

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS
GEDUNG PENDIDIKAN 8 LANTAI
DI GUNUNGPATI SEMARANG**

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



Disusun Oleh :

**Sultan Haikal Salsabiel
NIM : 30201800175**

**Syahid Mansur Shofyansah
NIM : 30201800176**

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

2023

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS
GEDUNG PENDIDIKAN 8 LANTAI
DI GUNUNGPATI SEMARANG**

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



Disusun Oleh :

Sultan Haikal Salsabiel

Syahid Mansur Shofyansah

NIM : 30201800175

NIM : 30201800176

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

2023

HALAMAN PENGESAHAN

PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG PENDIDIKAN 8 LANTAI DI GUNUNGPATI SEMARANG



Sultan Haikal Salsabiel
NIM : 30201800175



Syahid Mansur Shofyansah
NIM : 30201800176

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 24 Januari 2023

Tim Penguji

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

Tanda Tangan

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: 08 / A.2 / SA - T / XII / 2022

Pada hari ini tanggal 24 Januari 2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT.,Ph.D
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Dr. Ir. H. Sumirin, MS
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Sultan Haikal Salsabiel Syahid Mansur Shofyansah
NIM : 30201800175 NIM : 30201800176

Judul : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung Pendidikan 8 Lantai
di Gunungpati Semarang

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	22 Februari 2022	-
2	Seminar Proposal	21 Juni 2022	ACC
3	Pengumpulan data	14 Juli 2022	-
4	Analisis data	25 Agustus 2022	-
5	Penyusunan laporan	05 Oktober 2022	-
6	Selesai laporan	20 Desember 2022	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama

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

Dosen Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. H. Sumirin, MS

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST, M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Sultan Haikal Salsabiel

NIM : 30201800175

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung Pendidikan 8 Lantai di Gunungpati 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, 24 Januari 2023

Yang membuat pernyataan,



Handwritten signature of Sultan Haikal Salsabiel.

Sultan Haikal Salsabiel

NIM : 30201800175



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Syahid Mansur Shofyansah

NIM : 30201800176

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung Pendidikan 8 Lantai di Gunungpati 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, 24 Januari 2023

Yang membuat pernyataan,



Syahid Mansur Shofyansah

NIM : 30201800176



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Sultan Haikal Salsabiel
NIM : 30201800175
JUDUL TUGAS AKHIR : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung Pendidikan 8 Lantai di Gunungpati 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, 24 Januari 2023
Yang membuat pernyataan,



Sultan Haikal Salsabiel
NIM : 30201800175

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Syahid Mansur Shofyansah
NIM : 30201800176
JUDUL TUGAS AKHIR : Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung Pendidikan 8 Lantai di Gunungpati 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, 24 Januari 2023
Yang membuat pernyataan,



Syahid Mansur Shofyansah
NIM : 30201800176

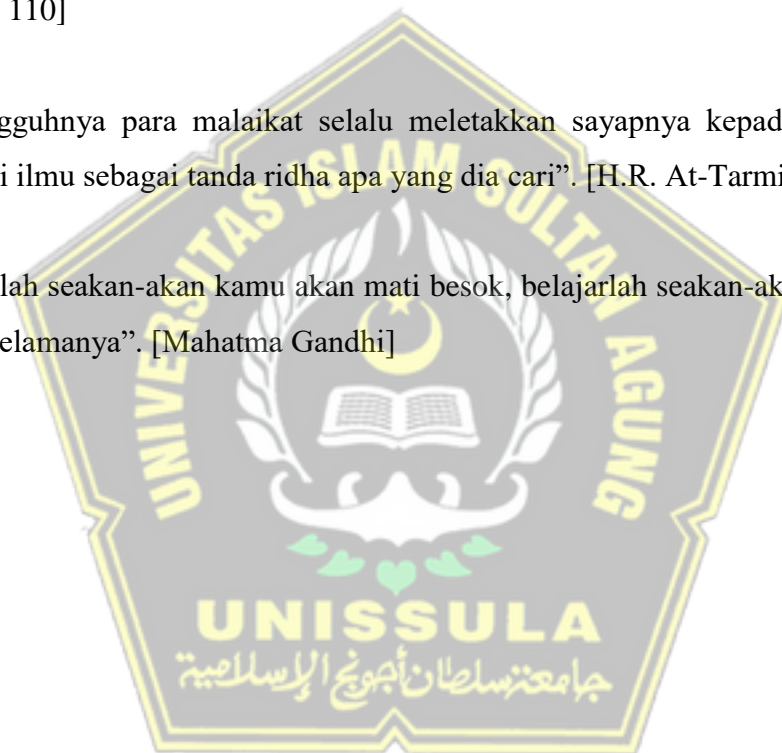
MOTTO

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

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

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

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



PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Rachmat Eka Gunawan dan Ibu Lely Liestiani, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran, dan do'a.
2. Dosen-dosen UNISSULA Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil yang telah membagikan ilmu.
3. Bapak dosen pembimbing Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT, Ph.D dan Dr. Ir. H. Sumirin, MS yang dengan sabar membimbing dalam pengerjaan tugas akhir kami.
4. Syahid Mansur Shofyansah rekan tugas, teman seperjuangan, teman sepermainan, dan saudara seiman.
5. Ardevia Calista Salsabiela dan Arnevia Calista Queensabiela yang selalu mendoakan dari jauh dan memberikan semangat untukku.
6. Sahrul Budiyanto yang sabar membantu dan mengajari dalam pengerjaan tugas akhir ini.
7. Teman-teman teknik sipil Angkatan 2018 dan semua teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan semangat.

Sultan Haikal Salsabiel
NIM : 30201800175

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Santoso dan Ibu Maskonah, atas semua cinta, pengertian, kasih sayang, kesabaran, dan do'a.
2. Dosen-dosen UNISSULA Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil yang telah membagikan ilmu.
3. Bapak dosen pembimbing Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT, Ph.D dan Dr. Ir. H. Sumirin, MS yang dengan sabar membimbing dalam pengerjaan tugas akhir kami.
4. Sultan Haikal Salsabiel rekan tugas, teman seperjuangan, teman sepermainan, dan saudara seiman.
5. Siti Hanif Mahmudah, Yusnur Efendi Pamungkas, dan Alina Nafisah Ramadhani yang selalu mendoakan dari jauh dan memberikan semangat untukku.
6. Sahrul Budiyanto yang sabar membantu dan mengajari dalam pengerjaan tugas akhir ini.
7. Afifah Fadhilah Harsyah yang selalu menemani dan membantu dalam segala kondisi dalam pengerjaan tugas akhir.
8. Teman-teman teknik sipil Angkatan 2018 dan semua teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan semangat.

Syahid Mansur Shofyansah
NIM : 30201800176

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung Pendidikan 8 Lantai di Gunungpati Semarang”** guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

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

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT, Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST, M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT, Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan tugas akhir ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

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

Semarang,

Sultan Haikal Salsabiel (30201800175)

Syahid Mansur Shofyansah (30201800176)

DAFTAR ISI

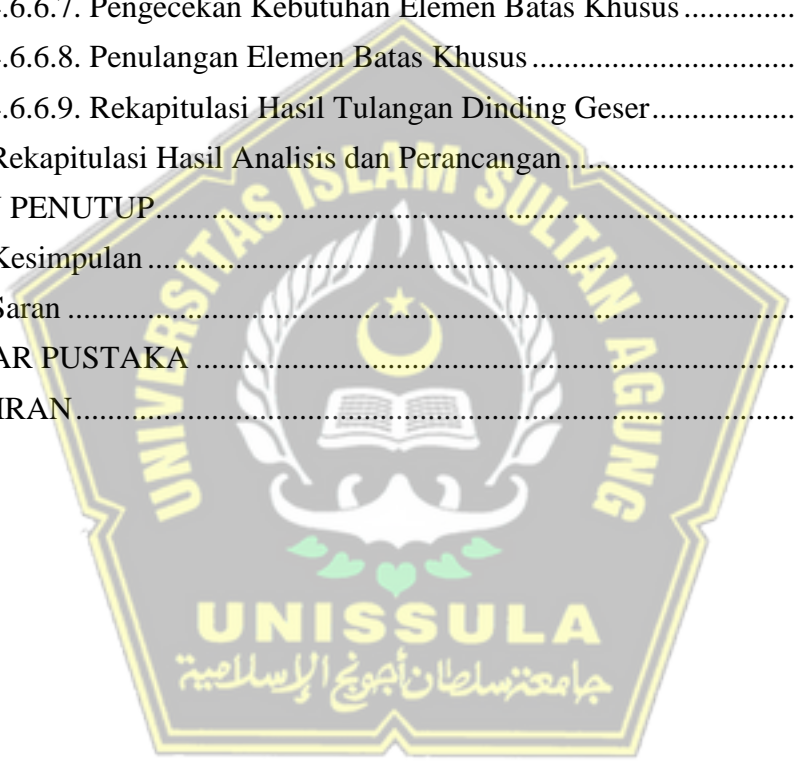
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xxii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxix
ABSTRAK.....	xxx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Sistematika Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Konsep Struktur.....	4
2.2. Sistem Struktur Penahan Gempa	4
2.2.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	4
2.2.2. Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>)	5
2.2.3. Sistem Ganda (<i>Dual System</i>).....	5
2.3. Beban yang Beraksi pada Struktur Bangunan Gedung.....	6
2.3.1. Beban Mati (<i>Dead Load</i>).....	6
2.3.2. Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	7
2.3.3. Beban Gempa	11
2.3.4. Faktor Beban dan Kombinasi Beban.....	12
2.3.5. Reduksi Faktor Kekuatan (ϕ)	13
2.4. Perancangan Struktur Bangunan Gedung.....	14

2.5. Perancangan Struktur Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019.....	14
2.5.1. Gempa Rencana.....	15
2.5.2. Risiko Kategori Bangunan dan Keutamaan Faktor Gempa	15
2.5.3. Klasifikasi Situs.....	18
2.5.4. Indikator Respons Spektral Akselerasi Gempa Tertarget	18
2.5.5. Indikator Akselerasi Desain Spektral	20
2.5.6. Spektrum Respons Desain.....	20
2.5.7. Desain Kategori Seismik	22
2.5.8. Kombinasi Sistem Pemikul Gaya Seismik pada Perbedaan Arah.....	23
2.5.9. Periode Pendekatan Fundamental.....	24
2.5.10. Periode Struktur Fundamental.....	24
2.5.11. Gaya Geser Seismik Dasar	25
2.5.12. Simpangan Antar Tingkat	26
2.5.13. Pengaruh P-Delta.....	27
2.5.14. Analisis Ragam Spektrum Respons	28
2.5.15. Ketidakberaturan Struktur	28
2.5.15.1. Ketidakberaturan Horizontal.....	28
2.5.15.2. Ketidakberaturan Vertikal.....	31
2.6. Perancangan Elemen Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2019	32
2.6.1. Perancangan Pelat.....	33
2.6.2. Perancangan Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	34
2.6.3. Perancangan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	38
2.6.4. Pengecekan Syarat <i>Strong Column-Weak Beam</i>	41
2.6.5. Perancangan Hubungan Balok - Kolom (<i>Joint</i>) pada SRPMK	41
2.6.6. Perancangan Dinding Geser	42
2.6.6.1. Tulangan Minimum.....	44
2.6.6.2. Batas Tinggi Bangunan Bertingkat untuk Dinding Geser.....	44
2.6.6.3. Pengukuran Dinding Struktural.....	44
2.6.6.4. Pengekangan pada Dinding Geser	45
BAB III METODE PERANCANGAN.....	47
3.1. Pengumpulan Data.....	47
3.2. Standar Perancangan.....	47
3.3. Tahapan Analisis dan Perancangan	47

3.3.1. Tahapan Analisis	47
3.3.1.1. Pemodelan Struktur	48
3.3.1.2. Pembebanan Struktur	59
3.3.1.3. Analisis Struktur	70
3.3.2. Tahapan Perancangan	70
3.3.2.1. Tahapan Perancangan Pelat	70
3.3.2.2. Tahapan Perancangan Balok	70
3.3.2.3. Tahapan Perancangan Kolom	71
3.3.2.4. Tahapan Pengecekan Syarat <i>Strong Column-Weak Beam</i>	71
3.3.2.5. Tahapan Perancangan Hubungan Balok-Kolom (<i>Joint</i>)	71
3.3.2.6. Tahapan Perancangan Dinding Geser	72
3.4. Diagram Alir	73
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	74
4.1. Data Struktur Gedung	74
4.1.1. Deskripsi Umum Struktur	74
4.1.2. Perencanaan Awal Dimensi Struktur (<i>Preliminary Design</i>)	77
4.1.2.1. <i>Preliminary</i> Elemen Pelat	77
4.1.2.2. <i>Preliminary</i> Elemen Balok	79
4.1.2.3. <i>Preliminary</i> Elemen Kolom	79
4.1.2.4. <i>Preliminary</i> Elemen Dinding Geser	83
4.2. Pemodelan Elemen Struktur	84
4.2.1. Pemodelan Pelat	84
4.2.2. Pemodelan Balok	85
4.2.3. Pemodelan Kolom	85
4.2.4. Pemodelan Dinding Geser	86
4.3. Pembebanan Struktur	87
4.3.1. Pembebanan Gravitasi	87
4.3.2. Pembebanan Gempa	88
4.3.3. Kombinasi Pembebanan Struktur	92
4.4. Analisis Pemodelan Struktur	93
4.4.1. Pemodelan 1	94
4.4.2. Pemodelan 2	97
4.4.3. Pemodelan 3	100
4.4.4. Pemodelan yang Digunakan	103
4.5. Pengecekan Perilaku Struktur Bangunan	104
4.5.1. Rasio Partisipasi Massa	104

4.5.2. Perhitungan Faktor Skala Gempa.....	104
4.5.2.1. Perhitungan Koefisien Respons Seismik (C_s).....	104
4.5.2.2. Perhitungan Faktor Skala Gaya.....	105
4.5.3. Pengecekan Gaya Geser	108
4.5.4. Pengecekan Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>).....	109
4.5.5. Pengecekan P-Delta.....	112
4.5.6. Pengecekan Eksentrisitas dan Torsi	113
4.5.6.1. Pengecekan Eksentrisitas	113
4.5.6.2. Perhitungan Ketidakberaturan Torsi	116
4.5.7. Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal yang Dicek.....	118
4.5.8. Pengecekan Kontribusi <i>Frame</i> Memikul Minimal 25% Gaya Lateral.....	122
4.6. Perancangan Elemen Struktur Beton Bertulang	123
4.6.1. Perancangan Pelat.....	123
4.6.1.1. Properti Material dan Penampang.....	123
4.6.1.2. Gaya Dalam.....	124
4.6.1.3. Penulangan Lentur Pelat (analisis untuk per m')	124
4.6.1.4. Pengecekan Kapasitas Geser.....	136
4.6.1.5. Pengecekan Lendutan Pelat.....	137
4.6.1.6. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat.....	142
4.6.2. Perancangan Balok.....	142
4.6.2.1. Properti Material dan Penampang.....	142
4.6.2.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok.....	144
4.6.2.3. Perhitungan Tulangan Transversal Balok.....	158
4.6.2.4. Perhitungan Tulangan Torsi Balok.....	164
4.6.2.5. Rekapitulasi Hasil Tulangan Balok.....	175
4.6.3. Perancangan Kolom	176
4.6.3.1. Properti Material dan Penampang.....	176
4.6.3.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom	177
4.6.3.3. Perhitungan Tulangan Transversal Kolom	179
4.6.3.4. Rekapitulasi Hasil Tulangan Kolom.....	185
4.6.4. Pengecekan Persyaratan <i>Strong Column-Weak Beam</i>	185
4.6.5. Perancangan Hubungan Balok-Kolom (<i>Joint</i>)	186
4.6.5.1. Persyaratan Panjang <i>Joint</i>	186
4.6.5.2. Tulangan Geser <i>Confinement</i>	186
4.6.5.3. Gaya Geser <i>Joint</i>	186
4.6.5.4. Gaya Geser pada Kolom	187

4.6.5.5. Gaya Geser pada Tulangan Longitudinal Balok	187
4.6.5.6. Kuat Geser pada <i>Joint</i>	187
4.6.5.7. Kuat Geser yang dikekang Keempat Sisi.....	188
4.6.6. Perancangan Dinding Geser	189
4.6.6.1. Properti Material dan Penampang	189
4.6.6.2. Gaya Dalam.....	190
4.6.6.3. Pengecekan Geometri.....	191
4.6.6.4. Kebutuhan Tulangan Minimum	191
4.6.6.5. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (<i>SPColumn</i>)...	192
4.6.6.6. Pengecekan Kapasitas Geser.....	194
4.6.6.7. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus	194
4.6.6.8. Penulangan Elemen Batas Khusus	197
4.6.6.9. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser.....	201
4.7. Rekapitulasi Hasil Analisis dan Perancangan.....	203
BAB V PENUTUP.....	209
5.1. Kesimpulan	209
5.2. Saran	210
DAFTAR PUSTAKA	211
LAMPIRAN.....	212



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Indikator Gerak Tanah (S_s) Maksimal Gempa yang Ditinjau Risiko-Tertarget (MCE_R)	19
Gambar 2. 2. Indikator Gerak Tanah (S_1) Maksimal Gempa yang Ditinjau Risiko-Tertarget (MCE_R)	19
Gambar 2. 3. Spektrum Respons Desain	21
Gambar 2. 4. Peta Peralihan Periode Panjang (T_L).....	22
Gambar 2. 5. Penentuan Simpangan Antar Tingkat	26
Gambar 2. 6. Bentuk Ketidakberaturan Horizontal	30
Gambar 2. 7. Bentuk Ketidakberaturan Vertikal	32
Gambar 2. 8. Maksimum Lebar Efektif Balok Lebar (<i>Wide Beam</i>).....	35
Gambar 2. 9. Syarat Tulangan Lentur SRPMK.....	36
Gambar 2. 10. Syarat Lewatan Sambungan SRPMK.....	36
Gambar 2. 11. Contoh Senggang Tertutup (<i>Hoop</i>) Terpasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Spasi Maksimum Horizontal Penopang Batang Longitudinal ..	37
Gambar 2. 12. Desain Geser Kolom dan Balok	38
Gambar 2. 13. Contoh Penulangan Transversal Kolom	39
Gambar 2. 14. Luas Efektif <i>Joint</i>	40
Gambar 3. 1. Awal Tampilan ETABS.....	48
Gambar 3. 2. <i>Model Initialization</i>	49
Gambar 3. 3. <i>Model Grid</i>	49
Gambar 3. 4. <i>Edit Grid</i>	50
Gambar 3. 5. Tampilan <i>Grid</i> dan <i>Story</i>	50
Gambar 3. 6. <i>Input Material Properties</i>	51
Gambar 3. 7. <i>Section Shape Concrete</i>	51
Gambar 3. 8. <i>Input Dimensi Kolom/Balok</i>	52
Gambar 3. 9. <i>Reinforcement Data Column</i>	53
Gambar 3. 10. <i>Reinforcement Data Beam</i>	54
Gambar 3. 11. <i>Input Dimensi Pelat</i>	55
Gambar 3. 12. <i>Plan View</i> Lantai 1 Pemodelan Awal	56
Gambar 3. 13. <i>Plan View</i> Lantai 2 – 8 Pemodelan Awal	57
Gambar 3. 14. <i>Plan View</i> Atap Pemodelan Awal.....	58
Gambar 3. 15. <i>3D View</i> Pemodelan Awal	59
Gambar 3. 16. <i>Define Load Patterns</i>	60
Gambar 3. 17. <i>Load Case Data</i>	61
Gambar 3. 18. <i>Input</i> Beban Mati Tambahan	61
Gambar 3. 19. <i>Input</i> Beban Hidup.....	62
Gambar 3. 20. <i>Input</i> Gaya Lateral EX.....	62
Gambar 3. 21. <i>ASCE 7 – 16 Seismic Loading X-Direction (Time Period Program)</i>	63
Gambar 3. 22. Spektrum Respons Desain Kota Semarang	65
Gambar 3. 23. Parameter Spektral Tanah Sedang Kota Semarang	65
Gambar 3. 24. <i>Input</i> Gaya Lateral EY	66
Gambar 3. 25. <i>ASCE 7 – 16 Seismic Loading Y-Direction (Time Period Program)</i>	66
Gambar 3. 26. <i>ASCE 7-16</i> Respon Spektrum.....	67

