

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN ULANG

STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN

POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU)

SEMARANG

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan

Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh :

Ananda Fadhil Darmawan
NIM : 30201900036

Bayu Jaya Pratama
NIM : 30201900055

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

2022

TUGAS AKHIR
PERANCANGAN ULANG
STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN
POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU)
SEMARANG

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



Disusun Oleh :

Ananda Fadhil Darmawan	Bayu Jaya Pratama
NIM : 30201900036	NIM : 30201900055

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2022

HALAMAN PENGESAHAN

PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU) SEMARANG



Ananda Fadhil Darmawan
NIM : 30201900036



Bayu Jaya Pratama
NIM : 30201900055

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 30 Januari 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D**
NIDN: 0607046802
2. **Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si**
NIDN: 0631057002
3. **Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.**
NIDN: 0625059102

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: 21 / A.2 / SA – T / IX / 2022

Pada hari ini tanggal 30 Januari 2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II :

1. Nama : Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
2. Nama : Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si
Jabatan Akademik : Lektor Kepala

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

Ananda Fadhil Darmawan
NIM : 30201900036

Bayu Jaya Pratama
NIM : 30201900055

Judul : PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH
SUSUN POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU) SEMARANG

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing		-
2	Seminar Proposal	16 / 11 / 2022	ACC
3	Pengumpulan data		-
4	Analisis data		-
5	Penyusunan laporan		-
6	Selesai laporan	30 / 1 / 2023	ACC

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

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D

Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Ananda Fadhil Darmawan

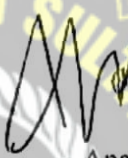
NIM : 30201900036

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum (PU) Semarang benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

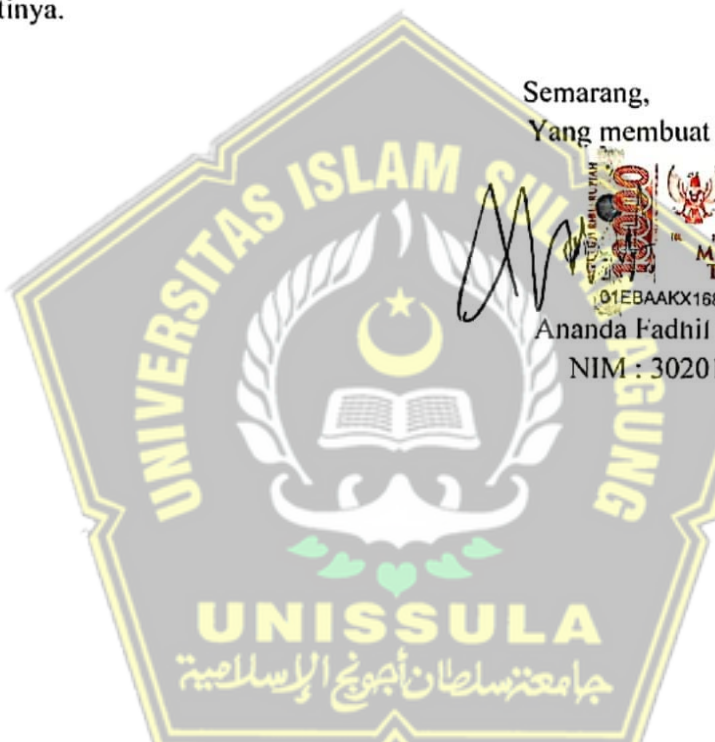
Semarang,

Yang membuat pernyataan,



METERAI -)
TEMPEL
01EBAAKX168692433

Ananda Fadhil Darmawan
NIM : 30201900036



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Bayu Jaya Pratama

NIM : 30201900055

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum (PU) Semarang benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang,

Yang membuat pernyataan,



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Ananda Fadhil Darmawan
NIM : 30201900036
JUDUL TUGAS AKHIR : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung A Rumah
Susun Politeknik Pekerjaan Umum (PU) Semarang

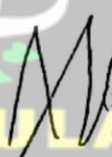
Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang,

Yang membuat pernyataan,



METERAI TEMPEL
0003BAKX168692434
Ananda Fadhil Darmawan
NIM : 30201900036

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Bayu Jaya Pratama
NIM : 30201900055
JUDUL TUGAS AKHIR : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung A Rumah
Susun Politeknik Pekerjaan Umum (PU) Semarang

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang,

Yang membuat pernyataan,


A4258AKX168692429
Bayu Jaya Pratama
NIM : 30201900055

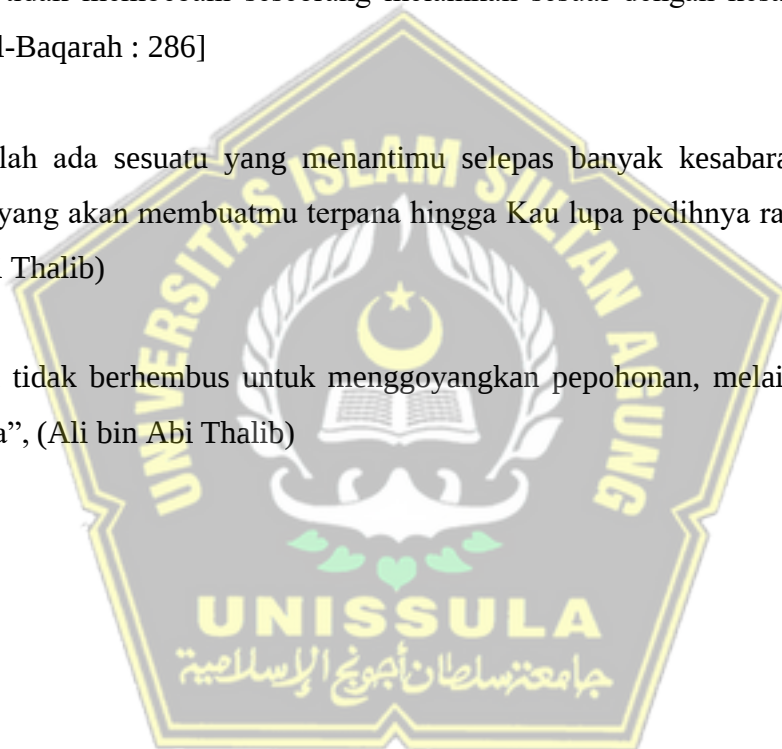
MOTTO

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

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

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

“Angin tidak berhembus untuk menggoyangkan pepohonan, melainkan menguji akarnya”, (Ali bin Abi Thalib)



PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya, Bapak Heri Nursanto dan Ibu Masrofah, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., PH.D. dan Ibu Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar mengajarkan saya dalam pembuatan laporan ini.
3. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
4. Bayu Jaya Pratama selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman saya Samuel Parlindungan, Sitopu, Raihan Ihza Nuristyanto, Alfian Nur Hidayat, Aldi Gilang Pradika, Muhammad Dzaky Anshory, Arya Fredy Ananta, Adhitiya Wijaya, Dewa Indra Mastikah, Dhiya Alfad, Elang Bagus Sadewo, Rifqi Hera Athalah dan Arlisa Jikti Khairina yang telah membantu dan memberikan semangat dalam berbagai hal.
6. Teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019 dan yang lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Ananda Fadhil Darmawan

30201900036

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya, Bapak Moch Syafii dan Ibu Suwarsi, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., PH.D. dan Ibu Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si.,M.Si selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar mengajarkan saya dalam pembuatan laporan ini.
3. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
4. Ananda Fadhil Darmawan selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman saya Abdulloh Mutholib, Adhitiya Wijaya , Aldi Gilang Pradika, Alfian Nur Hidayat, Alvan Dzaky Makarim, Arya Fredy Ananta, Bima Aurel Numuswa, Dewa Indra Mastikah, Dhiya Alfad, Elang Bagus Sadewo, Muhammad Dzaky Anshory, Totti Aditya Susanto dan Zoggy Ardi Eka Saputra yang telah membantu dan memberikan semangat dalam berbagai hal.
6. Teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2019 dan yang lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Bayu Jaya Pratama

30201900055

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU) SEMARANG”. Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Strata 1 (S-1) Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Selama menyelesaikan tugas akhir dan menyusun laporan, penyusun telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT dan Rasulullah Muhammad SAW.
2. Kedua orang tua kami yang memberi kami motivasi dan selalu memberi semangat kepada kami.
3. Yth. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
4. Yth. Bapak Muhamad Rusli Ahmar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
5. Yth. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
6. Yth. Ibu Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semarang, Januari 2023

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	vi
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR NOTASI	xxii
DAFTAR LAMPIRAN	xxix
ABSTRAK	xxx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tinjauan Umum	5
2.2. Pembebanan Gedung	5
2.2.1. Beban Mati	5
2.2.2. Beban Hidup	8
2.2.3. Beban Angin	9
2.2.3. Beban Gempa	9
2.3. Syarat Struktur Tahan Gempa	11
2.3.1. Spektrum Respon Desain	11
2.3.2. Kategori Desain Seismik	12
2.3.3. Parameter Percepatan Spektral Desain	13
2.3.4. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum Risiko Tertarget	13
2.3.5. Kategori Risiko Bangunan Gedung	14
2.3.6. Klasifikasi Situs	16
2.3.7. Kombinasi Sistem Perangkai Dalam Arah yang Berbeda	18
2.3.8. Gaya Dasar Seismik	18
2.3.9. Pengaruh P - Delta	19
2.3.10. Simpangan Antar Tingkat	19
2.3.11. Klasifikasi Ketidakberaturan Struktur	21
2.3.12. Analisis Spektrum Respon Ragam	24
2.3.13. Periode Fundamental	25
2.3.14. Kombinasi Pembebanan Dasar	26
2.3.15. Kombinasi Beban Gempa	26

2.4. Sistem Rangka Pemikul Momen.....	27
2.5. Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	28
2.6. Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	30
2.7. Dinding Geser	32
2.8. Pelat.....	33
2.9. <i>Tie Beam (Sloof)</i>	34
2.10. <i>Joint</i> Rangka Momen Khusus (Hubungan kolom – Balok).....	35
BAB III METODE PERANCANGAN	36
3.1. Pengumpulan Data	36
3.2. Langkah – Langkah Perancangan	36
3.3. Diagram Alir	39
3.4. Standar yang Digunakan	40
3.5. <i>Software</i> yang Digunakan	40
BAB IV ANALISIS DAN PERANCANGAN	41
4.1. Mutu Bahan Struktur.....	41
4.2. Pra Dimensi dan Permodelan Struktur.....	41
4.2.1. Pra Dimensi Elemen Struktur.....	41
4.2.2. Permodelan Struktur.....	44
4.3. Formulasi Pembebanan Struktur.....	55
4.4. Analisis Beban seismik	56
4.4.1. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa	56
4.4.2. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan	56
4.4.3. Klasifikasi Situs.....	57
4.4.4. Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget.....	57
4.4.5. Parameter respon Spektral Percepatan Gempa Desain	57
4.4.6. Spektrum Respon Desain.....	58
4.4.7 Kategori Desain Seismik.....	58
4.4.8. Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai	59
4.5. Alternatif Permodelan	59
4.5.1. Alternatif Permodelan 1	59
4.5.2. Alternatif Permodelan 2	62
4.5.3. Alternatif Permodelan 3	65
4.5.3.1. Analisa Dinamik Getaran.....	66
4.5.3.2. Kontrol Hasil Analisa Dinamik Gempa	67
4.6. Pengecekan Simpangan Antar Tingkat	72
4.7. Pengecekan P – Delta.....	75
4.8. Pengecekan Eksentrisitas dan Torsi	77
4.8.1. Pengecekan Eksentrisit.....	77
4.8.2. Perhitungan Ketidakberaturan Torsi	81
4.9. Pengecekan Ketidakberaturan Struktur Horizontal dan Vertikal.....	81
4.9.1. Ketidakberaturan Horizontal.....	82
4.9.2. Ketidakberaturan Vertikal.....	83
4.10. Perancangan Pelat	86
4.10.1. Identifikasi Pelat Lantai	86
4.10.2. Gaya Dalam.....	88
4.10.3. Penulangan Lentur Pelat (analisis untuk per m')	88

4.10.4. Pengecekan Kapasitas Geser.....	101
4.10.5. Pengecekan Lendutan Pelat.....	101
4.10.6. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat	106
4.11. Perancangan Balok.....	107
4.11.1. Properti Material dan Penampang.....	107
4.11.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok	108
4.11.3. Perhitungan Tulangan Transversal Balok	121
4.11.4. Perhitungan Tulangan Torsi Balok	128
4.12. Perancangan Kolom	139
4.12.1. Properti Material dan Penampang.....	139
4.12.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom.....	140
4.12.3. Perhitungan Tulangan Transversal Kolom.....	142
4.12.4. Rekapitulasi Hasil Tulangan Kolom	148
4.12.5. Perancangan Strong Column-Weak Beam.....	148
4.12.6. Perancangan Hubungan Balok-Kolom (Joint)	149
4.12.7. Syarat Panjang Joint.....	149
4.12.8. Tulangan Geser untuk Confinement	149
4.12.9. Gaya Geser pada Joint.....	149
4.12.10. Gaya Geser pada Kolom	150
4.12.11. Gaya Geser pada Tulangan Longitudinal Balok	150
4.12.12. Kuat Geser pada Joint	150
4.12.13. Kuat Geser yang dikekang keempat Sisi.....	151
4.13. Perancangan Dinding Geser.....	151
4.13.1. Perhitungan Shear Wall 03.....	152
4.13.1.1. Gaya Dalam.....	152
4.13.1.2. Pengecekan Geometri.....	153
4.13.1.3. Kebutuhan Tulangan Minimum	153
4.13.1.4. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn)	154
4.13.1.5. Pengecekan Kapasitas Geser	156
4.13.1.6. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus	157
4.13.1.7. Penulangan Elemen Batas Khusus	159
4.13.2. Perhitungan Shear Wall 04.....	163
4.13.2.1. Gaya Dalam.....	164
4.13.2.2. Pengecekan Geometri.....	164
4.13.2.3. Kebutuhan Tulangan Minimum	165
4.13.2.4. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn)	166
4.13.2.5. Pengecekan Kapasitas Geser	168
4.13.2.6. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus	168
4.13.2.7. Penulangan Elemen Batas Khusus	170
4.14. Rekapitulasi Hasil Analisis dan Perancangan	175
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	184
5.1. Kesimpulan	184
5.2. Saran.....	185
DAFTAR PUSTAKA	xxxii
LAMPIRAN.....	xxxiii

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beban Mati Minimum Bangunan Gedung.....	6
Tabel 2.2 Beban Hidup Minimum Bangunan Gedung	8
Tabel 2.3 Faktor Arah Angin.....	9
Tabel 2.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek.....	12
Tabel 2.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik.....	13
Tabel 2.6 Koefisien Situs F_a	14
Tabel 2.7 Koefisien Situs F_v	14
Tabel 2.8 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa.....	15
Tabel 2.9 Faktor Keutamaan Gempa	16
Tabel 2.10 Klasifikasi Situs	17
Tabel 2.11 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	18
Tabel 2.12 Simpangan Antar Tingkat Izin.....	20
Tabel 2.13 Ketidakberaturan Horizontal.....	21
Tabel 2.14 Ketidakberaturan Vertikal.....	23
Tabel 2.15 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung	25
Tabel 2.16 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	26
Tabel 2.17 Transversal Kolom SRPMK	30
Tabel 2.18 Tulangan Minimum Dinding Geser	33
Tabel 2.19 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik	33
Tabel 2.20 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di Antara Tumpuan Pada Semua Sisinya	34
Tabel 2.21 A_{smin} untuk Pelat Dua Arah Nonprategang	34
Tabel 3.1 Peraturan Standar Perancangan.....	40
Tabel 4.1 Dimensi Balok yang Digunakan Pada Struktur Gedung.....	41

Tabel 4.2 Dimensi Kolom yang Digunakan Pada Struktur Gedung	43
Tabel 4.3 Tebal Minimum Pelat Dua Arah.....	43
Tabel 4.4 Dimensi Pelat yang Digunakan Pada Struktur Gedung	43
Tabel 4.5 Dimensi Dinding Geser yang Digunakan Pada Struktur Gedung.....	44
Tabel 4.6 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan.....	57
Tabel 4.7 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget.....	57
Tabel 4.8 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain	58
Tabel 4.9 Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X Permodelan 1	61
Tabel 4.10 Pengecekan <i>Story Droft</i> Arah Y Permodelan 1.....	61
Tabel 4.11 Pengecekan Struktur Sistem Ganda Permodelan.....	62
Tabel 4.12 Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X Permodelan 2	64
Tabel 4.13 Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y Permodelan 2	65
Tabel 4.14 Bentuk Ragam dan Periode Getar ETABS	66
Tabel 4. 15. Nilai Hasil Partisipasi Massa Bangunan.....	67
Tabel 4.16 Output Gaya Geser Dasar Statik.....	69
Tabel 4.17 Output Gaya Geser Dasar Dinamik	70
Tabel 4.18 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Faktor Skala.....	70
Tabel 4.19 Output Gaya Geser Dinamik Setelah Pembesaran Gaya Gempa.....	71
Tabel 4.20 Gaya Geser Desain.....	72
Tabel 4.21 Besar Simpangan Antar Lantai Struktur Arah X	73
Tabel 4.22. Besar Simpangan Antar Lantai Struktur Arah Y	74
Tabel 4.23 Pengecekan P – Delta Arah X.....	76
Tabel 4.24 Pengecekan P-Delta Arah Y	77
Tabel 4.25 Data Eksentrisitas Torsi Bawaan dari ETABS.....	78
Tabel 4.26 Data Eksentrisitas Torsi Tidak Terduga.....	78
Tabel 4.27 Nilai dari δ_{max} , δ_{min} , δ_{avg} dan A_x untuk Gempa Arah X.....	79
Tabel 4.28 Nilai dari δ_{max} , δ_{min} , δ_{avg} dan A_y untuk Gempa Arah Y.....	79
Tabel 4.29 Perhitungan Eksentrisitas Desain pada Arah Sumbu X.....	80

Tabel 4.30 Perhitungan Eksentrisitas Desain pada Arah Sumbu Y	80
Tabel 4.31 Ketidakberaturan Horizontal Torsi Arah X.....	81
Tabel 4.32 Ketidakberaturan Horizontal Torsi Arah Y.....	81
Tabel 4.33 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X.....	82
Tabel 4.34 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y.....	82
Tabel 4.35 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X.....	83
Tabel 4.36 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y	84
Tabel 4.37 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X.....	84
Tabel 4.38 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y.....	84
Tabel 4.39 Cek Ketidakberaturan Berat (Massa)	85
Tabel 4.40 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 5a	86
Tabel 4.41 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 5b.....	86
Tabel 4.42. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat.....	106
Tabel 4.43. Rekapitulasi Tulangan Balok.....	138
Tabel 4.44. Hasil Analisis Interaksi Pn-Mpr Kolom K1.....	142
Tabel 4.45. Hasil Analisis Interaksi Pn-M Kolom K1 dengan 1,25 fy	145
Tabel 4.46. Rekapitulasi Tulangan Kolom.....	143
Tabel 4.47. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser.....	153
Tabel 4.48. Gaya Geser pada Dinding Geser.....	153
Tabel 4.49. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser	155
Tabel 4.50. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser.....	164
Tabel 4.51. Gaya Geser pada Dinding Geser.....	164
Tabel 4.52. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser	167
Tabel 4.53. Parameter Respons Spektra.....	175
Tabel 4.54. Gaya Dalam pada Dinding Geser.....	179
Tabel 4.55. Gaya Dalam pada Dinding Geser.....	179
Tabel 4.56. Gaya Dalam pada Dinding Geser.....	179

Tabel 4.57. Gaya Dalam pada Dinding Geser.....	180
Tabel 4.58. Gaya Dalam pada Dinding Geser.....	180
Tabel 4.59. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat	180
Tabel 4.60. Rekapitulasi Tulangan Balok	181
Tabel 4.61. Rekapitulasi Tulangan Kolom	181
Tabel 4.62. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 01.....	182
Tabel 4.63. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 02.....	182
Tabel 4.64. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 03.....	182
Tabel 4.65. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 04.....	183



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Gempa Indonesia berdasarkan parameter gerak tanah S_s gempa maksimum.....	10
Gambar 2.2 Peta Gempa Indonesia berdasarkan parameter gerak tanah S_1 gempa maksimum.....	10
Gambar 2.3 Spektrum Respons Desaim	12
Gambar 2.4 Penentuan Simpangan Antar Tingkat	20
Gambar 2.5 Ketidakberaturan Horizontal.....	22
Gambar 2.6 Ketidakberaturan Vertikal.....	24
Gambar 2.7 Konsep <i>Strong Column Weak Beam</i>	29
Gambar 2.8 Penulangan Transversal Kolom	30
Gambar 2.9 Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar (<i>Wide Beam</i>) dan Persyaratan Tulangan Transversal	31
Gambar 2.10 Senggang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimum Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal.....	32
Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan	39
Gambar 4.1 Gambar 3D Permodelan Struktur	44
Gambar 4.2 <i>Input Material Properties</i>	45
Gambar 4.3 <i>Input Balok G1 400 x 700</i>	46
Gambar 4.4 <i>Input Balok G2 350 x 500</i>	46
Gambar 4.5 <i>Input Balok G3 250 x 500</i>	47
Gambar 4.6 <i>Input Balok G4 200 x 250</i>	47
Gambar 4.7 <i>Input Balok B1 200 x 400</i>	48
Gambar 4.8 <i>Input Stiffness Modification Factors Balok</i>	48
Gambar 4.9 <i>Input Kolom K1 550 x 550</i>	49
Gambar 4.10 <i>Input Kolom K2 450 x 450</i>	49
Gambar 4.11 <i>Input Kolom K3 400 x 400</i>	50
Gambar 4.12 <i>Input Stiffness Modification Factors Kolom</i>	50

Gambar 4.13 <i>Input Pelat 120 mm</i>	51
Gambar 4.14 <i>Input Stiffness Modification Factors Pelat</i>	51
Gambar 4.15 <i>Input Dinding Geser 1 (Shear Wall)</i>	52
Gambar 4.16 <i>Input Dinding Geser 2 (Shear Wall)</i>	52
Gambar 4.17 <i>Input Stiffness Modification Factors Dinding Geser</i>	53
Gambar 4.18 Penambahan Fungsi Respons Spektrum	54
Gambar 4.19 Penambahan <i>Load Case Data</i> Respons Spektrum Arah	54
Gambar 4.20 Penambahan <i>Load Case Data</i> Respons Spektrum Arah Y.....	55
Gambar 4.21 Grafik Nilai Spektrum Respon Desain.....	58
Gambar 4.22 Model 3D Permodelan 1	60
Gambar 4.23 Diagram <i>Story Drift</i> Arah X Permodelan 1.....	61
Gambar 4.24 Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y Permodelan 1.....	62
Gambar 4.25 Model 3D Permodelan 2	63
Gambar 4.26 Diagram <i>Story Drift</i> Arah X Permodelan 2.....	64
Gambar 4.27 Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y Permodelan 2.....	64
Gambar 4.28. Model 3D Permodelan 2	65
Gambar 4.29. <i>Shear Comparisson to X Axis</i>	72
Gambar 4.30. <i>Shear Comparisson to Y Axis</i>	72
Gambar 4.31. Diagram <i>Story Drift</i> Arah X.....	74
Gambar 4.32. Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y.....	75
Gambar 4.33. Diagram P-Delta Arah X.....	76
Gambar 4.34. Diagram P-Delta Arah Y.....	77
Gambar 4.35. Tipe Pelat.....	87
Gambar 4.36. Penulangan Pelat	107
Gambar 4.37. Denah Balok G1 Sampel.....	107
Gambar 4.38. Momen Ultimit Tumpuan Balok G1	109

Gambar 4.39. Momen Ultimit Lapangan Balok G1	109
Gambar 4.40. Gaya Geser Ultimit Tumpuan Balok B1	122
Gambar 4.41. Gaya Geser Ultimit Lapangan Balok B1.....	122
Gambar 4.42. Gaya Torsi Balok B1.....	129
Gambar 4.43. Potongan Memanjang Balok	137
Gambar 4.44. Tulangan Tumpuan Balok.....	138
Gambar 4.45. Tulangan Lapangan Balok.....	138
Gambar 4.46. Denah Kolom K1 Sampel.....	139
Gambar 4.47. Tulangan Longitudinal Kolom K1	141
Gambar 4.48. Diagram Interaksi Pn-Mpr SPColumn Kolom K1	141
Gambar 4.49. Diagram Interaksi Pn-M SPColumn Kolom K1 dengan 1,25 fy .	144
Gambar 4.50. Potongan Memanjang Kolom K1.....	147
Gambar 4.51. Tulangan Ujung Kolom K1.....	147
Gambar 4.52. Tulangan Tengah Kolom K1	147
Gambar 4.53. Hubungan Balok Kolom (Joint)	151
Gambar 4.54. Denah Dinding Geser Sampel	152
Gambar 4.55. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser	155
Gambar 4.56. Detail Dinding Geser 03.....	163
Gambar 4.57. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser	166
Gambar 4.58. Detail Dinding Geser 04.....	174

DAFTAR NOTASI

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

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

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

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

q_u	= Beban terfaktor per satuan luas (N/m ²)
Q_E	= Pengaruh gaya seismik horizontal
r	= Radius girasi penampang komponen struktur tekan (mm)
R	= Koefisien modifikasi respons
s	= Spasi pusat ke pusat suatu benda (mm)
s_o	= Spasi pusat ke pusat tulangan transversal dalam panjang I_e (mm)
S_u	= Kuat geser niralir
S_u^-	= Kuat geser niralir rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas
S_{ui}	= Kuat geser niralir suatu lapisan tanah kohesif i di dalam lapisan 30 m paling atas
S_a	= Respons spektra percepatan
S_{DS}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek
S_{D1}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik
S_{MS}	= Parameter percepatan respons spektral <i>MCE</i> pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{M1}	= Percepatan percepatan respons spektral <i>MCE</i> pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_s	= Parameter percepatan respons spektral <i>MCE</i> dari peta gempa pada periode pendek
S_1	= Parameter percepatan respons spektral <i>MCE</i> dari peta gempa pada periode 1 detik
S_n	= Kekuatan momen, geser, aksial, torsi atau tumpu nominal
t	= Tebal dinding penampang (mm)
T	= Periode fundamental bangunan
T_a	= Periode fundamental pendekatan
T_{cr}	= Momen retak torsi (N-mm)
T_L	= Peta transisi periode panjang
T_n	= Kekuatan momen torsi nominal (N-mm)
T_u	= Momen torsi terfaktor pada penampang (N-mm)
U	= Kekuatan perlu untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang terkait dengan kombinasinya

v_s	= Kecepatan rambat gelombang geser pada regangan geser yang kecil (m/detik) ($< 10^{-3}$ persen)
$\bar{v}_s$	= Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata pada regangan geser yang kecil, di dalam lapisan 30 m teratas
v_{si}	= Kecepatan rambat gelombang geser dalam lapisan tanah atau batuan ke- i , di dalam lapisan 30 m paling atas
V	= Geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau
V_c	= Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton (N)
V_e	= Gaya geser desain untuk kombinasi pembebanan termasuk pengaruh gempa (N)
V_{IX}	= Gaya geser dasar inelastik pada arah X
V_{IY}	= Gaya geser dasar inelastik pada arah Y
V_n	= Kekuatan geser nominal (N)
V_s	= Kekuatan geser nominal diberikan oleh penulangan geser (N)
V_{sway}	= Gaya geser rencana berdasarkan momen kapasitas pada balok
V_t	= Nilai desain dari gaya geser dasar akibat seismik
V_u	= Gaya geser terfaktor penampang (N)
V_x	= Geser seismik desain di tingkat-x
V_X	= ELF gaya geser dasar pada arah X
V_Y	= ELF gaya geser dasar pada arah Y
w_c	= Berat volume beton normal atau berat volume ekuivalen beton ringan (kg/m^3)
w_u	= Beban terfaktor per satuan panjang balok atau pelat satu arah (N/mm)
W	= Berat seismik efektif bangunan
W_t	= Berat total struktur
x	= Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih pendek (mm)
y	= Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih panjang (mm)
α	= Sudut yang menentukan orientasi tulangan

α_c	= Koefisien yang menentukan kontribusi relatif kekuatan beton terhadap kekuatan geser dinding nominal
β_1	= Faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral
δ	= Faktor pembesaran momen untuk mencerminkan pengaruh kurvatur komponen struktur antara ujung-ujung komponen struktur tekan
δ_u	= Perpindahan desain
δ_{max}	= Perpindahan maksimum (mm) di tingkat-x
δ_{avg}	= Rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat-x
δ_x	= Defleksi pusat massa di tingkat-x
δ_{xe}	= Defleksi pada lokasi ditentukan dengan analisis elastik
Δ	= Simpangan antar tingkat desain
Δ_a	= Simpangan antar tingkat yang diizinkan
ε_t	= Regangan tarik netto dalam lapisan terjauh baja tarik longitudinal pada kekuatan nominal, tidak termasuk regangan akibat dari prategang efektif, rangkai, susut, dan suhu
ε_{ty}	= Nilai regangan tarik netto pada lapisan terluar dari tulangan tarik longitudinal yang digunakan untuk menentukan penampang terkontrol tekan
θ	= Sudut antara sumbu strut, diagonal tekan, atau bidang tekan dan kord (chord) tarik komponen struktur; Koefisien stabilitas untuk pengaruh P-Delta
ρ	= Rasio A_s terhadap bd ; Faktor redundansi struktur
ϕ	= Faktor reduksi kekuatan
λ	= Faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan, semuanya relatif terhadap beton normal dengan kekuatan tekan yang sama; Faktor pengaruh waktu
Ω_0	= Faktor kuat lebih; Faktor amplifikasi untuk memperhitungkan kekuatan lebih sistem penahan gaya seismik yang ditetapkan sesuai dengan tata cara bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal

DAFTAR LAMPIRAN

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



ABSTRAK

Perancangan bangunan merupakan suatu hal yang sangat penting untuk diperhatikan dalam proses akan didirikannya sebuah bangunan. Perancangan merupakan salah satu hal mendasar yang harus dikerjakan terlebih dahulu. Ada banyak aturan – aturan dan spesifikasi yang telah ditetapkan untuk merancang sebuah bangunan.

Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang yang memiliki 8 lantai dirancang menggunakan struktur rangka beton bertulang. Gedung ini memiliki fungsi sebagai tempat tinggal mahasiswa/i Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.

Perancangan struktur Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini mengacu pada peraturan SNI 1726:2019, SNI 2847:2019 dan SNI 1727:2019. *Software* menggunakan ETABS V18.1.1 yang berfungsi untuk perancangan permodelan, pembebanan, pelat, balok, kolom, dinding geser. Gedung ini menggunakan sistem ganda yaitu, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK).

Hasil analisis gaya geser lantai akibat beban statik arah x dan arah y diperoleh nilai 1038,6775 kN. Beban gempa dinamik senilai 855,9213 untuk arah x dan 922,1336 untuk arah y. Simpangan antar lantai senilai 147,88 untuk arah x dan 146,18 untuk arah y. Pada perancangan *Strong Column Weak Beam* telah memenuhi syarat $\sum M_{nc} > 1,2M_{nb}$ dengan diperoleh hasil $1068,27 \geq 429,036$

Kata Kunci : Rumah Susun ; SDSK ; SRPMK

ABSTRACT

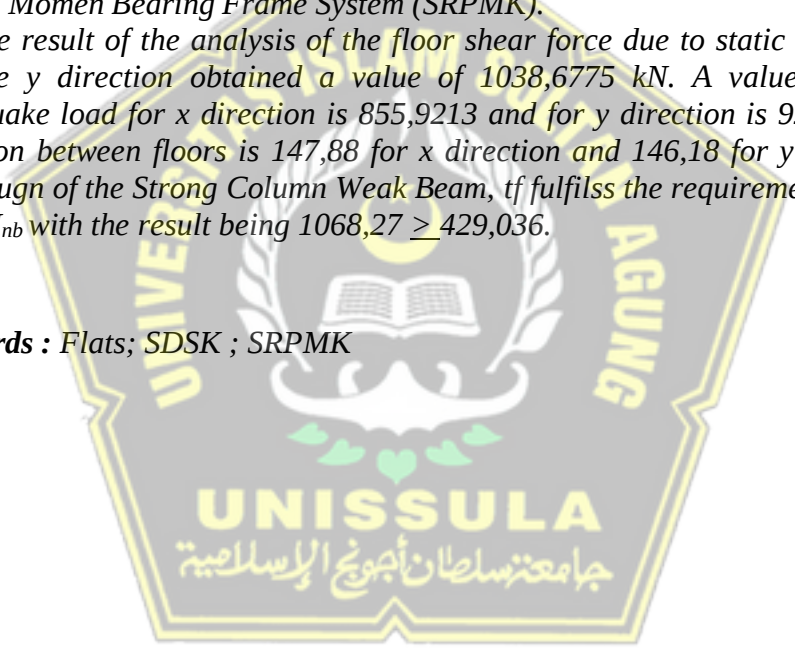
Building design is a very important thing to consider in the process of construction a building. Design is one of the fundamental things that must be done first. There are many rules and specifications for designing a building.

A Building at Flats Public Works Polytechnic of Semarang which has 8 floors, is designed using a reinforced concrete frame structure. This building has a function as a living for students of Public Works Polytechnic of Semarang.

This structural design of A Building Flat Public Works Polytechnic of Semarang refers to the regulations of SNI 1726:2019, SNI 2847:2019 and SNI 1727:2019. Whereas, software uses includes ETABS V18.1.1 which functions for modeling design, loading, plates, beams, columns, shear wall. The design of this building used a reinforced concrete structural design with a Dual System and the Special Moment Bearing Frame System (SRPMK).

The result of the analysis of the floor shear force due to static load in the x and the y direction obtained a value of 1038,6775 kN. A value of dynamic earthquake load for x direction is 855,9213 and for y direction is 922,1336. The deviation between floors is 147,88 for x direction and 146,18 for y direction. In the design of the Strong Column Weak Beam, it fulfills the requirements for $\sum M_{nc} > 1,2M_{nb}$ with the result being $1068,27 \geq 429,036$.

Keywords : Flats; SDSK ; SRPMK



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perancangan bangunan merupakan suatu hal yang sangat penting untuk diperhatikan dalam proses akan didirikannya sebuah bangunan. Perancangan merupakan salah satu hal mendasar yang harus dikerjakan terlebih dahulu. Ada banyak aturan – aturan dan spesifikasi yang telah ditetapkan untuk merancang sebuah bangunan. Penulis memilih Perancangan sebagai Tugas Akhir karena ingin mengetahui lebih dalam mengenai tata cara, aturan – aturan dan spesifikasi apa saja yang perlu diterapkan dalam merancang bangunan, sehingga nantinya Penulis dapat merancang bangunan sesuai kriteria yang telah ditetapkan agar bangunan itu dapat memberi rasa aman dan nyaman bagi para penggunanya.

Dalam era perkembangan zaman Perancangan suatu bangunan selalu berkembang dengan ditemukannya sistem – sistem dan penelitian yang terbaru. Bangunan gedung bertingkat tinggi merupakan salah satu bangunan yang akan terus berkembang dalam beberapa tahun kedepan. Di kota – kota besar bangunan gedung bertingkat tinggi dibutuhkan dalam beberapa hal seperti sebagai tempat tinggal, perkantoran, tempat usaha dan lain sebagainya. Hal itu dikarenakan lahan yang semakin sempit untuk mendirikan bangunan dan harga lahan yang semakin mahal sehingga lebih efisien untuk pembangunan gedung secara bertingkat.

Rumah Susun merupakan bangunan yang dibangun dengan salah satu fungsinya adalah mengantisipasi pertumbuhan penduduk Indonesia yang meningkat pada tiap tahunnya, sehingga kebutuhan untuk tempat tinggalpun akan mengalami peningkatan. Rumah Susun merupakan salah satu bangunan gedung bertingkat tinggi dan bangunan yang kompleks, sehingga dalam sistem perancangannya harus benar – benar memperhatikan struktur bangunannya. Struktur bangunan harus dirancang berdasarkan SNI sehingga akan menciptakan struktur bangunan yang kuat dan akan memberikan rasa aman dan nyaman bagi penghuni Rumah Susun nantinya.

Bangunan gedung 8 lantai Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang akan dirancang menggunakan *software* ETABS V18.1.1 menggunakan struktur beton bertulang. Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK). Perancangan gedung ini disesuaikan dengan Standar Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2019) dan Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2019).

Redesign merupakan sebuah proses perancangan untuk melakukan suatu perubahan pada struktur dan fungsi suatu benda, bangunan, maupun sistem untuk manfaat yang lebih baik dari desain sebelumnya. Pada perancangan ulang Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini Penulis akan merancang kembali dimensi komponen struktur atas dari gedung tersebut agar lebih efisien.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini adalah seperti yang dinyatakan di bawah ini:

1. Bagaimana cara memodelkan Struktur Bangunan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang menggunakan ETABS V18.1.1.
2. Bagaimana cara merancang dimensi – dimensi struktur atas Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.

1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dari Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini adalah memperluas wawasan dalam ilmu rekayasa sipil khususnya perancangan struktur atas gedung bertingkat.

Tujuan dari Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis struktur Gedung bertingkat untuk beban gempa menggunakan standar SNI 1726 – 2019.

2. Mendesain dimensi serta penulangan balok, pelat, kolom, dinding geser dan *joint* menggunakan standar SNI 2847 – 2019.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik

Pekerjaan Umum Semarang ini adalah sebagai berikut :

1. Struktur Gedung difungsikan sebagai bangunan asrama.
2. Analisis dan Perancangan Struktur menggunakan *Software* ETABS V18.1.1.
3. Peraturan yang digunakan dalam Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini adalah sebagai berikut :
 - a. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Bangunan Lain (SNI 1727:2020).
 - b. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019)
 - c. Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019).

1.5. Sistematika Tugas Akhir

Sistematika dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini terdiri dari 5 BAB yang disusun sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

BAB ini menerangkan tentang latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan, batasan masalah dan sistematika Tugas Akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB ini menerangkan tentang konsep analisis beban gempa dan persyaratan struktur tahan gempa.

BAB III METODE PERANCANGAN

BAB ini menerangkan tentang pengumpulan data, analisis dan perhitungan, diagram alir, peraturan SNI yang digunakan, serta *software* yang digunakan.

BAB IV ANALISIS DAN PERANCANGAN

BAB ini menerangkan cara analisis dari perancangan struktur berdasarkan ETABS.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

BAB ini menerangkan tentang kesimpulan dari perancangan ulang Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang serta saran ataupun kritik dari Penyusun.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Bangunan gedung bertingkat tinggi merupakan bangunan yang perlu diperhatikan dalam proses perancangannya. Dalam proses perancangan yang dilakukan harus sesuai aturan-aturan yang telah ditetapkan sehingga bangunan tersebut aman dan layak digunakan. Dalam proses perancangan bangunan gedung bertingkat tinggi harus memperhatikan ketahanan strukturnya terhadap berat sendiri bangunannya, beban hidup yang nantinya akan bekerja pada bangunan tersebut dan beban gempa.

Proses perancangan bangunan gedung bertingkat tinggi mengacu pada beberapa peraturan agar dihasilkan struktur yang aman dan kokoh antara lain Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Bangunan Lain (SNI 1727:2020), Standar Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2019) dan Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847 - 2019).

2.2. Pembebanan Gedung

Pembebanan merupakan faktor penting dalam merancang struktur bangunan. Untuk itu dalam merancang struktur perlu mengidentifikasi beban-beban yang bekerja pada gedung. Beban pada gedung meliputi berat sendiri, beban kerja, pengaruh gaya prategang, gempa, kekangan terhadap volume dan perbedaan penurunan.

