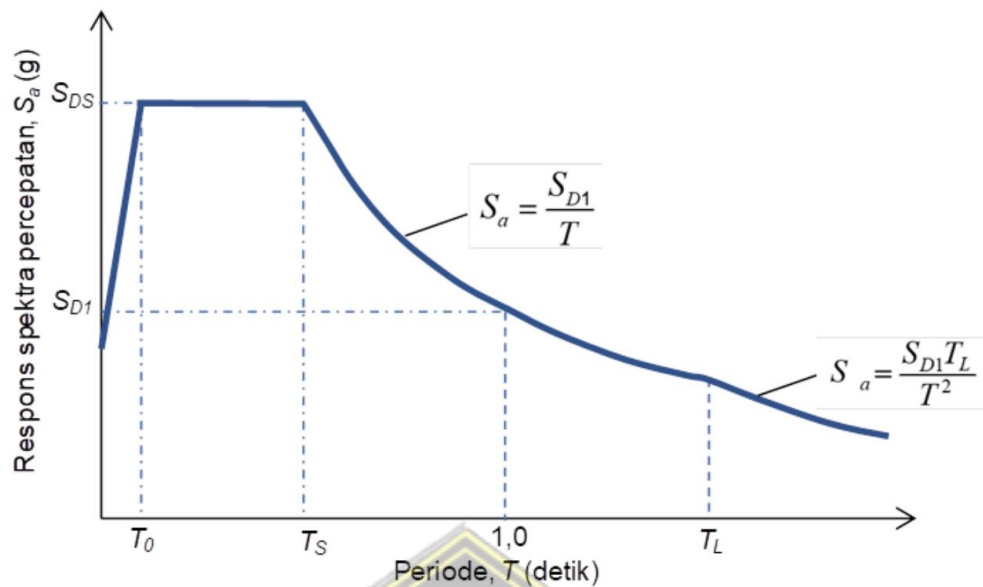
S_{D1} = Parameter spectrum respons desain pada periode pendek

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. Spektrum Respons Desain

2.1.12. Katagori Desain Seismik

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 resiko gempa pada struktur bangunan.

Tabel 2.10. Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II Atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	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}	Kategori risiko	
	I atau II Atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 1726:2019

2.1.13. 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_D 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 resiko 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 respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω^b	Faktor pembesaran defleksi, C^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n (m)^d$				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D^D	E^E	F^F
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	5	$\frac{1}{2^2}$	4	T B	T B	T B	T B	T B

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω^b	Faktor pembesaran defleksi, C^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n (m)^d$				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D^D	E^E	F^F
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	$\frac{1}{2^2}$	$\frac{1}{5^2}$	T B	T B	T B	T B	T B
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	$\frac{1}{2^2}$	$\frac{1}{5^2}$	T B	T B	T B	T B	T B
4. Dinding geser beton bertulang biasa	5	$\frac{1}{2^2}$	5	T B	T B	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	5	$\frac{1}{2^2}$	4	T B	T B	T B	T B	T B
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	$\frac{1}{2^2}$	5	T B	T B	T B	T B	T B
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	$\frac{1}{7^2}$	$\frac{1}{2^2}$	5	T B	T B	T B	T B	T B
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	$\frac{1}{2^2}$	5	T B	T B	T B	T B	T B
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	$\frac{1}{2^2}$	5	T B	T B	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	$\frac{1}{5^2}$	3	5	T B	T B	T B	T B	T B
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	$\frac{1}{3^2}$	T B	T B	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	5	$\frac{1}{2^2}$	5	T B	T B	T B	T B	T B
13. Dinding geser pelat baja khusus	5	$\frac{1}{2^2}$	$\frac{1}{5^2}$	T B	T B	T B	T B	T B

Sumber : SNI 1726:2019

Keterangan :

TB = Tidak Dibatasi

TT = Tidak Diiijinkan

R = Faktor Modifikasi Respon

Cd = Faktor Pembesaran Defleksi

Ω_0 = Faktor Kuat-lebih Sistem

2.1.14. Periode Fundamental Pendekatan

Sesuai pasal 7.8.2.1 SNI 1726:2019 Periode fundamental pendektan (T_a), bahwa untuk struktur dinidng geser batu bata atau beton yang diijinkan yaitu sebgai berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (2-11)$$

Dimana :

h_n = Ketinggian struktur (m)

C_t dan x = ditentukan melalui tabel dibawah ini

Tabel 2.13. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_1	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

Agar bangunan tidak terlalu flaksibel maka periode waktu getarnya harus dibatasi, berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.2.1. Batasan periode trsebut dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$T_{a \max} = T_{a \min} C_u \dots\dots\dots (2-12)$$

Dimana C_u ditentukan melalui tabel berikut :

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

Tabel 2.14. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

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

Sumber : SNI 1726:2019

Untuk struktur dinding geser batu bata atau dinding geser beton dengan tinggi tidak melebihi 36,6 m, perhitungan periode fundamental pendekatan, T_a , diizinkan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T_a = \frac{0,00058}{\sqrt{C_w}} h_n \dots\dots\dots (2-13)$$

dimana h_n didefinisikan di atas dan C_w dihitung dari persamaan sebagai berikut :

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_n}{D_i} \right)^2 \right]} \dots\dots\dots (2-14)$$

Keterangan:

A_b = luas dasar struktur (m^2)

A_i = luas badan dinding geser ke- i (m^2)

D_i = panjang dinding geser ke- i (m)

x = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam arah yang ditinjau.

2.1.15. 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:

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots (2-15)$$

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 :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2-16)$$

Keterangan:

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

R = Koefisien modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan gempa

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

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{DI}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2-17)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{DI} \cdot T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2-18)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots (2-19)$$

Dan untuk struktur yang berlokasi didaerah dimana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g. maka C_s ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2-20)$$

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektral desain dalam pada periode 1,0 detik

S_{D1} = Parameter percepatan respon spektral desain dalam pada periode 0,2 detik
 T = Periode fundamental struktur (detik)
 S_1 = Parameter percepatan respon spektral maksimum yang dipetakan

2.1.16. Distribusi vertikal gaya seismik

Gaya seismik lateral, F_x , (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} V \dots\dots\dots (2-21)$$

Dan

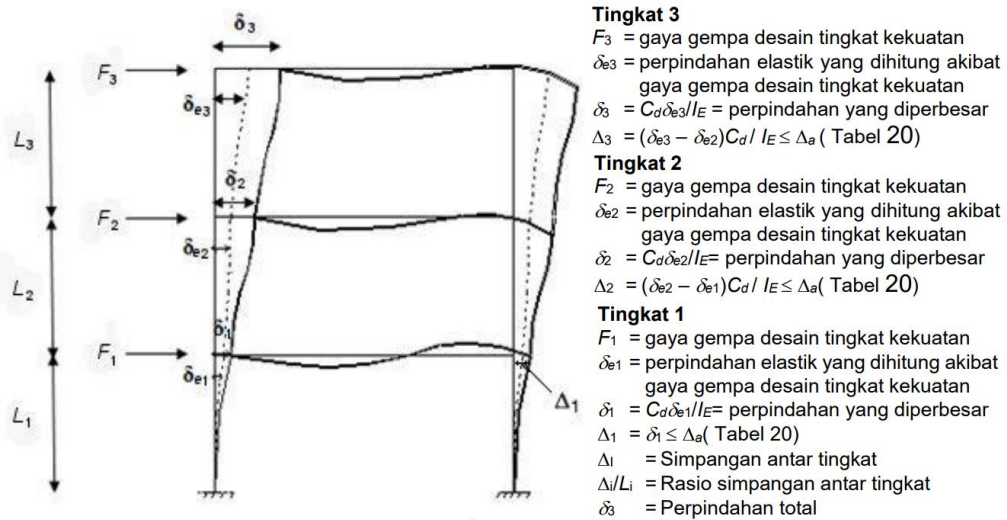
$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots (2-22)$$

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

2.1.17. Penentuan dan Batasan Simpangan Antar Lantai

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, diijinkan 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
 (Sumber : SNI 1726:2019)

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

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (2-23)$$

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran simpang lateral dalam tabel 12 SNI 1726:2019

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

Sumber : SNI 1726:2019

2.1.18. Eksetrisitas dan Torsi

Dalam SNI 1726:2019 pasal 7.8.4.1 hingga pasal 7.8.4.3, terdapat 2 jenis torsi yang dimana torsi yang pertama yaitu torsi bawaan dan yang kedua torsi tak terduga. Jika gaya gempa diterapkan secara serentak dalam dua arah ortogonal, perpindahan pusat massa 5% yang disyaratkan tidak perlu diterapkan dalam kedua arah ortogonal pada saat bersamaan, tetapi harus diterapkan dalam arah yang menghasilkan pengaruh yang lebih besar.

Torsi tak terduga harus diaplikasikan ke semua struktur untuk menentukan keberadaan ketidakberaturan horizontal seperti yang diatur pada Tabel 2.16 Momen torsi tak terduga (M_{ta}) tidak perlu diperhitungkan pada saat menentukan gaya seismik E pada perencanaan struktur dan pada saat menentukan simpangan antar tingkat desain seperti pada 0, 0 atau pasal 0, atau pada saat menentukan batasan-batasan 0, kecuali untuk struktur-struktur berikut:

1. Struktur dengan kategori desain seismik B dengan ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1b;
2. Struktur dengan kategori desain seismik C, D, E, dan F dengan ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1a atau Tipe 1b.

Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F, di mana

ketidakberaturan torsi tipe 1a atau 1b terjadi seperti didefinisikan dalam Tabel 2.16 harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan M_{ta} di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi (A_x) dan ditentukan dari persamaan berikut:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{\max}}{1,2\delta_{\text{avg}}} \right)^2 \dots\dots\dots (2-24)$$

Keterangan :

$\delta_{\max}$ = perpindahan maksimum di tingkat x (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)

δ_{avg} = rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)

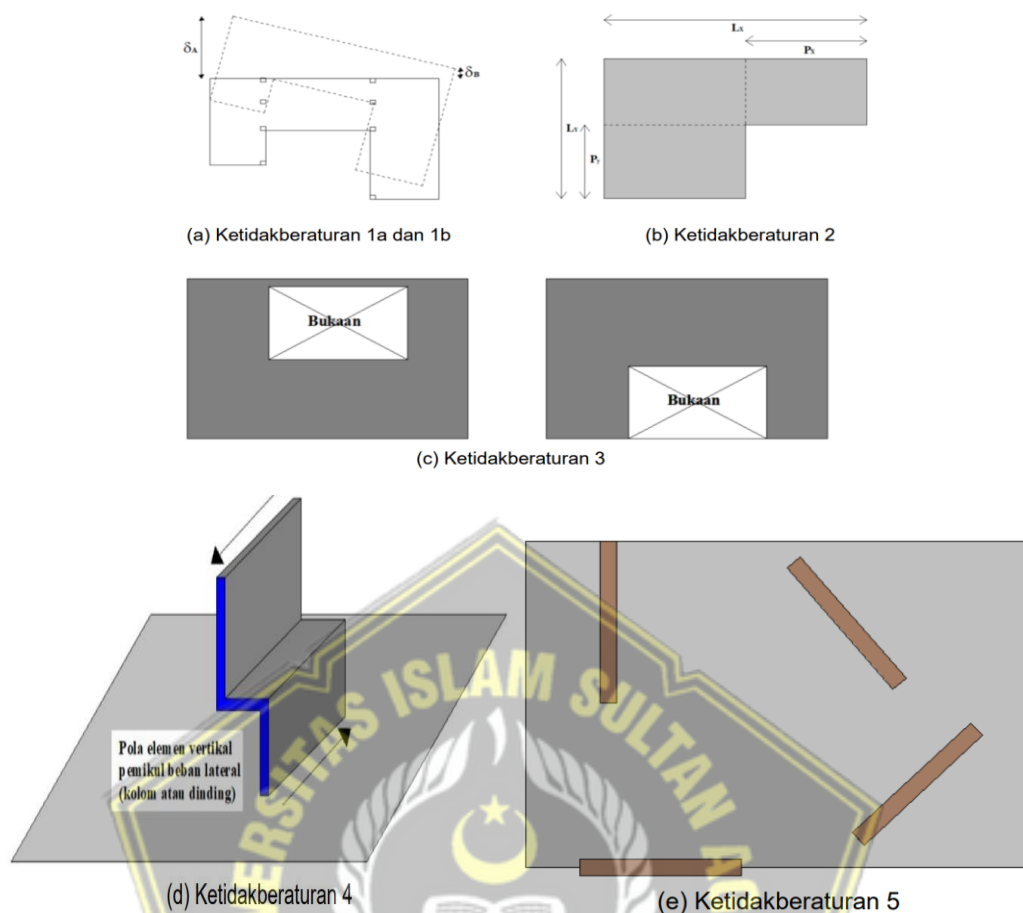
Faktor pembesaran torsi (A_x) tidak boleh kurang dari 1 dan tidak perlu melebihi 3,0. Pembebanan yang lebih parah untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk desain.

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 $A_s = 1,0$, 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 mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	Tabel 16	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_s = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.	Tabel 16	D, E, dan F B, C, dan D C dan D C dan D

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
	Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.		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.	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.	Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus 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.	Tabel 16	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.	Tabel 16	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



Gambar 2.5. Ketidakberaturan Horizontal

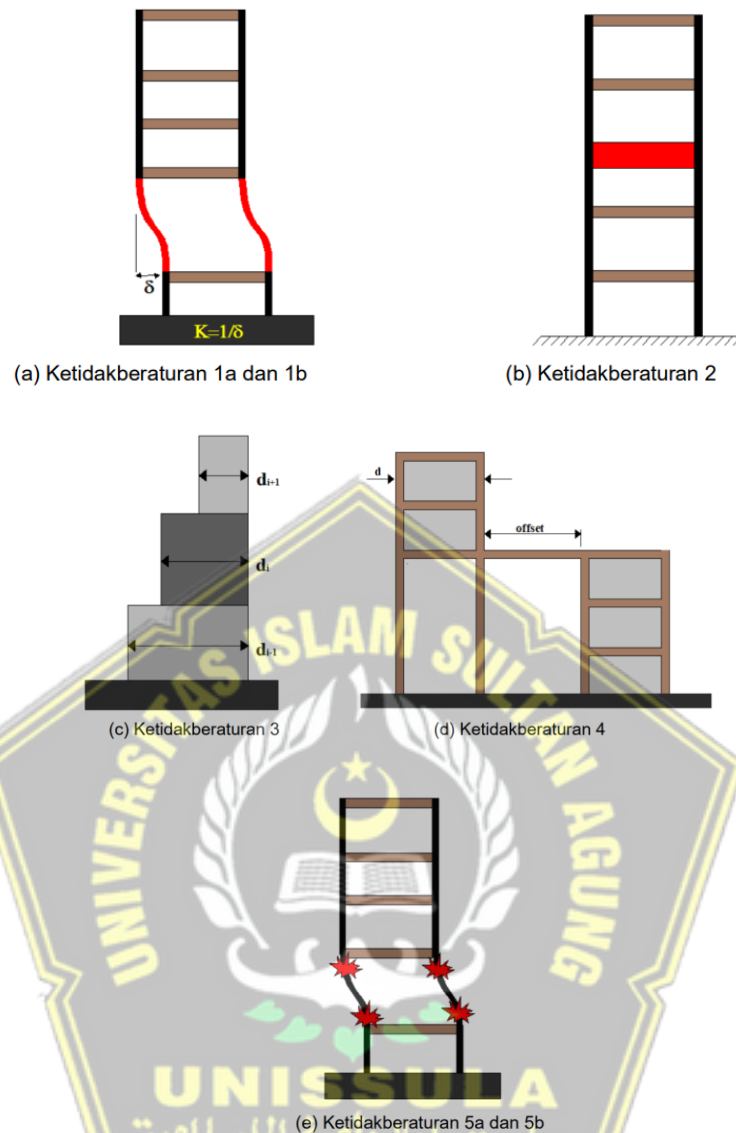
(Sumber : SNI 1726:2019)

Tabel 2.17. Ketidakberaturan vertikal Pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral	Tabel 16	E dan F D, E, dan F

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
	tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.		
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.	Tabel 16	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 di dekatnya.	Tabel 16	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.	Tabel 16	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.	Tabel 16	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.	Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

Sumber : SNI 1726:2019



Gambar 2.6. Ketidakberaturan Vertikal
(sumber : SNI 1726:2019)

2.1.19. Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10 : (pasal 7.8.7 SNI 1726:2019).

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x H_{SX} D_d} \dots\dots\dots (2-25)$$

Keterangan:

- P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN); bilangan menghitung, faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0
- Δ = Simpangan antar tingkat desain, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)
- I_e = Faktor krutamaan 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

2.1.20. Analisis Spektrum Respon Ragam

Pasal 7.9.1.1. SNI 1726:2019 Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik.

2.1.21. Kombinasi dan Pengaruh Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur bangunan yang penyebabnya dari pergerakan tanah yang diakibatkan oleh adanya gempa. Gempa desain yaitu pengaruh suatu gempa yang besarnya 2/3 dari pengaruh M_{CER} nya.

2.1.22. Hubungan Balok Kolom (*joint*) pada SRPMK

Merupakan daerah pertemuan antara kolom dan balok yang harus didetailkan dengan baik. Analisis perhitungan hubungan balok B dengan kolom C3A lantai 1 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Cek syarat Panjang *joint*

Pada 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 dan untuk beton ringan (*lightweight*) dimensinya harus kurang dari 26 kali diameter 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_0

3. Gaya geser pada joint

Momen balok yang timbul

$$M_c = 0,5 \times (M_{pr}^+ - M_{pr}^-) \dots\dots\dots (2-26)$$

4. Gaya geser pada kolom

$$V_{goyangan} = \frac{M_c + M_c}{l_n} \dots\dots\dots (2-27)$$

5. Gaya pada tulangan balok longitudinal

➤ Luas ruangan atas

$$T_1 = 1,25 \times A_s \times F_y \dots\dots\dots (2-28)$$

➤ Gaya tekan yang bekerja pada beton disisi kiri hubungan balok kolom

$$C1 = T1 \dots\dots\dots (2-29)$$

➤ Luas tulangan bawah

$$T2 = 1,25 \times A_s \times F_y \dots\dots\dots (2-30)$$

➤ Gaya tekan yang bekerja pada beton disisi kanan hubungan balok kolom

$$T1 = 1,25 \times A_s \times F_y \dots\dots\dots (2-31)$$

6. Kuat geser pada joint

$$V_j = T1 + T2 - V_{goyangan} \dots\dots\dots (2-32)$$

7. Kuat geser yang dikekang keempat sisinya

$$V_n = 1,7 \lambda \sqrt{f_c'} A_g \dots\dots\dots (2-33)$$

$$\phi V_n = 0,85 \times V_n \dots\dots\dots (2-34)$$

Dari analisis perhitungan diatas, kuat geser yang dikekang keempat sisinya harus lebih besar dari gaya geser joint yang ditimbulkan.

2.1.23. Strong Column Weak Beam (Beam Sway)

Persyaratan mekanisme *strong column weak beam* (kolom kuat balok lemah) adalah : (pasal 18.7.3.3 SNI 2847:2019).

$$\Sigma M_{nc} > 1,2 \Sigma M_{nb} \dots\dots\dots (2-35)$$

ΣM_{nb} = jumlah momen pada muka join, yang berhubungan dengan kuat lentur nominal kolom-kolom yang merangka pada join tersebut, yang dihitung

untuk beban aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau yang menghasilkan kuat lentur yang terendah.

ΣM_{nc} = jumlah momen pada muka join, yang berhubungan dengan kuat lentur nominal balok-balok (termasuk pelat yang berada dalam kondisi tarik) yang merangka pada join tersebut.

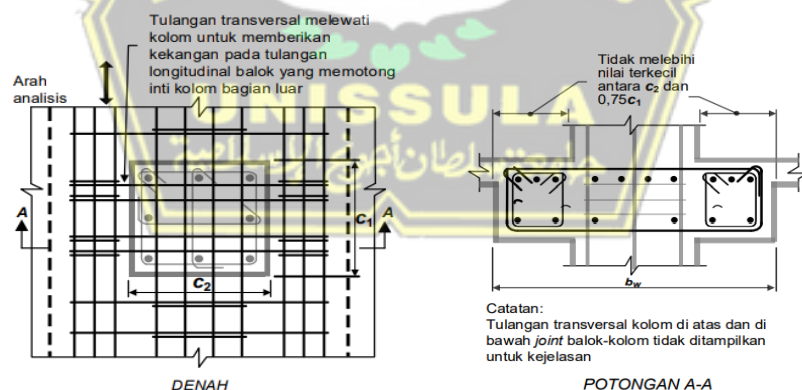
2.2. Perencanaan Elemen Struktur

2.2.1. Persyaratan Penulangan Balok

Balok system rangka pemikul momen khusus adalah bagian dari system pemikul dari gaya seismic dan utamanya yang dirancang guna menahan lentur serta geser.

Syarat dimensi penampang balok berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1 sebagai berikut :

- Panjang bentang bersih, l_n , harus lebih besar dari 4 kali tinggi efektif. ($l_n \geq 4d$)
- Lebar penampang, b_w , tidak kurang dari 0,3 kali tinggi penampang namun tidak boleh diambil kurang dari 250 mm. ($b_w \geq 0,3h$ atau 250 mm)
- Lebar penampang, b_w , tidak boleh melebihi lebar kolom pendukung ditambah nilai terkecil dari : lebar kolom $3/4$ kali dimensi kolom dalam arah sejajar komponen lentur.



Gambar 2.7. Lebar efektif maksimum balok lebar (*wide beam*) dan persyaratan tulangan transversal
(Sumber : SNI 2847:2019)

Persyaratan penulangan pada balok yang merupakan elemen penahan beban lateral diatur dalam SNI 2847:2019. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan sebagai berikut :

2.2.1.1. Desain Balok SRPMK

Tabel 2.18 Bagian yang harus dipenuhi dalam penerapan pada umumnya.

Komponen yang menahan pengaruh gempa, kecuali jika dinyatakan sebaliknya	Kategori Desain Seismik			
	A (Tidak ada)	B (18.2.1.3)	C (18.2.1.4)	D,E,F (18.2.1.5)
Persyaratan analisis dan desain		18.2.2	18.2.2	18.2.2, 18.2.4
Material		Tidak ada	Tidak ada	18.2.5 hingga 18.2.8
Komponen sistem rangka pemikul momen		18.3	18.4	18.6 hingga 18.9
Dinding struktual dan balok kopel		Tidak ada	Tidak ada	18.10
Dinding struktual pracetak	Tidak ada	Tidak ada	18.5	18.5 ² , 18.11
Diafragma dan rangka batang (trusses)		Tidak ada	Tidak ada	18.12
Fondasi		Tidak ada	Tidak ada	18.13
Komponen struktur rangka pemikul momen yang tidak ditetapkan sebagai sistem pemikul gaya seismik		Tidak ada	Tidak ada	18.14
Angkur		Tidak ada	18.2.3	18.2.3

^a Sebagai tambahan terhadap persyaratan Pasal 1 hingga 17, 19 hingga 26, dan CI 318.2, kecuali yang dimodifikasi oleh pasal 18. Pasal 14.1.4 juga berlaku pada KDS D, E, dan F

^b Sebagaimana diizinkan oleh SNI 1726

2.2.1.2. Syarat tulangan lentur

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1 :

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

$$\frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \cdot d \leq A_s \leq 0,025 b_w \cdot d$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w \cdot d$$

Sedikitnya harus disediakan dua buah tulangan menerus, baik disisi atas maupun sisi bawah penampang.

- b. Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya pada muka tersebut :

$$\phi M_n^{+ki} \geq \frac{1}{2} \phi M_n^{-ki} \quad (\text{Tumpuan Kiri})$$

$$\phi M_n^{+ka} \geq \frac{1}{2} \phi M_n^{-ka} \quad (\text{Tumpuan Kanan})$$

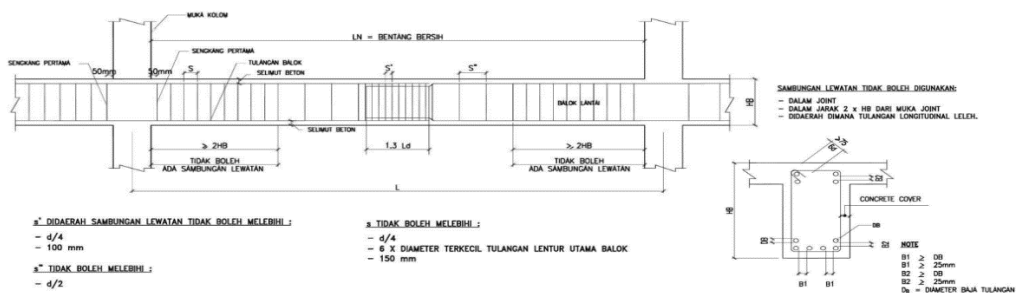
dengan :

M_{nki} adalah kuat momen pada bagian tumpuan sebelah kiri dari komponen lentur

M_{nka} adalah kuat momen pada bagian tumpuan sebelah kanan dari komponen lentur

- c. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut.

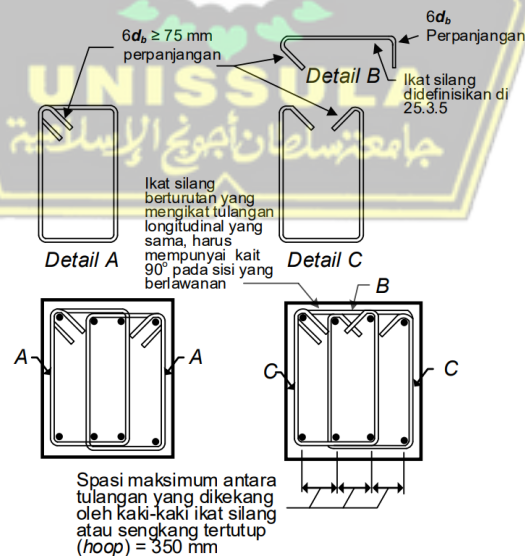
$$(\phi M_n^{+} \text{ atau } \phi M_n^{-}) \geq \frac{1}{4} (\phi M_n \text{ terbesar disetiap titik})$$



Gambar 2.8. potongan balok

2.2.1.3. Syarat tulangan transversal

- a. Sengkang pengekang harus disediakan pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan pada kedua ujung komponen struktur lentur. Selain itu sengkang pengekang juga harus dipasang di sepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang, pada tempat yang diharapkan dapat terjadi leleh lentur.
- b. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan, jarak antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi dari nilai terkecil antara.
 1. $d/4$
 2. $6d_b$ (6 kali diameter tulangan memanjang terkecil)
 3. 150 mm
- c. Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang pengekang, sengkang dengan kait gempapada kedua ujungnya harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari $d/2$ disepanjang bentang komponen struktur lentur.
- d. Sengkang tertutup dapat terdiri dari dua buag tulangan, yaitu : sebuah sengkang dengan kait gempapada kedua ujung dan ditutup oleh pengikat silang. Pada pengikat silang yang berurutan yang mengikat tulangan memanjang yang sama, kait 90° – nya harus dipasang berselang – seling.



Gambar 2.9. Contoh sengkang tertutup (*hoop*) yang dipasang bertumpuk dan ilustrasi batasan maksimum spasi horizontal penumpu batang longitudinal.

(Sumber : SNI 2847:2019)

2.2.1.4. Syarat kekuatan geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.

Tulangan transversal untuk SPRMK harus didesain untuk memikul gaya geser rencana, V_e , yang ditimbulkan oleh kuat lentur maksimum, M_{pr} , dengan tanda berlawanan, yang dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan. Pada saat yang bersamaan komponen struktur tersebut dianggap memikul beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya.

M_{pr} , adalah kuat momen lentur diujung balok yang ditentukan dengan menganggap kuat tarik pada tulangan memanjang sebesar minimum $1,25 f_y$ dan faktor reduksi $\phi = 1$.

$$M_{pr} = A_s (1,25 f_y) d - \frac{a}{2} \dots\dots\dots (2-36)$$

$$a = \frac{A_s (1,25 f_y)}{0,85 f'_c b} \dots\dots\dots (2-37)$$

Besarnya gaya geser rencana tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$V_{ki} = \frac{M_{pr}^- - M_{pr}^+}{l_n} + \frac{q_u l_n}{2} \dots\dots\dots (2-37)$$

$$V_{ka} = \frac{M_{pr}^+ - M_{pr}^-}{l_n} + \frac{q_u l_n}{2} \dots\dots\dots (2-38)$$

2.2.2. Persyaratan Penulangan Kolom

Persyaratan penulangan pada kolom yang merupakan elemen penahan beban lateral diatur dalam SNI 2847:2019. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan sebagai berikut :

1. Desain Kolom SRPMK

Tabel 2.18. Bagian Pasal 18 yang harus dipenuhi dalam penerapan pada umumnya

Komponen yang menahan pengaruh gempa, kecuali jika dinyatakan sebaliknya	Kategori Desain Seismik			
	A (Tidak ada)	B (18.2.1.3)	C (18.2.1.4)	D,E,F (18.2.1.5)
Persyaratan analisis dan desain		18.2.2	18.2.2	18.2.2, 18.2.4
Material		Tidak ada	Tidak ada	18.2.5 hingga 18.2.8
Komponen sistem rangka pemikul momen		18.3	18.4	18.6 hingga 18.9
Dinding struktural dan balok kopel		Tidak ada	Tidak ada	18.10
Dinding struktural pracetak	Tidak ada	Tidak ada	18.5	18.5 ² , 18.11
Diafragam dan rangka batang (trusses)		Tidak ada	Tidak ada	18.12
Fondasi		Tidak ada	Tidak ada	18.13
Komponen struktur rangka pemikul momen yang tidak ditetapkan sebagai sistem pemikul gaya seismik		Tidak ada	Tidak ada	18.14
Angkur		Tidak ada	18.2.3	18.2.3

^a Sebagai tambahan terhadap persyaratan Pasal 1 hingga 17, 19 hingga 26, dan ACI 318.2, kecuali yang dimodifikasi oleh pasal 18. Pasal 14.1.4 juga berlaku pada KDS D, E, dan F

^b Sebagaimana diizinkan oleh SNI 1726
(Sumber : SNI 2847:2019 Tabel R18.2)

2. Syarat dimensi penampang

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1 :

- Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm,
- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4

3. Kuat Lentur Minimum

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2 :

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi :

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

$\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom – kolom yang merangka kedalam joint, yang dievaluasi di muka – muka joint.

$\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka kedalam joint, yang dievaluasi di muka – muka joint.

4. Tulangan Lentur

- Luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari 0,01 A_g dan tidak boleh lebih dari 0,06 A_g .
- Pada kolom – kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimum harus 6.
- Sambungan mekanis harus memenuhi 18.2.7 dan sambungan las 18.2.8. Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah **tengah tinggi kolom** dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal.

5. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5:

Pada daerah sendi plastis kolom (daerah sepanjang l_0 dari muka hubungan balok – kolom , di kedua ujungnya) harus disediakan tulangan transversal yang mencukupi.

Panjang l_0 daerah sendi plastis kolom, diambil tidak kurang dari :

- Tinggi penampang komponen struktur pada muka hubungan balok – kolom atau pada segmen yang memiliki potensi terjadi leleh lentur.
- 1/6 dari bentang bersih komponen struktur.

➤ 450 mm.

Jarak tulangan transversal pada daerah sepanjang l_0 , harus diambil tidak melebihi nilai terkecil dari :

➤ $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil komponen struktur

➤ 6 kali diameter tulangan memanjang

➤ $100 \text{ mm} \leq s_0 = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \leq 150 \text{ mm}$

$$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1,0$$

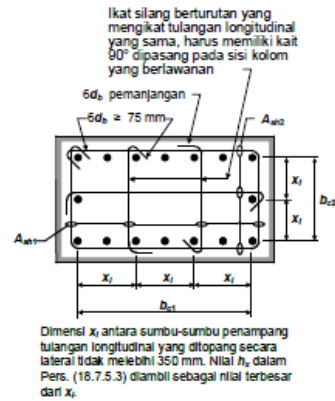
$$k_f = \frac{n_l}{n_l - 2}$$

n_l adalah jumlah batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom dengan sengkang persegi yang ditumpu secara lateral oleh sudut dari sengkang pengekan atau kait seismik.

Tabel 2.19. Tulangan transversal untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus

Tulangan transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku	
A_{ab}/s_{b_c} untuk sengkang pengekang persegi	$P_u \leq 0,3 Agf'_c$ dan $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b)	$0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (a)$
	$P_u > 0,3 Agf'_c$ dan $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a),(b) dan (c)	$0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (b)$ $0,2k_f k_n \frac{f_n}{f_{yt} A_{ch}} \quad (c)$
P_x Untuk spiral ataupun sengkang pengekang lingkungan	$P_u \leq 0,3 Agf'_c$ dan $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d) dan (e)	$0,43 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (d)$
	$P_u > 0,3 Agf'_c$ dan $f'_c > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d),(e) dan (f)	$0,12 \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad (e)$ $0,35k_f k_n \frac{f_n}{f_{yt} A_{ch}} \quad (f)$

(Sumber : SNI 2847:2019)



Gambar 2.10. Contoh penulangan transversal pada kolom
(Sumber : SNI 2847:2019)

6. Kekuatan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1 Gaya geser desain V_e harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi di muka-muka *joint* pada setiap ujung kolom. Gaya-gaya joint ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang mungkin terjadi, M_{pr} , di setiap ujung kolom yang terkait dengan rentang beban aksial terfaktor, P_u , yang bekerja pada prosedur yang diaplikasikan untuk kolom.

2.2.3. Persyaratan Analisa Pelat Lantai

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8, ada beberapa ketentuan dalam mendesain pelat dua arah seperti tabel dibawah ini :

Tabel 2.20. Ketebalan minimum Pelat dua arah non prategang tanpa balok interior

f_y , MPa ²	Tanpa <i>drop panel</i> ³			Dengan <i>drop panel</i> ³		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok <i>tepi</i> ⁴		Tanpa balok tepi	Dengan balok <i>tepi</i> ⁴	
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	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

- ^a ℓ_n adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan (mm)
- ^b Untuk f_y dengan nilai diantara yang diberikan dalam tabel, ketebalan minimum harus dihitung dengan interpolasi linear
- ^c Drop panel balok di antara kolom sepanjang tepi eksterior. Panel eksterior harus dianggap tanpa balok pinggir jika α_f kurang dari 0,8. Nilai α_f untuk balok tepi harus dihitung sesuai 8.10.2.7
- (Sumber : SNI 2847:2019)

Tabel 2.21. Ketebalan minimum pelat dua arah non prategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya

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)

Tabel 2.22. As min untuk pelat dua arah nonprategang

Tipe Tulangan	f_y MPa	$A_{s \min} mm^2$	
Batang ulir	< 420	$0,0020 A_g$	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari:	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
			$0,0014 A_g$

(Sumber : SNI 2847:2019)

2.2.4. Dinding Geser

2.2.4.1. Pengertian Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dinding geser adalah struktur dinding vertikal yang digunakan untuk menahan gaya geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Dengan adanya *Shear Wall* yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut. Dinding geser biasanya ditempatkan di luar, di dalam ataupun berupa inti yang memuat ruang lift atau tangga, perencanaan dinding geser yang baik tidak terlepas dari pemilihan bentuk dinding, lokasi penempatannya pada denah serta bentuk ragam keruntuhannya.

2.2.4.2. Klasifikasi Dinding Geser

Berdasarkan letak dan fungsinya, *Shear Wall* atau dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis, yaitu:

1. ***Bearing Wall*** adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antara partemen yang berdekatan.
2. ***Frame Wall*** adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun di antara baris kolom bagian dalam.
3. ***Core Wall*** adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam gedung, yang biasanya di tangga atau poros lift. Dinding yang terletak di kawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan ekonomis.

Berdasarkan geometrisnya dinding geser dikategorikan sebagai berikut:

1. ***Flexural Wall*** (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \geq 2$, dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur.
2. ***Squat Wall*** (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \leq 2$, dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur.
3. ***Coupled Shear Wall*** (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding geser yang dihubungkan dengan balok-balok penghubung sebagai gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar dinding tersebut.

2.2.4.3. 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 besari 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 besari dari $\emptyset$ -16 atau D-16

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

Batasan ketinggian diijinkan untuk ditingkatkan dari 48 m sampai 72 m untuk struktur yang dirancang dengan kategori desain seismik D atau E. Apabila struktur mempunyai sistem penahan gaya gempa berupa dinding geser beton bertulang cetak-setempat khusus, struktur harus memenuhi persyaratan berikut:

- a. Struktur tidak boleh mempunyai ketidak beraturan torsi yang berlebihan seperti didefinisikan dalam tabel 2.16 (ketidak beraturan struktur tipe 1b).
- b. Dinding geser beton bertulang cetak-setempat khusus, pada semua bidang harus menahan tidak lebih dari 60 persen gaya gempa total dalam setiap arah, dengan mengabaikan pengaruh torsi tak terduga.

2.2.4.5. Pengangkur Dinding Struktural

Dinding struktural yang berfungsi sebagai penumpu beban vertikal atau penahan geser lateral untuk bagian struktur harus diangkurkan ke pelat atap dan seluruh pelat lantai serta elemen-elemen struktur yang memberikan tahanan lateral untuk dinding atau yang ditumpu oleh dinding. Angkur harus memberikan sambungan langsung antara dinding-dinding dan konstruksi pelat atap atau konstruksi pelat lantai. Angkur harus mampu menahan gaya horizontal terfaktor yang tegak lurus bidang dinding

sebesar minimum 0,2 kali berat daerah tributari dinding pada sambungan, tapi tidak kurang dari 0,24

2.2.4.6. Gaya Pengangkuran Dinding

Pengangkuran dinding struktural pada konstruksi pendukung harus dapat menyediakan suatu sambungan langsung yang mampu menahan gaya rencana berikut :

$$F_p = 0,4S_{DS}K_a I_e W_p$$

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

$$k_a = 1,0 \frac{L_f}{30}$$

k_a tidak perlu diambil sebesar 2,0

Keterangan:

F_p = gaya desain pada angkur-angkur individu

S_{DS} = parameter percepatan respons spectral desain pada perioda pendek
 $(S_{SD} = \frac{2}{3} S_{MS})$

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 arah yang ditinjau. Nilai L_f adalah 0 untuk diafragma kaku

W_p = berat dinding sesuai luasan tributari angkur

Bila angkur tidak terletak di atap dan seluruh diafragma tidak fleksibel, maka nilai yang diperoleh dari $F_p = 0,4S_{DS}K_a I_e W_p$ diijinkan 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.