Gambar 3. 27. <i>Load Case Data SPEC-X</i>	68
Gambar 3. 28. <i>Load Case Data SPEC-Y</i>	69
Gambar 4. 1. Denah Lantai Gedung Pendidikan di Gunungpati, Semarang.....	75
Gambar 4. 2. Denah Lantai 1-8 Pemodelan Awal.....	75
Gambar 4. 3. Desain Spektrum Respons Lokasi Perancangan.....	92
Gambar 4. 4. Denah Lantai 1-8 Pemodelan 1.....	94
Gambar 4. 5. Model 3D Pemodelan 1.....	94
Gambar 4. 6. Diagram <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 1.....	95
Gambar 4. 7. Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 1.....	96
Gambar 4. 8. Denah Lantai 1-8 Pemodelan 2.....	97
Gambar 4. 9. Model 3D Pemodelan 2.....	97
Gambar 4. 10. Diagram <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 2.....	98
Gambar 4. 11. Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 2.....	99
Gambar 4. 12. Denah Lantai 1-8 Pemodelan 3.....	100
Gambar 4. 13. Model 3D Pemodelan 3.....	100
Gambar 4. 14. Diagram <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 3.....	101
Gambar 4. 15. Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 3.....	102
Gambar 4. 16. Gaya Geser Gempa Diagram Arah X.....	108
Gambar 4. 17. Gaya Geser Gempa Diagram Arah Y.....	109
Gambar 4. 18. Diagram <i>Story Drift</i> Arah X.....	110
Gambar 4. 19. Diagram <i>Story Drift</i> Arah Y.....	111
Gambar 4. 20. Diagram P-Delta Arah X.....	112
Gambar 4. 21. Diagram P-Delta Arah Y.....	113
Gambar 4. 22. Tipe Pelat.....	123
Gambar 4. 23. Penulangan Pelat.....	142
Gambar 4. 24. Denah Balok G1 Sampel.....	143
Gambar 4. 25. Momen Ultimit Balok G1 Tumpuan.....	145
Gambar 4. 26. Momen Ultimit Balok G1 Lapangan.....	145
Gambar 4. 27. Gaya Geser Ultimit Tumpuan Balok G1.....	158
Gambar 4. 28. Gaya Geser Ultimit Lapangan Balok G1.....	159
Gambar 4. 29. Gaya Torsi Balok G1.....	166
Gambar 4. 30. Potongan Memanjang Balok.....	174
Gambar 4. 31. Tulangan Balok Tumpuan.....	175
Gambar 4. 32. Tulangan Balok Lapangan.....	175
Gambar 4. 33. Denah Kolom K1 Sampel.....	176
Gambar 4. 34. Konfigurasi Tulangan Longitudinal Kolom K1.....	178
Gambar 4. 35. Interaksi Diagram P_n-M_{pr} SPColumn Kolom K1.....	178
Gambar 4. 36. Interaksi Diagram P_n-M SPColumn Kolom K1 dengan $1,25 f_y$	181
Gambar 4. 37. Potongan Memanjang Kolom K1.....	184
Gambar 4. 38. Tulangan Ujung Kolom K1.....	184
Gambar 4. 39. Tulangan Tengah Kolom K1.....	184
Gambar 4. 40. Hubungan Balok-Kolom (<i>Joint</i>).....	188
Gambar 4. 41. Denah Dinding Geser Sampel.....	189
Gambar 4. 42. Penampang Dinding Geser Rencana.....	190
Gambar 4. 43. Konfigurasi Tulangan Dinding Geser.....	192
Gambar 4. 44. Interaksi Diagram SPColumn Dinding Geser.....	192
Gambar 4. 45. Detail Tulangan Dinding Geser.....	202

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Berat Sendiri Beban Mati	7
Tabel 2. 2. Beban Hidup Minimum Terdistribusi Merata (L_0) dan Terpusat	7
Tabel 2. 3. Kombinasi Beban	12
Tabel 2. 4. Reduksi Faktor Kekuatan (ϕ)	13
Tabel 2. 5. Risiko Kategori Bangunan	15
Tabel 2. 6. Keutamaan Faktor Gempa	17
Tabel 2. 7. Klasifikasi Situs	18
Tabel 2. 8. Koefisien Situs (F_a)	20
Tabel 2. 9. Koefisien Situs (F_v)	20
Tabel 2. 10. Desain Kategori Seismik Sesuai Indikator Respons Akselerasi Periode Pendek (S_{DS})	22
Tabel 2. 11. Desain Kategori Seismik Sesuai Indikator Respons Akselerasi Periode 1 Detik (S_{D1})	22
Tabel 2. 12. Faktor R , Ω_0 , dan C_d untuk Sistem Pemikul Seismik Gaya	23
Tabel 2. 13. Nilai Indikator Periode Pendekatan C_t dan x	24
Tabel 2. 14. Batas Atas Koefisien pada Periode Terhitung (C_u)	25
Tabel 2. 15. Simpangan Izin Antar Tingkat	27
Tabel 2. 16. Persyaratan Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur	29
Tabel 2. 17. Persyaratan Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur	31
Tabel 2. 18. Minimal Tebal Pelat 1 Arah	33
Tabel 2. 19. Minimal Tebal Pelat 2 Arah	33
Tabel 2. 20. $A_{S_{min}}$ Pelat	34
Tabel 2. 21. Tinggi Balok Minimum (h)	34
Tabel 2. 22. Tulangan Transversal Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	40
Tabel 2. 23. Tulangan Transversal Elemen Batas Khusus	43
Tabel 3. 1. Indikator Pendekatan Periode C_t dan x	64
Tabel 4. 1. Data Model Struktur Gedung	74
Tabel 4. 2. Tinggi Antar Lantai Gedung	76
Tabel 4. 3. Mutu Baja Tulangan	76
Tabel 4. 4. Mutu Beton Balok dan Pelat	76
Tabel 4. 5. Mutu Beton Kolom dan Dinding Geser	76
Tabel 4. 6. Tebal Minimum Pelat Satu Arah	77
Tabel 4. 7. Tebal Minimum Pelat Dua Arah	77
Tabel 4. 8. Hasil <i>Preliminary</i> Elemen Pelat	78
Tabel 4. 9. Hasil <i>Preliminary</i> Elemen Balok	79
Tabel 4. 10. Beban Total Lantai 8	80
Tabel 4. 11. Beban Total Lantai 7	80
Tabel 4. 12. Beban Total Lantai 5 - 6	81
Tabel 4. 13. Beban Total Lantai 3 - 4	81
Tabel 4. 14. Beban Total Lantai 1 - 2	82
Tabel 4. 15. Hasil <i>Preliminary</i> Elemen Kolom	82
Tabel 4. 16. Pengecekan Kelangsingan Kolom	83
Tabel 4. 17. Ketebalan Dinding Minimal	83
Tabel 4. 18. Dimensi Balok Setelah Pengecekan	85

Tabel 4. 19. Dimensi Kolom Setelah Pengecekan	86
Tabel 4. 20. Dimensi Dinding Geser Setelah Pengecekan	86
Tabel 4. 21. Beban Mati Tambahan Lantai	87
Tabel 4. 22. Beban Mati Tambahan Atap.....	87
Tabel 4. 23. Nilai N -SPT	89
Tabel 4. 24. Data Parameter Respons Spektra Terpetakan	89
Tabel 4. 25. Parameter Respons Spektra	91
Tabel 4. 26. Beban Kombinasi	93
Tabel 4. 27. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 1	95
Tabel 4. 28. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 1	96
Tabel 4. 29. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 2	98
Tabel 4. 30. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 2	99
Tabel 4. 31. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X Pemodelan 3	101
Tabel 4. 32. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y Pemodelan 3	102
Tabel 4. 33. Rekap Hasil Pemodelan.....	103
Tabel 4. 34. Rekapitulasi Rasio Partisipasi Modal Massa	104
Tabel 4. 35. Koefisien Respons Seismik	105
Tabel 4. 36. <i>Output</i> Gaya Geser Dasar Statik (V)	106
Tabel 4. 37. <i>Output</i> Gaya Geser Dinamik Dasar (V_i).....	106
Tabel 4. 38. Rekapitulasi Hasil Pengecekan Faktor Skala	107
Tabel 4. 39. <i>Output</i> Gaya Geser Dinamik Terkoreksi.....	107
Tabel 4. 40. Gaya Desain Geser	108
Tabel 4. 41. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah X.....	110
Tabel 4. 42. Pengecekan <i>Story Drift</i> Arah Y.....	111
Tabel 4. 43. P-Delta Arah X yang Dicek.....	112
Tabel 4. 44. P-Delta Arah Y yang Dicek.....	113
Tabel 4. 45. Data Penyimpangan Torsi Bawaan ETABS.....	114
Tabel 4. 46. Data Penyimpangan Torsi Tidak Terduga.....	114
Tabel 4. 47. Nilai δ_{min} , δ_{max} , δ_{avg} dan A_x terhadap Arah X Gempa	115
Tabel 4. 48. Nilai δ_{min} , δ_{max} , δ_{avg} dan A_y terhadap Arah Y Gempa	115
Tabel 4. 49. Desain Eksentrisitas Terhitung terhadap Sumbu Arah X.....	116
Tabel 4. 50. Desain Eksentrisitas Terhitung terhadap Sumbu Arah Y.....	116
Tabel 4. 51. Ketidakberaturan Torsi yang Dicek pada Sumbu X.....	117
Tabel 4. 52. Ketidakberaturan Torsi yang Dicek pada Sumbu Y.....	117
Tabel 4. 53. Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X.....	118
Tabel 4. 54. Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y.....	118
Tabel 4. 55. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X	120
Tabel 4. 56. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y	120
Tabel 4. 57. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X.....	120
Tabel 4. 58. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y	121
Tabel 4. 59. Cek Ketidakberaturan Berat (Massa)	121
Tabel 4. 60. Ketidakberaturan Vertikal 5a yang Dicek.....	122
Tabel 4. 61. Ketidakberaturan Vertikal 5b yang Dicek.....	122
Tabel 4. 62. Komparasi Lateral Gaya pada Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen	123
Tabel 4. 63. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat	142
Tabel 4. 64. Rekapitulasi Tulangan Balok	175
Tabel 4. 65. Hasil Analisis Interaksi P_n - M_{pr} Kolom K1	179

Tabel 4. 66. Hasil Analisis Interaksi P_n - M Kolom K1 dengan $1,25 f_y$	182
Tabel 4. 67. Rekapitulasi Tulangan Kolom.....	185
Tabel 4. 68. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser	190
Tabel 4. 69. Gaya Geser pada Dinding Geser	190
Tabel 4. 70. Analisis Hasil Interaksi SP Column Dinding Geser.....	193
Tabel 4. 71. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser	201
Tabel 4. 72. Parameter Respons Spektra	203
Tabel 4. 73. Gaya Dalam Dinding Geser	206
Tabel 4. 74. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat	207
Tabel 4. 75. Rekapitulasi Tulangan Balok	207
Tabel 4. 76. Rekapitulasi Tulangan Kolom.....	208
Tabel 4. 77. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser	208



DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

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

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

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

l_w	= Panjang seluruh dinding, atau panjang segmen dinding atau pilar dinding yang ditinjau dalam arah gaya geser (mm)
L	= Pengaruh beban hidup layan
Lr	= Pengaruh beban hidup atap layan
MCE_R	= Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget
M_{cr}	= Momen retak (N-mm)
M_{max}	= Momen maksimum terfaktor pada penampang akibat beban luar yang bekerja (N-mm)
M_n	= Kekuatan lentur nominal pada penampang (N-mm)
M_{nb}	= Kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik, yang merangka ke dalam <i>joint</i> (N-mm)
M_{nc}	= Kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur yang terendah (N-mm)
M_{pr}	= Kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit $1,25f_y$ dan faktor reduksi kekuatan ϕ sebesar 1,0
M_u	= Momen terfaktor pada penampang (N-mm)
n	= Jumlah batang tulangan
N_i	= Tahanan penetrasi standar sesuai SNI 4153:2008
\bar{N}	= Tahanan penetrasi standar rata-rata lapisan 30 m paling atas
\bar{N}_{ch}	= Tahanan penetrasi standar rata-rata tanah nonkohesif dalam lapisan 30 m paling atas
N_u	= Gaya aksial terfaktor tegak lurus terhadap penampang yang terjadi serentak dengan V_u atau T_u (N-mm)
p_{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
\bar{s}_u	= Kuat geser niralir rata-rata di dalam lapisan 30 m paling atas
s_{ui}	= Kuat geser niralir suatu lapisan tanah kohesif i di dalam lapisan 30 m paling atas
S_a	= Respons spektra percepatan
S_{DS}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek
S_{D1}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik
S_{MS}	= Parameter percepatan respons spektral <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	= Perioda fundamental pendekatan
T_{cr}	= Momen retak torsi (N-mm)
T_L	= Peta transisi perioda 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



PERANCANGAN ULANG STRUKTUR ATAS GEDUNG PENDIDIKAN 8 LANTAI DI GUNUNGPATI SEMARANG

Oleh :

Sultan Haikal Salsabiel¹⁾, Syahid Mansur Shofyansah¹⁾,
Prabowo Setiyawan²⁾, Sumirin²⁾

Abstrak

Seiring dengan meningkatnya kerusakan struktur bangunan bertingkat akibat terjadinya gempa bumi yang melanda Indonesia pada beberapa tahun terakhir, maka diperlukan adanya perancangan struktur bangunan tahan gempa yang lebih baik berdasarkan peraturan gempa terbaru yaitu SNI 1726-2019.

Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan ulang struktur gedung tahan gempa yaitu struktur gedung 8 lantai dari gedung 3 lantai Gedung Pendidikan di Gunungpati Semarang dengan menggunakan program ETABS.

Berdasarkan hasil analisis dan perancangan yang dilakukan, diperoleh sistem struktur yang digunakan yaitu sistem ganda (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktural Khusus). Efektivitas struktur *frame* mampu memikul melebihi minimal 25% gaya lateral yaitu 49,43%. Kontrol simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat dimana simpangan terbesar 29,22 mm kurang dari batas izinnnya sebesar 31,38 mm. Terdapat 6 tipe balok dengan dimensi balok terbesar yaitu 350 x 700 mm dan 4 tipe kolom dengan dimensi kolom terbesar 900 x 900 mm pada sistem rangka pemikul momen khusus. Pada pengecekan *strong column-weak beam* diperoleh kuat lentur kolom lebih besar dari kuat lentur balok dengan rasio 6,24 lebih dari rasio minimumnya yaitu 1,2.

Kata Kunci : Perancangan Ulang; Struktur Atas; Gempa

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

²⁾Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

**UPPER STRUCTURE REDESIGN OF
EIGHT STOREY EDUCATIONAL BUILDING
IN GUNUNGPATI SEMARANG**

By :

Sultan Haikal Salsabiel¹⁾, Syahid Mansur Shofyansah¹⁾,
Prabowo Setiyawan²⁾, Sumirin²⁾

Abstract

Along with the increasing damage to high-rise buildings caused by the earthquake that has struck Indonesia in recent years, it is necessary to design a better earthquake-resistant building structure based on the most recent earthquake regulations, which is SNI 1726-2019.

In this final project, a redesign of the earthquake-resistant building structure is executed, namely the eight floors building structure from the three floors Education Building in Gunungpati Semarang using the ETABS program.

Based on the analysis and design results, the structural system used is a dual system (Special Moment Resisting Frame System and Special Structural Wall System). The effectiveness of the frame structure can carry more than a minimum of 25% lateral force, which is 49,43%. The deviation control between levels has passed the requirements where the largest deviation is 29,22 mm, less than the permissible limit of 31,38 mm. There are six types of beams with the largest beam dimensions is 350 x 700 mm and four types of columns with the largest column dimensions is 900 x 900 mm based on the special moment resisting frame system. In checking the strong column-weak beam, the flexural strength of the column is greater than the flexural strength of the beam, with a ratio is 6,24 more than the minimum ratio of 1,2.

Keyword : Redesign; Upper Structure; Earthquake

¹⁾ The Students of the Faculty of Engineering, Civil Engineering, UNISSULA

²⁾ The Lecturer of the Faculty of Engineering, Civil Engineering, UNISSULA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada tahun 2021, Badan Geologi mencatat telah terjadi 26 kali gempa bumi melanda Indonesia. Peristiwa gempa bumi pada tahun 2021 merupakan yang tertinggi dalam 20 tahun terakhir. Gempa bumi tersebut diawali dengan gempa bumi di Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah pada tanggal 4 Januari 2021 dan diakhiri dengan gempa bumi di Maluku Barat Daya, Provinsi Maluku pada tanggal 30 Desember 2021 yang mengakibatkan kerusakan bangunan bertingkat. Seiring dengan meningkatnya kerusakan struktur bangunan bertingkat akibat terjadinya gempa bumi yang melanda Indonesia pada beberapa tahun terakhir, maka diperlukan adanya perancangan struktur bangunan tahan gempa yang lebih baik agar dapat memperkecil risiko kerusakan bangunan akibat gempa.

Perancangan sebuah bangunan gedung, khususnya bangunan gedung untuk gedung sekolah bertingkat harus memperhatikan aspek kekuatan, kenyamanan, dan unsur ekonomis untuk membuat sebuah bangunan gedung yang nyaman untuk digunakan. Faktor-faktor yang memberi pengaruh terhadap kekuatan gedung adalah beban hidup, beban mati, dan beban gempa. (Atmadja & Maulana, 2017)

Penentuan sistem dan karakteristik struktur pada bangunan bertingkat dengan komponen utama beton bertulang di wilayah risiko rawan gempa dapat dilakukan menggunakan beberapa metode perencanaan. Salah satu metode yang sering dipergunakan yaitu Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Karakteristik dari Sistem Rangka Pemikul Momen yaitu beban lateral didistribusikan melintasi mekanisme lentur antara balok dan kolom. Pada Sistem Rangka Pemikul Momen tidak terdapat dinding geser (Sofian & Arrosyid, 2019).

Pada Tugas Akhir ini, sesuai dengan pengambilan judul, penulis ingin melakukan perancangan ulang struktur bangunan tersebut berdasarkan SNI yang terbaru yaitu SNI 1726:2019.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan sistem struktur berdasarkan standar SNI 1726:2019 ?
2. Bagaimana menganalisis respon struktur (parameter desain, ragam getar, periode getar, simpangan antar tingkat, dan efektivitas struktur) sesuai standar SNI 1726:2019 ?
3. Bagaimana memperoleh dimensi dan tulangan beton pada kolom, balok, pelat, dan dinding geser yang memenuhi standar Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK) berdasarkan standar SNI 2847:2019 ?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini meliputi :

1. Menentukan sistem struktur berdasarkan standar SNI 1726:2019.
2. Menganalisis respon struktur (parameter desain, ragam getar, periode getar, simpangan antar tingkat, dan efektivitas struktur) sesuai standar SNI 1726:2019.
3. Memperoleh dimensi dan tulangan beton pada kolom, balok, pelat, dan dinding geser yang memenuhi standar Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus sesuai standar SNI 2847:2019.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Standar perancangan yang digunakan, antara lain :
 - SNI 1726:2019 : “Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non-Gedung”
 - SNI 2847:2019 : “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung”
 - SNI 1727:2020 : “Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain”
2. Pembebanan gempa menggunakan perhitungan respon spektrum.
3. Perancangan hanya membahas struktur atas.