2.2.1. Beban Mati

Beban mati adalah beban yang didominasi berat sendiri struktur bangunan yang tetap diam dan beberapa perlengkapan serta barang yang tidak bergerak. Nilai besaran beban mati bisa dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Beban Mati Minimum Bangunan Gedung

Komponen	Beban (kN/m ²)
CEILINGS	
Acoustical fiberboard	0,05
Gypsum board (per mm thickness)	0,008
Mechanical duct allowance	0,19
Plaster on tile or concrete	0,24
Plaster on wood lath	0,38
Suspended steel channel system	0,10
Suspended metal lath and cement plaster	0,72
Suspended metal lath and gypsum plaster	0,48
Wood furring suspension system	0,12
COVERINGS, ROOF, AND WALL	
Asbestos-cement shingles	0,19
Asphalt shingles	0,10
Cement tile	0,77
Clay tile (for mortar add 0.48 kN/m ²)	
Book tile, 51 mm	0,57
Book tile, 76 mm	0,96
Ludowici	0,48
Roman	0,57
Spanish	0,91
Composition:	0,05
Three-ply ready roofing	0,26
Four-ply felt and gravel	0,29
Five-ply felt and gravel	0,05
Copper or tin	0,19
Corrugated asbestos-cement roofing	0,12
Deck, metal, 20 gauge	0,14
Deck, metal, 18 gauge	0,24
Decking, 51-mm wood (Douglas fir)	0,38
Decking, 76-mm wood (Douglas fir)	0,04
Fiberboard, 13 mm	0,10
Gypsum sheathing, 13 mm	
Insulation, roof boards (per mm thickness)	0,0013
Cellular glass	0,0021
Fibrous glass	0,0028
Fiberboard	0,0015
Perlite	0,0004
Polystyrene foam	0,0009
Urethane foam with skin	0,006
Plywood (per mm thickness)	0,04
Rigid insulation, 13 mm	0,38
Skylight, metal frame, 10-mm wire glass	0,34
Slate, 5 mm	0,48
Slate, 6 mm	
Waterproofing membranes:	0,26
Bituminous, gravel-covered	0,07
Bituminous, smooth surface	0,05
Liquid applied	0,03
Single-ply, sheet	
Wood sheathing (per mm thickness)	0,0057
Plywood	0,0062
Oriented strand board	0,14
Wood shingles	
FLOOR FILL	
Cinder concrete, per mm	0,017
Lightweight concrete, per mm	0,015
Sand, per mm	0,015
Stone concrete, per mm	0,023
FLOORS AND FLOOR FINISHES	1,44
Asphalt block (51 mm), 13-mm mortar	1,53
Cement finish (25 mm) on stone-concrete fill	0,77
Ceramic or quarry tile (19 mm) on 13-mm mortar bed	1,10
Ceramic or quarry tile (19 mm) on 25-mm mortar bed	

Tabel 2.1 Beban Mati Minimum Bangunan Gedung (Lanjutan)

Komponen	Beban (kNm ²)			
Concrete fill finish (per mm thickness) 0.023				0,023
Hardwood flooring, 22 mm 0.19				0,19
Linoleum or asphalt tile, 6 mm 0.05				0,05
Marble and mortar on stone-concrete fill 1.58				1,58
Slate (per mm thickness) 0.028				0,028
Solid flat tile on 25-mm mortar base 1.10				1,10
Subflooring, 19 mm 0.14				0,14
Terrazzo (38 mm) directly on slab 0.91				0,91
Terrazzo (25 mm) on stone-concrete fill 1.53				1,53
Terrazzo (25 mm), 51-mm stone concrete 1.53				1,53
Wood block (76 mm) on mastic, no fill 0.48				0,48
Wood block (76 mm) on 13-mm mortar base 0.77				0,77
FLOORS, WOOD-JOIST (NO PLASTER)				
DOUBLE WOOD FLOOR				
Joint sizes (mm):	305-mm spacing	406-mm spacing	610-mm spacing	
	(kNm ²)	(kNm ²)	(kNm ²)	
51 × 152	0.29	0.24	0.24	
51 × 203	0.29	0.29	0.24	
51 × 254	0.34	0.29	0.29	
51 × 305	0.38	0.34	0.29	
FRAME PARTITIONS				
Movable steel partitions				0,19
Wood or steel studs, 13-mm gypsum board each side				0,38
Wood studs, 51 × 102, unplastered				0,19
Wood studs, 51 × 102, plastered one side				0,57
Wood studs, 51 × 102, plastered two sides				0,96
FRAME WALLS				
Exterior stud walls:				
51 mm × 102 mm@406 mm, 16-mm gypsum, insulated, 10-mm siding				0,53
51 mm × 152 mm@406 mm, 16-mm gypsum, insulated, 10-mm siding				0,57
Exterior stud walls with brick veneer				2,30
Windows, glass, frame, and sash				0,38
Clay brick wythes:				
102 mm				1,87
203 mm				3,78
305 mm				5,51
406 mm				7,42
Hollow concrete masonry unit wythes:				
Wythe thickness (in mm)	102	152	203	254
Density of unit (16.49 kN/m ³) with grout spacing as follows:				
No grout	1.05	1.29	1.68	2.01
1,219 mm		1.48	1.92	2.35
1,016 mm		1.58	2.06	2.54
813 mm		1.63	2.15	2.68
610 mm		1.77	2.35	2.92
406 mm		2.01	2.68	3.35
Full grout		2.73	3.69	4.69
Density of unit (19.64 kN/m ³) with grout spacing as follows:				
No grout	1.25	1.34	1.72	2.11
1,219 mm		1.58	2.11	2.59
1,016 mm		1.63	2.15	2.68
813 mm		1.72	2.25	2.78
610 mm		1.87	2.44	3.02
406 mm		2.11	2.78	3.50
Full grout		2.82	3.88	4.88
Density of unit (21.21 kN/m ³) with grout spacing as follows:				
No grout	1.39	1.68	2.15	2.59
1,219 mm		1.70	2.39	2.92
1,016 mm		1.72	2.54	3.11
813 mm		1.82	2.63	3.26
610 mm		1.96	2.82	3.50
406 mm		2.25	3.16	3.93
Full grout		3.06	4.17	5.27

Tabel 2.1 Beban Mati Minimum Bangunan Gedung (Lanjutan)

Komponen	Beban (kN/m ²)				
Solid concrete masonry unit					
Wythe thickness (in mm)	102	152	203	254	305
Density of unit (16,49 kN/m ³)	1,53	2,35	3,21	4,02	4,88
Density of unit (19,64 kN/m ³)	1,82	2,82	3,78	4,79	5,79
Density of unit (21,21 kN/m ³)	1,96	3,02	4,12	5,17	6,27

(Sumber : SNI 1727:2020)

2.2.2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh penghuni dan penggunaan bangunan gedung atau struktur lain. Termasuk beban lingkungan seperti beban angin, beban hujan, beban banjir dan beban gempa.

Tabel 2.2 Beban Hidup Minimum Bangunan Gedung

Hunian atau penggunaan	Merata, L_s psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup dizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak dizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Apartemen (lihat rumah tinggal)					
Sistem lantai akses					
Ruang kantor	50 (2,4)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Ruang komputer	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,9)	
Gudang persenjataan dan ruang latihan					
	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang pertemuan					
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lobi	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Panggung pertemuan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lantai podium	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Balkon dan dek					
	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang diayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Jalur untuk akses pemeliharaan					
	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	
Koridor					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain				
Ruang makan dan restoran					
	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Hunian (lihat rumah tinggal)					
Dudukan mesin elevator (pada area 2 in.x 2 in. [50 mm x 50 mm])					
		-	-	300 (1,33)	
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in.x 1 in. [25 mm x 25 mm])					
		-	-	200 (0,89)	

(Sumber : SNI 1727:2020)

2.2.3. Beban Angin

Beban angin adalah beban pada gedung yang terjadi karena adanya selisih dalam tekanan udara. Arah gaya beban angin tegak lurus dengan bangunan. Gaya terbesar beban angin berada pada bangunan yang paling tinggi. Faktor Arah Angin bisa dilihat di Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Faktor Arah Angin

Tipe struktur	Faktor arah angin K_d
Bangunan gedung	
Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1,0 ^a
Cerobong, tangki, dan struktur serupa	0,90
Persegi	0,95
Segi enam	1,0 ^a
Segi delapan	1,0 ^a
Bundar	
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka batang menara	
Segitiga, persegi, atau persegi panjang	0,85
Semua penampang lainnya	0,95

(Sumber : SNI 1727:2020)

2.2.4. Beban Gempa

Gempa bumi merupakan beban dinamis, yaitu beban yang besar dan arahnya dapat berganti-ganti menurut waktu. Salah satu akibat dinamis ini adalah gedung akan mengalami simpangan horisontal, apabila suatu bangunan telah melebihi syarat aman dari simpangan horisontal yang telah ditetapkan maka bangunan tersebut akan mengalami keruntuhan. Beban geser dasar nominal statik ekuivalen akibat gempa (V) yang bekerja pada struktur bangunan gedung ditentukan dengan persamaan berikut :

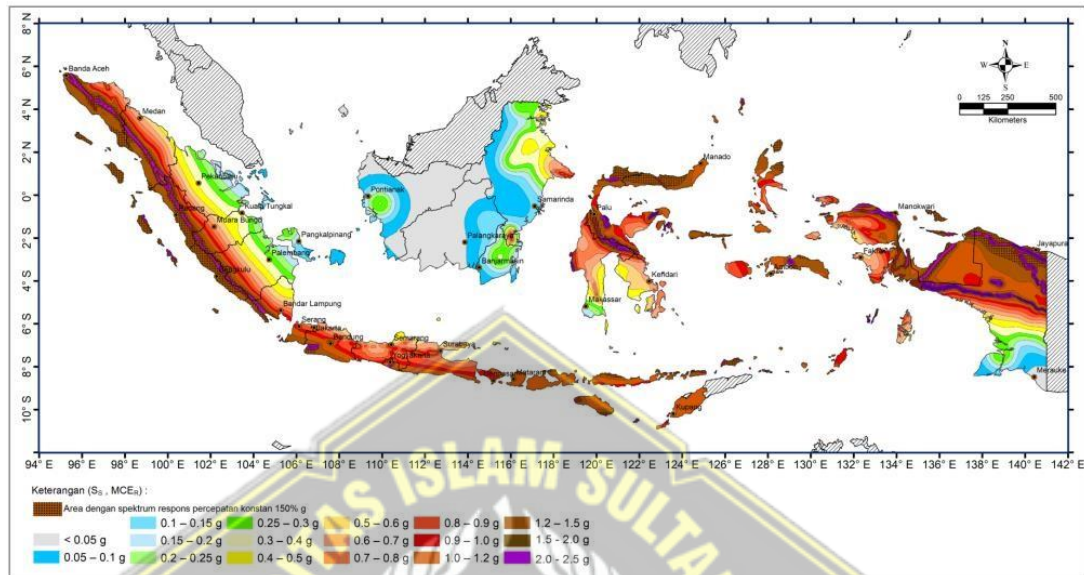
$$V = C_s \times W \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respons seismik

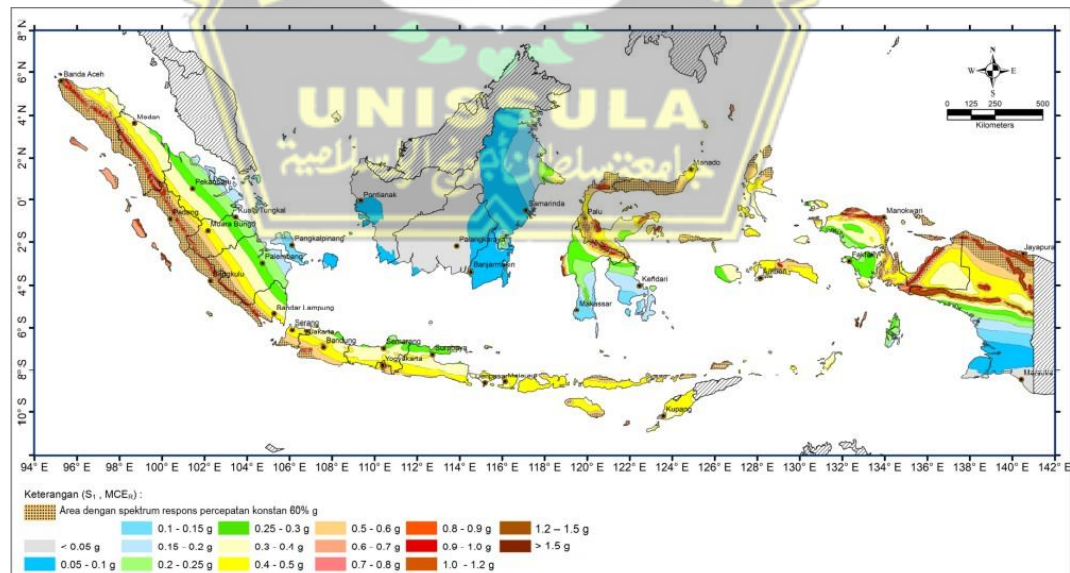
W = Berat seismik efektif

Peta Gempa Indonesia berdasarkan parameter gerak tanah S_s gempa maksimum dan parameter gerak tanah S_1 gempa maksimum dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Peta Gempa Indonesia berdasarkan parameter gerak tanah S_s gempa maksimum

(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 2.2 Peta Gempa Indonesia berdasarkan parameter gerak tanah S_1 gempa maksimum

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3. Syarat Struktur Tahan Gempa Bangunan Gedung

2.3.1. Spektrum Respon Desain

Dalam menghitung nilai spektrum respon desain dapat mengacu pada Gambar 2.1 dan rumus-rumus berikut sesuai dengan aturan SNI 1726-2019 Pasal 6.4 :

1. Nilai $T < T_0$

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \dots \dots \dots (2.2)$$

2. Nilai $T_0 \leq T \leq T_s$

$$S_a = S_{DS} \dots \dots \dots (2.3)$$

3. Nilai $T_s \leq T \leq T_L$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots \dots \dots (2.4)$$

4. Nilai $T_L \leq T$

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

T = Periode getar fundamental struktur (detik)

S_a = Nilai respons spektrum desain

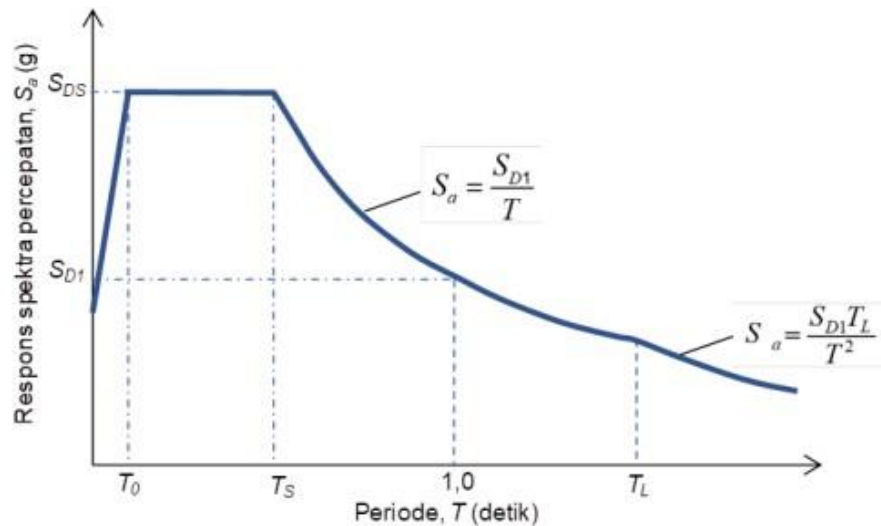
S_{DS} = Parameter respon spektral percepatan desain periode pendek

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

Nilai T_0 dan T_s diperoleh dari :

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2.7)$$



Gambar 2.3 Spektrum Respons Desain

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.2. Kategori Desain Seismik

Sebuah bangunan harus diklasifikasikan ke dalam kategori desain seismik untuk menentukan besarnya kemungkinan gempa saat merancang struktur bangunan tahan gempa. Tabel 2.2 dan 2.3 merupakan kategori desain seismik berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 6.5.

Tabel 2.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons 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 2.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter
Respons 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)

2.3.3. Parameter Percepatan Spektral Desain

Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung parameter percepatan spektral desain untuk periode S_{DS} dan periode S_{D1} :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

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

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

2.3.4. Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Risiko Tertarget

Nilai parameter respon spektral akselerasi pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}) ditentukan masing – masing menggunakan Persamaan 2.10 dan Persamaan 2.11.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (2.10)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik

Berdasarkan pedoman dalam SNI 1726 – 2019, tabel berikut mencantumkan koefisien tapak untuk F_a dan F_v .

Tabel 2.6 Koefisien Situs F_a

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

(Sumber : SNI 1726-2019)

Tabel 2.7 Koefisien Situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.5. Kategori Risiko Bangunan Gedung

Kategori risiko bangunan ditentukan oleh sifat dan tujuan struktur. Kategori risiko bangunan yang tercantum di bawah ini sesuai dengan SNI 1726 - 2019

Tabel 2.8 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan
Non Gedung untuk Beban Gempa

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

Tabel 2.8 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa (Lanjutan)

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

(Sumber : SNI 1726-2019)

Setelah mengetahui kategori resiko bangunannya maka akan diperoleh faktor keutamaan gempanya dengan mengacu pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 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)

2.3.6. Klasifikasi Situs

Besarnya percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu lokasi harus dikategorikan sebelum membuat kriteria desain seismik untuk bangunan di permukaan tanah. Tabel klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726 – 2019 adalah Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (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, $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons 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) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak / setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.7. Kombinasi Sistem Perangkai Dalam Arah yang Berbeda

Saat menggunakan beberapa sistem gaya gempa, nilai R , D_c dan Ω_0 harus diterapkan pada setiap sistem, bersama dengan batasan struktural yang tercantum dalam Tabel 12 SNI 1726 – 2019. Besaran nilai ditujukan oleh Tabel 2.11.

Keterangan :

R = Koefisien modifikasi respons

C_d = Faktor pembesaran defleksi

Ω_0 = Faktor kuat lebih sistem

Tabel 2.11 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_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktural dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	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	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{a,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.8. Gaya Dasar Seismik

Dalam SNI 1726-2019 gaya dasar seismik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$V = C_s \times W \dots\dots\dots (2.36)$$

$$C_s = \frac{(S_{DS})}{\frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots (2.37)$$

$$C_s \max = \frac{S_{DS}}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots (2.37)$$

$$C_s \min = 0,004 \times S_{DS} \times I_e > 0,001 \dots\dots\dots (2.38)$$

Persamaan 2.39 digunakan untuk menentukan nilai C_s untuk $S_1 \geq 0,6g$.

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\frac{R}{I_e}} \dots\dots\dots (2.39)$$

2.3.9. Pengaruh P-Delta

SNI 1726 – 2019 menyatakan bahwa jika koefisien stabilitas (θ) $\leq 0,10$, tidak perlu memperhitungkan dampak P – delta pada geser dan momen tingkat, tekanan dan momen yang dihasilkan dari elemen struktur atau akibat simpangan antar tingkat.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \dots\dots\dots (2.40)$$

Keterangan :

- P_x = Beban desain vertikal total di atas tingkat X
- Δ = Simpangan antar tingkat desain
- I_e = Faktor keutamaan gempa
- V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat X dan X-1
- H_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat X
- C_d = Faktor pembesaran defleksi pada SNI 1726-2019 Tabel 12

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} , nilai θ_{max} dapat diperoleh menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \dots\dots\dots (2.41)$$

Dengan β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat X dan X-. β ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0 .

2.3.10. Simpangan Antar Tingkat

Perhitungan simpangan antar tingkat rancangan (Δ) sebagai selisih deviasi antara pusat massa dan di bawah tingkat. Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung simpangan pusat massa pada tingkat -x (δ_x) (mm) :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (2.42)$$

Keterangan :

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral dalam Tabel 12 SNI 1726-2019

δ_{xe} = Simpangan di tingkat -X yang disyaratkan ditentukan dengan analisis elastik

I_e = Faktor keutamaan gempa dalam Tabel 4 SNI 1726 – 2019



Gambar 2.4 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

(Sumber : SNI 1726-2019)

Penyimpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan tingkat yang diizinkan, menurut SNI 1726 – 2019.

Tabel 2.12 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.	$0,025h_{xx}^c$	$0,020h_{xx}$	$0,015h_{xx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{xx}$	$0,010h_{xx}$	$0,010h_{xx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{xx}$	$0,007h_{xx}$	$0,007h_{xx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{xx}$	$0,015h_{xx}$	$0,010h_{xx}$

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.11. Klasifikasi Ketidakberaturan Struktur

A. Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan struktur horizontal adalah kategori untuk struktur dengan satu atau lebih bentuk ketidakberaturan. Pada Tabel 2.13 merupakan Tabel Ketidakberaturan Horizontal Struktur sesuai ketentuan SNI 1726-2019.

Tabel 2.13 Ketidakberaturan Horizontal

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 Tabel 16 0	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 $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 0 0 Tabel 16 0	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	0 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.	0 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.	0 0 0 Tabel 16 0	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.	0 0 Tabel 16 0	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)



(Sumber SNI 1726-2019)

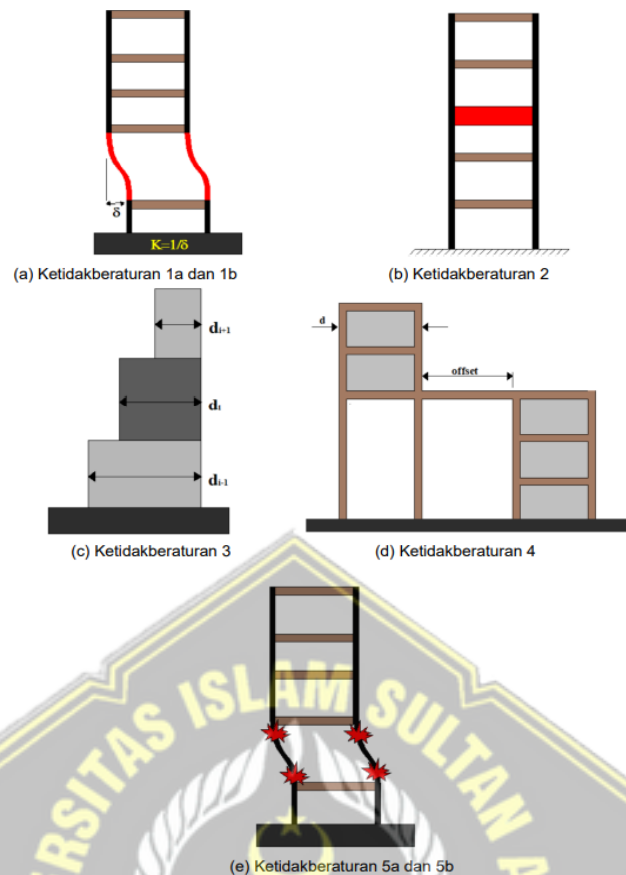
B. Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan struktur vertikal didefinisikan sebagai struktur dengan satu atau lebih bentuk ketidakberaturan. Ketidakberaturan horizontal pada struktur yang tercantum pada Tabel 2.10 telah sesuai dengan pedoman SNI 1726 – 2019.

Tabel 2.14 Ketidakberaturan Vertikal

	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 tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	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 didekatnya.	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.	0 0 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.	0 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.	0 0 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)

2.3.12. Analisis Spektrum Respons Ragam

A. Jumlah Ragam

Untuk mencapai massa ragam terkombinasi 100% dari massa struktur, maka 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.

B. Parameter Respons Ragam

Nilai parameter desain, termasuk simpangan antar lantai, gaya dukung dan gaya elemen struktur individu harus dihitung dengan masing-masing ragam dan spektrum respons didefinisikan dalam 0 atau 0 dibagi kuantitas (R / I_e). Sedangkan nilai untuk perpindahan dan kuantitas simpangan antar lantai harus dikalikan dengan kuantitas (C_d / I_e).

2.3.13. Periode Fundamental

Nilai krusial yang perlu dipertimbangkan saat merancang konstruksi bangunan tahan gempa adalah periode dasar (T). Karakteristik struktural dan karakteristik deformasi bagian pendukung dalam analisis yang diuji dapat digunakan untuk menentukan nilai periode dasar struktur. Periode pendekatan (T_a) juga dapat digunakan secara langsung untuk menentukan nilai periode dasar (T). Berdasarkan SNI 1726-2019 nilai T_a dapat dicari menggunakan persamaan berikut :

$$T_{max} = C_u T_a \dots\dots\dots (2.43)$$

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (2.44)$$

Berikut merupakan persamaan yang menjadi acuan untuk menentukan periode desain yang akan digunakan :

Jika $T_c < T_a$, maka yang diambil adalah dari perhitungan manual T_a

Jika $T_a < T_c < C_u \times T_a$, maka yang diambil adalah perhitungan software T_c

Jika $C_u \times T_a < T_c$, maka yang diambil adalah perhitungan pendekatan $C_u \times T_c$

Keterangan :

T = Periode getar struktur (detik)

C_u = Koefisien untuk batasan atas periode yang dihitung

T_a = Periode pendekatan (detik)

T_{max} = Periode maksimum (detik)

H_n = Ketinggian struktur (m)

T_c = Periode fundamental struktur hasil ETABS (detik)

C_t dan X ditentukan dari Tabel 18 SNI 1726-2019

Tabel 2.15 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)

Tabel 2.16 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

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

(Sumber : SNI 1726-2019)

2.3.14. Kombinasi Pembebanan Dasar

Sebuah bangunan dibangun untuk dapat memikul beban yang akan diletakkan di atasnya. Berikut merupakan kombinasi pembebanan menurut SNI 1726-2019.

$$1,4D \dots\dots\dots (2.45)$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.46)$$

$$1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \dots\dots\dots (2.47)$$

$$1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.48)$$

$$0,9D + 1,0W \dots\dots\dots (2.49)$$

2.3.15. Kombinasi Beban Gempa

Sangat penting untuk mempertimbangkan perhitungan beban gempa saat merancang bangunan, terutama bangunan bertingkat tinggi, berikut merupakan kombinasi beban gempa menurut peraturan SNI 1726-2019.

$$1,2D + E_y + E_h + L \dots\dots\dots (2.50)$$

$$0,9D - E_y + E_h \dots\dots\dots (2.51)$$

$$1,2D + E_y + E_{mh} + L \dots\dots\dots (2.52)$$

$$0,9D - E_y + E_{mh} \dots\dots\dots (2.53)$$

2.4. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah sistem rangka pemikul momen yang melalui mekanisme lentur dapat memikul beban lateral yang ditimbulkan oleh gempa bumi serta gravitasi dalam ruang tumpuan lengkap. Beban mati struktur dan beban hidup yang dibawa di dalam gedung itu sendiri bersama – sama membentuk beban gravitasi. Beban angin dan seismik termasuk dalam beban lateral. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) meliputi tiga tingkatan berdasarkan SNI 1726 – 2019, yaitu:

1) Sistem Rangka pemikul Momen Biasa (SPRMB)

Pada desain seismik kategori A digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). Dengan menggunakan sistem ini, struktur bangunan di zona satu dan dua dengan kegempaan rendah dapat dihitung. Hal – hal yang harus diperhitungkan di sistem ini, antara lain :

- a. Bagian bawah penampang, sisi dan paling sedikit dua tulangan memanjang menerus harus ada pada balok. Luas tulangan bawah menerus harus seperempat luas maksimum tulangan bawah.
- b. Nilai minimum antara gaya geser terikat dan kekuatan momen nominal atau gaya geser maksimum yang ditentukan dari kombinasi beban rancangan harus ada pada kolom dengan panjang tak tertumpu $l_n \leq 5c_1$.

2) Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Pada desain seismik kategori C, digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Sistem Rangka yang dikenal dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) memiliki elemen struktur yang dapat menahan tegangan lentur, geser dan aksial. Ketentuan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) mengacu pada SNI 2847 – 2019, yaitu :

- a. Gaya tekan aksial yang terdapat dalam komponen struktur pada detail tulangan balok tidak melebihi $A_g \times \frac{F_c'}{10}$.

- b. Gaya tekan aksial yang dihitung terkait dengan tumbukan gempa yang terdapat pada bagian kaku pada tulangan kolom lebih besar dari $Ag \times \frac{F_c'}{10}$.

3) Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Pada desain seismik kategori D dan E digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sistem rangka ini pada struktur beton bertulang dengan detail menghasilkan struktur yang fleksibel sehingga memiliki daktilitas yang tinggi. Berdasarkan Pasal 18.6 SNI 2847 – 2019, elemen struktur berikut merupakan bagian dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK):

- a. SNI 2847 – 2019 Pasal 18.6 ini mengatur tentang Sistem tahan gempa pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

- b. Gaya tekan aksial terfaktor (P_u) pada komponen struktur

$$P_u < Ag \times \frac{F_c'}{10} \dots\dots\dots (2.54)$$

- c. Tinggi efektif (d) dan bentang bersih komponen struktur (l_n)

$$l_n > 4d \dots\dots\dots (2.55)$$

- d. Lebar komponen (b_w)

$$b_w > 0,3h \dots\dots\dots (2.56)$$

- e. $250 \text{ mm} < b_w < c + 2 \left(\frac{3}{4}h \right) \dots\dots\dots (2.57)$

2.5. Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Spesifikasi dimensi penampang kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menurut SNI 2847 – 2019 adalah sebagai berikut :

- Ukuran penampang terkecil tidak kurang dari 300 mm bila diukur dalam garis lurus melintasi pusat geometri.
- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4.

Berdasarkan Pasal 18.7.3.2 SNI 2847 - 2019 kekuatan lentur kolom harus memenuhi syarat seperti persamaan 2.27 agar kolom lebih dari pada balok (*Strong*

Column Weak Beam) dan guna mengurangi kemungkinan leleh pada kolom yang dianggap sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \dots\dots\dots (2.58)$$

Keterangan :

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

$\sum M_{nb}$ = Adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint*, yang dievaluasi di muka-muka *joint*.



Gambar 2.7 Konsep *Strong Column Weak Beam*

(Sumber : SNI 2847 - 2019)

Sesuai SNI 2847 - 2019 luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari 0,01 A_g dan tidak lebih dari 0,06 A_g . Pada kolom-kolom yang sengkangnya bundar jumlah batang tulangan longitudinalnya minimum 6. Sambungan mekanisme harus memenuhi pasal 18.2.7 SNI 2874-2019 dan sambungan las harus memenuhi pasal 18.2.8 SNI 2874-2019. Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal. Batas bawah luas tulangan longitudinal digunakan untuk mengontrol deformasi jangka panjang dan untuk memiliki momen leleh melebihi momen retaknya.

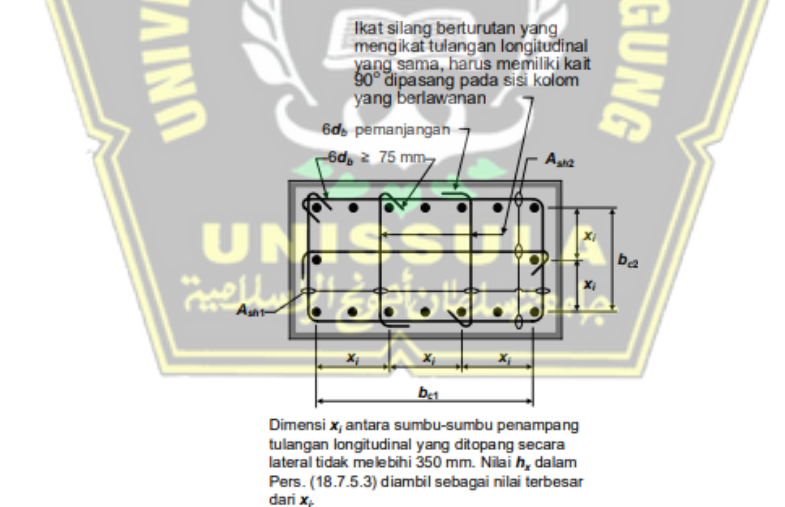
Sesuai SNI 2847 - 2019 tulangan transversal harus dipasang sepanjang l_0 dari masing-masing muka joint dan pada kedua sisi sembarang penampang. Panjang l_0

tidak boleh kurang dari tinggi muka joint, 1/6 tinggi bersih kolom dan 450 mm.
Jumlah tulangan transversal harus sesuai dengan Tabel 2.17 sebagai berikut :

Tabel 2.17 Transversal Kolom SRPMK

Tulangan transversal	Kondisi	Persamaan yang berlaku
$A_{sh}/s b_c$ untuk sengkang pengekang persegi	$P_u \leq 0,3 A_g f_c'$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a) dan (b) $0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (a)$ $0,09 \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (b)$
	$P_u > 0,3 A_g f_c'$ atau $f_c' > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (a), (b) dan (c) $0,2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}} \quad (c)$
ρ_s untuk spiral ataupun sengkang pengekang lingkaran	$P_u \leq 0,3 A_g f_c'$ dan $f_c' \leq 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d) dan (e) $0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (d)$ $0,12 \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (e)$
	$P_u > 0,3 A_g f_c'$ atau $f_c' > 70 \text{ MPa}$	Terbesar antara (d), (e) dan (f) $0,35 k_f \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}} \quad (f)$

(Sumber : SNI 2847 - 2019)



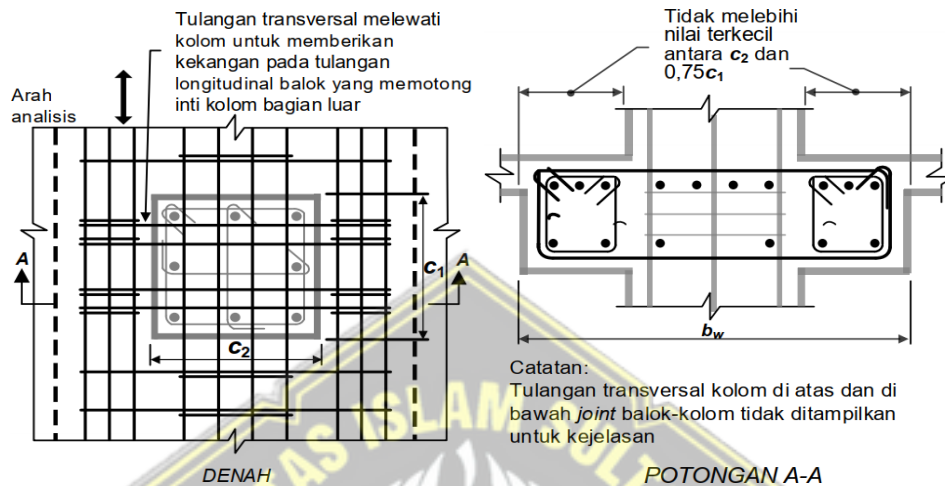
Gambar 2.8 Penulangan Transversal Kolom

(Sumber : SNI 2847 - 2019)

2.6. Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Berdasarkan ketentuan SNI 2847 - 2019 syarat dimensi penampang kolom SRPMK adalah sebagai berikut :

- Bentang bersih l_n harus minimal $4d$
- Lebar penampang b_w harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm
- Proyek lebar balok yang melampaui kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing sisi kolom



Gambar 2.9 Lebar Efektif Maksimum Balok Lebar(*Wide Beam*) dan Persyaratan Tulangan Transversal

(Sumber : SNI 2847 - 2019)

Sesuai SNI 2847 - 2019 tulangan longitudinal pada balok harus memiliki setidaknya dua batang tulangan menerus pada sisi atas dan bawah penampang. Pada pertimbangan kerapatan tulangan dan secara langsung membatasi tegangan geser balok dengan proporsi tipikal maka batasan rasio tulangan adalah 0,025. Sambungan lewatan diperbolehkan jika sengkang spiral digunakan di sepanjang sambungan lewatan, tetapi tidak diperbolehkan di dalam sambungan, dalam dua kali kedalaman balok dari permukaan sambungan atau dua kali kedalaman balok dari penampang kritis. Sambungan las harus mengikuti Pasal 18.2.8 SNI 2847 – 2019 serta Pasal 18.2.7 SNI 2847 – 2019 untuk mekanisme penyambungannya.

Sesuai SNI 2847 - 2019 tulangan transversal digunakan sebagai kekangan beton mempertahankan pendukung lateral untuk batang tulangan di lokasi kelelahan terjadi. Sengkang pengekat yang terdapat pada tulangan transversal pada lokasi balok sebagai berikut :

- Di kedua ujung balok, sepanjang garis yang memanjang dua kali tinggi balok dari gelagar ke tengah bentang.
- Pelelehan lentur diperkirakan terjadi di sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok pada kedua sisi penampang.

Senggang dengan kait seismik pada kedua ujungnya, dua batang tulangan dan pengikat silang untuk penutup dapat digunakan sebagai pengikat pada balok. Senggang pengekan pertama ditempatkan tidak lebih 50 mm dari muka kolom penumpu. Jarak senggang pengekan tidak boleh lebih besar dari :

- $d/4$ dengan d adalah diameter tulangan
- Sesuai dengan Pasal 9.7.2.3 SNI 2847 – 2019, tulangan longitudinal samping yaitu enam kali diameter terkecil tulangan lentur utama
- 150 mm



Gambar 2.10 Senggang Tertutup yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimum Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal

(Sumber : SNI 2847 - 2019)

2.7. Dinding Geser

Dinding Geser merupakan dinding penumpu atau bukan penumpu yang didesain untuk menahan gaya lateral pada bidang dinding. Sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2019 Dinding Geser harus memenuhi syarat berikut :

- Ketidakberaturan torsi pada struktur tidak boleh berlebihan.
- Mampu menahan tidak lebih dari 60% dari seluruh gaya seismik ke segala arah tanpa memperhatikan torsi tidak terduga.

Tabel 2.18 Tulangan Minimum Dinding Geser

Tipe dinding	Tipe dari tulangan nonprategang	Ukuran Tulangan	f_y , MPa	Longitudinal minimum ^[1] , ρ_l	Transversal minimum, ρ_t
Cor di tempat	Batang ulir	$\leq D16$	≥ 420	0,0012	0,0020
			< 420	0,0015	0,0025
		$> D16$	Semua	0,0015	0,0025
	Tulangan kawat las	$\leq \varnothing 13$ atau D13	Semua	0,0012	0,0020
Pracetak ^[2]	Batang ulir atau tulangan kawat las	Semua	Semua	0,0010	0,0010

(Sumber : SNI 2847 - 2019)

2.8. Pelat

Dalam SNI 2847 - 2019 telah tercantum beberapa aturan dalam merancang pelat dua arah yaitu sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.19 sampai dengan Tabel 2.21.

Tabel 2.19 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah
Nonprategang 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 tepi ^[4]		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[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	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

(Sumber SNI 2847 - 2019)

Tabel 2.20 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di Antara Tumpuan pada Semua Sisinya

$\alpha_{fm}^{[1]}$	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 0,2$	Terbesar dari :	$\frac{l_n (0,08 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b) ^{[2],[3]}
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 0,2$	Terbesar dari :	$\frac{l_n (0,08 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$	(d) ^{[2],[3]}
		90	(e)

(Sumber SNI 2847 - 2019)

Tabel 2.21 A_{smin} untuk Pelat Dua Arah Nonprategang

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

(Sumber SNI 2847 - 2019)

2.9. Tie Beam (Sloof)

Sesuai SNI 2847 – 2019 ada beberapa persyaratan dalam merencanakan *sloof* antara lain sebagai berikut :

- Harus memiliki tulangan longitudinal menerus yang harus disalurkan dalam atau melewati kolom yang ditumpu atau diangkur dalam pondasi telapak.
- Dimensi penampang terendah tidak boleh lebih besar dari 450 mm, tetapi tidak boleh kurang dari ruang kosong antara kolom yang terhubung dibagi 20.

Senggang untuk pengekangan tertutup harus diberi jarak tidak lebih dari 300 mm atau setengah ukuran penampang ortogonal.

- *Sloof* dan balok-balok yang merupakan bagian pondasi pelat rakit yang dikenai lentur dari kolom yang merupakan bagian sistem pemikul gaya seismik harus memenuhi pasal 18.6 SNI 2847 – 2019.

Semua pengikat pondasi diharuskan memiliki kekuatan tarik dan tekan desain yang sekurang – kurangnya sama dengan gaya sebesar 10% S_{Ds} dikali nilai terbesar beban mati terfaktor ditambah beban hidup terfaktor pada penutup atau kolom tiang pondasi yang lebih besar sesuai SNI 1726 – 2019 Pasal 7.13.6.2.

2.10. *Joint Rangka Momen Khusus (Hubungan Kolom – Balok)*

Pada Pasal 18.6.1 SNI 2847 – 2019 dijelaskan bahwa *joint* balok – kolom menghubungkan balok horizontal dan kolom vertikal pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 15.2 apabila *joint* dikekang secara lateral pada keempat sisi balok maka pada daerah *joint* balok – kolom interior bangunan tidak membutuhkan tulangan geser. Tulangan transversal dibutuhkan pada *joint* ini untuk mencegah tekuk pada tulangan longitudinal kolom. Luas kaki tulangan transversal pada *joint* balok – kolom berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 15.4.2 diambil dari :

$$0,062 \sqrt{F_c'} \frac{b_s}{f_{yt}} \dots\dots\dots (2.59)$$

$$0,35 \frac{b_s}{f_{yt}} \dots\dots\dots (2.60)$$

Dimana b merupakan dimensi bagian kolom yang tegak lurus terhadap arah yang dipantau.

BAB III

METODE PERANCANGAN

3.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan sebagai proses dari analisis dan perancangan perhitungan struktur. Data primer dan data sekunder tentang gedung ini dibutuhkan dalam perancangan ulang pada Tugas Akhir ini. Beberapa data yang dikumpulkan antara lain :

- 1) Gambar Struktur dan Arsitektur Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.
- 2) Data Seismik Wilayah Semarang.
(Sumber :<http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>)

3.2. Langkah – Langkah Perancangan

Analisis perancangan struktur Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang yang akan dilaksanakan memiliki beberapa tahapan, yaitu :

1) Permodelan Struktur Gedung

Permodelan pada struktur Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang menggunakan *software* ETABS v18.1.1. Fungsi *software* ETABS yaitu untuk menentukan gaya lintang, gaya momen dan gaya normal akibat pembebanan.

2) Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan pada struktur Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang berdasarkan SNI 1727 – 2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lain. Tabel tentang Beban Minimum untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lain dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan 2.2. Untuk perhitungan beban gempanya berdasarkan SNI 2726-2019. Persamaan 2.1, merupakan cara menghitung Gaya Geser Dasar Nominal Statik Ekuivalen akibat gempa.

3) Perancangan dan Permodelan Elemen Struktur

Perancangan dan permodelan struktur pada Tugas Akhir ini hanya fokus pada struktur atas dan berdasarkan pada aturan SNI 2847-2019. Perancangan pada struktur atas meliputi :

a) Perancangan Pelat Lantai

- Menentukan beban pelat lantai berdasarkan SNI 2847–2019. Dapat dilihat pada Tabel 2.19 merupakan Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior
- Menghitung M_{lx} , M_{ly} , M_{tx} dan M_{ty} .
- Merancang tulangan pelat.

b) Perancangan Balok

- Menentukan dimensi balok dengan tulangan.
- Membuat permodelan menggunakan *software* ETABS V18.1.1.
- Mengumpulkan data dari momen, gaya geser dan torsi.
- Mendesain penulangan lentur, penulangan transversal dan torsi.

c) Perancangan Kolom

- Mengumpulkan data gaya aksial dan gaya lateral dari *software* ETABS V18.1.1.
- Menentukan dimensi kolom.
- Mendesain tulangan longitudinal.
- Melakukan perhitungan pada momen kapasitas kolom.
- Melakukan kontrol pada *Strong Column Weak Beam*.
- Menghitung tulangan transversal dan gaya geser desain (V_e).

d) Perancangan Hubungan Balok – Kolom (*Joint*)

- Melakukan perhitungan pada gaya geser pada *joint*.
- Melakukan perhitungan tulangan transversal.