2.2.4.7. Perencanaan Dinding Geser

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

$$c > \frac{l_w}{600 \times \left(\frac{\delta u}{h_w}\right)}; \frac{\delta u}{h_w} > 0,007$$

Keterangan:

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

H_w = Tinggi dinding geser

Jik 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 pengekang.

Tulangan pengekang 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 pengekangan pada dinding geser juga menggunakan rumus di bawah ini :

$$\text{➤ } A_{sh} = 0,3 \frac{s.b.c.f_{cr}}{f_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

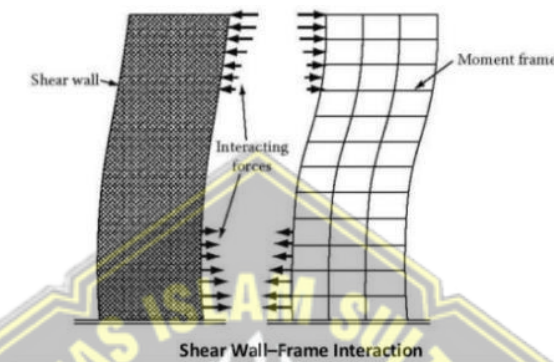
$$\text{➤ } A_{sh} = 0,09 \frac{s.b.c.f_{cr}}{f_y}$$

2.3. Sistem Ganda (*Dual System*)

Struktur bangunan tinggi sering digunakan gabungan antara portal penahan momen dengan dinding geser yang disebut sebagai sistem ganda (*dual system*). Sistem ganda (*dual system*) digunakan terutama pada bangunan tinggi yang dibangun di daerah yang terkena pengaruh gempa bumi. Struktur sistem ganda (*dual system*) memiliki kemampuan yang tinggi dalam memikul gaya geser.

Berdasarkan SNI 1726:2019 sistem ganda terdiri dari :

- a) Rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi,
- b) Pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka *bresing* dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral,
- c) Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda.



Gambar 2.11. Interaksi Rangka dan Dinding dalam Sistem Ganda
(Sumber : SNI 1727:2019)

Penggabungan antara portal penahan momen dan dinding geser dapat memberikan hasil yang baik untuk memperoleh kekenyalan./daktilitas (*ductility*) dan kekakuan sistem struktur. Dalam gedung tinggi seringkali terjadi eksentrisitas yang berlebihan terutama untuk gedung tinggi yang bentuknya tidak beraturan. Hal ini terjadi karena tidak berimpitnya pusat massa dan pusat kekakuan gedung, sehingga bisa menyebabkan rotasi pada gedung. Dengan adanya interaksi antara portal dan dinding geser, dinding geser akan berperilaku flexural/bending mode, sedangkan frame akan berdeformasi dalam shear mode, gaya geser dipikul oleh frame pada bagian atas dinding geser (*shearwall*) memikul gaya geser pada bagian bawah, sehingga eksentrisitas yang terjadi tidak terlalu besar.

2.4. Program Bantu

2.4.1. ETABS V18

Program ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems*) merupakan suatu program yang dipergunakan untuk melakukan analisis dan desain pada struktur bangunan dengan cepat dan tepat. Program ETABS secara khusus di

fungsi untuk menganalisis lima perencanaan struktur yaitu analisis frame baja, frame beton, balok komposit dan baja rangka batang dan analisis dinding geser. ETABS sangat relevan untuk desain struktur bangunan gedung bertingkat/ *high rise building* dengan memperhitungkan beban berat sendiri struktur, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. beban gempa akan dipelajari dalam 2 analisis yaitu dengan beban respon *spektrum function* dan dengan *time hystori function*. dengan demikian, analisis gempa dan angin dapat secara otomatis di hitung dengan memodifikasi nilai-nilai koefisien faktor dari peraturan ACI dan IBC sehingga sesuai dengan peraturan SNI yang berlaku di Indonesia. (Wahyu Bintoro, 2021)

Adapun beberapa kelebihan dari program ETABS, yaitu :

1. Fitur ETABS lebih simple, ringan dan cepat dioperasikan (fast loading) karena fitur dan menu yang hanya dikhususkan untuk desain Gedung saja.
 - Fitur/fasilitas yang lebih lengkap (untuk khusus perencanaan struktur Gedung)
 - Lebih ringan dan cepat saat diinstal di komputer
 - Lebih cepat dalam melakukan *running analisis*
 - Lebih cepat saat melakukan permodelan struktur
 - Tampilan 2D dan 3D yang bisa mencakup seluruh elemen Tampilan yang bagus karena dibuat oleh perusahaan yang sama pula (CSI), sehingga anda yang sudah biasa menjalankan aplikasi lain tidak akan bingung saat mengoperasikan ETABS
2. Data karakteristik Gedung dapat diinput dengan lebih mudah, cepat dan praktis

2.4.2. PCA Coloumn

Aplikasi program bantu tersebut mempunyai peranan yang sangat penting dalam bidang jasa perencanaan dan pekerjaan konstruksi di seluruh dunia. Banyak aplikasi program bantu yang telah dikembangkan oleh negara – negara maju yang notabene dapat mempercepat proses perhitungan struktur. Salah satu dari sekian banyak aplikasi program bantu yang bermanfaat untuk mendesain komponen struktur beton bertulang adalah program PCA Column.

PCA Column dapat digunakan untuk mendesain atau menginvestigasi struktur kolom. Setelah melakukan analisa struktur secara manual maupun menggunakan

software, dan diperoleh gaya-gaya yang bekerja pada kolom, maka langkah selanjutnya adalah melakukan desain tulangan kolom.

2.4.3. Perencanaan Pondasi

Pada pembangunan rusun ini direncanakan dengan menggunakan pondasi tiang pancang. Pada perencanaan pondasi menggunakan tiang pancang ini data yang digunakan yaitu data tanah berdasarkan hasil Standart Penetration Test (SPT) pada 2 titik lokasi yang diuji. Untuk merencanakan pondasi tiang pancang perlu diperhitungkan daya dukung dari pondasi yang digunakan tersebut, yang mana dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_L = Q_P + Q_S \dots\dots\dots (2-39)$$

Dimana:

Q_L = Daya dukung total.

Q_P = Daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi.

Q_S = Daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah.

Jumlah tiang pancang yang dibutuhkan (n):

$$n = \frac{\sum P_u}{P_{ijin}} \dots\dots\dots (2-40)$$

$$S \geq \frac{1,57(D)min-2d}{m+n-2} \dots\dots\dots (2-41)$$

$$Efisiensi\ tiang\ (n) = 1 - \phi \frac{(n-1)m+(m-1)}{90xmxn} \dots\dots\dots (2-42)$$

$$\phi = acr\ tg\ \left(\frac{D}{S}\right) \dots\dots\dots (2-43)$$

$$P_{max} = \frac{\sum P_u}{n} + \frac{M_{yx}X_{xmax}}{\sum x^2} + \frac{M_{yx}Y_{max}}{\sum y^2} \dots\dots\dots (2-44)$$

Kontrol geser pons pada poer:

Untuk cek kontrol geser pons pada poer perlu diperhatikan harus sesuai persyaratan yang ada, yang mana perencanaan tebal poer harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser pons yang terjadi.

$$\Phi V_c > P_u \dots\dots\dots(2-45)$$

Sesuai pada SNI 2847-2019 Pasal 22.5.5.1 didapatkan kuat geser yang diberikan beton harus diambil nilai terkecil dari:

$$a) V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f'c' b_0 d} \dots\dots\dots(2-46)$$

$$b) V_c = 0,083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2\right) \lambda \sqrt{f'c' b_0 d} \dots\dots\dots(2-47)$$

$$c) V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f'c' b_0 d} \dots\dots\dots(2-48)$$

Dimana:

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom

B_o = keliling pada penampang kritis pada poer
 $= 2(b \text{ kolom} - d) - 2(h \text{ kolom} - d)$

A_s = 30, untuk kolom tepi
 $= 40$, untuk kolom tengah
 $= 20$, untuk kolom pojok



BAB III

METODOLOGI PENULISAN

3.1. Pendahuluan

Tugas Akhir ini bertujuan untuk mendesain kembali struktur bangunan yang telah direncanakan 10 lantai. Metode yang digunakan untuk merencanakan struktur tersebut adalah metode manual pembebanan dan program aplikasi.

Tugas akhir ini menggunakan beberapa literatur yang digunakan untuk menyempurnakan laporan ini, seperti tugas akhir Adriyan Candra Purnama. 2017. “Modifikasi Perencanaan Gedung Amaris Hotel Madiun Dengan Menggunakan Metode Flat Slab Dan Shear Wall”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Tugas Akhir Dodi Hary Sasmito. 2017. “Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Kantor Graha Atmaja Dengan Metode Dual System Di Daerah Resiko Gempa Tinggi”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Dan beberapa literatur lainnya.

Sedangkan untuk perhitungan dimensi struktur rangka menggunakan peraturan-peraturan yang berlaku antara lain :

1. SNI 1726:2019, tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung.
2. SNI 1727:2020, Tentang Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur
3. SNI 2847:2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan.
4. Syarat-Syarat tambahan yang diperlukan dan berlaku di Indonesia.

3.2. Langkah Umum Perencanaan Struktur

Dalam merencanakan struktur gedung, langkah-langkah yang dilakukan adalah :

3.2.1. Pengumpulan Data

Sebagai langkah awal dalam setiap perencanaan struktur perlu dilakukan pengumpulan informasi perencanaan selengkap mungkin yang umumnya terdiri dari :

1. Deskripsi umum bangunan
2. Denah dan sistem struktur bangunan
3. Wilayah gempa di mana bangunan berada
4. Data pembebanan
5. Mutu bahan yang digunakan
6. Metode analisa dan desain struktur
7. Standar dan referensi yang dipakai dalam perencanaan.

3.2.2. Preliminary Design

Preliminary design adalah desain awal dimensi serta material yang akan digunakan untuk membentuk struktur. *Preliminary design* merupakan spesifikasi struktur yang akan dimodelkan dalam *software* ETABS v18.

3.2.3. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur gedung ini menggunakan program aplikasi ETABS V18, yang nantinya akan menghasilkan gaya-gaya internal maupun eksternal yang bekerja pada struktur tersebut akibat pembebanan yang terjadi.

3.2.4. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan yang mempengaruhi mulai dari atap, kemudian pelat, balok, menuju ke kolom dan pondasi yang mendistribusikan beban-beban ke tanah di bawahnya. Pembebanan yang diperhitungkan pada analisa ini adalah:

1. Beban Mati

Meliputi berat sendiri struktur.

2. Beban Hidup

Merupakan beban dari orang dan peralatan yang nantinya akan membebani bangunan tersebut.

3. Beban Gempa

Didapat dari perhitungan berat sendiri gedung yang kemudian dengan beberapa langkah perhitungan didapatkan gaya gempa dari arah x dan y.

3.2.5. Perhitungan Analisa Struktur

Perhitungan struktur menggunakan program ETABS . Analisa ini bertujuan untuk mencari gaya momen, gaya lintang dan gaya normal. Untuk selanjutnya gaya-gaya itu digunakan untuk perhitungan tulangan dan pondasi.

Berikut adalah langkah – langkah analisa menggunakan program ETABS V18 :

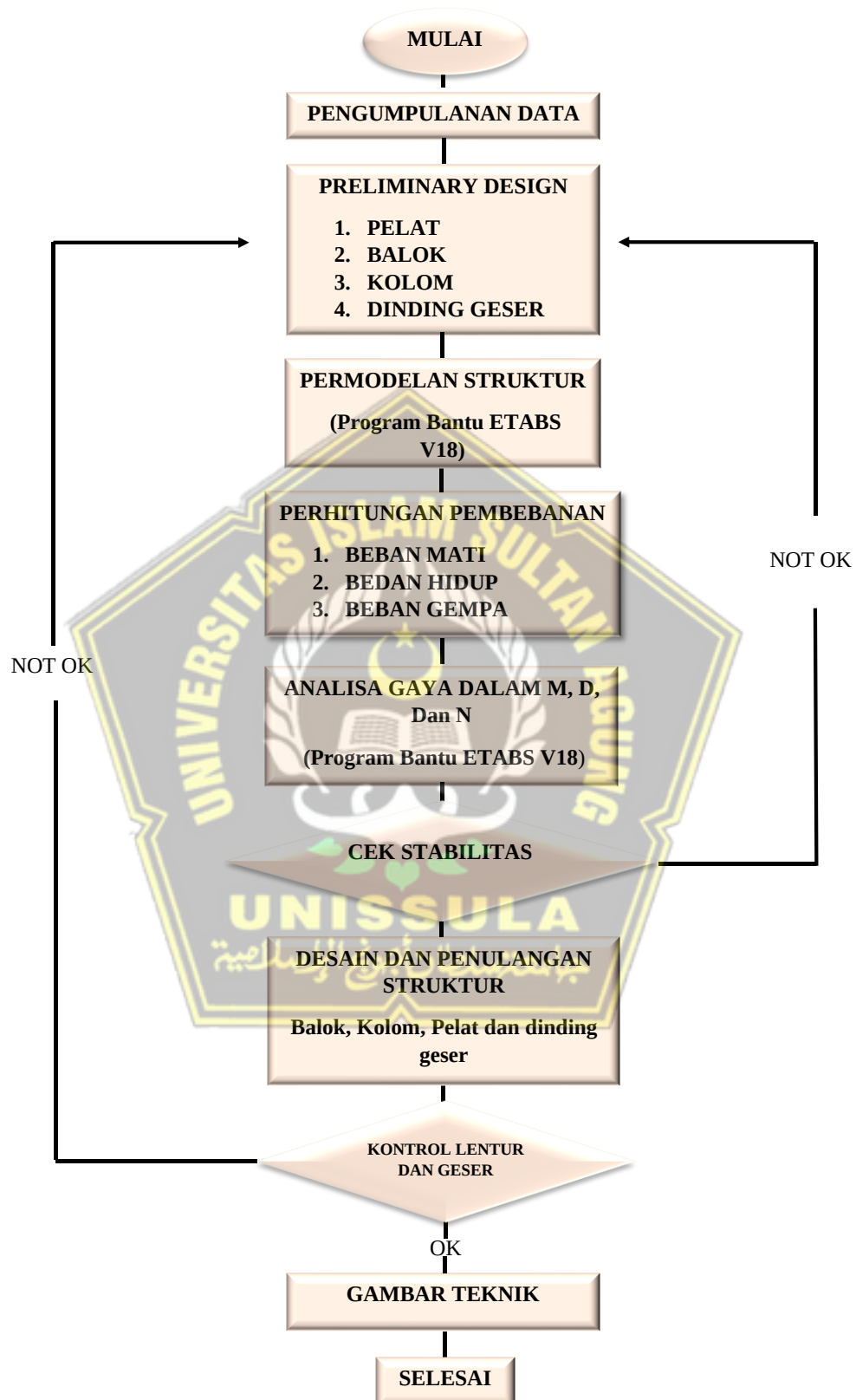
1. Penentuan satuan yang digunakan
2. Penentuan *grid* dan dimensi *grid*
3. Input material dan input dimensi penampang
4. Pemodelan struktur
5. Input beban (beban mati dan beban hidup)
6. Input kombinasi beban
7. Analisa beban gempa
8. Input beban gempa
9. Analisa gaya dalam

3.2.6. Perhitungan Dimensi dan Penulangan

Perhitungan dimensi merupakan perhitungan batang tarik dan tekan untuk pelat, balok, kolom dan dinding geser serta penulangannya.



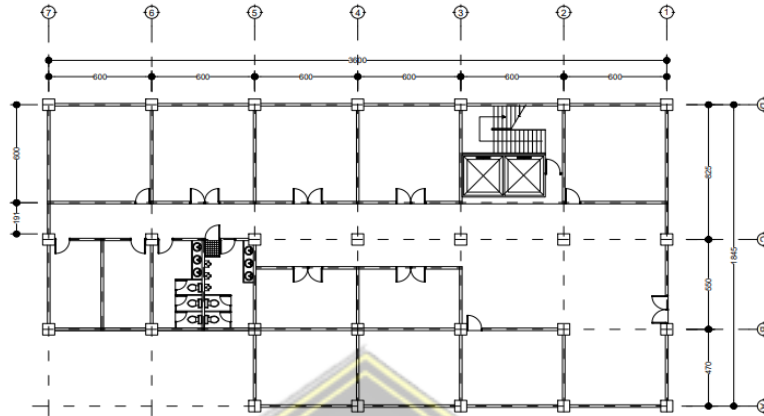
3.2.7. Diagram Alir (Flow Chart) Perencanaan



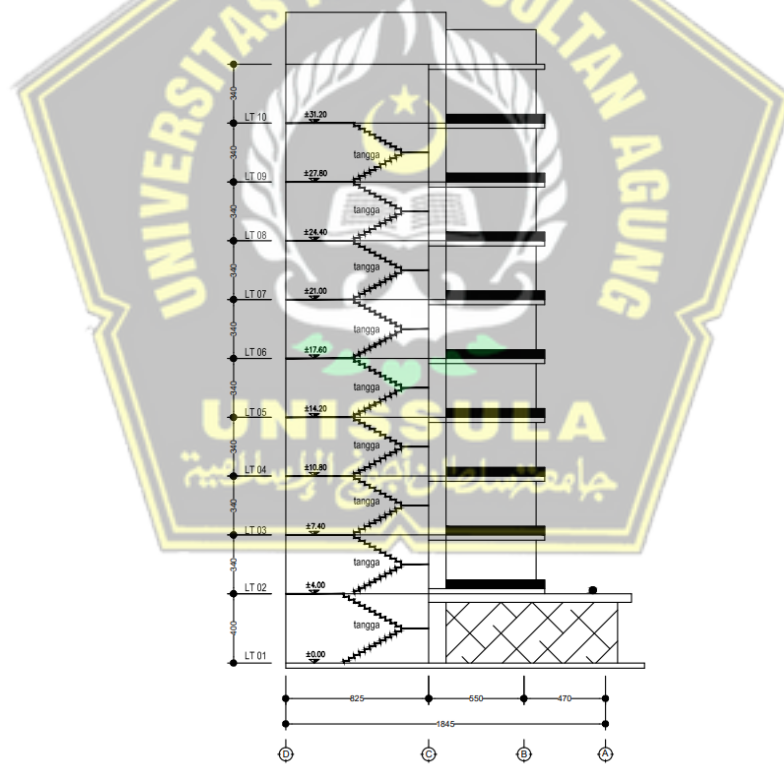
Gambar 3.1. Diagram Alir Perencanaan Umum Struktur Gedung

3.3. Modelling ETABS V.18

Sebelum dilakukan permodelan ETABS, perencanaan Gedung ini telah memiliki gambar desain gambar awal seperti, dibawah ini :



Gambar 3.2. Denah ruangan

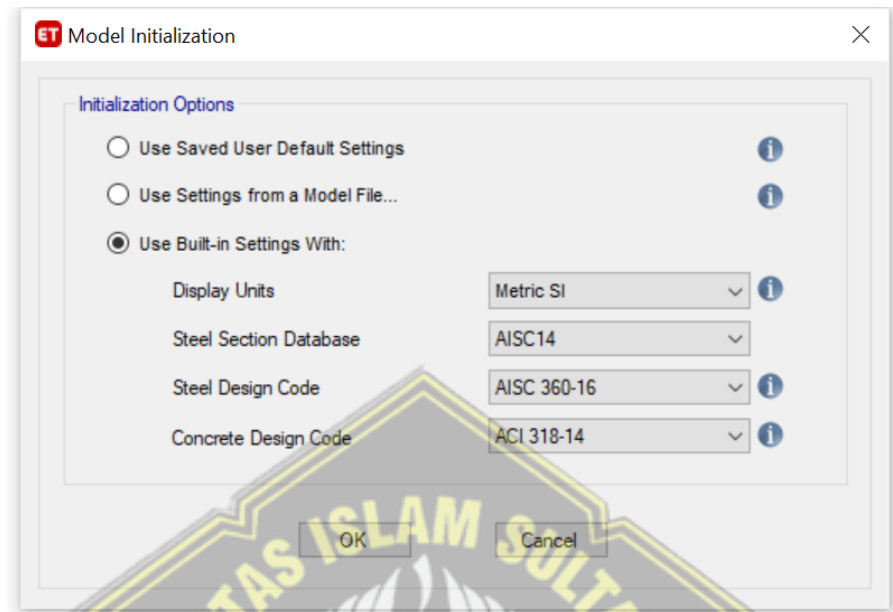


Gambar 3.3. Potongan

Dari gambar diatas dibuat permodelan awal struktur bangunan yang direncanakan menggunakan aplikasi ETABS versi 18, Adapun urutannya perencanaan sebagai berikut :

3.3.1. Model Initialization

Menentukan acuan peraturan terbaru dalam merencanakan struktur Gedung.



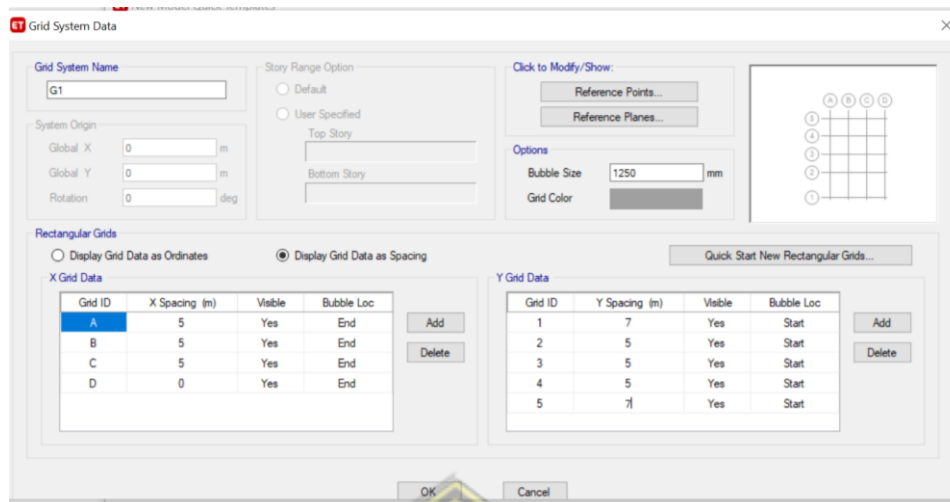
Gambar 3.4. Model Initializaation

3.3.2. Grid System Data

Dalam proses ini yaitu menentukan dimensi ukuran bangunan dari jumlah kolom, luas ruangan dan jumlah tingkat bangunan yang akan direncanakan.



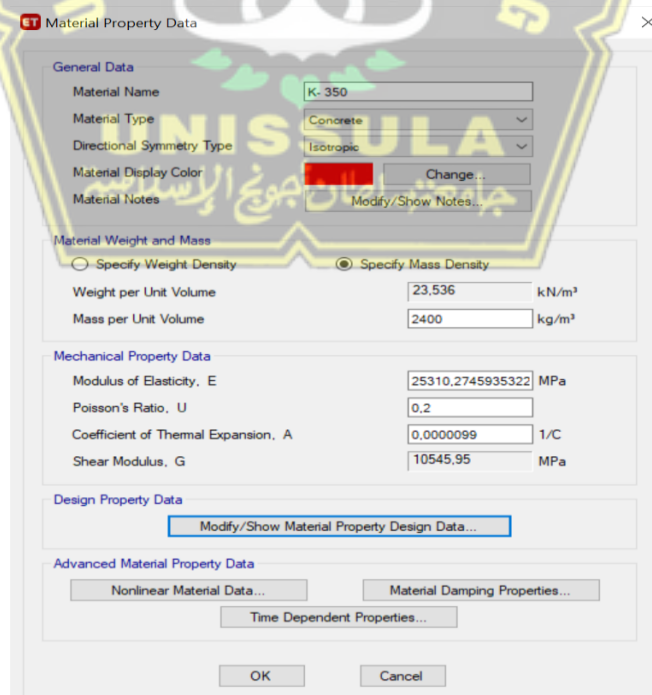
Gambar 3.5. menentukan model awal



Gambar 3.6. Grid System Data

3.3.3. Input material properties

Material konstruksi beton bertulang menggunakan material beton K 350 untuk semua elemen struktur primer seperti balok, kolom, dan pelat. Input data material dilakukan dengan menggunakan ETABS dengan urutan menu pilihan sebagai berikut; *define - Material – Properties*



Gambar 3.7. Input Material properties Mutu Beton

Gambar 3.8. Input Material Properties Mutu Besi Tulangan

3.3.4. Input Frame Section (Elemen Struktur)

Input data *frame section* adalah struktur primer yaitu balok, kolom dan pelat, *Input Frame Section* dilakukan dengan menggunakan ETABS dengan urutan menu pilihan sebagai berikut

3.3.4.1. Input Data Balok

Adapun langkah dalam menginput data balok ke aplikasi ETABS adalah : *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Property*

Gambar 3.9. Input Balok

Property	Value
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0,35
Moment of Inertia about 3 axis	0,35
Mass	1
Weight	1

Gambar 3.10. *Input Stiffness Modifikation Factors*

3.3.4.2. Input Data Kolom

Adapun langkah dalam menginput data balok ke aplikasi ETABS adalah : *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Property*

Property Name: kolom

Material: 4000Psi

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source: Source: User Defined

Section Dimensions: Depth: 400 mm, Width: 400 mm

Property Modifiers: Modify/Show Modifiers..., Currently User Specified

Reinforcement: Modify/Show Rebar...

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column: ☐

Gambar 3.11. *Input Kolom*

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.7
Moment of Inertia about 3 axis	0.7
Mass	1
Weight	1

Gambar 3.12. *Input Stiffness Modifikation Factors*

3.3.4.3. Input Data Pelat

Adapun langkah dalam menginput data pelat ke aplikasi ETABS adalah *Define – Section Properties – Slab Section – Add New Property*

General Data	
Property Name	pelat
Slab Material	K-350
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Modeling Type	Shell-Thin
Modifiers (Currently User Specified)	Modify/Show...
Display Color	Change...
Property Notes	Modify/Show...

Property Data	
Type	Slab
Thickness	120 mm

Gambar 3.13. *Input Pelat Lantai*

ET Property/Stiffness Modification Factors

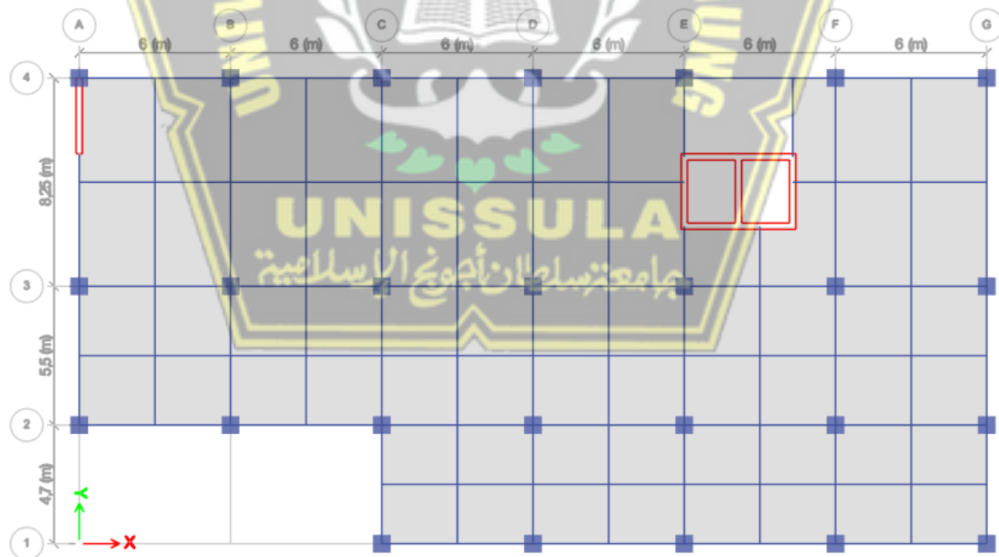
Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Membrane f11 Direction	0,25
Membrane f22 Direction	0,25
Membrane f12 Direction	0,25
Bending m11 Direction	0,25
Bending m22 Direction	0,25
Bending m12 Direction	0,25
Shear v13 Direction	1
Shear v23 Direction	1
Mass	1
Weight	1

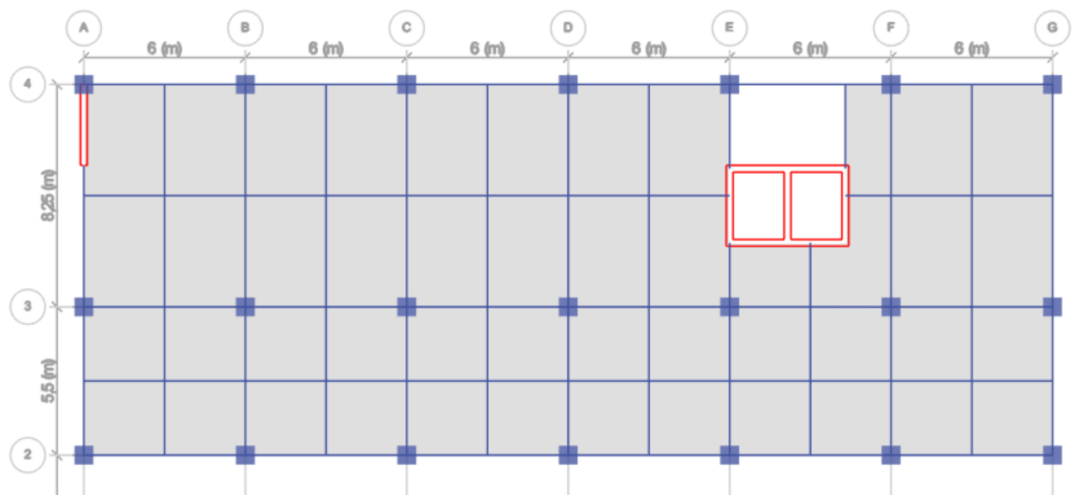
OK Cancel

Gambar 3.14. *Input Stiffness Modifikasi Factors*

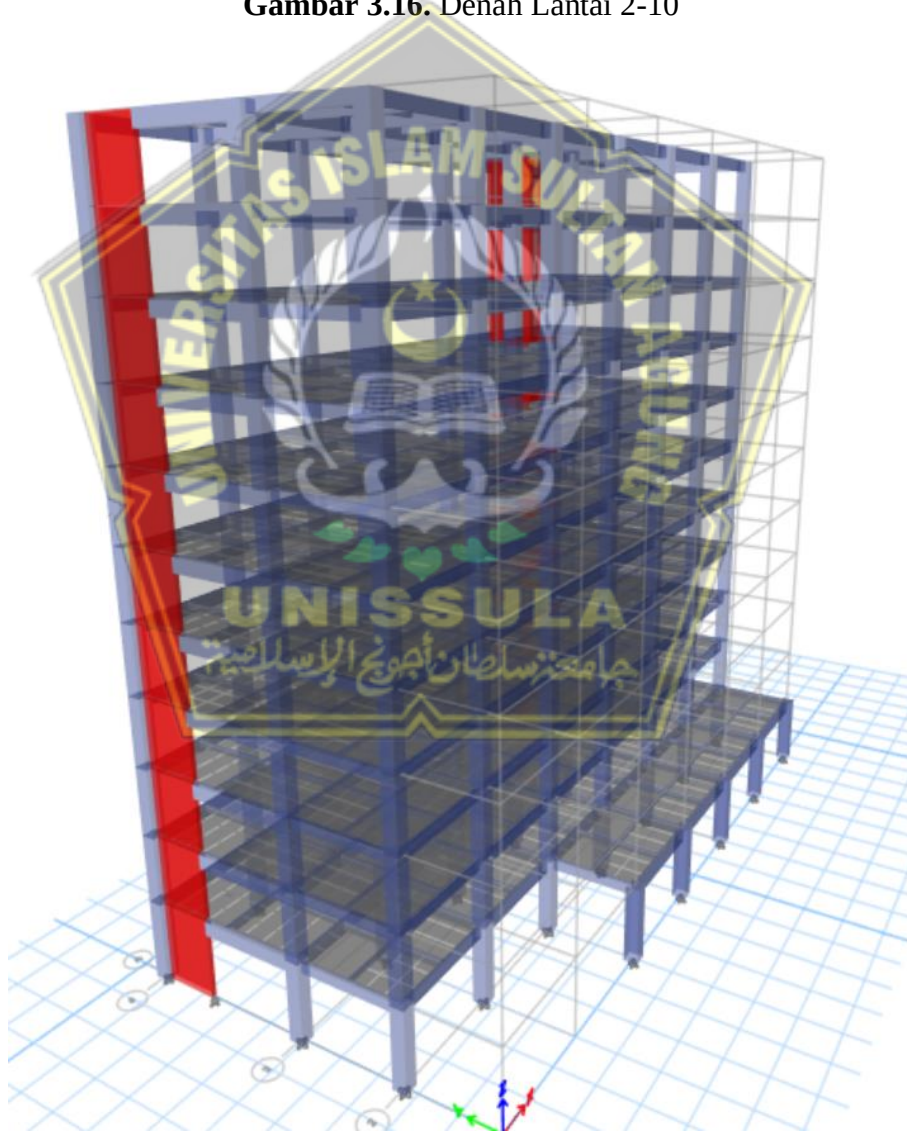
3.3.4.4. Hasil Permodelan



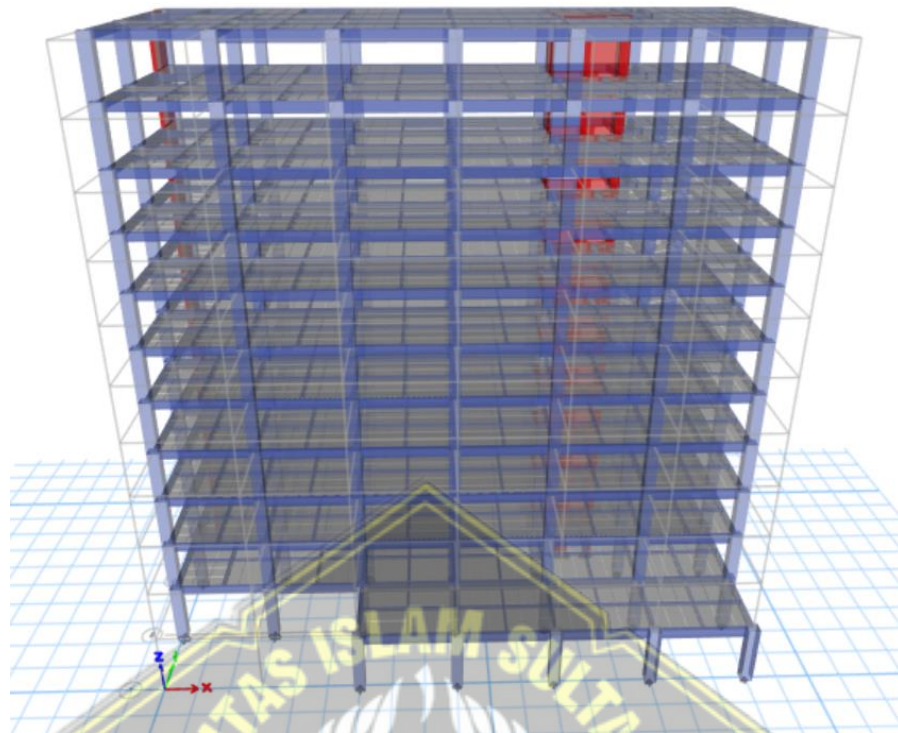
Gambar 3.15. Denah Lantai 1



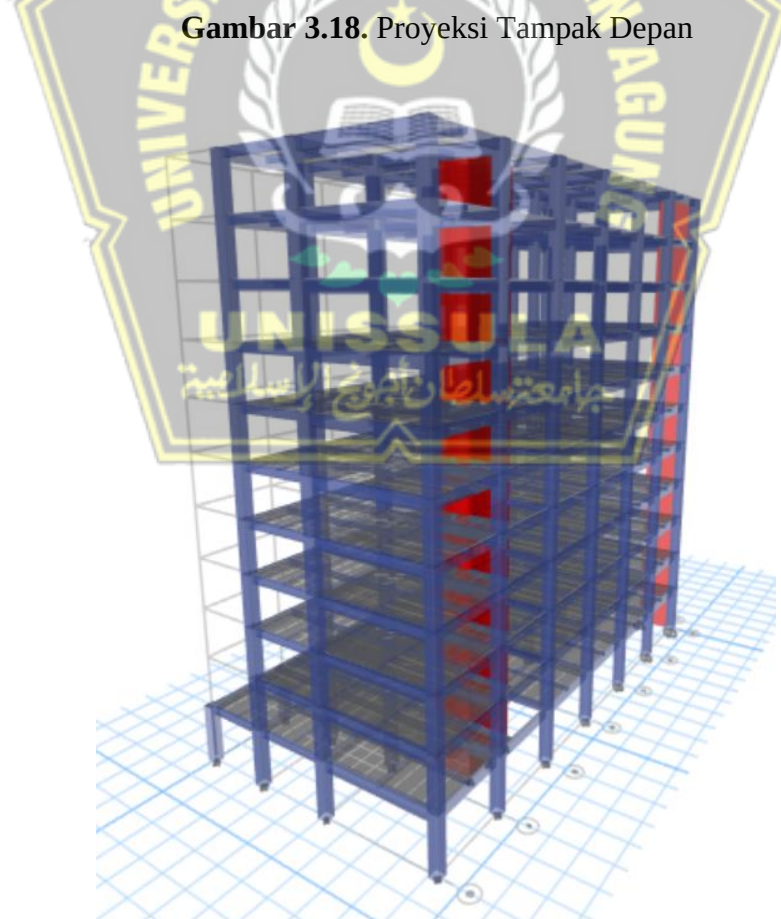
Gambar 3.16. Denah Lantai 2-10



Gambar 3.17. Proyeksi Tampak Kanan



Gambar 3.18. Proyeksi Tampak Depan



Gambar 3.19. proyeksi tampak belakang

BAB IV

PERHITUNGAN ANALISIS DAN PERENCANAAN

4.1. Data Struktur Gedung Percobaan pertama

4.1.1. Dimensi Penampang Struktur

Dimensi penampang struktur gedung direncanakan dengan menggunakan acuan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan 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 10 Lantai studi pada gedung Hotel Amaris Madiun dapat dilihat di tabel 4.1.