1.5. Sistematika Laporan

Sistematika laporan dalam penulisan Tugas Akhir ini tersusun atas 5 bab, yakni :

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas mengenai literatur yang berisikan teori dari berbagai sumber.

BAB III METODE PERANCANGAN

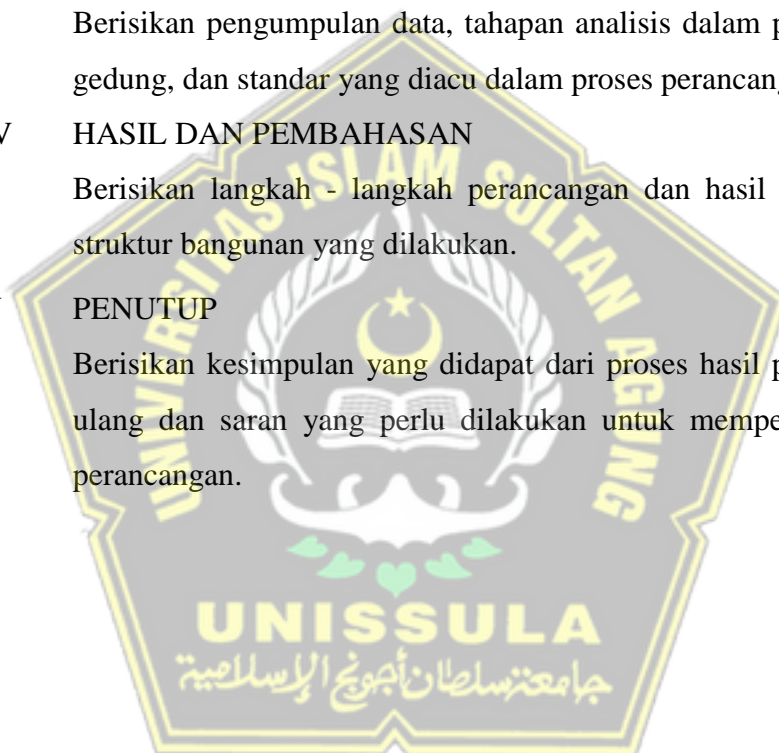
Berisikan pengumpulan data, tahapan analisis dalam perancangan gedung, dan standar yang diacu dalam proses perancangan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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

BAB V PENUTUP

Berisikan kesimpulan yang didapat dari proses hasil perancangan ulang dan saran yang perlu dilakukan untuk memperbaiki hasil perancangan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsep Struktur

Struktur adalah suatu integritas dari susunan elemen yang dirancang agar sanggup memikul beratnya sendiri dan beban luar dengan tidak mengubah bentuknya melebihi batas yang dipersyaratkan. Perencanaan struktur gedung secara umum mencakup atas dua elemen utama, yakni perencanaan struktur atas (*upper structure*) dan perencanaan struktur bawah (*sub structure*). Struktur bawah yaitu bagian struktur yang berfungsi menyalurkan beban ke dalam tanah. Struktur bagian bawah harus didesain dengan benar agar keamanannya terjamin, sehingga secara keseluruhan struktur yang seimbang dapat terjaga dengan baik. (Atmadja & Maulana, 2017)

2.2. Sistem Struktur Penahan Gempa

Sistem struktur merupakan kombinasi dari beraneka macam elemen komponen struktur secara tiga dimensi menjadi satu integritas. Sistem ini berfungsi untuk menahan dengan aman dan efektif suatu gaya atau beban yang beraksi terhadap bangunan dan mendistribusikannya menuju tanah melewati fondasi.

Ada berbagai macam sistem struktur yang bisa dipakai untuk menganalisis bangunan gedung tahan gempa. Macam-macam sistem struktur yang terdapat pada SNI 1726:2019 yaitu sistem penumpu dinding, sistem *frame* gedung, sistem *frame* momen pemikul, sistem ganda dengan *frame* momen pemikul khusus, sistem *frame* ruang, dan sistem kolom kantilever. Di antara berbagai sistem tersebut, sistem ganda dengan *frame* momen pemikul khusus yang dianalisis agar diperoleh kapasitas struktur maksimal dengan menambahkan dinding geser sebagai struktur tahan gempa.

2.2.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus merupakan bagian dari sistem penahan gaya gempa yang dirancang terutama dalam menopang lentur dan geser.

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus berupa portal atau *frame* dari komponen kolom-kolom vertikal dan balok-balok horizontal yang dihubungkan oleh sambungan kolom-balok dengan kaku dan beraksi secara bersama-sama dalam memikul beban-beban bekerja terhadap bangunan melewati mekanisme lentur.

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus memiliki tingkat daktilitas yang tinggi (daktilitas penuh) yang mengakibatkan kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur secara tiba-tiba pada bangunan akibat gempa dapat dihindari. Sistem ini dipergunakan pada daerah yang memiliki kategori risiko gempa tinggi.

2.2.2. Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dinding geser yakni suatu struktur berupa dinding vertikal yang diterapkan terhadap bangunan agar dapat memperkaku bangunan dalam memikul gaya lateral geser efek gempa. Sebagian besar beban gempa akan diserap oleh kekakuan dinding geser terhadap bangunan. Dinding geser yang didesain dengan baik harus memperhatikan aspek pemilihan konfigurasi dinding, posisi peletakkannya pada denah, dan jenis keruntuhannya. Penempatan dinding geser bisa diterapkan di dalam, di luar, atau dalam bentuk inti penahan tangga atau *lift*.

Bentuk dinding geser yang diterapkan pada bangunan dapat dibedakan berdasarkan letak dan fungsinya, antara lain :

1. ***Bearing Wall*** merupakan dinding geser yang dapat diterapkan sebagai dinding partisi yang dapat memikul beban gravitasi sebagian besar.
2. ***Frame Wall*** merupakan dinding geser yang dapat diterapkan di antara baris kolom bagian dalam untuk menahan beban lateral dengan rangka beton bertulang yang memberikan beban gravitasi.
3. ***Core Wall*** merupakan dinding geser yang dapat diterapkan terhadap poros elevator / tangga yang terdapat di area dalam pusat inti pada bangunan.

2.2.3. Sistem Ganda (*Dual System*)

Sistem Ganda merupakan suatu sistem struktur yang menggabungkan portal pemikul momen bersama dinding geser yang mempunyai kemampuan yang tinggi dalam menahan gaya geser. Sistem ini dapat diterapkan pada struktur bangunan bertingkat yang berlokasi di daerah rawan gempa. Portal pemikul momen yang

digabungkan dengan dinding geser dapat menghasilkan daktilitas dan kekakuan struktur dengan baik. Menurut standar SNI 1726:2019, sistem ganda tersusun sebagai berikut:

- a) Penopang seluruh beban gravitasi berupa rangka ruang.
- b) Dinding geser / rangka bresing dengan *frame* momen pemikul sebagai penopang beban lateral. Perencanaan *frame* momen pemikul harus dilakukan tersendiri dengan sanggup terpikul kurang lebih 25% semua beban lateral,
- c) Perancangan kedua sistem digunakan agar dapat menopang secara bersamaan semua lateral beban dengan mempertimbangkan banyak sistem yang saling berinteraksi.

2.3. Beban yang Beraksi pada Struktur Bangunan Gedung

Beban menurut SNI 1727:2020 merupakan gaya atau aksi yang berbeda disebabkan massa bahan bangunan keseluruhan, warga hunian, dan benda-benda yang dipunyainya, dampak lingkungan, perbedaan mobilitas, dan gaya batasan akibat dimensi yang berubah. Secara sederhana, beban juga dapat diartikan sebagai gaya yang beraksi terhadap suatu dimensi struktur.

Ada berbagai macam beban yang terdapat dalam struktur bangunan bertingkat, sesuai arah beraksinya dapat diklasifikasikan sebagai beban horizontal (lateral) dan beban vertikal (gravitasi). Beban vertikal mencakup beban hidup (*live load*), beban air hujan, dan beban mati (*dead load*), sedangkan beban angin (*wind load*), beban gempa (*earthquake*), air tanah dan tekanan tanah merupakan bagian dari beban horizontal.

2.3.1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati yaitu beban dari bagian konfigurasi bangunan gedung secara keseluruhan yang dipasang, mencakup lantai, dinding, plafon, atap, dinding partisi tetap, tangga, *finishing*, komponen struktural dan arsitektural lainnya yang tidak berubah dan tidak dapat terpisah terhadap gedung itu. Berat sendiri dari beragam bahan bangunan dan komponen gedung ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Berat Sendiri Beban Mati

No.	Jenis Beban Mati	Beban (kN/m ²)
1.	Beban Pasir setebal 1 cm	0,16
2.	Beban Spesi setebal 3 cm	0,66
3.	Beban Keramik setebal 1 cm	0,22
4.	Beban Plafond	0,2
5.	Beban Mekanikal & Elektrikal	0,25

(sumber : Tabel C3.1 SNI 1727:2020)

2.3.2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup yaitu beban yang sifatnya selalu beralih dan berubah-ubah yang disebabkan akibat pemakai dan warga hunian gedung bangunan atau struktur lainnya tidak tergolong beban lingkungan dan konstruksi, seperti beban gempa, beban angin, beban hujan, beban banjir, atau beban mati. Pada perancangan gedung bangunan dan struktur lain harus mempergunakan beban hidup sebagai beban maksimal yang dinantikan terjadi diakibatkan warga yang menghuni dan mempergunakan gedung bangunan, namun tidak diperbolehkan lebih sedikit daripada beban merata minimal yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Beban Hidup Minimum Terdistribusi Merata (L_o) dan Terpusat

Hunian atau Penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2,000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79)	2,000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
Lobi	100 (4,79)	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
Panggung pertemuan	100 (4,79)	
Lantai podium	150 (7,18)	
	100 (4,79)	
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	

Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
Lantai pertama	100 (4,79)	
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
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 : Tabel 4.3 SNI 1727:2020)

Tabel 2. 2. Beban Hidup Minimum Terdistribusi Merata (L_0) dan Terpusat (Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata, L_0 psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga permanen		Lihat Pasal 4.5.4
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10)		
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Lihat Pasal 4.10.2
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	Lihat Pasal 4.10.2
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1	Lihat 4.5.1
Batang pegangan		Lihat 4.5.2
Helipad (Lihat Pasal 4.11)		
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	Lihat Pasal 4.11.2

Helikopter dengan berat lepas landas lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	60 (2,87)	Lihat Pasal 4.11.2
Rumah sakit		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1.000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1.000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1.000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1.000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	1.000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1.000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00)	2.000 (8,90)
Berat	250 (11,97)	3.000 (13,35)
Gudang perkantoran		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2.000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2.000 (8,90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2.000 (8,90)
Lembaga Hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, biliard, dan penggunaan sejenis	75 (3,59)	
Ruang dansa dan <i>ballroom</i>	100 (4,79)	
Gimnasium	100 (4,79)	

(sumber : Tabel 4.3 SNI 1727:2020)

Tabel 2. 2. Beban Hidup Minimum Terdistribusi Merata (L_o) dan Terpusat (Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Rumah Tinggal		
Hunian satu dan dua keluarga		
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	
Loteng dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	

Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tangga lainnya		
Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)	
Ruang publik	100 (4,79)	
Koridor ruang publik	100 (4,79)	
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	
Atap vegetatif dan atap lansekap		
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
<i>Awning</i> dan kanopi		
Atap konstruksi <i>fabric</i> yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	
Rangka penutup layar penutup	5 (0,24)	200 (0,89)
	berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja		
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap di atas pabrik gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi Bengkel		2.000 (8,90)
Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		300 (1,33)

(sumber : Tabel 4.3 SNI 1727:2020)

Tabel 2. 2. Beban Hidup Minimum Terdistribusi Merata (L_o) dan Terpusat (Lanjutan)

Hunian atau Penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1.000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1.000 (4,45)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1.000 (4,45)
<i>Scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, lalu lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	8.000 (35,60)
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300 (1,33)
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300 (1,33)
Gudang di atas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)		
Ringan	125 (6,00)	
Berat	250 (11,97)	
Toko		
Eceran		
Lantai pertama	100 (4,79)	1.000 (4,45)
Lantai di atasnya	75 (3,59)	1.000 (4,45)
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	1.000 (4,45)
Penghalang kendaraan		Lihat Pasal 4.5.3
Susuran jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	

(sumber : Tabel 4.3 SNI 1727:2020)

2.3.3. Beban Gempa

Beban gempa yakni beban ekuivalen statik sebuah bangunan akibat pengaruh gerakan tanah di bawah struktur gedung atau bukan gedung berdasarkan suatu analisa dinamik. Perhitungan terjadinya besar beban rencana gempa yang beraksi dalam struktur yakni rencana gempa sedang sesuai yang tercantum dalam standar

SNI 1726:2019. Apabila gempa yang kuat terjadi, maka sejumlah gaya dalam di komponen struktur bisa mengungguli sejumlah gaya dalam yang telah diperhitungkan. Rencana gempa ditentukan sebagai gempa yang probabilitas terlampaui kuantitasnya adalah 2 % selama 50 tahun umur suatu bangunan.

2.3.4. Faktor Beban dan Kombinasi Beban

Beban terfaktor merupakan beban yang ditentukan sesuai standar yang berlaku terhadap pembebanan yang dikalikan terhadap faktor beban berimbang. Faktor yang diperoleh dalam setiap beban dibatasi terhadap tingkatan keakuratan perhitungan beban terpengaruh dan kemungkinan terjadinya ragam jenis pada beban sesuai usia layan struktur.

Faktor-faktor beban mengasumsikan keberagaman pada analisis struktur yang dipergunakan dalam memperhitungkan sejumlah momen dan gaya geser. Sejumlah pengkajian perlu diberikan terhadap kemungkinan adanya beban yang serentak pada pemberian faktor-faktor pada kombinasi beban.

Pemberian kombinasi beban berfungsi agar struktur tidak mendapati kegagalan dikarenakan struktur bangunan atau tidak bangunan sanggup menampung dan menahan lebih besar beban dari beban sesungguhnya daripada struktur itu. Kombinasi beban sesuai SNI 2847:2019 ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3. Kombinasi Beban

Kombinasi Beban	Beban Utama
$U = 1,4 D$	D
$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$	L
$U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W)$	$Lr \text{ atau } R$
$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$	W
$U = 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$	E
$U = 0,9 D + 1,0 W$	W
$U = 0,9 D + 1,0 E$	E

(sumber : Tabel 5.3.1 SNI 2847:2019)

Keterangan:

D = beban mati

L = beban hidup

L_r = beban hidup di atap

R = beban hujan

W = beban angin

2.3.5. Reduksi Faktor Kekuatan (ϕ)

Reduksi faktor kekuatan digunakan dalam mengestimasi probabilitas timbulnya pengurangan kekuatan disebabkan ragam jenis kuat bahan dan ukuran penampang saat pelaksanaan, dampak simplifikasi dengan perkiraan pada suatu persamaan desain, tingkatan daktil, kapasitas metode kegagalan elemen struktur, keperluan keterampilan, dan kegagalan yang signifikan dan kesiapan jalur beban preferensi pada komponen di dalam struktur. Reduksi faktor kekuatan (ϕ) yang dipergunakan pada perancangan ditunjukkan oleh Tabel 2.4.

Tabel 2. 4. Reduksi Faktor Kekuatan (ϕ)

Gaya atau elemen struktur		ϕ	Pengecualian
a.)	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65 – 0,90 sesuai 21.2.2	Di dekat ujung komponen pratarik (<i>pretension</i>) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, ϕ harus sesuai dengan 21.2.3
b.)	Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4
c.)	Torsi	0,75	-
d.)	Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65	-
e.)	Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>)	0,85	-

(sumber : Tabel 21.2.1 SNI 2847:2019)

Tabel 2. 4. Reduksi Faktor Kekuatan (ϕ) (Lanjutan)

Gaya atau elemen struktur		ϕ	Pengecualian
f.)	<i>Bracket</i> dan korbel	0,75	-
g.)	<i>Strut, ties</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut-and-tie</i> di Pasal 23	0,75	-
h.)	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,90	-
i.)	Beton polos	0,60	-
j.)	Angkur dalam elemen beton	0,45 – 0,75 sesuai Pasal 17	-

(sumber : Tabel 21.2.1 SNI 2847:2019)

2.4. Perancangan Struktur Bangunan Gedung

Perancangan struktur bangunan gedung merujuk pada standar SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Struktural Beton untuk Bangunan Gedung dan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Kemudian, ada analisa struktur sebagai faktor penting lain pada perancangan bangunan gedung dikarenakan gaya-gaya yang diperoleh mencakup lentur momen, gaya lintang, dan gaya normal dapat dijadikan tolok ukur saat merancang komponen-komponen struktur sehingga sanggup menopang keseluruhan beban mencakup beban disebabkan gempa.

2.5. Perancangan Struktur Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019

Perancangan struktur bangunan tahan gempa memerlukan perencanaan dan perhitungan untuk meminimalkan risiko kerusakan bangunan akibat gempa. SNI 1726:2019 mengenai “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung” dipergunakan sebagai tolok ukur dalam perancangan bangunan tahan gempa.

2.5.1. Gempa Rencana

Rencana gempa pada saat perencanaan dan peninjauan kinerja struktur gedung dan bukan gedung serta beragam komponen dan instrumennya secara konvensional ditentukan sebagai gempa dengan probabilitas terlampaui kuantitasnya adalah 2 % selama 50 tahun umur suatu bangunan.

2.5.2. Risiko Kategori Bangunan dan Keutamaan Faktor Gempa

Risiko kategori merupakan pengklasifikasian beragam bangunan gedung atau struktur lain agar dapat menetapkan kuantitas beban-beban gempa sesuai akibat terjadinya suatu gempa yang tidak dapat ditoleransi. Suatu faktor yang mengestimasi ambang risiko terkait keamanan jiwa, kesehatan dan kesejahteraan terhadap keruntuhan kepemilikan atau ketiadaan manfaat/utilitas suatu prasarana dinamakan keutamaan faktor.

Risiko kategori bangunan gedung dan bukan gedung ditunjukkan oleh Tabel 2.5 dan Keutamaan Faktor Gempa ditunjukkan oleh Tabel 2.6.

Tabel 2. 5. Risiko Kategori Bangunan

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung mempunyai risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none">• Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, 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 : <ul style="list-style-type: none">• Perumahan• Rumah toko dan rumah kantor• Pasar• Gedung perkantoran• Gedung apartemen/ rumah susun• Pusat perbelanjaan/ mall• Bangunan industri• Fasilitas manufaktur• Pabrik	II

(sumber : Tabel 3 SNI 1726:2019)

Tabel 2. 5. Risiko Kategori Bangunan (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipan anak • Penjara • Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung 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.</p>	<p>III</p>

(sumber : Tabel 3 SNI 1726:2019)

Tabel 2. 5. Risiko Kategori Bangunan (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(sumber : Tabel 3 SNI 1726:2019)

Tabel 2. 6. Keutamaan Faktor Gempa

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

(sumber : Tabel 4 SNI 1726:2019)

2.5.3. Klasifikasi Situs

Kegiatan klasifikasi situs dilakukan agar desain kriteria seismik meliputi aspek-aspek pembesaran terhadap struktur gedung dapat diberikan sesuai keadaan tanah di lapangan. Hasil dari kegiatan klasifikasi situs dinamakan kelas situs. Ketentuan mengenai tipe kelas situs ditunjukkan oleh Tabel 2.7.