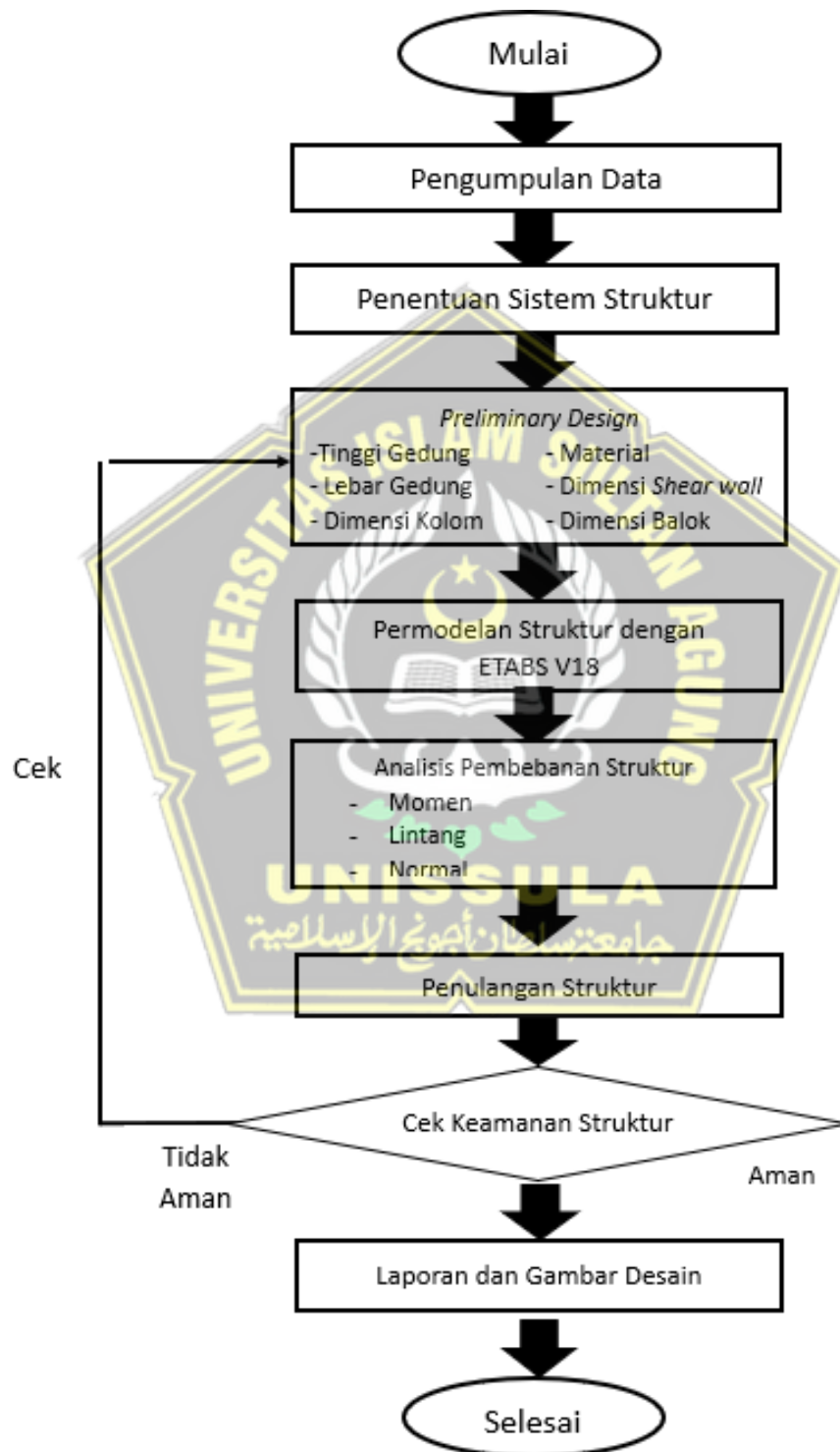
e) Perancangan Dinding Geser (*Shear Wall*)

- Membuat permodelan menggunakan *software* ETABS V18.1.1.
- Mengumpulkan data dari Gaya Dalam Aksial – Lentur
- Menentukan elemen batas khusus
- Mendesain penulangan lentur penulangan transversal, longitudinal dan elemen batas khusus.



3.3. Diagram Alir

Langkah – langkah dalam melakukan perancangan dalam Tugas Akhir dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan

3.4. Standar yang Digunakan

Perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang menggunakan beberapa peraturan dalam menentukan pembebanan dan perhitungan seperti yang terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Peraturan Standar Perancangan

No	Nama Peraturan	Tentang
1	SNI 1727:2020	Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Bangunan Lain
2	SNI 2847:2019	Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
3	SNI 1726:2019	Tata Cara Perancangan Ketahanan gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
4	Standar peraturan lain yang berlaku di Indonesia	

3.5. Software yang Digunakan

Perancangan ulang Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang ini menggunakan *software* ETABS V18.1.1 dalam permodelan struktur, analisis dan perancangannya.

BAB IV

ANALISIS DAN PERANCANGAN

4.1 Mutu Bahan Struktur

Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang dibangun dengan menggunakan bahan – bahan struktural dan mutu sebagai berikut :

1. Mutu Beton

Digunakan untuk pelat, kolom, dan balok yaitu :

$$F_c' = 35 \text{ MPa (K-421,69)}$$

2. Mutu Baja Tulangan

$$f_y = 420 \text{ MPa (ulir, } d \geq 10 \text{ mm)}$$

$$f_y = 280 \text{ MPa (polos, } d \leq 10 \text{ mm)}$$

4.2

Pra Dimensi dan Permodelan Struktur

4.9.1 Pra Dimensi Elemen Struktur

1) Balok

Pradimensi balok dapat ditentukan menggunakan SNI 2847-2019 Tabel 9.3.1.1 pada. Oleh sebab itu, didapatkan ukuran balok sebagai berikut :

$$- B1 \ H_{min} = \frac{L1}{16} = \frac{6000}{16} = 375 \text{ mm}$$

$$- B1 \ B_{min} = 0,5 \ H = 187,5 \text{ mm}$$

Dimensi balok yang diperlukan ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Dimensi Balok yang Digunakan Pada Struktur Gedung

BALOK	L terpanjang (mm)	H (mm)	B (mm)
G1	8400	700	400
G2	6000	500	350
G3	6000	500	250
G4	2400	250	200
B1	6000	400	200

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

2) Kolom

Untuk menentukan dimensi kolom menggunakan persamaan :

$$b < h \quad (4.1)$$

$$b > 300 \quad (4.2)$$

$$b/I \quad (4.3)$$

Menggunakan metode *tributary area* untuk mendapatkan beban total yang ditempatkan pada. Dengan metode ini, P dapat di hitung dengan cara mengalikan beban per meter persegi yang bekerja diatas kolom yang menggunakan *tributary area* paling besar dengan luas daerah pengaruh dalam meter persegi. Karena dianggap beban aksial tidak hanya ditanggung oleh kolom, maka Penulis berani mengambil *preliminary* (Bambang Budiono, 2017) :

$$A_g \geq \frac{P}{0,4 F_c F} \quad (4.4)$$

Efek kelangsingan pada komponen struktur tekan yang tidak terkekang lateral dapat diabaikan sesuai dengan SNI 2847 – 2019 Pasal 6.2.5 jika :

$$k \times \frac{l_u}{r} \leq 22 \quad (4.5)$$

Keterangan :

k = Faktor panjang tekuk (jepit – jepit = 0,65)

l_u = Tinggi kolom

r = Radius giransi penampang komponen struktur kolom

Berdasarkan hasil pengecekan rumus tersebut diperoleh penampang kolom pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Dimensi Kolom yang Digunakan Pada Struktur Gedung

KOLOM	B (mm)	H (mm)
K1	550	550
K2	450	450
K3	400	400

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

3) Pelat

Ketebalan minimum balok non prategang atau pelat dua arah ditetapkan sesuai Table 8.3.1.1 SNI 2847 – 2019 sebagai berikut :

Tabel 4.3 Tebal Minimum Pelat Dua Arah

f_y , MPa ^[2]	Tanpa drop panel ^[3]		Dengan drop panel ^[3]			
	Panel eksterior		Panel interior		Panel interior	
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[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	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

(Sumber : SNI 2847 – 2019)

Ketebalan pelat keseluruhan h tidak boleh kurang dari batasan Table 4.3 untuk pelat non – prategang tanpa balok interior yang merentang di antara tumpuan pada semua sisi dengan rasio bentang panjang dan bentang pendek maksimum sebesar 2.

Hasil penampang pelat ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan didasarkan pada tabel referensi yang disebutkan di atas.

Tabel 4.4 Dimensi Pelat yang Digunakan Pada Struktur Gedung

PELAT	Tebal Pelat Lantai (mm)
12 cm	120

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4) Dinding Geser

Tabel 4.5 menampilkan hasil perhitungan dinding geser yang dibuat menggunakan aplikasi ETABS.

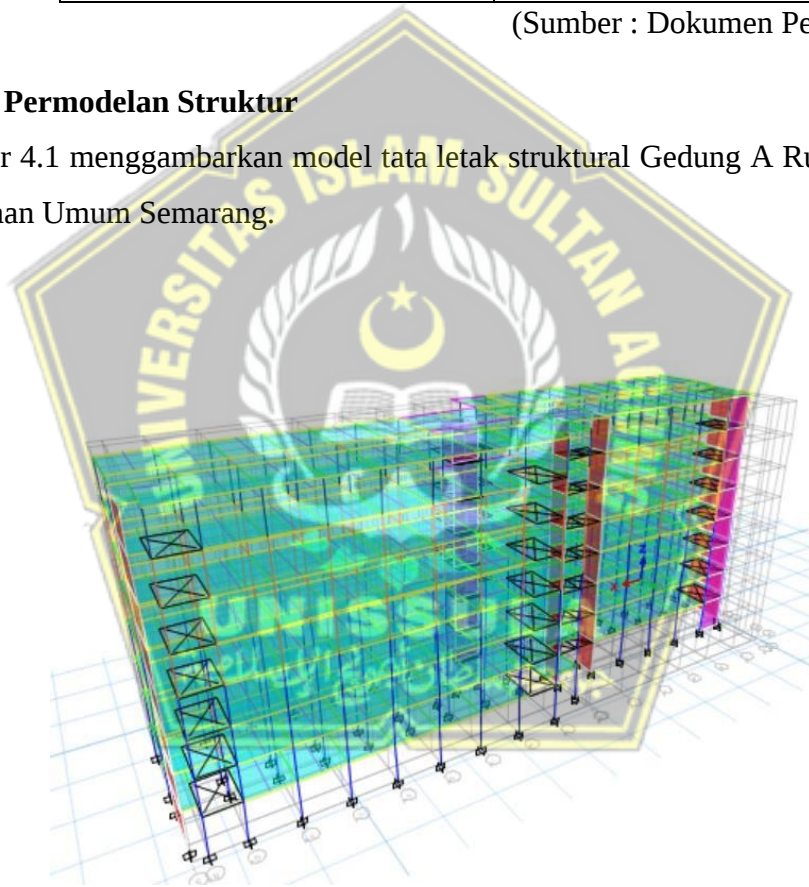
Tabel 4.5 Dimensi Dinding Geser yang Digunakan Pada Struktur Gedung

Dinding Geser	Tebal Dinding Geser (mm)
SW 1	200
SW 2	300

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.2.2 Permodelan Struktur

Gambar 4.1 menggambarkan model tata letak struktural Gedung A Rumah Susun Pekerjaan Umum Semarang.



Gambar 4.1 Gambar 3D Permodelan Struktur

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

a. Permodelan Menggunakan ETABS V18

Adapun urutan perencanaan pada Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang yang direncanakan menggunakan aplikasi ETABS V18, adalah sebagai berikut :

1) Input Material Properties

Untuk semua komponen struktural utama termasuk balok, kolom dan pelat, bahan konstruksi beton bertulang menggunakan bahan beton F_c' 35 MPa. *Input data material* dilakukan dengan menggunakan ETABS dengan urutan menu pilihan sebagai berikut : *Define – Material – Properties*. Pada Gambar 4.2 ditampilkan tata cara memasukkan data material.

Gambar 4.2 *Input Material Properties*

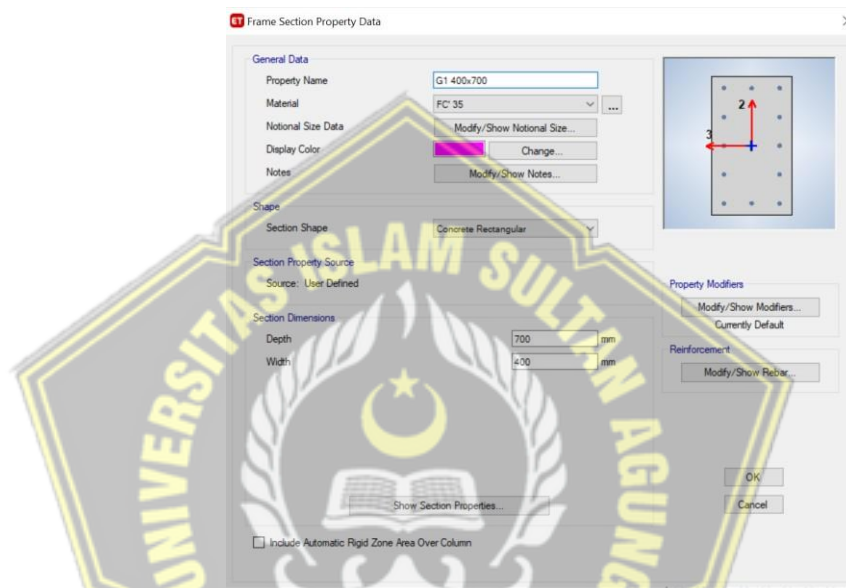
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

2) Input Frame Section (Elemen Struktur)

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

a. Input Data Balok

Langkah dalam menginput data balok ke aplikasi ETABS balok adalah : *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Property*. Gambar 4.3 hingga Gambar 4.8 mengilustrasikan cara memasukan balok.



Gambar 4.3 Input Balok G1 400 x 700

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.4 Input Balok G2 350 x 500

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: G3 250x500

Material: FC 35

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

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 500 mm

Width: 250 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Gambar 4.5 *Input Balok G3 250 x 500*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: G4 200x250

Material: FC 35

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

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 250 mm

Width: 200 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Gambar 4.6 *Input Balok G4 200 x 250*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: B1 200x400

Material: FC 35

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

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 400 mm

Width: 200 mm

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

OK Cancel

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Gambar 4.7 Input Balok B1 200 x 400

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Property/Stiffness Modification Factors

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: 0,35

Moment of Inertia about 3 axis: 0,35

Mass: 1

Weight: 1

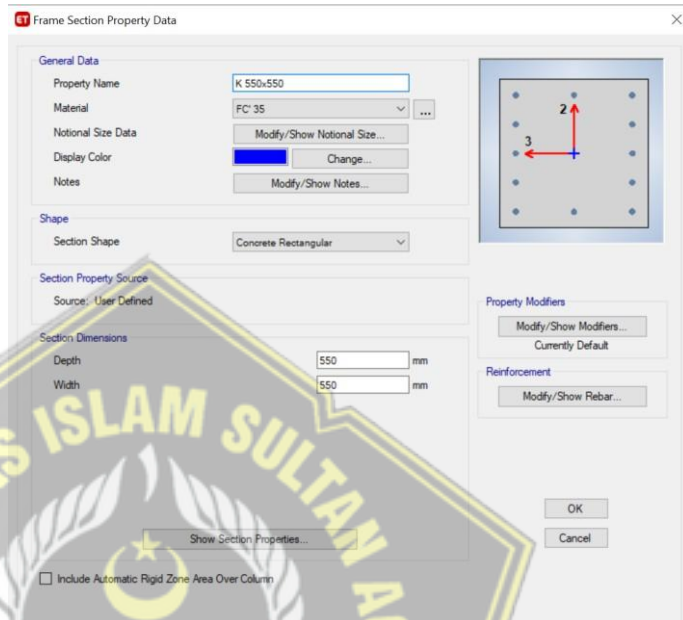
OK Cancel

Gambar 4.8 Input Stiffness Modification Factors Balok

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

b. Input Data Kolom

Langkah dalam mengimput data kolom ke aplikasi ETABS yaitu : *Define – Section Properties – Frame Section – Add New Property*. Gambar 4.9 hingga Gambar 4.12 mengilustrasikan cara memasukan data kolom.



Gambar 4.9 Input Kolom K1 550 x 550

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.10 Input Kolom K2 450 x 450

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: K 400x400

Material: FC 35

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

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 400 mm

Width: 400 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

OK Cancel

Gambar 4.11 *Input Kolom K3 400 x 400*
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

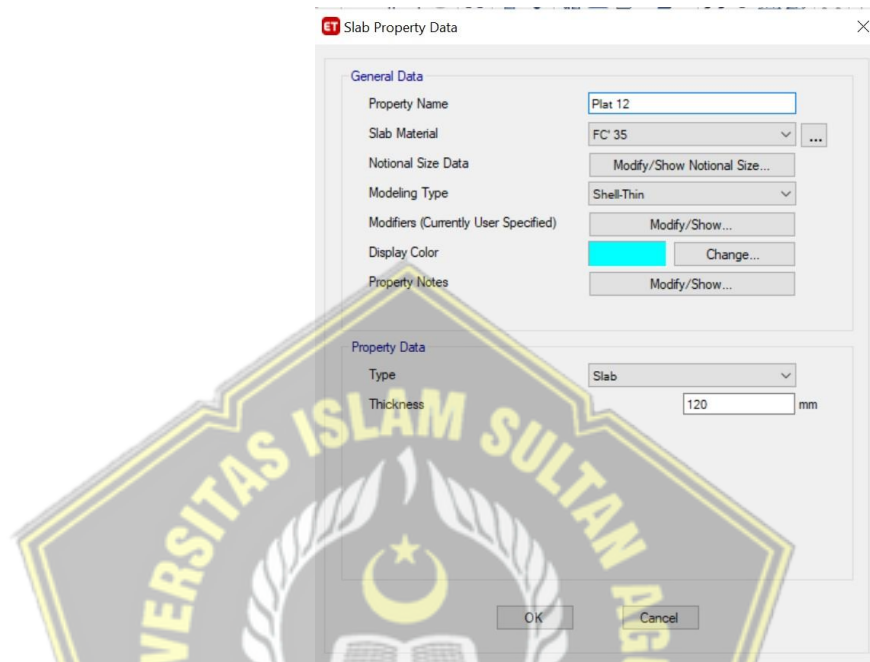
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0,7
Moment of Inertia about 3 axis	0,7
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Gambar 4.12 *Input Stiffness Modification Factors Kolom*
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

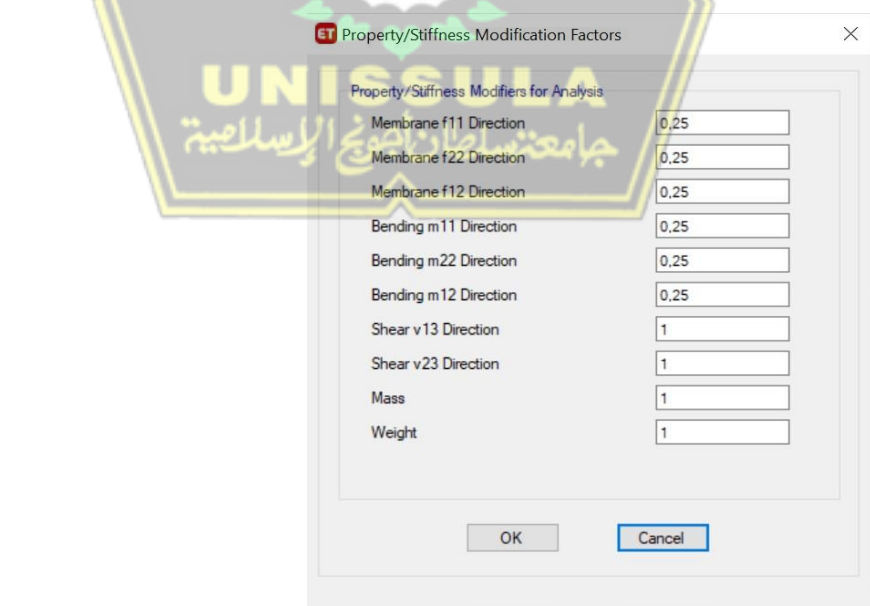
c. *Input Data Pelat*

Langkah menginput data pelat ke aplikasi ETABS yaitu : *Define – Setion Properties – Slab Section – Add New Property*. Gambar 4.13 hingga Gambar 4.14 mengilustrasikan cara memasukan data pelat.



Gambar 4.13 *Input Pelat 120 mm*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

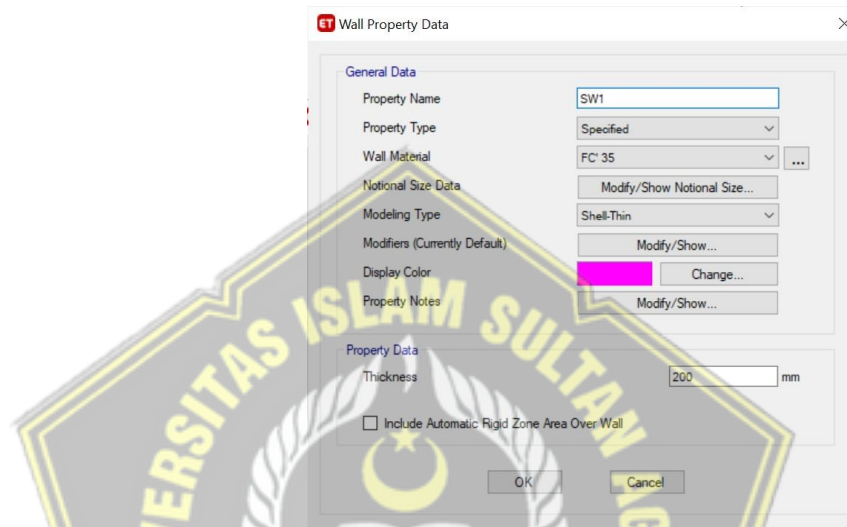


Gambar 4.14 *Input Stiffness Modification Factors Pelat*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

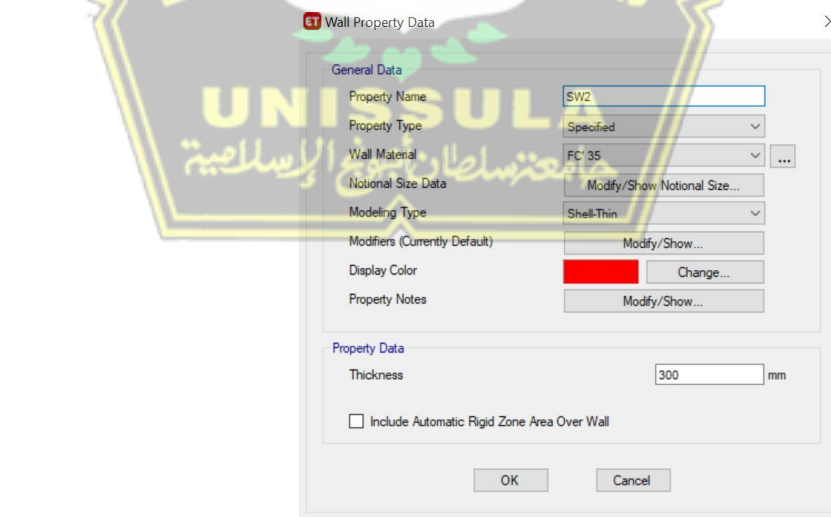
d. Input Data Dinding Geser

Langkah menginput data elemen dinding geser (*shear wall*) pada aplikasi ETABS yaitu : *Draw – Draw Wall Stack – New Wall Stack – Input New Wall Stack – Input Layout Data*. Gambar 4.15 hingga Gambar 4.17 mengilustrasikan cara memasukan data elemen dinding geser.



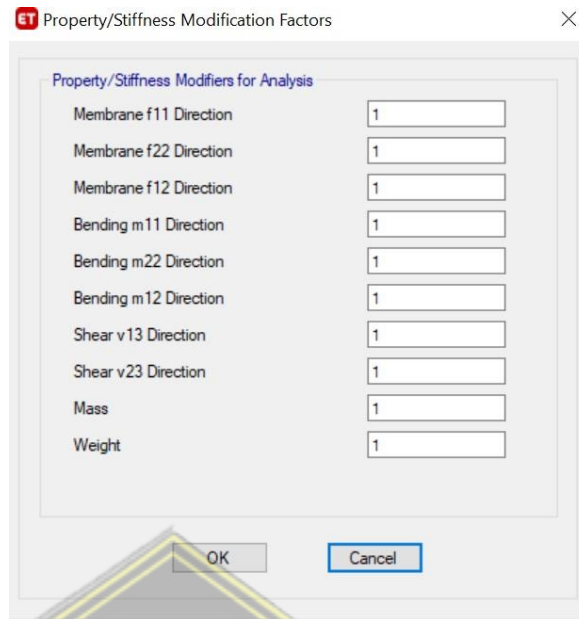
Gambar 4.15 Input Dinding Geser 1 (Shear Wall)

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.16 Input Dinding Geser 2 (Shear Wall)

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



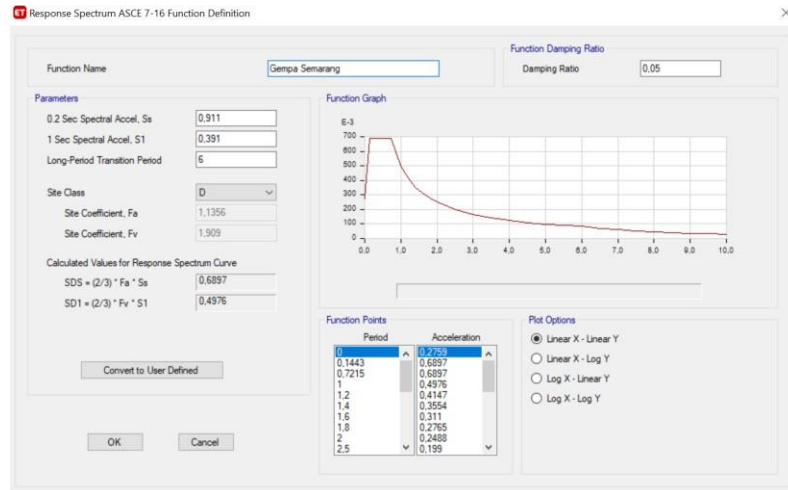
Gambar 4.17 *Input Stiffness Modification Factors Dinding Geser*
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

3) **Input Beban Gempa Respons Spektrum**

Mengikuti petunjuk dalam SNI 1726 – 2019, langkah – langkah berikut diambil untuk menghitung beban gempa di Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang :

- a. Peta rawan gempa dari website Design Spektra Indonesia 2022 dapat digunakan untuk menentukan nilai S_s dan S_1 .
- b. Aplikasi ETABS memilih tahapan berikut untuk memasukkan data untuk respon spektrum :

Define – function – respons spektrum – masukkan data yang telah didapatkan dari website Desain Spektra Indonesia kedalam Respon spektrum function definition. Gambar 4.18 mengilustrasikan penambahan *Spectrume Response Function*.

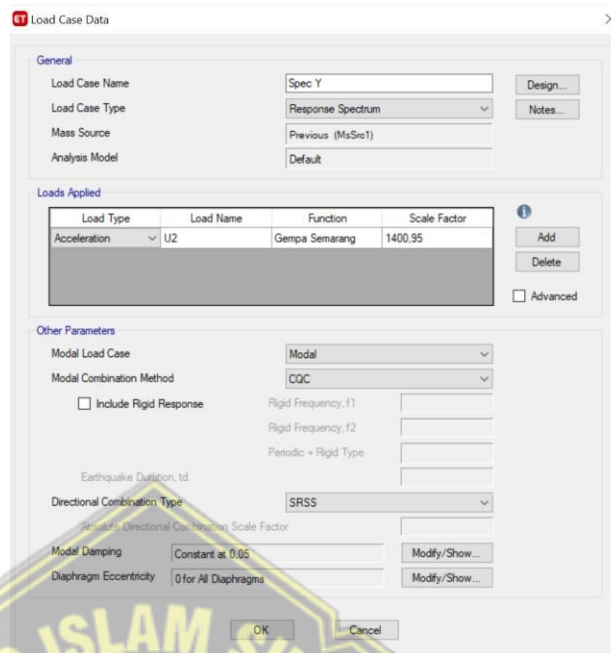


Gambar 4.18 Penambahan Fungsi Respons Spektrum
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

c. *Input* beban gempa dari cara diatas ke dalam *Load Case* baik untuk X ataupun arah Y, untuk arah X *Load name* menggunakan U1, untuk arah Y menggunakan *Define - Load name – Add new Case – Load Case Type – Respons Spektrum – Input* sesuai perencanaan. Gambar 4.19 dan 4.20 menunjukan cara *Input Load Case data* respons spektrum.

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Gempa Semarang	1400.95

Gambar 4.19 Penambahan *Load Case Data* Respons Spektrum Arah X
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.20 Penambahan *Load Case Data* Respons Spektrum Arah Y
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.3 Formulasi Pembebanan Struktur

Pada perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang, kombinasi pembebanan yang akan digunakan disesuaikan dengan peraturan SNI 1726 – 2019 Pasal 2.3.1 dan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik disesuaikan dengan peraturan SNI 1726 – 2019 Pasal 2.3.6 sebagai berikut :

$$1,4 D \dots\dots\dots (4.6)$$

$$1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \dots\dots\dots (4.7)$$

$$1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \dots\dots\dots (4.8)$$

$$1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \dots\dots\dots (4.9)$$

$$0,9 D + 1,0 W \dots\dots\dots (4.10)$$

Pembebanan pada permodelan struktur untuk beban mati terdiri dari beban bangunan itu sendiri dan beban mati tambahan seperti beban luasan merata yang berada pada pelat lantai, dengan mengasumsikan beban mati tambahan itu berupa

beban plafond, finishing lantai, penggantung, dan beban mati lainnya yang ada pada bangunan tersebut.

Pembebanan untuk beban hidup yang bekerja pada pelat lantai sesuai dengan peraturan SNI 1726–2019. Sedangkan beban hidup yang akan digunakan dalam analisis struktur sebagai berikut :

1. Ruang asrama = $1,92 \text{ kN/m}^2$
2. Lobby Koridor = $4,79 \text{ kN/m}^2$
3. Atap Datar = $0,96 \text{ kN/m}^2$

4.4 Analisis Beban Seismik

Pembebanan seismik pada struktur Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang dianalisis sesuai dengan peraturan SNI 1726–2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung atau Non Gedung.

4.4.1 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang merupakan gedung yang digunakan untuk ruang perkuliahan. Berdasarkan SNI 1726–2019 Tabel 3 gedung ini termasuk ke dalam kategori risiko IV dengan nilai faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,0.

4.4.2 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan

Parameter Respons Spektral Gempa Terpetakan (Nilai S_s dan S_1). Parameter respons tabel pada gempa desain dikerjakan dengan menggunakan Aplikasi Desain Spektra Indonesia tahun 2022 yang telah tersedia pada laman resmi PUPR Indonesia. Caranya dengan memasukkan koordinat atau nama kota yang akan dibangun dan hasil akan otomatis diperoleh.

Nilai parameter respons tabel pada gempa desain pada lokasi Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang akan dibangun sesuai dengan Tabel 4.6 berikut :

Tabel 4.6 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Terpetakan

Variabel	Nilai
PGA	0,4060
S_s	0,911
S_1	0,391

(Sumber : <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id>)

4.4.3 Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726–2019 tentang nilai klasifikasi situs ($\bar{N}$) Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang termasuk kategori Tanah Sedang (SD).

4.4.4 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget

Penentuan data koordinat dari lokasi gedung ini dengan menentukan jenis tanahnya kemudian akan didapat nilai parameter respon spektral gempa tertarget yang ada pada Tabel 4.7. Nilai dari parameter respon spektral percepatan gempa tertarget periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) telah sesuai dengan pengaruh klasifikasi situs yang diperoleh dengan menggunakan Aplikasi Desain Spektra Indonesia 2022 pada halaman resmi Kementerian PUPR.

Tabel 4.7 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Tertarget

Variabel	Nilai
S_{MS}	1,035
S_{M1}	0,746

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.4.5 Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain

Penentuan data koordinat dari lokasi gedung ini dengan menentukan jenis tanahnya kemudian akan didapat nilai parameter respon spektral gempa desain yang ada pada Tabel 4.8. Pengaruh kategori site yang ditentukan menggunakan Aplikasi Desain Spektra Indonesia 2022 pada website resmi Kementerian PUPR berkorelasi dengan nilai parameter respon spektral percepatan gempa desain periode pendek (S_{ds}) dan periode 1 detik (S_{d1}).

Tabel 4.8 Data Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Desain

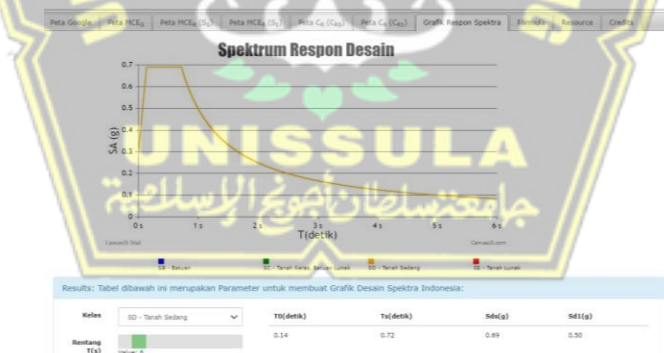
Variabel	Nilai
S_d_s	0,69
S_{d_1}	0,50

(Sumber : <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id>)

4.4.6 Spektrum Respon Desain

Spektrum respon desain dapat dihitung dengan mengacu pada SNI 1726–2019 Pasal 6.4. Nilai periode yang akan dibutuhkan pada pembuatan spektrum respons desain dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang terdapat pada SNI 1726–2019 yang dimulai dari T_0 , T_s hingga periode selanjutnya.

Nilai spektrum respon desain juga dapat diperoleh secara otomatis melalui laman resmi yang telah disediakan oleh Kementerian PUPR. Nilai yang telah didapat dari laman tersebut ditampilkan dengan grafik hubungan antara periode dan respon percepatan gempa. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Grafik Nilai Spektrum Respon Desain

(Sumber : <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id>)

4.4.7 Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik yang digunakan dalam perencanaan ini sesuai dengan SNI 1726–2019 Tabel 8 dan Tabel 9. Berdasarkan peraturan tersebut, gedung ini termasuk ke dalam Kategori Risiko II dan memiliki $S_{D_s} \geq 0.5$ dan nilai $S_{D_1} \geq 0.2$

sehingga penentuan Kategori Desain Seismik dapat menggunakan SNI 1726–2019 Tabel 8 dan Tabel 9. Sesuai dengan tabel tersebut, gedung ini termasuk ke dalam Kategori Desain Seismik D.

4.4.8 Perhitungan Beban dan Model Massa Terpusat Tiap Lantai

Perhitungan beban gempa struktur diperlukan penentuan nilai massa di tiap lantainya di mana beban yang digunakan merupakan beban struktur tiap lantai itu sendiri dan beban hidup yang bekerja pada pelat pada lantai. Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu 100% beban mati ditambah minimum 25% beban hidup sesuai dengan SNI 1726 pasal 7.7.2

$$W = 100 \% DL + 25 \% LL \dots\dots\dots(4.11)$$

Keterangan :

W = Berat Seismik Efektif

DL = Berat mati (berat sendiri) struktur pada setiap lantai gedung

LL = Beban hidup total pada setiap lantai gedung

Penentuan massa dan pusat massa pada setiap lantai diperoleh dengan menghitung volume struktur beton pada setiap lantai dan digunakan sebagai beban sendiri struktur sedangkan untuk beban hidup yang bekerja pada pelat harus sesuai dengan Tabel 4.3.1 SNI 1727–2019.

4.5 Alternatif Permodelan

Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum (PU) Semarang dirancang menggunakan struktur gedung sistem ganda. Permodelan gedung dilakukan dengan bantuan program ETABS dengan dimodelkan sebuah sistem *grid*, dengan *grid* sebagai garis titik berat dan elemen struktur yang dimodelkan.

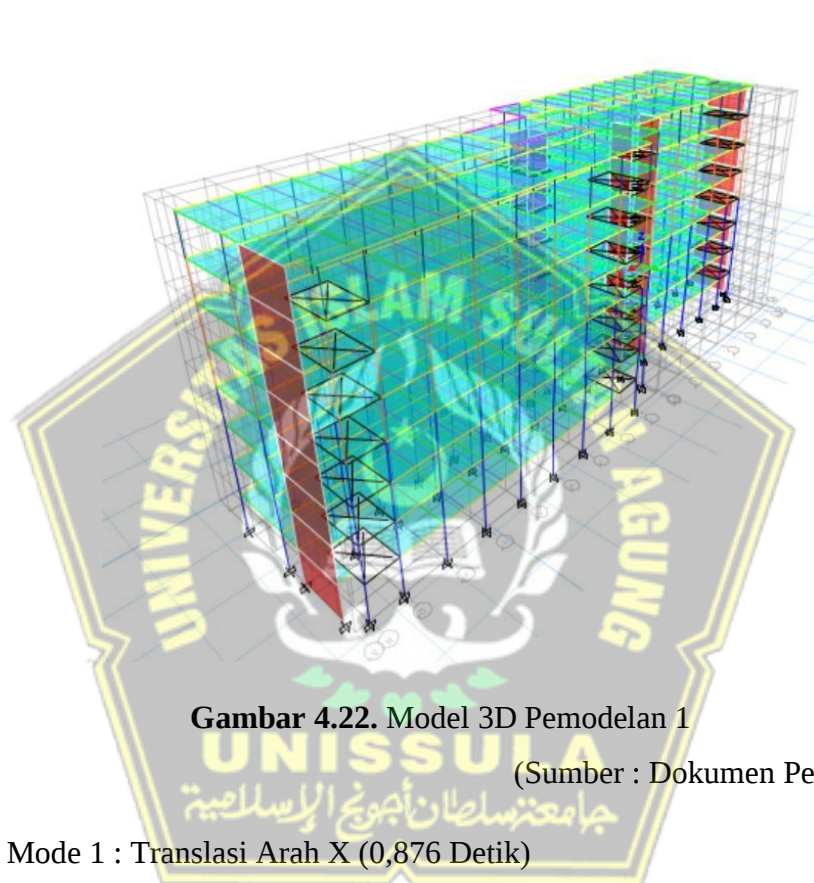
4.5.1 Alternatif Permodelan 1

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) akan berfungsi sebagai pondasi model pertama. Memiliki persyaratan sebagai berikut :

- Mutu Beton 35 MPa
- Kolom 550 x 550 untuk kolom lantai 1-4
- Kolom 450 x 450 untuk kolom lantai 5-7

- Kolom 400 x 400 untuk kolom lantai 8
- Balok 400 x 700, balok 350 x 500, balok 250 x 500 dan balok 200 x 250 untuk balok utama
- Balok 200 x 400 untuk balok anak
- Plat lantai 120 mm

Berikut gambar 3D dari model gedung yang didesain dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22. Model 3D Pemodelan 1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

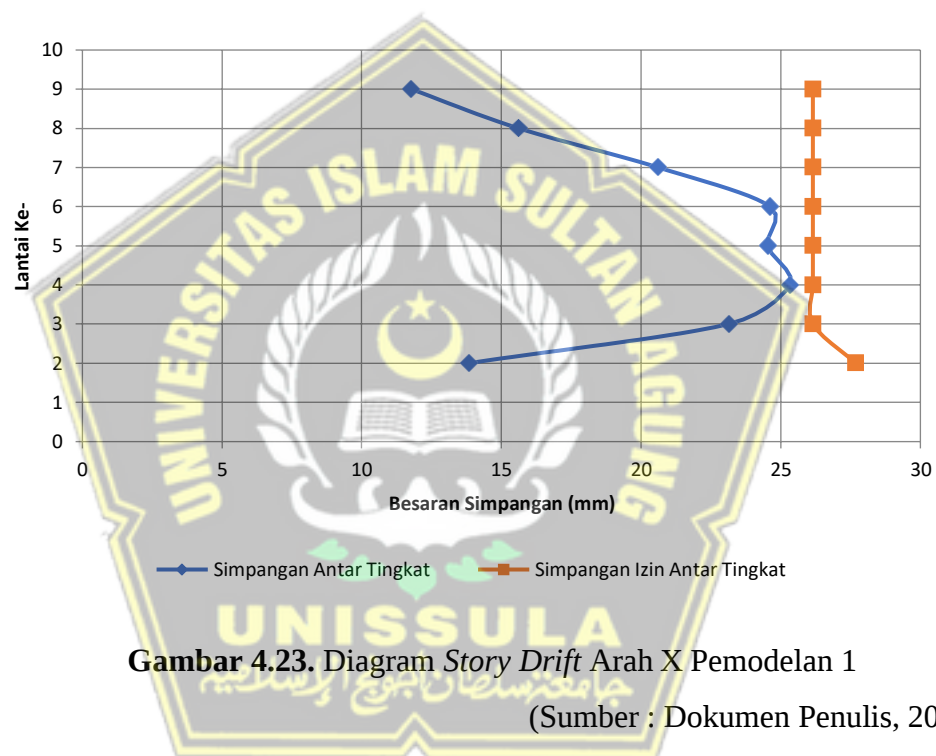
- Mode 1 : Translasi Arah X (0,876 Detik)
- Mode 2 : Translasi Arah Y (0,788 Detik)
- Mode 3 : Rotasi (0,608 Detik)

Tabel 4.9 dan Gambar 4,23 menunjukkan hasil analisis simpangan antar tingkat arah X, sedangkan Tabel 4.10 dan Gmabra 4.24 menunjukkan hasil analisis simpangan antar tingkat arah Y dan Tabel 4.11 menampilkan hasil analisis simpangan antar tingkat Struktur Sistem Ganda.