Tabel 4.1. Penampang balok

No	Nama Balok	Lebar Balok (mm)	Tinggi Balok (mm)
1	G1	200	400
2	G2	250	500
3	G3	350	700
6	B1	150	200
7	B2	150	300
8	B3	200	400

2. Penampang kolom

Adapun penampang kolom yang dipakai untuk perencanaan struktur gedung ini dengan ukuran 700 x 700 mm

3. Penampang pelat lantai

Penampang pelat lantai yang dipakai untuk perencanaan struktur gedung ini dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Penampang plat

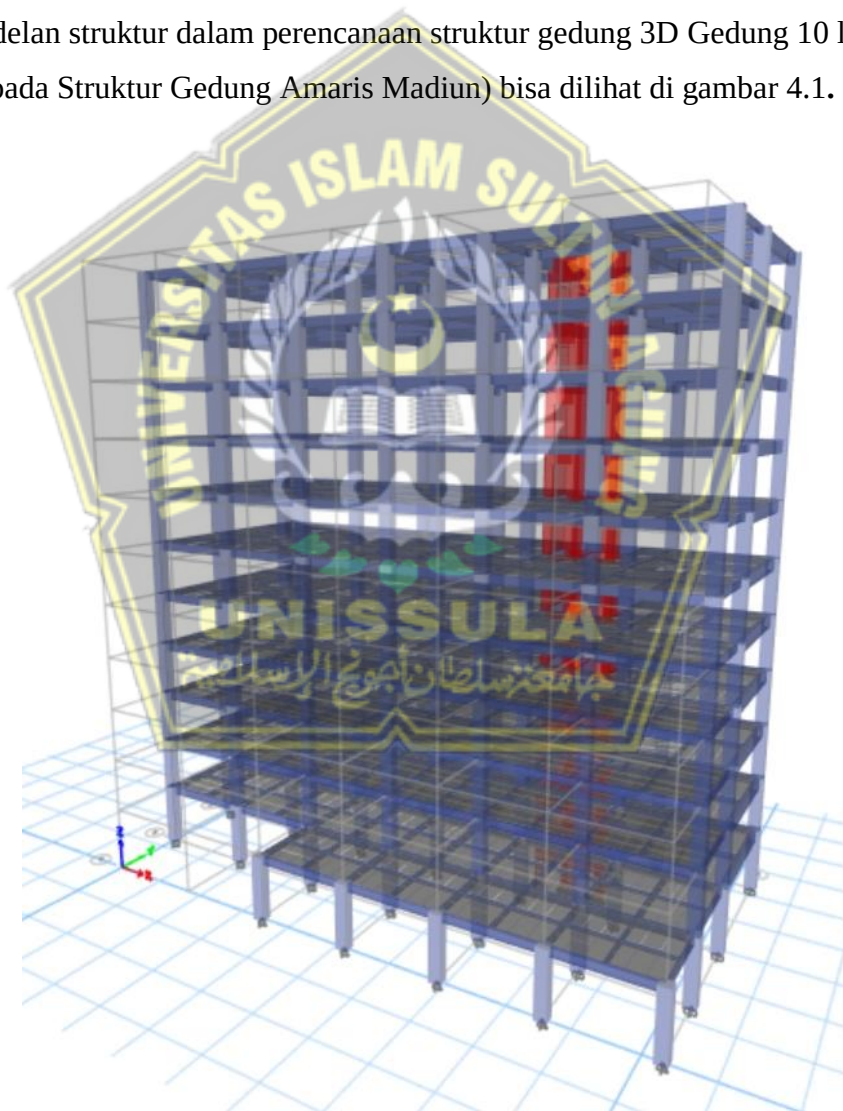
No	Nama Pelat	Tebal Pelat (mm)
1	P1	120
2	P2	120

4. Penampang dinding geser

Pada perencanaan dinding geser ini dibuat dengan tebal 250 mm

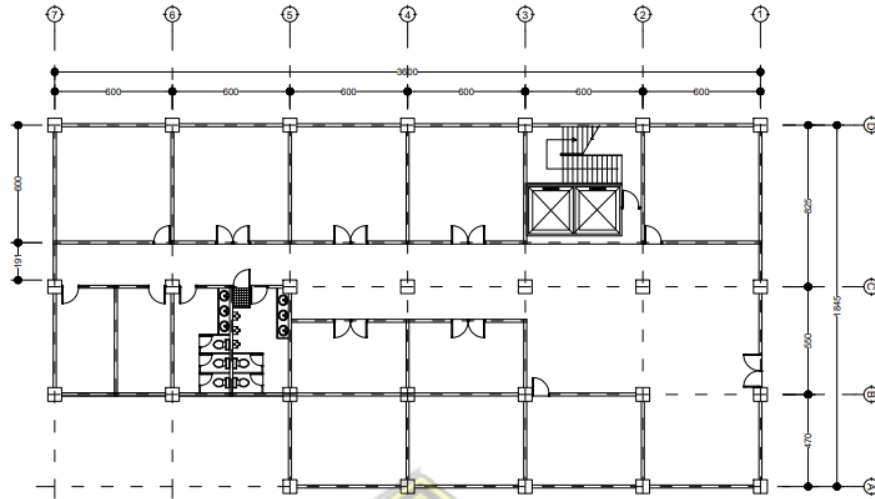
4.1.2. Permodelan Struktur

Permodelan struktur dalam perencanaan struktur gedung 3D Gedung 10 lantai (studi pada Struktur Gedung Amaris Madiun) bisa dilihat di gambar 4.1.



Gambar 4.1. Permodelan struktur 3D Gedung 10 Lantai dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Geser

Denah Gedung Amaris Madiun, dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Denah Gedung Amaris Madiun

4.2. Formulasi Pembebanan Struktur

Pada Redesain perencanaan Struktur Gedung 10 lantai (Studi Pada Struktur Gedung Amaris Madiun), kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada peraturan SNI 2847:2019 pasal 5.3 yaitu:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L$
3. $1,2 D + 1,0 L + 1,0 E_v \pm 1,0 E_h$
4. $0,9 D - 1,0 E_v \pm 1,0 E_h$

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

- | | |
|--------|--|
| Combo1 | $= 1,4 DL$ |
| Combo2 | $= 1,2 DL + 1,6 LL$ |
| Combo3 | $= (1,2 + 0,2 S_{Ds}) DL + 1,0 LL + \rho E_x + 0,3 \rho E_y$ |
| Combo4 | $= (1,2 + 0,2 S_{Ds}) DL + 1,0 LL + \rho E_x - 0,3 \rho E_y$ |
| Combo5 | $= (1,2 + 0,2 S_{Ds}) DL + 1,0 LL - \rho E_x + 0,3 \rho E_y$ |
| Combo6 | $= (1,2 + 0,2 S_{Ds}) DL + 1,0 LL - \rho E_x - 0,3 \rho E_y$ |
| Combo7 | $= (1,2 + 0,2 S_{Ds}) DL + 1,0 LL + 0,3 \rho E_x + \rho E_y$ |
| Combo8 | $= (1,2 + 0,2 S_{Ds}) DL + 1,0 LL - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$ |
| Combo9 | $= (1,2 + 0,2 S_{Ds}) DL + 1,0 LL + 0,3 \rho E_x - \rho E_y$ |

$$\begin{aligned}
\text{Combo10} &= (1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + 1,0 LL - 0,3 \rho E_x - \rho E_y \\
\text{Combo11} &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + \rho E_x + 0,3 \rho E_y \\
\text{Combo12} &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + \rho E_x - 0,3 \rho E_y \\
\text{Combo13} &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - \rho E_x + 0,3 \rho E_y \\
\text{Combo14} &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - \rho E_x - 0,3 \rho E_y \\
\text{Combo15} &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + 0,3 \rho E_x + \rho E_y \\
\text{Combo16} &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - 0,3 \rho E_x + \rho E_y \\
\text{Combo17} &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + 0,3 \rho E_x - \rho E_y \\
\text{Combo18} &= (0,9 - 0,2 S_{DS}) DL - 0,3 \rho E_x - \rho E_y \\
S_{DS} (g) &= 0,6442 \text{ (Amaris Madiun), Tanah Lunak} \\
\rho &= 1,3 \text{ (Lihat Pasal 7.3.4.2 SNI 1726:2019)}
\end{aligned}$$

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

Tabel 4.3. beban mati tambahan pada lantai

Nomor	DL	LL	Ex	Ey
comb 1	1,4	-	-	-
comb 2	1,2	1,6	-	-
comb 3	1,342064	1	1,3	0,39
comb 4	1,342064	1	1,3	-0,39
comb 5	1,342064	1	-1,3	0,39
comb 6	1,342064	1	-1,3	-0,39
comb 7	1,342064	1	0,39	1,3
comb 8	1,342064	1	-0,39	1,3
comb 9	1,342064	1	0,39	-1,3
comb 10	1,342064	1	-0,39	-1,3
comb 11	0,757936	-	1,3	0,39
comb 12	0,757936	-	1,3	-0,39
comb 13	0,757936	-	-1,3	0,39
comb 14	0,757936	-	-1,3	-0,39
comb 15	0,757936	-	0,39	1,3
comb 16	0,757936	-	-0,39	1,3
comb 17	0,757936	-	0,39	-1,3
comb 18	0,757936	-	-0,39	-1,3

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

4.2.1. Beban mati (*Dead Load*)

a. Beban Mati Tambahan Pada Lantai

Beban mati tambahan yang akan didistribusikan pada pelat lantai dapat dilihat pada tabel 4.4.

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		0,20
5	Dinding Rebah		1,80
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 4.5.

Tabel 4.5. Beban Mati Tambahan Pada Atap

No	Jenis Beban Mati	Beban Merata (kN/m ²)
1	Plafond & Penggantung	0,20
2	ME (Mekanikal & Elektrikal)	0,25
TOTAL		0,45

4.2.2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup (*Live Load*) yang akan dimasukan untuk pembebanan merata pada tiap lantai berdasarkan fungsi ruangnya dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Beban Hidup (*Live Load*)

No	Jenis Ruangan	Beban Merata (kN/m ²)
1	Beban Hidup Hotel	3,83
2	Atap	0,96

4.3. Mutu Bahan Struktur

Mutu bahan struktur yang digunakan untuk menganalisis permodelan struktur meliputi :

4.3.1. Mutu beton

Mutu beton yang digunakan dalam perencanaan Gedung ini menggunakan mutu beton 30 Mpa.

4.3.2. Mutu Baja Tulangan

Mutu baja yang akan digunakan untuk menganalisis tulangan pada perencanaan gedung ini dapat dilihat pada tabel 4.7.

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	545	462	599,5
2	Polos ($\emptyset \leq 10$ mm)	235	380	258,5	418

4.4. Analisis Beban Seismik

Analisis beban seismik mengacu pada peraturan SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.

4.4.1. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Bangunan ini berfungsi untuk sarana perkuliahan. Sesuai dengan tabel 4 SNI 1726:2019 gedung ini dikelompokkan dalam kategori risiko II dengan nilai factor keutamaan gempa (I_e) yaitu 1.

4.4.2. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan

Nilai parameter respon spektral percepatan gempa didapat dari Aplikasi Desain Spektra Indonesia tahun 2021 (rsa.ciptakarya.pu.go.id) yang disediakan oleh Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia dengan cara menentukan titik koordinat atau menginput nama kota lokasi perencanaan bangunan sehingga secara otomatis diperoleh hasil nilai parameter respon spektral percepatan gempa terpetakan. Nilai parameter respon spektral percepatan gempa terpetakan di lokasi Madin dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8. Data Paramater *Respon Spektral* Terpetakan

Variabel	Nilai
F_{PGA}	0,37
S_s (g)	0,82
S_1 (g)	0,38

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 niralir rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas. Dalam menentukan klasifikasi situs digunakan nilai penetrasi standart (NSPT) 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	Tabel (d_i)	N-SPT	D_i/N_i
-3	3	1	3
-6	3	1	3
-9	3	1	3
-12	3	2	1,5
-15	3	8	0.38

Kedalaman	Tabel (d_i)	N-SPT	D_i/N_i
-18	3	19	0,16
-21	3	25	0,12
-24	3	31	0,09
-27	3	36	0,08
-30	3	50	0,06
Total	30		11,39

Berdasarkan Tabel 4.9. diatas maka dapat dihitung tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N) yaitu:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{30}{11,39} = 2,63$$

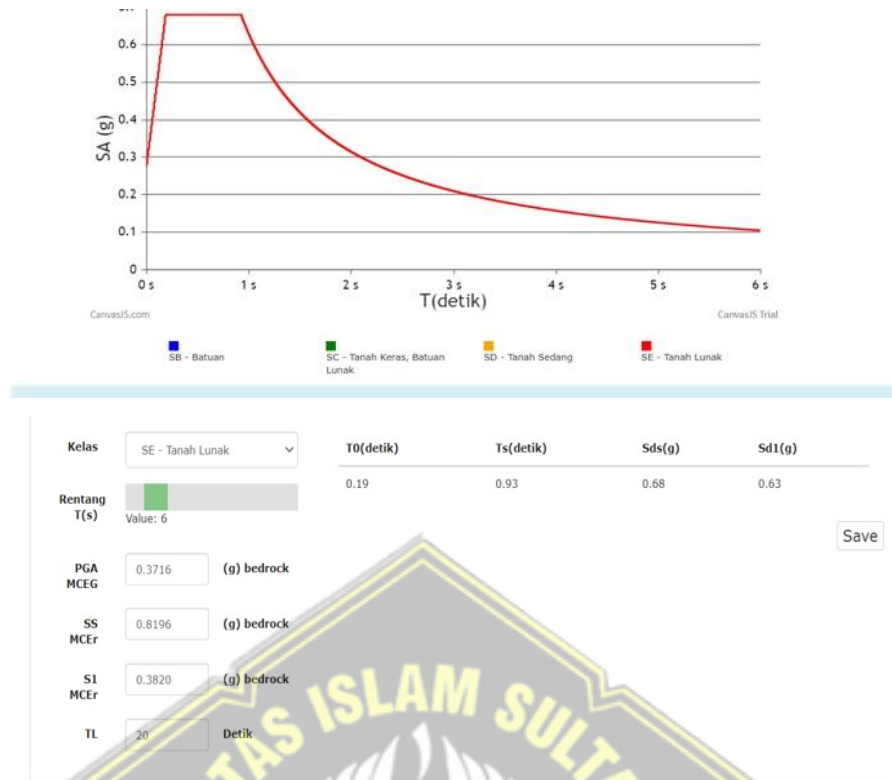
Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N) sebesar 3,41. Jika dilihat dari tabel 5 SNI 1726:2019 apabila nilai (N) < 15 maka termasuk ke dalam kategori **TANAH LUNAK (SE)**.

4.4.4. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget

Nilai parameter respon spektral 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 spektral gempa tertarget berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_A &= 1,3 \\ F_V &= 1,2 \\ S_{MS} &= F_a \times S_s = 1,07 \\ S_{M1} &= F_v \times S_1 = 0,45 \end{aligned}$$

Spektrum respon desain yang diperoleh dari aplikasi desain spektra Indonesia di website resmi Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia sesuai lokasi perencanaan dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Spektrum Respon *Desain* Lokasi Perencanaan

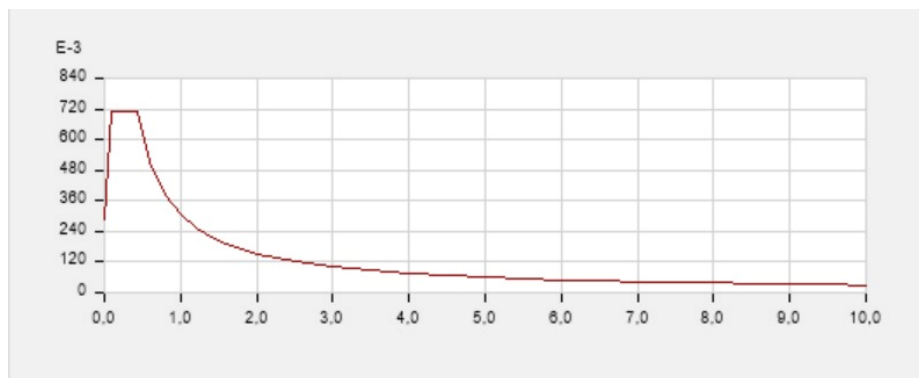
4.4.5. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain

Nilai parameter respon spektral 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 perencanaan proyek maka didapatkan nilai S_{DS} dan S_{D1} yang terlihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10. Data Parameter Respon Spektral Desain

Variabel	Nilai
S_{DS} (g)	0,71
S_{D1} (g)	0,31

Adapun hasil input grafik respon spektrum pada *software* ETABS 18 dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik respon spektrum ETABS 18

4.4.6. Spektrum Respon Desain

Nilai spektrum respon desain dapat didapatkan secara otomatis dari website yang disediakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum sehingga dapat mempermudah dalam penentuan Spektrum Respon Desain. Nilai spektrum respon desain gempa yang dihasilkan dari laman tersebut terlihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11. Nilai Spektrum Respon Percepatan Desain

T detik	S_a (g)	T detik	S_a (g)
0,00	0,28	3,5	0,09
0,09	0,71	4	0,08
0,43	0,71	4,5	0,07
0,6	0,51	5	0,06
0,8	0,38	5,5	0,06
1	0,31	6	0,05
1,2	0,22	6,5	0,05
1,4	0,22	7	0,04
1,6	0,19	7,5	0,04
1,8	0,17	8	0,04
2	0,15	8,5	0,04
2,5	0,12	9	0,03
3	0,1	9,5	0,03
		10	0,03

4.4.7. Kategori Desain Seismik

Mengacu pada SNI 1726:2019 tiap struktur bangunan diharuskan memiliki suatu Kategori Desain Seismik. Gedung yang direncanakan termasuk dalam Kategori Risiko II dan memiliki nilai $S_{DS} = 0,50 \leq S_{DS}$ dan nilai $S_{D1} = 0,20 \leq S_{DS}$ Sehingga gedung perencanaan termasuk kategori desain seismik tinggi yaitu .

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

Sistem penahan gempa lateral dan vertikal dasar pada struktur gedung direncanakan mempunyai penahan gaya seismik sistem rangka pemikul momen khusus. Menggunakan acuan SNI 1726:2019 tabel 12 didapatkan koefisien modifikasi respon (R) = 7, faktor kuat lebih sistem (Ω_0) = 2,5, dan faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5.

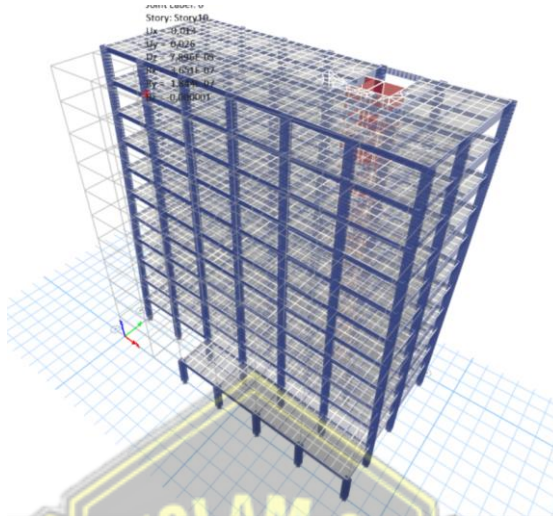
4.4.9. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai

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 dan beban hidup yang bekerja diplat lantai. Untuk bangunan gedung umum, porsi beban hidup yang bersifat tetap diambil sebesar 30% beban hidup total.

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)
L Atap	38	293,44	293,44
Lantai 10	34,6	789,12	789,12
Lantai 9	31,2	1284,80	1284,80
Lantai 8	27,8	1780,48	1780,48
Lantai 7	24,4	2276,16	2276,16
Lantai 6	21	2771,84	2771,84
Lantai 5	17,6	3267,52	3267,52
Lantai 4	14,2	3763,20	3763,20
Lantai 3	10,8	4258,88	4258,88
Lantai 2	7,4	4754,56	4754,56
Lantai 1	4	5324,52	5324,52

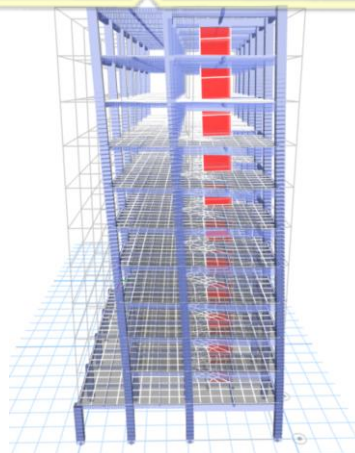
Analisa dinamis getaran bebas akibat gempa dilakukan dengan bantuan software ETABS dan menunjukkan ragam gempa yang terjadi. Bentuk ragam yang terjadi dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4.5. Ragam 1 terjadi dengan arah y translasi dengan nilai $T = 2,408$



Gambar 4.6. Ragam 2 terjadi dengan arah x translasi dengan nilai $T = 1,55$



Gambar 4.7. Ragam 3 terjadi dengan arah z rotasi dengan nilai $T = 1,28$

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 berikut.

Tabel 4.13. Rasio Partisipasi Beban

<i>Case</i>	<i>Item Type</i>	<i>Item</i>	<i>Static</i>	<i>Dynamic</i>
			(%)	(%)
Modal	<i>Acceleration</i>	UX	100	99.13
Modal	<i>Acceleration</i>	UY	100	99.36
Modal	<i>Acceleration</i>	UZ	0	0

Adapun Hasil Partisipasi Massa Bangunan bisa dilihat di tabel 4.14.

Tabel 4.14. Hasil Partisipasi Massa Bangunan

Mode	Period (Sec)	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	2,05	0,06	0,41	0,30	0,13	0,03	0,30
2	1,55	0,57	0,12	0,00	0,199	0,31	0,30
3	1,28	0,04	0,20	0,46	0,31	0,34	0,78
4	0,62	0,01	0,06	0,04	0,49	0,37	0,80
5	0,36	0,11	0,05	0,01	0,58	0,58	0,82
6	0,34	0,01	0,00	0,05	0,60	0,59	0,88
7	0,31	0,06	0,06	0,03	0,71	0,69	0,90
8	0,21	0,01	0,01	0,02	0,74	0,69	0,93
9	0,16	0,04	0,03	0,00	0,79	0,78	0,93
10	0,15	0,00	0,00	0,01	0,81	0,78	0,93
11	0,14	0,02	0,01	0,02	0,85	0,82	0,96
12	0,11	0,00	0,01	0,00	0,85	0,83	0,97
13	0,10	0,02	0,01	0,00	0,88	0,89	0,96
14	0,90	0,00	0,01	0,01	0,92	0,91	0,97

Mode	Period (Sec)	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
15	0,08	0,00	0,00	0,00	0,93	0,91	0,99
16	0,07	0,02	0,00	0,00	0,94	0,94	0,99
17	0,07	0,01	0,00	0,00	0,96	0,95	0,99
18	0,06	0,00	0,00	0,00	0,96	0,95	1,00
19	0,06	0,01	0,00	0,00	0,96	0,98	0,99
20	0,05	0,00	0,01	0,01	0,99	0,97	1,00

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 35 m dan nilai C_t dan x dapat diperoleh dari Tabel 18 SNI 1726:2019 maka dihitung dengan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$C_t = 0,05$$

$$x = 0,75$$

$$T_a = C_t h_n^x$$

$$= 0,05 \times (38)^{0,75}$$

$$= 0,75 \text{ detik}$$

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:

$$C_u = 1,40$$

$$T_{\max} = C_u \times T_a$$

$$= 1,40 \times 0,75 = 1,05 \text{ detik}$$

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

$$T_x = 1,05 \text{ (mode 2)}$$

$$T_y = 1,05 \text{ (mode 1)}$$

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} , T_{cy} lebih kecil dari T_{max} . Maka diambil nilai T_{cx} dan $T_{cy} = 1,05$ 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 4.15.

Tabel 4.15. Output Gaya Geser Dasar Statik

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
L Atap	47,3	272,25	272,25
Story 10	43	679,86	679,86
Story 9	38,7	1037,20	1037,20
Story 8	34,4	1345,71	1345,71
Story 7	30,1	1607,03	1607,03
Story 6	25,8	1822,90	1822,90
Story 5	21,5	1995,30	1995,30
Story 4	17,2	2126,48	2126,48
Story 3	12,9	2219,07	2219,07
Story 2	8,6	2276,30	2276,30
Story 1	4,3	2306,26	2306,26

Sedangkan perhitungan gaya geser dinamik yang dihasilkan oleh ETABS ditunjukkan pada tabel 4.16.

Tabel 4.16. Output Gaya Geser Dasar Dinamik

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
Story 11	38	260,70	172,93
Story 10	34,6	522,04	331,61
Story 9	31,2	658,70	432,65
Story 8	27,8	727,51	511,19
Story 7	24,4	772,34	561,28
Story 6	21	829,71	595,27
Story 5	17,6	922,88	643,18
Story 4	14,2	1046,53	720,75
Story 3	10,8	1178,51	819,19
Story 2	7,4	1292,16	916,14
Story 1	4	1374,58	994,63

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 respons 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 di tabel 4.17.

Tabel 4.17. Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik

Arah	V_{statik} (kN)	$V_{dinamik}$ (kN)	$\frac{V_x}{V_y} \geq 1,0$ $\frac{V_{ix}}{V_{iy}}$
Sumbu X	2306,26	1374,59	1,68
Sumbu Y	2306,27	994,63	2,38

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah X} = \frac{2306,26}{137459} = 1,68$$

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah Y} = \frac{2306,27}{994,63} = 2,38$$

Kemudian gempa diperbesar pada kedua arahnya maka didapatkan nilai gaya geser dasar dinamik dilihat di tabel 4.18.

Tabel 4.18. Output Gaya Geser Dinamik Terkoreksi

Lantai	Elevasi (m)	V _x (kN)	V _y (kN)
L Atap	38	437,39	400,96
Story 10	34,6	875,88	768,90
Story 9	31,2	1105,17	1003,19
Story 8	27,8	1220,64	1185,32
Story 7	24,4	1295,84	1301,42
Story 6	21	1392,10	1380,25
Story 5	17,6	1548,42	1491,34
Story 4	14,2	1755,88	1671,20
Story 3	10,8	1977,29	1899,47
Story 2	7,4	2168,01	2124,26
Story 1	4	2306,2739	2306,242

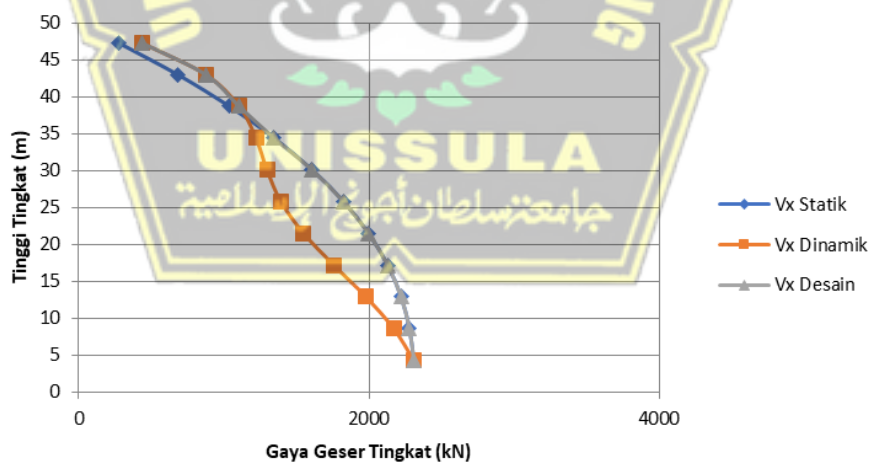
Gaya geser desain yang akan digunakan diambil dari yang terbesar dari gaya geser statik ekuivalen dan gaya geser dinamik terkoreksi. Gaya geser desain untuk setiap lantai dapat dilihat pada tabel 4.19.

Tabel 4.19. Gaya Geser Desain

Story	Elevation (m)	STATIK		DINAMIK CORRECT		GAYA GESER DESAIN	
		V _x	V _y	V _{SPEC -x}	V _{SPEC -y}	V _x	V _y
		kN	kN	kN	kN	kN	kN
L Atap	38	272,25	272,25	437,39	400,96	437,39	400,96
Story10	34,6	679,86	679,86	875,88	768,90	875,87	768,90

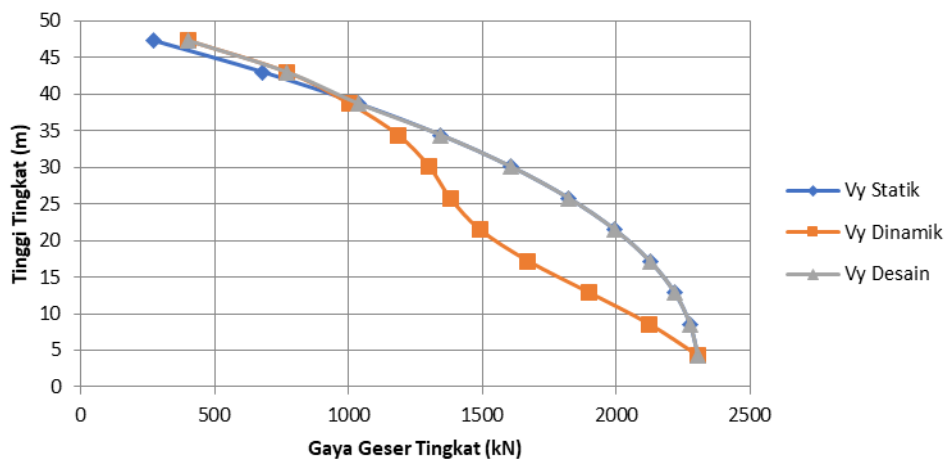
Story	Elevation (m)	STATIK		DINAMIK CORRECT		GAYA GESER DESAIN	
		V_x	V_y	V_{SPEC-x}	V_{SPEC-y}	V_x	V_y
		kN	kN	kN	kN	kN	kN
Story9	31,2	1037,20	1037,20	1105,16	1003,19	1105,16	1037,20
Story8	27,8	1345,71	1345,71	1220,63	1185,31	1345,72	1345,71
Story7	24,4	1607,03	1607,03	1295,84	1301,41	1607,03	1607,03
Story6	21	1822,90	1822,90	1392,10	1380,25	1822,90	1822,90
Story5	17,6	1995,30	1995,30	1548,41	1491,35	1995,31	1995,30
Story4	14,2	2126,48	2126,48	1755,88	1671,21	2126,49	2126,48
Story3	10,8	2219,07	2219,07	1977,29	1899,48	2219,08	2219,07
Story2	7,4	2276,30	2276,30	2168,00	2124,26	2276,30	2276,30
Story1	4	2306,26	2306,26	2306,27	2306,24	2306,27	2306,26

Grafik dari hasil perhitungan gaya geser desain arah X dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8. Distribusi Gaya Geser Arah X

Grafik dari hasil perhitungan gaya geser desain arah X dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9. Distribusi Gaya Geser 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 4.20.

Tabel 4.20. Gaya Gempa Desain

Story	GAYA GESER DESAIN		F, GEMPA DESAIN	
	V_x	V_y	F_x	F_y
	kN	kN	kN	kN
L Atap	437,39	400,96	437,39	400,96
Story10	875,89	768,90	438,50	367,93
Story9	1105,16	1037,20	229,28	268,30
Story8	1345,72	1345,71	240,55	308,51
Story7	1607,03	1607,03	261,31	261,32
Story6	1822,90	1822,90	215,87	215,87
Story5	1995,31	1995,30	172,40	172,41
Story4	2126,49	2126,48	131,18	131,18
Story3	2219,08	2219,07	92,59	92,58
Story2	2276,30	2276,30	57,22	57,21
Story1	2306,27	2306,26	29,98	29,98

4.4.12. Persyaratan Simpangan Antar Lantai

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

1. Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk SRPMK = 5,5 (Tabel 8 SNI 1726:2019),
2. Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1 (Tabel 2 SNI 1726:2019),
3. Faktor redundansi untuk gedung dengan KDS E adalah $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 1726:2019),
4. Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1, simpangan antar lantai tingkat ijin untuk gedung dengan kategori risiko II adalah $= (0,020) \times H$, 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 Tabel 4.21 dan Tabel 4.22.

Tabel 4.21. Besar Simpangan Struktur Arah X

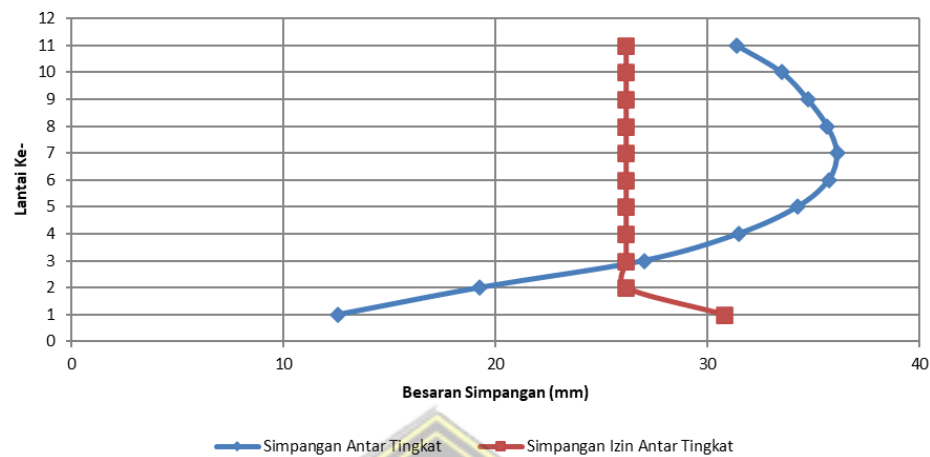
Lantai	H	Simpangan Elastis (δ)	Perpindahan yang diperbesar	Simpangan antar lantai	Simpangan yang diizinkan	Ket
	mm	mm	mm	mm		
L Atap	3400	60,31	331,72	31,37	26,15	NOT
Lt 10	3400	54,61	300,35	33,50	26,15	NOT
Lt 9	3400	48,52	266,85	34,73	26,15	NOT
Lt 8	3400	42,20	232,12	35,66	26,15	NOT
Lt 7	3400	35,72	196,46	36,12	26,15	NOT
Lt 6	3400	29,15	160,34	35,74	26,15	NOT
Lt 5	3400	22,66	124,60	34,26	26,15	NOT
Lt 4	3400	16,43	90,34	31,47	26,15	NOT
Lt 3	3400	10,70	58,87	27,01	26,15	NOT
Lt 2	3400	5,79	31,86	19,27	26,15	OK
Lt1	4000	2,29	12,59	12,59	30,77	OK

Keterangan :

$$\text{Perpindahan yang diperbesar} = \frac{(\delta_e \times C_d)}{I_e}$$

$$\text{Simpangan antar Lantai} = (\delta_n - \delta_i)$$

Grafik dari hasil analisis simpangan antar lantai arah X dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10. Simpangan antar tingkat arah X

Tabel 4.22. Besaran Simpangan Struktur Arah Y

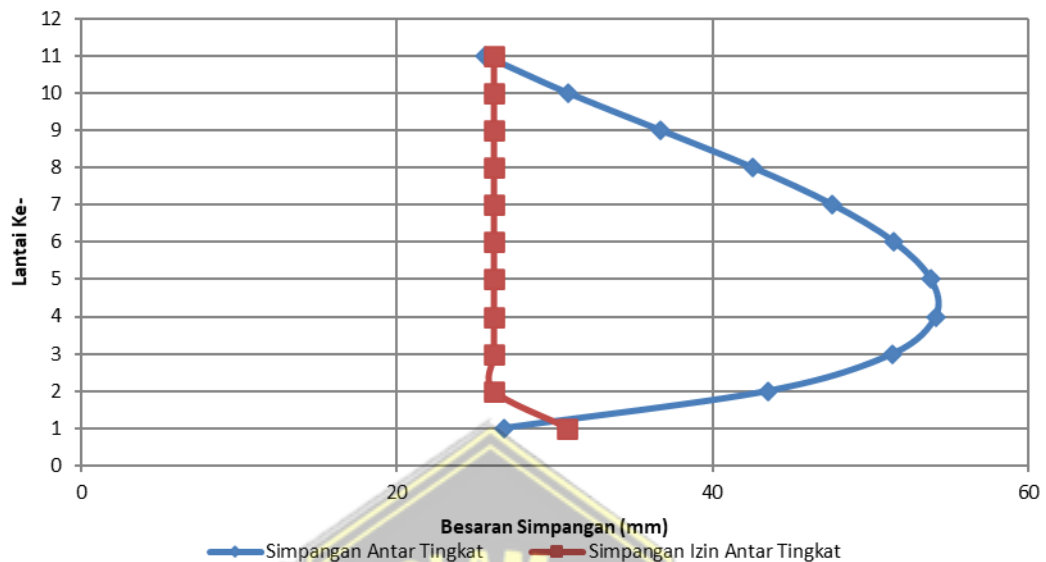
Lantai	H	Simpangan Elastis (δ)	Perpindahan yang diperbesar	Simpangan antar lantai	Simpangan yang diizinkan	Ket
	mm	mm	mm	mm		
Lt 11	3400	84,41	464,23	25,55	26,15	OK
Lt 10	3400	79,76	438,68	30,81	26,15	NOT
Lt 9	3400	74,16	407,87	36,68	26,15	NOT
Lt 8	3400	67,49	371,20	42,51	26,15	NOT
Lt 7	3400	59,76	328,69	47,60	26,15	NOT
Lt 6	3400	51,11	281,09	51,48	26,15	NOT
Lt 5	3400	41,75	229,61	53,81	26,15	NOT
Lt 4	3400	31,96	175,80	54,11	26,15	NOT
Lt 3	3400	22,13	121,69	51,41	26,15	NOT
Lt 2	3400	12,78	70,28	43,52	26,15	NOT
Lt1	4000	4,87	26,76	26,76	30,77	OK

Keterangan :

$$\text{Perpindahan yang diperbesar} = \frac{(\delta_e \times c_d)}{I_e}$$

$$\text{Simpangan antar Lantai} = (\delta_n - \delta_i)$$

Grafik dari hasil analisis simpangan antar lantai arah Y dapat dilihat pada gambar 4.11.