Tabel 2. 7. Klasifikasi Situs

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

(sumber : Tabel 5 SNI 1726:2019)

Keterangan :

\bar{v}_s = Kecepatan rata-rata geser gelombang

\bar{N}_s = Standar rata-rata tahanan penetrasi

\bar{S}_u = Kuat rata-rata niralir geser

2.5.4. Indikator Respons Spektral Akselerasi Gempa Tertarget

Aspek pembesaran seismik periode 1 detik dan periode 0,2 detik dibutuhkan dalam memperoleh respons spektral akselerasi gempa tertarget (MCE_R). Aspek pembesaran mencakup aspek pembesaran vibrasi terhadap akselerasi pada vibrasi periode 1 detik (F_v) dan periode pendek (F_a). Nilai F_v dan F_a ditunjukkan oleh

Tabel 2.8 sampai Tabel 2.9. Indikator respons spektral MCE periode 1 detik (S_{M1}) dan periode pendek (S_{MS}) sesuai terhadap klasifikasi situs terpengaruh dapat diperoleh melalui Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2.

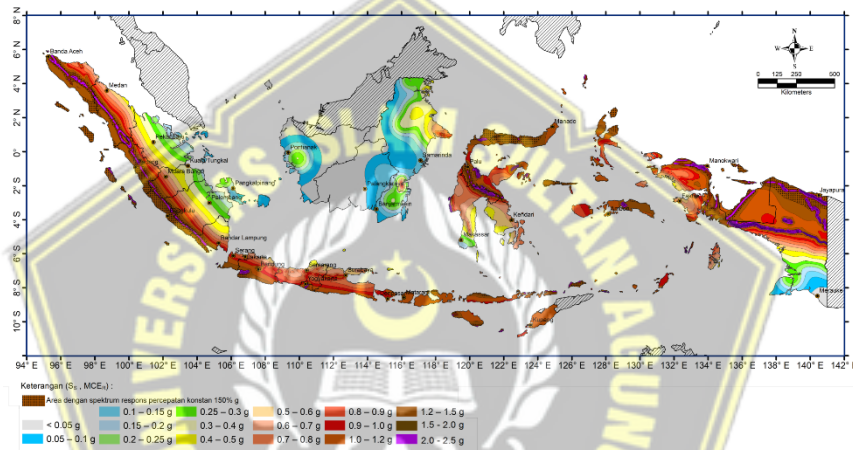
$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots (2.1)$$

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

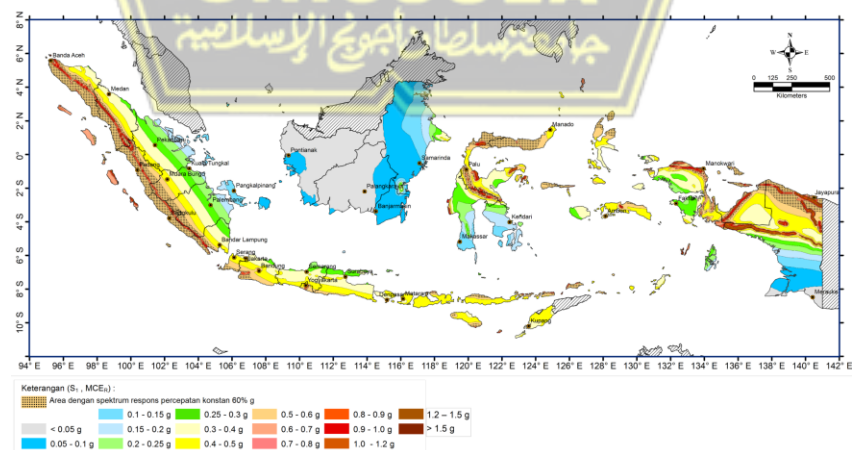
Keterangan :

S_s = Indikator respons spektral akselerasi gempa (MCE_R) dipetakan untuk periode pendek (ditunjukkan pada Gambar 2.1)

S_1 = Indikator respons spektral akselerasi gempa (MCE_R) dipetakan untuk periode 1,0 detik (dapat dilihat pada Gambar 2.2)



Gambar 2. 1. Indikator Gerak Tanah (S_s) Maksimal Gempa yang Ditinjau Risiko-Tertarget (MCE_R)



Gambar 2. 2. Indikator Gerak Tanah (S_1) Maksimal Gempa yang Ditinjau Risiko-Tertarget (MCE_R)

Tabel 2. 8. Koefisien Situs (F_a)

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

(sumber : Tabel 6 SNI 1726:2019)

Tabel 2. 9. Koefisien Situs (F_v)

Kelas Situs	Parameter respon spektra percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0

(sumber : Tabel 7 SNI 1726:2019)

2.5.5. Indikator Akselerasi Desain Spektral

Nilai indikator akselerasi spektral desain periode 1 detik (S_{D1}) dan periode pendek (S_{DS}) dapat dicari sesuai ketentuan Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.4.

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

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

Keterangan :

S_{MS} = Indikator respons spektral akselerasi periode pendek

S_{M1} = Indikator respons spektral akselerasi periode 1 detik

2.5.6. Spektrum Respons Desain

Nilai spektrum respons desain akselerasi (S_a) dapat dicari berlandaskan ketentuan pada Persamaan 2.5 sampai Persamaan 2.8.

a) Untuk nilai periode (T) yang kurang dari T_0

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

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

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

c) Untuk nilai periode (T) lebih dari atau sebanding T_s tetapi kurang dari atau sebanding T_L

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

d) Untuk nilai periode (T) lebih dari T_L

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

Keterangan :

T = Periode getar struktur fundamental

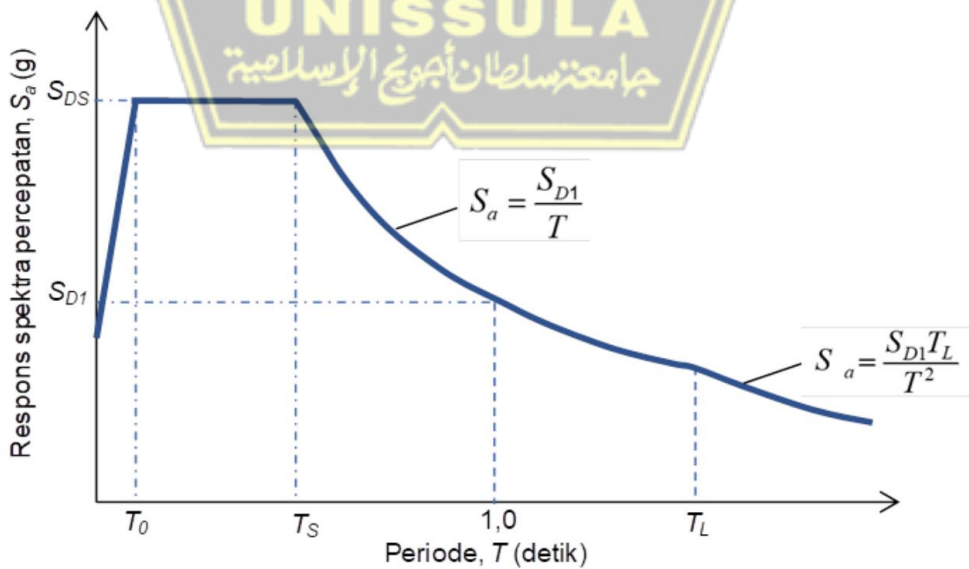
$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

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

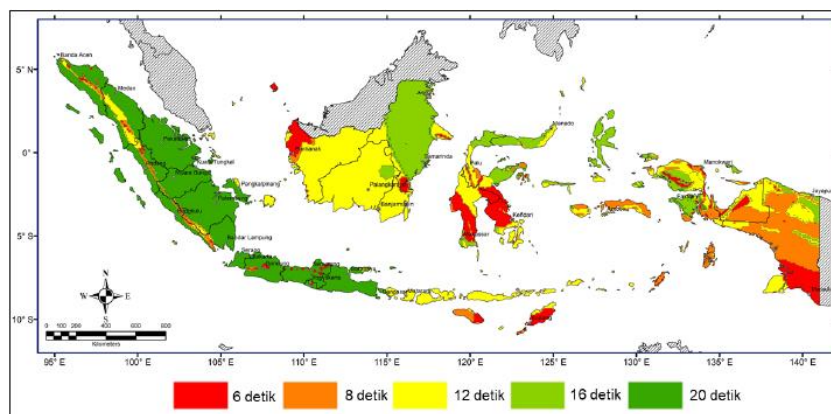
T_L = Peta peralihan periode panjang dapat dilihat dalam Gambar 2.3 yang diberikan nilainya dari Gambar 2.4

S_{DS} = Indikator respons spektral desain akselerasi periode pendek

S_{D1} = Indikator respons spektral desain akselerasi periode 1 detik



Gambar 2. 3. Spektrum Respons Desain



Gambar 2. 4. Peta Peralihan Periode Panjang (T_L)

2.5.7. Desain Kategori Seismik

Desain kategori seismik dapat diketahui berdasarkan nilai S_{D1} dan S_{Ds} yang sudah didapatkan melalui penetapan kategori risiko bangunan. Semakin tinggi huruf pada tabel kategori risiko berdampak semakin tinggi juga risiko terjadinya gempa terhadap struktur bangunan. Ketentuan mengenai kategori desain seismik dapat dilihat pada Tabel 2.10 dan Tabel 2.11.

Tabel 2. 10. Desain Kategori Seismik Sesuai Indikator Respons Akselerasi Periode Pendek (S_{Ds})

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
$0,33 \leq S_{Ds} < 0,5$	C	D
$0,50 \leq S_{Ds}$	D	D

(sumber : Tabel 8 SNI 1726:2019)

Tabel 2. 11. Desain Kategori Seismik Sesuai Indikator Respons Akselerasi Periode 1 Detik (S_{D1})

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
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(sumber : Tabel 9 SNI 1726:2019)

2.5.8. Kombinasi Sistem Pemikul Gaya Seismik pada Perbedaan Arah

Penggunaan sistem berbeda pada sistem pemikul seismik gaya diperbolehkan agar dapat memikul seismik gaya di tiap-tiap kedua arah sumbu tegak lurus struktur. Aspek pembesaran simpang (C_d), aspek kuat lebih sistem (Ω_0), dan angka variasi respons (R) wajib diterapkan di setiap sistem bila menggunakan sistem tersebut. Ketentuan mengenai nilai R , Ω_0 , dan C_d ditunjukkan Tabel 2.12.

Tabel 2. 12. Faktor R , Ω_0 , dan C_d untuk Sistem Pemikul Seismik Gaya

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor Kuat lebih sistem, Ω_0	Faktor pembesaran defleksi C_d	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
C. Sistem rangka pemikul momen								
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan								
Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI

(sumber : Tabel 12 SNI 1726:2019)

2.5.9. Periode Pendekatan Fundamental

Nilai periode pendekatan fundamental (T_a) dapat dicari berlandaskan ketentuan pada Persamaan 2.9. Koefisien C_t dan x ditunjukkan oleh Tabel 2.13.

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

Keterangan:

h_n = Total tinggi struktur (m)

Untuk ketinggian struktur tidak melampaui 12 tingkat yang menggunakan sistem penahan seismik gaya *frame* pemikul momen berbahan beton atau baja dengan 3 m tinggi tingkat rata-rata minimalnya, nilai T_a dapat dicari berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.10.

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

Keterangan:

N = Banyak tingkat

Tabel 2. 13. Nilai Indikator Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen dimana 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 : Tabel 18 SNI 1726:2019)

2.5.10. Periode Struktur Fundamental

Nilai periode struktur fundamental (T) tidak diperbolehkan melampaui hasil multiplikasi periode pendekatan fundamental (T_a) dan batasan atas koefisien pada periode terhitung (C_u). Nilai C_u ditentukan berdasarkan nilai S_{D1} yang telah didapatkan yang ditunjukkan oleh Tabel 2.14.

Tabel 2. 14. Batas Atas Koefisien pada Periode Terhitung (C_u)

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

(sumber : Tabel 17 SNI 1726:2019)

2.5.11. Gaya Geser Seismik Dasar

Nilai gaya geser seismik dasar (V) pada ketentuan arah dapat dicari berlandaskan ketentuan pada Persamaan 2.11.

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

Keterangan:

C_s = Respons seismik koefisien

W = Berat efektif seismik

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

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

Keterangan:

S_{DS} = Indikator akselerasi respons desain spektral rentang periode pendek

R = Angka variasi respons

I_e = Aspek keunggulan gempa

Nilai C_s diperhitungkan sesuai Persamaan 2.12 tidak diharuskan melampaui:

- Untuk $T \leq T_L$

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

- Untuk $T > T_L$

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

Nilai C_s diharuskan tidak lebih kecil dari :

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

Pada lokasi gedung terletak pada area dimana nilai S_1 sebanding atau melebihi 0,6g, nilai C_s dapat dicari berdasarkan Persamaan 2.16.

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

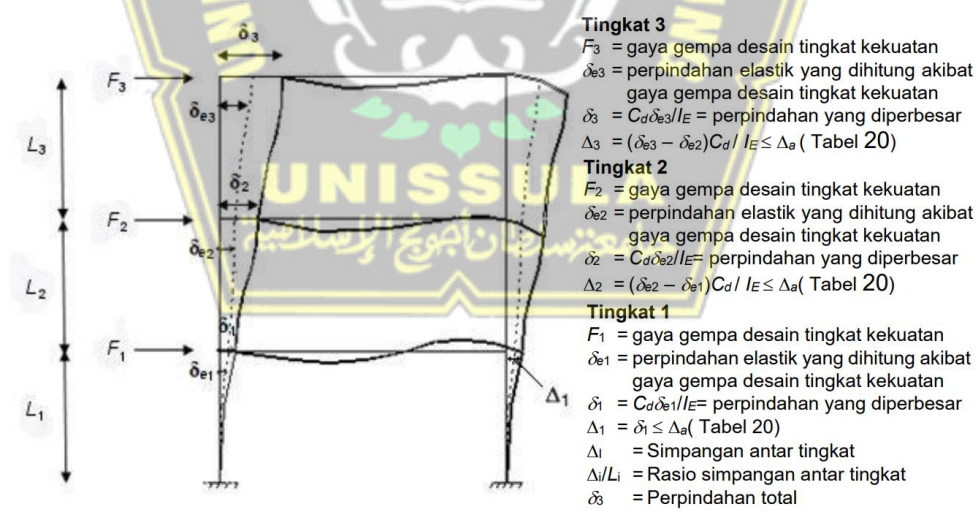
S_{D1} = Indikator akselerasi respons desain spektral periode 1,0 detik

T = Periode struktur fundamental (detik)

S_1 = Indikator akselerasi maksimal respons spektral terpetakan

2.5.12. Simpangan Antar Tingkat

Penetapan simpangan desain antar tingkat (Δ) diwajibkan diperhitungkan terhadap variasi simpangan dalam sentral massa di bawah dan di atas tingkat tertinjau. Jika dalam arah vertikal sentral massa tidak sehaluan, maka simpangan pada tingkat dasar sesuai estimasi vertikal terhadap sentral massa lantai di atasnya dibolehkan untuk dihitung. Jika tegangan izin desain dipergunakan, Δ wajib dihitung sesuai gaya desain seismik tanpa reduksi pada desain tegangan izin.



(sumber : Gambar 10 SNI 1726:2019)

Gambar 2. 5. Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Simpangan sentral massa di tingkat-x (δ_x) (mm) wajib ditetapkan berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.17.

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

Keterangan:

C_d = Aspek pembesaran simpang

δ_{xe} = Simpangan ke lokasi tersyaratkan dan ditetapkan berdasarkan analisa elastik

I_e = Aspek keunggulan gempa

Simpangan desain antar tingkat (Δ) tak diperbolehkan melampaui simpangan izin antar tingkat (Δ_a) yang ditunjukkan oleh Tabel 2.15.

Tabel 2. 15. Simpangan Izin Antar Tingkat

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

(sumber : Tabel 20 SNI 1726:2019)

2.5.13. Pengaruh P-Delta

Analisis pengaruh p-delta harus diperhitungkan terhadap geser tingkat, gaya dan momen hasil komponen suatu struktur, dan akibat simpangan antar tingkat apabila angka kestabilan (θ) lebih besar dari 0,10. Nilai angka kestabilan (θ) dapat dicari berdasarkan ketentuan pada Persamaan 2.18.

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

Keterangan:

P_x = Total beban vertikal desain di tingkat-x dan di atasnya (kN); jika dihitung, aspek beban tersendiri tak harus melampaui 1,0

Δ = Simpangan desain antar tingkat, serempak terhadap V_x (mm)

I_e = Aspek keunggulan gempa

V_x = Gaya seismik geser beraksi antar tingkat x dan x-1 (kN)

h_{sx} = Ketinggian tingkat bawah tingkat (mm)

C_d = Aspek pembesaran simpang

2.5.14. Analisis Ragam Spektrum Respons

Ragam alami getar suatu struktur ditetapkan berdasarkan analisis ragam spektrum respons. Analisis memerlukan kecukupan besaran ragam agar memperoleh seharusnya 100% partisipasi kombinasi ragam massa dari struktur massa. Akan tetapi, diberikan alternatif lain yaitu analisis diperbolehkan untuk membubuhkan minimum besaran ragam paling sedikit 90 % untuk meraih kombinasi ragam massa dalam arah horizontal tegak lurus terhadap respons model tertinjau.

2.5.15. Ketidakberaturan Struktur

Bentuk suatu struktur bangunan dapat diklasifikasi berdasarkan ketidakberaturannya. Klasifikasi ketidakberaturan suatu bangunan diwajibkan berpedoman pada susunan horizontal dan vertikal terhadap struktur bangunan.

2.5.15.1. Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan horizontal merupakan ketidakberaturan yang terjadi apabila suatu bangunan memperlihatkan satu atau lebih bentuk ketidakberaturan struktur secara horizontal. Persyaratan dan bentuk ketidakberaturan horizontal suatu struktur ditunjukkan oleh Tabel 2.16 dan Gambar 2.6.