Tabel 4.9. Pengecekan *Story Drift* Arah X Pemodelan 1

Story	hsx	δe	Δ	Δi	$\Delta izin$	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
9	3400	28,99	159,45	11,76	26,15	OK
8	3400	26,85	147,68	15,61	26,15	OK
7	3400	24,01	132,07	20,61	26,15	OK
6	3400	20,27	111,46	24,62	26,15	OK
5	3400	15,79	86,85	24,53	26,15	OK
4	3400	11,33	62,32	25,34	26,15	OK
3	3400	6,72	36,98	23,14	26,15	OK
2	3600	2,52	13,84	13,84	27,69	OK

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



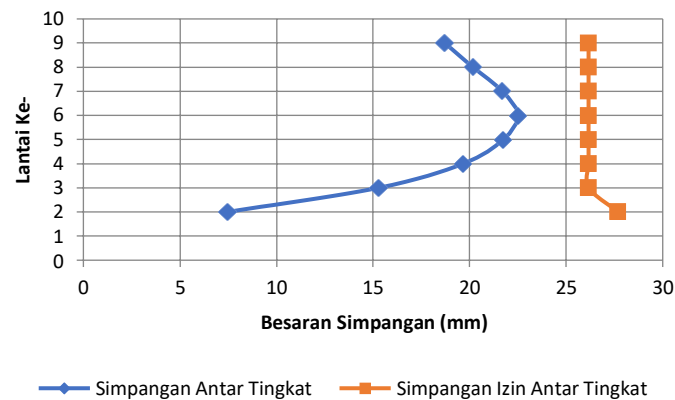
Gambar 4.23. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.10. Pengecekan *Story Drift* Arah Y Pemodelan 1

Story	hsx	δe	Δ	Δi	$\Delta izin$	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
9	3400	26,78	147,27	18,71	26,15	OK
8	3400	23,38	128,56	20,17	26,15	OK
7	3400	19,71	108,39	21,70	26,15	OK
6	3400	15,76	86,69	22,53	26,15	OK
5	3400	11,67	64,16	21,74	26,15	OK
4	3400	7,71	42,43	19,67	26,15	OK
3	3400	4,14	22,76	15,29	26,15	OK
2	3600	1,36	7,47	7,47	27,69	OK

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.24. Diagram Story Drift Arah Y Pemodelan 1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.11. Pengecekan Struktur Sistem Ganda Permodelan 1

Sumbu	V design	V shear wall	V kolom	%V sw	%V kolom	status
X	5896,66	2897,8139	2998,84	49,14332	50,85668	OK
Y	5919,80	5249,4867	670,31	88,67673	11,32327	NOT

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

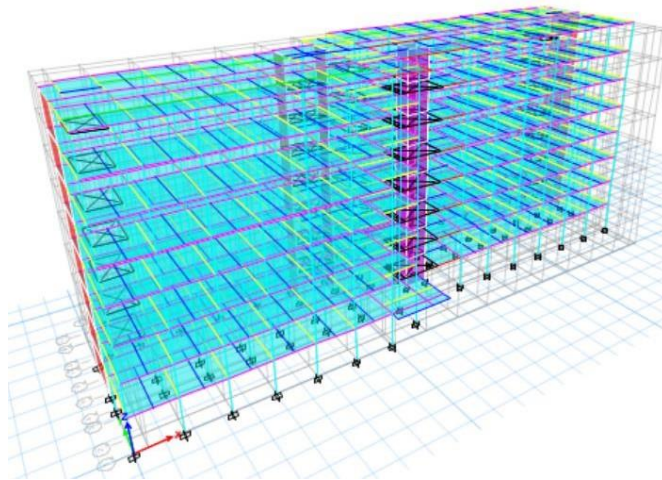
Simpangan antar lantai berdasarkan kontrol simpangan di atas karena tidak ada penyimpangan yang melampaui batas yang diperbolehkan, sedangkan untuk pengecekan sistem struktur ganda di atas, terdapat rangka pemikul momen yang menahan beban melebihi batas yang ditentukan. Untuk mengatasi masalah tersebut, Penulis mencoba memperbesar dimensi kolom dan balok.

4.5.2 Alternatif Pemodelan 2

Pada model kedua, direncanakan berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Dengan Spesifikasi sebagai Berikut:

- Mutu Beton 35 MPa
- Kolom 500 x 500 (kolom lantai 1-8)
- Balok 400 x 700, balok 400 x 500, balok 300 x 500, balok 300 x 300, balok 200 x 400 dan balok 200 x 300 untuk balok utama
- Balok 200 x 400 untuk balok anak
- Plat lantai 120 mm

Berikut gambar 3D dari model gedung yang didesain dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25. Model 3D Pemodelan 2

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Pada permodelan kedua, bangunan mengalami:

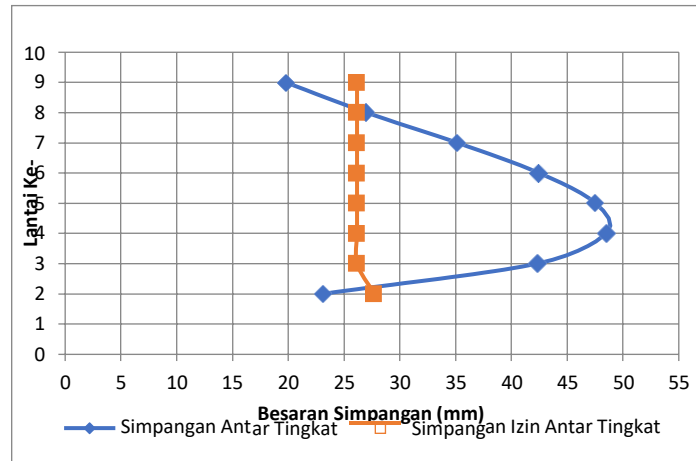
- Mode 1 : Translasi Arah X (1,198Detik)
- Mode 2 : Translasi Arah Y (0,951 Detik)
- Mode 3 : Rotasi (0,718 Detik)

Dan hasil analisis simpangan antar tingkat (story drift) arah X ditunjukkan pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.26, sedangkan hasil analisis simpangan antar tingkat arah Y ditunjukkan pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.27 dan hasil analisis Struktur Sistem Ganda pada Tabel 4.14.

Tabel 4.12. Pengecekan Story Drift Arah X Pemodelan 2

Story	hsx	δe	Δ	Δi	Δ_{izin}	Ket
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
9	3400	51,97	285,86	19,76	26,15	OK
8	3400	48,38	266,10	26,99	26,15	NOT
7	3400	43,47	239,10	35,13	26,15	NOT
6	3400	37,09	203,97	42,47	26,15	NOT
5	3400	29,36	161,50	47,52	26,15	NOT
4	3400	20,72	113,98	48,50	26,15	NOT
3	3400	11,91	65,48	42,34	26,15	NOT
2	3600	4,21	23,14	23,14	27,69	OK

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



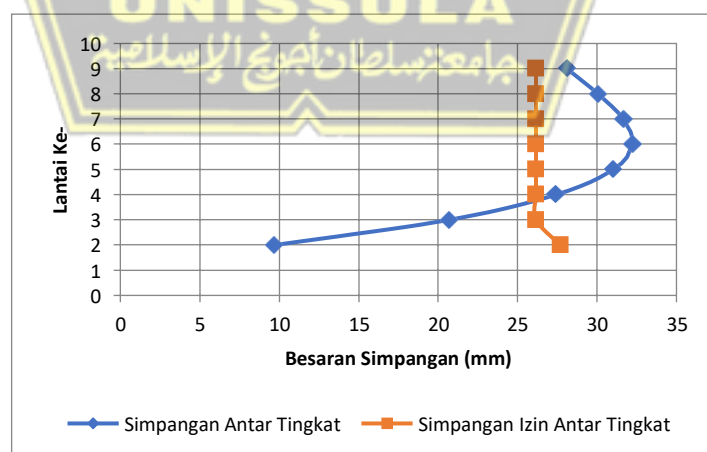
Gambar 4.26. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 2

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.13. Pengecekan *Story Drift* Arah Y Pemodelan 2

Story	hsx (mm)	δe (mm)	Δ (mm)	Δi (mm)	Δ_{izin} (mm)	Ket
9	3400	38,32	210,75	28,10	26,15	NOT
8	3400	33,21	182,65	30,05	26,15	NOT
7	3400	27,75	152,60	31,64	26,15	NOT
6	3400	21,99	120,96	32,21	26,15	NOT
5	3400	16,14	88,74	31,03	26,15	NOT
4	3400	10,49	57,72	27,40	26,15	NOT
3	3400	5,51	30,32	20,66	26,15	OK
2	3600	1,76	9,66	9,66	27,69	OK

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.27. Diagram *Story Drift* Arah Y Pemodelan 2

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

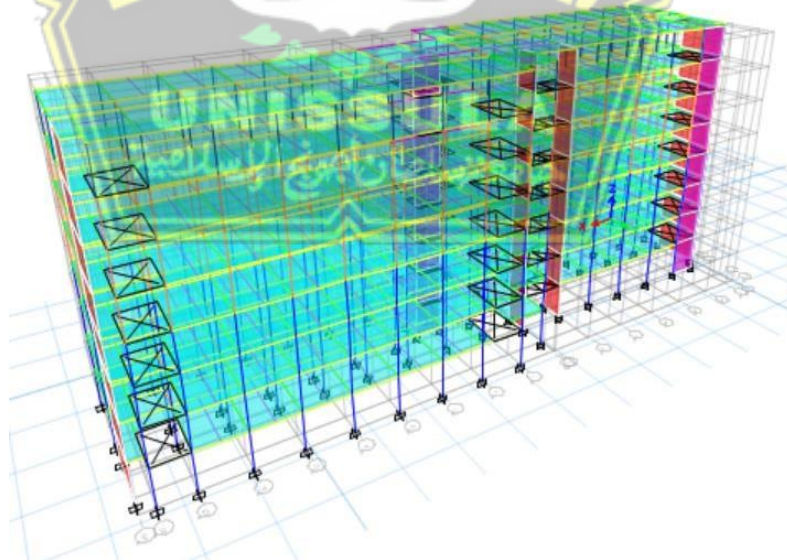
Berdasarkan kontrol simpangan antar lantai di atas, terdapat simpangan yang melebihi batas izinnnya. untuk mengatasi masalah tersebut, Penulis mencoba melakukan perkuatan struktur dengan menambah dinding geser dan memperkecil dimensi balok dan kolom.

4.5.3 Alternatif Pemodelan 3

Pada permodelan ketiga, direncanakan berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Dengan Spesifikasi sebagai Berikut:

- Mutu Beton 35 MPa
- Kolom 550 x 550 untuk kolom lantai 1-4
- Kolom 450 x 450 untuk kolom lantai 5-7
- Kolom 400 x 400 untuk kolom lantai 8
- Balok 400 x 700, balok 350 x 500, balok 250 x 500 dan balok 200 x 250 untuk balok utama
- Balok 200 x 400 untuk balok anak
- Plat lantai 120 mm

Berikut gambar 3D dari model gedung yang didesain dapat dilihat pada Gambar 4.28.



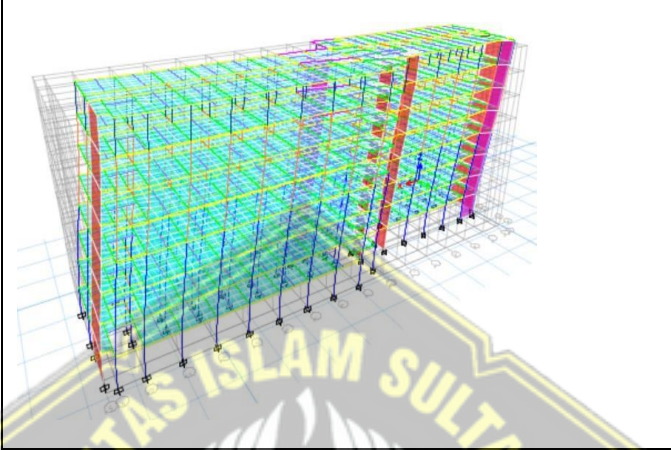
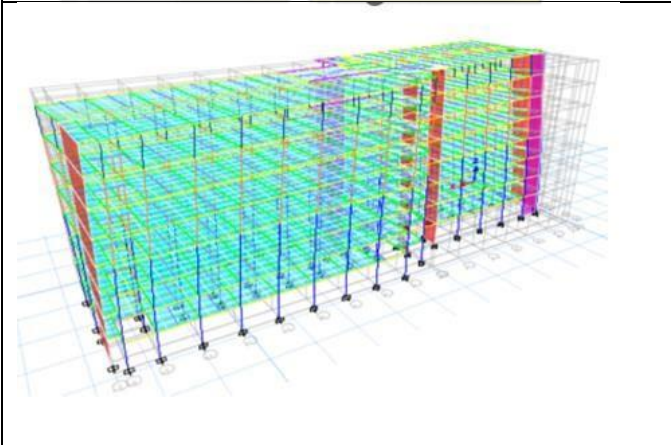
Gambar 4.28. Model 3D Pemodelan 3

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.5.3.1. Analisa Dinamik Getaran

Dengan bantuan perangkat lunak ETABS, dilakukan analisis dinamik getaran bebas akibat gempa bumi, dan dimungkinkan untuk mengamati keragaman gempa bumi yang terjadi. Tabel 4.14 menunjukkan jenis varians yang terjadi.

Tabel 4.14 Bentuk Ragam dan Periode Getar ETABS

	Mode 1 $T = 0.826$ Translasi Arah X
	Mode 2 $T = 0.785$ Translasi Arah Y
	Mode 3 $T = 0.601$ Translasi Arah z

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.5.3.2. Kontrol Hasil Analisa Dinamik Gempa

1) Kontrol Bentuk Ragam dan Partisipasi Massa Bangunan

Menurut SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1, setiap arah horizontal ortogonal dari respons yang diperiksa oleh model harus terdiri dari sekurang-kurangnya 100% massa aktual dalam gabungan massa campuran untuk setiap pola getaran yang dianalisis dalam penjumlahan varians. tanggapan. Hasil partisipasi massa dari analisis ETABS yang diberikan pada Tabel 4.15 tercantum di bawah ini.

Tabel 4.15 Nilai Hasil Partisipasi Massa Bangunan

MODE	Periode (detik)	UX (%)	UY (%)	RZ (%)	Sum UX (%)	Sum UY (%)	Sum RZ (%)
1	0,826	0,7389	0,0063	0	0,7389	0,0063	0
2	0,786	0,0061	0,6994	0	0,7451	0,7057	0
3	0,601	0,0054	0,0029	0	0,7505	0,7087	0
4	0,26	0,1349	0,0001	0	0,8853	0,7087	0
5	0,207	1,4E-05	0,1668	0	0,8854	0,8756	0
21	0,022	0	0,0012	0	1	0,9998	0
22	0,022	2,49E-06	0,0001	0	1	0,9999	0
23	0,019	8E-07	0,0001	0	1	1	0

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dari Tabel 4.15 terlihat bahwa bangunan memiliki partisipasi massa yang di syaratkan berada pada modal ke 23 dengan modal yang ditinjau sebanyak 23 modal.

2) Cek Waktu Getar Alami Struktur

Nilai kontrol Waktu Getar Alami yang didapat dari analisa program dibatasi dengan ketentuan :

- $T_c < T_a$, maka diambil perhitungan manual T_a
- $T_a < T_c < C_u \times T_a$, maka diambil perhitungan manual *software* T_c
- $C_u \times T_a < T_c$, maka diambil perhitungan $C_u \times T_a$

Nilai Kontrol pendekatan T_c ditetapkan dari Persamaan (2.12) dimana tinggi bangunan (h_n) adalah 27,4 m dan nilai C_t dan x dapat diperoleh dari Tabel 18 SNI 1726–2019 sehingga dapat dihitung sebagai berikut :

- $C_t = 0,0466$ (untuk rangka beton pemikul momen)
- $x = 0,9$ (untuk rangka beton peikul momen)
- $T_a = C_t \times h_n^x$
 $= (0,0466) \times (27,4)^{0,9}$
 $= 0,916983$ detik

Berdasarkan SNI 1726–2019, periode getar struktur (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan pada periode getar yang dihitung (C_u), seperti pada Tabel 17 SNI 1726–2019 didapat nilai berikut :

- $C_u = 1,4$ (Tabel 17 koefisien batas atas periode yang dihitung)
- $T_{max} = C_u \times T_a$
 $= 1,4 \times 0,916983$
 $= 1,283777$ detik

Dari Tabel 4.15 didapatkan nilai periode arah x dan arah y berdasarkan partisipasi massa terbesar yang terjadi pada mode 1 dan 2 yaitu :

- $T_{cx} = 0,826$ detik $< T_a = 0,916983$ detik
- $T_{cy} = 0,785$ detik $< T_a = 0,916983$ detik

Periode getar struktur gedung yang dihasilkan dari perhitungan lebih kecil dari T_a . Gedung ini didesain menggunakan waktu getar alami menggunakan $T_c = 0,916983$ pada arah X dan $T_c = 0,916983$ pada arah Y, bertujuan untuk gaya gempa statik yang cukup besar dan direncanakan struktur mampu menahan gaya gempa tersebut.

3) Perhitungan Gaya Geser Dasar Desain

Pada perhitungan Gaya Geser Dasar dihitung berdasarkan SNI 1726–2019 Pasal 7.8.1.1 dengan menghitung nilai Koefisien Respon Seismik (C_s) sebagai berikut :

- $C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{l_e}\right)} = \frac{0,69}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0986 \text{ g}$
- $C_s \text{ max} = \frac{S_{D1}}{T \times \left(\frac{R}{l_e}\right)} = \frac{0,50}{0,916983 \times \left(\frac{7}{1}\right)} = 0,0778952 \text{ g}$
- $C_s \text{ min} = 0,044 \times S_{DS} \times l_e = 0,044 \times 0,69 \times 1 = 0,03036 \text{ g}$

Nilai diatas menunjukkan C_s melebihi $C_s \text{ max}$ maka digunakan yaitu $C_s = 0,0778952 \text{ g}$. Perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik Statik yang dihasilkan ETABS didapatkan nilai pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Output Gaya Geser Dasar Statik

LANTAI	Elevasi (m)	F_x (kN)	F_y (kN)
ATAP	27,4	1038,6775	1038,6775
STORY 7	24	2437,9822	2437,9822
STORY 6	20,6	3626,9081	3626,9081
STORY 5	17,2	4591,5367	4591,5367
STORY 4	13,8	5355,0916	5355,0916
STORY 3	10,4	5918,8333	5918,8333
STORY 2	7	6275,1262	6275,1262
STORY 1	3,6	6445,7373	6445,7373
TOTAL		35689,893	35689,8929

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Perhitungan Gaya Geser Seismik Statik yang dihasilkan ETABS tidak boleh diambil kurang dari 100% sebagai syarat nominal dan perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik Dinamik yang dihasilkan pada ETABS didapatkan nilai Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Output Gaya Geser Dasar Dinamik

LANTAI	Elevasi (m)	F_x (kN)	F_y (kN)
ATAP	27,4	855,9213	922,1336
STORY 7	24	1916,1629	2033,3546
STORY 6	20,6	2799,9121	2914,4708
STORY 5	17,2	3525,147	3612,7171
STORY 4	13,8	4111,2771	4173,3318
STORY 3	10,4	4566,5833	4603,3931
STORY 2	7	4865,7093	4878,4645
STORY 1	3,6	5000,9243	4994,9393
TOTAL		27641,6373	28132,8048

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.5.2, gaya geser dasar, V_X dan V_Y , untuk arah X dan Y, harus ditentukan sesuai dengan Pasal 7.8.1. Untuk tiap gerak tanah yang dianalisis, faktor skala gaya geser dasar ditentukan sebagai berikut :

$$\eta_x = \frac{V_X}{V_{IX}} \geq 1,0$$

$$\eta_y = \frac{V_Y}{V_{IY}} \geq 1,0$$

Untuk perhitungan faktor skala dari perbandingan Gaya Geser Statik dan Dinamik adalah sebagai berikut:

$$\eta_x = \frac{V_X}{V_{IX}} = \frac{6445,7373}{5000,9243} = 1,2889$$

$$\eta_y = \frac{V_Y}{V_{IY}} = \frac{6445,737}{4994,9393} = 1,2905$$

Maka, diperoleh rekapitulasi hasil pengecekan faktor skala pada Tabel 4.18 sebagai berikut:

Tabel 4.18 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Faktor Skala

W_t (berat total bangunan)	10286,849		kN
V_X	6445,7373		kN
V_Y	6445,737		kN
V_{IX}	5000,9243		kN
V_{IY}	4994,9393		kN
Cek arah X	$V_{IX} < V_X$	Gaya harus dikali skala faktor	
Cek arah Y	$V_{IY} < V_Y$	Gaya harus dikali skala faktor	

Tabel 4.18 Rekapitulasi Hasil Pengecekan Faktor Skala (Lanjutan)

Faktor skala arah X	1,2889	
Faktor skala arah Y	1,2905	

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.19 Output Gaya Geser Dinamik Setelah Pembesaran Gaya Gempa

LANTAI	Elevasi (m)	F_x (kN)	F_y (kN)
ATAP	27,4	1104,1413	1189,5553
STORY 7	24	2471,8563	2623,0339
STORY 6	20,6	3611,8956	3759,6767
STORY 5	17,2	4547,451	4660,4167
STORY 4	13,8	5303,5607	5383,6114
STORY 3	10,4	5890,9072	5938,3919
STORY 2	7	6276,7807	6293,2349
STORY 1	3,6	6451,2085	6443,4878

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Gaya geser desain yang akan digunakan diambil dari yang terbesar dari Gaya Geser Statik Ekuivalen dan Gaya Geser Dinamik terkoreksi.

Tabel 4.20 menunjukkan gaya geser untuk setiap lantai.

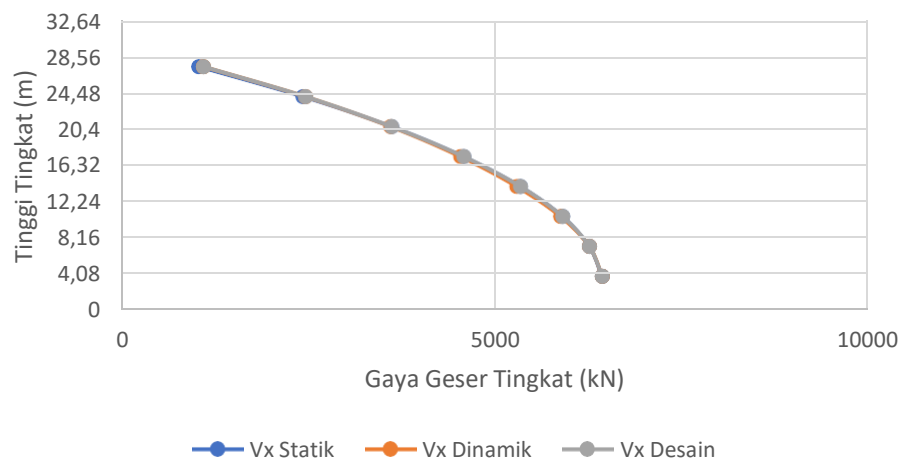
Tabel 4.20 Gaya Geser Desain

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
ATAP	27,4	1039	1039	1104	1190	1104	1190
Story7	24	2438	2438	2472	2623	2472	2623
Story6	20,6	3627	3627	3612	3760	3627	3760
Story5	17,2	4592	4592	4547	4660	4592	4660
Story4	13,8	5355	5355	5304	5384	5355	5384
Story3	10,4	5919	5919	5891	5938	5919	5938
Story2	7	6275	6275	6277	6293	6277	6293
Story1	3,6	6446	6446	6451	6443	6451	6446

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

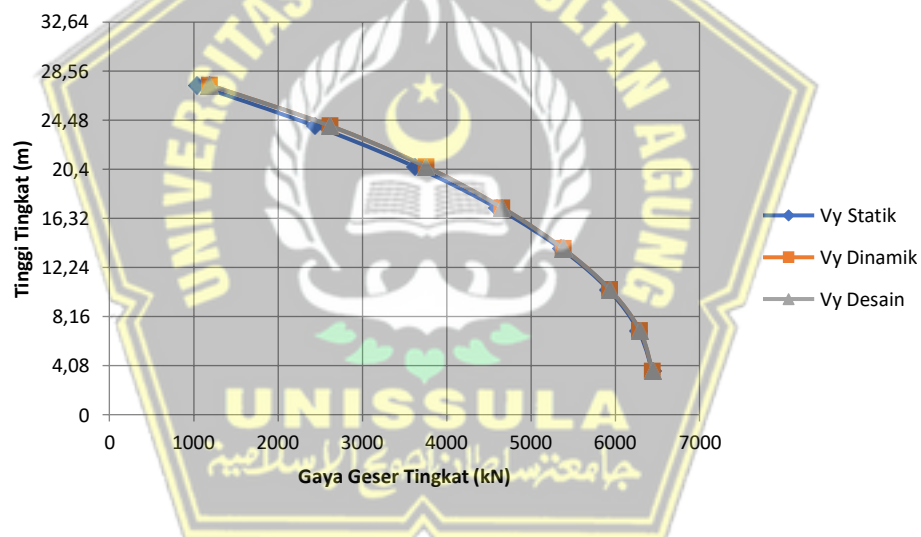
Keterangan :

 V_{Spec-X} = Gaya geser dinamik arah X V_{Spec-Y} = Gaya geser dinamik arah Y



Gambar 4.29 *Shear Comparisson to X Axis*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.30 *Shear Comparisson to Y Axis*

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.6 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat

Kriteria simpangan mengacu pada SNI 1726–2019 dengan factor sebagai berikut :

- Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk SRPMK = 5,5 (Tabel 12, SNI 1726–2019)
- Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,0 (Tabel 4, SNI 1726–2019)

- Faktor redundansi untuk gedung dengan Kategori Desain Seismik (KDS) D adalah $\rho = 1,3$ (Pasal 7.3.4.2 1726–2019)

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin untuk Gedung dengan kategori resiko IV adalah $(0,010) \times H$, dimana H adalah tinggi tingkat.

Menurut SNI 1726–2019 Pasal 7.8.6, Simpangan antar lantai dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$\text{Simpangan antar lantai} = (\Delta_n - \Delta_i)$$

Berdasarkan analisis *software* ETABS didapat simpangan arah X dan Y yang ditampilkan pada Tabel 4.21 dan Tabel 4.22.

Tabel 4.21 Besar Simpangan Antar Lantai Struktur Arah X

STORY	h_{sx} (mm)	δ_e (mm)	Δ (mm)	Δ_i (mm)	Δ_{ijin} (mm)	KETERANGAN
ATAP	3400	26,89	147,88	13,40	26,15	OK
LANTAI 8	3400	24,45	134,48	16,29	26,15	OK
LANTAI 7	3400	21,49	118,19	19,99	26,15	OK
LANTAI 6	3400	17,85	98,20	22,89	26,15	OK
LANTAI 5	3400	13,69	75,31	22,64	26,15	OK
LANTAI 4	3400	9,58	52,67	22,35	26,15	OK
LANTAI 3	3400	5,51	30,32	19,29	26,15	OK
LANTAI 2	3600	2,00	11,02	11,02	27,69	OK

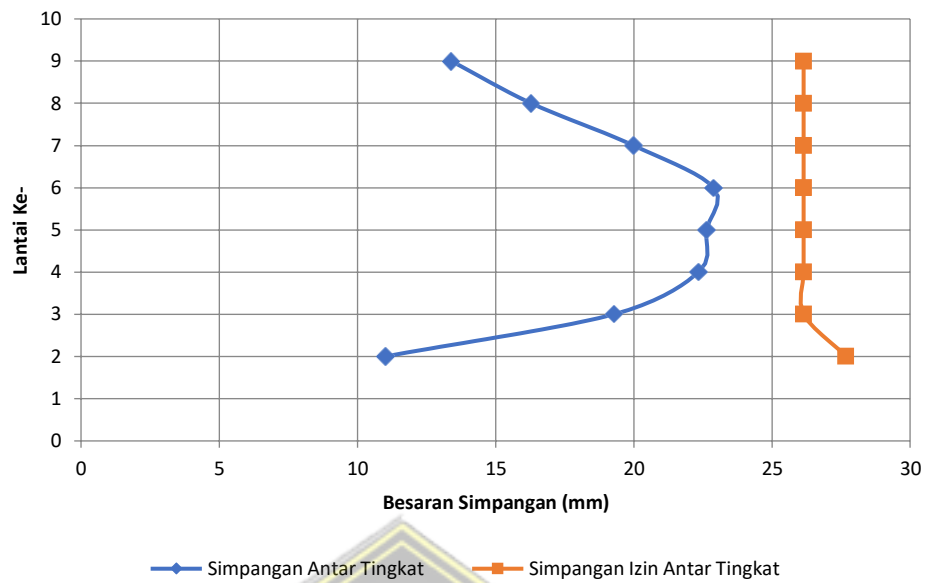
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Keterangan:

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

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

Diagram dari hasil analisis simpangan antar tingkat arah X dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31 Diagram *Story Drift* Arah X

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.22 Besar Simpangan Antar Lantai Struktur Arah Y

STORY	h_{sx} (mm)	δ_e (mm)	Δ (mm)	Δ_i (mm)	Δ_{ijin} (mm)	KETERANGAN
ATAP	3400	26,58	146,18	18,47	26,15	OK
Story 7	3400	23,22	127,71	19,94	26,15	OK
Story 6	3400	19,60	107,77	21,49	26,15	OK
Story 5	3400	15,69	86,28	22,36	26,15	OK
Story 4	3400	11,62	63,92	21,62	26,15	OK
Story 3	3400	7,69	42,31	19,60	26,15	OK
Story 2	3400	4,13	22,71	15,25	26,15	OK
Story 1	3600	1,36	7,46	7,46	27,69	OK

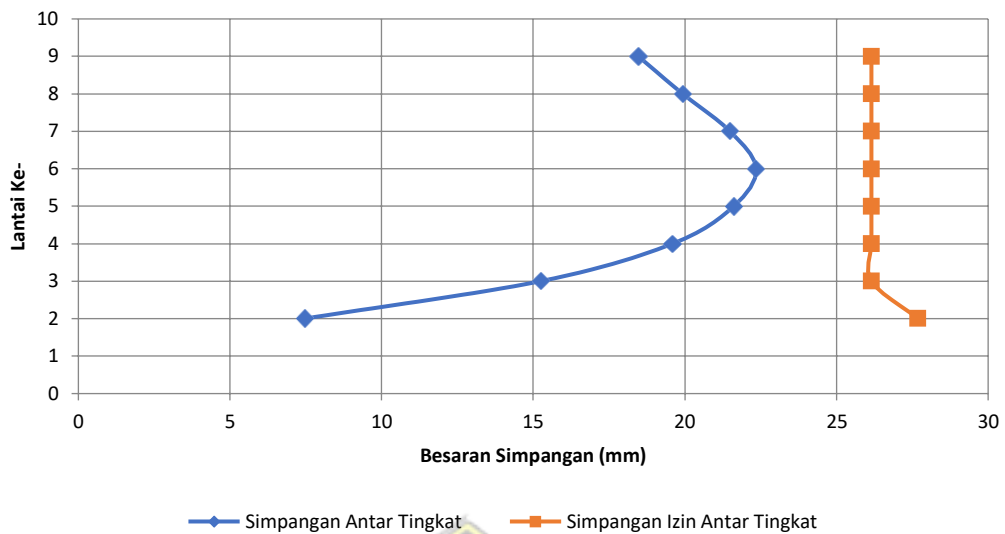
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Keterangan:

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

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

Diagram dari hasil analisis simpangan antar tingkat arah X dapat dilihat pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32 Diagram *Story Drift* Arah Y

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.7 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 rumus berikut :

$$\theta = \frac{P_x(\Delta)I_e}{V_x(h_{sx})C_d} \dots\dots\dots(4.12)$$

Keterangan :

- P_x = Beban desain vertical total pada bangunan diatas tingkat $-x$ (kN) bila menghitung P_x , factor beban individu tidak perlu melebihi 1,0
- Δ = Simpangan antar tingkat desain seperti didefinisikan dalam 0, terjadi secara serentak dengan V_x (mm)
- I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2.
- V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat x dan $x-1$ (kN)
- H_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat x , (mm)
- C_d = Faktor pembesaran defleksi dalam Tabel 12

Jika nilai θ lebih kecil dari nilai θ maks, maka pengaruh *P – Delta* bisa diabaikan. Nilai θ maksimum dihitung dengan rumus :

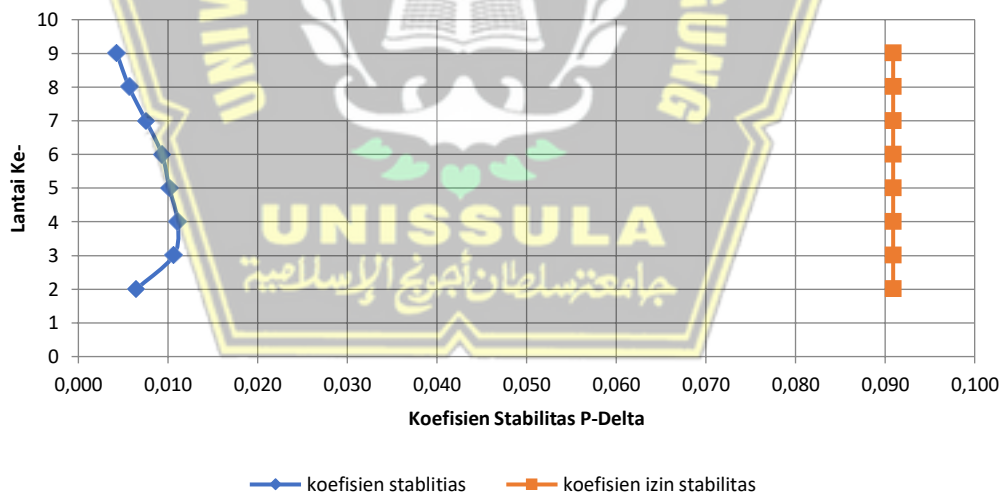
$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \dots\dots\dots(4.13)$$

Tabel 4.23 Pengecekan *P – Delta* Arah X

<i>STORY</i>	<i>hsx</i> (mm)	Δi (mm)	<i>P</i> (kN)	<i>Vx</i> (kN)	θ	$\theta_{\max}$	Keterangan
ATAP	3400	13,40	6606,16	1104,14	0,0043	0,0909	STABIL
Story 7	3400	16,29	16068,22	2471,86	0,0057	0,0909	STABIL
Story 6	3400	19,99	25530,27	3626,91	0,0075	0,0909	STABIL
Story 5	3400	22,89	34992,33	4591,54	0,0093	0,0909	STABIL
Story 4	3400	22,64	44900,77	5355,09	0,0102	0,0909	STABIL
Story 3	3400	22,35	54809,22	5918,83	0,0111	0,0909	STABIL
Story 2	3400	19,29	64717,66	6276,78	0,0106	0,0909	STABIL
Story 1	3600	11,02	75031,58	6451,21	0,0065	0,0909	STABIL

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dari pengecekan P-Delta arah X menghasilkan diagram stabilitas P-Delta arah X dapat dilihat di Gambar 4.33.



Gambar 4.33 Diagram P-Delta Arah X

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

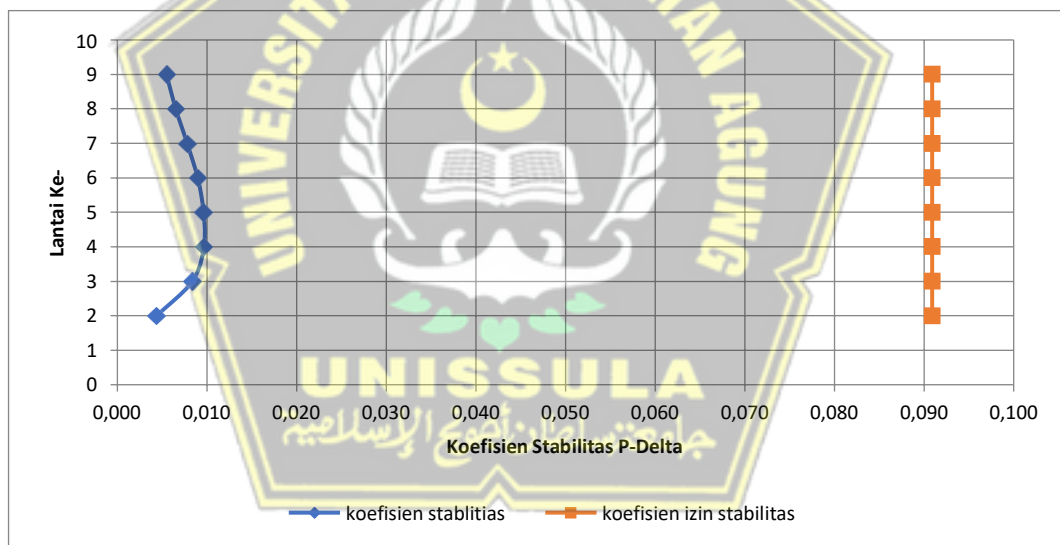
Tabel 4.24 menunjukkan hasil pemeriksaan P-Delta arah Y sebagai berikut :

Tabel 4.24 Pengecekan *P*-Delta Arah Y

<i>STORY</i>	<i>hsx</i> (mm)	Δi (mm)	<i>P</i> (kN)	<i>Vx</i> (kN)	θ	θ_{max}	Keterangan
ATAP	3400	18,47	6606,16	1189,56	0,0055	0,0909	STABIL
Story 7	3400	19,94	16068,22	2623,03	0,0065	0,0909	STABIL
Story 6	3400	21,49	25530,27	3759,68	0,0078	0,0909	STABIL
Story 5	3400	22,36	34992,33	4660,42	0,0090	0,0909	STABIL
Story 4	3400	21,62	44900,77	5383,61	0,0096	0,0909	STABIL
Story 3	3400	19,60	54809,22	5938,39	0,0097	0,0909	STABIL
Story 2	3400	15,25	64717,66	6293,23	0,0084	0,0909	STABIL
Story 1	3600	7,46	75031,58	6445,74	0,0044	0,0909	STABIL

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dari pengecekan *P*-Delta arah X menghasilkan diagram stabilitas *P*-Delta arah Y dapat dilihat di Gambar 4.34.



Gambar 4.34 Diagram *P*-Delta Arah Y

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.8 Pengecekan Eksentrisitas dan Torsi

4.8.1 Pengecekan Eksentrisitas

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.4.1 dan 7.8.4.2, terdapat dua jenis torsi yaitu torsi tak terduga dan torsi inheren. Program ETABS dapat digunakan untuk menentukan nilai eksentrisitas torsi intrinsik. Data eksentrisitas torsi ditampilkan pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Data Eksentrisitas Torsi Bawaan dari ETABS

Lantai	XCM	YCM	XCR	YCR	e_{ox}	e_{oy}
	m	m	m	m	m	m
Atap Dak	31,1785	9,615	30,1258	10,9634	1,0527	1,3484
Story 7	31,2463	9,8618	30,5446	11,2012	0,7017	1,3394
Story 6	31,2463	9,8618	30,5951	11,2233	0,6512	1,3615
Story 5	31,238	9,8639	30,579	11,1939	0,659	1,33
Story 4	31,2324	9,8652	30,5285	11,1959	0,7039	1,3307
Story 3	31,2324	9,8652	30,4724	11,1959	0,76	1,3307
Story 2	31,2551	9,8542	30,4176	11,2006	0,8375	1,3464
Story 1	31,3066	9,8263	30,3739	11,2389	0,9327	1,4126

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Eksentrisitas tambahan torsi tak terduga adalah 5% dari dimensi dalam arah tegak lurus terhadap panjang bentang struktur bangunan, yang merupakan arah di mana gaya seismik bekerja. Tabel 4.26 menampilkan perhitungan eksentrisitas tak terduga.

Tabel 4.26 Data Eksentrisitas Torsi Tidak Terduga

Lantai	Panjang bentang total sumbu x (L_x)	Panjang bentang total sumbu y (L_y)	$0,05 L_x$	$0,05 L_y$
	(m)	(m)	(m)	(m)
Atap Dak	63	19,2	3,15	0,96
Story 7	63	19,2	3,15	0,96
Story 6	63	19,2	3,15	0,96
Story 5	63	19,2	3,15	0,96
Story 4	63	19,2	3,15	0,96
Story 3	63	19,2	3,15	0,96
Story 2	63	19,2	3,15	0,96
Story 1	63	19,2	3,15	0,96

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Berdasarkan Pasal 7.8.4.3 SNI 1726:2019, eksentrisitas torsi tidak terduga harus dikalikan dengan faktor pembesaran momen torsi tidak terduga (A). Faktor pembesaran torsi tidak terduga (A) ditentukan berdasarkan Persamaan 4.14.

$$A = \left(\frac{\delta_{\max}}{1,2 \times \delta_{\text{avg}}} \right)^2 \geq 1 \dots\dots\dots (4.14)$$

$$\delta_{\text{avg}} = \frac{\delta_{\max} + \delta_{\min}}{2} \dots\dots\dots (4.15)$$

Nilai-nilai $\delta_{\max}$, $\delta_{\min}$, dan δ_{avg} didapat dari beban *envelope* dan merupakan nilai simpangan total bukan simpangan antar tingkat. Hasil perhitungan A_x dan A_y ditunjukkan pada Tabel 4.27 dan 4.28.