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 Amaris Madiun dengan menambah lantai menjadi 10 lantai, tidak cukup hanya dengan jenis struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

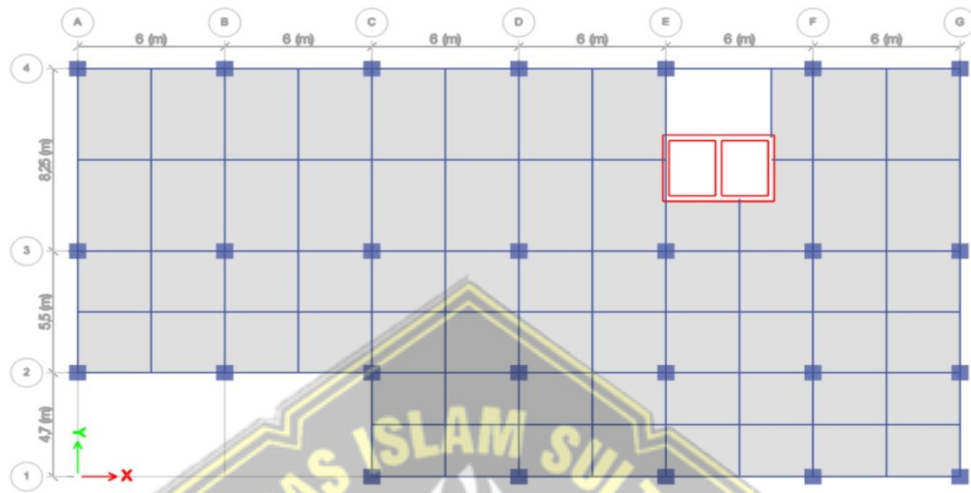
Pada percobaan ini akan dilakukan penambahan elemen struktur yaitu Dinding Geser yang bertujuan untuk memperkaku bangunan sehingga diharapkan pada saat kontrol simpangan antar lantai dapat memenuhi syarat.

4.5.1. Dimensi Dinding Geser

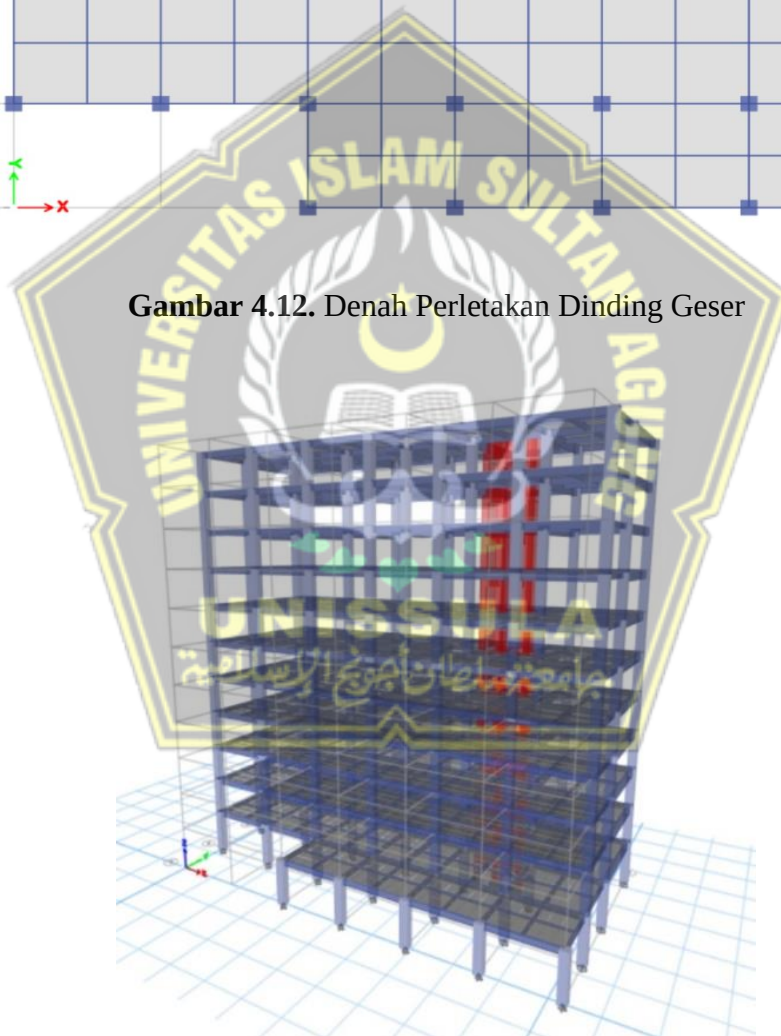
Pada perencanaan dinding geser ini dibuat dengan tebal 250 mm

4.5.2. Permodelan 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 dapat dilihat pada gambar 4.12. dan gambar 4.13.



Gambar 4.12. Denah Perletakan Dinding Geser



Gambar 4.13. Permodelan 3D Dinding Geser

Untuk percobaan pertama antar simpangan tidak memenuhi, kemudian perlu penampahan dinding geser.

4.6. Data Struktur Gedung Percobaan Ke-2

4.6.1. Dimensi Penampang Struktur

1. Penampang balok

Penampang balok yang digunakan untuk redesain struktur gedung 10 Lantai studi pada gedung Hotel Amaris Madiun dapat dilihat di tabel 4.23.

Tabel 4.23. Penampang balok

No	Nama Balok	Lebar Balok (mm)	Tinggi Balok (mm)
1	G1	200	400
2	G2	250	500
3	G3	350	700
6	B1	150	200
7	B2	150	300
8	B3	200	400

2. Penampang kolom

Adapun penampang kolom yang dipakai untuk perencanaan struktur gedung ini dengan ukuran 700 x 700 mm

3. Penampang plat lantai

Penampang pelat lantai yang dipakai untuk perencanaan struktur gedung ini dapat dilihat pada tabel 4.24.

Tabel 4.24. Penampang plat

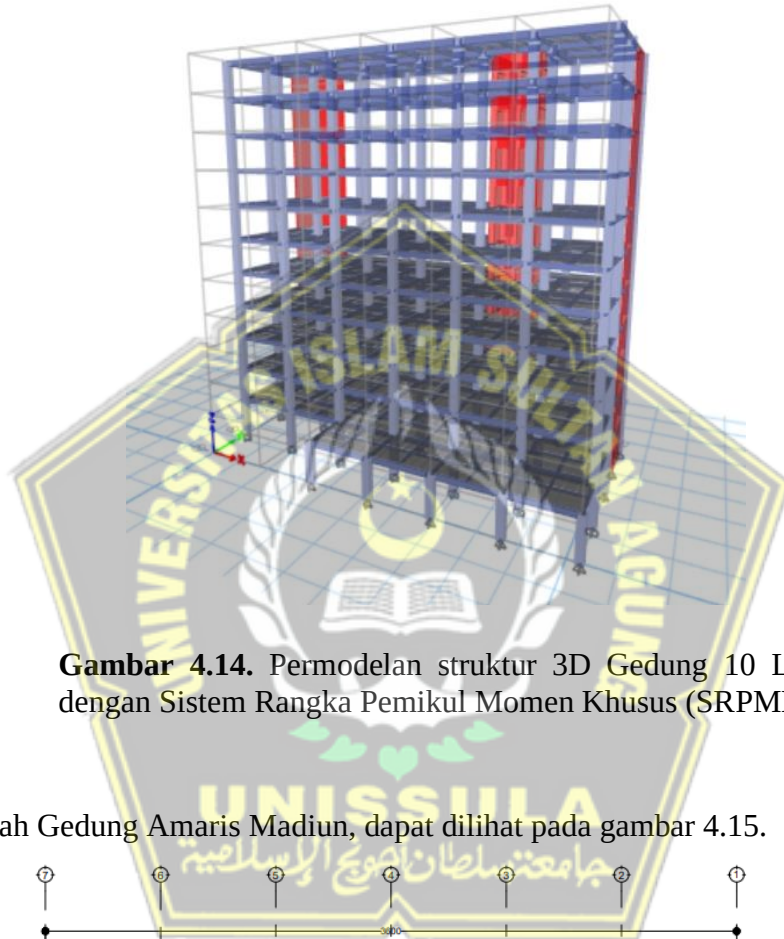
No	Nama Pelat	Tebal Pelat (mm)
1	S1	120
2	S2	120

4. Penampang dinding geser

Pada perencanaan dinding geser ini dibuat dengan tebal 250 mm.

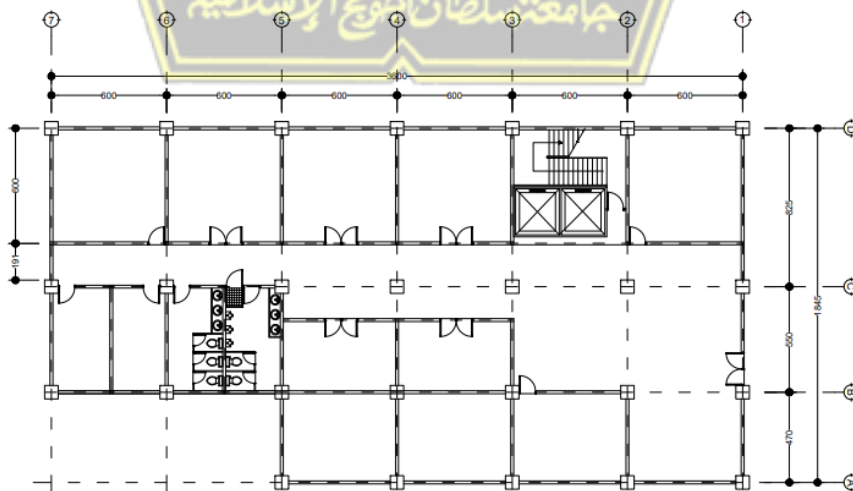
4.6.2. Permodelan Struktur

Permodelan struktur dalam perencanaan struktur gedung 3D Gedung 10 lantai (studi pada Struktur Gedung Amaris Madiun) bisa dilihat di gambar 4.14.



Gambar 4.14. Permodelan struktur 3D Gedung 10 Lantai dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Denah Gedung Amaris Madiun, dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4. 15. Denah Ruang Amaris Madiun

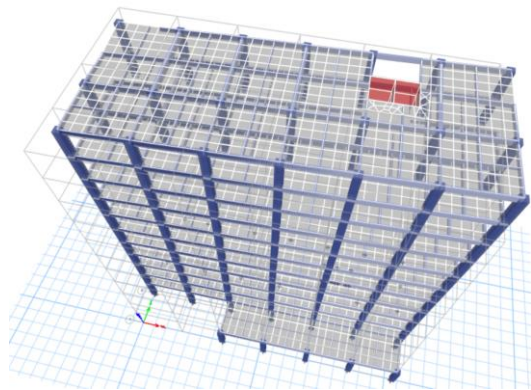
4.7. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai

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 dan beban hidup yang bekerja diplat lantai. Untuk bangunan gedung umum, porsi beban hidup yang bersifat tetap diambil sebesar 30% beban hidup total.

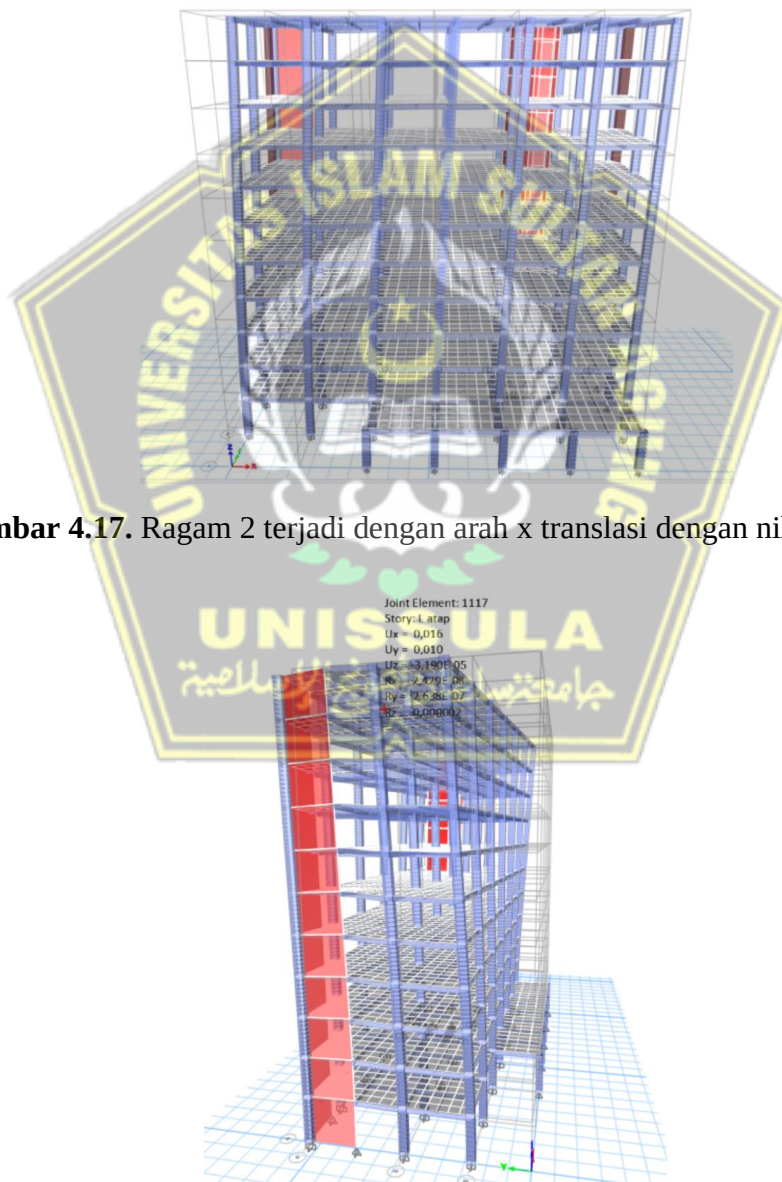
Tabel 4.25. Massa Efektif Tiap Lantai

Lantai	Tinggi lantai Dari dasar, Z_x (m)	Berat lantai, W_x (Ton)	Berat lantai, W_y (Ton)
L Atap	38	290,64	290,64
Lantai 10	34,6	793,52	793,52
Lantai 9	31,2	1296,40	1296,40
Lantai 8	27,8	1799,28	1799,28
Lantai 7	24,4	2302,16	2302,16
Lantai 6	21	2805,04	2805,04
Lantai 5	17,6	3307,92	3307,92
Lantai 4	14,2	3810,80	3810,80
Lantai 3	10,8	4313,67	4313,67
Lantai 2	7,4	4816,55	4816,55
Lantai 1	4	5395,48	5395,48

Analisa dinamis getaran bebas akibat gempa dilakukan dengan bantuan software ETABS dan menunjukkan ragam gempa yang terjadi. Bentuk ragam yang terjadi dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 4.16. Ragam 1 terjadi dengan arah y translasi dengan nilai $T = 1,32$



Gambar 4.17. Ragam 2 terjadi dengan arah x translasi dengan nilai $T = 1,20$

Joint Element: 1117
 Story: L atap
 Ux = 0,016
 Uy = 0,010
 Uz = -3,150E-05
 Rx = 2,479E-06
 Ry = 9,638E-07
 Rz = 4,094E-02

Gambar 4.18. Ragam 3 terjadi dengan arah z rotasi dengan nilai $T = 0,88$

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 berikut.

Tabel 4.26. 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	99.75
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UY	100	99.55
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UZ	0	0

Adapun Hasil Partisipasi Massa Bangunan bisa dilihat di tabel 4.27.

Tabel 4.27. Hasil Partisipasi Massa Bangunan

Mode	Period (Sec)	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	1.32	0.28	0.36	0.05	0.17	0.14	0.05
2	1.20	0.33	0.3	0.04	0.33	0.29	0.07
3	0.88	0.09	0.00	0.61	0.33	0.33	0.69
4	0.33	0.10	0.05	0.02	0.44	0.52	0.72
5	0.28	0.04	0.13	0.01	0.67	0.63	0.72
6	0.21	0.02	0.00	0.15	0.66	0.69	0.86
7	0.15	0.04	0.02	0.01	0.70	0.77	0.87
8	0.12	0.02	0.05	0.01	0.81	0.79	0.87
9	0.09	0.01	0.00	0.06	0.81	0.83	0.93
10	0.09	0.03	0.01	0.01	0.83	0.88	0.93
11	0.07	0.00	0.03	0.00	0.89	0.89	0.94
12	0.06	0.01	0.00	0.01	0.91	0.93	0.94
13	0.05	0.00	0.00	0.03	0.91	0.95	0.97
14	0.05	0.00	0.01	0.01	0.95	0.95	0.96
15	0.05	0.01	0.00	0.01	0.95	1.00	0.97
16	0.04	0.01	0.00	0.01	0.96	0.98	0.98
17	0.04	0.00	0.00	0.01	0.97	0.98	0.98

Mode	Period (Sec)	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
18	0.04	0.01	0.00	0.01	0.98	0.99	0.99
19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.98	1.00	0.99
20	0.03	0.00	0.01	0.00	0.98	0.99	0.98

4.7.1. 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 35 m dan nilai C_t dan x dapat diperoleh dari Tabel 18 SNI 1726:2019 maka dihitung dengan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 C_t &= 0,05 \\
 x &= 0,75 \\
 T_a &= C_t h_n^x \\
 &= 0,05 \times (38)^{0,75} = 0,75 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}
 C_u &= 1,40 \\
 T_{\max} &= C_u \times T_a \\
 &= 1,40 \times 0,75 \\
 &= 1,05 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 T_x &= 1,05 \text{ (mode 2)} \\
 T_y &= 1,05 \text{ (mode 1)}
 \end{aligned}$$

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} , T_{cy} lebih kecil dari T_{max} . Maka diambil nilai T_{cx} dan $T_{cy} = 1,05$ detik

4.7.2. 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 4.28.

Tabel 4.28. Output Gaya Geser Dasar Statik

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
L Atap	38	270.21	270.21
Story 10	34,6	684.06	684.06
Story 9	31,2	1046.84	1046.84
Story 8	27,8	1360.07	1360.07
Story 7	24,4	1625.36	1625.36
Story 6	21	1844.54	1844.54
Story 5	17,6	2019.57	2019.57
Story 4	14,2	2152.75	2152.75
Story 3	10,8	2246.76	2246.76
Story 2	7,4	2304.85	2304.85
Story 1	4	2335.31	2335.31

Sedangkan perhitungan gaya geser dinamik yang dihasilkan oleh ETABS ditunjukkan pada tabel 4.29.

Tabel 4.29. Output Gaya Geser Dasar Dinamik

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
Story 11	38	232.11	271.29
Story 10	34,6	491.00	559.79
Story 9	31,2	651.32	722.93
Story 8	27,8	752.45	821.29
Story 7	24,4	828.00	897.67
Story 6	21	906.73	979.99
Story 5	17,6	999.88	1081.72
Story 4	14,2	1101.62	1199.70
Story 3	10,8	1202.72	1319.10
Story 2	7,4	1292.25	1419.77
Story 1	4	1360.68	1488.79

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 respons 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 di tabel 4.30.

Tabel 4.30. Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik

Arah	Vstatik (kN)	Vdinamik (kN)	$\frac{V_x}{V_y} \geq 1,0$
Sumbu X	2335.31	1360.68	1.71
Sumbu Y	2335.31	1488.79	1.57

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah X} = \frac{2335,31}{1368,68} = 1,71$$

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah Y} = \frac{2335,31}{1488,79} = 1,57$$

Kemudian gempa diperbesar pada kedua arahnya maka didapatkan nilai gaya geser dasar dinamik dilihat di tabel 4.31.

Tabel 4.31. Output Gaya Geser Dinamik Terkoreksi

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
L Atap	38	398.37	425.56
Story 10	34,6	842.69	878.07
Story 9	31,2	1117.86	1133.97
Story 8	27,8	1291.44	1288.26
Story 7	24,4	1421.08	1408.08
Story 6	21	1556.21	1537.21
Story 5	17,6	1716.09	1696.78
Story 4	14,2	1890.70	1881.84
Story 3	10,8	2064.23	2069.13
Story 2	7,4	2217.89	2227.04
Story 1	4	2335.33	2335.33

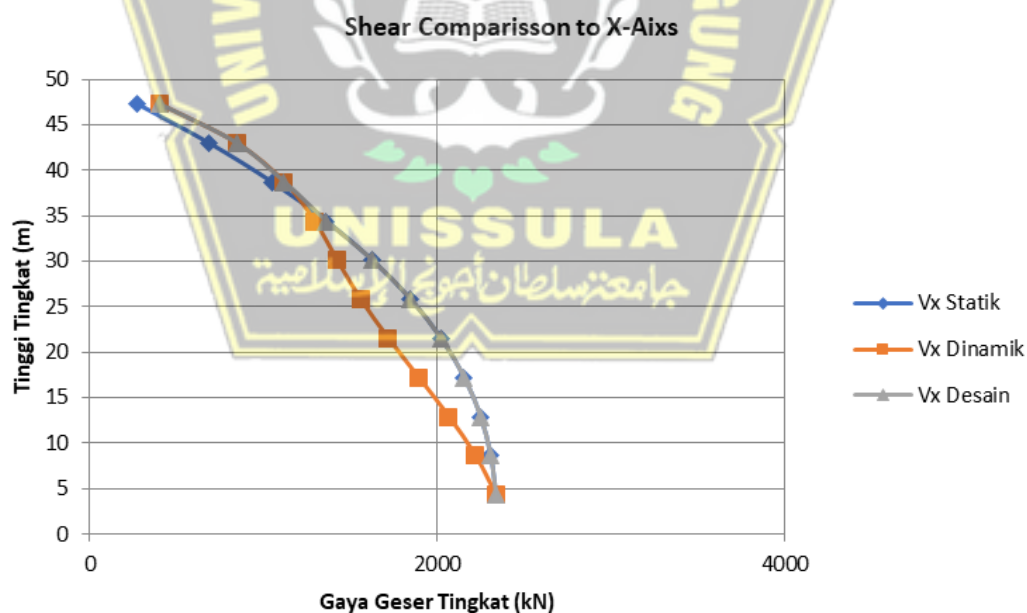
Gaya geser desain yang akan digunakan diambil dari yang terbesar dari gaya geser statik ekuivalen dan gaya geser dinamik terkoreksi. Gaya geser desain untuk setiap lantai dapat dilihat pada tabel 4.32.

Tabel 4.32. Gaya Geser Desain

Story	Elevation (m)	STATIK		DINAMIK CORRECT		GAYA GESER DESAIN	
		V_x	V_y	V_{SPEC-x}	V_{SPEC-y}	V_x	V_y
		kN	kN	kN	kN	kN	kN
L Atap	38	270.21	270.21	398.37	425.56	398.37	425.56
Story10	34,6	684.06	684.06	842.69	878.07	842.69	878.07
Story9	31,2	1046.84	1046.84	1117.86	1133.97	1117.86	1133.97

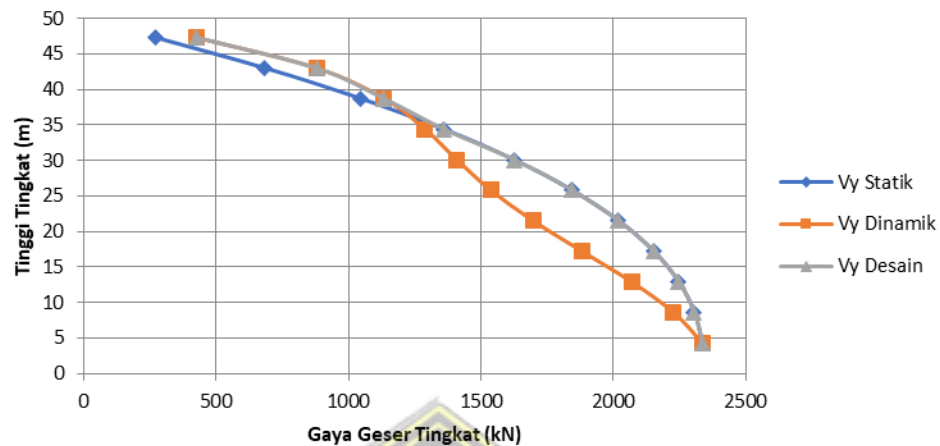
Story	Elevation (m)	STATIK		DINAMIK CORRECT		GAYA GESER DESAIN	
		V_x	V_y	V_{SPEC-x}	V_{SPEC-y}	V_x	V_y
		kN	kN	kN	kN	kN	kN
Story8	27,8	1360.07	1360.07	1291.44	1288.26	1291.44	1288.26
Story7	24,4	1625.36	1625.36	1421.08	1408.08	1421.08	1408.08
Story6	21	1844.54	1844.54	1556.21	1537.21	1556.21	1537.21
Story5	17,6	2019.57	2019.57	1716.09	1696.78	1716.09	1696.78
Story4	14,2	2152.75	2152.75	1890.70	1881.84	1890.70	1881.84
Story3	10,8	2246.76	2246.76	2064.23	2069.13	2064.23	2069.13
Story2	7,4	2304.85	2304.85	2217.89	2227.04	2217.89	2227.04
Story1	4	2335.31	2335.31	2335.33	2335.33	2335.33	2335.33

Grafik dari hasil perhitungan gaya geser desain arah X dapat dilihat pada gambar 4.19.



Gambar 4.19. Distribusi Gaya Geser Arah X

Grafik dari hasil perhitungan gaya geser desain arah X dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.20. Distribusi Gaya Geser 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 4.33.

Tabel 4.33. Gaya Gempa Desain

Story	GAYA GESER DESAIN		F, GEMPA DESAIN	
	V_x	V_y	F_x	F_y
	kN	kN	kN	kN
L Atap	398.37	425.56	398.37	425.56
Story10	842.69	878.07	444.32	452.52
Story9	1117.85	1133.97	275.16	255.90
Story8	1360.06	1360.07	242.21	226.10
Story7	1625.36	1625.36	265.30	265.30
Story6	1844.53	1844.54	219.17	219.16
Story5	2019.57	2019.57	175.04	175.03
Story4	2152.75	2152.75	133.18	133.19
Story3	2246.75	2246.76	94.00	94.00
Story2	2304.85	2304.85	58.09	58.10
Story1	2335.32	2335.33	30.47	30.47

4.7.3. Persyaratan Simpangan Antar Lantai

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

1. Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk SRPMK = 5,5 (Tabel 8 SNI 1726:2019),
2. Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1 (Tabel 2 SNI 1726:2019),
3. Faktor redundansi untuk gedung dengan KDS E adalah $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 1726:2019),
4. Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1, simpangan antar lantai tingkat ijin untuk gedung dengan kategori risiko II adalah $= (0,020) \times H$, 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 Tabel 4.34 dan Tabel 4.35.

Tabel 4.34. Besar Simpangan Struktur Arah X

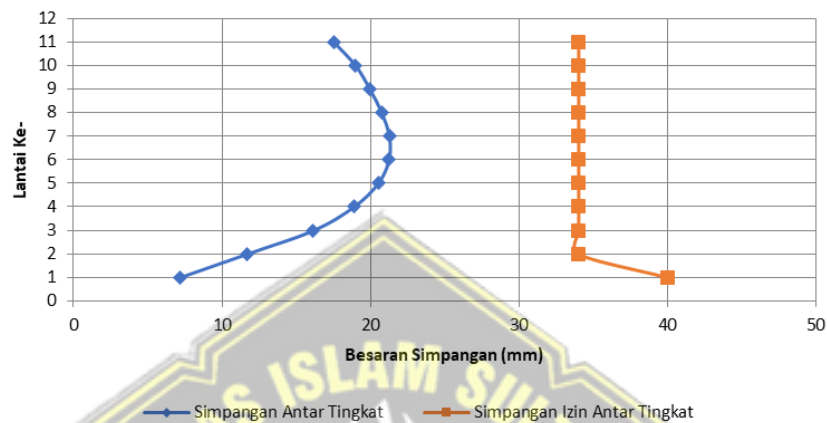
Lantai	H	Simpangan Elastis (δ)	Perpindahan yang diperbesar	Simpangan antar lantai	Simpangan yang diizinkan	Ket
	mm	mm	mm	mm		
L Atap	3400	35.28	194.04	17.52	34.00	OK
Lt 10	3400	32.10	176.52	18.99	34.00	OK
Lt 9	3400	28.64	157.54	19.95	34.00	OK
Lt 8	3400	25.02	137.59	20.75	34.00	OK
Lt 7	3400	21.24	116.84	21.26	34.00	OK
Lt 6	3400	17.38	95.58	21.24	34.00	OK
Lt 5	3400	13.52	74.34	20.51	34.00	OK
Lt 4	3400	9.79	53.83	18.87	34.00	OK
Lt 3	3400	6.36	34.96	16.14	34.00	OK
Lt 2	3400	3.42	18.82	11.68	34.00	OK
Lt1	4000	1.30	7.14	7.14	40.00	OK

Keterangan :

$$\text{Perpindahan yang diperbesar} = \frac{(\delta_e \times c_d)}{I_e}$$

$$\text{Simpangan antar Lantai} = (\delta_n - \delta_i)$$

Grafik dari hasil analisis simpangan antar lantai arah X dapat dilihat pada gambar 4.21.



Gambar 4.21. Simpangan antar tingkat arah X

Tabel 4.35. Besaran Simpangan Struktur Arah Y

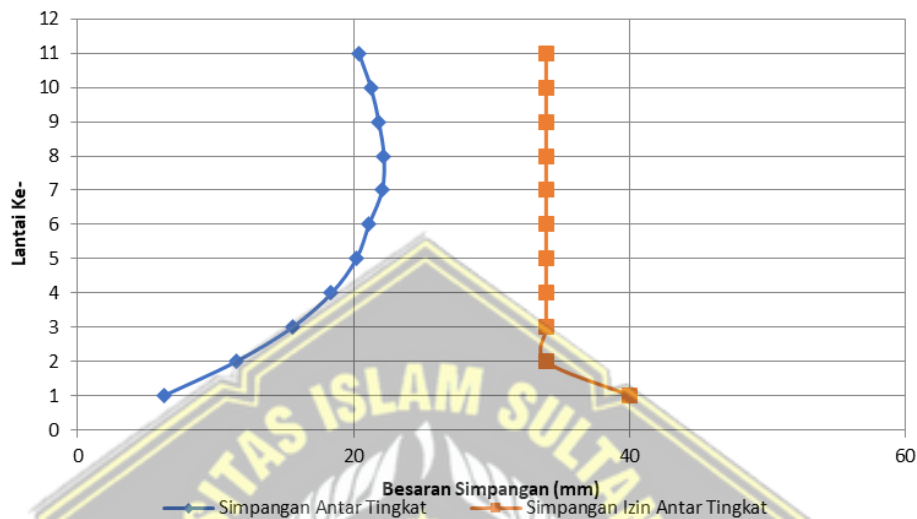
Lantai	H	Simpangan Elastis (δ)	Perpindahan yang diperbesar	Simpangan antar lantai	Simpangan yang diizinkan	Ket
	mm	Mm	mm	mm		
Lt 11	3400	36.48	200.63	20.37	34.00	OK
Lt 10	3400	32.78	180.26	21.24	34.00	OK
Lt 9	3400	28.91	159.02	21.81	34.00	OK
Lt 8	3400	24.95	137.21	22.18	34.00	OK
Lt 7	3400	20.91	115.03	22.06	34.00	OK
Lt 6	3400	16.90	92.97	21.10	34.00	OK
Lt 5	3400	13.07	71.87	20.19	34.00	OK
Lt 4	3400	9.40	51.69	18.39	34.00	OK
Lt 3	3400	6.05	33.30	15.56	34.00	OK
Lt 2	3400	3.23	17.74	11.49	34.00	OK
Lt1	4000	1.14	6.25	6.25	40.00	OK

Keterangan :

$$\text{Perpindahan yang diperbesar} = \frac{(\delta_e \times c_d)}{I_e}$$

$$\text{Simpangan antar Lantai} = (\delta_n - \delta_i)$$

Grafik dari hasil analisis simpangan antar lantai arah Y dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.22. Simpangan antar tingkat arah Y

Berdasarkan kontrol simpangan antar lantai di atas, terdapat simpangan yang melebihi batas izinnnya. 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.

4.8. Perkuatan Struktur Dengan Dinding Geser

Berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan untuk meredesain Gedung Amaris Madiun dengan menambah lantai menjadi 10 lantai, tidak cukup hanya dengan jenis struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

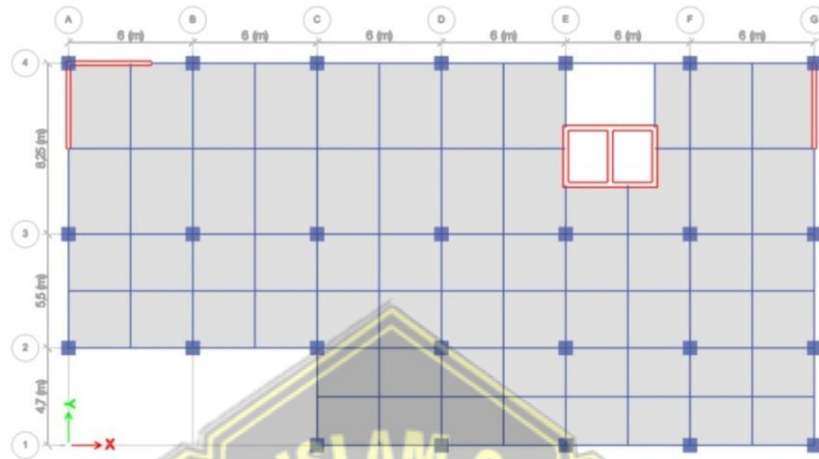
Pada percobaan ini akan dilakukan penambahan elemen struktur yaitu Dinding Geser yang bertujuan untuk memperkaku bangunan sehingga diharapkan pada saat kontrol simpangan antar lantai dapat memenuhi syarat.

4.8.1. Dimensi Dinding Geser

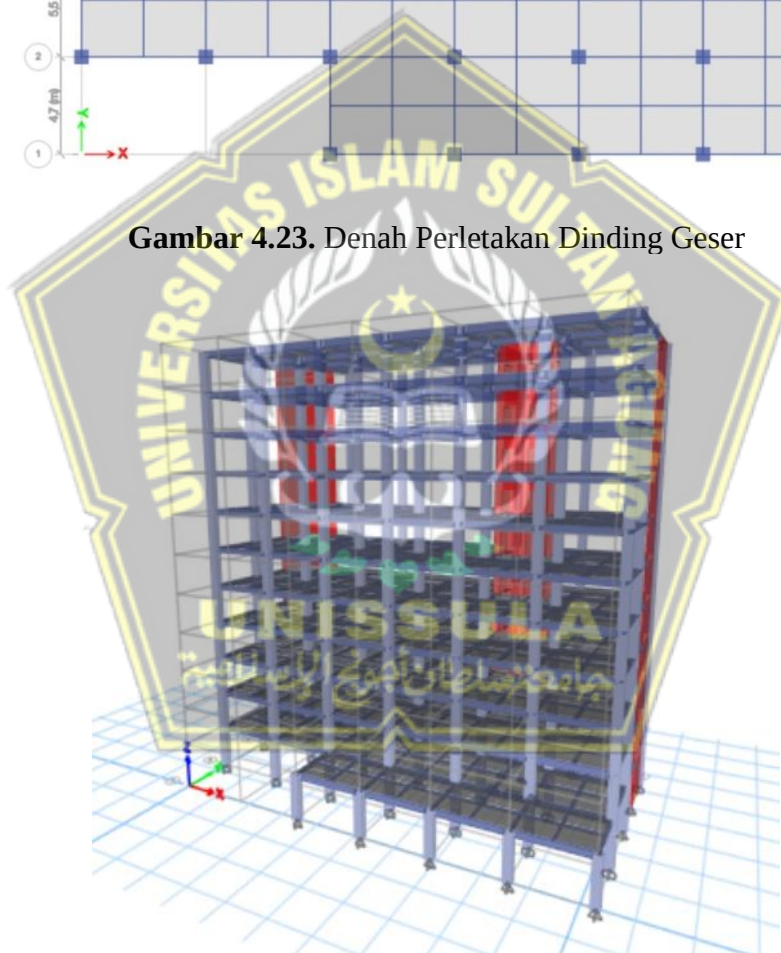
Pada perencanaan dinding geser ini dibuat dengan tebal 250 mm.

4.8.2. Permodelan 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 dapat dilihat pada gambar 4.23. dan gambar 4.24.



Gambar 4.23. Denah Perletakan Dinding Geser



Gambar 4.24. Permodelan 3D Dinding Geser

4.9. 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 :

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

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 seperti didefinisikan dalam 0, terjadi secaraserentak 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 maks, maka pengaruh P-delta bisadiabaikan. Nilai θ maksimum dihitung menggunakan persamaan berikut:

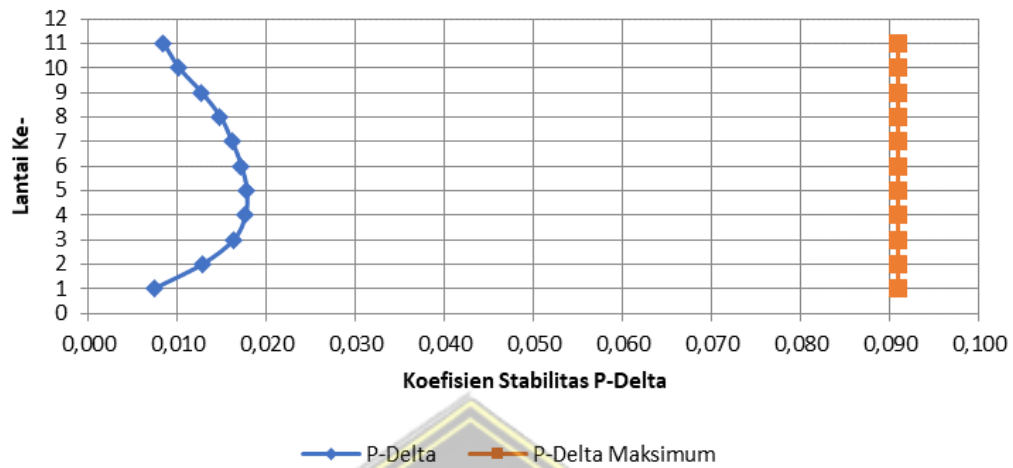
$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta_{cd}} \leq 0,25$$

Hasil dari pengecekan P-Delta arah X dapat dilihat di tabel 4.36.