Tabel 2. 16. Persyaratan Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

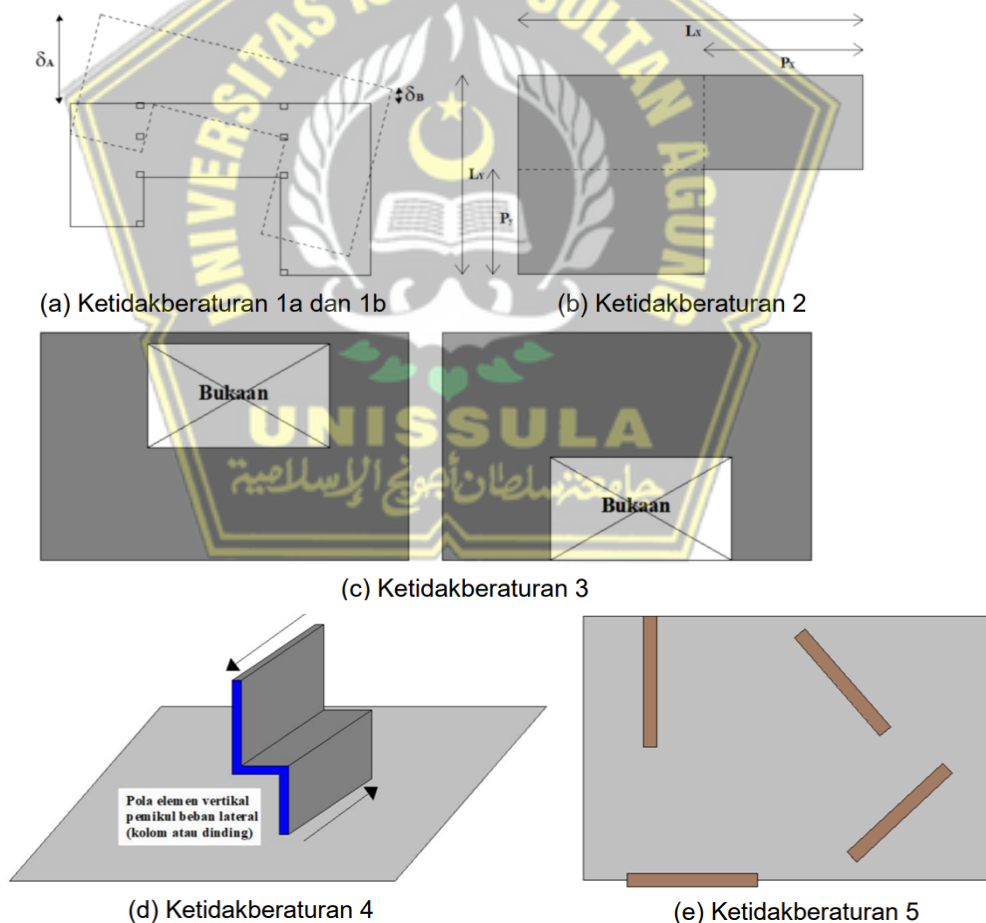
	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakteraturan torsi Apabila simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu $> 1,2$ kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakteraturan torsi berlebihan Apabila 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 $> 1,4$ kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 17.12.1 Tabel 16	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakteraturan sudut dalam Apabila kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam $> 15\%$ dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma Apabila terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka $> 50\%$ daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif $> 50\%$ dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F

(sumber : Tabel 13 SNI 1726:2019)

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

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan kategori desain seismik
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang Apabila terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem non paralel Apabila elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

(sumber : Tabel 13 SNI 1726:2019)



(sumber : Gambar 5 SNI 1726:2019)

Gambar 2. 6. Bentuk Ketidakberaturan Horizontal

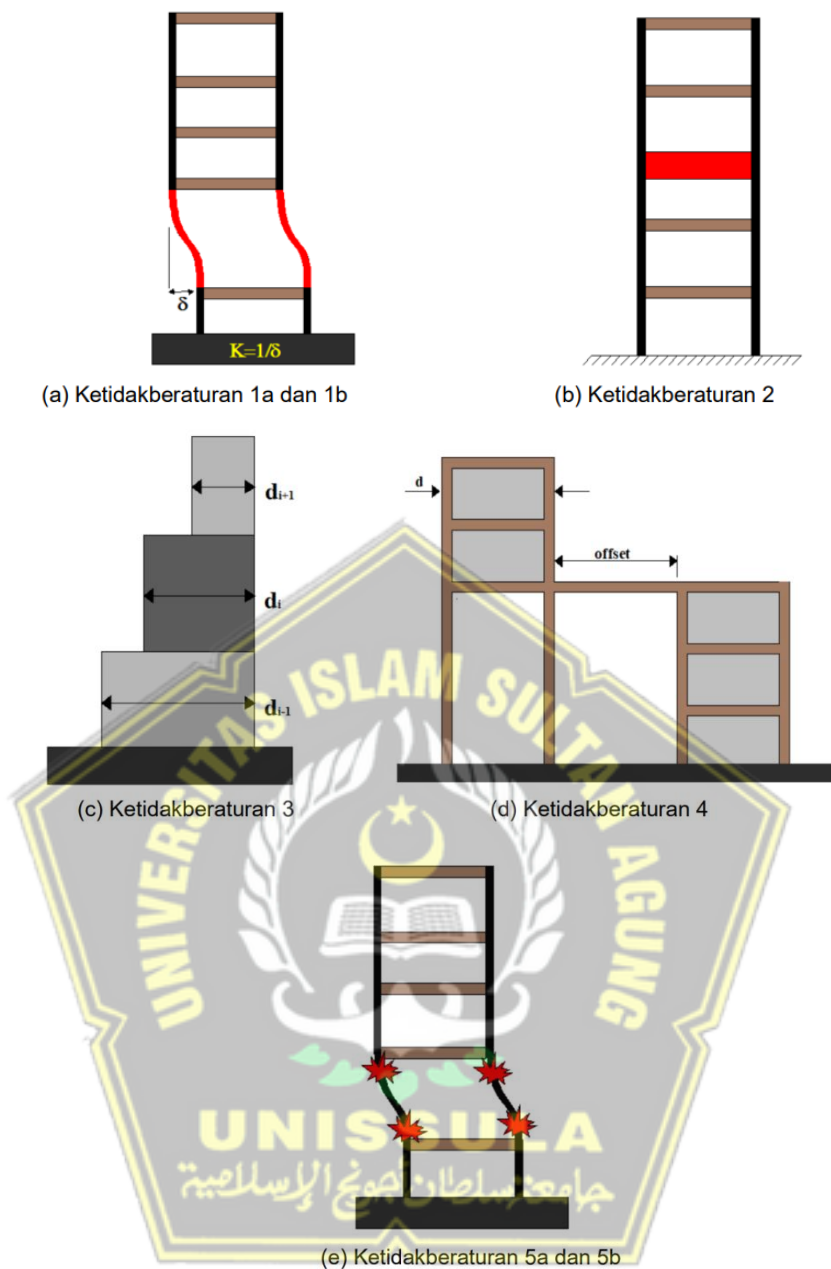
2.5.15.2. Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal merupakan ketidakberaturan yang terjadi apabila suatu bangunan memperlihatkan satu atau lebih bentuk ketidakberaturan struktur secara vertikal. Persyaratan dan bentuk ketidakberaturan vertikal suatu struktur ditunjukkan oleh Tabel 2.17 dan Gambar 2.7.

Tabel 2. 17. Persyaratan Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

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

(sumber : Tabel 14 SNI 1726:2019)



(sumber : Gambar 6 SNI 1726:2019)

Gambar 2. 7. Bentuk Ketidakberaturan Vertikal

2.6. Perancangan Elemen Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2019

Perancangan elemen struktur bangunan memerlukan perencanaan dan perhitungan untuk meminimalkan risiko kerusakan bangunan. SNI 2847:2019 mengenai “Persyaratan Struktural Beton untuk Bangunan Gedung” dipergunakan sebagai tolok ukur dalam perancangan elemen struktur bangunan.

2.6.1. Perancangan Pelat

Pelat beton bertulang merupakan struktur pipih berbahan beton bertulang yang arah penampang horizontalnya tegak lurus beban yang beraksi terhadap penampang tersebut. Penampang pelat beton bertulang mempunyai ketebalan yang cenderung sangat kecil dibandingkan terhadap panjang maupun lebarnya. Sifat sangat kaku dan arah horizontal pada pelat beton bertulang berguna untuk diafragma atau elemen pengaku horizontal pada bangunan gedung agar dapat menyokong keteguhan portal (Asroni. A, 2014a: 161).

Ketebalan minimum pelat tidak terpaud dengan pemberian beban dan modulus elastisitas beton yang mempunyai konsekuensi relevan terhadap lendut. Batasan minimal tebal pelat yang digunakan dalam merencanakan dimensi pelat dapat dilihat berdasarkan ketentuan dari Tabel 2.18 dan Tabel 2.19.

Tabel 2. 18. Minimal Tebal Pelat 1 Arah

Kondisi Perlekatan	Tebal minimum pelat (h) ^[1]
Perlekatan Sederhana	$L/20$
Satu ujung menerus	$L/24$
Kedua ujung menerus	$L/28$
Kantilever	$L/10$

(sumber : Tabel 7.3.1.1 SNI 2847:2019)

Tabel 2. 19. Minimal Tebal Pelat 2 Arah

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

(sumber : Tabel 8.3.1.1 SNI 2847:2019)

Tulangan lentur diperlukan dalam menopang momen lentur yang bekerja terhadap pelat. Ketentuan mengenai luas minimum tulangan lentur ($A_{s_{min}}$) ditunjukkan oleh Tabel 2.20.

Tabel 2. 20. $A_{s_{min}}$ Pelat

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

(sumber : Tabel 8.6.1.1 SNI 2847:2019)

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

Bagian sistem pemikul gaya seismik yaitu balok sistem rangka pemikul momen khusus dirancang untuk menopang lentur dan geser. Apabila terkena faktor gaya aksial tekan lebih besar terhadap ($A_g f_c' / 10$) akibat tiap kombinasi beban, setiap komponen rangka harus diproporsionalkan serta didetailkan.

Batasan dimensi balok sistem *frame* momen pemikul khusus dipergunakan dalam menentukan efektivitas lebar maksimum balok yang bisa mendistribusikan gaya menuju sambungan balok-kolom. Maksimum lebar balok efektif dapat dilihat pada Gambar 2.8. Dimensi balok diharuskan memenuhi ketentuan sesuai Pasal 18.6.2 sebagai berikut:

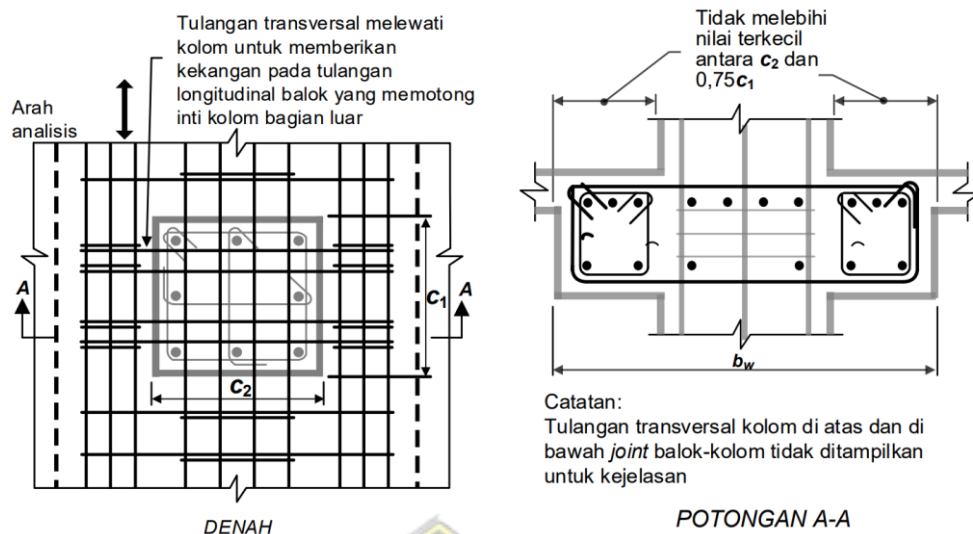
- a) Batasan tinggi minimum dimensi balok sesuai Tabel 2.21.

Tabel 2. 21. Tinggi Balok Minimum (h)

Kondisi Perlekatan	Tinggi balok minimum (h)
Perlekatan Sederhana	$L/16$
Menerus Satu Sisi	$L/18,5$
Menerus Dua Sisi	$L/21$
Kantilever	$L/8$

(sumber : Tabel 9.3.1.1 SNI 2847:2019)

- b) Panjang bersih (L_n) minimal diharuskan sepanjang $4d$
- c) Lebar bidang (b_w) paling sedikit harus minimal antara $0,3h$ dan 250 mm
- d) Estimasi lebar balok terlampaui lebar kolom penopang terhadap setiap sisi kolom tidak diizinkan melampaui minimal antara c_2 dan $0,75 c_1$



(sumber : Gambar R.18.6.2 SNI 2847:2019)

Gambar 2. 8. Maksimum Lebar Efektif Balok Lebar (*Wide Beam*)

Tulangan lentur pada balok sistem rangka momen pemikul khusus diharuskan memadai ketentuan sesuai Pasal 9.6.1 sebagai berikut:

- a) Besaran tulangan lentur di bagian atas atau bawah bidang (A_s) tak diizinkan lebih kecil dari Persamaan 2.19 dan Persamaan 2.20.

$$\frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w \times d \dots\dots\dots (2.19)$$

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

$$\frac{1,4}{f_y} b_w \times d \dots\dots\dots (2.20)$$

Minimal harus dipasang tulangan longitudinal sebanyak dua buah di sisi bagian atas maupun dasar.

- b) Kuat positif momen terhadap muka kolom wajib melebihi dari separuh kuat negatif momen terhadap muka kolom berdasarkan Persamaan 2.21 dan Persamaan 2.22.

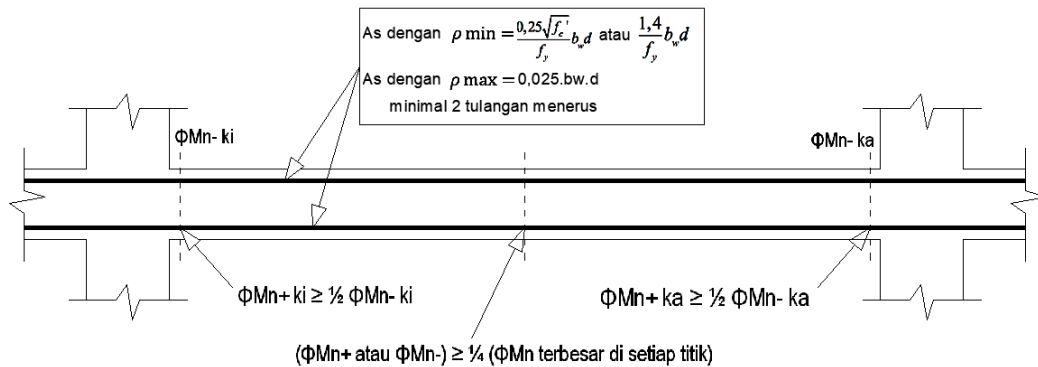
$$\frac{1}{2} \phi M_n^- \text{ ki} \leq \phi M_n^+ \text{ ki} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\frac{1}{2} \phi M_n^- \text{ ka} \leq \phi M_n^+ \text{ ka} \dots\dots\dots (2.22)$$

Kekuatan negatif maupun kekuatan positif lentur terhadap masing-masing bidang pada sejauh bentang harus lebih daripada $\frac{1}{4}$ kekuatan momen maksimum pada kedua penampang kolom tersebut sesuai Persamaan 2.23.

$$\frac{1}{4} (\phi M_n \text{ terbesar di setiap titik}) \leq (\phi M_n^+ \text{ atau } \phi M_n^-) \dots\dots\dots (2.23)$$

Persyaratan tulangan lentur ditunjukkan pada Gambar 2.9.



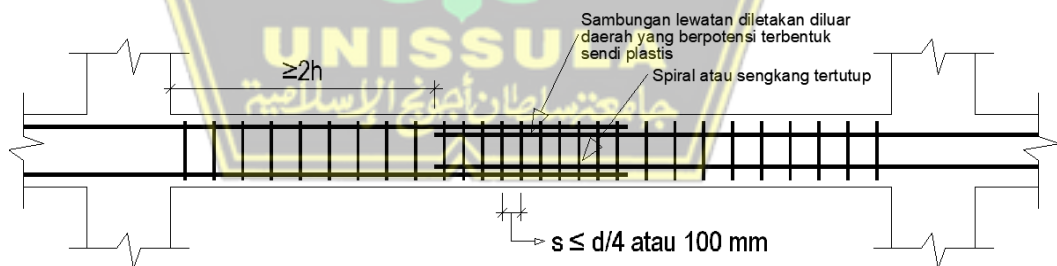
(sumber : SNI 2847:2019)

Gambar 2. 9. Syarat Tulangan Lentur SRPMK

c) Sambungan tulangan lentur hanya diperbolehkan apabila bagian sambungan dilekatkan dengan tulangan spiral. Jaraknya tidak lebih dari 100 mm atau $d/4$ dapat dipergunakan untuk mengikat area sambungan layang. Lewatan sambungan tidak diizinkan untuk dipergunakan pada:

- Area *joint*
- Area sampai sejarak 2x ketinggian balok terhadap muka kolom
- Area sesuai analisis terhadap probabilitas adanya leleh lentur yang disebabkan pergeseran inelastis struktur *frame*

Persyaratan sambungan lewatan ditunjukkan oleh Gambar 2.10.

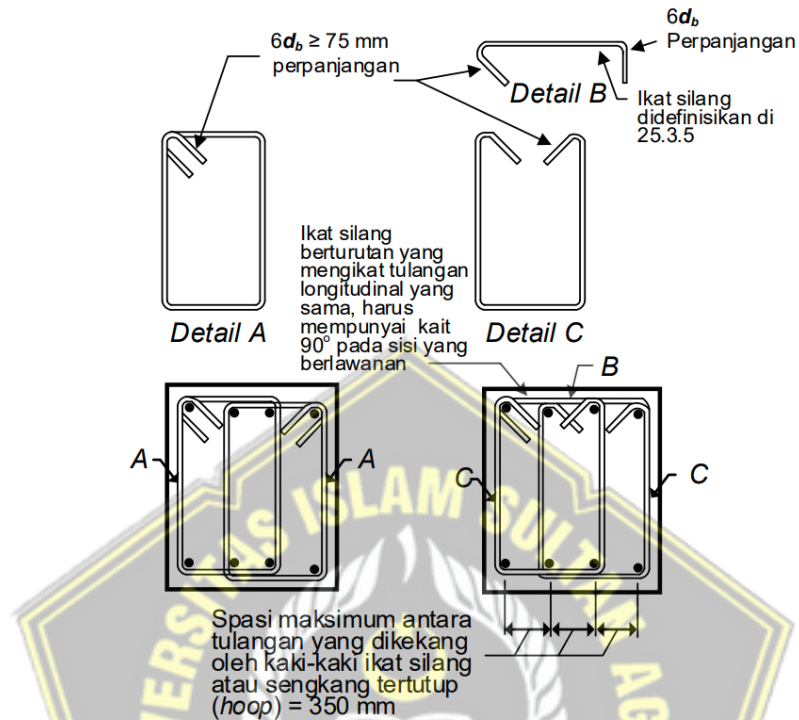


(sumber : SNI 2847:2019)

Gambar 2. 10. Syarat Lewatan Sambungan SRPMK

Penempatan sengkang pengekok pertama dari muka kolom penumpu sesuai Pasal 18.6.4.4 diharuskan tidak melebihi 50 mm. Penempatan sengkang pengekok dapat dilihat pada Gambar 2.11. Jarak sengkang pengekok tidak diizinkan melampaui nilai minimum dari hal berikut:

- a) $1/4 D$
- b) Enam kali minimum diameter batang tulangan utama lentur
- c) 150 mm



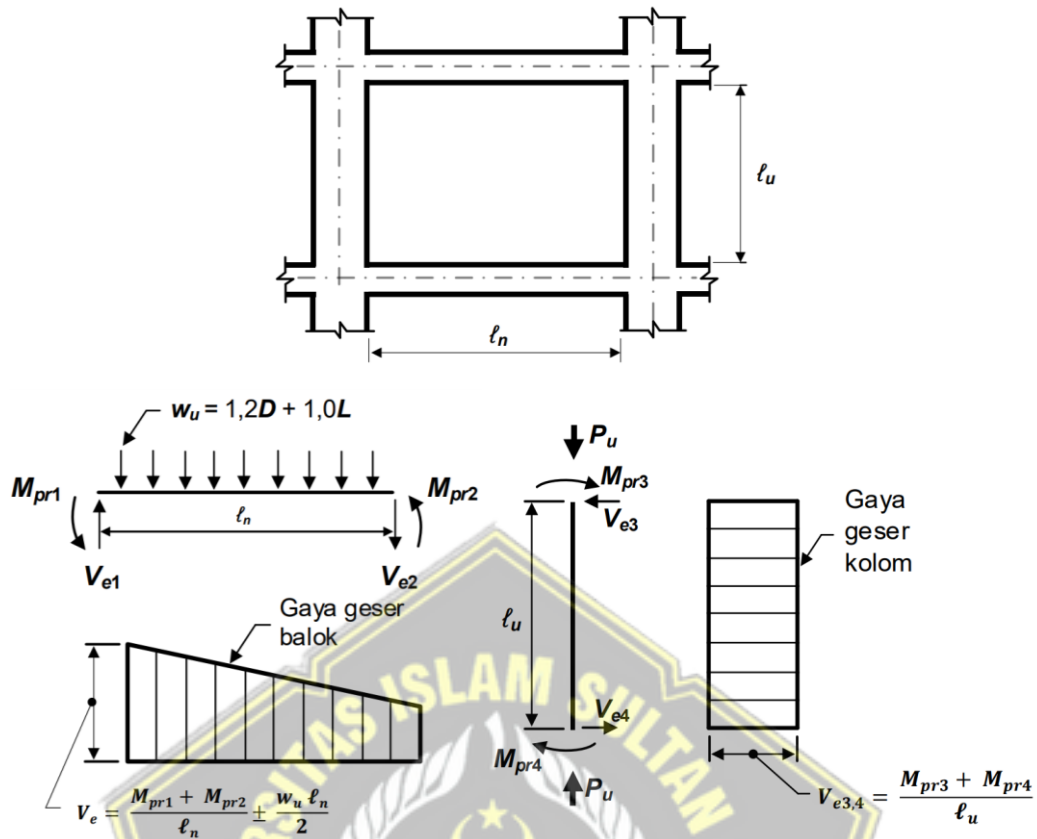
(sumber : Gambar R.18.6.4 SNI 2847:2019)

Gambar 2. 11. Contoh Sengkang Tertutup (*Hoop*) Terpasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Spasi Maksimum Horizontal Penopang Batang Longitudinal

Perhitungan gaya desain geser (V_e) diharuskan dikontrol terhadap gaya-gaya dalam komponen balok pada kedua bagian depan *joint*. Gaya geser desain dapat dilihat pada Gambar 2.12. Tanda berlainan pada momen-momen yang kemungkinan terjadi terkait kuat lentur maksimum momen (M_{pr}) harus diperkirakan beraksi terhadap muka-muka *joint* maupun balok dengan dibebani beban terfaktor tributari gravitasi pada sejauh panjangnya.