Tabel 4.27. Nilai dari $\delta_{\max}$, $\delta_{\min}$, δ_{avg} dan A_x untuk Gempa Arah X

Lantai	$\delta_{\max}$ (mm)	$\delta_{\min}$ (mm)	δ_{avg} (mm)	$1,2 \delta_{\text{avg}}$ (mm)	$A_x =$ $(\delta_{\max}/1,2\delta_{\text{avg}})^2$	Kontrol Torsi
Atap Dak	28,037	25,811	26,924	32,309	0,932	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 7	25,45	23,52	24,485	29,382	0,931	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 6	22,327	20,709	21,518	25,822	0,930	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 5	18,518	17,234	17,876	21,451	0,929	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 4	14,179	13,237	13,708	16,450	0,928	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 3	9,895	9,277	9,586	11,503	0,927	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 2	5,68	5,354	5,517	6,620	0,926	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 1	2,057	1,951	2,004	2,405	0,925	Tanpa ketidakberaturan torsi

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.28. Nilai dari $\delta_{\max}$, $\delta_{\min}$, δ_{avg} dan A_y untuk Gempa Arah Y

Lantai	$\delta_{\max}$ (mm)	$\delta_{\min}$ (mm)	δ_{avg} (mm)	$1,2 \delta_{\text{avg}}$ (mm)	$A_y =$ $(\delta_{\max}/1,2\delta_{\text{avg}})^2$	Kontrol Torsi
Atap Dak	29,341	23,971	26,656	31,987	0,958	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 7	25,58	21	23,290	27,948	0,957	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 6	21,537	17,771	19,654	23,585	0,956	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 5	17,203	14,265	15,734	18,881	0,955	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 4	12,716	10,594	11,655	13,986	0,954	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 3	8,401	7,025	7,713	9,256	0,953	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 2	4,503	3,777	4,140	4,968	0,952	Tanpa ketidakberaturan torsi
Story 1	1,484	1,238	1,361	1,633	0,953	Tanpa ketidakberaturan torsi

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dari Tabel 4.28, nilai faktor amplikasi (A) kurang dari satu sehingga untuk menghitung nilai eksentrisitas desain menggunakan nilai faktor amplifikasi (A)

sebesar satu. Eksentrisitas desain merupakan gabungan eksentrisitas torsi bawaan dan torsi tidak terduga dihitung sesuai Persamaan 4.16 dan Persamaan 4.17.

$$e_{dx} = e_{ox} - 0,05 L_x \times A_y \dots \dots \dots (4.16)$$

$$e_{dy} = e_{oy} + 0,05 L_y \times A_x \dots \dots \dots (4.17)$$

Tabel 4.29 dan 4.30 menunjukkan hasil perhitungan eksentrisitas desain pada arah X dan Y.

Tabel 4.29 Perhitungan Eksentrisitas Desain pada Arah Sumbu X

Lantai	e_{ox} (m)	$0,05 L_x$ (m)	A_y	e_{dx}	Eksentrisitas, x (m)
Atap Dak	1,053	3,150	1,000	2,097	0,033
Story 7	0,702	3,150	1,000	2,448	0,039
Story 6	0,651	3,150	1,000	2,499	0,040
Story 5	0,659	3,150	1,000	2,491	0,040
Story 4	0,704	3,150	1,000	2,446	0,039
Story 3	0,760	3,150	1,000	2,390	0,038
Story 2	0,837	3,150	1,000	2,313	0,037
Story 1	0,933	3,150	1,000	2,217	0,035

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.30 Perhitungan Eksentrisitas Desain pada Arah Sumbu Y

Lantai	e_{oy} (m)	$0,05 L_y$ (m)	A_x	e_{dy}	Eksentrisitas, y (m)
Atap Dak	1,348	0,960	1,000	2,308	0,120
Story 7	1,339	0,960	1,000	2,299	0,120
Story 6	1,362	0,960	1,000	2,322	0,121
Story 5	1,330	0,960	1,000	2,290	0,119
Story 4	1,331	0,960	1,000	2,291	0,119
Story 3	1,331	0,960	1,000	2,291	0,119
Story 2	1,346	0,960	1,000	2,306	0,120
Story 1	1,413	0,960	1,000	2,373	0,124

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.8.2 Perhitungan Ketidakberaturan Torsi

Defleksi maksimum ($\delta_{\max}$), defleksi minimum ($\delta_{\min}$), dan defleksi rata-rata (rata-rata) digunakan untuk menentukan jenis ketidakberaturan pada torsi 1a dan 1b berdasarkan SNI 1726-2019.

Tabel 4.31 Ketidakberaturan Horizontal Torsi Arah X

lantai	$\delta_{\max}$	<i>max story drift</i>	<i>max story drift x C_d</i>	$\delta_{\min}$	<i>min story drift</i>	<i>min story drift x C_d</i>	δ_{avg}	1,2 δ_{avg}	1,4 δ_{avg}	Cek x
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap Dak	28,037	8,895	48,923	25,811	8,615	47,383	48,153	57,783	67,414	Tanpa Torsi
Story 7	25,450	10,073	55,402	23,520	9,801	53,906	54,654	65,584	76,515	Tanpa Torsi
Story 6	22,327	10,488	57,684	20,709	10,240	56,320	57,002	68,402	79,803	Tanpa Torsi
Story 5	18,518	10,665	58,658	17,234	10,447	57,459	58,058	69,670	81,281	Tanpa Torsi
Story 4	14,179	10,058	55,319	13,237	9,879	54,335	54,827	65,792	76,757	Tanpa Torsi
Story 3	9,895	8,897	48,934	9,277	8,761	48,186	48,560	58,271	67,983	Tanpa Torsi
Story 2	5,680	6,808	37,444	5,354	6,723	36,977	37,210	44,652	52,094	Tanpa Torsi
Story 1	2,057	3,402	18,711	1,951	3,370	18,535	18,623	22,348	26,072	Tanpa Torsi

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.32 Ketidakberaturan Horizontal Torsi Arah Y

lantai	$\delta_{\max}$	<i>max story drift</i>	<i>max story drift x C_d</i>	$\delta_{\min}$	<i>min story drift</i>	<i>min story drift x C_d</i>	δ_{avg}	1,2 δ_{avg}	1,4 δ_{avg}	Cek x
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap Dak	29,34	8,70	47,87	23,97	8,24	45,34	46,60	55,93	65,25	Tanpa Torsi
Story 7	25,58	9,91	54,49	21,00	9,46	52,05	53,27	63,92	74,58	Tanpa Torsi
Story 6	21,54	10,34	56,88	17,77	9,94	54,66	55,77	66,92	78,07	Tanpa Torsi
Story 5	17,20	10,56	58,05	14,27	10,20	56,11	57,08	68,50	79,91	Tanpa Torsi
Story 4	12,72	9,98	54,87	10,59	9,69	53,29	54,08	64,89	75,71	Tanpa Torsi
Story 3	8,40	8,86	48,71	7,03	8,64	47,54	48,13	57,75	67,38	Tanpa Torsi
Story 2	4,50	6,80	37,39	3,78	6,67	36,68	37,03	44,44	51,85	Tanpa Torsi
Story 1	1,48	3,41	18,73	1,24	3,36	18,47	18,60	22,32	26,05	Tanpa Torsi

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.9 Pengecekan Ketidakberaturan Struktur Horizontal dan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal dan horizontal pada struktur harus diperiksa berdasarkan Tabel 13 dan Tabel 14 SNI 1726:2019. Hasil pengecekan ketidakberaturan horizontal dan vertikal adalah sebagai berikut:

4.9.1 Ketidakberaturan Horizontal

a) Ketidakberaturan torsi 1a dan 1b

Hasil pengecekan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 4.33 dan Tabel 4.34.

Tabel 4.33 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X

Lantai	Gaya Lateral	$\delta_{\max}$	δ_{avg}	$\delta_{\max} / \delta_{\text{avg}}$	Status			
					Cek	1a	Cek	1b
Atap Dak	EX	2,597	2,521	1,03	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 7	EX	3,149	3,07	1,026	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 6	EX	3,84	3,755	1,023	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 5	EX	4,361	4,273	1,02	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 4	EX	4,281	4,199	1,02	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 3	EX	4,193	4,119	1,018	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 2	EX	3,594	3,537	1,016	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 1	EX	2,038	2,012	1,013	< 1,2	OK	< 1,4	OK

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.34 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y

Lantai	Gaya Lateral	$\delta_{\max}$	δ_{avg}	$\delta_{\max} / \delta_{\text{avg}}$	Status			
					Cek	1a	Cek	1b
Atap Dak	EY	2,597	2,521	1,03	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 7	EY	3,149	3,07	1,026	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 6	EY	3,84	3,755	1,023	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 5	EY	4,361	4,273	1,02	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 4	EY	4,281	4,199	1,02	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 3	EY	4,193	4,119	1,018	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 2	EY	3,594	3,537	1,016	< 1,2	OK	< 1,4	OK
Story 1	EY	2,038	2,012	1,013	< 1,2	OK	< 1,4	OK

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tidak ada simpangan tingkat maksimum yang lebih besar dari 1,2 kali simpangan tingkat rata-rata (torsi 1a) dan tidak ada simpangan tingkat maksimum yang kurang dari 1,4 kali simpangan tingkat rata-rata, menurut hasil pengujian ketidakberaturan torsi 1a dan 1b (torsi 1b).

b) Ketidakberaturan sudut dalam

Struktur mengalami ketidakberaturan sudut dalam dikarenakan bentuk denah yang tidak beraturan yaitu berbentuk siku. Ketika kedua dimensi rencana struktur yang diproyeksikan dari lokasi sudut interior

lebih besar dari 15% dimensi rencana struktural, dihasilkan sudut interior yang tidak beraturan.

c) Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Ketidakberaturan ini terjadi apabila memiliki lubang bukaan suatu lantai dimana ukurannya lebih besar daripada 50% ukuran lantai utuhnya.

d) Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak turus terhadap bidang Struktur tidak mengalami ketidakberaturan akibat pergeseran tegak turus terhadap bidang dikarenakan dinding geser didesain menerus dari lantai 1 sampai lantai 5.

e) Ketidakberaturan sistem non paralel

Karena dinding geser dibuat tegak lurus satu sama lain terhadap sumbu x dan y, struktur tidak mengalami ketidakberaturan pada sistem tak paralel.

4.9.2 Ketidakberaturan Vertikal

a) Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a dan 1b

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a terjadi jika tingkat kekakuan lateral kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau 80% dari kekakuan rata-rata ketiga tingkat di atasnya. Hasil pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 4.35 dan Tabel 4.36.

Tabel 4.35 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X

Lantai	Load Case	Shear X	Story drift	Kekakuan	Cek 70%	Cek 80%
		kN	m	kN/m		
Atap Dak	EX	1038,6775	2,521	411932,917		
Story 7	EX	2437,9822	3,07	794137,346	Tidak ada	Tidak ada
Story 6	EX	3626,9081	3,755	965805,316	Tidak ada	Tidak ada
Story 5	EX	4591,5367	4,273	1074484,889	Tidak ada	Tidak ada
Story 4	EX	5355,0916	4,199	1275400,891	Tidak ada	Tidak ada
Story 3	EX	5918,8333	4,119	1437024,421	Tidak ada	Tidak ada
Story 2	EX	6275,1262	3,537	1773915,403	Tidak ada	Tidak ada
Story 1	EX	6445,7373	2,012	3203470,179	Tidak ada	Tidak ada

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.36 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y

Lantai	Load Case	Shear Y	Story drift	Kekakuan	Cek 70%	Cek 80%
		kN	m	kN/m		
Atap Dak	EY	1038,6775	3,336	311334,954		
Story 7	EY	2437,9822	3,613	674752,059	Tidak ada	Tidak ada
Story 6	EY	3626,9081	3,908	928060,053	Tidak ada	Tidak ada
Story 5	EY	4591,5367	4,076	1126510,011	Tidak ada	Tidak ada
Story 4	EY	5355,0916	3,948	1356524,104	Tidak ada	Tidak ada
Story 3	EY	5918,8333	3,583	1652149,248	Tidak ada	Tidak ada
Story 2	EY	6275,1262	2,79	2249360,32	Tidak ada	Tidak ada
Story 1	EY	6445,7373	1,366	4718786,808	Tidak ada	Tidak ada

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Jika tingkat kekakuan lateral pada tingkat lunak 1b kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya, maka akan terjadi ketidakteraturan kekakuan. Tabel 4.37 dan 4.38 menunjukkan temuan dari pemeriksaan kelainan kekakuan pada tingkat lunak 1b pada sumbu X dan Y.

Tabel 4.37 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X

Lantai	Load Case	Shear X	Story drift	Kekakuan	Cek 60%	Cek 70%
		kN	m	kN/m		
Atap Dak	EX	1038,6775	2,521	411932,917		
Story 7	EX	2437,9822	3,07	794137,346	Tidak ada	Tidak ada
Story 6	EX	3626,9081	3,755	965805,316	Tidak ada	Tidak ada
Story 5	EX	4591,5367	4,273	1074484,889	Tidak ada	Tidak ada
Story 4	EX	5355,0916	4,199	1275400,891	Tidak ada	Tidak ada
Story 3	EX	5918,8333	4,119	1437024,421	Tidak ada	Tidak ada
Story 2	EX	6275,1262	3,537	1773915,403	Tidak ada	Tidak ada
Story 1	EX	6445,7373	2,012	3203470,179	Tidak ada	Tidak ada

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.38 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y

Lantai	Load Case	Shear Y	Story drift	Kekakuan	Cek 60%	Cek 70%
		kN	m	kN/m		
Atap Dak	EY	1038,6775	3,336	311334,954		
Story 7	EY	2437,9822	3,613	674752,059	Tidak ada	Tidak ada
Story 6	EY	3626,9081	3,908	928060,053	Tidak ada	Tidak ada
Story 5	EY	4591,5367	4,076	1126510,011	Tidak ada	Tidak ada
Story 4	EY	5355,0916	3,948	1356524,104	Tidak ada	Tidak ada

Tabel 4.38 Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y (Lanjutan)

Story 3	EY	5918,8333	3,583	1652149,248	Tidak ada	Tidak ada
Story 2	EY	6275,1262	2,79	2249360,32	Tidak ada	Tidak ada
Story 1	EY	6445,7373	1,366	4718786,808	Tidak ada	Tidak ada

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

b) Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketika massa efektif di sisi lain narasi lebih besar dari 150% massa efektif di sisi lain, ketidakteraturan seperti ini berkembang. Tabel 4.39 menampilkan temuan pemeriksaan ketidakteraturan berat (massa).

Tabel 4.39 Cek Ketidakberaturan Berat (Massa)

Lantai	Massa (kN)	Dibandingkan dengan 1,5 x massa di lantai atas	Dibandingkan dengan 1,5 x massa di lantai bawah
Atap Dak	607626,61		OK
Story 7	954457,04	OK	OK
Story 6	968036,26	OK	OK
Story 5	968036,26	OK	OK
Story 4	989075,29	OK	OK
Story 3	1013555,34	OK	OK
Story 2	1013555,34	OK	OK
Story 1	1048966,72	OK	

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

c) Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Struktur tidak mengalami ketidakberaturan geometri vertikal dikarenakan dimensi dinding geser yang digunakan memiliki ukuran yang sama sepanjang tinggi bangunan.

d) Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral

Struktur tidak mengalami ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral dikarenakan dinding geser didesain menerus dari lantai 1 sampai lantai 5.

e) Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat 5a dan 5b

- f) Tabel 4.40 dan 4.41 menampilkan temuan pengujian untuk menentukan apakah kisah lemah tidak beraturan karena diskontinuitas kekuatan lateralnya.

Tabel 4.40 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 5a

Lantai	Load Case / Combo	Location	V_x	V_y	Cek 80% arah X	Cek 80% arah Y
Atap Dak	Envelope Max	Bottom	1038,6775	1038,6775		
Story 7	Envelope Max	Bottom	2437,9822	2437,9822	OK	OK
Story 6	Envelope Max	Bottom	3626,9081	3626,9081	OK	OK
Story 5	Envelope Max	Bottom	4591,5367	4591,5367	OK	OK
Story 4	Envelope Max	Bottom	5355,0916	5355,0916	OK	OK
Story 3	Envelope Max	Bottom	5918,8333	5918,8333	OK	OK
Story 2	Envelope Max	Bottom	6275,1262	6275,1262	OK	OK
Story 1	Envelope Max	Bottom	6445,7373	6445,7373	OK	OK

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.41 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 5b

Lantai	Load Case / Combo	Location	V_x	V_y	Cek 65% arah X	Cek 65% arah Y
Atap Dak	Envelope Max	Bottom	1038,6775	1038,6775		
Story 7	Envelope Max	Bottom	2437,9822	2437,9822	OK	OK
Story 6	Envelope Max	Bottom	3626,9081	3626,9081	OK	OK
Story 5	Envelope Max	Bottom	4591,5367	4591,5367	OK	OK
Story 4	Envelope Max	Bottom	5355,0916	5355,0916	OK	OK
Story 3	Envelope Max	Bottom	5918,8333	5918,8333	OK	OK
Story 2	Envelope Max	Bottom	6275,1262	6275,1262	OK	OK
Story 1	Envelope Max	Bottom	6445,7373	6445,7373	OK	OK

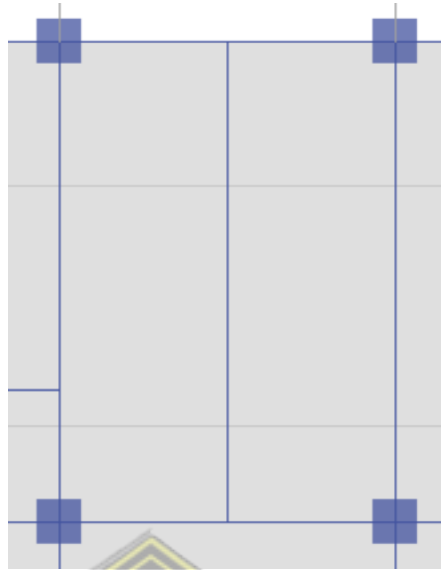
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.10 Perancangan Pelat

Denah lantai mengidentifikasi pelat, momen pada pelat, dan tulangan pada pelat lantai yang diharapkan mampu mendukung beban yang telah disiapkan sebelumnya dan sesuai dengan aturan SNI 2847-2019.

4.10.1 Identifikasi Pelat Lantai

Gambar 4.28 memperlihatkan jenis plat yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan.



Gambar 4.35. Tipe Pelat

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Panjang pelat arah sumbu X (L_x) = 4200 mm

Panjang pelat arah sumbu Y (L_y) = 6000 mm

Perbandingan panjang pelat ($\frac{L_y}{L_x}$) = $\frac{4,2}{6} = 0,7$

Jenis pelat = 2 arah, karena $L_y / L_x \leq 2$

Tebal pelat (h) = 120 mm

Diamater tulangan (d_b) = 10 mm

Tebal selimut bersih (c_c) = 20 mm (SNI 2847:2019 Tabel 20.6.1.3.1)

Tebal efektif penampang (d) = $h - c_c - d_s - d_b/2$
 $= 120 - 20 - 10 - 10/2$
 $= 85 \text{ mm}$

Kuat tekan beton (f'_c) = 35 MPa

Kuat leleh tulangan (f_y) = 420 MPa

Modulus elastisitas beton (E_c) = $4700 \times \sqrt{f'_c}$
 $= 4700 \times \sqrt{420}$
 $= 27806 \text{ MPa}$

Faktor distribusi tegangan (β_1)

(SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3)

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 28)}{7}$$

$$= 0,85 - 0,05 \times \frac{(35 - 28)}{7}$$

$$= 0,8$$

Faktor modifikasi (λ)

(SNI 2847:2019 Tabel 25.4.2.4)

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

4.10.2 Gaya Dalam

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

- $M_{\max}$ akibat $M_{11 \max}$ = 2,429 kN-m
- $M_{\min}$ akibat $M_{11 \min}$ = -4,562 kN-m
- $M_{\max}$ akibat $M_{22 \max}$ = 1,216 kN-m
- $M_{\min}$ akibat $M_{22 \min}$ = -2,225 kN-m
- V_u = 6,789 kN

4.10.3 Penulangan Lentur Pelat (analisis untuk per m')

a) Momen Positif M_{11}

(Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu X)

Spasi tulangan (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 200 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

Syarat = Jarak bersih $\geq d_b = 190 \geq 10 \rightarrow \text{OK}$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (A_s min)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min1}} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min2}} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 120 \\ &= 168 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ min}} = 216 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

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

Syarat = $A_s \text{ pasang} \geq A_{s \text{ min}} = 392,699 \geq 216 \rightarrow \text{OK}$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= 392,699 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 1000} \\ &= 5,544 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

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

$$= 392,699 \times 420 \times (85 - \frac{5,544}{2}) \times 10^{-6}$$

$$= 13,562 \text{ kN-m}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,544}{0,8} = 6,930 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(85-6,930)}{6,930} \times 0,003 \\ &= 0,034\end{aligned}$$

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

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

- Batas tulangan regangan tarik

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

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

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

$$\phi = 0,65$$

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

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(s_t - s_{ty})}{(0,005 - s_{ty})} \\ &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,034 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ &= 3,32\end{aligned}$$

- Untuk $\epsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi_{\text{dipakai}} = 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 11,913 \\ &= 10,722 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{\max} \text{ akibat } M_{11 \max}| \\ &= |1,216| \\ &= 1,216 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 10,722 > 1,216 \text{ OK} \end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 200

b) Momen Negatif M_{11}

(Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu X)

Spasi tulangan (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 120 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\text{Syarat} = \text{Jarak bersih} \geq d_b = 190 \geq 10 \rightarrow \text{OK}$$

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

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \min}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420$ MPa

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

- Untuk $f_y \geq 420$ MPa

$$\begin{aligned} A_{s \min 1} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 2} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 120 \\ &= 168 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \min} = 216 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

- Cek $A_{s \min}$:

$$\text{Syarat} = A_s \text{ pasang} \geq A_{s \min} = 392,699 \geq 216 \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 392,699 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 1000} \\ &= 5,544 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 392,699 \times 420 \times \left(85 - \frac{5,544}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 13,562 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,544}{0,8} = 6,930 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

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

$$= \frac{(85-6,930)}{6,930} \times 0,003$$

$$= 0,034$$

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

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

- Batas tulangan regangan tarik

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

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

- Untuk $\varepsilon_t < \varepsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

- Untuk $\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0,005$

$$\phi = 0,65 + 0,25 \times \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})}$$

$$= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,034 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)}$$

$$= 3,32$$

- Untuk $\varepsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi_{\text{dipakai}} = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

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

$$= 0,90 \times 13,562$$

$$= 12,206 \text{ kN-m}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$M_u = |M_{\min} \text{ akibat } M_{11 \text{ min}}|$$

$$= |-4,562|$$

$$= 4,562 \text{ kN-m}$$

- Cek kapasitas :

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

$$= 12,206 > 4,562 \rightarrow \text{OK}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 200

c) Momen Positif M_{22}

(Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu Y)

- Spasi tulangan (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 200 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\text{Syarat} = \text{Jarak bersih} \geq d_b = 190 \geq 10 \rightarrow \text{OK}$$

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

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum ($A_{s \min}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 216 \text{ mm}^2 \\
A_{s \text{ min1}} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\
&= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 \\
&= 216 \text{ mm}^2 \\
A_{s \text{ min2}} &= 0,14\% \times b \times h \\
&= 0,14\% \times 1000 \times 120 \\
&= 168 \text{ mm}^2 \\
A_{s \text{ min}} &= 216 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
\text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}} \\
&= 392,699 \geq 216 \rightarrow \text{OK}
\end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)
(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
&= 392,699 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 1000} \\
&= 5,544 \text{ mm}
\end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)
(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\
&= 392,699 \times 420 \times \left(85 - \frac{5,544}{2}\right) \times 10^{-6} \\
&= 11,913 \text{ kN-m}
\end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

$$\begin{aligned}
&\text{(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)} \\
c &= \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,544}{0,8} = 6,93 \text{ mm}
\end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

$$\begin{aligned}
&\text{(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)} \\
\epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{(85-6,93)}{6,93} \times 0,003 \\
&= 0,034
\end{aligned}$$

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

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

- Batas tulangan regangan tarik

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

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

- Untuk $\varepsilon_t < \varepsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$

- Untuk $\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0,005$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})} \\ &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,034 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ &= 3,32 \end{aligned}$$

- Untuk $\varepsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi_{\text{dipakai}} = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 11,913 \\ &= 10,722 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{\max} \text{ akibat } M_{22 \max}| \\ &= |1,216| \\ &= 1,216 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 10,722 > 1,216 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 200

d) Momen Negatif M_{22}

(Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu Y)

- Spasi tulangan (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 200 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{200} = 5$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\text{Syarat} = \text{Jarak bersih} \geq d_b = 190 \geq 10 \rightarrow \text{OK}$$

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

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min1}} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

$$= 0,14\% \times 1000 \times 120$$

$$= 168 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = 216 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

- Cek $A_s \text{ min}$:

$$\text{Syarat } = A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ min} = 392,699 \geq 216 \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 392,699 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 1000} \\ &= 5,544 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 392,699 \times 420 \times \left(85 - \frac{5,544}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 11,913 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,544}{0,8} = 6,390 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2 dan Pasal 22.2.2.1)

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(85-6,39)}{6,39} \times 0,003 \\ &= 0,034 \end{aligned}$$

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

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

- Batas tulangan regangan tarik

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

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

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

$$\phi = 0,65$$

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

$$\begin{aligned}\phi &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(s_t - s_{ty})}{(0,005 - s_{ty})} \\ &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,034 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ &= 3,32\end{aligned}$$

- Untuk $\varepsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

$$\phi_{\text{dipakai}} = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 11,913 \\ &= 10,722 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{\min} \text{ akibat } M_{22 \min}| \\ &= |-2,225| \\ &= 2,225 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 10,722 > 2,225 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 – 200

e) Tulangan Minimum

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

- Spasi tulangan (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 Pasal 8.7.2.2)

$$s_{\max} = 2 \times h = 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 200 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$s - d_b = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq d_b \\ &= 190 \geq 10 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (A_s min)

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.1.1 dan Pasal 8.6.1.1)

- Untuk $f_y < 420 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 0,2\% \times b \times h \\ &= 0,2\% \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2 \text{ (tidak dipakai karena } f_y = 420 \text{ MPa)} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min1}} &= \left(0,18\% \times \frac{420}{f_y}\right) \times b \times h \\ &= \left(0,18\% \times \frac{420}{420}\right) \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min2}} &= 0,14\% \times b \times h \\ &= 0,14\% \times 1000 \times 130 \\ &= 168 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ min}} = 216 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}$$

- Cek A_s min :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}} \\ &= 392,699 \geq 216 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 200

4.10.4 Pengecekan Kapasitas Geser

- Kapasitas geser beton (V_c)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{35} \times 1000 \times 85/1000 \\ &= 85,487 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,75$$

- Ambang batas geser pelat

(SNI 2847:2019 Pasal 7.6.3.1)

$$\begin{aligned} \text{Batas} &= 0,5 \times \phi \times V_c \\ &= 0,5 \times 0,75 \times 85,487 \\ &= 32,058 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Cek keperluan tulangan geser pelat

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u > 0,5 \times \phi \times V_c \\ &= 6,789 < 32,058 \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser} \end{aligned}$$

4.10.5 Pengecekan Lendutan Pelat

a) Kapasitas Retak Lentur

- Momen inersia pelat (I_g)

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

- Tegangan retak (f_r)

$$f_r = 0,62 \times \sqrt{f'_c} = 0,62 \times \sqrt{35} = 3,668 \text{ MPa}$$

- Garis netral (y)

$$y = \frac{h}{2} = \frac{120}{2} = 60 \text{ mm}$$

- Kapasitas retak lentur (M_{cr})

$$\begin{aligned} M_{cr} &= f_r \times \frac{I_g}{y} \times 10^{-6} \\ &= 3,668 \times \frac{144000000}{60} \times 10^{-6} \\ &= 8,803 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Momen inersia retak (I_{cr})

$$I_{cr} = 0,25 \times I_g = 0,25 \times 144000000 = 36000000 \text{ mm}^4$$

b) Lendutan Arah Sumbu X

▪ Gaya dalam yang diperoleh dalam ETABS :

- $M_{11 \text{ max}}$ akibat DL = 2,79 kN-m
- $M_{11 \text{ min}}$ akibat DL = -3,218 kN-m
- $M_{11 \text{ max}}$ akibat $SIDL$ = 3,905 kN-m
- $M_{11 \text{ min}}$ akibat $SIDL$ = -1,242 kN-m
- $M_{11 \text{ max}}$ akibat LL = 2,58 kN-m
- $M_{11 \text{ min}}$ akibat LL = -2,646 kN-m

▪ Data hasil olah gaya dalam :

- $M_a \text{ lapangan (+)}$ = $\sum M_{11 \text{ max}}$
 $= 2,79 + 3,905 + 2,58$
 $= 9,275 \text{ kN-m}$
- $M_a \text{ tumpuan (-)}$ = $\sum M_{11 \text{ min}}$
 $= -3,21 + (-1,242) + (-2,646)$
 $= -7,106 \text{ kN-m}$
- $M_{cr} / M_a \text{ lapangan}$ = $8,803 / 9,275$
 $= 0,949 \text{ kN-m}$
- $M_{cr} / M_a \text{ tumpuan}$ = $8,803 / 7,106$
 $= 1,239 \text{ kN-m}$
- $I_e \text{ lapangan}$ = $\left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \times I_{cr}$
 $= (0,949)^3 \times 1,44 \times 10^8 + [1 - (0,949)^3] \times 3,6 \times 10^7$
 $= 128340636 \text{ mm}^4$

$$I_e \text{ lapangan dipakai} = I_g = 128340636 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ lapangan} > I_g)$$

$$\begin{aligned} - I_e \text{ tumpuan} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \times I_{cr} \\ &= (1,239)^3 \times 1,44 \times 10^8 + [1 - (1,239)^3] \times 3,6 \times 10^7 \\ &= 144000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$I_e \text{ tumpuan dipakai} = I_g = 144000000 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ tumpuan} > I_g)$$

$$\begin{aligned} - I_e \text{ rata-rata} &= 0,5 \times I_e \text{ lapangan} + 0,5 \times I_e \text{ tumpuan} \\ &= 0,5 \times 128340636 + 0,5 \times 144000000 \\ &= 136170318 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Lendutan seketika akibat *DL* (δ_{DL})

$$\begin{aligned}\delta_{DL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 4200 \times (2,58 + 0,2 \times 2,646)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\ &= 1,666 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Lendutan seketika akibat *SIDL* (δ_{SIDL})

$$\begin{aligned}\delta_{SIDL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 4200 \times (3,905 + 0,2 \times 1,242)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\ &= 2,016 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Lendutan seketika akibat *LL* (δ_{LL})

$$\begin{aligned}\delta_{LL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 4200 \times (2,58 + 0,2 \times 2,646)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\ &= 1,509 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan seketika akibat *LL* (δ_{LL})
(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{360} = \frac{4800}{360} = 11,667 \text{ mm}$$

- Cek lendutan seketika akibat *LL* (δ_{LL})

$$\begin{aligned}\text{Cek}_{\delta_{LL}} &= \frac{\delta_{LL}}{L/360} < 1 \\ &= \frac{1,509}{11,667} < 1 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Rasio tulangan pelat (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b \times d} = \frac{392,699}{1000 \times 85} = 0,004134$$

- Faktor jangka panjang (λ)

$$\lambda = \frac{2}{1 + 50 \times \rho} = \frac{2}{1 + 50 \times 0,004134} = 1,625$$

- Lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\begin{aligned}\delta_{LT} &= \lambda \times (\delta_{DL} + \delta_{SIDL}) + \delta_{LL} \\ &= 1,625 \times (1,66 + 2,016) + 1,509\end{aligned}$$

$$= 7,491 \text{ mm}$$

- Syarat lendutan jangka panjang (δ_{LT})
(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{240} = \frac{4200}{240} = 17,500 \text{ mm}$$

- Cek lendutan jangka panjang (δ_{LT})

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \delta_{LT} < \frac{L}{240} \\ &= 7,491 < 17,500 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

c) Lendutan Arah Sumbu Y

- Gaya dalam yang diperoleh dalam ETABS :

- $M_{22 \text{ max}}$ akibat DL = 2,789 kN-m
- $M_{22 \text{ min}}$ akibat DL = -3,045 kN-m
- $M_{22 \text{ max}}$ akibat $SIDL$ = 3,905 kN-m
- $M_{22 \text{ min}}$ akibat $SIDL$ = -3,975 kN-m
- $M_{22 \text{ max}}$ akibat LL = 2,579 kN-m
- $M_{22 \text{ min}}$ akibat LL = -2,646 kN-m

- Data hasil olah gaya dalam :

- $M_a \text{ lapangan (+)}$ = $\sum M_{22 \text{ max}}$
 $= 2,789 + 3,905 + 2,579$
 $= 9,273 \text{ kN-m}$
- $M_a \text{ tumpuan (-)}$ = $\sum M_{22 \text{ min}}$
 $= -3,045 + (-3,975) + (-2,646)$
 $= -9,666 \text{ kN-m}$
- $M_{cr} / M_a \text{ lapangan}$ = $8,803 / 9,273$
 $= 0,949 \text{ kN-m}$
- $M_{cr} / M_a \text{ tumpuan}$ = $8,803 / 9,666$
 $= 0,911 \text{ kN-m}$
- $I_e \text{ lapangan}$ = $\left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \times I_{cr}$
 $= (0,949)^3 \times 1,44 \times 10^8 + [1 - (0,949)^3] \times$
 $3,6 \times 10^7$
 $= 128400397 \text{ mm}^4$
 $I_e \text{ lapangan dipakai} = 128400397 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ lapangan} < I_g)$

$$\begin{aligned}
 - I_e \text{ tumpuan} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \times I_{cr} \\
 &= (0,911)^3 \times 1,44 \times 10^8 + [1 - (0,911)^3] \times 3,6 \times 10^7 \\
 &= 117581980 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$I_e \text{ tumpuan dipakai} = I_g = 117581980 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ tumpuan} > I_g \text{)}$$

$$\begin{aligned}
 - I_e \text{ rata-rata} &= 0,5 \times I_e \text{ lapangan} + 0,5 \times I_e \text{ tumpuan} \\
 &= 0,5 \times 128400397 + 0,5 \times 117581980 \\
 &= 122991189 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

▪ Lendutan seketika akibat *DL* (δ_{DL})

$$\begin{aligned}
 \delta_{DL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\
 &= \frac{\frac{5}{48} \times 6000 \times (2,789 + 0,2 \times 3,045)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\
 &= 3,76 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

▪ Lendutan seketika akibat *SIDL* (δ_{SIDL})

$$\begin{aligned}
 \delta_{SIDL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\
 &= \frac{\frac{5}{48} \times 6000 \times (3,905 + 0,2 \times 3,975)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\
 &= 5,154 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

▪ Lendutan seketika akibat *LL* (δ_{LL})

$$\begin{aligned}
 \delta_{LL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\
 &= \frac{\frac{5}{48} \times 6000 \times (2,579 + 0,2 \times 2,646)}{27806 \times 136170318} \times 10^6 \\
 &= 3,408 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

▪ Syarat lendutan seketika akibat *LL* (δ_{LL})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{360} = \frac{6000}{360} = 16,667 \text{ mm}$$

▪ Cek lendutan seketika akibat *LL* (δ_{LL})

$$\text{Cek } \delta_{LL} = < \frac{L}{360}$$

$$= 3,408 < 16,667 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan pelat (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b \times d} = \frac{392,699}{1000 \times 85} = 0,004134$$

- Faktor jangka panjang (λ)

$$\lambda = \frac{2}{1 + 50 \times \rho} = \frac{2}{1 + 50 \times 0,004134} = 1,625$$

- Lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\delta_{LT} = \lambda \times (\delta_{DL} + \delta_{SIDL}) + \delta_{LL}$$

$$= 1,625 \times (3,726 + 5,154) + 3,408$$

$$= 17,835 \text{ mm}$$

- Syarat lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{240} = \frac{6000}{240} = 25,000 \text{ mm}$$

- Cek lendutan jangka panjang (δ_{LT})

$$\text{Cek} = \delta_{LT} < \frac{L}{240}$$

$$= 17,835 < 25,000 \rightarrow \text{OK}$$

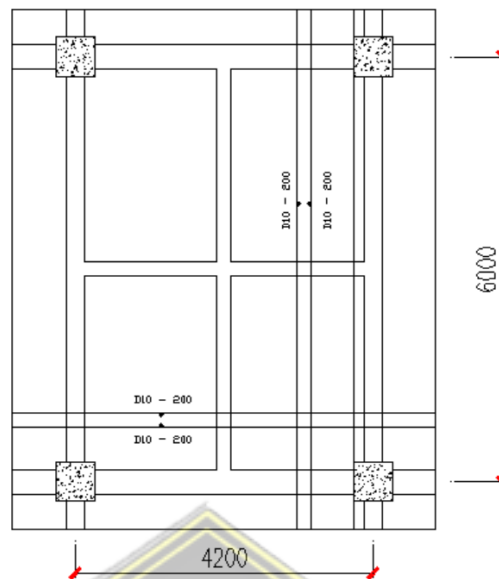
4.10.6 Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

Tabel 4.42 dan Gambar 4.36 memberikan rekapitulasi hasil penulangan pelat beton dan gambar yang digunakan dalam perencanaan.

Tabel 4.42. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

Pelat	L_x (m)	L_y (m)	Arah	Tumpuan		Lapangan	
				Atas	Bawah	Atas	Bawah
S1	4,2	6	X	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
			Y	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.36. Penulangan Pelat

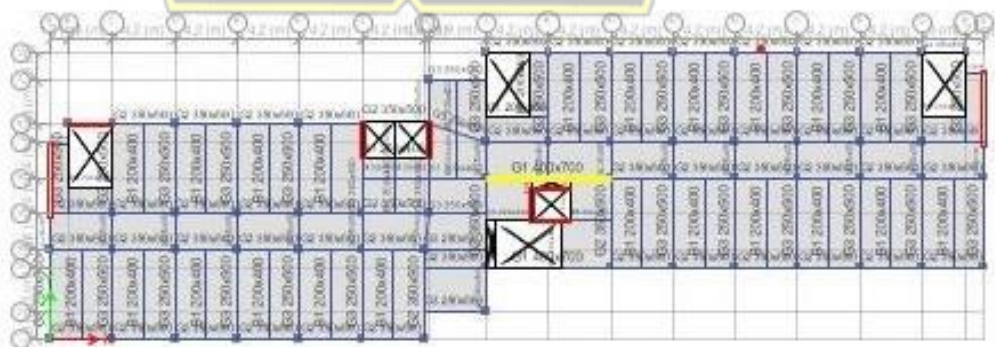
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.11 Perancangan Balok

Sebagai bagian dari studi kapasitas desain balok berdasarkan SRPMK, perhitungan tulangan lentur, tulangan geser, dan torsi balok dilakukan secara konvensional untuk memperkirakan jumlah beban yang diperlukan.

4.11.1 Properti Material dan Penampang

Balok G1 pada tingkat kelima, seperti terlihat pada Gambar 4.37, merupakan jenis balok yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan.



Gambar 4.37. Denah Balok G1 Sampel

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Panjang balok (L) = 8400 mm
 Lebar balok (b) = 400 mm
 Tinggi balok (h) = 700 mm
 Panjang tumpuan = $2 \times h = 2 \times 700 = 1400$ mm
 Diameter tulangan longitudinal (d_b) = 22 mm
 Diameter tulangan pinggang (d_{bt}) = 10 mm
 Diameter tulangan sengkang (d_s) = 10 mm
 Tebal selimut bersih (c_c) = 30 mm
 Tebal efektif balok (d) = $h - c_c - d_s - d_b/2$
 = $700 - 30 - 10 - 22/2$
 = 649 mm
 Kuat tekan beton (f'_c) = 35 MPa
 Kuat leleh tulangan longitudinal (f_y) = 420 MPa
 Kuat leleh tulangan transversal (f_y) = 420 MPa
 Faktor distribusi tegangan (β_1) = $0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 28)}{7}$
 = $0,85 - 0,05 \times \frac{(35 - 28)}{7}$
 = 0,8
 Panjang Kolom (c_1) = 550 mm
 Lebar Kolom (c_2) = 550 mm
 Panjang bersih balok (L_n) = $L - c_1 = 8400 - 550 = 7850$ mm
 Faktor modifikasi (λ) = 1 (beton normal)

4.11.2 Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok

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

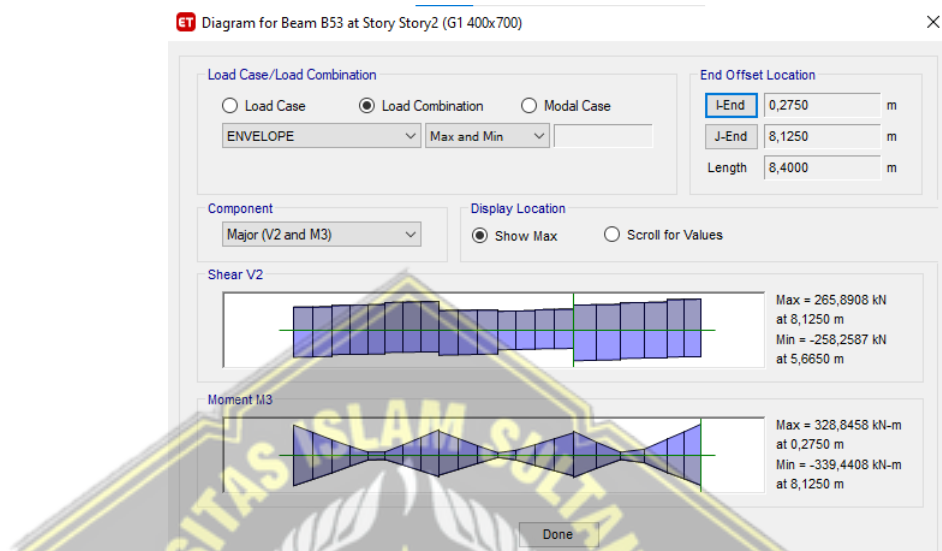
1. Gaya Dalam

Gaya dalam digunakan untuk membangun tulangan longitudinal balok B1 berupa momen ultimate tumpuan dan lapangan dari ETABS.