Tabel 4.36. Pengecekan P-Delta arah X

Lantai	Hsx	Δ_i	P	V_x	θ	$\theta_{\max}$	Cek
	mm	mm	kN	KN			
11	3400	17,52	3574,07	398,37	0,01	0,10	STABIL
10	3400	18,99	8413,31	842,69	0,02	0,10	STABIL
9	3400	19,95	13252,55	1117,85	0,02	0,10	STABIL
8	3400	20,75	18091,79	1360,06	0,01	0,10	STABIL
7	3400	21,26	22931,02	1625,36	0,01	0,10	STABIL
6	3400	21,24	27770,26	1844,53	0,01	0,10	STABIL
5	3400	20,51	32609,50	2019,57	0,02	0,10	STABIL
4	3400	18,87	37448,72	2152,75	0,01	0,10	STABIL
3	3400	16,14	42287,96	2246,75	0,01	0,10	STABIL
2	3400	11,68	47127,20	2304,85	0,01	0,10	STABIL
1	4000	7,14	52942,72	2335,32	0,01	0,10	STABIL

Dari pengecekan P-Delta arah X menghasilkan grafik stabilitas P-Delta arah X dapat dilihat di gambar 4.25.



Gambar 4.25. Cek stabilitas P-Delta Arah X

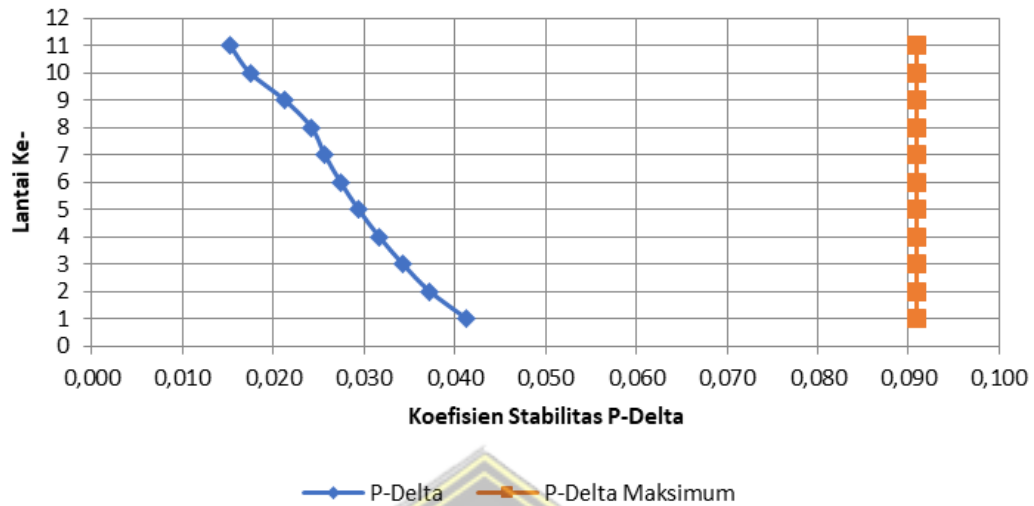
Sedangkan untuk hasil dari pengecekan P-Delta arah Y dapat dilihat pada tabel 4.37.

Tabel 4.37. Pengecekan P-Delta arah Y

Lantai	Hsx	Δi	P	V _x	θ	θ_{max}	Cek
	mm	mm	kN	KN			
11	3400	34,00	3574,08	425,55	0,02	0,10	STABIL
10	3400	34,00	8413,31	878,07	0,01	0,10	STABIL
9	3400	34,00	13252,55	1133,97	0,03	0,10	STABIL
8	3400	34,00	18091,79	1360,06	0,03	0,10	STABIL
7	3400	34,00	22931,02	1625,36	0,02	0,10	STABIL
6	3400	34,00	27770,26	1844,53	0,02	0,10	STABIL
5	3400	34,00	32609,49	2019,57	0,03	0,10	STABIL
4	3400	34,00	37448,73	2152,75	0,04	0,10	STABIL
3	3400	34,00	42287,96	2246,75	0,03	0,10	STABIL
2	3400	34,00	47127,20	2304,85	0,04	0,10	STABIL
1	4000	40,00	52942,71	2335,32	0,05	0,10	STABIL

Kemudian dari pengecekan P-Delta arah Y menghasilkan grafik stabilitas P-

Delta arah Y dapat dilihat di gambar 4.26.



Gambar 4.26. Cek stabilitas P-Delta Arah Y

4.10. Sistem Ganda

Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu memikul paling sedikit 25 % gaya seismik desain. Tahanan gaya seismik total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya. Presentase gaya geser yang ditahan *shear wall* adalah 75 % (SNI 1726:2019),

Tabel 4.38. Perbandingan Gaya Lateral Pada Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen

Arah	V desain	V shear wall		V kolom		Status
	kN	kN	%	kN	%	
X	2335,32	1962,85	372,47	84,05	15,94	NOT OK
Y	2335,33	2035,18	300,14	87,14	12,85	NOT OK

$$\begin{aligned}
 \text{Arah X} &= \frac{V_x \text{ Kolom}}{V_x \text{ Design}} \times 100\% \\
 &= \frac{84,05}{2335,32} \times 100\% \\
 &= 15,94 \% \quad (\text{NOT OK})
 \end{aligned}$$

$$\text{Arah Y} = \frac{V_y \text{ Kolom}}{V_y \text{ Design}} \times 100\%$$

$$= \frac{87,14}{2335,33} \times 100\%$$

$$= 12,85 \% \text{ (NOT OK)}$$

Hasil percobaan kedua yaitu untuk simpangan antar lantainya sudah terpenuhi namun ketika pengecekan di sistem ganda, hasil dari analisis didapatkan yaitu arah x sebesar 15,94 % dan arah y sebesar 12,85 %, sehingga disimpulkan bahwa gaya lateral masih lebih besar membebani dinding geser dari perencanaan.

4.11. Data Struktur Gedung Percobaan Ke-3

4.11.1. Dimensi Penampang Struktur

1. Penampang balok

Penampang balok yang digunakan untuk redesain struktur gedung 10 Lantai (studi pada gedung Hotel Amaris Madiun) dapat dilihat di tabel 4.39.

Tabel 4.39. Penampang balok

No	Nama Balok	Lebar Balok (mm)	Tinggi Balok (mm)
1	G1	200	400
2	G2	250	500
3	G3	350	700
4	Ga	300	600
5	Gb	350	700
6	B1	150	200
7	B2	150	300
8	B3	200	400

2. Penampang kolom

Adapun penampang kolom yang dipakai untuk perencanaan struktur gedung ini dengan ukuran 700 x 700 mm

3. Penampang plat lantai

Penampang pelat lantai yang dipakai untuk perencanaan struktur gedung ini dapat dilihat pada tabel 4.40.

Tabel 4.40. Penampang plat

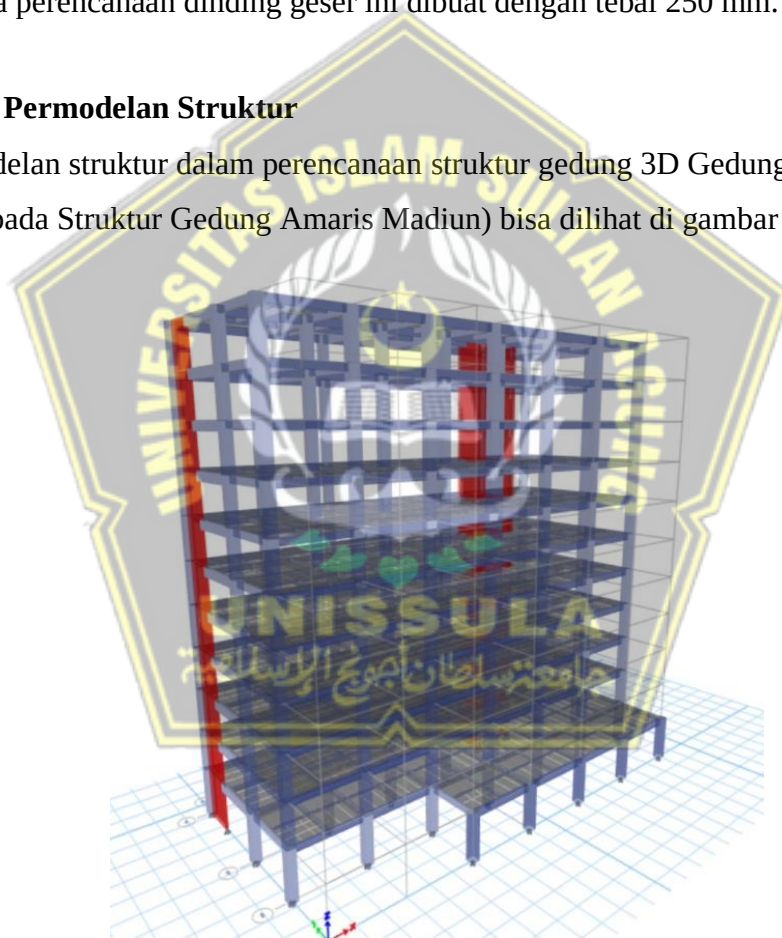
No	Nama Pelat	Tebal Pelat (mm)
1	P1	120
2	P2	120

4. Penampang dinding geser

Pada perencanaan dinding geser ini dibuat dengan tebal 250 mm.

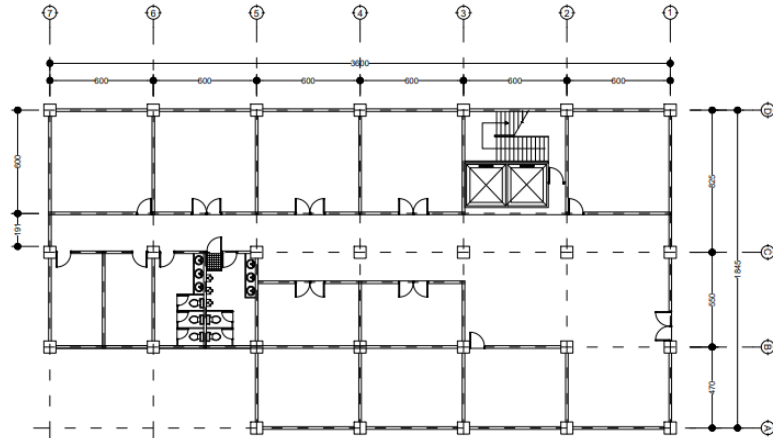
4.11.2. Permodelan Struktur

Permodelan struktur dalam perencanaan struktur gedung 3D Gedung 10 lantai (studi pada Struktur Gedung Amaris Madiun) bisa dilihat di gambar 4.27.



Gambar 4.27. Permodelan struktur 3D Gedung 10 Lantai dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Denah Gedung Amaris Madiun, dapat dilihat pada gambar 4.28.



Gambar 4.28. Denah Ruang Amaris Madiun

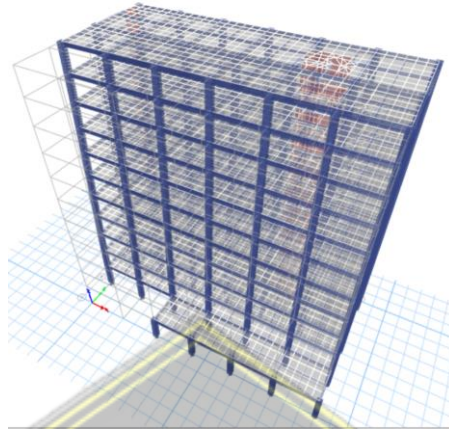
4.12. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai

Perhitungan beban dan model massa terpusat pada struktur dibutuhkan di tiap lantainya dimana beban yang digunakan adalah beban mati yaitu beban struktur tiap lantainya sendiri dan beban hidup yang bekerja diplat lantai. Untuk bangunan gedung umum, porsi beban hidup yang bersifat tetap diambil sebesar 30% beban hidup total.

Tabel 4.41. Massa Efektif Tiap Lantai

Lantai	Tinggi lantai Dari dasar, Z_x (m)	Berat lantai, W_x (Ton)	Berat lantai, W_y (Ton)
L Atap	38	309,05	309,05
Lantai 10	34,6	822,62	822,62
Lantai 9	31,2	1336,19	1336,19
Lantai 8	27,8	1849,76	1849,76
Lantai 7	24,4	2363,32	2363,32
Lantai 6	21	2876,89	2876,89
Lantai 5	17,6	3390,46	3390,46
Lantai 4	14,2	3904,03	3904,03
Lantai 3	10,8	4417,60	4417,60
Lantai 2	7,4	4931,17	4931,17
Lantai 1	4	5524,52	5524,52

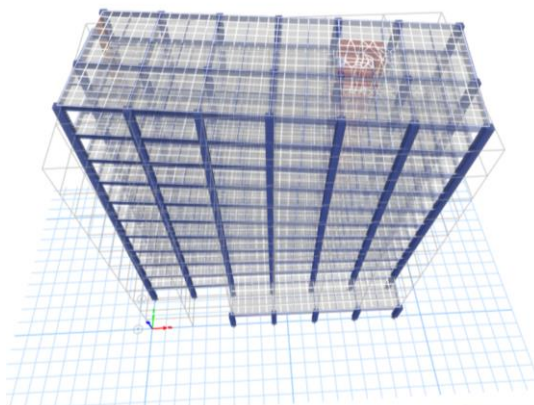
Analisa dinamis getaran bebas akibat gempa dilakukan dengan bantuan software ETABS dan menunjukkan ragam gempa yang terjadi. Bentuk ragam yang terjadi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.29. Ragam 1 terjadi dengan arah y translasi dengan nilai $T = 1,25$



Gambar 4.30. Ragam 2 terjadi dengan arah x translasi dengan nilai $T = 1,14$



Gambar 4.31. Ragam 3 terjadi dengan arah z rotasi dengan nilai $T = 0,98$

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 berikut.

Tabel 4.42. 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	99.59
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UY	100	99.41
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UZ	0	0

Adapun Hasil Partisipasi Massa Bangunan bisa dilihat di tabel 4.43.

Tabel 4.43. Hasil Partisipasi Massa Bangunan

Mode	Period (Sec)	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
1	1,25	0,00	0,72	0,00	0,31	0,00	0,00
2	1,14	0,66	0,00	0,05	0,31	0,27	0,06
3	0,98	0,06	0,01	0,69	0,31	0,31	0,74
4	0,33	0,01	0,14	0,00	0,65	0,31	0,74
5	0,32	0,11	0,01	0,03	0,68	0,60	0,78
6	0,27	0,04	0,01	0,10	0,67	0,70	0,87
7	0,16	0,02	0,02	0,02	0,70	0,76	0,89
8	0,15	0,01	0,05	0,00	0,80	0,78	0,90
9	0,13	0,02	0,01	0,03	0,80	0,83	0,93
10	0,10	0,03	0,00	0,01	0,80	0,89	0,94
11	0,09	0,00	0,04	0,00	0,90	0,89	0,94
12	0,08	0,00	0,00	0,03	0,90	0,92	0,97
13	0,07	0,01	0,00	0,01	0,90	0,94	0,97
14	0,07	0,01	0,01	0,00	0,94	0,95	0,97
15	0,06	0,01	0,01	0,01	0,94	0,95	0,98
16	0,06	0,01	0,00	0,00	0,95	0,97	0,98

Mode	Period (Sec)	UX	UY	RZ	Sum UX	Sum UY	Sum RZ
17	0,05	0,00	0,01	0,01	0,97	0,98	0,99
18	0,05	0,01	0,00	0,00	0,97	0,98	0,98
19	0,04	0,00	0,00	0,00	0,97	0,98	0,99
20	0,04	0,00	0,01	0,00	0,98	0,98	0,99

4.12.1. 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 35 m dan nilai C_t dan x dapat diperoleh dari Tabel 18 SNI 1726:2019 maka dihitung dengan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 C_t &= 0,05 \\
 x &= 0,75 \\
 T_a &= C_t h_n^x \\
 &= 0,05 \times (38)^{0,75} \\
 &= 0,75 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}
 C_u &= 1,40 \\
 T_{\max} &= C_u \times T_a \\
 &= 1,40 \times 0,75 \\
 &= 1,05 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 T_x &= 1,05 \text{ (mode 2)} \\
 T_y &= 1,05 \text{ (mode 1)}
 \end{aligned}$$

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} , T_{cy} lebih kecil dari T_{max} . Maka diambil nilai T_{cx} dan $T_{cy} = 1,05$ detik

4.12.2. 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 4.44.

Tabel 4.44. Output Gaya Geser Dasar Statik

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
L Atap	38	291,44	291,44
Story 10	34,6	712,51	712,51
Story 9	31,2	1081,64	1081,64
Story 8	27,8	1400,34	1400,34
Story 7	24,4	1670,28	1670,28
Story 6	21	1893,28	1893,28
Story 5	17,6	2071,37	2071,37
Story 4	14,2	2206,88	2206,88
Story 3	10,8	2302,53	2302,53
Story 2	7,4	2361,64	2361,64
Story 1	4	2392,74	2392,74

Sedangkan perhitungan gaya geser dinamik yang dihasilkan oleh ETABS ditunjukkan pada tabel 4.45.

Tabel 4.45. Output Gaya Geser Dasar Dinamik

Lantai	Elevasi (m)	V_x (kN)	V_y (kN)
L Atap	38	281,67	322,44
Story 10	34,6	607,10	655,88
Story 9	31,2	828,81	857,95
Story 8	27,8	987,71	991,19
Story 7	24,4	1114,28	1091,11
Story 6	21	1229,88	1186,96
Story 5	17,6	1347,55	1298,62
Story 4	14,2	1467,99	1425,22
Story 3	10,8	1581,38	1551,98
Story 2	7,4	1673,56	1659,72
Story 1	4	1740,24	1734,65

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 respons 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 di tabel 4.46.

Tabel 4.46. Perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik

Arah	V_{statik} (kN)	$V_{dinamik}$ (kN)	$\frac{V_x}{V_y} \geq 1,0$
Sumbu X	2392,74	1740,24	1,38
Sumbu Y	2392,74	1734,66	1,38

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah X} = \frac{2392,74}{2392,74} = 1,38$$

$$\text{Faktor pembesaran gempa arah Y} = \frac{2392,74}{1734,66} = 1,38$$

Kemudian gempa diperbesar pada kedua arahnya maka didapatkan nilai gaya geser dasar dinamik dilihat di tabel 4.47.

Tabel 4.47. Output Gaya Geser Dinamik Terkoreksi

Lantai	Elevasi (m)	V _x (kN)	V _y (kN)
L Atap	38	387,26	444,77
Story 10	34,6	834,71	904,71
Story 9	31,2	1139,53	1183,45
Story 8	27,8	1358,01	1367,23
Story 7	24,4	1532,02	1505,07
Story 6	21	1690,97	1637,29
Story 5	17,6	1852,74	1791,31
Story 4	14,2	2018,34	1965,94
Story 3	10,8	2174,26	2140,80
Story 2	7,4	2300,97	2289,42
Story 1	4	2392,66	2392,78

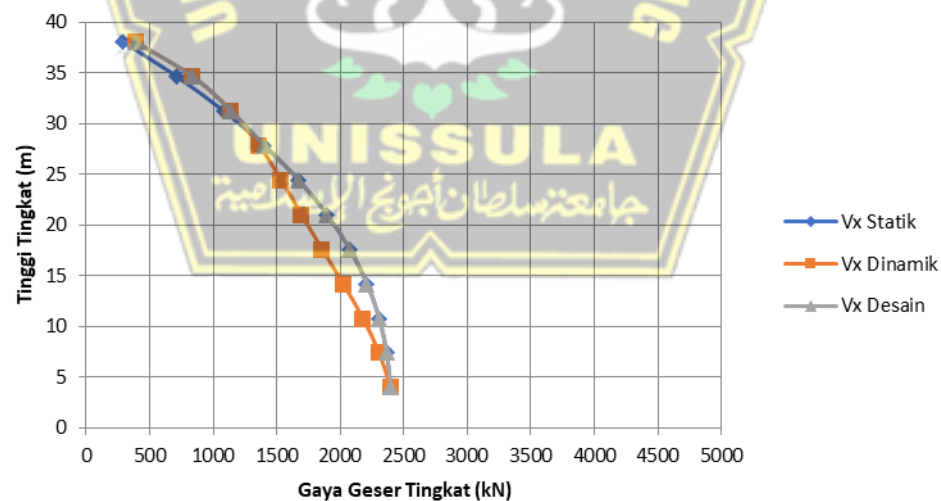
Gaya geser desain yang akan digunakan diambil dari yang terbesar dari gaya geser statik ekuivalen dan gaya geser dinamik terkoreksi. Gaya geser desain untuk setiap lantai dapat dilihat pada tabel 4.48.

Tabel 4.48. Gaya Geser Desain

Story	Elevation (m)	STATIK		DINAMIK CORRECT		GAYA GESER DESAIN	
		V _x	V _y	V _{SPEC -x}	V _{SPEC -y}	V _x	V _y
		kN	kN	kN	kN	kN	kN
L Atap	38	291,44	291,44	387,26	444,77	387,26	444,77
Story10	34,6	712,51	712,51	834,71	904,71	834,71	904,71

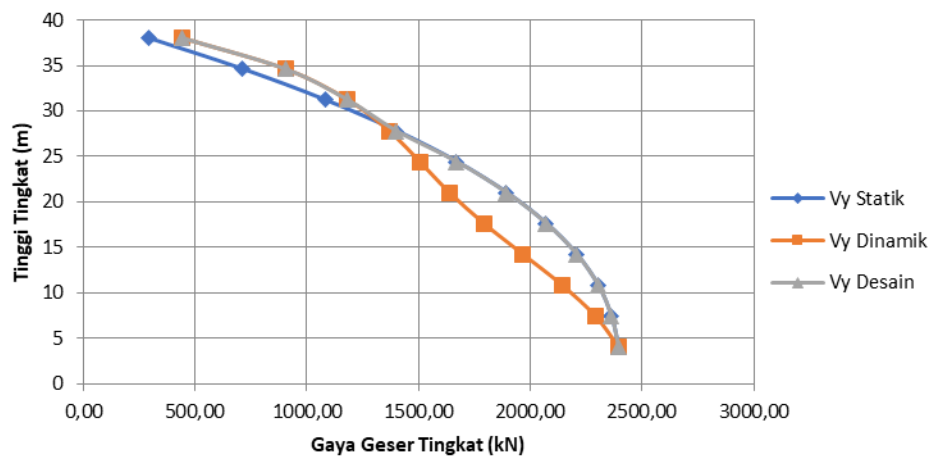
Story	Elevation (m)	STATIK		DINAMIK CORRECT		GAYA GESER DESAIN	
		V_x	V_y	V_{SPEC-x}	V_{SPEC-y}	V_x	V_y
		kN	kN	kN	kN	kN	kN
Story9	31,2	1081,64	1081,64	1139,53	1183,45	1139,53	1183,45
Story8	27,8	1400,34	1400,34	1358,01	1367,23	1400,34	1400,34
Story7	24,4	1670,28	1670,28	1532,02	1505,07	1670,28	1670,28
Story6	21	1893,28	1893,28	1690,97	1637,29	1893,28	1893,28
Story5	17,6	2071,37	2071,37	1852,74	1791,31	2071,37	2071,37
Story4	14,2	2206,88	2206,88	2018,34	1965,94	2206,88	2206,88
Story3	10,8	2302,53	2302,53	2174,26	2140,80	2302,53	2302,53
Story2	7,4	2361,64	2361,64	2300,97	2289,42	2361,64	2361,64
Story1	4	2392,74	2392,74	2392,66	2392,78	2392,74	2392,78

Grafik dari hasil perhitungan gaya geser desain arah X dapat dilihat pada gambar 4.32.



Gambar 4.32. Distribusi Gaya Geser Arah X

Grafik dari hasil perhitungan gaya geser desain arah X dapat dilihat pada gambar 4.33.



Gambar 4.33. Distribusi Gaya Geser 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 4.49.

Tabel 4.49. Gaya Gempa Desain

Story	GAYA GESER DESAIN		F, GEMPA DESAIN	
	V_x	V_y	F_x	F_y
	kN	kN	kN	kN
L Atap	387,26	444,77	387,26	444,77
Story10	834,71	904,72	447,45	459,94
Story9	1139,53	1183,45	304,82	278,74
Story8	1400,34	1400,34	260,81	216,90
Story7	1670,28	1670,28	269,94	269,94
Story6	1893,28	1893,28	223,00	222,99
Story5	2071,37	2071,37	178,10	178,10
Story4	2206,88	2206,89	135,51	135,51
Story3	2302,53	2302,52	95,65	95,64
Story2	2361,64	2361,64	59,11	59,10
Story1	2392,74	2392,77	31,10	31,14

4.12.3. Persyaratan Simpangan Antar Lantai

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

1. Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk SRPMK = 5,5 (Tabel 8 SNI 1726:2019),
2. Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1 (Tabel 2 SNI 1726:2019),
3. Faktor redundansi untuk gedung dengan KDS Eadalah $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 1726:2019),
4. Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1, simpangan antar lantai tingkat ijin untuk gedung dengan kategori risiko II adalah $= (0,020) \times H$, 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 Tabel 4.78 dan Tabel 4.50.

Tabel 4.50. Besar Simpangan Struktur Arah X

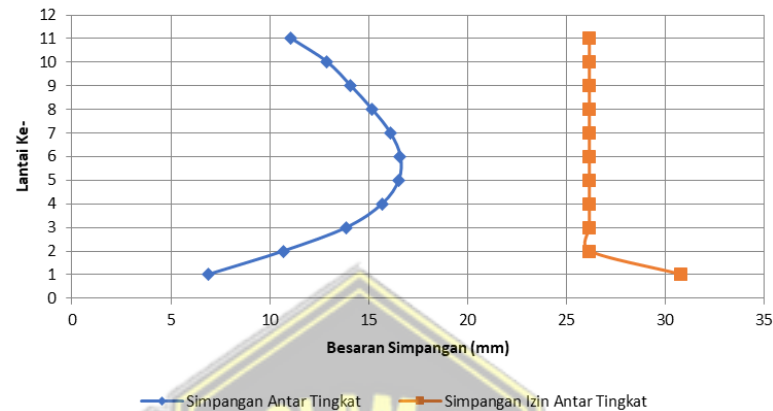
Lantai	H	Simpangan Elastis (δ)	Perpindahan yang diperbesar	Simpangan antar lantai	Simpangan yang diizinkan	Ket
	mm	Mm	mm	mm		
L Atap	3400	27,18	149,50	11,06	26,15	OK
Lt 10	3400	25,17	138,44	12,89	26,15	OK
Lt 9	3400	22,83	125,55	14,07	26,15	OK
Lt 8	3400	20,27	111,48	15,16	26,15	OK
Lt 7	3400	17,51	96,32	16,08	26,15	OK
Lt 6	3400	14,59	80,25	16,59	26,15	OK
Lt 5	3400	11,57	63,66	16,51	26,15	OK
Lt 4	3400	8,57	47,15	15,68	26,15	OK
Lt 3	3400	5,72	31,48	13,88	26,15	OK
Lt 2	3400	3,20	17,59	10,71	26,15	OK
Lt1	4000	1,25	6,89	6,89	30,77	OK

Keterangan :

$$\text{Perpindahan yang diperbesar} = \frac{(\delta_e \times C_d)}{I_e}$$

$$\text{Simpangan antar Lantai} = (\delta_n - \delta_i)$$

Grafik dari hasil analisis simpangan antar lantai arah X dapat dilihat pada gambar 4.34.



Gambar 4.34. Simpangan antar tingkat arah X

Tabel 4.51. Besaran Simpangan Struktur Arah Y

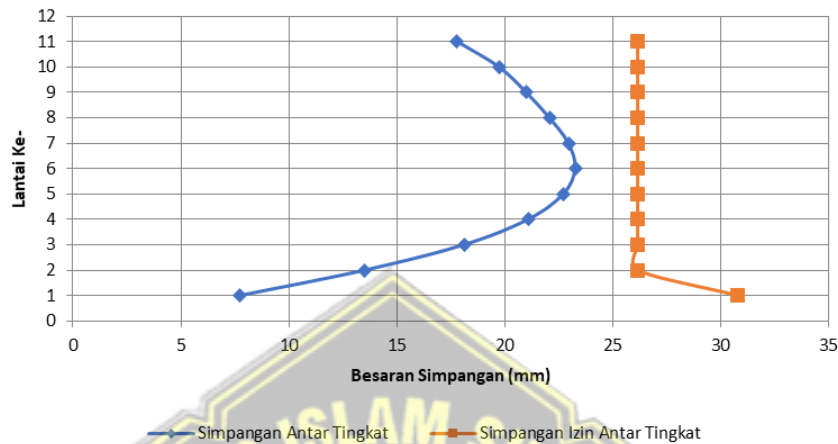
Lantai	H	Simpangan Elastis (δ)	Perpindahan yang diperbesar	Simpangan antar lantai	Simpangan yang diizinkan	Ket
	mm	Mm	mm	mm		
Lt 11	3400	38,16	209,87	17,78	26,15	OK
Lt 10	3400	34,93	192,09	19,72	26,15	OK
Lt 9	3400	31,34	172,37	20,98	26,15	OK
Lt 8	3400	27,53	151,39	22,06	26,15	OK
Lt 7	3400	23,51	129,33	22,94	26,15	OK
Lt 6	3400	19,34	106,39	23,25	26,15	OK
Lt 5	3400	15,12	83,13	22,71	26,15	OK
Lt 4	3400	10,99	60,42	21,08	26,15	OK
Lt 3	3400	7,15	39,34	18,11	26,15	OK
Lt 2	3400	3,86	21,23	13,51	26,15	OK
Lt1	4000	1,40	7,72	7,72	30,77	OK

Keterangan :

$$\text{Perpindahan yang diperbesar} = \frac{(\delta_e \times C_d)}{I_e}$$

$$\text{Simpangan antar Lantai} = (\delta_n - \delta_i)$$

Grafik dari hasil analisis simpangan antar lantai arah Y dapat dilihat pada gambar 4.35.



Gambar 4.35. Simpangan antar tingkat arah Y

Berdasarkan kontrol simpangan antar lantai di atas, terdapat simpangan yang melebihi batas izinnnya. 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.

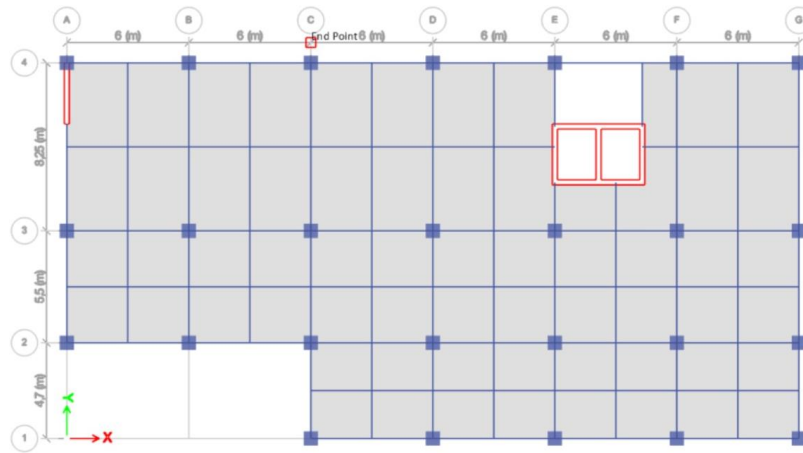
4.13. Perkuatan Struktur Dengan Dinding Geser

Berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan untuk meredesain Gedung Amaris Madiun dengan menambah lantai menjadi 10 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.

4.13.1. Permodelan 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 dapat dilihat pada gambar 4.36. dan gambar 4.37.



Gambar 4.36. Denah Perletakan Dinding Geser



Gambar 4.37. Permodelan 3D Dinding Geser

4.14. 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 :

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta I_e}{V_x \cdot h_s \cdot C_d}$$

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 seperti didefinisikan dalam 0, terjadi

secaraserentak 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 $\theta_{\max}$, maka pengaruh P-delta bisadiabaikan.

Nilai θ maksimum dihitung menggunakan persamaan berikut:

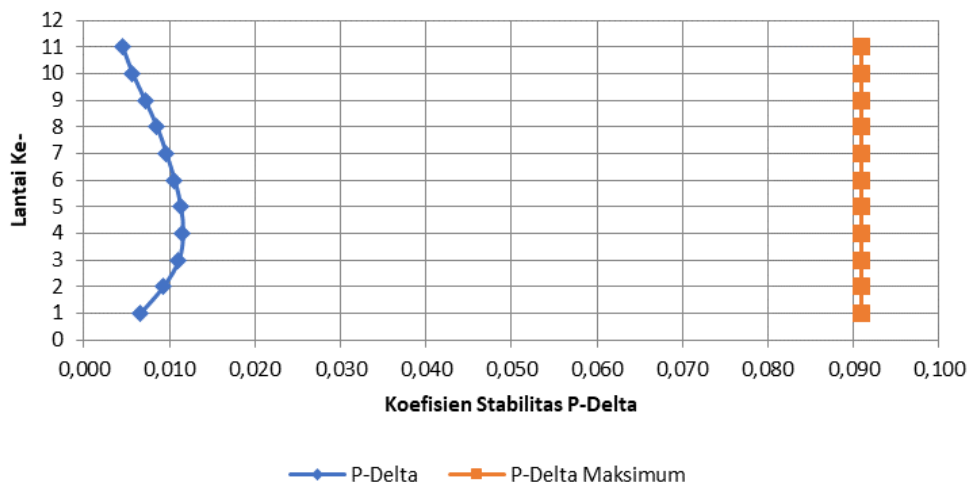
$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta_{cd}} \leq 0,25$$

Hasil dari pengecekan P-Delta arah X dapat dilihat di tabel 4.52.

Tabel 4.52. Pengecekan P-Delta arah X

Lantai	H_{sx}	Δi	P	V_x	θ	$\theta_{\max}$	Cek
	mm	mm	kN	KN			
11	4300	11,06	3754,51	387,26	0,01	0,10	STABIL
10	4300	12,89	8702,83	834,71	0,01	0,10	STABIL
9	4300	14,07	13651,15	1139,53	0,00	0,10	STABIL
8	4300	15,16	18599,47	1400,34	0,01	0,10	STABIL
7	4300	16,08	23547,79	1670,28	0,01	0,10	STABIL
6	4300	16,59	28496,11	1893,28	0,02	0,10	STABIL
5	4300	16,51	33444,42	2071,37	0,01	0,10	STABIL
4	4300	15,68	38392,74	2206,88	0,02	0,10	STABIL
3	4300	13,88	43341,06	2302,53	0,01	0,10	STABIL
2	4300	10,71	48289,38	2361,64	0,00	0,10	STABIL
1	4300	6,89	54238,60	2392,74	0,01	0,10	STABIL

Dari pengecekan P-Delta arah X menghasilkan grafik stabilitas P-Delta arah X dapat dilihat di gambar 4.38.



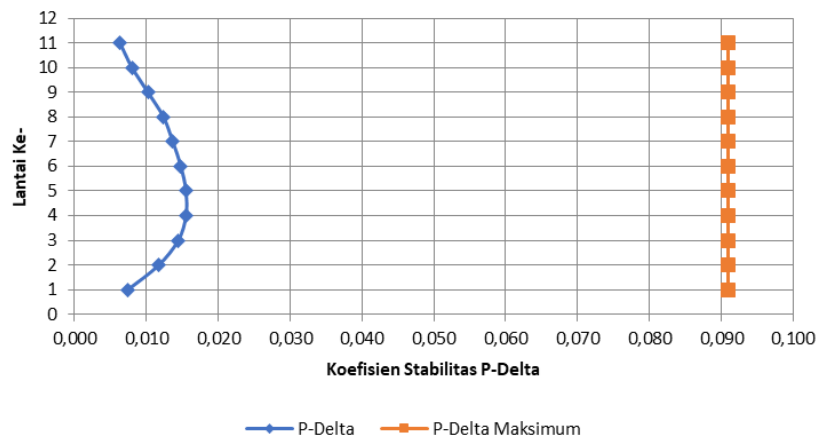
Gambar 4.38. Cek stabilitas P-Delta Arah X

Sedangkan untuk hasil dari pengecekan P-Delta arah Y dapat dilihat pada tabel 4.53.

Tabel 4.53. Pengecekan P-Delta arah Y

Lantai	H_{sx}	Δi	P	V_x	θ	θ_{max}	Cek
	mm	mm	kN	KN			
11	4300	17,78	3754,51	444,77	0,00	0,10	STABIL
10	4300	19,72	8702,83	904,71	0,00	0,10	STABIL
9	4300	20,98	13651,15	1183,45	0,01	0,10	STABIL
8	4300	22,06	18599,47	1400,34	0,01	0,10	STABIL
7	4300	22,94	23547,79	1670,28	0,02	0,10	STABIL
6	4300	23,25	28496,11	1893,28	0,02	0,10	STABIL
5	4300	22,71	33444,42	2071,37	0,02	0,10	STABIL
4	4300	21,08	38392,74	2206,88	0,02	0,10	STABIL
3	4300	18,11	43341,06	2302,53	0,01	0,10	STABIL
2	4300	13,51	48289,38	2361,64	0,02	0,10	STABIL
1	4300	7,72	54238,60	2392,78	0,00	0,10	STABIL

Kemudian dari pengecekan P-Delta arah Y menghasilkan grafik stabilitas P-Delta arah Y dapat dilihat di gambar 4.39.



Gambar 4.39. Cek stabilitas P-Delta Arah Y

4.15. Sistem Ganda

Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu memikul paling sedikit 25 % gaya seismik desain. Tahanan gaya seismik total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya. Presentase gaya geser yang ditahan *shear wall* adalah 75% (SNI 1726:2019). Untuk hasil dari diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat dapat dilihat di tabel 4.54.

Tabel 4.54. Perbandingan Gaya Lateral Pada Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen

Arah	Vdesain	Vshear wall		Vkolom		Status
	kN	kN	%	kN	%	
X	2392,74	1737,67	72,63	655,07	27,37	OK
Y	2392,78	11,10	0,46	2381,67	99,54	OK

$$\begin{aligned}
 \text{Arah X} &= \frac{V_x \text{ Kolom}}{V_x \text{ Desain}} \times 100\% \\
 &= \frac{655,07}{2392,74} \times 100\% \\
 &= 27,38 \% \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Arah Y} &= \frac{V_y \text{ Kolom}}{V_y \text{ Desain}} \times 100\% \\
 &= \frac{2381,61}{2392,74} \times 100\% \\
 &= 99,54 \% \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

4.16. 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.

4.16.1. 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 di tabel 4.55 dan tabel 4.56.