Tulangan transversal sejauh daerah teridentifikasi diharuskan didesain agar dapat menopang geser dengan asumsi $V_c = 0$ sesuai dengan ketentuan Pasal 18.6.5.2 sebagai berikut:

- a) Gaya geser akibat gempa terhitung menggantikan seminimal mungkin setengah dari kuat geser maksimal yang diperlukan pada bentang itu.
- b) Gaya aksial tekan terfaktor (P_u) dengan dampak gempa tak melebihi $A_g f'_c / 20$



(sumber : Gambar R.18.6.5 SNI 2847:2019)

Gambar 2. 12. Desain Geser Kolom dan Balok

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

Perancangan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) mempunyai beberapa ketentuan meliputi:

1. Batasan ukuran kolom berlandaskan Pasal 18.7.2.1 mencakup:
 - a) Penampang terkecil kolom harus mempunyai dimensi paling sedikit 300 mm terukur dari garis tegak melewati sentral geometri.
 - b) Perbandingan ukuran minimal bidang kolom terhadap ukuran ortogonalnya minimal sebesar 0,4.
2. Kuat kolom lentur sesuai Pasal 18.7.3.2 harus memenuhi Persamaan 2.24.

$$\sum M_{nc} = (1,2) \sum M_{nb} \dots\dots\dots (2.24)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = Kuat keseluruhan nominal fleksibel kolom-kolom terangka pada *joint*, dimana diulas terhadap bagian depan *joint*.

$\sum M_{nb}$ = Kuat keseluruhan nominal fleksibel balok-balok terangka pada *joint*, diulas terhadap bagian depan *joint*.

3. Luas tulangan longitudinal (A_{st}) sesuai Pasal 18.7.4.1 diharuskan di antara dari $0,01A_g$ dan $0,06A_g$.
4. Tulangan transversal diletakkan sejauh l_0 dari setiap muka *joint* dalam kolom. Penulangan transversal pada kolom dapat dilihat pada Gambar 2.13. Panjang l_0 sesuai Pasal 18.7.5.1 tidak diizinkan kurang dari nilai terbesar antara hal-hal sebagai berikut:
 - a) Ketinggian kolom terhadap muka *joint* atau terhadap bidang dimana dimungkinkan terjadinya lentur leleh
 - b) $1/6$ ketinggian kolom bersih
 - c) 450 mm



(sumber : Gambar R.18.7.5.2 SNI 2847:2019)

Gambar 2. 13. Contoh Penulangan Transversal Kolom

5. Spasi tulangan transversal sesuai Pasal 18.7.5.3 tak diizinkan melampaui nilai minimal daripada hal-hal berikut :
 - a) 0,25 ukuran minimal bidang kolom
 - b) Enam kali minimum diameter longitudinal tulangan
 - c) s_0 , diperhitungkan berlandaskan Persamaan 2.25.

$$s_0 = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \dots\dots\dots (2.25)$$

Nilai s_0 harus kurang dari 150 mm dan melebihi 100 mm

Ketentuan mengenai tulangan transversal ditunjukkan oleh Tabel 2.22.

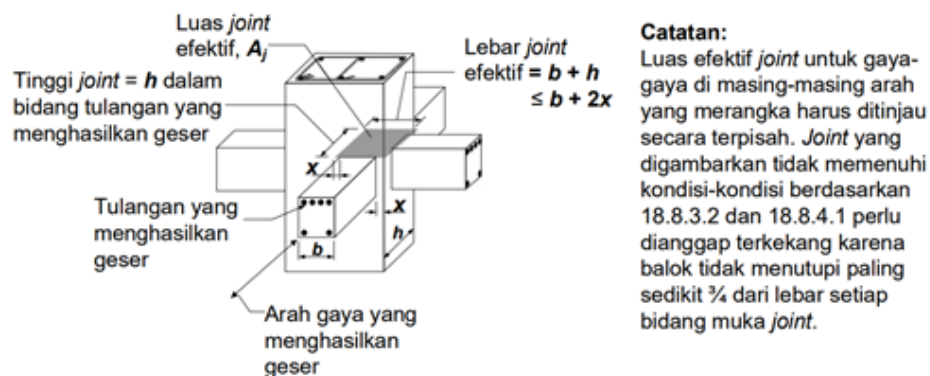
Tabel 2. 22.Tulangan Transversal Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

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

(sumber : Tabel 18.7.5.4 SNI 2847:2019)

6. Perkalian antara tinggi *joint* dengan lebar *joint* efektif menghasilkan luas penampang efektif suatu *joint* (A_j). Luas penampang efektif *joint* (A_j) dapat dilihat pada Gambar 2.14. Tinggi *joint* dan lebar *joint* efektif diharuskan selebar kolom (h) kecuali ditemukan balok terangka terhadap kolom dengan lebih lebar ukuran. Lebar *joint* efektif sesuai Pasal 18.8.4.3 tidak diperbolehkan melebihi nilai terkecil dari hal-hal berikut :

- Ketinggian *joint* ditambahkan lebar balok.
- Dua kali jarak ortogonal minimum terhadap arah longitudinal balok menuju bidang kolom.



(sumber : Gambar R.18.8.4 SNI 2847:2019)

Gambar 2. 14. Luas Efektif *Joint*

2.6.4. Pengecekan Syarat *Strong Column-Weak Beam*

Syarat *Strong Column-Weak Beam* (Kolom Kuat-Balok Lemah) berlandaskan dengan Persamaan 2.26.

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = Momen total muka sambungan yang dihubungkan dengan kekuatan lentur nominal kolom yang menopang sambungan dan terhitung beban terfaktor aksial sesuai aspek gaya lateral tertinjau dan memperoleh hasil minimum kuat lentur.

$\sum M_{nb}$ = Momen total muka sambungan yang dihubungkan kuat nominal lentur balok (mencakup pelat dalam tarik) yang menopang persimpangan.

2.6.5. Perancangan Hubungan Balok - Kolom (*Joint*) pada SRPMK

Hubungan balok - kolom (*joint*) merupakan daerah persambungan kolom dengan balok yang harus dirancang dan didetailkan dengan baik. Langkah-langkah menganalisis rekapitulasi hubungan balok-kolom yakni:

1. Pengecekan panjang *joint* sesuai syarat
Bidang kolom paralel tulangan balok beton standar harus lebih kecil dari 20 kali maksimal diameter tulangan dari dimensi tulangan.
2. Cek tulangan geser untuk pengekangan
Besaran pengekang tulangan bisa menggunakan berdasarkan pada detail tulangan geser kolom dalam ℓ_o .
3. Menghitung gaya lintang terhadap *joint*
Momen balok yang diperoleh, sesuai dengan Persamaan 2.27.

$$M_c = 0,5 \times (M_{pr}^+ - M_{pr}^-) \dots\dots\dots (2.27)$$

4. Hitung gaya geser pada kolom, sesuai dengan Persamaan 2.28.

$$V_{goyangan} = \frac{M_c + M_c}{l_n} \dots\dots\dots (2.28)$$

5. Menghitung gaya terhadap tulangan longitudinal balok

- Luas tulangan atas, sesuai Persamaan 2.29.

$$T_1 = 1,25 \times A_s \times f_y \dots\dots\dots (2.29)$$

- Gaya tekan beraksi ke beton pada *joint* di sisi kiri, sesuai Persamaan 2.30.

$$C_1 = T_1 \dots\dots\dots (2.30)$$

- Luas tulangan bawah, sesuai Persamaan 2.31.

$$T_2 = 1,25 \times A_s \times f_y \dots\dots\dots (2.31)$$

- Gaya tekan beraksi ke beton pada *joint* di sisi kanan, sesuai Persamaan 2.32.

$$C_2 = T_2 \dots\dots\dots (2.32)$$

6. Hitung kuat geser pada *joint*, sesuai Persamaan 2.33.

$$V_j = T_1 + T_2 - V_{\text{goyangan}} \dots\dots\dots (2.33)$$

7. Hitung kuat geser terkekang keempat sisinya, sesuai Persamaan 2.34 dan 2.35.

$$V_n = 1,7 \lambda \times \sqrt{f'_c} \times A_g \dots\dots\dots (2.34)$$

$$\phi V_n = 0,85 \times V_n \dots\dots\dots (2.35)$$

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

2.6.6. Perancangan Dinding Geser

Perancangan dinding geser atau sistem dinding khusus struktural berdasarkan Pasal 18.10 harus memenuhi beberapa ketentuan sebagai berikut:

1. Dinding geser beton bertulang khusus digunakan agar dapat menopang gabungan momen, lintang, dan gaya normal. Tulangan desain geser desain bersyarat ketika $V_u > 0,083 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$ sehingga ketentuan proporsi minimal tulangan harus sebesar 0,0025 terhadap tulangan longitudinal dan transversal serta tulangannya harus berjarak tidak melebihi dari 450 mm.
2. Dinding geser harus menggunakan minimal dua lapisan tulangan apabila:

$$V_u > 0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$h_w/L_w \geq 2,0 \dots\dots\dots (2.37)$$

Keterangan:

h_w = Total ketinggian dinding

L_w = Total panjang dinding

3. Kekuatan geser dinding struktural (V_n) diharuskan mengikuti Persamaan 2.38.

$$V_n < A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + f_y \rho_t) \dots\dots\dots (2.38)$$

Keterangan:

α_c = 0,25 jika $1,5 \geq h_w/L_w$

= 0,17 jika $2,0 \leq h_w/L_w$

= 0,25 - 0,17 = interpolasi linear jika $1,5 < h_w/L_w < 2,0$

4. Pada bagian balok kopel dan dinding horizontal, V_n sesuai Pasal 18.10.4.5 harus mengikuti Persamaan 2.39.

$$V_n \leq 0,83A_{cw} \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2.39)$$

Keterangan:

A_{cw} = luas bidang beton bagian balok kopel atau dinding horizontal

5. Elemen-elemen batas dinding khusus struktural sesuai Pasal 18.10.6.4 harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:
- Pada aspek horizontal terhadap paling luar dalam serat tekan, elemen batas wajib dipanjangkan minimal sejauh maksimum $c/2$ dan $c - 0,1 L_w$.
 - Lebar area lentur tekan (b) minimal harus menggunakan $h_u / 16$, sejauh jarak horizontal terhitung mencakup sayap.
 - Lebar area lentur tekan (b) di sepanjang daerah dinding diharuskan melebihi atau sebanding 300 mm untuk dinding dengan $h_w/L_w \geq 2,0$ yang dirancang mempunyai bidang krisis tunggal terhadap sejumlah beban aksial dan lentur dimana $c/L_w \geq 3/8$.
 - Elemen batas wajib dipanjangkan minimum 300 mm ke badan dinding pada bidang bersayap mencakup lebar efektif sayap tertekan.
 - Tulangan transversal elemen batas diharuskan sesuai persyaratan, kecuali apabila nilai h_x kurang dari nilai minimum antara 350 mm dan $2/3$ tebal dari elemen batas serta batas spasi tulangan transversal harus diambil $1/3$ dari ukuran elemen batas minimum.
 - Besaran tulangan transversal diharuskan berdasar dengan Tabel 2.23.

Tabel 2. 23. Tulangan Transversal Elemen Batas Khusus

Tulangan transversal	Persamaan yang berlaku		
A_{sh} / s_{bc} untuk sengkang pengekang persegi	Nilai terbesar	$0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(a)
		$0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(b)
ρ_s untuk spiral atau sengkang pengekang lingkaran	Nilai terbesar	$0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(c)
		$0,12 \frac{f'_c}{f_{yt}}$	(d)

(sumber : Tabel 18.10.6.4(f) SNI 2847:2019)

2.6.6.1. Tulangan Minimum

Persyaratan tulangan minimum yang digunakan dalam perancangan dinding geser meliputi:

1. Minimal proporsi luas vertikal tulangan dengan beton bruto (ρ_v), wajib :
 - a. 0,0012 jika tulangan ulir kurang dari D-16 dan $f_y \geq 420$ MPa, atau
 - b. 0,0015 jika tulangan ulir yang lain, atau
 - c. 0,0012 jika tulangan kawat las kurang dari \emptyset -16 atau D-16
2. Minimal proporsi luas horizontal tulangan dengan beton (ρ_t), wajib:
 - a. 0,0020 jika tulangan ulir kurang dari D-16 dan $f_y \geq 420$ MPa, atau
 - b. 0,0025 jika tulangan ulir yang lain, atau
 - c. 0,0020 jika tulangan las kawat kurang dari \emptyset -16 atau D-16

2.6.6.2. Batas Tinggi Bangunan Bertingkat untuk Dinding Geser

Pada kategori desain seismik D atau E, batas tinggi bangunan yang dikembangkan dapat dinaikkan dari 48 m hingga 72 m. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh struktur apabila mempunyai dinding geser beton bertulang sebagai sistem penopang gaya gempa tercor di tempat:

- a. Konstruksi harus mematuhi definisi Tabel 2.16 tentang kelainan torsi parah (ketidakberaturan horizontal tipe 1b).
- b. Dinding geser beton bertulang yang dicor di tempat khusus harus mampu menopang di bawah dari 60% terhadap total gaya seismik di masing-masing arah di semua bidang terlepas dari dampak torsi tak terduga.

2.6.6.3. Pengangkuran Dinding Struktural

Struktur pelat dan bahan-bahan konstruksi lain yang memberi tahanan lateral atau penopang dinding harus diamankan ke dinding struktur untuk menahan beban vertikal atau tahanan lateral geser dalam komponen struktur. Pengangkuran harus mampu memikul gaya horizontal yang dihitung paling sedikit 20% kali dari massa luas dinding dalam sambungan tetapi tak melebihi 24%. Gaya ini harus diterapkan tegak lurus terhadap bidang dinding.

Dinding struktural harus terhubung langsung ke struktur pendukung dan mampu menahan gaya desain sesuai Persamaan 2.40.

$$F_p = 0,4 S_{DS} \times K_a \times I_e \times W_p \dots\dots\dots (2.40)$$

F_p diambil tak diperbolehkan lebih kecil atas $0,2 K_a \times I_e \times W_p$

$$K_a = 1,0 \frac{L_f}{30} \dots\dots\dots (2.41)$$

K_a diambil tidak perlu sebesar 2,0

Keterangan:

F_p = Gaya desain dalam pengankuran

S_{DS} = Indikator akselerasi respon spektra desain periode pendek

I_e = Aspek keunggulan gempa (Tabel 2.6)

K_a = Aspek pembesaran dalam diafragma elastis

L_f = Panjang diafragma elastis (m) pemberi tumpuan lateral dinding; panjang itu terukur diantara elemen-elemen vertikal penyedia tumpuan lateral dengan diafragma dalam arah tertinjau.

W_p = Berat dinding berdasarkan luas area pengankuran

Jika tidak terdapat angkur pada bagian atap dan diafragma seluruhnya tidak elastis, maka didapatkan nilai dari $F_p = 0,4 S_{DS} \times K_a \times I_e \times W_p$ diizinkan agar dapat dikalikan oleh aspek $\frac{1+2z/h}{3}$, dengan h merupakan ketinggian atap di dasar bagian atas dan z yaitu ketinggian angkur pada dasar struktur bagian atas.

Perancangan dinding struktural untuk menopang lentur akibat pengankuran harus diperhatikan apabila angkur dengan spasi melampaui 1200 mm.

2.6.6.4. Pengekangan pada Dinding Geser

Pada dinding geser terdapat pengekangan terhadap area pembatas elemen (*boundary element*). Pembatas elemen ditetapkan sesuai Persamaan 2.42.

$$c > \frac{L_w}{600 \times \left(\frac{\delta_u}{h_w}\right)}; \frac{\delta_u}{h_w} > 0,007 \dots\dots\dots (2.42)$$

Keterangan:

c = Bentang serat paling luar beton menuju *normal line*. Nilai δ_u didapatkan berdasarkan analisis simpangan suatu program

h_w = Ketinggian dinding geser

Apabila nilai $\frac{\delta_u}{h_w} < 0,007$, maka digunakan nilai sebesar 0,007.

Apabila $c > \frac{L_w}{600 \times \left(\frac{\delta_u}{h_w}\right)}$, maka tidak butuh pengekang tulangan pada dinding.

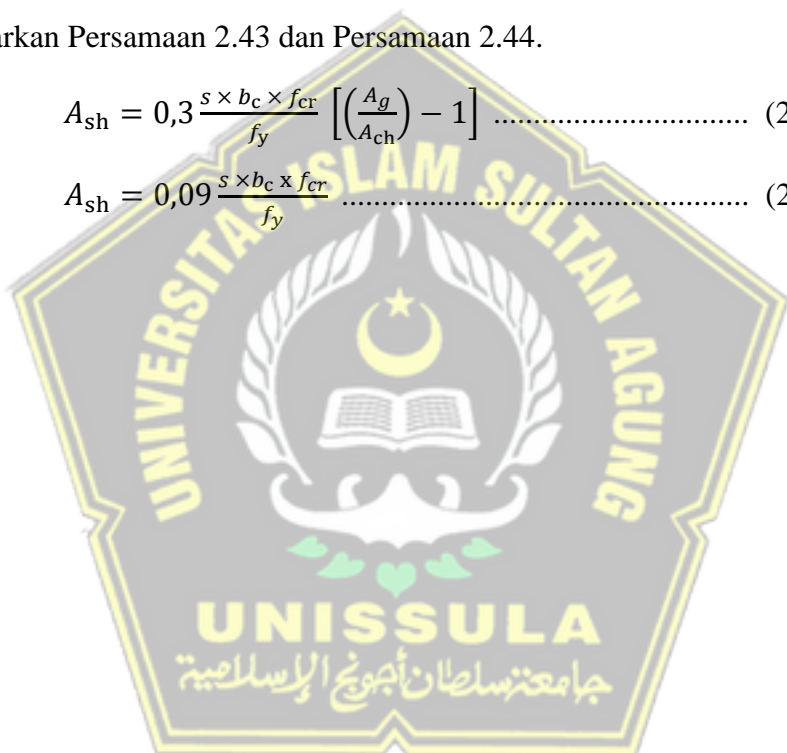
Pengekang tulangan diharuskan diletakkan sejarak pembatas elemen (*boundary element*). Ketentuan panjang pembatas elemen harus diletakkan secara horizontal tidak melebihi dari :

- $c - L_w$
- $\frac{c}{2}$

Luas pengekang tulangan terhadap dinding geser bisa diperoleh dengan berdasarkan Persamaan 2.43 dan Persamaan 2.44.