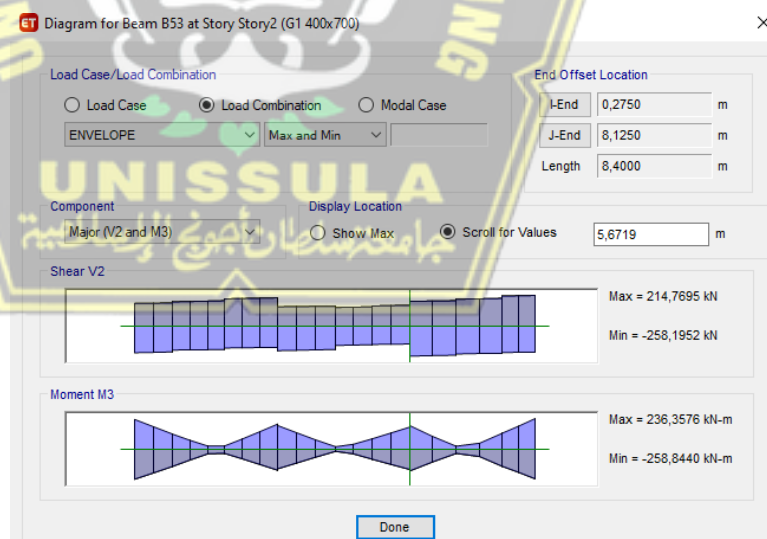
- M_u tumpuan (-) = -339,4408 kN-m
- M_u tumpuan (+) = 328,8458 kN-m
- M_u lapangan (-) = -258,844 kN-m

- M_u lapangan (+) = 236,3576 kN-m
- P_u = 0 kN

Gambar 4.38 dan Gambar 4.39 menunjukkan momen tumpuan dan medan ultimit balok B1 seperti yang diperoleh dari ETABS.



Gambar 4.38. Momen Ultimit Tumpuan Balok G1
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.39. Momen Ultimit Lapangan Balok G1
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

2. Syarat Gaya dan Geometri

a) Syarat Gaya Aksial

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

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= P_u \leq 0,1 A_g \times f_c' \\ &= 0 \leq 0,1 \times 400 \times 700 \times 35 \\ &= 0 \leq 980000 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

b) Syarat Tinggi Efektif

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= L_n \geq 4 d \\ &= 7850 \geq 4 \times 649 \\ &= 7850 \geq 2596 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

c) Syarat Lebar 1

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= b \geq \text{minimal } (0,3 h \text{ atau } 250 \text{ mm}) \rightarrow \text{ambil nilai terkecil} \\ &= 400 \geq \text{minimal } (0,3 \times 700 \text{ atau } 250 \text{ mm}) \\ &= 350 \geq \text{minimal } (210 \text{ atau } 250 \text{ mm}) \\ &= 350 \geq 210 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

d) Syarat Lebar 2

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= b \leq c_2 + 2 \times \text{minimal } (c_2 \text{ atau } 0,75 c_1) \rightarrow \text{ambil terkecil} \\ &= 400 \leq 550 + 2 \times \text{minimal } (550 \text{ atau } 0,75 \times 550) \\ &= 400 \leq 550 + 2 \times \text{minimal } (550 \text{ atau } 412,5) \\ &= 400 \leq 550 + 2 \times 412,5 \\ &= 400 \leq 1375 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

3. Tulangan Tumpuan Atas

- Jumlah tulangan tumpuan atas (n)

$$n = 7$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2 c c - 2 d s - n \times d b}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 7 \times 22}{7 - 1}\end{aligned}$$

$$= 27,667 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

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

$$= 27,667 \geq \text{maksimal (19 dan 25)} \rightarrow \text{ambil nilai terbesar}$$

$$= 27,200 \geq 25 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2 \\ &= 7 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 2659,580 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (A_s min)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 914,175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 865,333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \text{maksimum } (A_{s \text{ min } 1} \text{ atau } A_{s \text{ min } 2}) \\ &= 914,175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

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

$$= 2659,580 \geq 914,175 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{2659,580}{400 \times 649} = 0,0102$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max } 1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times 0,8357 \times 0,8 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

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

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

$$= 0,025$$

- Cek A_s max :

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

$$= 0,0102 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 26559,580 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 400} \\ &= 93,868 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas lentur } (M_n)$$

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 26559,580 \times 420 \times \left(649 - \frac{93,868}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 672,522 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{93,868}{0,8} = 117,334 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(649-117,334)}{117,334} \times 0,003 \\ &= 0,014 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)}$$

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

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 672,522 \\ &= 605,27 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{u \text{ tumpuan}} (-)| \\ &= |-339,4408| \\ &= 339,4408 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 605,27 > \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan ($A_s \text{ perlu}$)

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 339,4408 \times 10^6 \\ &= \frac{339,4408}{420 \times (649 - \frac{93,868}{2})} \times 10^6 \\ &= 1342,365 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4. Tulangan Tumpuan Bawah

- Jumlah tulangan tumpuan bawah (n)

$$n = 5$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2cc - 2ds - n \times db}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{5 - 1} \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq \text{maksimal } (d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}) \\ &= 52,5 \geq \text{maksimal } (19 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar} \\ &= 52,5 \geq 25 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

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

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

- Luas tulangan minimum ($A_{s \min}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned} A_{s \min 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 914,175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1,4}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 865,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min 3} &= 0,5 \times A_{s \text{ tumpuan (-)}} \\ &= 0,5 \times 2659,580 \\ &= 1329,790 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \text{maksimum } (A_{s \min 1} ; A_{s \min 2} ; \text{ atau } A_{s \min 3}) \\ &= 1329,790 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \min}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \min} \\ &= 1900,664 \geq 1329,790 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{1900,664}{400 \times 649} = 0,0073$$

- Rasio tulangan maksimum ($\rho_{\max}$)

$$\begin{aligned} \rho_{\max 1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times 0,8 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= \text{maksimum } (\rho_{\max 1} \text{ atau } \rho_{\max 2}) \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \max}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\max} \\ &= 0,0073 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= 1900,664 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 400} \\
 &= 67,082 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

• Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\
 &= 1900,664 \times 420 \times \left(649 - \frac{67,082}{2}\right) \times 10^{-6} \\
 &= 491,308 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

• Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{67,082}{0,8} = 83,853 \text{ mm}$$

• Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(649-83,853)}{83,853} \times 0,003 \\
 &= 0,020
 \end{aligned}$$

• Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005 = 0,037 \geq 0,005)$$

• Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,90 \times 491,308 \\
 &= 442,177 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

• Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}
 M_u &= |M_{u \text{ tumpuan (+)}}| \\
 &= |328,8458| \\
 &= 328,846 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

• Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\
 &= 442,177 > 328,846 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 10^6 \\
 &= \frac{328,846}{420 \times (649 - \frac{67,082}{2})} \times 10^6 \\
 &= 328,846 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

5. Tulangan Lapangan Atas

- Jumlah tulangan lapangan atas (n)

$$n = 5$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2c_c - 2d_s - n \times d_b}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{4 - 1} \\
 &= 52,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

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

$$= 52,5 \geq \text{maksimal (19 dan 25)} \rightarrow \text{ambil nilai terbesar}$$

$$= 52,5 \geq 25 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

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

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

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 649 \\
 &= 914,175 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 2} &= \frac{14}{f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{14}{420} \times 400 \times 649 \\
 &= 865,333 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 3} &= 0,25 \times A_{s \text{ tumpuan (-)}} \\
 &= 0,25 \times 2659,580 \\
 &= 664,895 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \text{maksimum} (A_{s \text{ min } 1} ; A_{s \text{ min } 2} ; \text{atau } A_{s \text{ min } 3}) \\
 &= 914,175 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}} \\
 &= 1900,664 \geq 914,175 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{1900,664}{400 \times 649} = 0,0073$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max } 1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,75 \times 0,8 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,025
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= \text{maksimum} (\rho_{\text{max } 1} \text{ atau } \rho_{\text{max } 2}) \\
 &= 0,025
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\text{max}} \\
 &= 0,0073 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= 1900,664 \times \frac{420}{0,85 \times 35 \times 400} \\
 &= 67,082 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

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

$$= 1900,664 \times 420 \times (649 - \frac{67,082}{2}) \times 10^{-6}$$

$$= 491,308 \text{ kN-m}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{67,082}{0,8} = 83,853 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

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

$$= \frac{(649-83,853)}{83,853} \times 0,003$$

$$= 0,020$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005 = 0,027 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

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

$$= 0,90 \times 491,308$$

$$= 442,177 \text{ kN-m}$$

- Momen ultimit (M_u)

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

$$= |-258,844|$$

$$= 258,844 \text{ kN-m}$$

- Cek kapasitas :

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

$$= 442,177 > 258,844 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang diperlukan ($A_s \text{ perlu}$)

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

$$= \frac{258,844}{420 \times (649 - \frac{67,082}{2})} \times 10^6$$

$$= 1001,359 \text{ mm}^2$$

6. Tulangan Lapangan Bawah

- Jumlah tulangan lapangan bawah (n)

$$n = 7$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2cc - 2ds - n \times db}{n - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{7 - 1} \\ &= 27,667 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

(SNI 2847:2019 pada Pasal 25.2.1)

Syarat = Jarak bersih $\geq$ maksimal (d_b dan 25 mm)

$$= 27,667 \geq \text{maksimal (19 dan 25)} \rightarrow \text{ambil nilai terbesar}$$

$$= 27,667 \geq 25 \rightarrow \text{OK}$$

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

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

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

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c}}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 914,175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 2} &= \frac{14}{f_y} \times b \times d \\ &= \frac{14}{420} \times 400 \times 649 \\ &= 865,333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 3} &= 0,25 \times A_s \text{ tumpuan (-)} \\ &= 0,25 \times 2659,580 \\ &= 664,895 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \text{maksimum } (A_{s \text{ min } 1} ; A_{s \text{ min } 2} ; \text{ atau } A_{s \text{ min } 3}) \\ &= 914,175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek $A_{s \min}$:

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \min} \\ &= 2660,929 \geq 914,175 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{2660,929}{400 \times 649} = 0,010$$

- Rasio tulangan maksimum ($\rho_{\max}$)

$$\begin{aligned}\rho_{\max 1} &= 0,75 \times \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \times 0,8 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,025\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= \text{maksimum} (\rho_{\max 1} \text{ atau } \rho_{\max 2}) \\ &= 0,025\end{aligned}$$

- Cek $A_{s \max}$:

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\max} \\ &= 0,010 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$\begin{aligned}a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= 2660,929 \times \frac{420}{0,85 \times 30 \times 350} \\ &= 93,915 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 2660,929 \times 420 \times \left(649 - \frac{93,915}{2}\right) \times 10^{-6} \\ &= 672,837 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{93,915}{0,8} = 117,394 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

$$\text{(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(649 - 117,394)}{117,394} \times 0,003 \\ &= 0,014\end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,021 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 672,837 \\ &= 605,553 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{u \text{ lapangan}} (+)| \\ &= |236,358| \\ &= 236,358 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 605,553 > 236,358 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan ($A_s \text{ perlu}$)

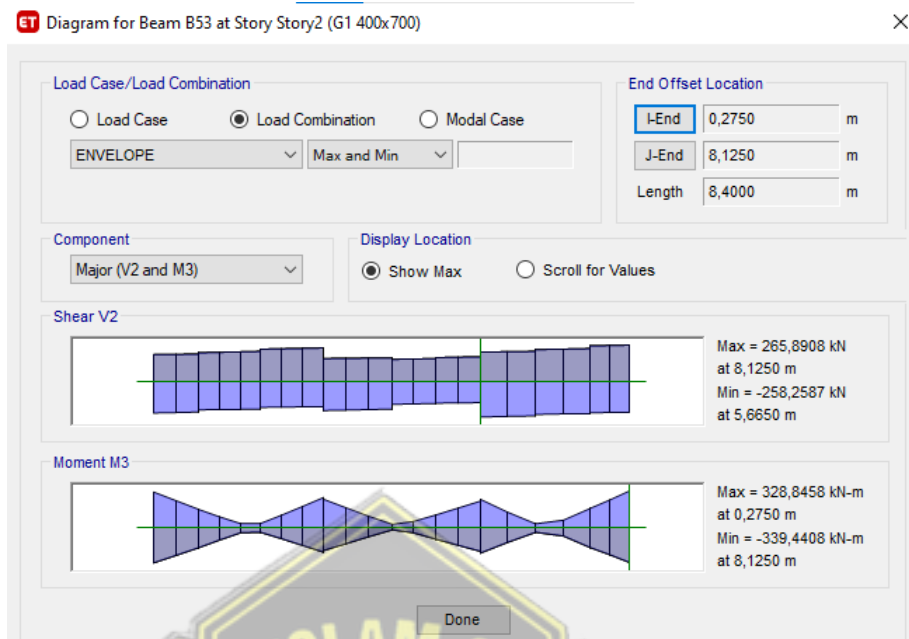
$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 10^6 \\ &= \frac{236,358}{420 \times (649 - \frac{23,915}{2})} \times 10^6 \\ &= 934,745 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

4.11.3 Perhitungan Tulangan Transversal Balok

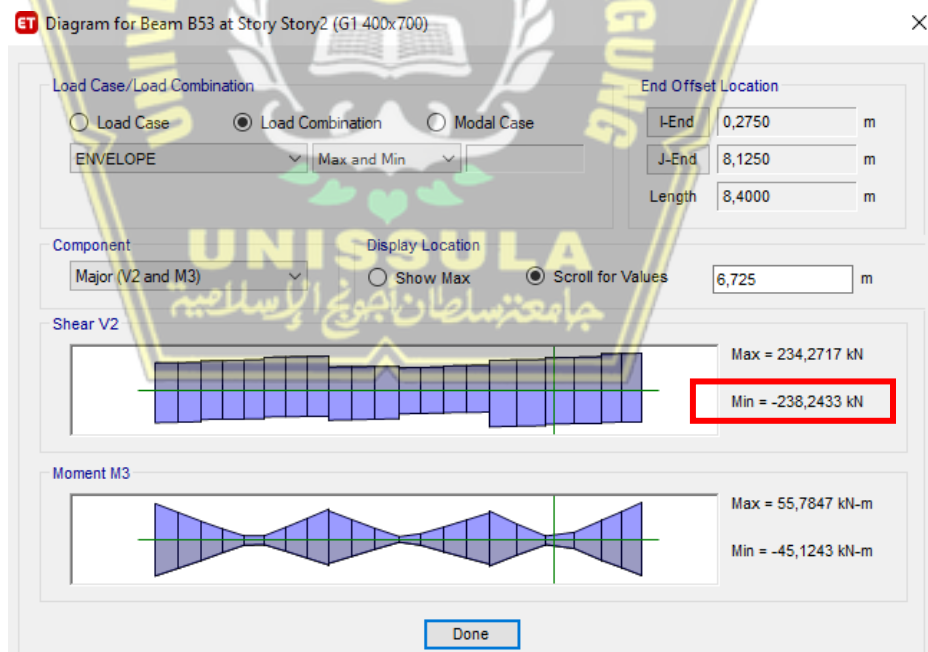
Tulangan transversal pada balok merupakan tulangan yang berguna untuk menahan gaya geser ultimit yang diterima balok. Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal balok yang dilakukan, antara lain:

1. Gaya Dalam

Gaya dalam berupa gaya geser ultimit tumpuan dan lapangan pada balok G1. Gambar 4.40 dan Gambar 4.41 memperlihatkan visualisasi gaya geser ultimate dari tumpuan dan medan pada balok G1 sebagaimana ditentukan dari ETABS.



Gambar 4.40. Gaya Geser Ultimit Tumpuan Balok B1
 (Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.41. Gaya Geser Ultimit Lapangan Balok B1
 (Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Gaya-gaya dalam dari ETABS digunakan untuk membangun tulangan transversal balok B1 pada abutment dan lapangan dalam bentuk gaya geser ultimate :

- $V_{u \text{ tumpuan}} = 265,8908 \text{ kN}$
- $V_{u \text{ lapangan}} = 234,2717 \text{ kN}$

2. Tulangan Transversal Tumpuan

a) Gaya Desain

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

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

$$V_{g \text{ tumpuan}} = 28,0305 \text{ kN}$$

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

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

$$A_s^- \text{ tumpuan} = 2659,580 \text{ mm}^2$$

• Probable Moment Capacities (M_{pr})

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

$$= 1,25 \times 67,082$$

$$= 83,853 \text{ mm}^2$$

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

$$= 1,25 \times 93,868$$

$$= 117,334 \text{ mm}^2$$

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

$$= 1900,664 \times 1,25 \times 420 \times \left(649 - \frac{83,853}{2}\right)$$

$$= 605767398 \text{ Nmm}$$

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

$$= 2659,580 \times 1,25 \times 420 \times \left(649 - \frac{117,334}{2}\right)$$

$$= 824269579 \text{ Nmm}$$

• Gaya Geser Akibat Goyangan (V_{sway})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.1)

Gaya geser akibat goyangan dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} V_{\text{sway}} \text{ atau } V_{\text{pr}} &= \frac{M_{\text{pr}}^+ + M_{\text{pr}}^-}{L_n} \\ &= \frac{605767398 + 824269579}{7850} \\ &= 182170 \text{ N} \end{aligned}$$

• Gaya Geser Desain Akibat Goyangan (V_e)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.1)

Gaya geser desain akibat goyangan dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} V_e &= V_g + V_{\text{pr}} \\ &= 28,0305 \times 10^3 + 182170 \\ &= 210201 \text{ N} \end{aligned}$$

b)

Tahanan Geser Beton

• Gaya Geser Akibat Goyangan (V_{sway})

$$V_{\text{sway}} \text{ atau } V_{\text{pr}} = 182170 \text{ N}$$

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

$$\frac{1}{2} V_e = \frac{1}{2} \times 210201 = 105100 \text{ N}$$

• Gaya Aksial Terfaktor (P_u)

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

• Menghitung $A_g f_c' / 20$:

$$\begin{aligned} \frac{A_g f_c^F}{20} &= \frac{400 \times 700 \times 35}{20} \\ &= 490000 \text{ N} \end{aligned}$$

• Kuat Geser Nominal Beton (V_c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.5.2)

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

$$V_{\text{pr}} \geq \frac{1}{2} V_e = 182170 \geq 105100 \rightarrow \text{OK}$$

$$P_u < \frac{A_g f_c^F}{20} = 0 < 490000 \rightarrow \text{OK}$$

$$V_c = 0$$

c)

Penulangan Geser

• Jumlah kaki (n)

$$n = 3$$

- Luas tulangan geser (A_v)

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 235,619 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Spasi tulangan (s)

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

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.4.4)

$$\begin{aligned} s_{\max 1} &= \frac{1}{4} \times d = \frac{1}{4} \times 649 = 162,25 \text{ mm} \\ s_{\max 2} &= 6 \times d_b = 6 \times 22 = 132,00 \text{ mm} \\ s_{\max 3} &= 150 \text{ mm} \\ s_{\max} &= \text{minimal } (s_{\max 1} ; s_{\max 2} ; \text{ atau } s_{\max 3}) \\ &= 132,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 100 < 132,00 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{235,619 \times 420 \times 649}{100} \\ &= 642251 \text{ N} \end{aligned}$$

- Batas kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s) :

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.1.2)

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 649 \\ &= 1013637 \text{ N} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat geser (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 12.5.3.2 dan 21.2.4)

$$\phi = 0,75$$

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 0 + 642251 \end{aligned}$$

$$= 642251 \text{ N}$$

- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \times V_n \\ &= 0,75 \times 642251 \\ &= 481688,25 \text{ N}\end{aligned}$$

• Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned}V_u &= V_{u \text{ tumpuan}} \times 10^3 \\ &= 265,8908 \times 10^3 \\ &= 265891 \text{ N}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1 \\ &= \frac{481688,25}{265891} \geq 1 \\ &= 1,812 \geq 1 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

3. Tulangan Transversal Lapangan

a) Gaya Dalam

$$V_{u \text{ lapangan}} = 234,2717 \text{ kN}$$

Penulangan Geser

- Jumlah kaki (n)

$$n = 3$$

- Luas tulangan geser (A_v)

$$\begin{aligned}A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 235,619 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Spasi tulangan (s)

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

- Spasi maksimum ($s_{\max}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.4.6)

$$s_{\max} = \frac{1}{2} \times d = \frac{1}{2} \times 649 = 324,50 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 150 < 324,50 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.10.5.3)

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{235,619 \times 420 \times 649}{150} \\ &= 428168 \text{ N} \end{aligned}$$

- Batas kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s) :
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.1.2)

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{35} \times 400 \times 649 \\ &= 1013637 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kuat geser nominal beton (V_c)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.5.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 649 \\ &= 261088 \text{ N} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat geser (ϕ)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 12.5.3.2 dan 21.2.4)

$$\phi = 0,75$$

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 261088 + 428168 \\ &= 689256 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \times V_n \\ &= 0,75 \times 689256 \\ &= 516942 \text{ N} \end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned} V_u &= V_{u \text{ lapangan}} \times 10^3 \\ &= 234,2717 \times 10^3 \\ &= 234271,7 \text{ N} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\text{Syarat} \quad = \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1$$

$$= \frac{516942}{234271,7} \geq 1$$

$$= 2,207 \geq 1 \rightarrow \text{OK}$$

4.11.4 Perhitungan Tulangan Torsi Balok

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

1. Parameter Umum untuk Perhitungan Torsi

- Luas dibatasi keliling luar penampang beton (A_{cp})

$$A_{cp} = b \times h = 400 \times 700 = 280000 \text{ mm}^2$$
- Keliling luar penampang beton (p_{cp})

$$p_{cp} = 2 \times (b + h)$$

$$= 2 \times (400 + 700)$$

$$= 2200 \text{ mm}$$
- x_0

$$= b - 2c_c - d_s$$

$$= 400 - 2 \times 30 - 10$$

$$= 330 \text{ mm}$$
- y_0

$$= h - 2c_c - d_s$$

$$= 700 - 2 \times 30 - 10$$

$$= 630 \text{ mm}$$
- Luas lingkup garis pusat tulangan torsi (A_{oh})
 (SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R22.7.6.1.1)

$$A_{oh} = x_0 \times y_0$$

$$= 330 \times 630$$

$$= 207900 \text{ mm}^2$$
- Luas bruto lingkup lintasan alir geser (A_o)
 (SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1.1)

$$A_o = 0,85 \times A_{oh}$$

$$= 0,85 \times 207900$$

$$= 176715 \text{ mm}^2$$
- Keliling garis pusat tulangan torsi (p_h)
 (SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$p_h = 2 \times (x_0 + y_0)$$

$$= 2 \times (330 + 630)$$

$$= 1920 \text{ mm}$$

- Kuat leleh tulangan (f_y)

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

- Kuat leleh tulangan torsi (f_{yt})

$$f_{yt} = f_y = 420 \text{ MPa}$$

- Menghitung f_y / f_{yt} :

$$\frac{f_y}{f_{yt}} = \frac{420}{420} = 1$$

- Sudut antara sumbu *strut* dan kord (θ)

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.6.1.2)

$$\theta = 45^\circ \text{ (non prategang)}$$

2. Gaya Dalam

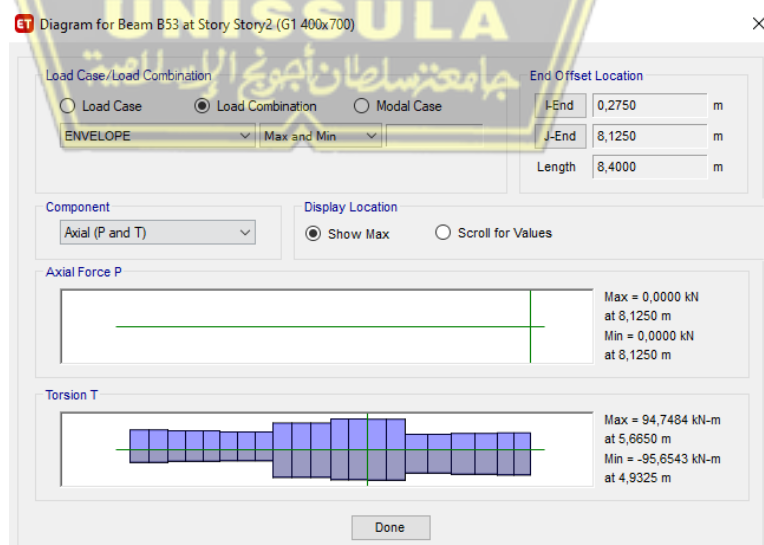
Gaya dalam berupa gaya torsi pada balok B1 yang didapat dari ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan torsi balok sebagai berikut:

$$T_u = 94,7484 \text{ kN-m}$$

$$= 94,7484 \times 10^6$$

$$= 94748400 \text{ N-mm}$$

Tampilan gaya torsi pada balok B1 yang didapat dari ETABS dapat dilihat pada Gambar 4.42.



Gambar 4.42. Gaya Torsi Balok B1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

3. Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

- Momen retak torsi (T_{cr})

$$\begin{aligned}T_{cr} &= 0,33 \times \sqrt{f_c} \times \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \\&= 0,33 \times \sqrt{30} \times \frac{280000^2}{2200} \\&= 69573098 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat torsi (ϕ)
(SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.1)

$$\phi = 0,75$$

- Kapasitas torsi tereduksi (ϕT_{cr})

$$\begin{aligned}\phi T_{cr} &= \phi \times T_{cr} \\&= 0,75 \times 69573098 \\&= 52179823,69 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Cek perlu tulangan torsi :

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.4.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= T_u > \frac{1}{4} \phi T_{cr} \\&= 94748400 > \frac{1}{4} \times 13044956 \\&= 94748400 > 9686986,92 \rightarrow \text{Perlu}\end{aligned}$$

4. Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

- Momen torsi ultimit yang dipakai (T_u pakai)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.3.2 dan 22.7.5)

$$\begin{aligned}T_u \text{ pakai} &= \text{minimal } (\phi T_{cr} \text{ atau } T_u) \\&= \text{minimal } (52179823,69 \text{ atau } 94748400) \\&= 52179823,69 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned}V_u &= V_{u \text{ tumpuan}} \times 10^3 \\&= 265,891 \times 10^3 \\&= 265891 \text{ N}\end{aligned}$$

- Kuat geser nominal beton (V_c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.5.5.1)

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\&= 0,17 \times \sqrt{35} \times 400 \times 649\end{aligned}$$

$$= 261088 \text{ N}$$

- Tegangan ultimit geser + torsi

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.7.1)

Tegangan ultimit geser + torsi

$$= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times p_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{265891}{400 \times 649}\right)^2 + \left(\frac{52179823,69 \times 1920}{1,7 \times 207900^2}\right)^2}$$

$$= 1,705 \text{ MPa}$$

- Kapasitas tegangan beton

(SNI 2847:2019 pada Tabel 22.7.7.1)

Kapasitas tegangan beton

$$= \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f'_c}\right)$$

$$= \phi \times \left(\frac{261088}{400 \times 649} + 0,66 \times \sqrt{35}\right)$$

$$= 3,683 \text{ MPa}$$

- Cek dimensi penampang :

$$= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times p_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f'_c}\right)$$

$$= 1,705 \leq 3,683 \rightarrow \text{OK}$$

5. Penulangan Transversal Torsi

- Jumlah kaki (n)

$$n_{\text{tumpuan}} = 3$$

$$n_{\text{lapangan}} = 3$$

- Spasi tulangan (s)

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

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

- Spasi maksimum (s_{max})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.7.6.3.3)

$$s_{\text{max } 1} = \frac{1}{8} \times p_h = \frac{1}{8} \times 1920 = 240 \text{ mm}$$

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

$$s_{\text{max}} = \text{minimal } (s_{\text{max } 1} \text{ atau } s_{\text{max } 2})$$

$$= 240 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s_{\text{tumpuan}} < s_{\text{max}} = 100 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

$$S_{\text{lapangan}} < S_{\text{max}} = 150 < 240 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t})

$$\begin{aligned} A_{v+t \text{ tumpuan}} &= n_{\text{tumpuan}} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 235,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t \text{ lapangan}} &= n_{\text{lapangan}} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 235,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi pasang (s_{pasang})

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{\text{tumpuan pasang}} &= \frac{A_{v+t \text{ tumpuan}}}{s_{\text{tumpuan pasang}}} \\ &= \frac{235,5}{100} \\ &= 2,356 \text{ mm}^2/\text{mm} \\ A_{v+t} / s_{\text{lapangan pasang}} &= \frac{A_{v+t \text{ lapangan}}}{s_{\text{lapangan pasang}}} \\ &= \frac{235,5}{150} \\ &= 1,571 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Luas satu kaki sengkang penahan torsi (A_t) / spasi (s)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned} A_t / s &= \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_{yt}} \\ &= \frac{17852000}{2 \times 0,75 \times 176715 \times 420} \\ &= 0,469 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser (A_v) / spasi perlu (s_{perlu})

$$\begin{aligned} A_v / s_{\text{tumpuan perlu}} &= \left(\frac{V_{u \text{ tumpuan}}}{\phi} - V_{c \text{ tumpuan}} \right) / (f_y \times d) \\ &= \left(\frac{265891}{0,75} - 0 \right) / (420 \times 649) \\ &= 1,301 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v / s_{\text{lapangan perlu}} &= \left(\frac{V_{u \text{ lapangan}}}{\phi} - V_{c \text{ lapangan}} \right) / (f_y \times d) \\ &= \left(\frac{234271,7}{0,75} - 261088 \right) / (420 \times 649) \\ &= 0,188 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi perlu (s_{perlu})
(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R9.5.4.3)

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{tumpuan\ perlu} &= 2 \times (A_t / s) + (A_v / s_{tumpuan\ perlu}) \\ &= 2 \times 0,469 + 1,301 \\ &= 2,238 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{lapangan\ perlu} &= 2 \times (A_t / s) + (A_v / s_{lapangan\ perlu}) \\ &= 2 \times 0,469 + 0,188 \\ &= 1,125 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi minimum (s_{min})
(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.4.2)

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{min\ 1} &= 0,062 \times \sqrt{\frac{f_c}{f_y}} \times \frac{b}{f_y} \\ &= 0,062 \times \sqrt{35} \times \frac{400}{420} \\ &= 0,349 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{min\ 2} &= 0,35 \times \frac{b}{f_y} \\ &= 0,35 \times \frac{400}{420} \\ &= 0,333 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{min} &= \text{maks} (A_{v+t} / s_{min\ 1} \text{ atau } A_{v+t} / s_{min\ 2}) \\ &= 0,349 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

- Cek geser + torsi :

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{tumpuan\ pasang} &\geq \text{maksimum} (A_{v+t} / s_{perlu} \text{ atau } A_{v+t} / s_{min}) \\ 2,356 &\geq \text{maksimum} (2,238 \text{ atau } 0,349) \\ 2,356 &\geq 2,238 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v+t} / s_{lapangan\ pasang} &\geq \text{maksimum} (A_{v+t} / s_{perlu} \text{ atau } A_{v+t} / s_{min}) \\ 1,571 &\geq \text{maksimum} (1,125 \text{ atau } 0,349) \\ 1,571 &\geq 1,125 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

6. Penulangan Longitudinal Torsi

- Diameter tulangan pinggang (d_b)

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

- Diameter tulangan pinggang minimum ($d_{b\ min}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.7.5.2)

$$d_{b\ min} = 0,042 s$$

$$\begin{aligned}
&= 0,042 \times \text{maksimum (Stumpuan atau Slapangan)} \\
&= 0,042 \times 150 \\
&= 6,3 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Cek d_b :

$$\begin{aligned}
\text{Syarat} &= d_b \geq d_{b \text{ min}} \\
&= 10 \geq 6,3 \rightarrow \text{OK}
\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_s perlu)

$$A_s \text{ perlu tumpuan atas} = 1342,365 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu tumpuan bawah} = 1272,167 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan atas} = 1001,359 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu lapangan bawah} = 934,745 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan longitudinal torsi (A_l)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned}
A_l &= (A_t / s) \times p_h \\
&= 0,469 \times 1920 \\
&= 899,891 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi minimum ($A_{l \text{ min}}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.4.3)

$$\begin{aligned}
A_{l \text{ min}} &= 0,42 \times \sqrt{f_c} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - (A_t) \times p_h \\
&= 0,42 \times \sqrt{35} \times \frac{280000}{420} - 0,469 \times 1920 \\
&= 756,611 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal (A_s)

$$\begin{aligned}
A_s &= \text{maksimum (} A_l \text{ atau } A_{l \text{ min}}) \\
&= \text{maksimum (899,891 atau 756,611)} \\
&= 899,891 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi perlu ($A_{l \text{ perlu}}$)

$$\begin{aligned}
A_{l \text{ perlu tumpuan}} &= A_s \text{ perlu tumpuan atas} + A_s \text{ perlu tumpuan bawah} \\
&= 1342,365 + 1272,167 \\
&= 2614,532 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{l \text{ perlu lapangan}} &= A_s \text{ perlu lapangan atas} + A_s \text{ perlu lapangan bawah} \\
&= 1001,359 + 934,745
\end{aligned}$$

$$= 1936,104 \text{ mm}^2$$

- Luas tul. longitudinal (A_s) + luas tul. longitudinal torsi perlu ($A_{l \text{ perlu}}$)

$$\begin{aligned} A_s + A_{l \text{ perlu tumpuan}} &= 899,891 + 2614,532 \\ &= 3514,422 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s + A_{l \text{ perlu lapangan}} &= 899,891 + 1936,104 \\ &= 2835,995 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan negatif (n)

$$n_{\text{tumpuan atas}} = 7$$

$$n_{\text{tumpuan tengah}} = 2 \text{ (angka kelipatan 2)}$$

$$n_{\text{tumpuan bawah}} = 5$$

$$\begin{aligned} n_{\text{tumpuan vertikal}} &= 2 + n_{\text{tumpuan tengah}} / 2 \\ &= 2 + 2 / 2 \end{aligned}$$

$$= 3$$

$$n_{\text{lapangan atas}} = 5$$

$$n_{\text{lapangan tengah}} = 4 \text{ (angka kelipatan 2)}$$

$$n_{\text{lapangan bawah}} = 7$$

$$\begin{aligned} n_{\text{lapangan vertikal}} &= 2 + n_{\text{lapangan tengah}} / 2 \\ &= 2 + 4 / 2 \end{aligned}$$

$$= 4$$

- Minimal n (n_{atas} atau n_{bawah})

$$\begin{aligned} \text{Minimal } n_{\text{tumpuan}} &= \text{minimal } (n_{\text{tumpuan atas}} \text{ atau } n_{\text{tumpuan bawah}}) \\ &= \text{minimal } (7 \text{ atau } 5) \\ &= 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Minimal } n_{\text{lapangan}} &= \text{minimal } (n_{\text{lapangan atas}} \text{ atau } n_{\text{lapangan bawah}}) \\ &= \text{minimal } (5 \text{ atau } 7) \\ &= 5 \end{aligned}$$

- Spasi tumpuan (s_{tumpuan})

$$\begin{aligned} S_{\text{horizontal tumpuan}} &= \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}} \text{ atau } n_{\text{bawah}}) - 1} \\ &= \frac{400 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{5 - 1} \\ &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{vertikal tumpuan}} = \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{n_{\text{vertikal}} - 1}$$

$$= \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 22}{4 - 1}$$

$$= 299$$

$$S_{\text{tumpuan}} = \text{maksimum } (s_{\text{horizontal}} \text{ atau } s_{\text{vertikal}})$$

$$= \text{maksimum } (75 \text{ atau } 299)$$

$$= 299$$

- Spasi lapangan (s_{lapangan})

$$S_{\text{horizontal lapangan}} = \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}} \text{ atau } n_{\text{bawah}}) - 1}$$

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

$$= 75 \text{ mm}$$

$$S_{\text{vertikal lapangan}} = \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{n_{\text{vertikal}} - 1}$$

$$= \frac{700 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 22}{4 - 1}$$

$$= 199$$

$$S_{\text{lapangan}} = \text{maksimum } (s_{\text{horizontal}} \text{ atau } s_{\text{vertikal}})$$

$$= \text{maksimum } (75 \text{ atau } 199)$$

$$= 199$$

- Cek spasi tulangan longitudinal :

$$S_{\text{tumpuan}} \leq 300 = 299 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

$$S_{\text{lapangan}} \leq 300 = 199 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan longitudinal (A_s)

$$A_{s \text{ tumpuan}} = (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= (7 + 5) \times \frac{3,14}{4} \times 22^2$$

$$= 4561,592533 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ lapangan}} = (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2$$

$$= (4 + 5) \times \frac{3,14}{4} \times 22^2$$

$$= 4561,592533 \text{ mm}^2$$

- Luas tulangan longitudinal torsi pasang ($A_{l \text{ pasang}}$)

$$A_{l \text{ pasang tumpuan}} = (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2$$

$$= 2 \times \frac{3,14}{4} \times 10^2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{l \text{ pasang lapangan}} &= (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{\text{bt}}^2 \\
 &= 4 \times \frac{314}{4} \times 10^2 \\
 &= 314 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tul. longitudinal (A_s) + luas tul. longitudinal torsi pasang ($A_{l \text{ pasang}}$)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ tumpuan} + A_{l \text{ pasang tumpuan}} &= 4561,592533 + 157 \\
 &= 4718,672 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ lapangan} + A_{l \text{ pasang lapangan}} &= 4561,592533 + 314 \\
 &= 4875,752 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek lentur + torsi :

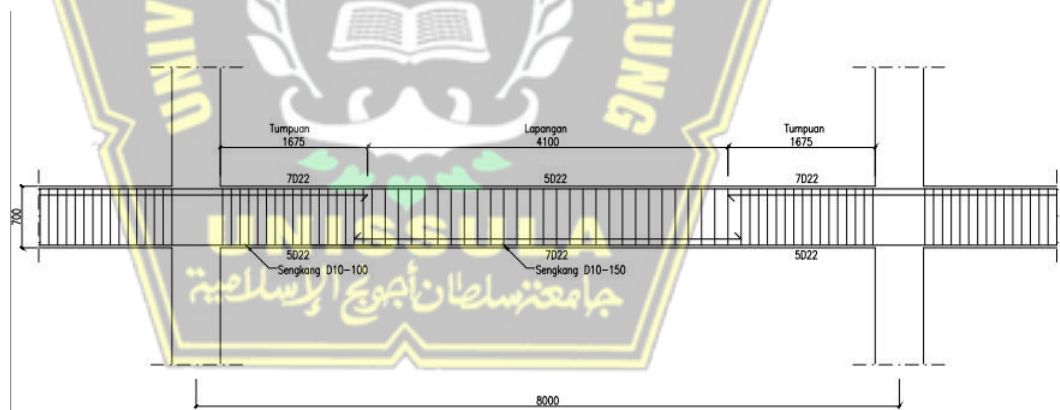
$$A_s \text{ tumpuan} + A_{l \text{ pasang tumpuan}} \geq A_s + A_{l \text{ perlu tumpuan}}$$

$$4718,672 \geq 3514,422 \rightarrow \text{OK}$$

$$A_s \text{ lapangan} + A_{l \text{ pasang lapangan}} \geq A_s + A_{l \text{ perlu lapangan}}$$

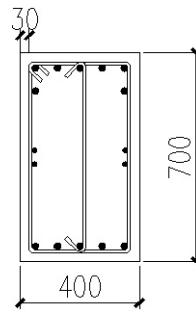
$$4875,752 \geq 2835,995 \rightarrow \text{OK}$$

Gambar tulangan balok B1 yang didapat berdasarkan perhitungan di atas dapat dilihat pada Gambar 4.43 sampai Gambar 4.45.



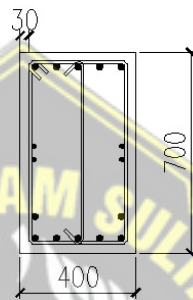
Gambar 4.43. Potongan Memanjang Balok

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.44. Tulangan Tumpuan Balok

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.45. Tulangan Lapangan Balok

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

7. Rekapitulasi Hasil Tulangan Balok

Rekapitulasi tulangan balok berdasarkan hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.43 di bawah ini.

Tabel 4.43. Rekapitulasi Tulangan Balok

Balok Kode	Dimensi (cm)	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tulangan Torsi
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
G1	40x70	Atas	7 D 22	5 D 22	3D10-100	3D10-150	4 D 10
		Bawah	5 D 22	7 D 22			
G2	35x50	Atas	6 D 19	4 D 19	3D10-100	3D10-150	2 D 10
		Bawah	4 D 19	6 D 19			
G3	25x50	Atas	4 D 19	3 D 19	2D10-100	2D10-150	2 D 10
		Bawah	3 D 19	4 D 19			
G4	20x35	Atas	3 D 19	3 D 19	2D10-100	2D-100	2 D 10
		Bawah	3 D 19	3 D 19			
B1	20x40	Atas	3 D 19	3 D 19	2D10-100	2D-100	2 D 10
		Bawah	3 D 19	3 D 19			

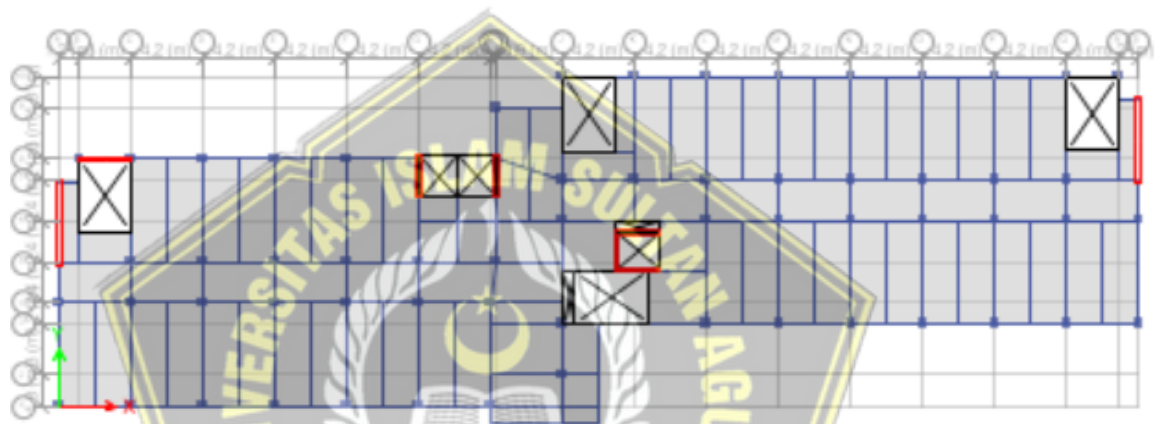
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12 Perancangan Kolom

Desain dimensi penampang kolom harus mampu menahan gaya momen dan gaya geser sehingga diperlukan analisis kapasitas desain kolom. Diagram interaksi Pn-M kolom juga disertakan dalam analisis kapasitas desain kolom untuk mengetahui kapasitas kolom terhadap gaya aksial yang menumpunya.