Tabel 4.55. Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah X

Lantai	Gaya Lateral	$\delta_{\max}$	δ_{avg}	$\delta_{\max} / \delta_{\text{avg}}$	Status	
					1a	1b
11	X	2,25	2,13	1,06	OK	OK
10	X	2,45	2,40	1,02	OK	OK
9	X	2,62	2,59	1,01	OK	OK
8	X	2,77	2,76	1,00	OK	OK
7	X	2,93	2,90	1,01	OK	OK
6	X	3,02	2,97	1,02	OK	OK
5	X	3,00	2,93	1,02	OK	OK
4	X	2,85	2,77	1,03	OK	OK
3	X	2,52	2,43	1,04	OK	OK
2	X	1,98	1,90	1,04	OK	OK
1	X	1,25	1,17	1,07	OK	OK

Tabel 4.56. Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b arah Y

Lantai	Gaya Lateral	$\delta_{\max}$	δ_{avg}	$\delta_{\max} / \delta_{\text{avg}}$	Status	
					1a	1b
11	Y	3,23	2,71	1,19	OK	OK
10	Y	3,59	3,01	1,19	OK	OK
9	Y	3,82	3,24	1,18	OK	OK
8	Y	4,01	3,46	1,16	OK	OK
7	Y	4,17	3,63	1,15	OK	OK
6	Y	4,23	3,72	1,14	OK	OK
5	Y	4,13	3,68	1,12	OK	OK
4	Y	3,83	3,45	1,11	OK	OK
3	Y	3,29	3,01	1,09	OK	OK
2	Y	2,46	2,28	1,08	OK	OK
1	Y	1,40	1,27	1,10	OK	OK

4.16.2. Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal dimana suatu kekakuan memiliki batas kekakuan, massa, elemen struktur, dan posisi struktur tiap tingkat yang melebihi batas – batasyang ada pada tabel 14 SNI 1726:2019 dapat dikategorikan ketidakberaturanvertikal. Ketidakberaturan ini didefinisikan ada jika suatu tingkat kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat diatasnya atau kurang dari 80%kekakuan rata-rata tiga tingkat diatasnya. Ketidakberaturan vertikal dapat dilihat pada tabel 4.57.

Tabel 4.57. Cek Ketidakberaturan Sturktur Vertikal 1a

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
11	179752,01		164065,34	
10	345891,60	OK	300939,39	OK
9	436031,19	OK	365003,19	OK
8	501931,06	OK	405108,48	OK

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
7	575083,53	OK	459567,24	OK
6	637356,84	OK	508631,83	OK
5	708790,14	OK	563449,47	OK
4	809240,18	OK	638903,79	OK
3	977506,76	OK	765412,76	OK
2	1243155	OK	1036817,30	OK
1	2050286	OK	1877480,90	OK

4.16.3. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakteraturan berat (Massa) didefinisikan jika massa efektif disebrang tingkat lebih dari 150% massa efektif di dekatnya. Atap yang lebih ringandari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau. Hasil dari ketidakberaturan berat (massa) dapat dilihat di tabel 4.58.

Tabel 4.58. Cek Ketidakberaturan Berat (Massa)

Lantai	Massa	Cek
	kg	
11	333559,11	OK
10	543012,39	OK
9	543012,39	OK
8	543012,39	OK
7	543012,39	OK
6	543012,39	OK
5	543012,39	OK
4	543012,39	OK
3	543012,39	OK
2	543012,39	OK
1	625221,10	OK

4.16.4. 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 di tabel 4.59.

Tabel 4.59. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	kN		kN	
11	387,26	-	444,77	-
10	834,72	OK	904,72	OK
9	1139,53	OK	1183,45	OK
8	1358,02	OK	1367,23	OK
7	1532,015	OK	1505,07	OK
6	1690,97	OK	1637,29	OK
5	1852,75	OK	1791,31	OK
4	2018,34	OK	1965,94	OK
3	2174,25	OK	2140,79	OK
2	2300,97	OK	2289,41	OK
1	2392,66	OK	2392,77	OK

4.17. Rekapitan Hasil Percobaan

Berdasar percobaan yang telah dilakukan hingga mendapatkan hasil yang efisien dengan menggunakan struktur sistem rangka pemikul momen khusus, atau yang sering disebut sistem ganda. Percobaan yang kami lakukan lebih dari 3 percobaan tetapi yang kami *input* kedalam penulisan hanya 3 percobaan saja, untuk hasil rekapannya, sebagai berikut

Tabel 4.60. Rekapitan Hasil Permodelan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Geser

No.	Percobaan	Keterangan
1.	Menggunakan dinding geser pada bangunan lift saja.	• Pada simpangan antar lantai arah X (lantai 5 – lantai 9) hasil dari perhitungan tersebut melebihi batas izin. • Pada perhitungan simpangan antar lantai arah Y (lantai 2 – lantai 9) hasil dari perhitungan tersebut melebihi batas izin. • Maka dilakukan permodelan ulang
2.	Menggunakan dinding geser pada bangunan lift dan pada sisi sebelah kanan dan kiri serta dibelakang (detail pada gambar 4.19)	• Simpangan antar lantai pada percobaan ini telah terpenuhi. • Syarat Sistem Ganda : Rangka pemikul momen hanya menerima gaya lateral sebesar 15,94 % arah x dan arah y menerima gaya lateral sebesar 12,85, sehingga dari hasil tersebut sebagian besar gaya lateral ditahan oleh dinding geser maka struktur dapat dikatakan boros.

No.	Percobaan	Keterangan
3.	Menggunakan dinding geser pada bangunan lift dan disisi kiri bangunan sepanjang 3 meter (detail pada gambar 4.19)	• Simpangan antar lantai Arah X dan Arah Y memenuhi syarat. • Pengecekan P-Delta Arah X dan Arah Y didapatkan struktur stabil. • Pengecekan Ketidakberaturan : untuk ketidakberaturan horizontal maupun vertikal kedua pengecekan ini masih aman. • Syarat Sistem Ganda : pada percobaan ini Rangka pemikul momen dapat menerima gaya lateral sebesar 27,38 % untuk arah x dan untuk arah y sebesar 99,54 %

Dari tiga percobaan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa sistem struktur yang dapat digunakan dalam perencanaan ini yaitu menggunakan pilihan atau percobaan ketiga.

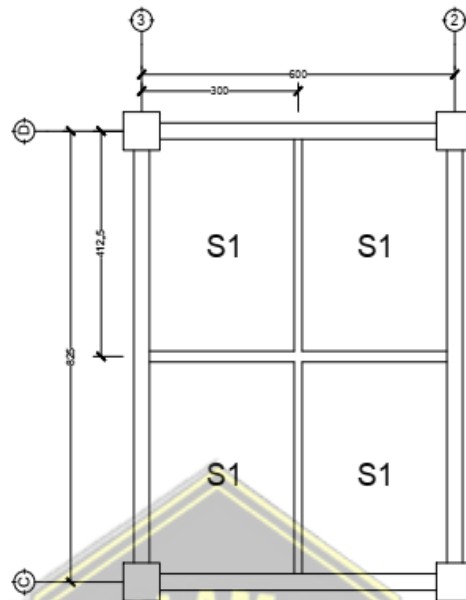
4.18. Perencanaan Pelat

Pelat lantai yang diambil sebagai contoh adalah pelat lantai 2, berikut ini langkah - langkah perencanaan pelat lantai.

4.18.1. Dasar Perencanaan

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 plat yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan.



Gambar 4.40. Tipe Pelat

4.18.2. Data Pelat Lantai

Panjang bentang arah x, $L_x = 3 \text{ m}$
 Panjang bentang arah y, $L_y = 4,13 \text{ m}$
 Tebal pelat Lantai, $h = 120 \text{ mm}$

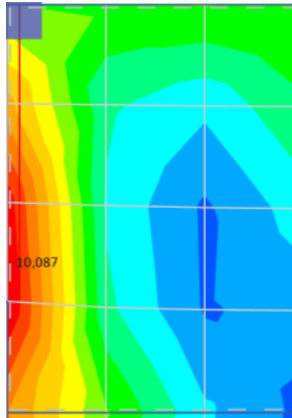
4.18.3. Analisa Pembebanan

Beban Mati :

Berat sendiri pelat lantai	$= 0,12 \times 24$	$= 2,88 \text{ KN/m}^2$
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	$=$	$= 0,20 \text{ KN/m}^2$
Berat instalasi ME	$=$	$= 0,25 \text{ KN/m}^2$
Total		$= 4,37 \text{ KN/m}^2$

4.18.4. Momen Pelat Akibat Beban Terfaktor

Dalam perencanaan pelat dibutuhkan gaya dalam atau momen pada bangunan yang akan direncanakan, gaya dalam yang diambil pada analisis dapat dilihat pada gambar 4.38.



Gambar 4.41. gaya dalam pada etabs

Momen rencana maksimum pelat = 10,09 KN/m

Beban Hidup :

Beban hidup pada gedung hotel = 3,38 KN/m²

Beban Ultimate Rencana

$$1,2 q_d + 1,6 q_l = 1,2 \times 4,37 + 1,6 \times 3,38$$

$$= 10,65 \text{ KN/m}^2$$

4.18.5. Penulangan Pelat

- Untuk $f_c' > 30$ Mpa, maka:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{f_c' - 30}{7}$$

$$= 0,85 - 0,05 \times \frac{30 - 30}{7}$$

$$= 0,85$$

Faktor bentuk distribusi tegangan beton $\beta_1 =$

- Resio tulangan pada kondisi balance

$$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)}$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{(600 + 420)}$$

$$= 0,03$$

- Faktor tahanan momen tahanan maksimum

$$R_{\max} = 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left[\left(\frac{1 - 0,5 \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{(0,85 \times f_c')} \right) \right]$$

$$= 0,75 \times 0,03 \times f_y \times \left[\left(\frac{1 - 0,5 \times 0,75 \times 0,03 \times 420}{(0,85 \times 30)} \right) \right]$$

$$= 7,77$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur

$$\phi = 0,80$$

- 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 plat lantai

$$\begin{aligned} d &= h - d_s \\ &= 120 - 30 \\ &= 90 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Ditinjau plat lantai selebar 1 m

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

- Momen nominal rencana

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{10,09}{0,80} \\ &= 12,62 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Faktor tahanan momen

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n \times 10^{-6}}{(b \times d^2)} \\ &= \frac{12,92 \times 10^{-6}}{(1000 \times 90^2)} \\ &= 1,6 \\ R_n &< R_{\max} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} \rho &= 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{(0,85 \times f'_c)}} \right] \\ &= 0,85 \times \frac{30}{420} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,6}{(0,85 \times 30)}} \right] \\ &= 0,004 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan minimum

$$\rho_{\min} = 0,003$$

Rasio tulangan yang digunakan diambil rasio yang terbesar antara rasio ρ dan ρ_{min} Maka dapat nilai rasio diambil sebesar 0,004.

- Luas tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,004 \times 1000 \times 90 \\ &= 344,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} s &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \\ &= \frac{3,14}{4} \times 10^2 \times \frac{1000}{344,6} \\ &= 227,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jarak tulangan maksimum

$$\begin{aligned} s_{max} &= 2 \times h \\ &= 2 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jarak tulangan maksimum

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

- Jarak Sengkang yang digunakan

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

- Diambil jarak sengkang

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

Digunakan tulangan D10 – 150

- Luas tulangan terpakai

$$\begin{aligned} s &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{3,14}{4} \times 10^2 \times \frac{1000}{150} \\ &= 523 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.18.6. 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

$$\begin{aligned} Q &= Q_D + Q_L \\ &= 4,37 + 3,38 \\ &= 7,75 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

- Panjang bentang plat

$$L_x = 3000 \text{ mm}$$

- Batas lendutan maksimum yang diijinkan

$$\frac{L_x}{240} = \frac{3000}{240} = 12,5 \text{ mm}$$

- Momen inersia brutto penampang plat

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 1000 \times 120^3 \\ &= 144000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Modulus keruntuhan lentur beton

$$\begin{aligned} F_r &= 0,7 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 0,7 \times \sqrt{30} \\ &= 3,834 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Nilai perbandingan modulus elastis

$$\begin{aligned} n &= \frac{E_s}{E_c} \\ &= \frac{200000}{25743} = 7,769 \end{aligned}$$

- Jarak garis netral terhadap sisi atas beton

$$\begin{aligned} c &= n \times \frac{A_s}{b} \\ &= 7,769 \times \frac{523}{1000} = 4,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \frac{1}{3} \times b_c^3 \times n \times A_s \times (d - c)^2 \\ &= \frac{1}{3} \times 1000 \times 4,07^3 + 7,77 \times 523 \times (90 - 4,07)^2 \\ &= 30047307 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned}
 Y_t &= \frac{h}{2} \\
 &= \frac{120}{2} \\
 &= 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Momen retak

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= f_r \times \frac{I_g}{y_t} \\
 &= 3,83 \times \frac{144000000}{60} \\
 &= 9201739 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Momen maksimum akibat beban (tanpa faktor beban)

$$\begin{aligned}
 M_a &= \frac{1}{8} \times Q \times L_x^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 7,75 \times 3000^2 \\
 &= 8722125 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Inersia efektif untuk perhitungan lendutan

$$\begin{aligned}
 I_e &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{cr} \\
 &= \left(\frac{9201739}{8722125} \right)^3 \times 144000000 + \left[1 - \left(\frac{9201739}{8722125} \right)^3 \right] \times 30047307 \\
 &= 163850785 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup

$$\begin{aligned}
 \delta_e &= \frac{5}{384} \times Q \times \frac{L_x^4}{E_c \times I_x} \\
 &= \frac{5}{384} \times 7,75 \times \frac{3000^4}{25743 \times 163850785} \\
 &= 1,939 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan slab lantai

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{523}{1000 \times 90} \\
 &= 0,006
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 S &= 2 \\
 \lambda &= \frac{s}{1+50+\rho} \\
 &= \frac{2}{1+50+0,006} = 1,55
 \end{aligned}$$

- Lendutan jangka Panjang akibat rangkai dan susut

$$\begin{aligned}\delta_g &= 1 \times 5 / 384 \times Q \times L_x^4 / (E_c \times I_e) \\ &= 1,55 \times \frac{5}{384} \times 7,75 \times \frac{30004}{(25743 \times 163850785)} \\ &= 3,004 \text{ mm}\end{aligned}$$

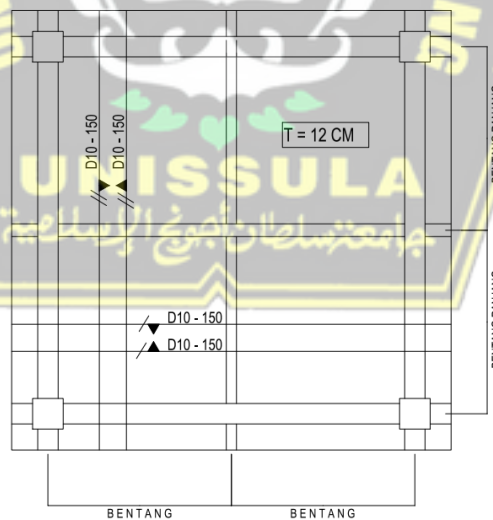
- Lendutan total

$$\begin{aligned}\delta_{\text{tot}} &= \delta_e + \delta_g \\ &= 1,939 + 3,004 \\ &= 4,94 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Syarat

$$\begin{aligned}\delta_{\text{tot}} &\leq \frac{L_x}{240} \\ 4,94 &\leq \frac{3000}{240} \\ 4,94 &\leq 12,5 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Berikut merupakan hasil dari perencanaan penulangan pelat pada analisis perencanaan Gedung 10 lantai Amaris Madiun, yang dapat dilihat pada gambar 4.42.



Gambar 4.42. Penulangan pelat

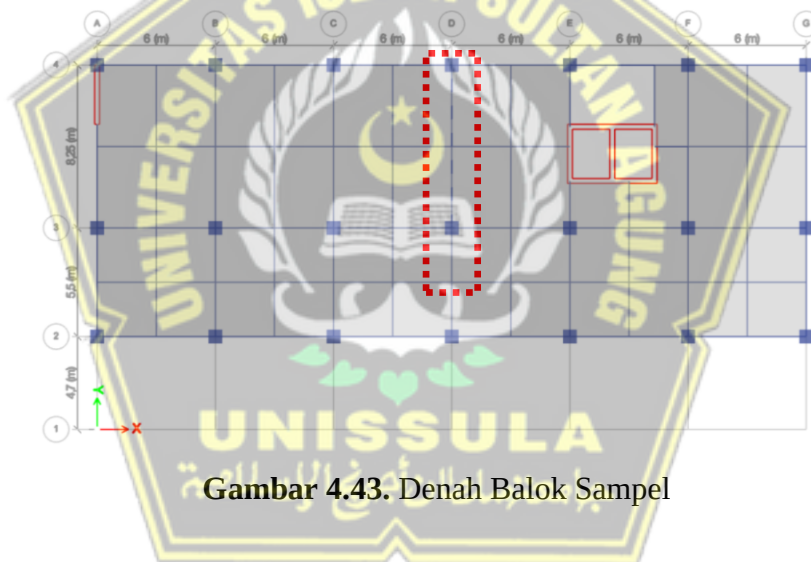
4.19. Perhitungan Balok

4.19.1. Analisis Kapasitas Desain Balok

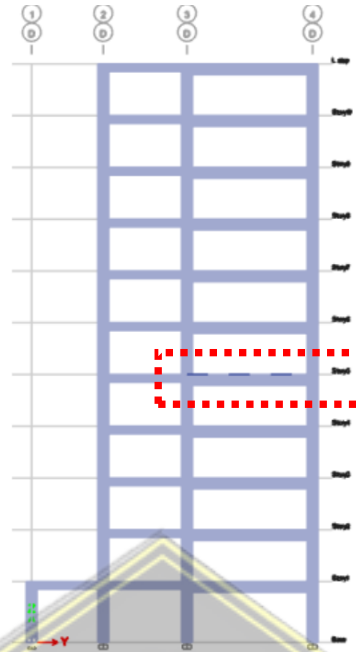
Analisis kapasitas desain balok meliputi perhitungan tulangan lentur balok dan analisis tulangan geser balok yang dilakukan secara konvensional sehingga diperoleh jumlah tulangan yang dibutuhkan. Pada laporan ini, penulis meninjau balok portal pada AS 4 yaitu balok G3 pada lantai 5 yang memikul momen ultimit paling besar sebagai contoh yang diambil untuk menganalisis kapasitas desain balok.

4.19.2. Analisis Tulangan Lentur Balok

Tulangan lentur atau tulangan utama adalah tulangan yang berfungsi untuk menahan gaya momen ultimit yang diterima balok. Dibawah ini merupakan langkah – langkah analisis tulangan lentur pada balok G3 lantai 5 gedung Amaris Madiun.



Gambar 4.43. Denah Balok Sampel



Gambar 4.44. Elevasi Balok Sampel



Gambar 4.45. Dimensi Balok Rencana

4.19.3. Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok

Material Struktur :

Panjang balok (L) = 8250 mm

Lebar balok (b) = 350 mm

Tinggi balok (h) = 700 mm

Panjang tumpuan = SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.4.1

$$= 2 \times h = 2 \times 700 = 1400 \text{ mm}$$

Diameter tulangan longitudinal (d_b) = 22 mm

Diameter tulangan pinggang (d_{bt}) = 13 mm

Diameter tulangan sengkang (d_s) = 10 mm

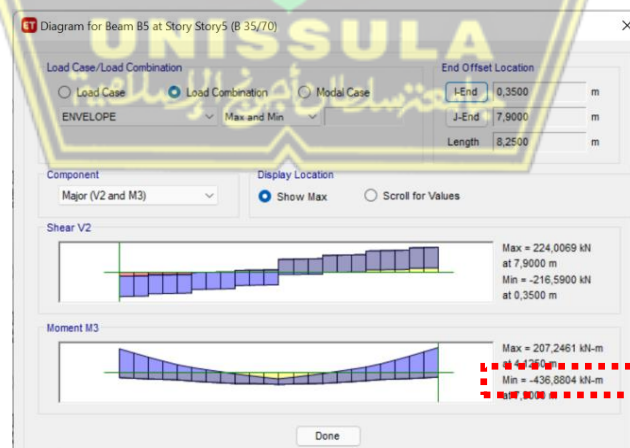
Selimut bersih (c_c) = 30 mm

Tinggi efektif balok (d) = $\frac{h - c_c - d_s - d_b}{2}$

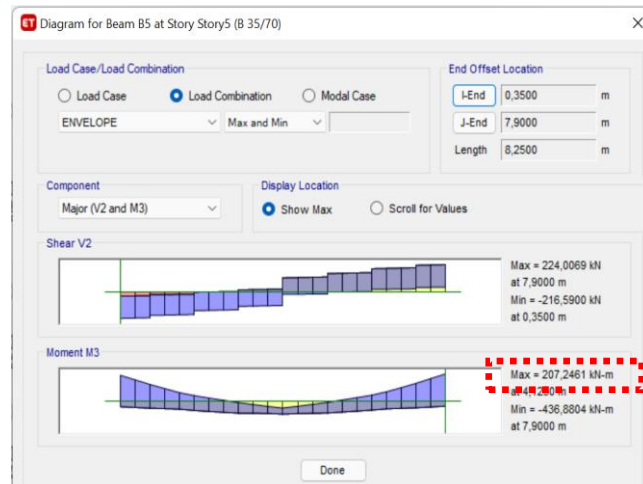
$$= 649 \text{ mm}$$

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 $= 0,65 \leq (0,85 - 0,05 \times (f'_c - 28))/7 \leq 0,85$ $= 0,84$
Panjang Kolom (c_1)	= Input (Sisi tegak lurus lebar balok) $= 700 \text{ mm}$
Lebar Kolom (c_2)	= Input (Sisi yang ditempel balok/sejajar lebar balok) $= 700 \text{ mm}$
L_n	$= L - c_1 = 7550 \text{ mm}$
λ	= Asumsi tidak menggunakan beton ringan = 1
B_1	= 0,84
Φ	= 0,90
Diameter Sengkang	= 10 mm

Untuk langkah – langkah menghitung analisis tulangan pada balok dan momen kapasitas balok, akan menggunakan cara seperti berikut ini :



Gambar 4.46. M_u Tumpuan Balok dari ETABS



Gambar 4.47. M_u Lapangan Balok dari ETABS

- Gaya Dalam

$$M_u \text{ tumpuan (-)} = -436,88 \text{ kN-m}$$

$$M_u \text{ tumpuan (+)} = 218,44 \text{ kN-m}$$

$$M_u \text{ lapangan (-)} = -103,50 \text{ kN-m}$$

$$M_u \text{ lapangan (+)} = 207,01 \text{ kN-m}$$

$$P_u = 0 \text{ kN}$$

- Syarat Gaya Dan Geometri

Syarat Gaya Aksial (SNI 2847:2019 tidak dipersyaratkan. Baca R18.6.1 dan 18.6.4.7)

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

$$0 \leq 0.1 \times 350 \times 700 \times 30$$

$$0 \leq 735000 \rightarrow ok$$

- Syarat Tinggi Efektif (SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.2.1)

$$L_n \geq 4d$$

$$8600 \geq 4 \times 649$$

$$8600 \geq 2596 \rightarrow ok$$

- Syarat Lebar 1 (SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.2.1)

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

$$350 \geq \text{minimal } (0,3 \times 700 \text{ atau } 250 \text{ mm})$$

$350 \geq \text{minimal (210 mm atau 250 mm)} \rightarrow \text{diambil 250 mm}$

$350 \geq 250 \rightarrow \text{ok}$

- Syarat Lebar 2 (SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.2.1)

$b \leq c_2 + 2 \times \text{minimal (} c_2 \text{ atau } 0.75 c_1 \text{)} \rightarrow \text{antara } c_2 \text{ atau } 0.75 c_1 \text{ diambil yang paling besar}$

$400 \leq 700 + 2 \times \text{minimal (700 atau } 0,75 \times 700 \text{)}$

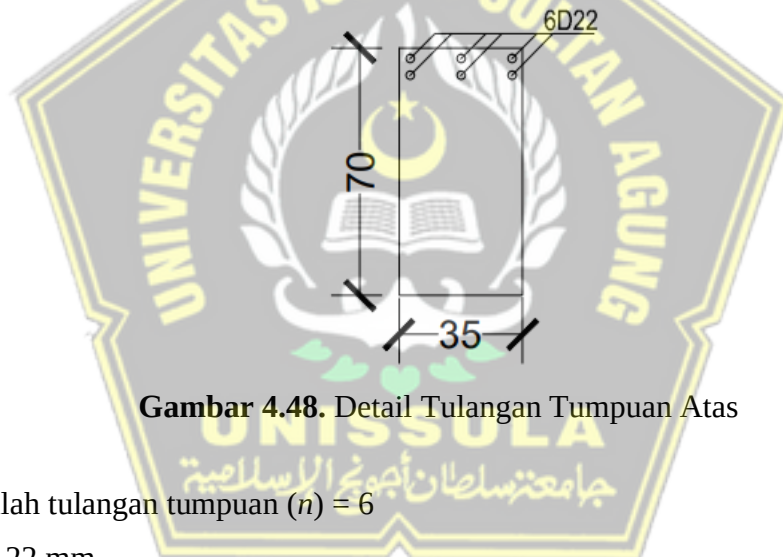
$400 \leq 700 + 2 \times \text{minimal (700 atau 525)} \rightarrow \text{diambil 700}$

$400 \leq 700 + 2 \times 700$

$400 \leq 2100 \rightarrow \text{ok}$

- **Tulangan tumpuan Atas**

Penuulangan tumpuan atas yang dapat dilihat pada gambar dbawah ini.



Gambar 4.48. Detail Tulangan Tumpuan Atas

Jumlah tulangan tumpuan (n) = 6

$d_b = 22 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{350 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 6 \times 22}{6 - 1} \\ &= 27,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

- 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

27,6 $\geq$ maksimal (22 dan 25) $\rightarrow$ diambil 22 mm karena paling kecil

27,6 $\geq 22 \rightarrow \text{ok}$

Jadi asumsi 1 lapis sudah memenuhi syarat

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 6 \times \frac{3,14}{4} \times 22^2 \\ &= 2280,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min 1} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\ &= \frac{\sqrt{30}}{(4 \times 420) \times 350 \times 649} \\ &= 740,57 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min 2} &= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\ &= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 350 \times 649} \\ &= 757,17 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2}) \end{aligned}$$

Cek $A_s \text{ min}$

$$\begin{aligned} A_s \text{ Pasang} &\geq A_s \text{ min} \\ 2280,8 &\geq 757,17 \rightarrow \text{ok} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{2280,8}{350 \times 649} \times 100\% \\ &= 1,00 \% \end{aligned}$$

- Rasio tulangan maksimum 1

$$\begin{aligned} 0,75\rho_b &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,75 \times 0,84 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600+420} \times 100\% \\ &= 2,24 \% \quad (\text{SNI 2847:2013 pada pasal B.10.3}) \end{aligned}$$

- Rasio tulangan maksimum 2

$$= 2,5 \% \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.1})$$

Cek $A_s \text{ max}$

$$\begin{aligned} \rho &\leq \rho_{\text{max}} \\ 1,00 \% &\leq 2,5 \% \rightarrow \text{ok} \end{aligned}$$

- Momen nominal

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \\
 &= \frac{2280,8 \times 420}{0,85 \times 30 \times 350} \\
 &= 107,33 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1})
 \end{aligned}$$

- Momen pada balok

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 2280,8 \times 420 \left(649 - \frac{107,33}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 570,29 \text{ kN-m} \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{107,33}{0,84} \\
 &= 128,43 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{d-c}{c-0,003} \\
 &= \frac{649-128,43}{128,43-0,003} \\
 &= 0,01
 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.1.2 dan pasal 22.2.2.1

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,65 \leq 0,65 + (\varepsilon_s - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\
 \phi &= 0,65 \leq 0,65 + (0,01 - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\
 \phi &= 0,9
 \end{aligned}$$

- Momen tahanan balok

$$\begin{aligned}
 &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 570,29 \\
 &= 513,26 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$M_u \text{ tumpuan (-)} = 436,88 \text{ kN-m}$$

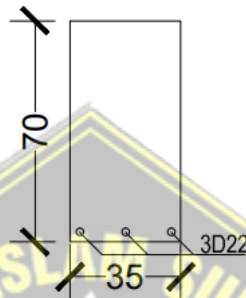
Cek kapasitas

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &> M_u \text{ tumpuan (-)} \\
 513,26 &> 436,88 \rightarrow ok
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)} \\
 &= \frac{436,88}{420 \left(649 - \frac{107,332}{2} \right)} \\
 &= 1747,24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

▪ Tulangan tumpuan Bawah

Penguatan tumpuan bawah yang dapat dilihat pada gambar dbawah ini.



Gambar 4.49. Detail Tulangan Tumpuan Bawah

Jumlah Tulangan positif Tumpuan (n) = 3

$d_b = 22 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\
 &= \frac{350 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 3 \times 22}{3 - 1} \\
 &= 102 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

▪ 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

102 $\geq$ maksimal (22 dan 25) $\rightarrow$ diambil 22 mm karena paling kecil

102 $\geq 22 \rightarrow ok$

Jadi asumsi 1 lapis sudah memenuhi syarat

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

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 1} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{(4 \times 420) \times 350 \times 649} \\
 &= 740,57 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\
 &= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 350 \times 649} \\
 &= 757,17 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 2} &= 0,5 \times A_s \text{ tumpuan negatif} \\
 &= 0,5 \times 2280,8 \\
 &= 1140,4 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.3.2})
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ Pasang}} &\geq A_{s \text{ min}} \\
 1140,4 &\geq 1140,4 \rightarrow \text{ok}
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{1140,4}{350 \times 649} \times 100\% \\
 &= 0,50 \%
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan maksimum 1

$$\begin{aligned}
 0,75\rho_b &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\
 &= 0,75 \times 0,84 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600+420} \times 100\% \\
 &= 2,24 \% \quad (\text{SNI 2847:2013 pada pasal B.10.3})
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan maksimum 2

$$= 2,5 \% \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.1})$$

Cek A_s max

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

$$0,50 \% \leq 2,5 \% \rightarrow \text{ok}$$

▪ Momen nominal

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \\ &= \frac{1140,4 \times 420}{0,85 \times 30 \times 350} \\ &= 53,67 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1}) \end{aligned}$$

▪ Momen pada balok

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 1140,4 \times 420 \left(649 - \frac{107,33}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 298 \text{ kN-m} \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{53,67}{0,84} \\ &= 64,22 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{d-c}{c-0,003} \\ &= \frac{649-64,22}{64,22-0,003} \\ &= 0,03 \end{aligned}$$

▪ Faktor reduksi kekuatan lentur

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.1.2 dan pasal 22.2.2.1

$$\phi = 0,65 \leq 0,65 + (\varepsilon_s - 0,002) / 0,003 * 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,65 \leq 0,65 + (0,03 - 0,002) / 0,003 * 0,25 \leq 0,9$$

$$\phi = 0,9$$

▪ Momen tahanan balok

$$\begin{aligned} &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 298 \\ &= 268,2 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ tumpuan (+)} = 218,44 \text{ kN-m}$$

- **Cek kapasitas**

$$\phi M_n > M_{u \text{ tumpuan (+)}} \\ 268,2 > 218,44 \rightarrow ok$$

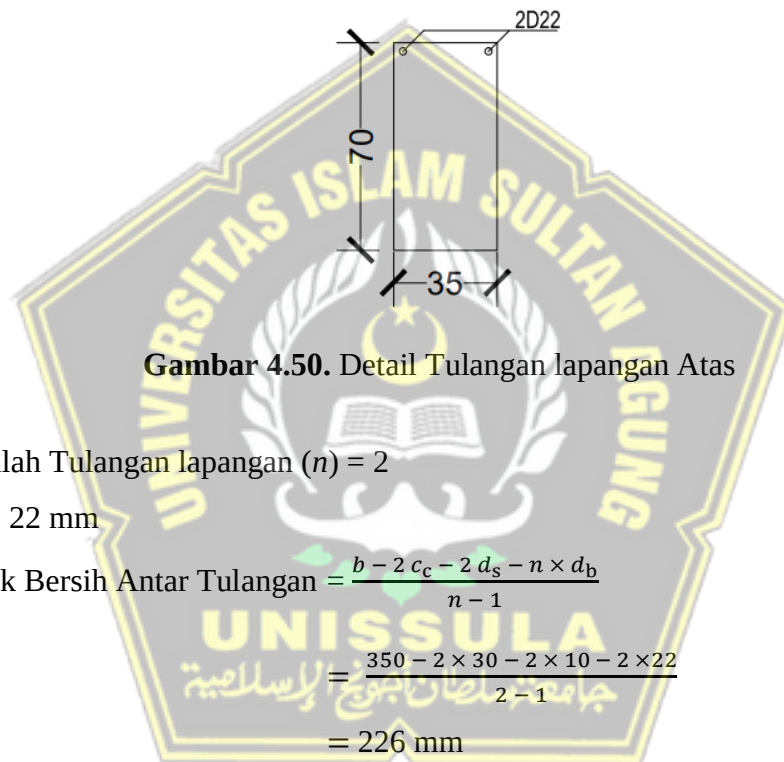
- $A_s \text{ perlu} = \frac{M_u}{f_y (d - \frac{a}{2})}$

$$= \frac{218,44}{420 (649 - \frac{53,67}{2})}$$

$$= 835,94 \text{ mm}^2$$

- **Tulangan Lapangan Atas**

Penulangan lapangan atas yang dapat dilihat pada gambar dbawah ini.



Jumlah Tulangan lapangan (n) = 2

$d_b = 22 \text{ mm}$

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

$$= \frac{350 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 2 \times 22}{2 - 1}$$

$$= 226 \text{ mm}$$

- **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

226 $\geq$ maksimal (22 dan 25) $\rightarrow$ diambil 22 mm karena paling kecil

226 $\geq 22 \rightarrow ok$

Jadi asumsi 1 lapis sudah memenuhi syarat

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

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

$$= 760,27 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 1} &= \frac{\sqrt{f_c}}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{(4 \times 420) \times 350 \times 649} \\
 &= 740,57 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\
 &= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 350 \times 649} \\
 &= 757,17 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 2} &= 0,25 \times A_s \text{ tumpuan negatif} \\
 &= 0,25 \times 2280,8 \\
 &= 570,2 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.3.2})
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ Pasang}} &\geq A_{s \text{ min}} \\
 760,27 &\geq 570,2 \rightarrow \text{ok}
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{760,27}{350 \times 649} \times 100\% \\
 &= 0,33 \%
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan maksimum 1

$$\begin{aligned}
 0,75\rho_b &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\
 &= 0,75 \times 0,84 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600+420} \times 100\% \\
 &= 2,24 \% \quad (\text{SNI 2847:2013 pada pasal B.10.3})
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan maksimum 2

$$= 2,5 \% \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.1})$$

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

$$\begin{aligned}
 \rho &\leq \rho_{\text{max}} \\
 0,33 \% &\leq 2,5 \% \rightarrow \text{ok}
 \end{aligned}$$

- Momen nominal

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \\
 &= \frac{760,27 \times 420}{0,85 \times 30 \times 350} \\
 &= 35,78 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1})
 \end{aligned}$$

- Momen pada balok

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 760,27 \times 420 \left(649 - \frac{35,78}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 201,52 \text{ kN-m} \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{35,78}{0,84} \\
 &= 42,81 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{d-c}{c-0,003} \\
 &= \frac{649-42,81}{42,81-0,003} \\
 &= 0,04
 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.1.2 dan pasal 22.2.2.1

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,65 \leq 0,65 + (\varepsilon_s - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\
 \phi &= 0,65 \leq 0,65 + (0,03 - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\
 \phi &= 0,9
 \end{aligned}$$

- Momen tahanan balok

$$\begin{aligned}
 &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 201,52 \\
 &= 181,37 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$M_u \text{ lapangan (-)} = 103,5 \text{ kN-m}$$

- Cek kapasitas

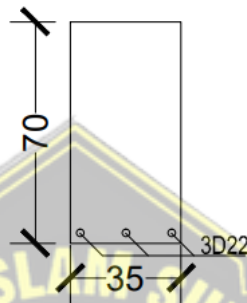
$$\phi M_n > M_u \text{ lapangan (-)}$$

$$181,37 > 103,5 \rightarrow \text{ok}$$

$$\begin{aligned} \blacksquare A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)} \\ &= \frac{103,5}{420 \left(649 - \frac{35,78}{2} \right)} \\ &= 390,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

▪ Tulangan Lapangan Bawah

Penulangan lapangan bawah yang dapat dilihat pada gambar dbawah ini.