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s \times b_c \times f_{cr}}{f_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.43)$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s \times b_c \times f_{cr}}{f_y} \dots\dots\dots (2.44)$$



BAB III

METODE PERANCANGAN

3.1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini mencakup data primer. Data primer yakni data perolehan secara kontan dari pihak bersangkutan yang dapat dipergunakan sebagai sumber dalam pembuatan laporan tugas akhir.

Fungsi dari pengumpulan data adalah untuk proses perancangan dalam struktur bangunan. Data-data itu meliputi:

1. Data Tanah Proyek
 - Data Sondir
 - Data SPT (*Standart Penetration Test*)
2. Data Gambar

3.2. Standar Perancangan

Standar yang digunakan dalam perancangan, antara lain :

- SNI 1726:2019
“Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non-Gedung”
- SNI 2847:2019
“Persyaratan Struktural Beton untuk Bangunan Gedung”
- SNI 1727:2020
“Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain”

3.3. Tahapan Analisis dan Perancangan

Ada beberapa tahapan analisis dan perancangan yang dapat dilakukan, antara lain :

3.3.1. Tahapan Analisis

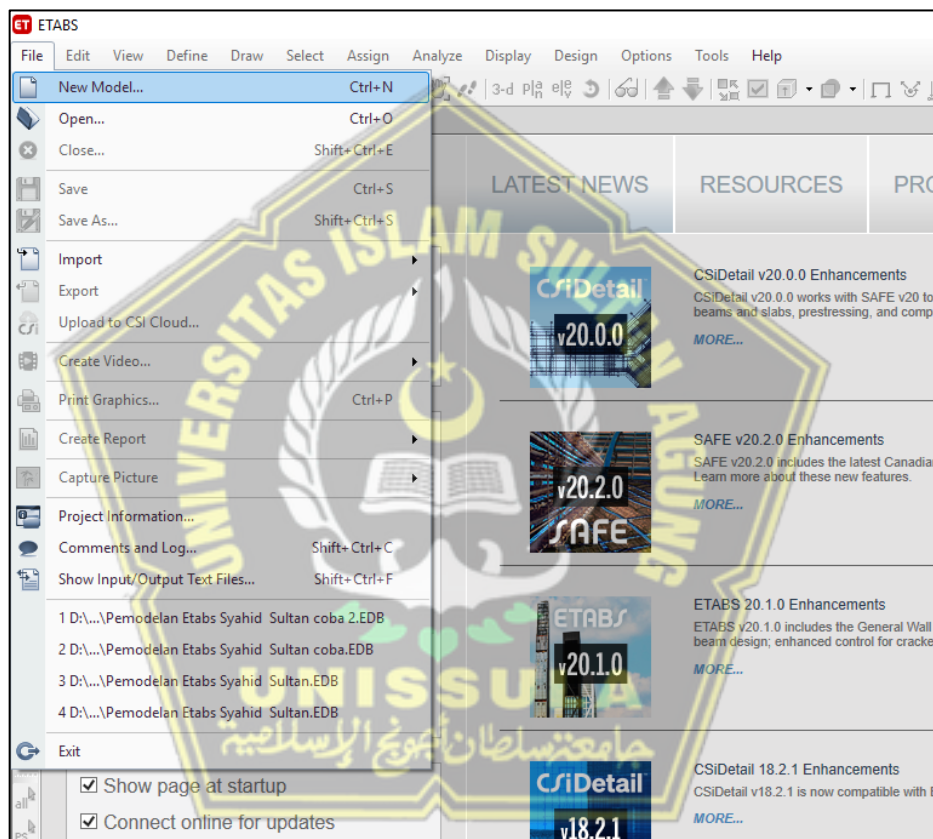
Analisis struktur bertujuan agar dapat mencari gaya dalam berupa momen, gaya geser, dan gaya normal. Kemudian, gaya-gaya tersebut dipergunakan pada rekapitulasi tulangan pelat, balok, kolom, dan dinding geser.

3.3.1.1. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur bangunan memanfaatkan bantuan program perangkat lunak ETABS berdasarkan gambar kerja dan program dapat membantu sebagai tolok ukur dalam perancangan sehingga proses keluaran dapat dihasilkan gaya internal dan gaya eksternal sebagai akibat dari beban yang telah diberikan.

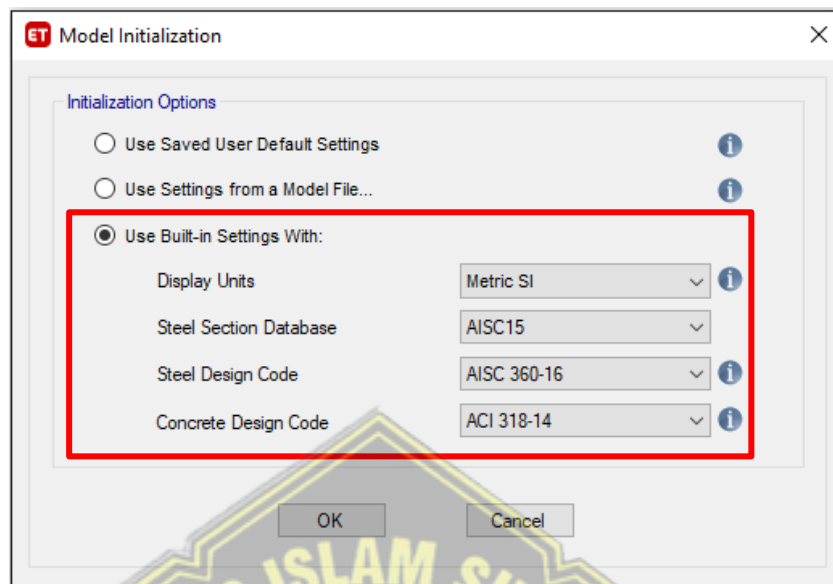
Langkah-langkah pemodelan struktur bangunan dengan bantuan program perangkat lunak ETABS adalah sebagai berikut:

1. Buka perangkat lunak ETABS → klik menu *File* → klik *New Model*



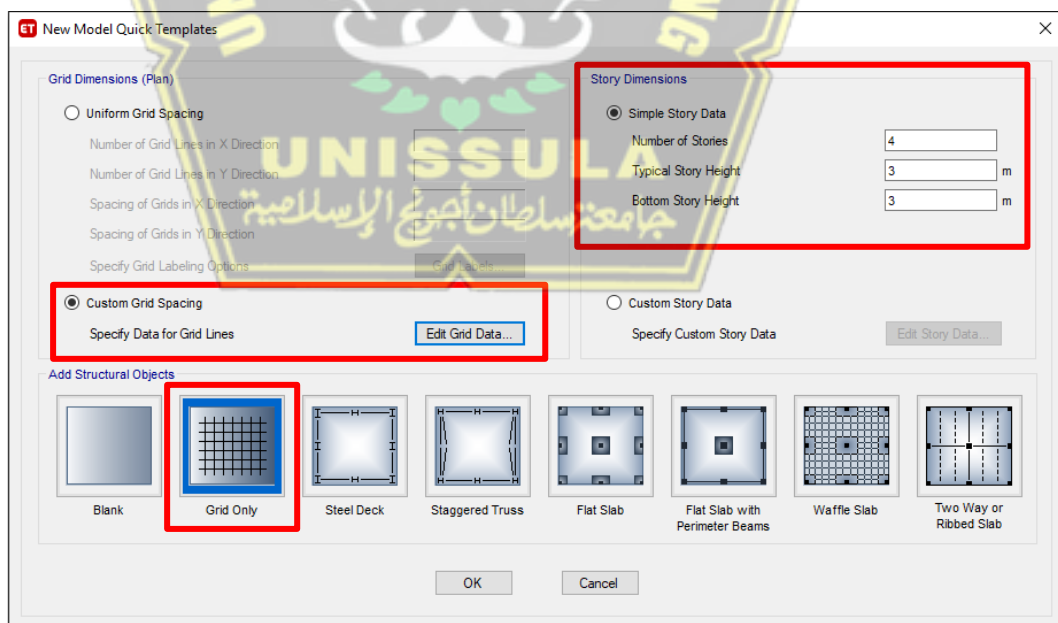
Gambar 3. 1. Awal Tampilan ETABS

- Pilih *Use Built-in Settings With* → pilih *Metric SI* pada bagian *Display Units*
→ pilih *ACI 318-14* pada bagian *Concrete Design Code* → klik OK



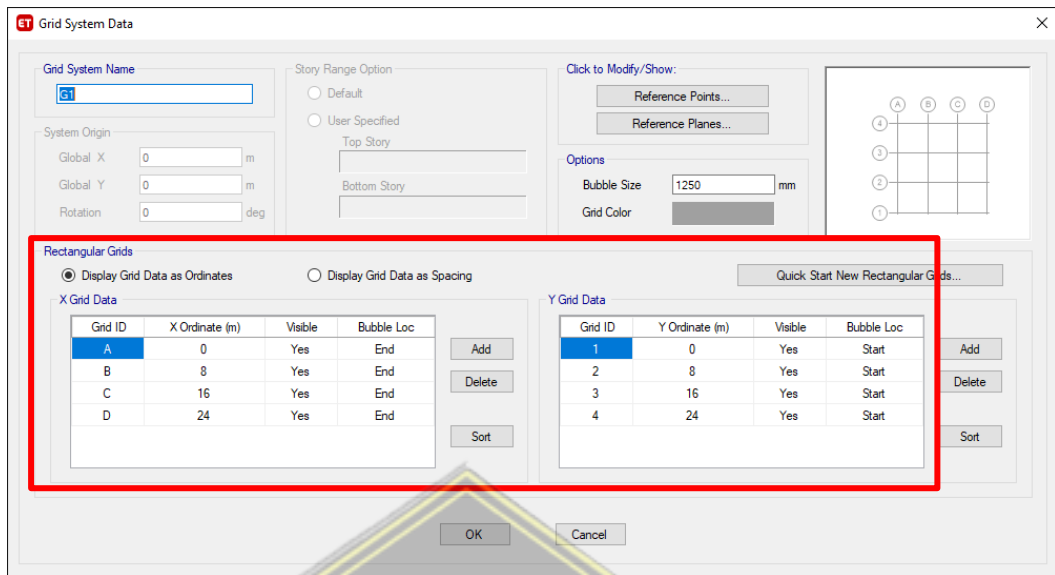
Gambar 3. 2. Model Initialization

- Tentukan jumlah dan tinggi lantai pada bagian *Story Dimensions* → pilih *Grid Only* pada bagian *Add Structural Objects* → klik *Custom Grid Spacing* → klik *Edit Grid Data*



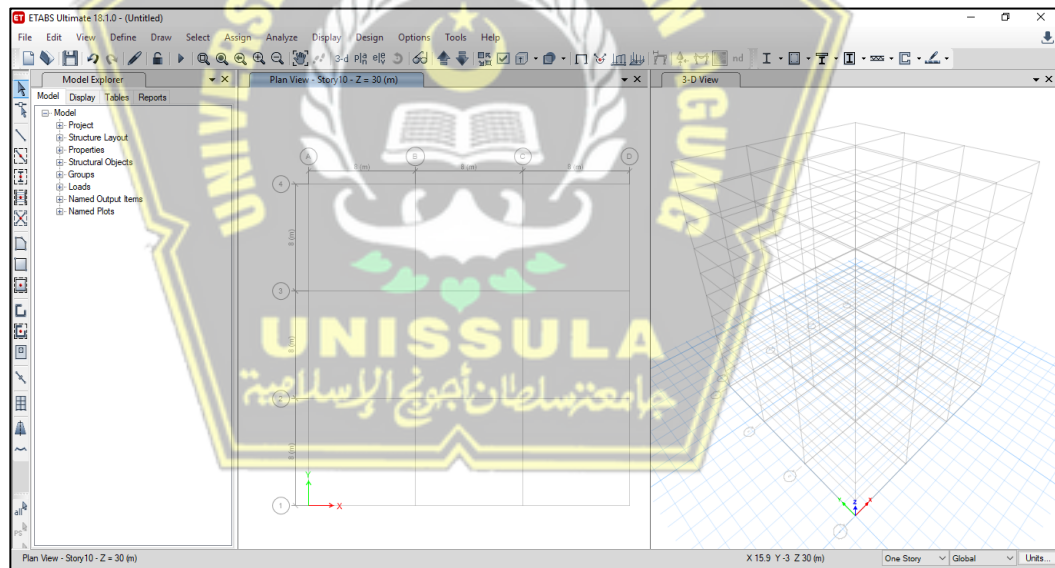
Gambar 3. 3. Model Grid

4. Tentukan jarak *grid* sesuai denah gedung → klik OK



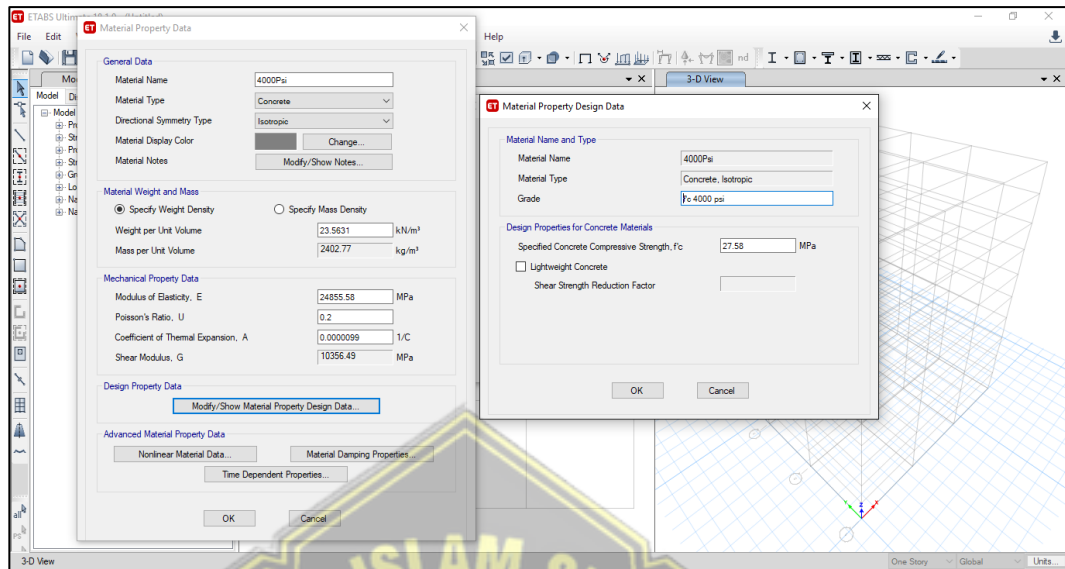
Gambar 3. 4. Edit Grid

5. Tampilan *Grid* dan *Story*



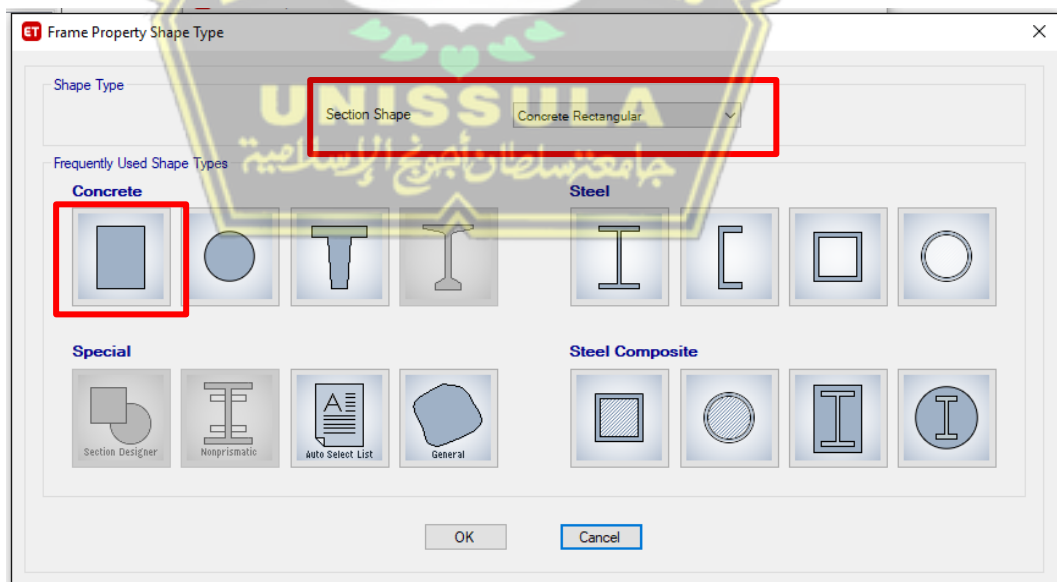
Gambar 3. 5. Tampilan *Grid* dan *Story*

6. Untuk memasukkan jenis material : klik *Define* → klik *Material Properties* → klik *4000psi* (beton) → klik *Modify/Show Material* → klik OK



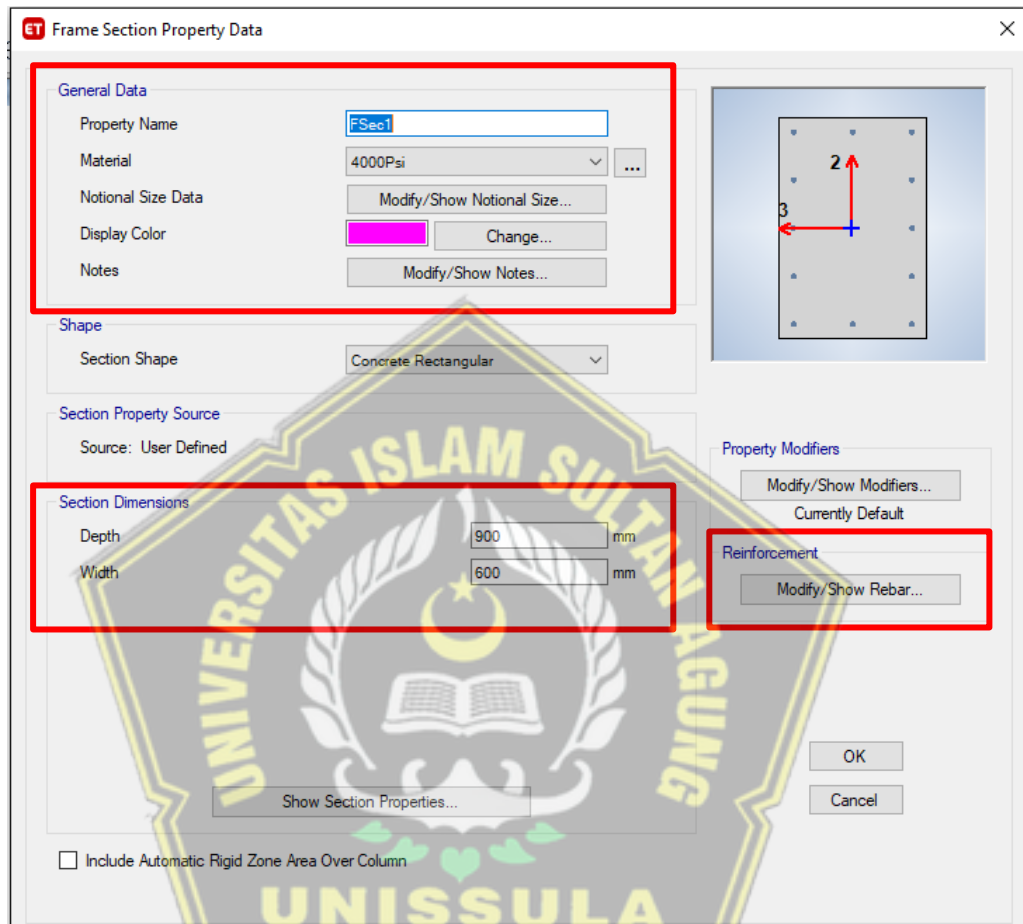
Gambar 3. 6. *Input Material Properties*