4.12.1 Properti Material dan Penampang

Kolom K1 pada tingkat pertama Gambar 4.46 adalah jenis kolom yang akan digunakan sebagai model perhitungan.



Gambar 4.46. Denah Kolom K1 Sampel

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tinggi kolom (L)	$= 3600 \text{ mm}$
Dimensi ($b \times h$)	$= 550 \times 550 \text{ mm}$
Luas penampang (A_g)	$= 302500 \text{ mm}^2$
Tebal selimut bersih (c_c)	$= 30 \text{ mm}$
Diameter tulangan longitudinal (d_b)	$= 22 \text{ mm}$
Diameter tulangan sengkang (d_s)	$= 13 \text{ mm}$
Tinggi efektif kolom (d)	$= b - c_c - d_s - d_b/2$ $= 550 - 30 - 13 - 22/2$ $= 496 \text{ mm}$
Kuat tekan beton (f'_c)	$= 35 \text{ MPa}$
Kuat leleh baja tulangan (f_y)	$= 420 \text{ MPa}$

Faktor reduksi kekuatan (ϕ) = 0,65 (SNI 2847:2019 Tabel

21.2.1)

Momen kapasitas balok (M_{nb+}) = 202,67 kNm

Momen kapasitas balok (M_{nb-}) = 154,86 kNm

4.12.2 Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

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

1. Gaya Dalam

Tulangan longitudinal kolom dirancang dengan menggunakan gaya geser pada kolom K1 dan kolom overlay yang diperoleh dari ETABS dan gaya dalam yang dialami kolom berupa gaya tekan aksial.

- P_u kolom atas = 2077,384 kN
- P_u kolom desain = 2371,156 kN
- V_u kolom desain = 57,2296 kN

2. Cek Dimensi

Batasan dimensi untuk struktur kolom sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1 harus memenuhi :

a) Dimensi terkecil penampang tidak kurang dari 300 mm

$$\text{Syarat} = b \geq 300 = 550 \geq 300 \rightarrow \text{OK}$$

b) Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4

$$\text{Syarat} = \frac{b}{h} \geq 0,4 = \frac{550}{550} \geq 0,4 = 1 \geq 0,4 \rightarrow \text{OK}$$

3. Cek syarat komponen struktur tahan gempa

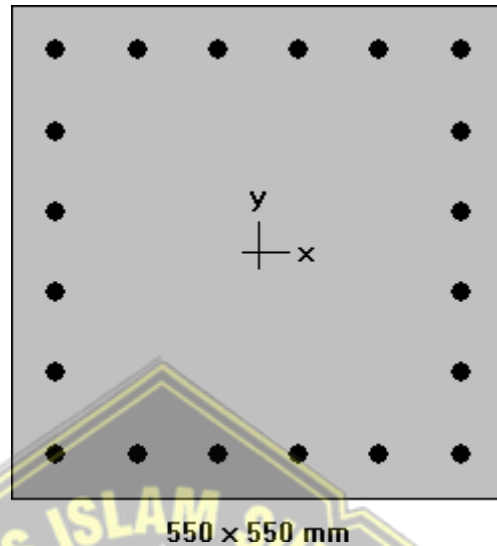
Gaya tekan aksial P_u akibat kombinasi beban yang kurang dari $0,3 A_g f_c'$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= P_u \leq 0,3 A_g \times f_c' \\ &= 2371,156 \leq 0,3 \times 302500 \times 30 \times 10^{-3} \\ &= 2371,156 \leq 3176,25 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

4. Menentukan tulangan longitudinal penahan lentur

SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4 menyatakan luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih besar dari $0,06A_g$. Dengan menggunakan program SPColumn, seperti yang diilustrasikan pada

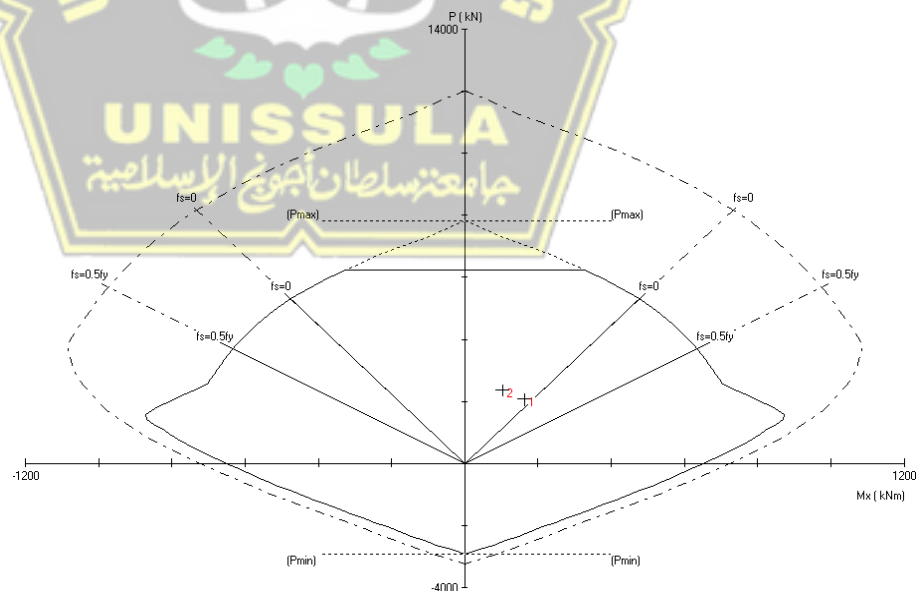
Gambar 4.47, hasil desain tulangan lentur kolom K1 ditemukan secara *trial and error*.



Gambar 4.47. Tulangan Longitudinal Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Gambar 4.48 dan Tabel 4.44 menunjukkan diagram interaksi P_n-M_{pr} SPColumn kolom K1 dan hasil analisis interaksi P_n-M_{pr} kolom K1.



Gambar 4.48. Diagram Interaksi P_n-M_{pr} SPColumn Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.44. Hasil Analisis Interaksi P_n-M_{pr} Kolom K1

No	P_u (kN)	M_{ux} (kNm)	ϕM_{nx} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	dt depth (mm)	ε_t	ϕ
1	2077,00	164,00	790,52	4,820	241	499	0,00322	0,747
2	2371,00	104,00	734,99	7,067	275	499	0,00245	0,681

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

$$0,01 A_g = 0,01 \times 302500$$

$$= 3025 \text{ mm}^2$$

$$0,06 A_g = 0,06 \times 302500$$

$$= 18150 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = n \times 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$= 24 \times 1/4 \times 3,14 \times 484$$

$$= 7978,74 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat} = 0,01 A_g < A_{st} < 0,06 A_g$$

$$= 3025 < 7978,74 < 18150 \rightarrow \text{OK}$$

4.12.3 Perhitungan Tulangan Transversal Kolom

Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal kolom yang dilakukan, antara lain:

1. Analisis Tulangan Geser sebagai *Confinement*

Pada analisis tulangan geser sebagai kolom ini melalui beberapa tahap, yaitu:

- a) Menentukan daerah pemasangan tulangan sengkang persegi (*hoop*), tulangan *hoop* diperlukan sepanjang ℓ_o dari ujung-ujung kolom. Sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.4.3.3 dengan ℓ_o merupakan nilai terbesar dari:

- a. $1/6$ tinggi bersih kolom $= 4100 / 6 = 683,3 \text{ mm}$

- b. Dimensi maksimum kolom $= 1000 \text{ mm}$

- c. 450 mm

Jadi, jarak ℓ_o digunakan 550 mm

- b) Penentuan $s_{\max}$ merupakan nilai terbesar dari:

- a. $1/4$ dimensi komponen struktur minimum $= 550 / 4 = 137,5 \text{ mm}$

b. $6D = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$

c. s_o , tidak melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm

$$s_o = 100 + \frac{350 - 221}{3} = 143 \text{ mm}$$

Ambil jarak tulangan transversal 100 mm

c) Penentuan luas tulangan *confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 18.7.5.4. Untuk daerah sepanjang ℓ_o dari ujung-ujung kolom total luas penampang *hoop* tidak boleh kurang dari salah satu yang terbesar di antara :

- Tinggi penampang inti beton yang tertekan (b_{c1})

$$b_{c1} = h - (2 \times c_c) = 550 - (2 \times 30) = 490 \text{ mm}$$

- Lebar penampang inti beton yang tertekan (b_{c2})

$$b_{c2} = b - (2 \times c_c) = 1000 - (2 \times 30) = 940 \text{ mm}$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

$$A_{ch} = b_{c1} \times b_{c2} = 490 \times 940 = 460600 \text{ mm}^2$$

- Faktor kekuatan beton (k_f) 240100

$$k_f = \frac{f_c}{175} + 0,6 = \frac{35}{175} + 0,6 = 0,8 \rightarrow \text{minimal } 1$$

- Faktor efektivitas pengekangan (k_n)

$$k_n = \frac{n_i}{n_i - 2} = \frac{20}{20 - 2} = 1,11$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$\begin{aligned} A_{sh1} &= 0,3 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f_c}{f_{yt}} \\ &= 0,3 \times \left(\frac{302500}{460600} - 1 \right) \times \frac{35}{420} \\ &= 0,0065 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh2} &= 0,09 \times \frac{f_c}{f_{yt}} \\ &= 0,09 \times \frac{35}{420} \\ &= 0,0075 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh3} &= 0,2 \times k_f \times k_n \times \frac{P_u}{f_{yt} \times A_{ch}} \\ &= 0,2 \times 1 \times 1,11 \times \frac{2371,156 \times 10^3}{420 \times 460600,00} \\ &= 0,00523 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} &= b_c \times A_{sh \text{ max}} \\ &= 490 \times 0,0075 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 3,675 \text{ mm}^2 \\
A_{sh} &= s \times \frac{A_{sh}}{s} \\
&= 100 \times 3,675 \\
&= 367,5 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Maka dapat digunakan Sengkang (*hoop*) 4 D13-100

$$A_{s \text{ pasang}} = 4 \text{ kaki} \times 1/4 \times 3,14 \times 13^2 = 530,66 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
\text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} > A_{sh} \\
&= 530,66 > 367,5 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}
\end{aligned}$$

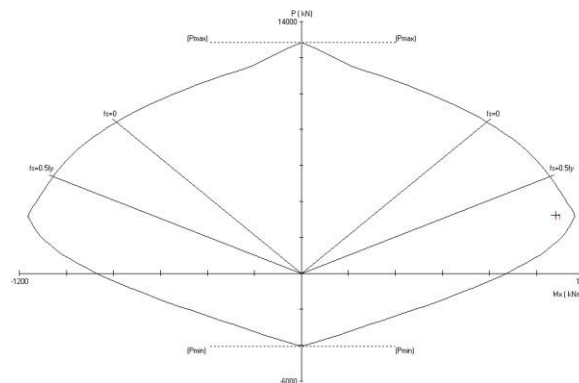
Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5. Untuk daerah di luar ℓ_0 diberi sengkang dengan spasi tidak melebihi nilai terkecil dari:

- $6D = 6 \times 22 = 122 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka $s_{\max} = 150 \text{ mm}$ dan dapat digunakan spasi (s) = 150 mm sepanjang sisa kolom bersih.

2. Analisis Gaya Geser Desain Tulangan Sengkang Kolom

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1, gaya geser V_e harus dikurangkan dari gaya geser yang berkaitan dengan engsel plastis pada kedua ujung kolom. Dengan mengasumsikan bahwa $\phi = 1$ dan kuat tarik longitudinal minimum $1,25f_y$, nilai M_{pr} untuk kolom dapat dihitung. Untuk diagram interaksi P_n-M SPColumn dengan $1,25 f_y$ dan hasil analisis interaksi P_n-M SPColumn dengan $1,25 f_y$ dapat dilihat pada Gambar 4.49 dan Tabel 4.45.



Gambar 4.49. Diagram Interaksi P_n-M SPColumn Kolom K1 dengan $1,25 f_y$

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.45. Hasil Analisis Interaksi P_n - M Kolom K1 dengan $1,25 f_y$

No	P_u (kN)	M_{ux} (kNm)	ϕM_{nx} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	dt depth (mm)	ϵ_t	ϕ
1	3242	1080	1164,04	1,078	267	499	0,00261	1,000

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

- Probable Moment of Column (M_{prc})

$$M_{prc} = 1164,04 \text{ kNm}$$

- Tinggi bersih kolom (L_n)

$$\begin{aligned} L_n &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\ &= 3600 - 700 \\ &= 3100 \text{ mm} \\ &= 3,10 \text{ m} \end{aligned}$$

- Probable Moment of Beam (M_{prb})

$$M_{prb \text{ atas}} = 187768299,2 \text{ Nmm} = 187,77 \text{ kNm}$$

$$M_{prb \text{ bawah}} = 244287698,5 \text{ Nmm} = 244,29 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{prb} = 187,77 + 244,29 = 432,06 \text{ kNm}$$

- Faktor distribusi kolom (D_f)

$$D_f = 0,5 \text{ (atas dan bawah dianggap sama)}$$

- Faktor reduksi geser (ϕ)

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser desain (V_e)

$$\begin{aligned} V_{e1} &= \frac{M_{prc \text{ atas}} + M_{prc \text{ bawah}}}{L_n} \\ &= \frac{1164,04 + 1164,04}{3,10} \end{aligned}$$

$$= 750,99 \text{ kN}$$

V_e tidak perlu melebihi dari:

$$\begin{aligned} V_{e2} &= \frac{\sum M_{prb} \times D_{f \text{ atas}} + \sum M_{prb} \times D_{f \text{ bawah}}}{L_n} \\ &= \frac{432,06 \times 0,5 + 432,06 \times 0,5}{3,10} \\ &= 139,37 \text{ kN} \end{aligned}$$

V_e tidak boleh kurang dari gaya geser terfaktor hasil analisis:

$$V_{e3} = 104,83 \text{ kN}$$

- Dari nilai V_e yang telah dihitung, maka diambil $V_u = 139,37$ kN.
Asumsi kuat geser yang disumbang oleh beton, $V_c = 0$. Maka:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{139,37}{0,75} = 185,83 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{185,83}{420 \times 496} = 0,892 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Untuk $s = 100$ mm, maka:

$$A_v = \frac{A_v}{s} \times 100 = 0,892 \times 100 = 89,2 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Cek $A_{sh} > A_v$

$$\text{Syarat} = A_{sh} > A_v$$

$$= 530,66 > 89,2 \rightarrow \text{OK}$$

Digunakan 4 D13-100 untuk sengkang tertutup dan ikat silang dengan $A_{sh} = 530,66 \text{ mm}^2$.

3. Menghitung nilai V_c daerah di luar ℓ_0

(SNI 2847:2019 Pasal 22.5.6.1)

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{P_u}{14A_g}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{2371,156 \times 10^3}{14 \times 302500}\right) \times 1 \times \sqrt{35} \times 550 \times 496$$

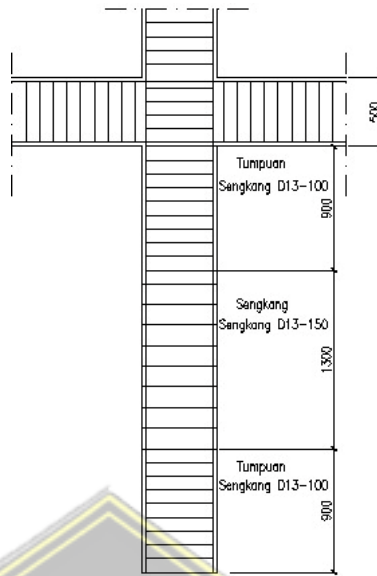
$$= 427,979 \text{ kN}$$

Karena $V_c > V_u$ ($V_u = 139,37$ kN) maka daerah di luar ℓ_0 dipasang tulangan sengkang dengan jarak:

$$s = \frac{d}{2} = \frac{496}{2} = 248 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5, tulangan melintang tidak boleh melewati ℓ_0 lebih dari 150 mm atau $6d_b$ (150 mm). Jarak maksimum yang dipasang adalah 150 mm.

Hasil perhitungan yang digambarkan pada Gambar 4.50 sampai dengan Gambar 4.52 ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



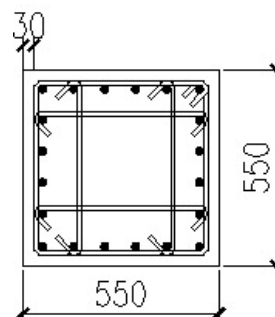
Gambar 4.50. Potongan Memanjang Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.51. Tulangan Ujung Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



Gambar 4.52. Tulangan Tengah Kolom K1

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12.4 Rekapitulasi Hasil Tulangan Kolom

Hasil penulangan kolom yang direkapitulasi pada Tabel 4.46 dirangkum di bawah ini berdasarkan hasil perhitungan tulangan untuk semua jenis kolom yang telah dilakukan.

Tabel 4.46. Rekapitulasi Tulangan Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi Kolom	Tulangan Pokok	Tulangan Geser	
				Tumpuan	Lapangan
1	K550x550	550 × 550	20 D22	4 D13-100	4 D13-150
2	K450x450	450 × 450	16 D22	3 D13-100	3 D13-150
3	K400x400	400 × 400	16 D22	3 D13-100	3 D13-150

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12.5 Perancangan *Strong Column-Weak Beam*

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi Persamaan 4.13 sesuai SNI 2847:2019

Pasal 18.7.3.2 sebagai berikut:

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

1. Menentukan nilai $\sum M_{nb}$

$$\begin{aligned}\sum M_{nb} &= M_{nb}^+ + M_{nb}^- \\ &= 202,67 + 154,86 \\ &= 357,53 \text{ kNm}\end{aligned}$$

2.

Menentukan nilai $\sum M_{nc}$

Nilai M_{nc} dapat dicari dengan mencari gaya aksial yang dihasilkan oleh kombinasi beban pada kolom atas dan kolom bawah pada diagram interaksi P_n - M SPColumn. Nilai M_{nc} atas dan bawah adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\sum M_{nc} &= M_{nc} \text{ atas} + M_{nc} \text{ bawah} \\ &= 1068,27 + 0 \\ &= 1068,27 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \\ &= 1068,27 \geq 1,2 \times 357,53 \\ &= 1068,27 \geq 429,036 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

4.12.6 Perancangan Hubungan Balok-Kolom (*Joint*)

Hubungan balok-kolom (*joint*) merupakan daerah pertemuan antara kolom dan balok yang harus didetailkan dengan baik. Analisis perhitungan hubungan balok B3 dengan kolom K1 lantai 1 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

4.12.7 Syarat Panjang *Joint*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.2.3, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan balok tersebut tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok untuk beton normal.

- Lebar kolom (b)
 $b = h = 550 \text{ mm}$
- Diameter tulangan longitudinal terbesar balok (d_b)
 $d_b = 22 \text{ mm}$
 $20d_b = 20 \times 22 = 440 \text{ mm}$
- Cek $b > 20d_b$
Syarat $= b > 20d_b = 550 > 440 \rightarrow \text{OK}$

4.12.8 Tulangan Geser untuk *Confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.3.1, jumlah tulangan *confinement* dapat menggunakan seperti pada detail tulangan geser kolom pada ℓ_0 . Dari hasil analisis tulangan geser kolom di atas digunakan tulangan geser 4 D13-100.

4.12.9 Gaya Geser pada *Joint*

Momen balok yang timbul:

- Probable Moment of Beam Positive (M_{prb}^+)
 $M_{prb}^+ = 187,77 \text{ kNm}$

- Probable Moment of Beam Negative (M_{prb}^-)
 $M_{prb}^- = 244,29 \text{ kNm}$

- Faktor distribusi kolom (D_f)

$$D_f = 0,5 \rightarrow \text{OK}$$

- Momen terfaktor diperbesar (M_c)

$$\begin{aligned} M_c &= 0,5 \times (M_{prb}^+ + M_{prb}^-) \\ &= 0,5 \times (187,77 + 244,29) \\ &= 216,03 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4.12.10 Gaya Geser pada Kolom

- Tinggi efektif kolom (L_n)

$$\begin{aligned}L_n &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\&= 3600 - 500 \\&= 3100 \text{ mm} \\&= 3,10 \text{ m}\end{aligned}$$

- Gaya geser kolom (V_h)

$$\begin{aligned}V_h &= \frac{M_c}{L_n} \\&= \frac{216,03}{3,10} \\&= 69,69 \text{ kN}\end{aligned}$$

4.12.11 Gaya Geser pada Tulangan Longitudinal Balok

- Luas tulangan atas 4 D19, $A_s = 1133,540 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}T_1 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\&= 1,25 \times 1133,540 \times 420 \\&= 595,11 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Gaya tekan yang bekerja pada beton di sisi kiri hubungan balok kolom, sebesar:

$$C_1 = T_1 = 595,11 \text{ kN}$$

- Luas tulangan bawah 3 D19, $A_s = 850,586 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}T_2 &= 1,25 \times A_s \times F_y \\&= 1,25 \times 850,59 \times 420 \\&= 446,56 \text{ kN}\end{aligned}$$

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

$$C_2 = T_2 = 446,56 \text{ kN}$$

4.12.12 Kuat Geser pada *Joint*

- Kuat geser pada *joint* (V_j) sebesar:

$$\begin{aligned}V_j &= T_1 + T_2 - V_h \\&= 595,11 + 446,56 - 69,69\end{aligned}$$

$$= 971,98$$

4.12.13 Kuat Geser yang dikekang keempat Sisi

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times A_g \\ &= 1,7 \times 1 \times \sqrt{35} \times 302500 \times 10^{-3} \\ &= 3042,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

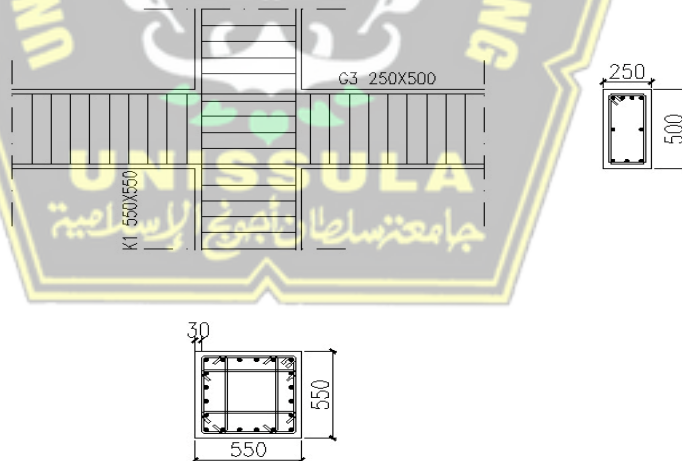
- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\phi V_n = \phi \times V_n = 0,85 \times 3042,34 = 2585,99 \text{ N}$$

- Cek $\phi V_n > V_j$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \phi V_n > V_j \\ &= 2585,99 > 971,98 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan, kuat geser yang dikekang keempat sisinya lebih besar daripada gaya geser *joint* yang ditimbulkan. Dengan nilai 6744,07 kN > 840,58 kN maka memenuhi persyaratan. Gambar 4.53 menunjukkan representasi sambungan balok-kolom berdasarkan hasil perhitungan.



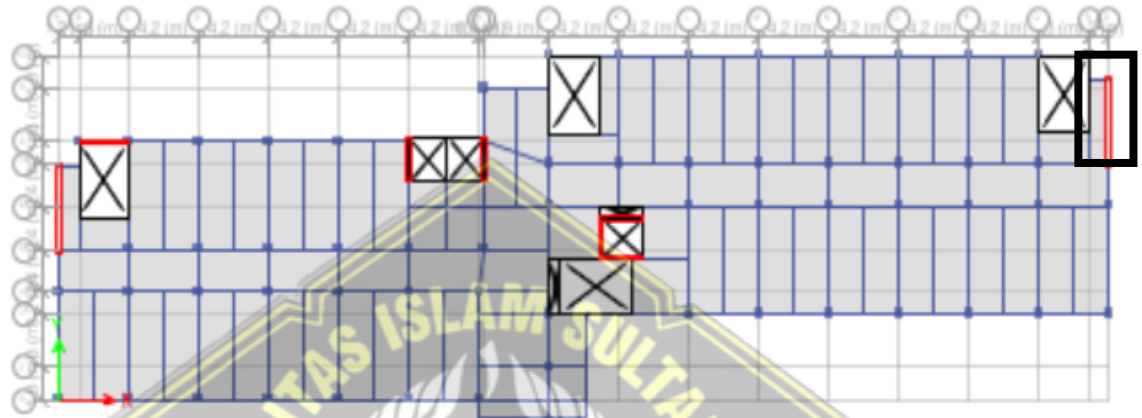
Gambar 4.53. Hubungan Balok Kolom (*Joint*)
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.13 Perancangan Dinding Geser

Perancangan dinding geser memerlukan analisis kapasitas desain dinding geser untuk mengetahui dimensi penampang dinding geser yang didesain agar mampu menahan gaya momen serta gaya geser.

4.13.1 Perhitungan *Shear Wall* 03

Dinding geser yang terlihat pada Gambar 4.54 akan digunakan sebagai contoh perhitungan.



Gambar 4.54. Denah Dinding Geser Sampel
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tebal dinding geser (t_w) = 300 mm

Panjang dinding geser (L) = 5050 mm

Panjang kolom (h_k) = 300 mm

Lebar kolom (b_k) = 300 mm

Tinggi dinding geser total (h_w) = 27400 mm

Diameter tul. longitudinal badan (d_l) = 16 mm

Diameter tul. transversal badan (d_t) = 16 mm

Diameter tulangan kolom (d_b) = 16 mm

Kuat tekan beton (f'_c) = 35 MPa

Kuat leleh baja tulangan (f_y) = 420 MPa

4.12.1.1. Gaya Dalam

Gaya dalam untuk perancangan dinding geser diambil dari analisis menggunakan ETABS ditunjukkan pada Tabel 4.47 dan Tabel 4.48.

Tabel 4.47. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur			
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)
$P_{\max}$	727,434	64,842	13601,123
$P_{\min}$	-4453,311	-232,815	-22633,284
M_2 Max	405,167	278,585	8848,956
M_2 Min	-1871,366	-277,247	-3306,311
M_3 Max	144,585	215,797	25665,913
M_3 Min	-4073,438	-242,691	-26269,039

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.48. Gaya Geser pada Dinding Geser

Gaya Geser	
V_2 (kN)	2757,527
V_3 (kN)	160,807

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12.1.2. Pengecekan Geometri

- Panjang total (L_w)

$$L_w = L + h_k = 5050 + 300 = 5350 \text{ kN}$$
- Panjang bersih (L_n)

$$L_n = L - h_k = 5050 - 300 = 4750 \text{ N}$$
- Luas penampang melintang (A_{cv})

$$A_{cv} = t_w \times L_w = 300 \times 5350 = 1605000 \text{ mm}^2$$
- Luas total dinding geser (A_w)

$$\begin{aligned} A_w &= t_w \times L_n + 2 \times (b_k \times h_k) \\ &= 300 \times 4750 + 2 \times (300 \times 300) \\ &= 160500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.12.1.3. Kebutuhan Tulangan Minimum

- Faktor reduksi kekuatan geser

$$\phi = 0,75$$
- Gaya geser ($\frac{V_u}{\phi}$)

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{2757,525 \times 10^3}{0,75} = 3676699 \text{ N}$$

- Rasio tulangan minimum ($\rho_{\min}$)

(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 diizinkan sesuai SNI 2847:2019 Tabel 11.6.1.

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f'_c} \\ &= 2757,525 < 0,083 \times 1605000 \times \sqrt{35} \\ &= 2757,525 > 788111 \text{ N} \rightarrow \text{Pakai rasio minimal 0,0025} \end{aligned}$$

Karena $V_u > 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f'_c}$, maka :

- Rasio tulangan longitudinal minimum ($\rho_{l \min}$) = 0,0025
- Rasio tulangan transversal minimum ($\rho_{t \min}$) = 0,0025

- Jumlah lapis tulangan pakai (n lapis)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.2)

Minimal 2 lapis tulangan dibutuhkan jika $V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f'_c}$ atau $\frac{hw}{l_w}$

≥ 2 .

Cek batasan 1:

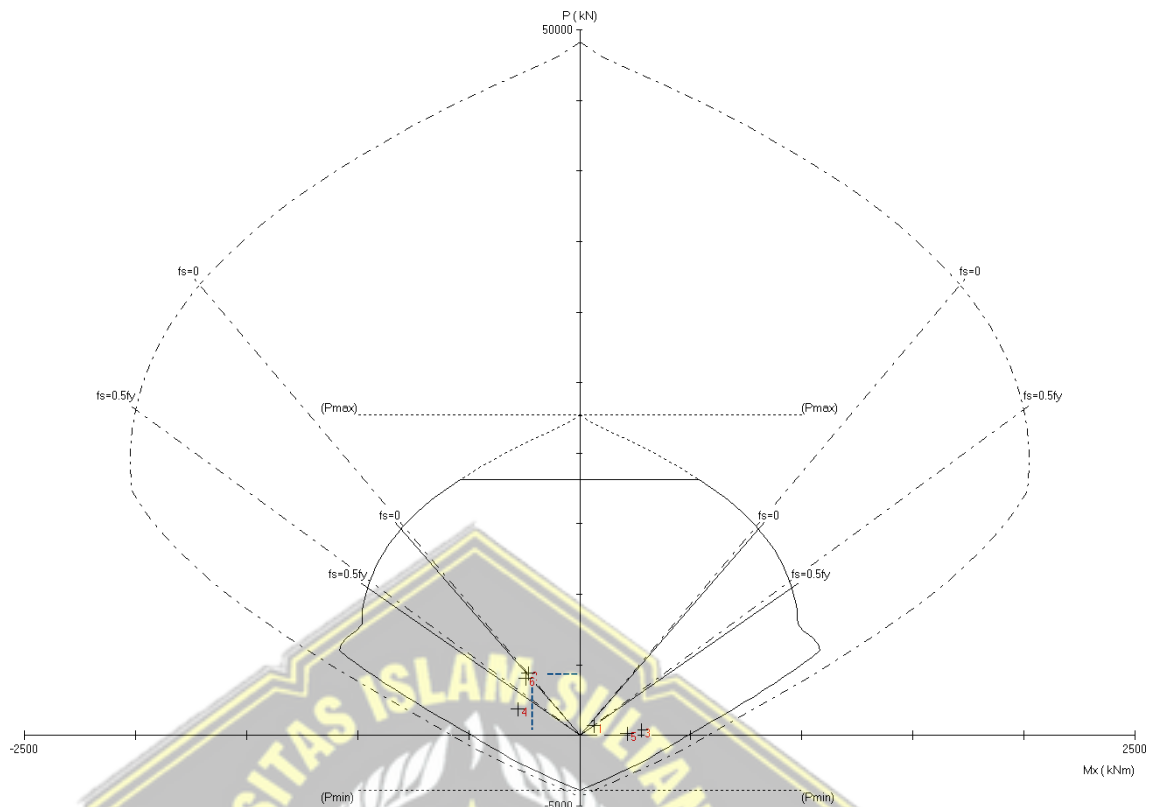
$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f'_c} \\ &= 2757,525 > 0,17 \times 1605000 \times \sqrt{35} \\ &= 2757,525 > 1614202 \text{ N} \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis} \end{aligned}$$

Cek batasan 2:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \frac{hw}{l_w} \geq 2 \\ &= \frac{27400}{5350} \geq 2 \\ &= 5,12 > 2 \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis} \end{aligned}$$

4.12.1.4. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn)

Konfigurasi tulangan longitudinal pada dinding geser didapatkan dari hasil *trial and error* menggunakan program SPColumn yaitu 2 D16-200 dan konfigurasi tulangan pada kolom yaitu 6 D16. Untuk diagram interaksi SPColumn dinding geser dan hasil analisis interaksi P_n - M_{pr} dinding geser dapat dilihat pada Gambar 4.55 dan Tabel 4.49.



Gambar 4.55. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.49. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser

No	P_u (kN)	M_{uy} (kNm)	ϕM_{ny} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	d_t depth (mm)	ϵ_t	ϕ
1	727.00	64.00	567.64	8.869	43	250	0.01451	0.900
2	4453.00	-232.00	-947.12	4.082	76	250	0.00692	0.900
3	405.00	278.00	532.86	1.917	41	250	0.01541	0.900
4	1871.00	-277.00	-689.74	2.490	51	250	0.01166	0.900
5	144.00	215.00	504.59	2.347	39	250	0.01617	0.900
6	4073.00	-242.00	-911.55	3.767	72	250	0.00745	0.900

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

1. Bagian Badan

- Spasi tulangan longitudinal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Cek spasi tulangan maksimum

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)

Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

$$\text{Syarat} = s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.5)

$$\begin{aligned}\rho_l &= n_{\text{lapis}} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_l^2}{t_w \times s} \\ &= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2}{300 \times 200} \\ &= 0,670 \%\end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan minimum

$$\text{Syarat} = \rho_l \geq \rho_{l \min} = 0,670 \% \geq 0,25 \% \rightarrow \text{OK}$$

2. Bagian Kolom

Jumlah tulangan per kolom (n) = 52 mm

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

$$\begin{aligned}\rho_l &= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_b^2}{b_k \times h_k} \\ &= 6 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2}{300 \times 300} \\ &= 1,340 \%\end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan kolom

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= 1 \% \leq \rho \leq 6 \% \\ &= 1 \% \leq 1,340 \% \leq 6 \% \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

4.12.1.5. Pengecekan Kapasitas Geser

- Rasio tinggi dinding dengan panjang total (h_w/L_w)

$$h_w/L_w = 27400 / 5350 = 5,1215$$

- Koefisien kekuatan beton terhadap geser dinding nominal (α_c)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.1)

$$\alpha_c = 0,17 \text{ (untuk } h_w/L_w > 2)$$

- Spasi tulangan transversal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Cek spasi tulangan maksimum

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)

Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

$$\text{Syarat} = s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$$

- Kuat geser dinding (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv} \times (\alpha_c \times \sqrt{f'_c} + \rho_t \times f_y) \\ &= 1605000 \times (0,17 \times \sqrt{35} + 0,670 \% \times 420) \\ &= 6132064 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{n \text{ Max}} = 0,66 \times 1605000 \times \sqrt{35} = 6266903 \text{ N}$$

$$V_{n \text{ Pakai}} = 6132064 \text{ N}$$

- Cek kapasitas geser

$$\text{Syarat} = V_{n \text{ Pakai}} \geq \frac{V_u}{\phi} = 6132064 \geq 3676699 \rightarrow \text{OK}$$

4.12.1.6. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus

Ada 2 metode yang dapat digunakan dalam melakukan pengecekan kebutuhan elemen batas khusus, antara lain:

1. *Displacement-Based Method*

- Panjang zona tekan (c)
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.4)
 $c = 76 \text{ mm}$ (ambil nilai $NA \text{ depth}$ maksimum)
- Perpindahan desain (δ_u)
 $\delta_u = 0$ (boleh dikosongkan)
- Rasio perpindahan desain terhadap tinggi dinding (δ_u/h_w)
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)

$$\delta_u/h_w = 0,005 \text{ (batas maksimum)}$$

- Cek elemen batas khusus
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} = c &\geq \frac{L_w}{600 \times (1,5 \times \frac{\delta_u}{h_w})} \\ &= 76 \geq \frac{5350}{600 \times (1,5 \times 0,005)} \end{aligned}$$

$$= 78 < 1189 \rightarrow \text{tidak perlu elemen batas khusus}$$

2. *Strength-Based Method*

- Luas penampang total (A_g)

$$A_g = A_w = 1605000 \text{ mm}^2$$

- Inersia penampang (I_g)

$$I_g = \frac{1}{12} \times t_w \times L^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3 + \left(\frac{L}{2} \right)^2 \times b_k \times h_k \right)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{12} \times 300 \times 4750^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times 300 \times 300^3 + \left(\frac{5050}{2} \right)^2 \times 300 \times 300 \right) \\
&= 3,83 \times 10^{13} \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

▪ Tegangan kondisi 1 (σ_1)

$$\begin{aligned}
\sigma_1 &= \frac{Pu}{A_g} + \frac{mu}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{727,434 \times 10^3}{1605000} + \frac{13601,123 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 9,424 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

▪ Tegangan kondisi 2 (σ_2)

$$\begin{aligned}
\sigma_2 &= \frac{Pu}{A_g} + \frac{mu}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{-4453,311 \times 10^3}{1605000} + \frac{-22633,284 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 17,703 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

▪ Tegangan kondisi 3 (σ_3)

$$\begin{aligned}
\sigma_3 &= \frac{Pu}{A_g} + \frac{mu}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{405,167 \times 10^3}{1605000} + \frac{8848,956 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 6,089 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

▪ Tegangan kondisi 4 (σ_4)

$$\begin{aligned}
\sigma_4 &= \frac{Pu}{A_g} + \frac{mu}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{-1871,366 \times 10^3}{1605000} + \frac{-3306,311 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 3,347 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

▪ Tegangan kondisi 5 (σ_5)

$$\begin{aligned}
\sigma_5 &= \frac{Pu}{A_g} + \frac{mu}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{144,585 \times 10^3}{1605000} + \frac{25665,913 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 17,019 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

▪ Tegangan kondisi 6 (σ_6)

$$\begin{aligned}
\sigma_6 &= \frac{Pu}{A_g} + \frac{mu}{I_g} \times \frac{L}{2} \\
&= \frac{-4073,438 \times 10^3}{1605000} + \frac{-26269,039 \times 10^6}{3,83 \times 10^{13}} \times \frac{5050}{2} \\
&= 19,864 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

- Tegangan maksimum ($\sigma_{\max}$)

$$\sigma_{\max} = \text{maksimum } (\sigma_1 ; \sigma_2 ; \sigma_3 ; \sigma_4 ; \sigma_5 ; \text{ atau } \sigma_6)$$

$$= 19,864 \text{ MPa}$$

- Batas tegangan

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\text{Batas} = 0,2 f_c' = 0,2 \times 35 = 7 \text{ MPa}$$

- Cek perlu elemen batas khusus

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\text{Syarat} = \sigma_{\max} > 0,2 f_c' = 19,864 > 7 \rightarrow \text{Perlu elemen batas khusus}$$

- Tinggi elemen batas khusus (h_{BE})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\begin{aligned} h_{BE} &= h_w - (0,15 f_c' / \sigma_{\max}) \times h_w \\ &= 27400 - (0,15 \times 35 / 19,864) \times 27400 \\ &= 20158 \text{ mm} \end{aligned}$$

4.12.1.7. Penulangan Elemen Batas Khusus

Penulangan elemen batas khusus dilakukan pada daerah kolom dan daerah badan sebagai berikut:

1. Daerah Kolom

- Selimut beton (c_c)
 $c_c = 40 \text{ mm}$
- Diameter *confinement* (d_s)
 $d_s = 16 \text{ mm}$
- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)
 $n_1 = 3$
- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)
 $n_2 = 3$
- Spasi (s)
 $s = 100 \text{ mm}$
- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})
$$A_{sh\ 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 = 603,186 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh\ 1}}{s} = \frac{603,186}{100} = 6,032 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh\ 2} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 3 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 = 603,186 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh\ 2}}{s} = \frac{603,186}{100} = 6,037 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b_k - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h_k - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b_k \times h_k = 300 \times 300 = 90000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 220 \times 220 = 48400 \text{ mm}^2$$

- Sejajar lebar kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times \left(h_c \times \frac{f_c'}{f_y} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \times \left(220 \times \frac{35}{420} \right) \times \left(\frac{90000}{48400} - 1 \right) \\ &= 4,727 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{35}{420} = 1,650 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} \right) = 4,727 \text{ mm}^2$$

- Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh\ 1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 6,032 > 4,727 \rightarrow \text{OK}$$

- Sejajar panjang kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times \left(b_c \times \frac{f_c'}{f_y} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \times \left(220 \times \frac{35}{420} \right) \times \left(\frac{90000}{48400} - 1 \right) \\ &= 4,727 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{35}{420} = 1,650 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \min = \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \min 1 ; \frac{A_{sh}}{s} \min 2 \right) = 4,727 \text{ mm}^2$$

▪ Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh} 2}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \min = 6,032 > 4,727 \rightarrow \text{OK}$$

2. Daerah Badan

- Selimut beton (c_c)

$$c_c = 40 \text{ mm}$$

- Diameter *confinement* (d_s)

$$d_s = 13 \text{ mm}$$

- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)

$$n_1 = 4$$

- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)

$$n_2 = 8$$

- Spasi (s)

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

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh 1}}{s} = \frac{530,929}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh 2} = n_2 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 8 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 530,929 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh 2}}{s} = \frac{530,929}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Panjang daerah EBK badan (b)

$$b = L_{BE} - h_k = 600 - 300 = 300 \text{ mm}$$

- Lebar daerah EBK tebal dinding (h)

$$h = t_w = 300 \text{ mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b \times h = 300 \times 300 = 90000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 220 \times 220 = 48400 \text{ mm}^2$$

- Sejajar dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times (h_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\ &= 0,3 \times (220 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{90000}{48400} - 1) \\ &= 4,727 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{35}{420} = 1,650 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 4,727 \text{ mm}^2$$

• Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 5,309 > 4,727 \rightarrow \text{OK}$$

- Tegak lurus dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

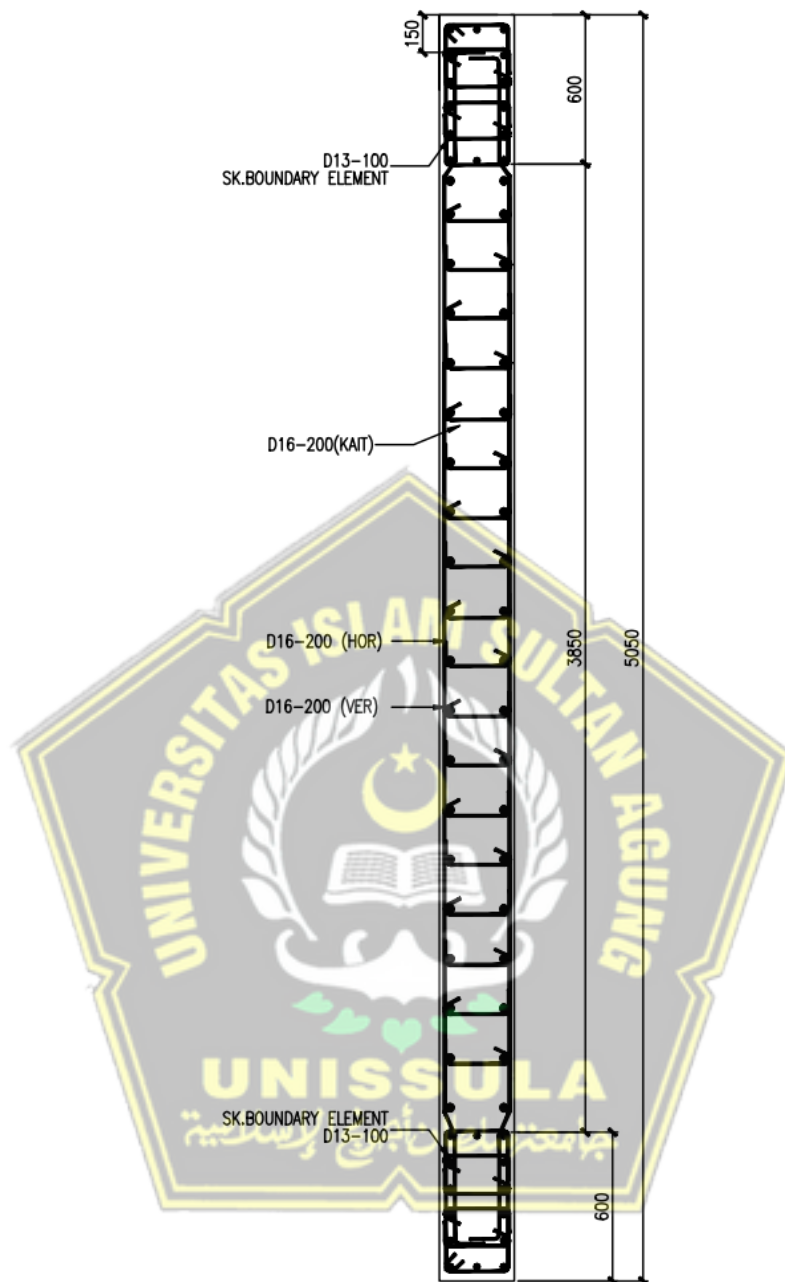
$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times (b_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\ &= 0,3 \times (795 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{90000}{48400} - 1) \\ &= 4,727 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{35}{420} = 1,650 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 4,727 \text{ mm}^2$$

• Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 5,309 > 4,727 \rightarrow \text{OK}$$



Gambar 4.56. Detail Dinding Geser
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.13.2 Perhitungan Shear Wall 04

Tebal dinding geser (t_w) = 200 mm
 Panjang dinding geser (L) = 7800 mm

Panjang kolom (h_k)	= 200 mm
Lebar kolom (b_k)	= 200 mm
Tinggi dinding geser total (h_w)	= 27400 mm
Diameter tul. longitudinal badan (d_l)	= 13 mm
Diameter tul. transversal badan (d_t)	= 13 mm
Diameter tulangan kolom (d_b)	= 13 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 35 MPa
Kuat leleh baja tulangan (f_y)	= 420 MPa

4.12.2.1. Gaya Dalam

Gaya dalam untuk perancangan dinding geser diambil dari analisis menggunakan ETABS ditunjukkan pada Tabel 4.50 dan Tabel 4.51.