Gambar 4.51. Detail Tulangan Lapangan Bawah

Jumlah Tulangan positif Lapangan (n) = 3

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

$$\begin{aligned} \text{Jarak Bersih Antar Tulangan} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{350 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 3 \times 22}{3 - 1} \\ &= 102 \text{ mm} \end{aligned}$$

▪ 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

102 $\geq$ maksimal (22 dan 25) $\rightarrow$ diambil 22 mm karena paling kecil

102 $\geq 22 \rightarrow \text{ok}$

Jadi asumsi 1 lapis sudah memenuhi syarat

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

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 1} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\
 &= \frac{\sqrt{30}}{(4 \times 420) \times 350 \times 649} \\
 &= 740,57 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{(4 \times f_y) \times b \times d} \\
 &= \frac{1,4}{(4 \times 420) \times 350 \times 649} \\
 &= 757,17 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.1.2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 2} &= 0,25 \times A_s \text{ tumpuan negatif} \\
 &= 0,25 \times 2280,8 \\
 &= 570,2 \text{ mm}^2 \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.3.2})
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ Pasang}} &\geq A_{s \text{ min}} \\
 1140,4 &\geq 570,2 \rightarrow \text{ok}
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{1140,4}{350 \times 649} \times 100\% \\
 &= 0,50 \%
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan maksimum 1

$$\begin{aligned}
 0,75\rho_b &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\
 &= 0,75 \times 0,84 \times 0,85 \times \frac{30}{420} \times \frac{600}{600+420} \times 100\% \\
 &= 2,24 \% \quad (\text{SNI 2847:2013 pada pasal B.10.3})
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan maksimum 2

$$= 2,5 \% \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.1})$$

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

$$\begin{aligned}
 \rho &\leq \rho_{\text{max}} \\
 0,50 \% &\leq 2,5 \% \rightarrow \text{ok}
 \end{aligned}$$

- Momen nominal

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1140,4 \times 420}{0,85 \times 30 \times 350} \\
 &= 53,67 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1})
 \end{aligned}$$

- Momen pada balok

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 1140,4 \times 420 \left(649 - \frac{107,33}{2} \right) \times 10^{-6} \\
 &= 298 \text{ kN-m} \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{53,67}{0,84} \\
 &= 64,22 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.2.4.1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \frac{d-c}{c-0,003} \\
 &= \frac{649-64,22}{64,22-0,003} \\
 &= 0,03
 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur

SNI 2847:2019 pada pasal 22.2.1.2 dan pasal 22.2.2.1

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,65 \leq 0,65 + (\varepsilon_s - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\
 \phi &= 0,65 \leq 0,65 + (0,03 - 0,002) / 0,003 \times 0,25 \leq 0,9 \\
 \phi &= 0,9
 \end{aligned}$$

- Momen tahanan balok

$$\begin{aligned}
 &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 298 \\
 &= 268,2 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$M_u \text{ lapangan (+)} = 207,01 \text{ kN-m}$$

- Cek kapasitas

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &> M_u \text{ lapangan (+)} \\
 268,2 &> 207,01 \rightarrow ok
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \blacksquare A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)} \\
 &= \frac{207,01}{420 \left(649 - \frac{53,67}{2} \right)} \\
 &= 792,19 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

4.19.4. Perhitungan Tulangan Transversal Balok

Material Struktur :

Panjang balok (L) = 8250 mm

Lebar balok (b) = 350 mm

Tinggi balok (h) = 700 mm

Panjang tumpuan = SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.4.1

$$= 2 \times h = 2 \times 700 = 1400 \text{ mm}$$

Diameter tulangan longitudinal (d_b) = 22 mm

Diameter tulangan pinggang (d_{bt}) = 13 mm

Diameter tulangan sengkang (d_s) = 10 mm

Selimut bersih (c_c) = 30 mm

Tinggi efektif balok (d) = $\frac{h - c_c - d_s - d_b}{2}$
= 649 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
= $0,65 \leq (0,85 - 0,05 \times (f'_c - 28))/7 \leq 0,85$
= 0,84

Panjang Kolom (c_1) = Input (Sisi tegak lurus lebar balok)

$$= 700 \text{ mm}$$

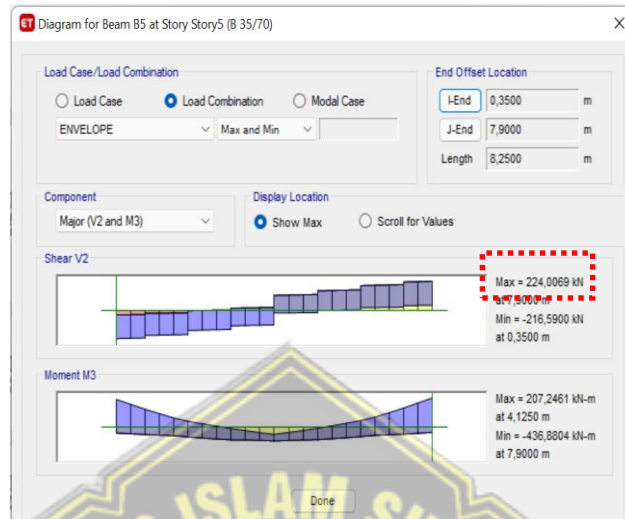
Lebar Kolom (c_2) = Input (Sisi yang ditempel balok/sejajar lebar balok)

$$= 700 \text{ mm}$$

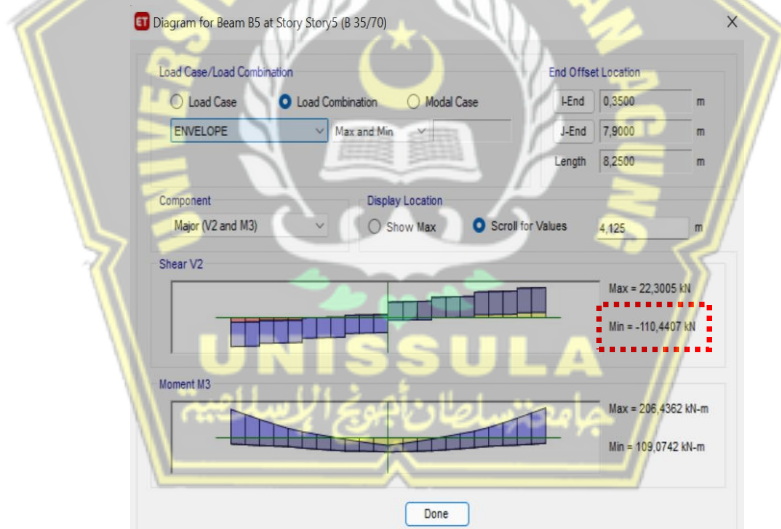
$$L_n = L - c_1 = 7550 \text{ mm}$$

- Gaya Dalam

Berikut merupakan hasil gaya geser ultimit yang didapatkan dari hasil perhitungan pada program ETABS.



Gambar 4.52. V_u Tumpuan Hasil ETABS



Gambar 4.53. V_u Lapangan Hasil ETABS

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan program bantu ETABS, dengan hasil bisa dilihat pada gambar 4.47. dan 4.48.

$$V_u \text{ tumpuan} = 224,01 \text{ kN-m}$$

$$V_u \text{ lapangan} = 110,44 \text{ kN-m}$$

4.19.4.1. Perhitungan Tumpuan dan Gaya Desain

V_g Tumpuan dapat dilihat di (SNI 2847:2019 pada pasal R18.6.5 dari Input [Kombinasi 1.2 D + L])

$$V_g \text{ Tumpuan} = 150,72 \text{ kN}$$

▪ A_s tumpuan

Dari perhitungan as pasang yang berada didesain lentur

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

$$A_s^- \text{ tumpuan} = 2280,8 \text{ mm}^2$$

▪ a_{pr}

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

$$= 1,25 \times 53,67 = 67,08 \text{ mm}$$

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

$$= 1,25 \times 107,33 = 134,16 \text{ mm}$$

▪ M_{pr}

SNI 2847:2019 pada pasal R18.6.5

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= A_s^+ \times (1,25 f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr}^+}{2}\right) \\ &= 1140,4 \times (1,25 \times 420) \times \left(649 - \frac{67,08}{2}\right) \\ &= 368480782 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^- &= A_s^- \times (1,25 f_y) \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2}\right) \\ &= 2280,8 \times (1,25 \times 420) \times \left(649 - \frac{134,16}{2}\right) \\ &= 696798820 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

▪ V_{away} atau V_{pr}

SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.5.1

$$\begin{aligned} V_{away} \text{ atau } V_{pr} &= \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{L_n} \\ &= \frac{368480782 + 696798820}{7550} = 141097 \text{ N} \end{aligned}$$

- V_e

SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.5.1

$$\begin{aligned} V_e &= V_g + V_{pr} \\ &= 150,72 \times 1000 + 141097 \\ &= 291821 \text{ N} \end{aligned}$$

4.19.4.2. Tahanan Desain Geser

$$\begin{aligned} V_{pr} &= 141097 \text{ N} \\ \frac{1}{2} V_e &= \frac{1}{2} \times 291821 \\ &= 145910 \text{ N} \\ P_u &= 0 \text{ N} \\ \frac{A_g f_c}{20} &= \frac{350 \times 700 \times 30}{20} = 367500 \text{ N} \end{aligned}$$

- V_c diperhitungkan

SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.5.2

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

$$\begin{aligned} V_{pr} &\geq \frac{1}{2} V_e \\ 141097 &\geq 145910 \rightarrow \text{tidak ok} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &< \frac{A_g f_c}{20} \\ 0 &< 367500 \rightarrow \text{ok} \end{aligned}$$

Salah satu syarat $V_c = 0$ tidak terpenuhi maka :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 649 \\ &= 211506 \text{ N} \end{aligned}$$

4.19.4.3. Penulangan Desain Geser

Jumlah kaki = 2

$$\begin{aligned}
 A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\
 &= 2 \times \frac{3,14}{4} \times 10^2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Spasi (s)

SNI 2847:2019 pada pasal 21.5.3.2

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

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi}_{\max 1} &= \frac{d}{4} \\
 &= \frac{649}{4} = 162,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi}_{\max 2} &= 6 d_b \\
 &= 6 \times 22 = 132 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi}_{\max 3} = 150 \text{ mm}$$

▪ Cek spasi

$$\text{Spasi} \leq (\text{Spasi}_{\max 1} \text{ atau } \text{Spasi}_{\max 2} \text{ atau } \text{Spasi}_{\max 3}) \rightarrow \text{diambil minimal}$$

$$\text{Spasi}_{\max} = 132 \text{ mm}$$

$$100 \leq 132 \rightarrow \text{ok}$$

▪ V_s

SNI 2847:2019 pada pasal 22.5.10.5.3

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\
 &= \frac{157,08 \times 420 \times 649}{100} \\
 &= 244667 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

▪ Batas V_s

SNI 2847:2019 pada pasal 22.5.1.2

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 350 \times 649 \\
 &= 821140 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur

SNI 2847:2019 pada pasal 12.5.3.2 dan pasal 21.2.4

$$\phi = 0.75$$

- Kapasitas

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 211506 + 244667$$

$$= 456173 \text{ N}$$

$$V_u = 291821 \text{ N}$$

- Cek kapasitas

$$\phi \frac{V_n}{V_u} > 1$$

$$0,75 \frac{456173}{291821} > 1$$

$$1,17 > 1 \rightarrow \text{ok}$$

4.19.4.4. Perhitungan Penulangan Lapangan Desain Geser

$$\text{Jumlah kaki} = 2$$

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 2 \times \frac{3,14}{4} \times 10^2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Spasi (s)

SNI 2847:2019 pada pasal 21.5.3.2

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

$$\text{Spasi}_{\max} = \frac{d}{2}$$

$$= \frac{649}{2} = 324,5 \text{ mm}$$

Cek spasi

$$\text{Spasi} \leq \text{Spasi}_{\max}$$

$$150 \leq 324,5 \rightarrow \text{ok}$$

- V_s (SNI 2847:2019 pada pasal 22.5.10.5.3)

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$= \frac{157,08 \times 420 \times 649}{150} = 163111 \text{ mm}$$

- Batas V_s

SNI 2847:2019 pada pasal 22.5.1.2

$$\text{Batas } V_s = 0,66 \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$= 0,66 \times \sqrt{30} \times 350 \times 649$$

$$= 821140 \text{ N}$$

- V_c

SNI 2847:2019 pada pasal 22.5.1.2

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

$$= 0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 649$$

$$= 211506 \text{ N}$$

- Faktor reduksi kekuatan lentur

SNI 2847:2019 pada pasal 12.5.3.2 dan pasal 21.2.4

$$\phi = 0,75$$

- Kapasitas

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 163111 + 211506$$

$$= 374617 \text{ N}$$

$$V_u = 110441 \text{ N}$$

- Cek kapasitas

$$\phi \frac{V_n}{V_u} > 1$$

$$0,75 \frac{374617}{110441} > 1$$

$$2,54 > 1 \rightarrow \text{ok}$$

4.19.5. Perhitungan Tulangan Torsi Balok

Material Struktur :

Panjang balok (L) = 8250 mm

Lebar balok (b) = 350 mm

Tinggi balok (h) = 700 mm

Panjang tumpuan = SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.4.1

$$= 2 \times h = 2 \times 700 = 1400 \text{ mm}$$

Diameter tulangan longitudinal (d_b) = 22 mm

Diameter tulangan pinggang (d_{bt}) = 13 mm

Diameter tulangan sengkang (d_s) = 10 mm

Selimut bersih (c_c) = 30 mm

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif balok } (d) &= \frac{h - c_c - d_s - d_b}{2} \\ &= 649 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kuat tekan beton (f'_c) = 30 MPa

Kuat leleh tulangan longitudinal (f_y) = 420 Mpa

Kuat leleh tulangan transversal (f_y) = 420 Mpa

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \text{SNI 2847:2019 pada tabel 22.2.2.4.3} \\ &= 0,65 \leq (0,85 - 0,05 \times (f'_c - 28)) / 7 \leq 0,85 \\ &= 0,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Kolom } (c_1) &= \text{Input (Sisi tegak lurus lebar balok)} \\ &= 700 \text{ mm} \end{aligned}$$

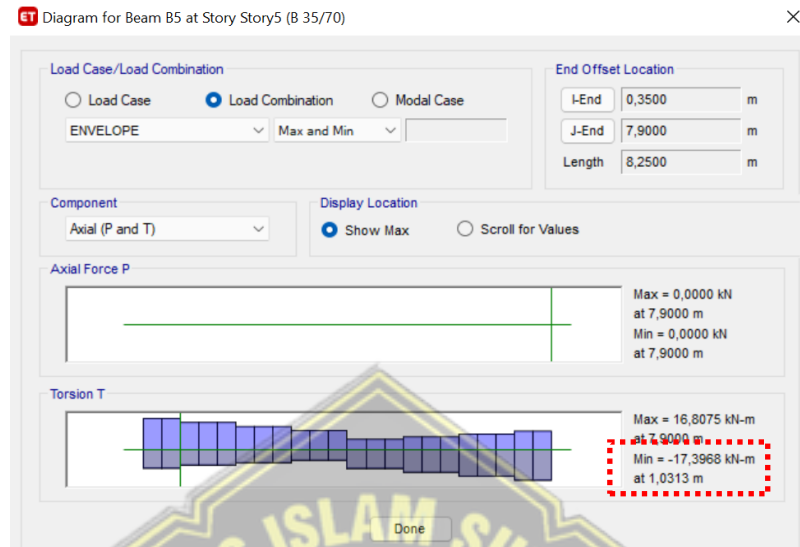
$$\begin{aligned} \text{Lebar Kolom } (c_2) &= \text{Input (Sisi yang ditempel balok/sejajar} \\ &\quad \text{lebar balok)} \end{aligned}$$

$$= 700 \text{ mm}$$

$$L_n = L - c_1 = 7550 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1$$

Gaya torsi maksimum pada balok G3 yang didapatkan dari hasil perhitungan menggunakan aplikasi ETABS yaitu:



Gambar 4.54. Gaya Torsi Hasil ETABS

$$T_u = 17,40 \text{ kNm} = 17400000 \text{ Nmm}$$

4.19.5.1. Parameter Geometri Penampang Untuk Perhitungan

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 350 \times 700 \\ &= 245000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (350 + 700) \\ &= 2100 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_o &= b - 2c_c - d_s \\ &= 350 - 2 \times 30 - 10 \\ &= 280 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_o &= h - 2c_c - d_s \\ &= 700 - 2 \times 30 - 10 \\ &= 630 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= X_o \times Y_o \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pada pasal R22.7.1.1} \\ &= 280 \times 630 \\ &= 176400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_o &= 0,85 A_{oh} \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pada pasal R22.7.1.1} \\
&= 0,85 \times 176400 \\
&= 149940 \text{ mm}^2 \\
P_h &= 2 \times (X_o + Y_o) \\
&= 2 \times (280 + 630) \\
&= 1820 \text{ mm} \\
T_u &= 17,4 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

4.19.5.2. Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

$$\begin{aligned}
T_{cr} &= 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\
&= 0,33 \times \sqrt{30} \times \frac{245000^2}{2100} \\
&= 51663930 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Factor reduksi kekuatan lentur (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 $T_u > \phi \frac{T_{cr}}{4}$

$$T_u > \phi \frac{T_{cr}}{4}$$

$$17400000 > 0,75 \frac{51663930}{4}$$

$$17400000 > 9686987 \rightarrow \text{perlu tulangan}$$

4.19.5.3. Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

Jenis torsi = statis tak tentu = komperatif

Tu pakai merujuk ke SNI 2847:2019 pada pasal 22.7.3.2 dan pasal 22.7.5

$$T_u = 17400000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
\phi T_{cr} &= 0,75 \times 51663930 \\
&= 38747947,5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_u \text{ pakai} &= (T_u \text{ atau } \phi T_{cr}) \rightarrow \text{diambil paling kecil yaitu } \phi T_{cr} \\
&= 17397000 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

$$V_u = 291821 \text{ N} \rightarrow \text{dari sheet desain geser}$$

- V_c

(SNI 2847:2019 pada pasal 22.5.5.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 649 \\ &= 211506 \text{ N} \end{aligned}$$

- Tegangan ultimate geser + torsi

(SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.7.1)

$$\begin{aligned} &= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{291821}{350 \times 649}\right)^2 + \left(\frac{17400000 \times 1820}{1,7 \times 176400^2}\right)^2} \\ &= 1,42 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Kapasitas tegangan beton

(SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.7.1)

$$\begin{aligned} &= \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times (\sqrt{f_c'})\right) \\ &= 0,75 \times \left(\frac{211506}{350 \times 649} + 0,66 \times (\sqrt{30})\right) \\ &= 3,41 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Cek dimensi penampang

SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.7.1

Ruas kiri $\leq$ Ruas kanan

$$1,42 \leq 3,41 \rightarrow ok$$

4.19.5.4. Parameter Umum Lainnya

$$f_y / f_{yt}$$

Kuat Leleh Baja Tulangan Torsi = Kuat Leleh Baja Tulangan = 1

$$\theta$$

SNI 2847:2019 pada pasal 22.7.6.1.2

θ diambil untuk balok komponen struktur non prategang = 45°

4.19.5.5. Penulangan Transversal Torsi

Jumlah kaki

$$n_{\text{kaki tumpuan}} = 2$$

$$n_{\text{kaki lapangan}} = 2$$

Spasi

SNI 2847:2019 pada pasal 9.7.6.3.3

$$S_{\text{tumpuan}} = 100 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} S_{\text{max } 1} &= \frac{P_h}{8} \\ &= \frac{1820}{8} = 228 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{max } 2} = 300 \text{ mm}$$

▪ Cek spasi

Spasi tumpuan

$$\begin{aligned} S_{\text{tumpuan}} &\leq S_{\text{max } 1} \\ 100 &\leq 228 \rightarrow \text{ok} \end{aligned}$$

Spasi lapangan

$$\begin{aligned} S_{\text{lapangan}} &\leq S_{\text{max } 2} \\ 150 &\leq 300 \rightarrow \text{ok} \end{aligned}$$

▪ A_{v+t} / s pasang

A_{v+t} / s tumpuan pasang

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s} &= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s} \\ &= 2 \times \frac{\frac{3,14}{4} \times 10^2}{100} \\ &= 1,57 \text{ mm} \end{aligned}$$

A_{v+t} / s lapangan pasang

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s} &= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s} \\ &= 2 \times \frac{\frac{3,14}{4} \times 10^2}{150} \\ &= 1,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

- A_t / s

SNI 2847:2019 pada pasal 22.7.6.1

$$\begin{aligned} A_t / s &= \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_y} \\ &= \frac{17397000}{2 \times 0,75 \times 149940 \times 420} \\ &= 0,18 \text{ mm} \end{aligned}$$

- A_v / s perlu

A_v / s tumpuan perlu

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{\frac{V_u \text{ tumpuan geser}}{\phi \text{ geser}} - v_c}{f_y \times d} \\ &= \frac{\frac{291821}{0,75} - 211506}{420 \times 749} \\ &= 1,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

A_v / s lapangan perlu

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{\frac{V_u \text{ lapangan geser}}{\phi \text{ geser}} - v_c}{f_y \times d} \\ &= \frac{\frac{110441}{0,75} - 211506}{420 \times 649} \\ &= -0,413 \text{ mm} \end{aligned}$$

- A_{v+t} / s perlu

SNI 2847:2019 pada pasal R9.5.4.3

A_{v+t} / s tumpuan perlu

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s} &= 2 \times (A_t / s) + (A_v / s \text{ tumpuan perlu}) \\ &= 2 \times (0,18) + (1,14) \\ &= 1,51 \end{aligned}$$

A_{v+t} / s lapangan perlu

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s} &= 2 \times (A_t / s) + (A_v / s \text{ lapangan perlu}) \\ &= 2 \times (0,18) + (-0,413) \\ &= -0,04 \end{aligned}$$

- A_{v+t} / s minimal

SNI 2847:2019 pada pasal 9.6.4.2

A_{v+t} / s minimal 1

$$\begin{aligned}\frac{A_{v+t}}{s} &= \frac{0,062 \times \sqrt{f_c} \times b}{f_y} \\ &= \frac{0,062 \times \sqrt{30} \times 350}{420} \\ &= 0,28\end{aligned}$$

A_{v+t} / s minimal 2

$$\begin{aligned}\frac{A_{v+t}}{s} &= \frac{0,035 \times b}{f_y} \\ &= \frac{0,035 \times 350}{420} \\ &= 0,29\end{aligned}$$

4.19.5.6. Cek geser + torsi

Cek geser + torsi tumpuan

$$\begin{aligned}(A_{v+t} / s_{pasang}) &\geq (A_{v+t} / s_{perlu}) \\ (1,57) &\geq (1,51) \rightarrow ok\end{aligned}$$

Cek geser + torsi lapangan

$$\begin{aligned}(A_{v+t} / s_{pasang}) &\geq (A_{v+t} / s_{perlu}) \\ (1,05) &\geq (0,29) \rightarrow ok\end{aligned}$$

4.19.5.7. Penulangan Longitudinal Torsi

$$d_b \text{ atau } d_{bt} = 13 \text{ mm}$$

$$d_{b \text{ min}} = 6,3 \text{ mm} \rightarrow \text{SNI 2847:2019 pada pasal 9.7.5.2}$$

Cek d_b

$$d_b \geq d_{b \text{ min}}$$

$$16 \geq 6,3 \rightarrow ok$$

- A_s perlu $\rightarrow$ Dari Sheet Desain Geser

$$A_s \text{ perlu tumpuan atas} = 1747,24 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu tumpuan bawah} = 835,94 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan atas} = 390,48 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan bawah} = 792,19 \text{ mm}^2$$

- A_1

SNI 2847:2019 pada pasal 22.7.6.1

$$\begin{aligned} A_1 &= (A_t / s) \times P_h \\ &= (0,18) \times 1820 \\ &= 335,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- $A_1 \text{ Min}$

SNI 2847:2019 pada pasal 22.7.6.1

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{0,42 \times \sqrt{f_c} \times A_{cp}}{f_y} - (A_t / s) \times P_h \\ &= \frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 245000}{420} - (0,18) \times 1820 \\ &= 1006,73 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- $A_s + A_1$ perlu

Tumpuan

Max (A_1 atau $A_{1 \text{ min}}$) → diambil paling besar yaitu $A_1 = 950,526 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_s + A_1 &= \max(A_1 \text{ atau } A_{1 \text{ min}}) + A_{s \text{ atas}} + A_{s \text{ bawah}} \\ &= 1006,73 + 1747,24 + 835,94 \\ &= 3589,91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

lapangan

Max (A_1 atau $A_{1 \text{ min}}$) → diambil paling besar yaitu $A_1 = 950,526 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} A_s + A_1 &= \max(A_1 \text{ atau } A_{1 \text{ min}}) + A_{s \text{ atas}} + A_{s \text{ bawah}} \\ &= 1006,73 + 390,48 + 792,19 \\ &= 2189,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan

- n tumpuan atas

Dari Sheet Desain Lentur = 6

- n tumpuan tengah

Input (Disarankan Kelipatan 2) = 2

- n tumpuan bawah

Dari Sheet Desain Lentur = 3

- n tumpuan vertikal

$$\begin{aligned} 2 + \frac{n \text{ tumpuan tengah}}{2} &= 2 + \frac{2}{2} \\ &= 3 \end{aligned}$$

- n lapangan atas
Dari Sheet Desain Lentur $= 2$
- n lapangan tengah
Input (Disarankan Kelipatan 2) $= 4$
- n lapangan bawah
Dari Sheet Desain Lentur $= 3$
- n lapangan vertikal

$$2 + \frac{n \text{ lapangan tengah}}{2} = 2 + \frac{4}{2}$$

$$= 4$$

4.19.5.8. Spasi

- Spasi horizontal tumpuan
Min (n_{atas} ; n_{bawah}) $\rightarrow$ di ambil $n_{tengah} = 4$ (karena paling kecil)

$$= \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{atas}, n_{bawah}) - 1}$$

$$= \frac{350 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{3 - 1}$$

$$= 124 \text{ mm}$$

- Spasi Vertikal tumpuan

$$= \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{(n_{vertikal}) - 1}$$

$$= \frac{700 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{3 - 1}$$

$$= 299 \text{ mm}$$

- Spasi horizontal lapangan

$$\text{Min } (n_{atas}; n_{bawah}) \rightarrow \text{di ambil } n_{tengah} = 4 \text{ (karena paling kecil)}$$

$$= \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{atas}, n_{bawah}) - 1}$$

$$= \frac{350 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{2 - 1}$$

$$= 248 \text{ mm}$$

- Spasi vertikal lapangan

$$= \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{(n_{vertikal}) - 1}$$

$$= \frac{700 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{4 - 1}$$

$$= 199 \text{ mm}$$

4.19.5.9. Cek spasi tulangan longitudinal

- Tumpuan

max(spasi) → diambil spasi vertikal karena paling besar = 233 mm

$$\max(\text{spasi}) \leq 300$$

$$299 \leq 300 \rightarrow \text{ok}$$

- Lapangan

max(spasi) → diambil spasi vertikal karena paling besar = 233 mm

$$\max(\text{spasi}) \leq 300$$

$$248 \leq 300 \rightarrow \text{ok}$$

$A_s + A_1$ pasang

- $A_s + A_1$ tumpuan pasang

$$= (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 + (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2$$

$$= (6 + 3) \times \frac{3,14}{4} \times 22^2 + (4) \times \frac{3,14}{4} \times 13^2$$

$$= 3686,66 \text{ mm}^2$$

- $A_s + A_1$ lapangan pasang

$$= (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 + (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2$$

$$= (2 + 3) \times \frac{3,14}{4} \times 22^2 + (4) \times \frac{3,14}{4} \times 13^2$$

$$= 2431,59 \text{ mm}^2$$

4.19.5.10. Cek lentur + torsi

- Tumpuan

$$A_s + A_1 \text{ pasang} \geq A_s + A_1 \text{ perlu}$$

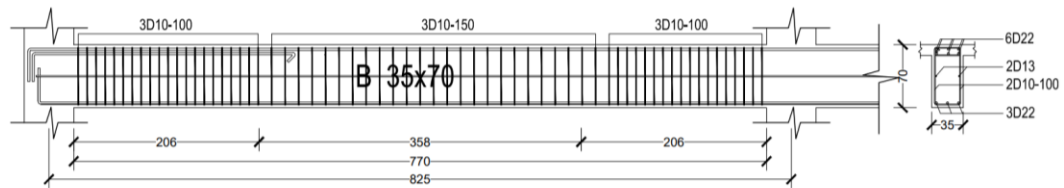
$$3686,66 \geq 3589,91 \rightarrow \text{ok}$$

- Lapangan

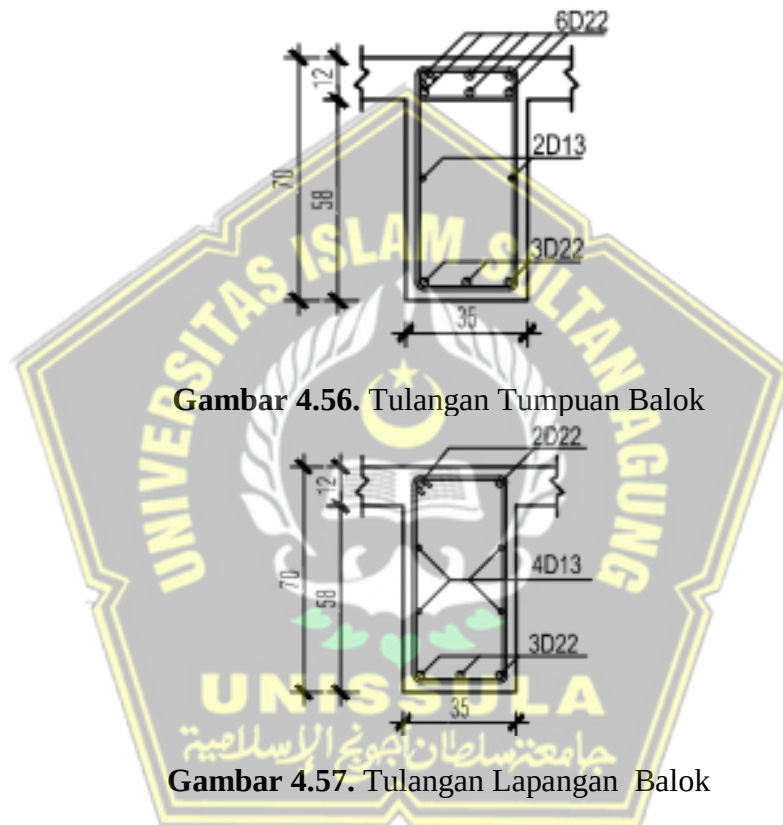
$$A_s + A_1 \text{ pasang} \geq A_s + A_1 \text{ perlu}$$

$$2431,59 \geq 2189,4 \rightarrow \text{ok}$$

Hasil dari analisis perhitungan balok yang memenuhi syarat dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.55. Potongan Memanjang Balok



Gambar 4.56. Tulangan Tumpuan Balok

Gambar 4.57. Tulangan Lapangan Balok

Berikut merupakan hasil rekapan perhitung tulangan balok pada struktur bangunan Gedung Amaris Madiun

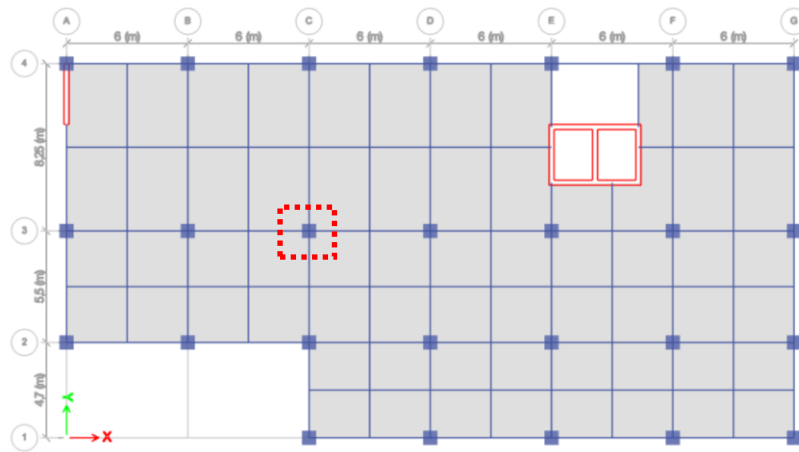
Tabel 4.61. Rekap Balok

Dimensi	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tulangan Torsi
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
25x50	Atas	4D19	2D19	3D10-100	2D10-150	4D13
	Bawah	2D19	2D19			

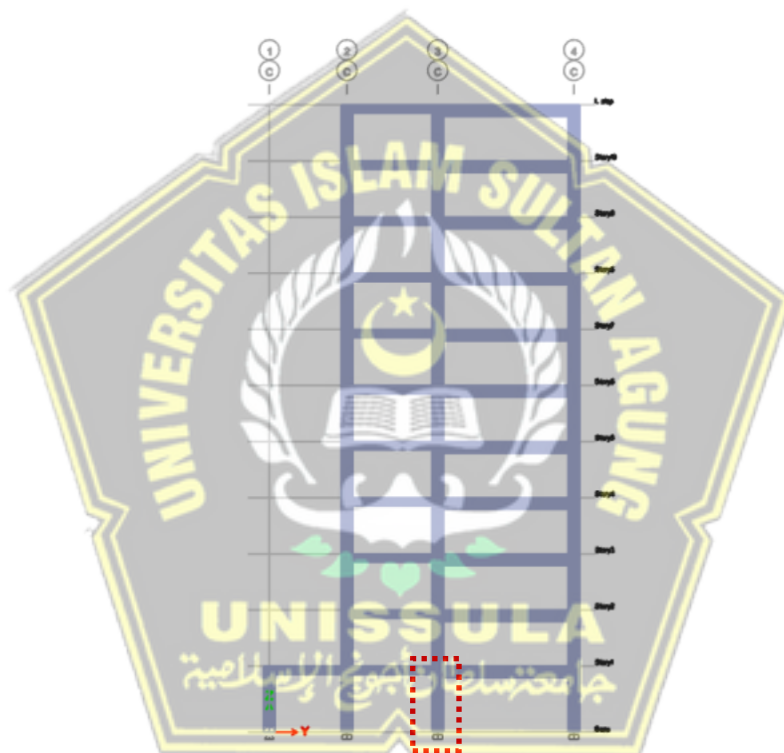
Dimensi	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tulangan Torsi
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
30x60	Atas	5D19	2D19	4D10-100	2D10-150	2D13
	Bawah	3D19	2D19			
30x60SW	Atas	4 D22	2 D22	4D10-100	2D10-150	2 D13
	Bawah	2 D22	3 D22			
35x70SW	Atas	6 D22	3 D22	3D10-100	2D10-150	2 D13
	Bawah	3 D22	4 D22			
35x70	Atas	6 D22	2 D22	2D10-100	2D10-150	2 D13
	Bawah	3 D22	3 D22			
15x20BA	Atas	3D13	2D13	2D10-150	2D10-200	-
	Bawah	2D13	2D13			
15x30BA	Atas	3D13	2D13	2D10-150	2D10-200	-
	Bawah	2D13	2D13			
20x40BA	Atas	5D13	2D13	2D10-150	2D10-200	-
	Bawah	3D13	3D13			
20x40BA(SW)	Atas	6D13	2D13	2D10-150	2D10-200	-
	Bawah	3D13	3D13			

4.20. Desain Penulangan Kolom

Analisis kapasitas desain balok 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 K1 ukuran 700 x 700 mm pada lantai 1. 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 4.58. Denah Kolom Sampel



Gambar 4.59. Elevasi Kolom Sampel

4.20.1. Analisis Tulangan Longitudinal Kolom

Acuan yang digunakan dalam melakukan perhitungan kolom yaitu SNI 2847:2019 tentang Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. Perhitungan kolom sebagai berikut:

Data perencanaan :

Tinggi kolom (L) : 4000 mm

Dimensi kolom : 700 × 700 mm

A_g	: 490000 mm ²
Mutu beton (f_c')	: 30 Mpa
Mutu baja (f_y)	: 420 Mpa
Selimut beton (t_s)	: 40 mm
D tulangan utama	: 22 mm
D tulangan Sengkang	: 13 mm
Φ (SNI 2847:2019 tabel 21.2.1)	: 65 mm
M_{nb+} (Momen kapasitas balok)	: 570,03 KN.m
M_{nb-} (Momen kapasitas balok)	: 297,85 KN.m

Adapun gaya-gaya yang diperlukan dalam mendesain kolom yaitu gaya dalam yang diambil dari analisis ETABS. Didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut.

Tabel 4.62. Gaya aksial lentur

No	GAYA DALAM	P_u (kN)	V_u (kN)
1	Kolom Atas	4682,56	-
2	Kolom Bawah	5196,94	129,06

Langkah – langkah untuk perhitungan kolom pada sistem rangka gedung sebagai berikut :

4.20.1.1. Cek dimensi

Pada pasal 18.7.2.1 SNI 2847:2019 batasan dimensi untuk struktur kolom harus memenuhi :

1. Dimensi terkecil penampang tidak kurang dari 300 mm

$$b = 700$$

$$700 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{oke})$$

2. Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4.

$$\frac{b}{h} = \frac{700}{700} = 1 > 0,4 \quad (\text{oke})$$

4.20.1.2. Cek syarat komponen struktur tahan gempa

Gaya tekan aksial P_u akibat kombinasi beban yang melebihi $A_g f_c' / 10$

$$A_g f_c' / 10 = \frac{490000 \times 30}{10}$$

$$= 1470000 \text{ N}$$

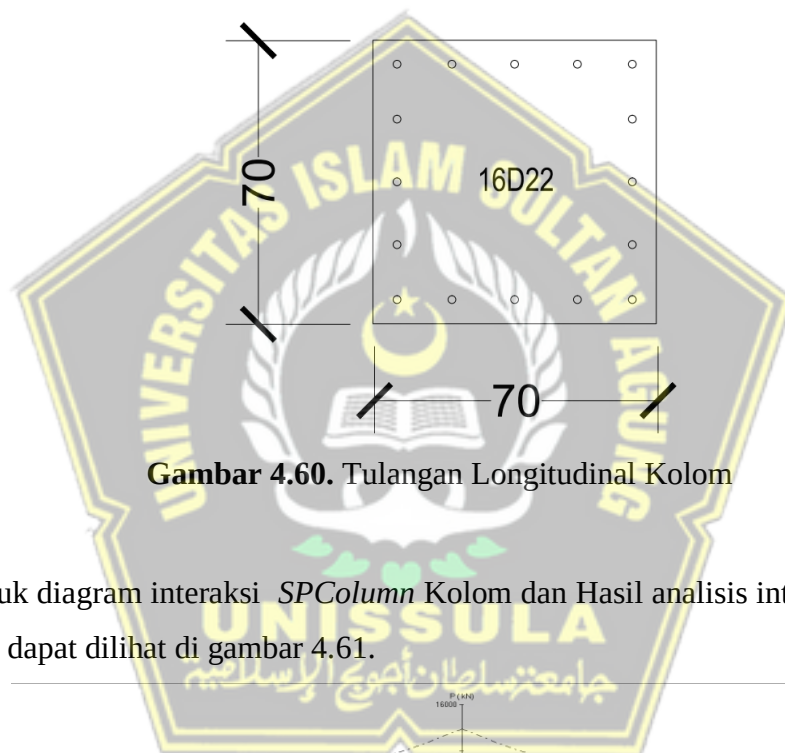
$$= 1470 \text{ KN}$$

$$P_u > A_g f'_c / 10$$

$$5196,94 > 1470 \text{ (Memenuhi persyaratan)}$$

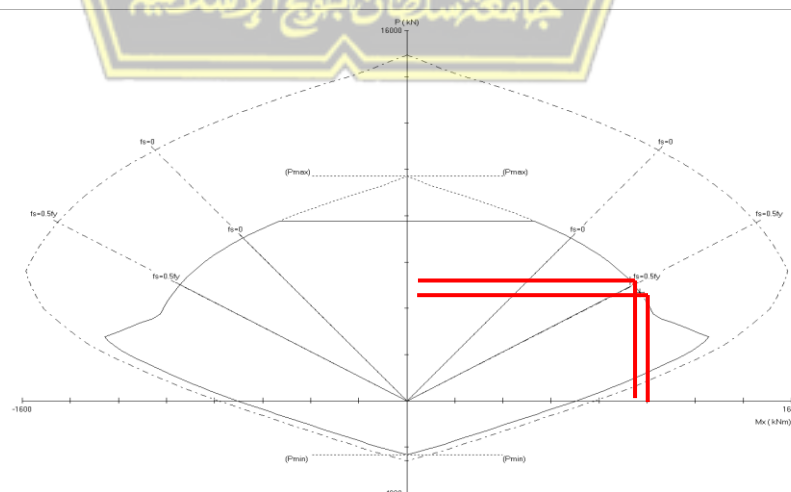
4.20.1.3. Menentukan tulangan logitudinal penahan lentur

Menurut pasal 18.7.4 SNI 2847:2019 luas tulangan longitudinal tidak diijinkan kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih dari $0,06A_g$. Dengan *trial and error* menggunakan *software SPColumn* didapatkan konfigurasi tulangan lentur kolom 16D22.