Tabel 4.50. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur			
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)
P_{max}	-156,397	526,385	556,875
P_{min}	-5081,613	-9169,272	-14098,161
M_2 Max	-778,952	8877,312	14307,333
M_2 Min	-5081,613	-9169,272	-14098,161
M_3 Max	-778,952	8877,312	14307,333
M_3 Min	-5081,613	-9169,272	-14098,161

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.51. Gaya Geser pada Dinding Geser

Gaya Geser	
V_2 (kN)	2618,920
V_3 (kN)	817,856

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4.12.2.2. Pengecekan Geometri

- Panjang total (L_w)

$$L_w = L + h_k = 7800 + 200 = 8000 \text{ kN}$$

- Panjang bersih (L_n)

$$L_n = L - h_k = 7800 - 200 = 16900 \text{ N}$$

- Luas penampang melintang (A_{cv})

$$A_{cv} = t_w \times L_w = 200 \times 8000 = 1600000 \text{ mm}^2$$

- Luas total dinding geser (A_w)

$$\begin{aligned} A_w &= t_w \times L_n + 2 \times (b_k \times h_k) \\ &= 200 \times 16900 + 2 \times (200 \times 200) \\ &= 1600000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.12.2.3. Kebutuhan Tulangan Minimum

- Faktor reduksi kekuatan geser

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser ($\frac{V_u}{\phi}$)

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{2618,920 \times 10^3}{0,75} = 3491893 \text{ N}$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{min})

(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 diizinkan sesuai SNI 2847:2019 Tabel 11.6.1.

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 2618,920 < 0,083 \times 1600000 \times \sqrt{35} \\ &= 2618,920 < 785655,4 \text{ N} \rightarrow \text{Pakai rasio minimal 0,0025} \end{aligned}$$

Karena $V_u > 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$, maka :

$$\text{Rasio tulangan longitudinal minimum } (\rho_{l \min}) = 0,0025$$

$$\text{Rasio tulangan transversal minimum } (\rho_{t \min}) = 0,0025$$

- Jumlah lapis tulangan pakai (n lapis)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.2)

Minimal 2 lapis tulangan dibutuhkan jika $V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$ atau $\frac{h_w}{l_w}$

$$\geq 2.$$

Cek batasan 1:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u > 0,17 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 2618,920 < 0,17 \times 1600000 \times \sqrt{35} \end{aligned}$$

$$= 2618,920 < 1314202 \text{ N} \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan 2 lapis}$$

Cek batasan 2:

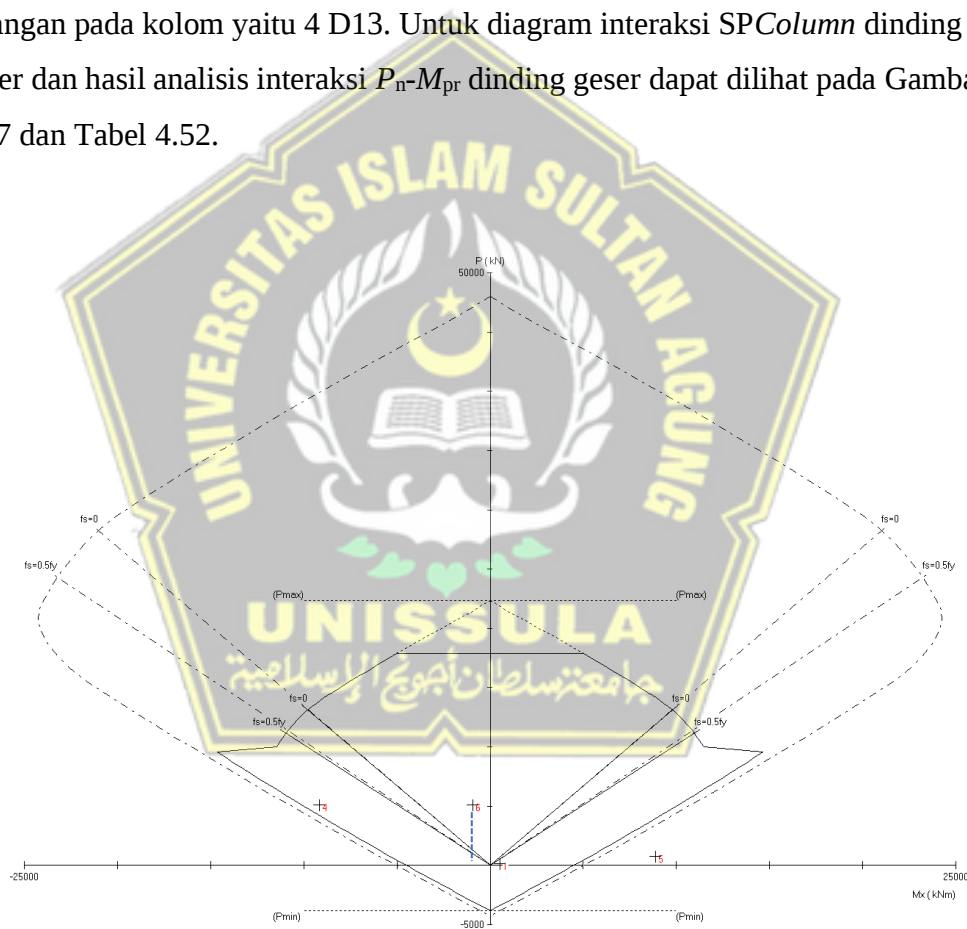
$$\text{Syarat} = \frac{hw}{l_w} \geq 2$$

$$= \frac{27400}{8000} \geq 2$$

$$= 5,12 > 2 \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis}$$

4.12.2.4. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn)

Konfigurasi tulangan longitudinal pada dinding geser didapatkan dari hasil *trial and error* menggunakan program SPColumn yaitu D13-200 dan konfigurasi tulangan pada kolom yaitu 4 D13. Untuk diagram interaksi SPColumn dinding geser dan hasil analisis interaksi P_n - M_{pr} dinding geser dapat dilihat pada Gambar 4.57 dan Tabel 4.52.



Gambar 4.57. Diagram Interaksi SPColumn Dinding Geser
(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.52. Hasil Analisis Interaksi SPColumn Dinding Geser

No	P_u (kN)	M_{uy} (kNm)	ϕM_{ny} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	d_t depth (mm)	ε_t	ϕ
1	156.00	526.00	4673.73	8.885	74	2354	0.09271	0.900
2	5081.00	-9169.00	-10077.49	1.099	169	2354	0.03869	0.900
3	778.00	8877.00	5382.06	0.606	87	2354	0.07820	0.900
4	5082.00	-9169.00	-10078.55	1.099	169	2354	0.03869	0.900
5	779.00	8877.00	5383.19	0.606	87	2354	0.07818	0.900
6	5081.00	-917.00	-10077.49	10.990	169	2354	0.03869	0.900

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

1. Bagian Badan

- Spasi tulangan longitudinal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$

- Cek spasi tulangan maksimum

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)

Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

$$\text{Syarat} = s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.5)

$$\begin{aligned} \rho_l &= n \text{ lapis} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_l^2}{t_w \times s} \\ &= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 13^2}{200 \times 200} \\ &= 0,670 \% \end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan minimum

$$\text{Syarat} = \rho_l \geq \rho_{l \min} = 0,670 \% \geq 0,25 \% \rightarrow \text{OK}$$

2. Bagian Kolom

Jumlah tulangan per kolom (n) = 4 mm

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

$$\begin{aligned} \rho_l &= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_b^2}{b_k \times h_k} \\ &= 4 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 13^2}{200 \times 200} \\ &= 1,327 \% \end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan kolom

$$\text{Syarat} = 1 \% \leq \rho \leq 6 \%$$

$$= 1 \% \leq 1,327 \% \leq 6 \% \rightarrow \text{OK}$$

4.12.2.5. Pengecekan Kapasitas Geser

- Rasio tinggi dinding dengan panjang total (h_w/L_w)

$$h_w/L_w = 27400 / 8000 = 5,1215$$
- Koefisien kekuatan beton terhadap geser dinding nominal (α_c)
 (SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.1)

$$\alpha_c = 0,17 \text{ (untuk } h_w/L_w > 2)$$
- Spasi tulangan transversal (s)

$$s = 200 \text{ mm}$$
- Cek spasi tulangan maksimum
 (SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2)
 Spasi tulangan untuk dinding struktural maksimum 450 mm

$$\text{Syarat } s \leq 450 = 200 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$$
- Kuat geser dinding (V_n)

$$V_n = A_{cv} \times (\alpha_c \times \sqrt{f'_c} + \rho_t \times f_y)$$

$$= 1600000 \times (0,17 \times \sqrt{35} + 0,670 \% \times 420)$$

$$= 6068979 \text{ N}$$

$$V_{n \text{ Max}} = 0,66 \times 1600000 \times \sqrt{35} = 6247380 \text{ N}$$

$$V_{n \text{ Pakai}} = 6068979 \text{ N}$$
- Cek kapasitas geser

$$\text{Syarat } V_{n \text{ Pakai}} \geq \frac{V_u}{\phi} = 6068979 \geq 3491893 \rightarrow \text{OK}$$

4.12.2.6. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus

Ada 2 metode yang dapat digunakan dalam melakukan pengecekan kebutuhan elemen batas khusus, antara lain:

1. *Displacement-Based Method*

- Panjang zona tekan (c)
 (SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.4)

$$c = 169 \text{ mm (ambil nilai NA depth maksimum)}$$
- Perpindahan desain (δ_u)

$$\delta_u = 0 \text{ (boleh dikosongkan)}$$

- Rasio perpindahan desain terhadap tinggi dinding (δ_u/h_w)
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)

$$\delta_u/h_w = 0,005 \text{ (batas maksimum)}$$

- Cek elemen batas khusus

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.2)

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= c \geq \frac{L_w}{600 \times (1,5 \times \frac{\delta_u}{h_w})} \\ &= 169 \geq \frac{8000}{600 \times (1,5 \times 0,005)} \end{aligned}$$

$$= 78 < 1189 \rightarrow \text{tidak perlu elemen batas khusus}$$

2. *Strength-Based Method*

- Luas penampang total (A_g)

$$A_g = A_w = 1600000 \text{ mm}^2$$

- Inersia penampang (I_g)

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times t_w \times L^n + 2 \left(\frac{1}{12} \times b_k \times h_k^3 + \left(\frac{L}{2} \right)^2 \times b_k \times h_k \right) \\ &= \frac{1}{12} \times 200 \times 7600^3 + 2 \left(\frac{1}{12} \times 200 \times 200^3 + \left(\frac{7800}{2} \right)^2 \times 200 \times 200 \right) \\ &= 8,53 \times 10^{13} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi (σ)

- Tegangan kondisi 1 (σ_1)

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-156,397 \times 10^3}{1600000} + \frac{556,875 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 0,352 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 2 (σ_2)

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-5081,613 \times 10^3}{1600000} + \frac{-14098,161 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 9,619 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 3 (σ_3)

$$\begin{aligned} \sigma_3 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-778,952 \times 10^3}{1600000} + \frac{14307,33 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 7,026 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 4 (σ_4)

$$\begin{aligned}\sigma_4 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-5081,613 \times 10^3}{1600000} + \frac{-14098,161 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 9,619 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 5 (σ_5)

$$\begin{aligned}\sigma_5 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-778,952 \times 10^3}{1600000} + \frac{14307,333 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 7,026 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 6 (σ_6)

$$\begin{aligned}\sigma_6 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{-5081,613 \times 10^3}{1600000} + \frac{-14098,161 \times 10^6}{8,53 \times 10^{13}} \times \frac{7800}{2} \\ &= 9,619 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan maksimum ($\sigma_{\max}$)

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \text{maksimum } (\sigma_1 ; \sigma_2 ; \sigma_3 ; \sigma_4 ; \sigma_5 ; \text{ atau } \sigma_6) \\ &= 9,619 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Batas tegangan

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\text{Batas} = 0,2 f'_c = 0,2 \times 35 = 7 \text{ MPa}$$

- Cek perlu elemen batas khusus

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\text{Syarat} = \sigma_{\max} > 0,2 f'_c = 9,619 > 7 \rightarrow \text{Perlu elemen batas khusus}$$

- Tinggi elemen batas khusus (h_{BE})

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)

$$\begin{aligned}h_{BE} &= h_w - (0,15 f'_c / \sigma_{\max}) \times h_w \\ &= 27400 - (0,15 \times 35 / 9,619) \times 27400 \\ &= 12446 \text{ mm}\end{aligned}$$

4.12.2.7. Penulangan Elemen Batas Khusus

Penulangan elemen batas khusus dilakukan pada daerah kolom dan daerah badan sebagai berikut:

1. Daerah Kolom

- Selimut beton (c_c)
 $c_c = 40 \text{ mm}$
- Diameter *confinement* (d_s)
 $d_s = 13 \text{ mm}$
- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)
 $n_1 = 6$
- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)
 $n_2 = 6$
- Spasi (s)
 $s = 100 \text{ mm}$
- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})
$$A_{sh\ 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 6 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 796,394 \text{ mm}^2$$
$$\frac{A_{sh\ 1}}{s} = \frac{796,394}{100} = 6,032 \text{ mm}^2/\text{mm}$$
$$A_{sh\ 2} = n_2 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 6 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 796,394 \text{ mm}^2$$
$$\frac{A_{sh\ 2}}{s} = \frac{796,394}{100} = 7,964 \text{ mm}^2/\text{mm}$$
- Lebar penampang inti beton (b_c)
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)
$$b_c = b_k - 2 c_c = 200 - 2 \times 40 = 120 \text{ mm}$$
- Panjang penampang inti beton (h_c)
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)
$$h_c = h_k - 2 c_c = 200 - 2 \times 40 = 120 \text{ mm}$$
- Luas penampang kolom (A_g)
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)
$$A_g = b_k \times h_k = 200 \times 200 = 40000 \text{ mm}^2$$
- Luas penampang inti beton (A_{ch})
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)
$$A_{ch} = b_c \times h_c = 120 \times 120 = 14400 \text{ mm}^2$$
- Sejajar lebar kolom
(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times (h_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\
 &= 0,3 \times (120 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{40000}{14400} - 1) \\
 &= 5,333 \text{ mm}^2 \\
 \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} &= 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 120 \times \frac{35}{420} = 0,9 \text{ mm}^2 \\
 \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} &= \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 5,333 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek:} \\
 \text{Syarat} &= \frac{A_{sh1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 7,964 > 5,333 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

• Sejajar panjang kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times (b_c \times \frac{f_c'}{f_y}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1) \\
 &= 0,3 \times (120 \times \frac{35}{420}) \times (\frac{40000}{14400} - 1) \\
 &= 5,333 \text{ mm}^2 \\
 \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} &= 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 120 \times \frac{35}{420} = 0,9 \text{ mm}^2 \\
 \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} &= \text{maksimum} (\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}) = 5,333 \text{ mm}^2 \\
 \text{Cek:} \\
 \text{Syarat} &= \frac{A_{sh2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 7,94 > 5,333 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

2. Daerah Badan

- Selimut beton (c_c)
 $c_c = 40 \text{ mm}$
- Diameter *confinement* (d_s)
 $d_s = 19 \text{ mm}$
- Jumlah kaki sejajar lebar kolom (n_1)
 $n_1 = 4$
- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)
 $n_2 = 10$
- Spasi (s)
 $s = 100 \text{ mm}$
- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})
 $A_{sh1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 4 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 = 1134,115 \text{ mm}^2$

$$\frac{A_{sh1}}{s} = \frac{1134,115}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 10 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 = 2835,287 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh2}}{s} = \frac{2835,287}{100} = 28,353 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Panjang daerah EBK badan (b)

$$b = L_{BE} - h_k = 500 - 200 = 300 \text{ mm}$$

- Lebar daerah EBK tebal dinding (h)

$$h = t_w = 200 \text{ mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b - 2 c_c = 300 - 2 \times 40 = 220 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h - 2 c_c = 200 - 2 \times 40 = 120 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b \times h = 200 \times 200 = 60000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 120 \times 120 = 26400 \text{ mm}^2$$

- Sejajar dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,3 \times \left(h_c \times \frac{f_c'}{f_y} \right) \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ &= 0,3 \times \left(120 \times \frac{35}{420} \right) \times \left(\frac{60000}{26400} - 1 \right) \\ &= 3,818 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 120 \times \frac{35}{420} = 0,9 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} \right) = 3,818 \text{ mm}^2$$

- Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 11,341 > 3,818 \rightarrow \text{OK}$$

- Tegak lurus dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

4.14. Rekapitulasi Hasil Analisis dan Perancangan

Rekapitulasi hasil analisis dan perancangan yang telah dilakukan pada Gedung Pendidikan di Gunungpati, Semarang sebagai berikut:

1. Perancangan gedung pendidikan 8 lantai di Gunungpati, Semarang dengan kondisi Tanah Sedang (SD) yang menggunakan sistem struktur ganda (SRPMK dan SDKS) dengan parameter desain pada Tabel 4.53 sebagai berikut:

Tabel 4.53. Parameter Respons Spektra

Parameter Respons Spektra		
Kategori Risiko		II
Faktor Keutamaan	I_e	1
Klasifikasi Situs		SD (Tanah Sedang)
Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek	S_s	0,911
Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik	S_1	0,391
Faktor amplifikasi periode pendek	F_a	1,1356
Faktor amplifikasi periode 1 detik	F_v	1,909
Percepatan pada periode pendek	S_{MS}	1,035
Percepatan pada periode 1 detik	S_{M1}	0,745
Percepatan desain pada periode pendek	S_{DS}	0,69
Percepatan desain pada periode 1 detik	S_{D1}	0,5
Parameter periode	T_0	0,14
	T_s	0,72
Parameter Sistem Ganda		
Faktor koefisien modifikasi	R	7
Faktor kuat lebih sistem	Ω_0	2,5
Faktor pembesaran defleksi	C_d	5,5

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

2. Analisis hasil respon dinamik struktur akibat pembebanan gempa sebagai berikut:

a) Analisis Respon Dinamik

Dari analisis respon dinamik, diperoleh hasil partisipasi massa sebagai berikut:

- Mode 1 = Translasi arah X sebesar 0,826
- Mode 2 = Translasi arah Y sebesar 0,785

- Mode 3 = Rotasi arah Z sebesar 0,601

b) Analisis Gempa dari Struktur Atas

Dari analisis dinamik respon spektrum, diperoleh hasil sebagai berikut:

- Beban gempa untuk arah X
 - $T_x = 0,826$ detik
 - $V_{\text{dinamik } X} = 5000,9234$ kN
- Beban gempa untuk arah Y
 - $T_y = 0,785$ detik
 - $V_{\text{dinamik } Y} = 4994,9393$ kN

c) Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat (*Story Drift*) telah memenuhi syarat. Adapun simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi adalah:

- $\text{Story Drift } X = 147,88 \text{ mm} < 0,01 h / \rho = 210,77 \text{ mm}$
- $\text{Story Drift } Y = 146,18 \text{ mm} < 0,01 h / \rho = 210,77 \text{ mm}$

d) Pengecekan Efek P-Delta

Pengecekan efek P-Delta dari struktur menyimpulkan bahwa struktur tidak dipengaruhi oleh efek P-Delta.

e) Pengecekan Ketidakberaturan Torsi

Pengecekan ketidakberaturan torsi menyimpulkan bahwa tidak terdapat ketidakberaturan torsi horizontal dan tidak terdapat ketidakberaturan torsi vertikal arah X dan arah Y.

3. Analisis gaya dalam yang diperoleh dengan menggunakan ETABS sebagai berikut:

a) Pelat

Dimensi pelat 4200 x 6000 mm dengan tebal 125 mm

- M_{max} akibat $M_{11 \text{ max}} = 2,429$ kN-m
- M_{min} akibat $M_{11 \text{ min}} = -4,562$ kN-m
- M_{max} akibat $M_{22 \text{ max}} = 1,216$ kN-m
- M_{min} akibat $M_{22 \text{ min}} = -2,225$ kN-m
- $V_u = 6,789$ kN

b) Balok

Dimensi balok G1 400 x 700 mm

▪ M_u tumpuan (-)	= -339,4408 kN-m	▪ P_u	= 0 kN
▪ M_u tumpuan (+)	= 328,8458 kN-m	▪ V_u tumpuan	= 265,8908 kN
▪ M_u lapangan (-)	= -258,844 kN-m	▪ V_u lapangan	= 234,2717 kN
▪ M_u lapangan (+)	= 236,3576 kN-m	▪ T_u	= 94,7484 kN-m

Dimensi balok G2 350 x 500 mm

▪ M_u tumpuan (-)	= -161,4829 kN-m	▪ P_u	= 0 kN
▪ M_u tumpuan (+)	= 125,1057 kN-m	▪ V_u tumpuan	= 112,5484 kN
▪ M_u lapangan (-)	= -56,3997 kN-m	▪ V_u lapangan	= 99,7184 kN
▪ M_u lapangan (+)	= 70,2595 kN-m	▪ T_u	= 28,1808 kN-m

Dimensi balok G3 250 x 500 mm

▪ M_u tumpuan (-)	= -114,2741 kN-m	▪ P_u	= 0 kN
▪ M_u tumpuan (+)	= 68,302 kN-m	▪ V_u tumpuan	= 62,6443 kN
▪ M_u lapangan (-)	= -54,046 kN-m	▪ V_u lapangan	= 47,5237 kN
▪ M_u lapangan (+)	= 55,3773 kN-m	▪ T_u	= 10,6174 kN-m

Dimensi balok G4 200 x 250 mm

▪ M_u tumpuan (-)	= -18,2679 kN-m	▪ P_u	= 0 kN
▪ M_u tumpuan (+)	= 13,3808 kN-m	▪ V_u tumpuan	= 23,8814 kN
▪ M_u lapangan (-)	= -13,3758 kN-m	▪ V_u lapangan	= 23,5586 kN
▪ M_u lapangan (+)	= 11,0126 kN-m	▪ T_u	= 0,3 kN-m

Dimensi balok B1 200 x 400 mm

▪ M_u tumpuan (-)	= -48,3923 kN-m	▪ P_u	= 0 kN
▪ M_u tumpuan (+)	= 15,3938 kN-m	▪ V_u tumpuan	= 37,6803 kN
▪ M_u lapangan (-)	= -14,5649 kN-m	▪ V_u lapangan	= 35,2321 kN
▪ M_u lapangan (+)	= 31,0601 kN-m	▪ T_u	= 0,3128 kN-m

c) Kolom

Dimensi kolom K1 550 x 550 mm

- P_u kolom atas = 2077,3841 kN
- P_u kolom desain = 2371,156 kN
- P_u kolom bawah = 0 kN
- M_{ux} kolom atas = 164,29 kN
- M_{ux} kolom desain = 104,8296 kN
- M_{ux} kolom bawah = 0 kN

Dimensi kolom K2 450 x 450 mm

- P_u kolom atas = 661,1179 kN
- P_u kolom desain = 970,4279 kN
- P_u kolom bawah = 133,3829 kN
- M_{ux} kolom atas = 142,08 kN
- M_{ux} kolom desain = 130,7683 kN
- M_{ux} kolom bawah = 213,1923 kN

Dimensi kolom K3 400 x 400 mm

- P_u kolom atas = 0 kN
- P_u kolom desain = 153,8276 kN
- P_u kolom bawah = 376,4392 kN
- M_{ux} kolom atas = 0 kN
- M_{ux} kolom desain = 72,291 kN
- M_{ux} kolom bawah = 71,0613 kN

d) Dinding Geser

Dimensi dinding geser 300 x 2450 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.54 sebagai berikut:

Tabel 4.54. Gaya Dalam pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur				Gaya Geser	
Kondisi	P (kN)	M ₂ (kNm)	M ₃ (kNm)		
P _{max}	-50,742	110,115	158,021	V ₂ (kN)	685,930
P _{min}	-2640,530	-122,883	-3658,793		
M ₂ Max	-222,935	156,172	443,046		
M ₂ Min	-1196,535	-153,292	-757,261	V ₃ (kN)	88,336
M ₃ Max	-875,157	123,930	3592,973		
M ₃ Min	-2640,530	-122,883	-3658,793		

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dimensi dinding geser 200 x 3000 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.55 sebagai berikut:

Tabel 4.55. Gaya Dalam pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur				Gaya Geser	
Kondisi	P (kN)	M ₂ (kNm)	M ₃ (kNm)		
P _{max}	458,290	3,454	791,726	V ₂ (kN)	2070,887
P _{min}	-1765,571	-22,233	-6872,511		
M ₂ Max	13,538	55,715	1171,136		
M ₂ Min	-166,450	-77,023	-357,084	V ₃ (kN)	39,036
M ₃ Max	419,549	24,612	6946,651		
M ₃ Min	-1765,571	-22,233	-6872,511		

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dimensi dinding geser 300 x 5050 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.56 sebagai berikut:

Tabel 4.56. Gaya Dalam pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur				Gaya Geser	
Kondisi	P (kN)	M ₂ (kNm)	M ₃ (kNm)		
P _{max}	727,434	64,842	13601,123	V ₂ (kN)	2757,525
P _{min}	-4453,311	-232,815	-22633,284		
M ₂ Max	405,167	278,585	8848,956		
M ₂ Min	-1871,366	-277,247	-3306,311	V ₃ (kN)	160,807
M ₃ Max	144,585	215,797	25665,913		
M ₃ Min	-4073,438	-242,691	-26269,039		

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dimensi dinding geser 300 x 5050 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.57 sebagai berikut:

Tabel 4.57. Gaya Dalam pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur				Gaya Geser	
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)		
$P_{\max}$	727,434	64,842	13601,123	V_2 (kN)	2757,525
$P_{\min}$	-4453,311	-232,815	-22633,284		
$M_{2\max}$	405,167	278,585	8848,956		
$M_{2\min}$	-1871,366	-277,247	-3306,311	V_3 (kN)	160,807
$M_{3\max}$	144,585	215,797	25665,913		
$M_{3\min}$	-4073,438	-242,691	-26269,039		

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Dimensi dinding geser 300 x 7800 mm

Gaya dalam dapat dilihat pada Tabel 4.58 sebagai berikut:

Tabel 4.58. Gaya Dalam pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur				Gaya Geser	
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)		
$P_{\max}$	-156,397	526,385	556,875	V_2 (kN)	2618,920
$P_{\min}$	-5081,613	-9169,272	-14098,161		
$M_{2\max}$	-778,952	8877,312	14307,333		
$M_{2\min}$	-5081,613	-9169,272	-14098,161	V_3 (kN)	817,856
$M_{3\max}$	-778,952	8877,312	14307,333		
$M_{3\min}$	-5081,613	-9169,272	-14098,161		

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

4. Hasil perancangan berupa desain elemen struktur yang dapat memikul beban gempa dan beban gravitasi sebagai berikut:

a) Pelat

Rekapitulasi hasil penulangan pelat beton pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.59 sebagai berikut:

Tabel 4.59. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

Pelat	L_x (m)	L_y (m)	Arah	Tumpuan		Lapangan	
				Atas	Bawah	Atas	Bawah
S1	4,2	6	X	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200
			Y	D10-200	D10-200	D10-200	D10-200

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

b) Balok

Rekapitulasi hasil penulangan balok pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.60 sebagai berikut:

Tabel 4.60. Rekapitulasi Tulangan Balok

Balok Kode	Dimensi (cm)	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tul. Torsi
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
G1	40 × 70	Atas	7 D22	5 D22	3D10-100	3D10-150	2 D10
		Bawah	5 D22	7 D22			
G2	35 × 50	Atas	6 D19	4 D19	3D10-100	3D10-150	2 D10
		Bawah	4 D19	6 D19			
G3	25 × 50	Atas	4 D19	3 D19	2D10-100	2D10-150	2 D10
		Bawah	3 D19	4 D19			
G4	20 × 25	Atas	3 D19	3 D19	2D10-100	2D10-100	2 D10
		Bawah	3 D19	3 D19			
B1	20 × 40	Atas	3 D19	3 D19	2D10-100	2D10-100	2 D10
		Bawah	3 D19	3 D19			

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

c) Kolom

Rekapitulasi hasil penulangan kolom pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.61 sebagai berikut:

Tabel 4.61. Rekapitulasi Tulangan Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi Kolom	Tulangan Pokok	Tulangan Geser	
				Tumpuan	Lapangan
1	K1	550 × 550	20 D22	4 D13-100	4 D13-100
2	K2	450 × 450	16 D19	3 D13-100	3 D13-100
3	K3	400 × 400	16 D19	3 D13-100	3 D13-100

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

d) Dinding Geser

Rekapitulasi hasil penulangan dinding geser pada perancangan ditunjukkan pada Tabel 4.62 sampai 4.65 sebagai berikut:

Tabel 4.62. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 01

Tulangan Kolom	
Longitudinal	6 D16
Transversal (Sejajar Lebar)	4 D13-100
Transversal (Sejajar Panjang)	4 D13-100
Tulangan Badan	
Longitudinal	2 D16-200
Transversal	2 D16-150
Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar)	4 D13-100
Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang)	6 D13-100

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.63. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 02

Tulangan Kolom	
Longitudinal	16 D16
Transversal (Sejajar Lebar)	3 D16-100
Transversal (Sejajar Panjang)	3 D16-100
Tulangan Badan	
Longitudinal	2 D16-200
Transversal	2 D16-200
Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar)	4 D13-100
Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang)	4 D13-100

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.64. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 03

Tulangan Kolom	
Longitudinal	6 D16
Transversal (Sejajar Lebar)	3 D16-100
Transversal (Sejajar Panjang)	3 D16-100

Tabel 4.64. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 03 (Lanjutan)

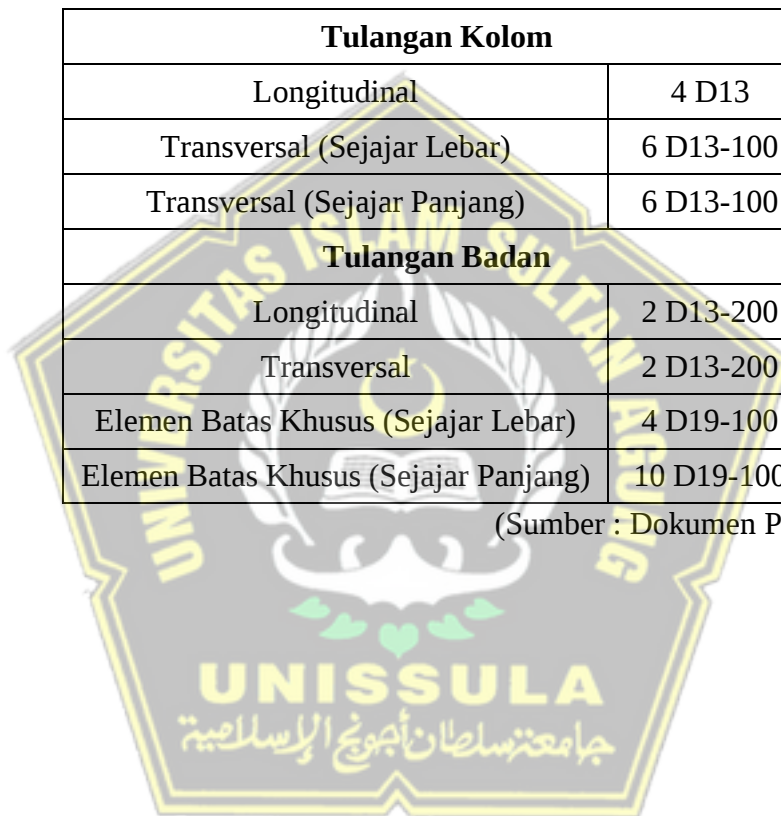
Tulangan Badan	
Longitudinal	2 D16-200
Transversal	2 D16-200
Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar)	4 D13-100
Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang)	4 D13-100

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)

Tabel 4.65. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser 04

Tulangan Kolom	
Longitudinal	4 D13
Transversal (Sejajar Lebar)	6 D13-100
Transversal (Sejajar Panjang)	6 D13-100
Tulangan Badan	
Longitudinal	2 D13-200
Transversal	2 D13-200
Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar)	4 D19-100
Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang)	10 D19-100

(Sumber : Dokumen Penulis, 2022)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perancangan Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang yang telah dibahas pada laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU) SEMARANG”

didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Gaya gempa yang dirancang sesuai dengan SNI 1726–2019 pada Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang sebagai berikut :
 - a. Kontrol bentuk ragam dan partisipasi massa bangunan telah terpenuhi pada ragam 23 dari total ragam 23 untuk arah UX, UY, dan RZ. Sehingga partisipasi massa bangunan tranlasi arah X, Y, dan Z telah terpenuhi yaitu 100 % dari massa struktur.
 - b. Simpangan antar lantai pada Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang telah direncanakan sesuai peraturan yang ada dengan hasil simpangan antar lantai terbesar adalah arah X sebesar 147,88 mm dan arah Y sebesar 146,18 mm.
2. Hasil penulangan struktur pada Gedung A Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang sebagai berikut :
 - a. Penulangan pelat lantai pada perancangan ini menggunakan tebal 120 mm dengan diameter tulangan D10–200 pada tumpuan dan lapangan dengan arah X dan Y.
 - b. Penulangan balok yang ditinjau pada perancangan ini menggunakan dimensi balok 400 x 700 mm dengan diameter tulangan bagian atas 7 D 22 pada area tumpuan dan 5 D 22 pada area lapangan, sedangkan diameter tulangan bagian bawah 5 D 22 pada area tumpuan dan 7 D 22 area lapangan.

- c. Penulangan kolom yang ditinjau pada perancangan ini menggunakan dimensi kolom 550 x 550 mm dengan diameter tulangan pokok 20 D 22, diameter tulangan geser tumpuan 4 D 13–100, dan diameter tulangan geser lapangan 4 D 13–100.
- d. Penulangan dinding geser yang ditinjau pada perancangan ini yang terletak pada area kolom dinding geser menggunakan tulangan longitudinal dengan diameter 6 D 16, tulangan transversal (sejajar lebar) 4 D 13–100, tulangan transversal (sejajar panjang) 4 D 13–100, sedangkan untuk area badan dinding geser menggunakan tulangan longitudinal dengan diameter 2 D 16–200, tulangan transversal 2 D 16–150, tulangan *confinement* Elemen Batas Khusus (sejajar lebar) 4 D 13–100, tulangan *confinement* Elemen Batas Khusus (sejajar panjang) 6 D 13 – 100.
- e. Penulangan hubungan balok – kolom yang ditinjau pada perancangan ini menggunakan dimensi 550 x 550 mm dengan diameter tulangan transversal *confinement* 4 D 13–100, tulangan longitudinal 4 D 19 pada bagian kanan balok, dan 4 D 19 pada bagian kiri balok.

5.2 Saran

Penulisan dari Tugas Akhir yang berjudul “PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG A RUMAH SUSUN POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM (PU) SEMARANG” ini masih belum dapat dikatakan sempurna dikarenakan masih banyaknya kekurangan di dalamnya. Saran dari penulis untuk penulisan Tugas Akhir berikutnya adalah sebagai berikut :

1. Pada proses perancangan balok, kolom, pelat dan *Shear Wall* dengan memperbesar maupun memperkecil dimensi beton merupakan cara yang masih belum efisien dalam proses perancangannya, karena memperkecil dimensi beton maka akan membutuhkan tulangan yang banyak, jika memperbesar dimensi beton jumlah tulangan akan lebih sedikit, tetapi cara ini juga masih belum efisien, sehingga perlu

dicari dimensi beton dan jumlah tulangan yang optimum jika ingin merancang suatu bangunan yang efisien.

2. Pada *trial error* yang sudah dilakukan, penambahan *Shear Wall* pada perancangan bangunan dan tahan gempa perlu diperhatikan dikarenakan syarat struktur sistem ganda yaitu rangka pemikul momen harus mampu menahan 25% beban gempa desain, sedangkan untuk *Shear Wall* menahan maksimal 75% beban gempa desain.



DAFTAR PUSTAKA

- Standardisasi Nasional Indonesia. (2019). SNI 1726:2019 “*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*”. BSN, Jakarta, Indonesia.
- Standardisasi Nasional Indonesia. (2019). SNI 2847:2019 “*Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*”. BSN, Jakarta, Indonesia.
- Standardisasi Nasional Indonesia. (2020). SNI 1727:2020 “*Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*”. BSN, Jakarta, Indonesia.
- Noer, Adji, Alim Agus, and Joko Prayogi. (2022). “*REDESAIN GEDUNG HOTEL 12 LANTAI (Studi Pada Gedung SkySuites Soho Kedung Baruk Surabaya)*”. Semarang: Universitas Islam Sultan Agung Semarang
- SALAMAH, UMI. (2015). “*PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG (OK,CSSD) RUMAH SAKIT PARU JEMBER 8 LANTAI DENGAN STRUKTUR BETON BERTULANG MENGGUNAKAN SRPMM*”. Jember: Universitas Jember
- Septiyadi, muchammad Danang Fajri dan Alleandro Cahya Pratama. (2022). “*PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG HOTEL TUJUH LANTAI ADHYASTA ABIMANA SEMARANG*”. Semarang: Universitas Semarang
- Fadli, M. Hamzah. (2015). “*Aplikasi ETABS pada Perancangan Gedung 15 Lantai Dengan Struktur Beton Bertulang Menggunakan Sistem Ganda Sebagai Penahan Beban Gempa Sesuai SNI 1726:2012*”. Jakarta: Universitas Gunadarma
- Imran, I. dan Zulkifli, E. (2014). “*Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*”. Bandung: ITB Press
- Imran, I. dan Hendrik, F. (2016). “*Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*”. Bandung: ITB Press

- Frinsilia Jaglien Liando dkk. (2020). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Kuliah 5 Lantai. Jurnal Sipil Statik*. Vol 8, Nomer 4: 471-482.
Manado: Universitas Sam Ratulangi Manado
- Laresi, Y. T. (2017). *Analisis Pushover Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai, Skripsi*. Jakarta: Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie
- Puspita, Rizka Rahmi. (2017). *Desain Struktur Gedung Hotel Swiss-Bellin Darmocentrum Pekerjaan Balok-Plat Lantai*. Surabaya: ITS Digilib
- Raga, Chyntya Novita. (2021). *Perencanaan Ulang Struktur Atas dan Utama Gedung Perkantoran Bumi Mandiri Surabaya Jawa Timur*. Malang: Politeknik Negeri Malang