Gambar 4.60. Tulangan Longitudinal Kolom

Untuk diagram interaksi *SPColumn* Kolom dan Hasil analisis interaksi $P_n - M_{pr}$ Kolom dapat dilihat di gambar 4.61.



Gambar 4.61. Diagram interaksi *SPColumn* Kolom

Berikut merupakan hasil analisis dari *output SPColumn*, yang dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 4.63. Hasil analisis interaksi P_n - M_{pr} Kolom

P_u	M_{ux}	ϕM_{nx}	$\phi M_n/M_u$	N_A Depth	D_t Depth	ϵ_t	ϕ
KN	KNm	KNm		mm	mm		
4682	970	970,23	1000	449	639	0,001	0,65
5196	928	928,60	1001	487	639	0,001	0,65

$$0,01A_g = 0,01 \times 490000$$

$$= 4900 \text{ mm}^2$$

$$0,06A_g = 0,06 \times 490000$$

$$= 29400 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = \sum \text{tulangan pokok} \times 0,25 \times 3,14 \times \phi_{\text{tulangan}}^2$$

$$= 16 \times 0,25 \times 3,14 \times 22^2$$

$$= 6079,04 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek } 0,01A_g < A_{st} < 0,06A_g$$

$$0,01A_g < 0,021 < 0,06A_g$$

$$4900 < 6079,04 < 29400 \text{ (Memenuhi Syarat)}$$

4.20.1.4. Kontrol kapasitas beban aksial kolom terhadap beban aksial terfaktor
Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada tabel 22.4.2.1. kapasitas beban kolom tidak boleh kurang dari:

$$\phi P_{n \max} = 0,8 \times \phi \times (0,85f'_c (A_g - A_{st}) + (f_y A_{st}))$$

Dimana :

$$A_g = b \times h$$

$$= 700 \times 700$$

$$= 490000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = \sum \text{tulang pokok} \times 0,25 \times 3,14 \times \phi_{\text{tulangan}}^2$$

$$= 16 \times 0,25 \times 3,14 \times 22^2$$

$$= 6079,04 \text{ mm}^2$$

4.20.1.5. Cek syarat *Strong Column Weak Beam*

Sesuai dengan pasal 18.7.3.2 SNI 2847:2019. Kekuatan lentur kolom harus memenuhi :

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

Menentukan nilai $\sum M_{nb}$

$$\begin{aligned}\sum M_{nb} &= M_{nb}^{+} + M_{nb}^{-} \\ &= 570,03 + 297,85 \\ &= 867,88 \text{ kNm}\end{aligned}$$

4.20.1.6. Menentukan nilai $\sum M_{nc}$

Nilai M_{nc} didapatkan dari diagram interaksi P_n-M_{pr} *SPColumn* yaitu mencari dengan momen yang dihasilkan dari kombinasi beban aksial kolom atas dan kolom bawah.

$$\begin{aligned}\sum M_{nc} &= M_{nc \text{ atas}} + M_{nc \text{ bawah}} \\ &= 1492,31 + 0 \\ &= 1492,31 \\ \sum M_{nc} &\geq 1,2 \sum M_{nb} \\ 1492,31 &\geq 1041,456 \quad (\text{Memenuhi Persyaratan})\end{aligned}$$

4.20.1.7. 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:

1. $1/6$ tinggi bersih kolom = 666,67 mm
2. Dimensi maksimum kolom = 700 mm
3. 450 mm

Jarak l_o digunakan 7000 mm.

- b) Penentuan S_{max} merupakan nilai terbesar dari:

1. $\frac{1}{4}$ dimensi komponen struktur minimum = 175 mm
2. $6d_b = 132$ mm
3. S_o , tidak melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm.

$$S_o = \frac{100+350-0,5(700-2(10)-22)}{3} = 150 \text{ mm}$$

Ambil jarak tulangan transversal 100 mm

c) Pentuam 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:

$$A_{sh1} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$A_{sh2} = 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$\begin{aligned} b_{c1} &= \text{panjang penampang inti beton yang tertekan} \\ &= 700 - (2 \times 40) \\ &= 620 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{c2} &= \text{lebar penampang inti beton yang tertekan} \\ &= 700 - (2 \times 40) \\ &= 620 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{ch} &= b_{c1} \times b_{c2} \\ &= 620 \times 620 \\ &= 384400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh1} &= 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ &= 0,3 \left(\frac{490000}{384400} - 1 \right) \frac{30}{420} = 0,01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh2} &= 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ &= 0,09 \frac{30}{420} \\ &= 0,01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} &= b_c \times A_{sh} \text{ max} \\ &= 620 \times 0,01 \\ &= 4,56 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= 4,56 \times 100 \\ &= 456,17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dapat digunakan Sengkang (*hoop*) 6D10-100

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 6 \text{ kaki} \times 0,25 \times 3,14 \times 13^2 \\ &= 471 \end{aligned}$$

Cek, $A_s \text{ Pasang} > A_{sh \text{ max}}$

$$471 > 456,17 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi Persyaratan)}$$

d) Sesuai pasal 18.6.64.7 SNI 2847:2019. Untuk daerah sepanjang sisa kolom bersih diberi hoop dengan spasi minimum sebagai berikut:

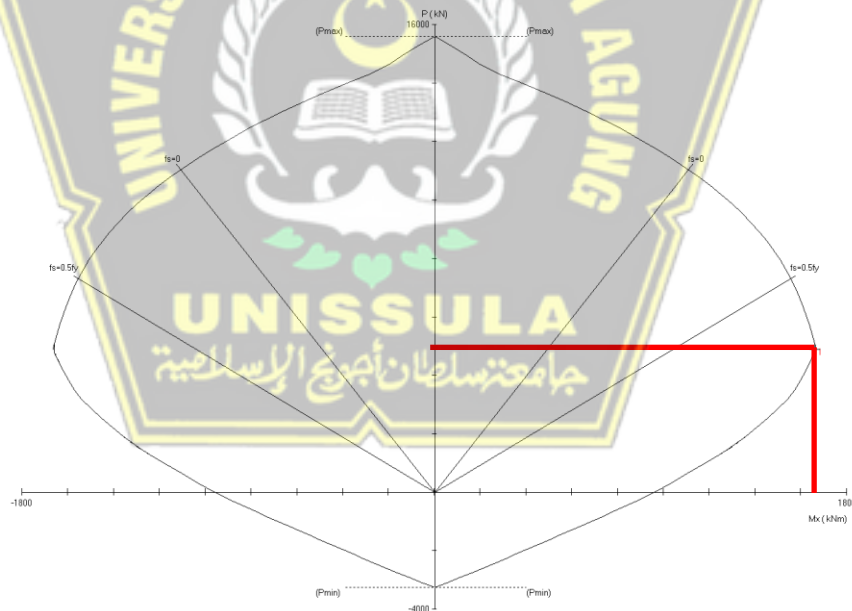
1. $6d_b = 132 \text{ mm}$

2. 150 mm

Maka $S_{\min} = 132 \text{ mm}$ dan dapat digunakan spasi *hoop* (s) = 130 mm sepanjang sisa kolom bersih.

4.20.1.8. Analisis Gaya geser desain tulangan Senggang 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 $1,25 f_y$ dan $\phi = 1$.



Gambar 4.62. Diagram interaksi P_n - M SPColumn Kolom Bawah $1,25 f_y$

Berikut merupakan hasil analisis dari *output SPColumn*, yang dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 4.64. Hasil Analisis interaksi Pn-M SPColumn Kolom Bawah 1,25 Fy

P_u	M_{ux}	ϕM_{nx}	$\phi M_n/M_u$	N_A Depth	d_t Depth	ϵ_t	ϕ
KN	KNm	KNm		mm	mm		
4880	1660	1663,44	1,002	340	639	0,003	1,00

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{M_{pr\ atas} + M_{pr\ bawah}}{l_n} \\
 &= \frac{368,48 + 696,8}{3300} \\
 &= 1007,88 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Diketahui:

$$\text{Nilai } M_{prb\ atas} = 368,48 \text{ KN.m}$$

$$\text{Nilai } M_{prb\ bawah} = 696,8 \text{ KN.m}$$

V_e tidak perlu melebihi dari:

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{\sum M_{pr\ atas} \times D_f\ atas + \sum M_{pr\ bawah} \times D_f\ bawah}{L_n} \\
 &= \frac{1065,28 \times 0,5 + 1065,28 \times 0,5}{3,3} \\
 &= 322,81 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

V_e tidak boleh kurang dari gaya geser terfaktor hasil analisis:

$$V_e = 129,06 \text{ kN}$$

Dari nilai V_e yang telah dihitung, maka diambil $V_e = 322,81 \text{ kN}$. Asumsi kuat geser yang disumbang oleh beton, $V_c = 0$. Maka;

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\phi} \\
 &= \frac{322,81}{0,75} \\
 &= 430,42 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_y \cdot d} \\
 &= \frac{430,42 \times 1000}{420 \times 649} \\
 &= 1,58 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Untuk $S = 100 \text{ mm}$, maka nilai A_v

$$\begin{aligned}
 &= \frac{A_v}{s} \times 100 \\
 &= 1,58 \times 100 \\
 &= 158 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Sengkang tertutup dan ikat silang digunakan 6D10-100 dengan $A_{sh} = 456,17 \text{ mm}^2$

$$A_{sh} > A_v$$

$$456,17 > 158 \text{ (Memenuhi Persyaratan)}$$

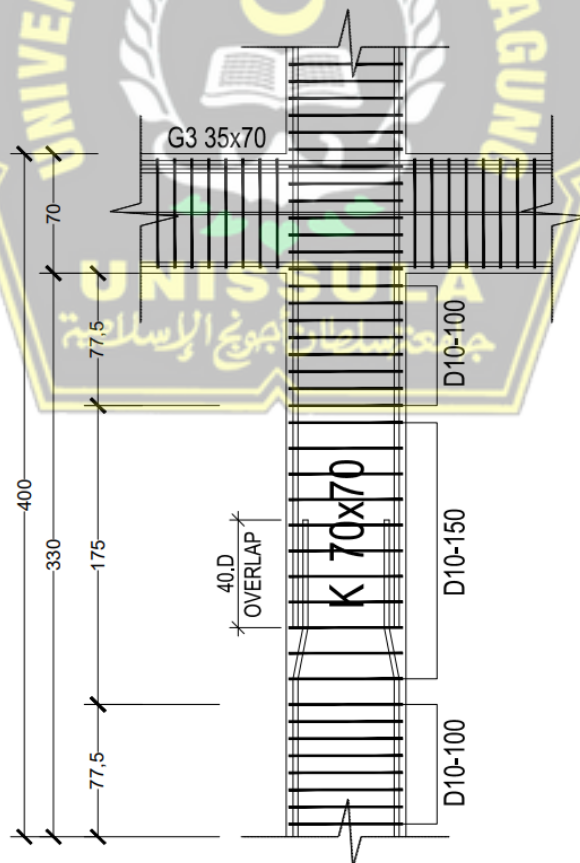
4.20.1.9. Untuk daerah diluar l_o , maka nilai V_c dihitung:

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c b_w d} \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{5196,94 \times 1000}{14 \times 490000} \right) 1\sqrt{30} \times 700 \times \left(700 - 40 - 13 - \frac{22}{2} \right) \\ &= 1516,13 \text{ kN} \end{aligned}$$

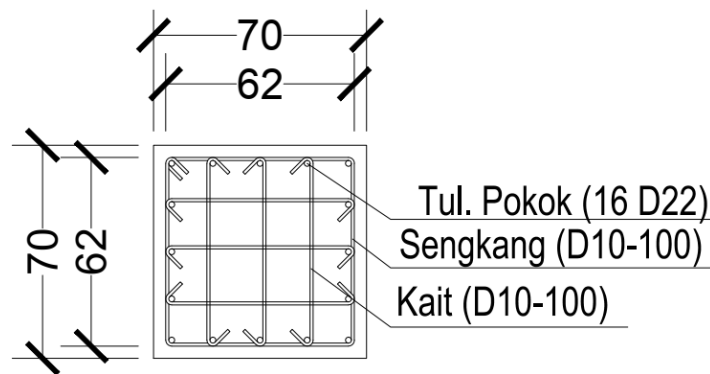
Karna $V_c > V_u$ ($V_u = 108,92 \text{ kN}$) maka daerah diluar l_o dipasang tulangan sengkang dengan jarak

$$= \frac{d}{2} = (700 - 40 - 13 - \frac{22}{2}) / 2 = 641,5$$

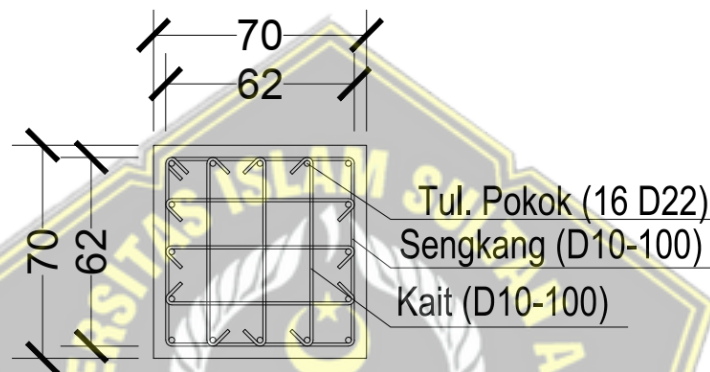
Sesuai dengan pasal 18.7.5.3 jarak tulangan transversal diluar l_o tidak boleh lebih dari 150 mm atau $6d_b$ (132 mm). Maka dipasang jarak maksimal 150 mm. berikut gambar detail tulangan pada kolom.



Gambar 4.63. Potongan Memanjang Kolom



Gambar 4.64. Tulangan Ujung Kolom



Gambar 4.65. Tulangan Tengah Kolom

4.20.2. Hubungan Balok-Kolom (*Joint*) Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Merupakan daerah pertemuan antara kolom dan balok yang harus didetailkan dengan baik. Analisis perhitungan hubungan balok B dengan kolom C3A lantai 1 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

4.20.2.1. 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.

- $b = h = 700 \text{ mm}$
- $20db = 440 \text{ mm}$

Cek, $b > 20 db$

$700 > 440$ (Memenuhi Persyaratan)

4.20.2.2. 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_o . Dari hasil analisis tulangan geser kolom diatas digunakan tul. Geser D10-100.

4.20.2.3. Menghitung gaya geser pada joint

Momen balok yang timbul:

$$M_{pr}^{+} = 368,48 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr}^{-} = 696,80 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} M_c &= 0,5 \times (M_{pr}^{+} - M_{pr}^{-}) \\ &= 532,64 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

4.20.2.4. Menghitung gaya geser pada kolom

Gaya geser kolom sebesar :

$$\begin{aligned} V_{\text{goyangan}} &= \frac{M_c}{l_n} \\ &= \frac{532,64}{3,30} \\ &= 161,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.20.2.5. Menghitung gaya geser pada tulangan balok longitudinal

Luas tulangan atas 6D22, $A_s = 2280,80 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\ &= 1,25 \times 2280,80 \times 420 \\ &= 1197,42 \text{ KN} \end{aligned}$$

Gaya tekan yang bekerja pada baton di sisi kiri hubungan balok kolom, sebesar :

$$C_1 = T_1 = 1197,42 \text{ kN}$$

Luas tulangan bawah 3D22, $A_s = 1140,40 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} T_2 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\ &= 1,25 \times 1140,40 \times 420 \\ &= 598,71 \text{ KN} \end{aligned}$$

Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kanan hubungan balok kolom, sebesar :

$$C_2 = T_2 = 598,71 \text{ kN}$$

4.20.2.6. Menghitung kuat geser pada joint

$$\begin{aligned} V_j &= T_1 + T_2 - V_{\text{goyangan}} \\ &= 1197,42 + 598,71 - 161,41 \\ &= 1634,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

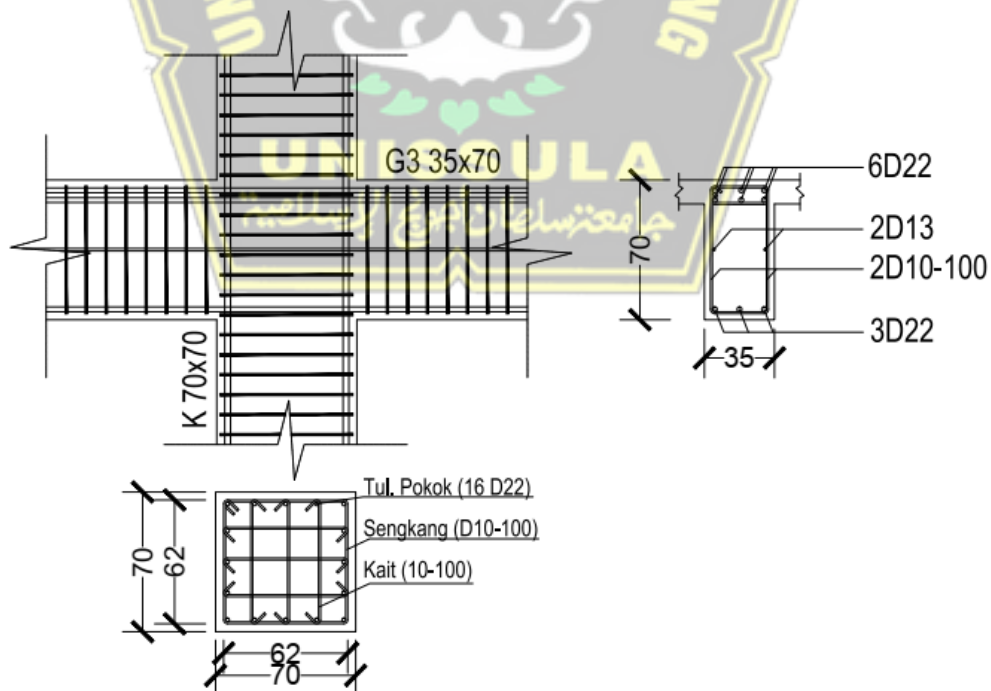
4.20.2.7. Menghitung kuat geser yang dikekang keempat sisinya.

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \lambda \sqrt{f'_c} A_g \\ &= 1,7 \times 1 \sqrt{30} \times (700 \times 700/1000) \\ &= 4562,53 \text{ kN} \\ \phi V_n &= 0,85 \times V_n \\ &= 0,85 \times 4562,53 \\ &= 3878,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek, $\phi V_n > V_j$

3878,15 kN > 1634,72 kN (Memenuhi Persyaratan)

Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan, kuat geser yang dikekang keempat sisinya lebih besar daripada gaya geser joint yang ditimbulkan. Dengan nilai 3878,15 kN > 1634,72 kN maka memenuhi persyaratan.



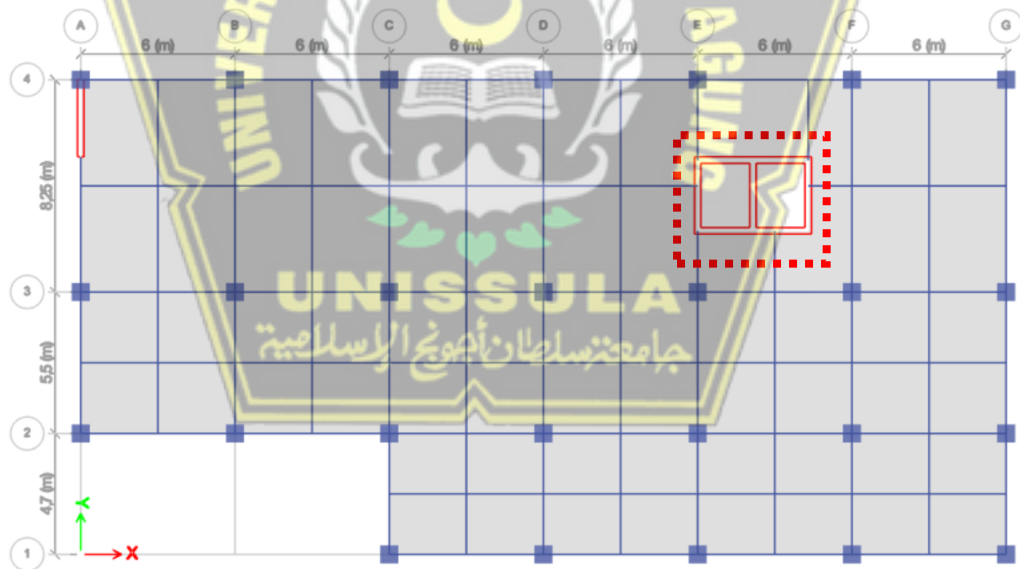
Gambar 4.66. Hubungan Balok Kolom (*Joint*)

4.21. Desain Penulangan Dinding Struktur

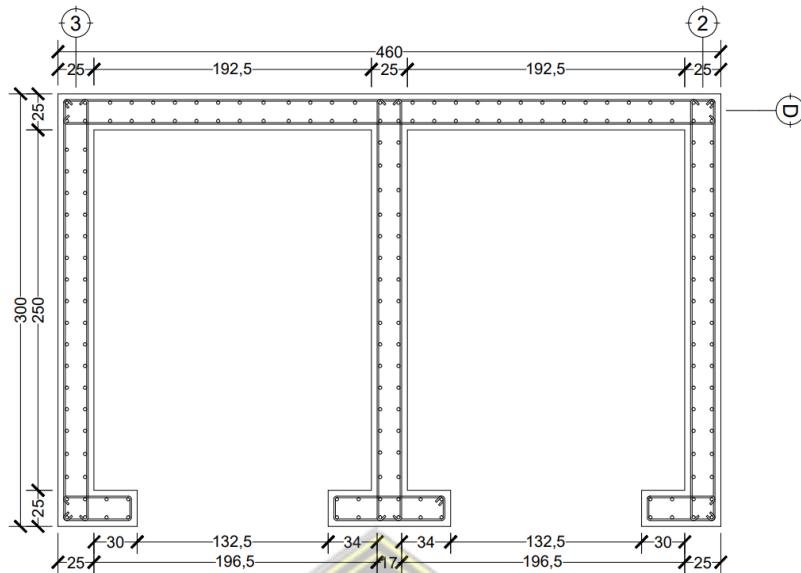
4.21.1. Desain Dinding Geser

Desain dinding geser diambil pada dinding geser SW lantai 1 dengan data sebagai berikut:

Tebal dinding geser (t_w)	= 250 mm
Panjang dinding geser (L)	= 4300 mm
Panjang kolom (h_k)	= 700 mm
Lebar kolom (b_k)	= 700 mm
Tinggi dinding geser total (h_w)	= 38000 mm
Diameter tulangan longitudinal badan (d_l)	= 22 mm
Diameter tulangan Transversal badan (d_t)	= 22 mm
Diameter tulangan kolom (d_b)	= 22 mm
Kuat tekan beton (f'_c)	= 30 Mpa
Kuat leleh baja tulangan (f_y)	= 420 Mpa



Gambar 4.67. Denah Dinding Geser Sampel



Gambar 4.68. Penampang Dinding Geser Rencana

Gaya dalam yang digunakan untuk mendesain dinding geser diambil dari beberapa kondisi yaitu pada kondisi $P_{\max}$, $P_{\min}$, $M2_{\max}$, $M2_{\min}$, $M3_{\max}$, $M3_{\min}$. Berikut adalah hasil gaya-gaya dalam pada dinding geser yang dianalisis menggunakan software ETABS:

Tabel 4.65. Gaya Aksial-Lentur Pada Dinding Geser

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	$M2$ (kN-m)	$M3$ (kN-m)
$P_{\max}$	-219,775	343,835	424,303
$P_{\min}$	-9415,647	-11778,762	-22395,158
$M2_{\max}$	-3899,403	21173,808	30481,123
$M2_{\min}$	-8809,909	-22896,380	-31383,968
$M3_{\max}$	-3899,403	21173,808	30481,123
$M3_{\min}$	-8809,909	-22896,380	-31383,968

Berikut merupakan gaya-gaya geser yang didapatkan dengan menggunakan aplikasi bantu ETABS, dengan hasil yang didapat untuk $V2 = 2285,04$ KN sedangkan $V3 = 1813,89$ kN

4.21.2. Perencanaan Geometri

- Panjang total (L_w)

$$\begin{aligned}L_w &= L + h_k \\&= 4300 + 700 \\&= 5000 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Panjang bersih (L_n)

$$\begin{aligned}L_n &= L - h_k \\&= 4300 - 700 \\&= 3600 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Luas penampang melintang (A_{cv})

$$\begin{aligned}A_{cv} &= t_w \times l_w \\&= 250 \times 5000 \\&= 1250000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luas total dinding geser (A_w)

$$\begin{aligned}A_w &= t_w \times l_n + 2 \times (b_k \times h_k) \\&= 250 \times 3600 + 2 \times (700 \times 700) \\&= 1880000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

4.21.3. Perencanaan Geometri

- Faktor reduksi kekuatan geser

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{2285,038}{0,75} = 3046717 \text{ N}$$

- 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.

$$V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$$

$$2285038 < 0,083 \times 1250000 \times \sqrt{30}$$

$$2285038 > 9568262 \text{ N} \rightarrow \text{NOT OK.}$$

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:

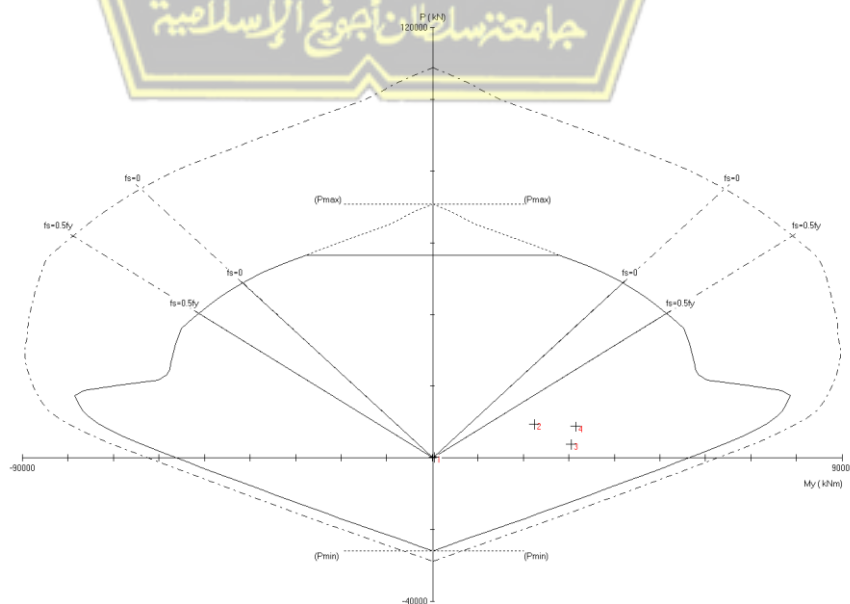
$$\begin{aligned} V_u &> 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ 2285038 &> 0,17 \times 1250000 \times \sqrt{30} \\ 2285038 &> 1163910 \text{ N} \rightarrow (\text{Perlu tulangan 2 lapis}) \end{aligned}$$

Cek batasan 2:

$$\begin{aligned} \frac{h_w}{l_w} &\geq 2 \\ \frac{38000}{5000} &\geq 2 \\ 7,6 &> 2 \rightarrow (\text{Perlu tulangan 2 lapis}) \end{aligned}$$

4.21.4. Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan SP Column)

Dari hasil *trial and error* menggunakan *software SPColumn* didapatkan konfigurasi tulangan longitudinal pada dinding geser yaitu D22-150 dan konfigurasi tulangan pada kolom yaitu 16 D22. Untuk diagram interaksi *SPColumn* Kolom dan Hasil analisis interaksi P_n-M_{pr} Kolom dapat dilihat di gambar 4.65.



Gambar 4.69. Diagram interaksi *SPColumn* Dinding Geser

Berikut merupakan hasil analisis dari *output SPColumn*, yang dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 4.66. Hasil analisis interaksi *SPColumn* Dinding Geser

P_u	M_{ux}	ϕM_{nx}	$\phi M_n/M_u$	N_A Depth	D_t Depth	ϵ_t	ϕ
KN	KNm	KNm		mm	mm		
219	424	56644,40	133,595	277	4159	0,05	0,90
9415	22395	73076,18	3,263	1000	4159	0,01	0,90
3899	30481	64055,43	2,101	436	4159	0,03	0,90
8809	31383	72265,95	2,303	930	4159	0,01	0,90

4.21.4.1. 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)

$$\begin{aligned} \rho_l &= n_{\text{lapis}} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_l^2}{t_w \times s} \\ &= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 22^2}{250 \times 150} \\ &= 2,18 \% \end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan minimum

$$\rho_l \geq \rho_{l\min}$$

$$2,02 \% \geq 0,25 \% \rightarrow \text{OK.}$$

4.21.4.2. Bagian Kolom

Jumlah tulangan per kolom (n) = 16 mm

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

$$\rho = n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_b^2}{(b_k \times h_k)}$$

$$= 16 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 22^2}{700 \times 700}$$

$$= 1,24 \%$$

- Cek rasio tulangan kolom

$$1 \% \leq \rho \leq 6 \%$$

$$1 \% \leq 1,24 \% \leq 6 \% \rightarrow OK.$$

4.21.5. 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

$$V_n = A_{cv} \times (a_c \times \sqrt{f_c} + \rho_t \times f_y)$$

$$= 1250000 \times (0,17 \times \sqrt{30} + 2,03\% \times 420)$$

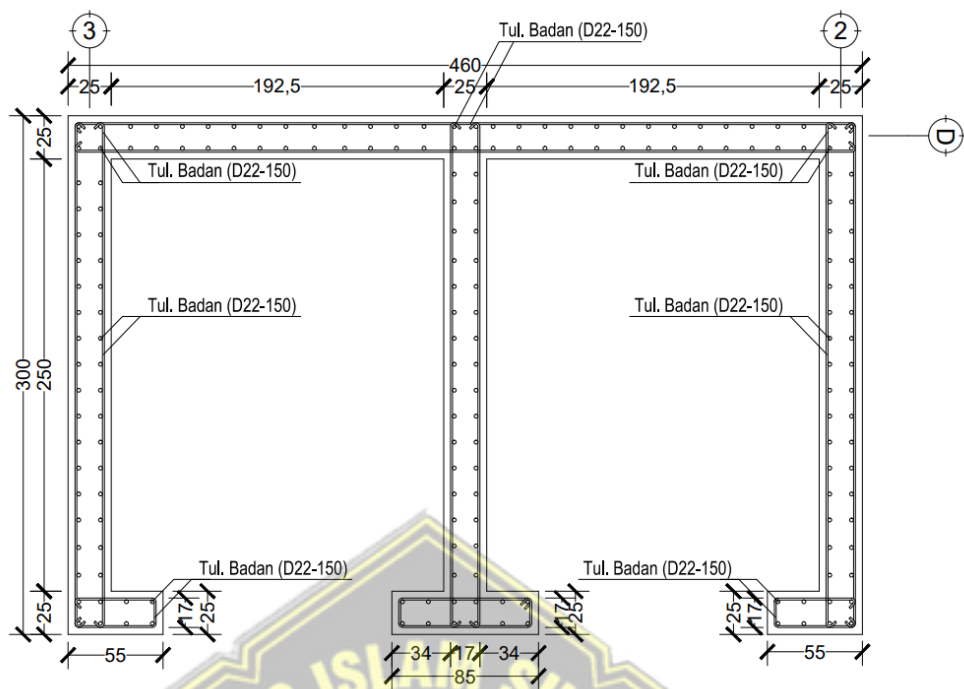
$$= 11807626 \text{ N}$$

Cek kapasitas geser

$$V_n \geq \frac{V_u}{\phi}$$

$$11807626 > 3046717 \rightarrow OK.$$

Dengan hasil perhitungan yang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.70. Detail Tulangan Dinding Geser



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Laporan Tugas Akhir berjudul ”**Redesain Struktur Gedung 10 Lantai (Studi Pada Struktur Gedung Amaris Madiun)**” yang telah selesai dilakukan analisis untuk redesain struktur Gedung tersebut, dengan hasil yang dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sistem struktur yang digunakan pada Gedung Amaris Madiun, menggunakan Sistem Ganda yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Geser. Berdasarkan sistem struktur, wilayah gempa dan jenis tanah struktur ini didapatkan hasil nilai $S_{DS} = 0,71$ dan $S_{D1} = 0,31$ termasuk dalam Kategori II dan termasuk Kategori Desain Seismik (KDS) E
2. Mengacu pada peraturan SNI 1726:2019 pada perencanaan bangunan ini diantaranya:
 - a. Berdasarkan analisis sistem struktur KDS E didapatkan nilai periode getar mode 1 = 1,25 arah X dan mode 2 = 1,14 arah Y
 - b. Dari hasil analisis simpangan antar lantai diperoleh dengan nilai terbesar dari arah X sebesar 16,59 mm dan arah Y sebesar 23,25 mm sehingga memenuhi persyaratan yang diijinkan yaitu $0,02h_{sx} = 26,15$ mm.
 - c. Berdasarkan analisis ETABS diperoleh gaya geser tiap lantai akibat beban static arah x dan arah y sebesar 291,44 kN dan beban gempa dinamik arah x sebesar 2392,74 kN dan arah y sebesar 2392,74 kN. Untuk perbandingan skala factor pembesaran gempa dinamik pada arah X diperoleh nilai 1,38 dan untuk arah X diperoleh nilai 1,37.
 - d. Efektifitas sistem struktur ini jumlah gaya geser yang ditahan oleh sistem rangka pemikul momen khusus sebesar 27,37 % untuk arah X dan 99,54% untuk arah Y, hal ini memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.5.1 yang berisi rangka pemikul momen harus mampu memikul paling sedikit 25% gaya seismik desain

3. Berikut merupakan hasil dari perhitungan dimensi dan penulangan pada struktur yang memenuhi persyaratan :
- Untuk rencana tulangan balok mengamsumsikan dengan mengambil syarat efektif yang diatur di SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1 yang dimana mengatur panjang bersih balok lebih besar sama dengan $4D$ dengan hasil perhitungan 7550 mm lebih besar dari 649 mm.
 - Pada pengecekan *strong column-weak beam* didapatkan kuat lentur kolom lebih besar dari kuat lentur balok dengan nilai $1492,31 \geq 1041,456$ kNm. Telah memenuhi syarat yang tercantum pada SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2.
 - Untuk tulangan kolom diatur pada SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4 yang dimana berbunyi $0,01 A_g < A_{st} < 0,06 A_g$, dengan hasil analisis $4900 < 6079,04 < 29400$.
 - Untuk tulangan dinding geser diatur pada SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2 yang dimana berbunyi tulangan badan (web) P_1 dan P_t minimal 0,0025. Dengan hasil analisis kami mendapatkan nilai 0,02.

5.2. Saran

Dalam penulisan Tugas Akhir ini masih belum bisa dikatakan sempurna karena masih banyak kekurangan-kekurangan di dalamnya. Saran dari penulis agar penulisan Tugas Akhir dapat lebih baik lagi berikutnya adalah:

- Harus ditingkatkan lagi dalam pemahaman materi.
- Lebih mendalami program bantu yang digunakan seperti *ETABS V16.2.1* dan *spColumn*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bancin, M. Pilar Pamungkas. (2021). *Studi Perencanaan Gedung Asrama Al Maahira HBS Malang Menggunakan Sistem Ganda (SRPMK Dan Dinding Structural Khusus) Berdasarkan SNI 1726:2019 Dan SNI 2847:2019*. UMM. Malang.
- Burhanuddin, D., Wahyuni, E., & Irawan, D. (2018). Desain Modifikasi Gedung Fave Hotel Cilacap Menggunakan Metode Flat Slab. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 7, No. 2.
- Cholida, N. F. F., Antonius, A., & Ni'am, F. (2018). A Parametric Study of Confinement Effects to the Interaction Diagram of PM for High-Strength Concrete Columns. *JACEE (Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering)*, 1(1), 30-37.
- Fadli, M. Hamzah. (2015). *Aplikasi Etabs Pada Perencanaan Gedung 15 Lantai Dengan Struktur Beton Bertulang Menggunakan Sistem Ganda (Dual System) Sebagai Penahan Beban Gempa Sesuai Standar Code SNI 1726:2012(E-Book)*. Jakarta, Indonesia.
- Gunadi, R., Budiono, B., Imran, I., & Sofwan, A. (2012). Studi Experimental Perilaku Hubungan Plat-Kolom Terhadap Kombinasi Beban Gravitasi dan Lateral Siklis. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 19, No. 3
- Kartika, D., Wibawanto, H., Iskandar, T., & Pangestuaji, W. (2022). Comparative Analysis Study on Construction Cost Between Concrete Structures and Steel Structures Buildings in Surabaya. *JACEE (Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering)*, 5(1), 1-10.
- Puskim PU. (2021). *Desain Spektra Indonesia*. <http://rsa.ciptakarya.go.id/>
- Purnama, Adriyan Candra. (2017). *Modifikasi Perencanaan Gedung Amaris Hotel Madiun Dengan Menggunakan Metode Flat Slab Dan Shear Wall*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Sasmito, Dody Hary. (2017). *Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Kantor Graha Atmaja Dengan Metode Dual System Di Daerah Resiko Gempa Tinggi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya

Shahnarki, Kiki dan Naim, Muhammad Syarif. (2016). *Perencanaan Struktur Gedung Laboratorium Fakultas Kedokteran Unissula Semarang*. UNISSULA. Semarang.

Standar Nasional Indonesia. (2019). SNI 1726:2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung”. BSN, Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. (2019). SNI 2847:2019: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasannya. BSN. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. (2020). SNI 1727:2020: Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain. BSN. Jakarta.