7. Untuk memasukkan dimensi kolom/balok : pilih *Define* → klik *Section Properties* → pilih *Frame Sections* → pilih *Add New Property* → klik *Concrete Rectangular* pada bagian *Section Shape* → pilih bentuk penampang kolom/balok yang direncanakan



Gambar 3. 7. *Section Shape Concrete*

8. Ubah nama kolom/balok pada bagian *Property Name* → tentukan mutu beton untuk kolom/balok pada bagian *Material* → tentukan dimensi kolom/balok yang direncanakan pada *Depth* dan *Width* pada bagian *Section Dimensions* → klik OK



Gambar 3. 8. *Input* Dimensi Kolom/Balok

9. Untuk kolom : pilih *Modify/Show Rebar* → klik *P – M2 – M3 Design* pada bagian *Design Type* → tentukan jenis material untuk tulangan pada bagian *Rebar Material* → pilih *Reinforcement to be design* pada bagian *Check/Design*

ET Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

- P-M2-M3 Design (Column)
- M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: A615Gr60

Confinement Bars (Ties): A615Gr60

Reinforcement Configuration

- Rectangular
- Circular

Confinement Bars

- Ties
- Spirals

Check/Design

- Reinforcement to be Checked
- Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

Clear Cover for Confinement Bars: 40 mm

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 3

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 5

Longitudinal Bar Size and Area: 20 mm, 314 mm²

Corner Bar Size and Area: 20 mm, 314 mm²

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: 10 mm, 79 mm²

Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 150 mm

Number of Confinement Bars in 3-dir: 3

Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

OK Cancel

Gambar 3.9. Reinforcement Data Column

10. Untuk balok : pilih *Modify/Show Rebar* → klik *M3 Design Only* pada bagian *Design Type* → tentukan jenis material untuk tulangan pada bagian *Rebar Material* → pilih *Reinforcement to be design* pada bagian *Check/Design*

ETABS Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

P-M2-M3 Design (Column)

M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: A615Gr60

Confinement Bars (Ties): A615Gr60

Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid

Top Bars: 60 mm

Bottom Bars: 60 mm

Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams

Top Bars at I-End: 0 mm²

Top Bars at J-End: 0 mm²

Bottom Bars at I-End: 0 mm²

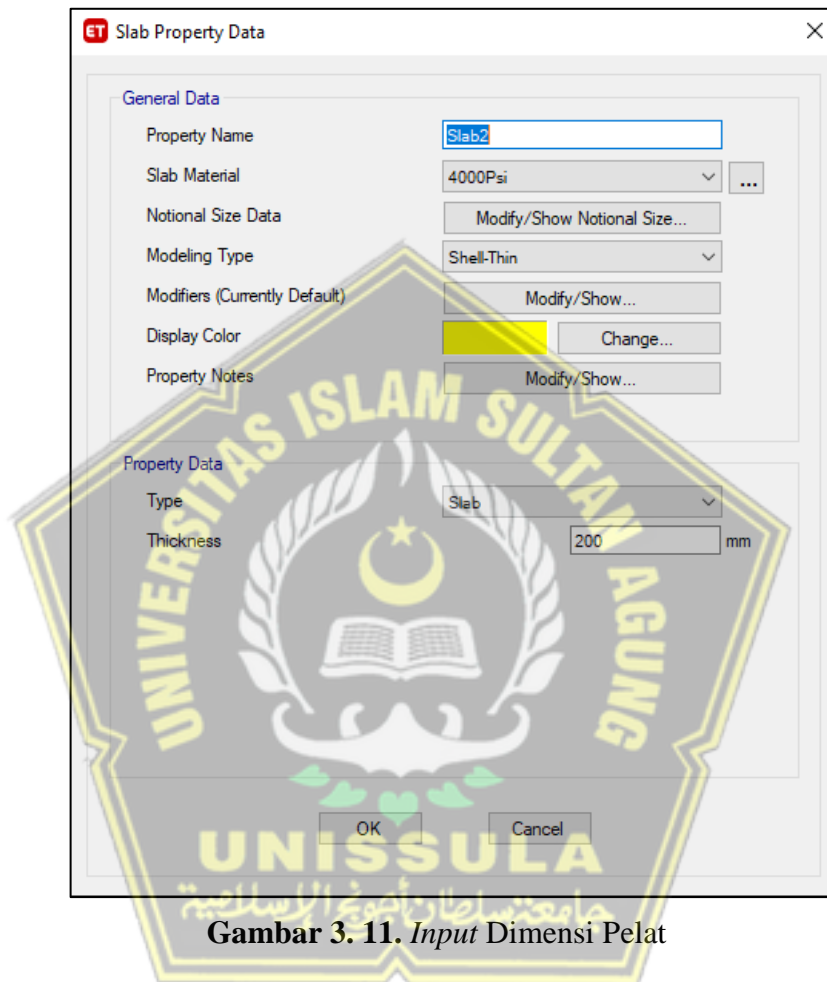
Bottom Bars at J-End: 0 mm²

OK Cancel

Gambar 3. 10. Reinforcement Data Beam



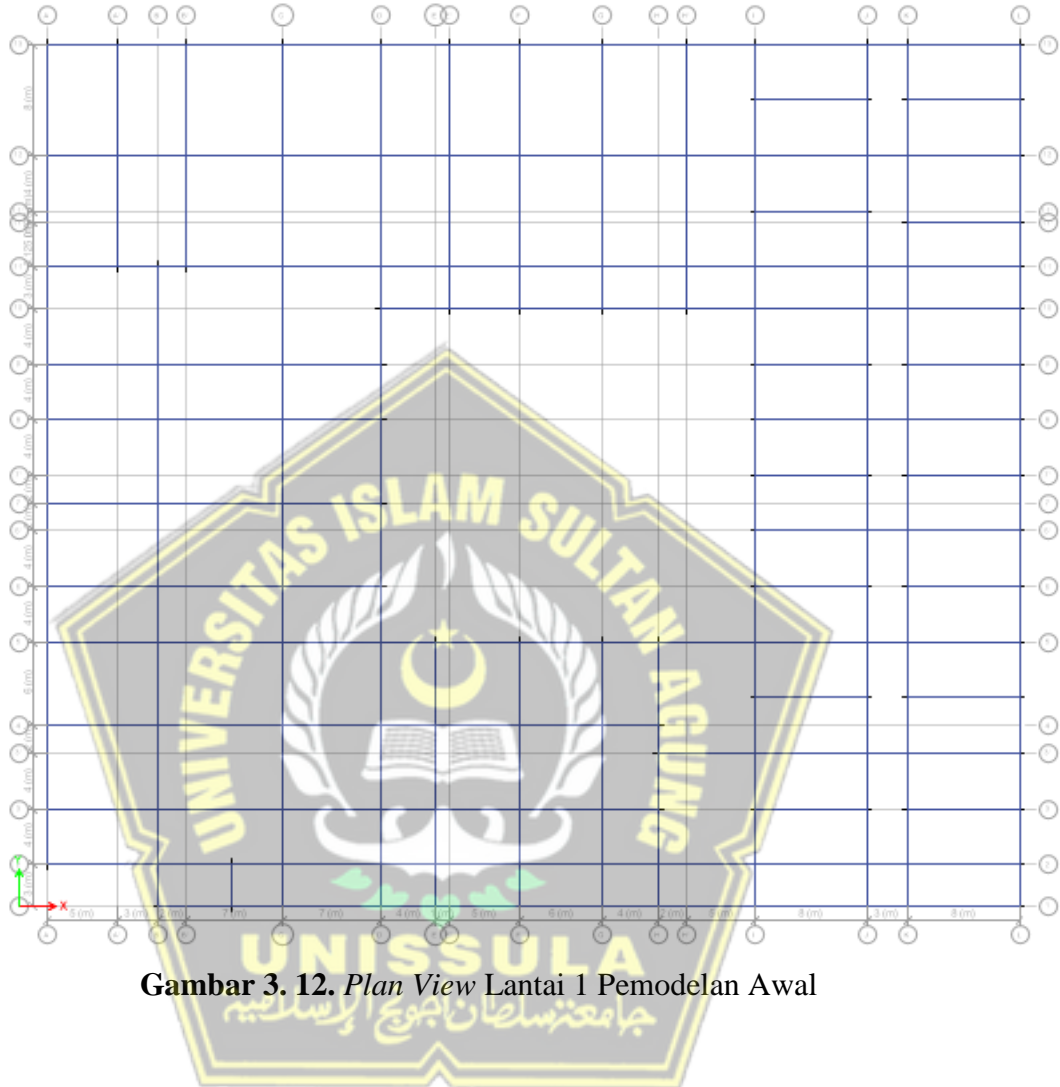
11. Untuk memasukkan dimensi pelat : klik *Define* → klik *Section Properties* → klik *Slab Sections* → klik *Add New Property* → ubah nama pelat pada bagian *Property Name* → tentukan mutu beton untuk pelat pada bagian *Slab Material* → pilih *Membrane* pada bagian *Modeling Type* → pilih *Slab* pada bagian *Type* → tentukan tebal pelat pada bagian *Thickness* → klik OK



Gambar 3. 11. *Input Dimensi Pelat*

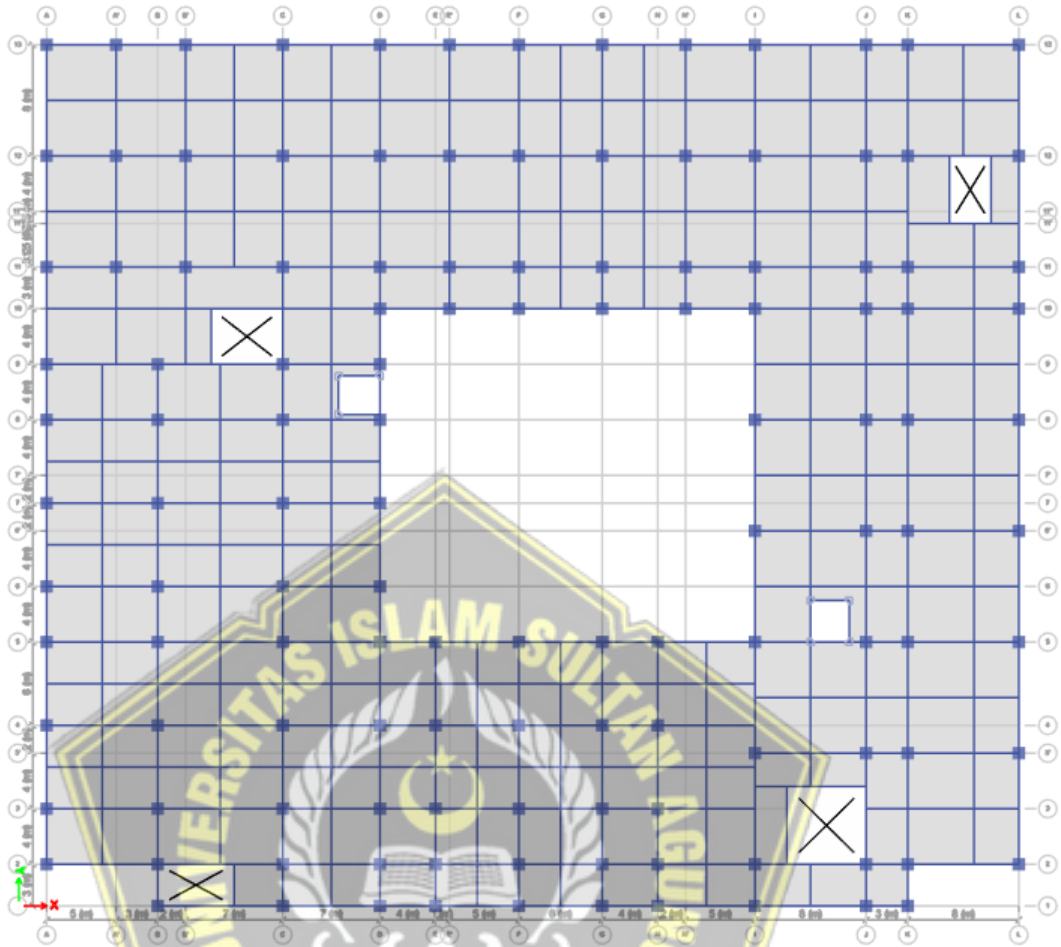
12. Tampilan dari pemodelan struktur bangunan pada perangkat lunak ETABS adalah sebagai berikut:

- *Plan View Lantai 1*



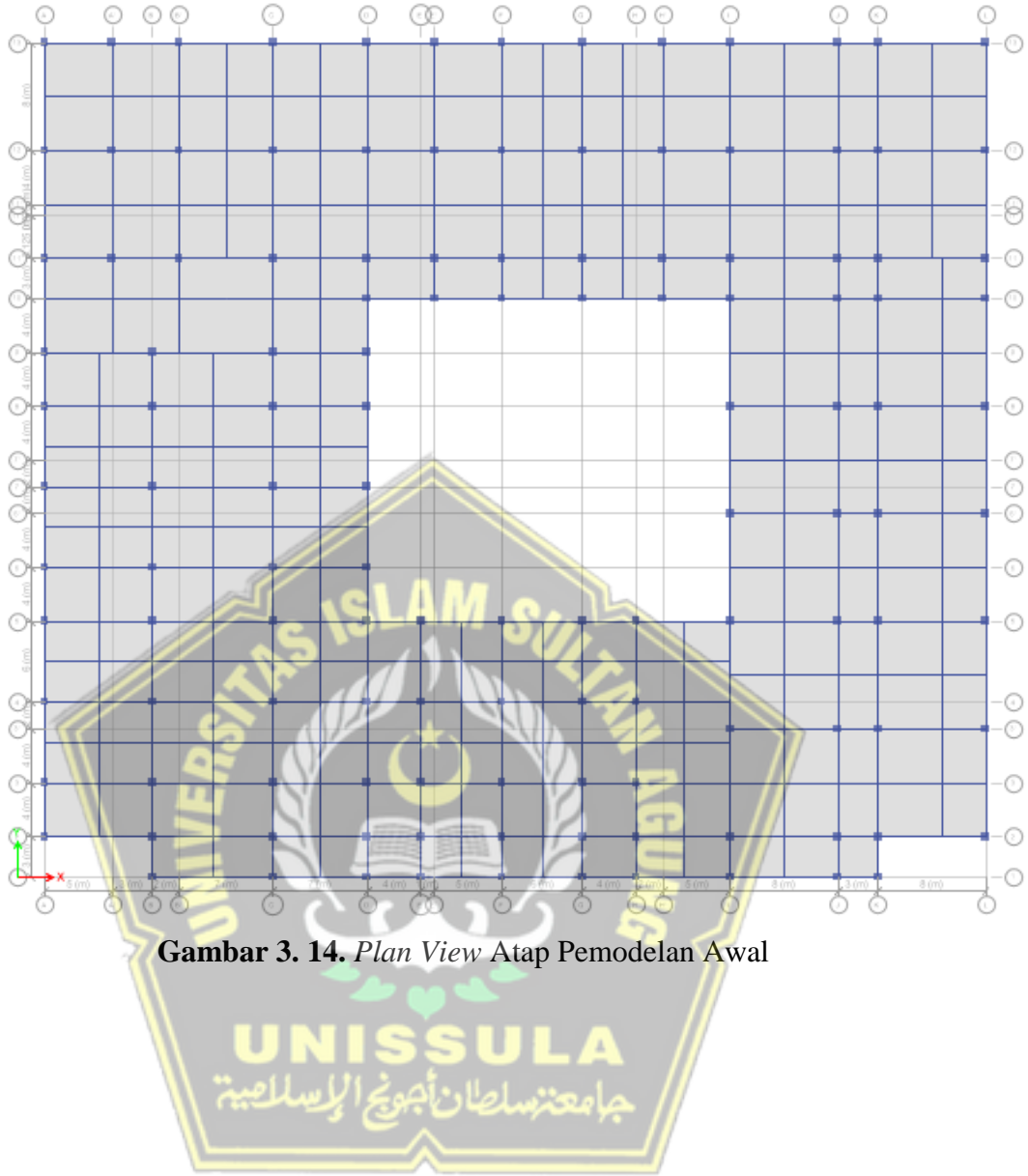
Gambar 3. 12. *Plan View Lantai 1 Pemodelan Awal*

- *Plan View Lantai 2 – 8*



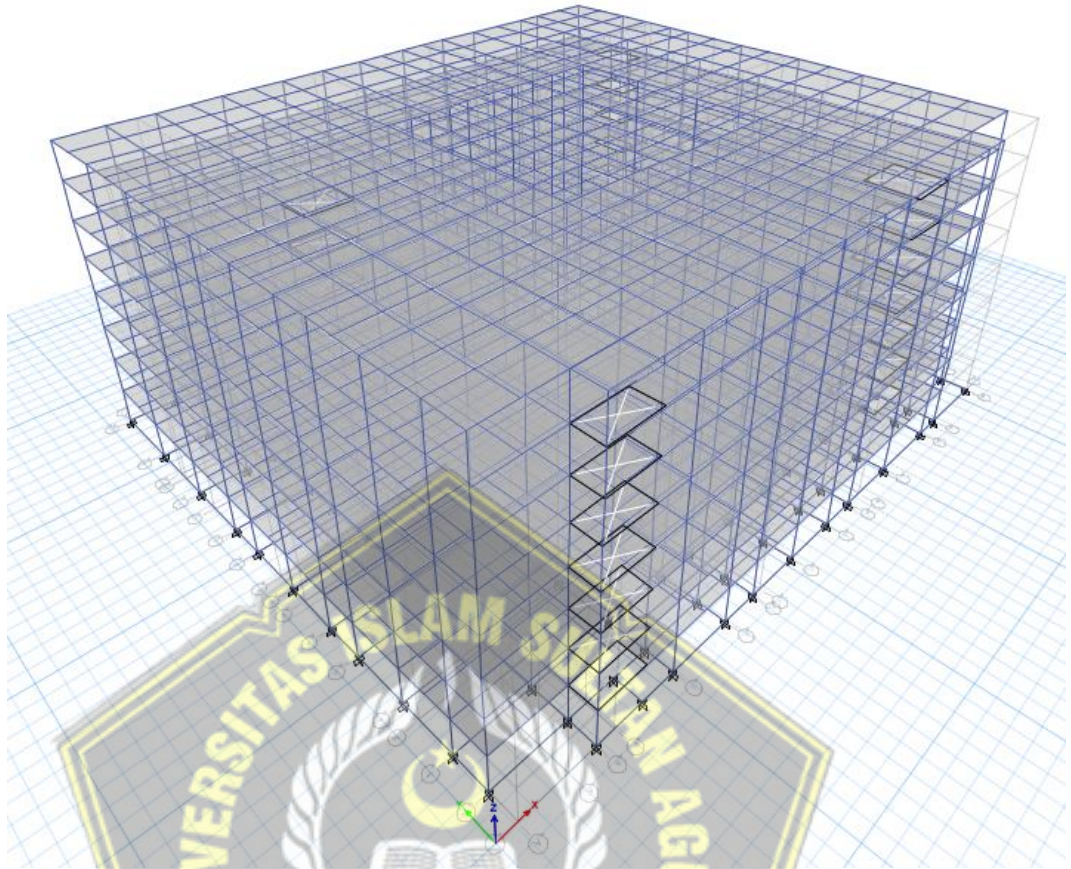
Gambar 3. 13. *Plan View Lantai 2 – 8 Pemodelan Awal*

- *Plan View Atap*



Gambar 3. 14. *Plan View Atap* Pemodelan Awal

- *3D View*



Gambar 3. 15. 3D View Pemodelan Awal

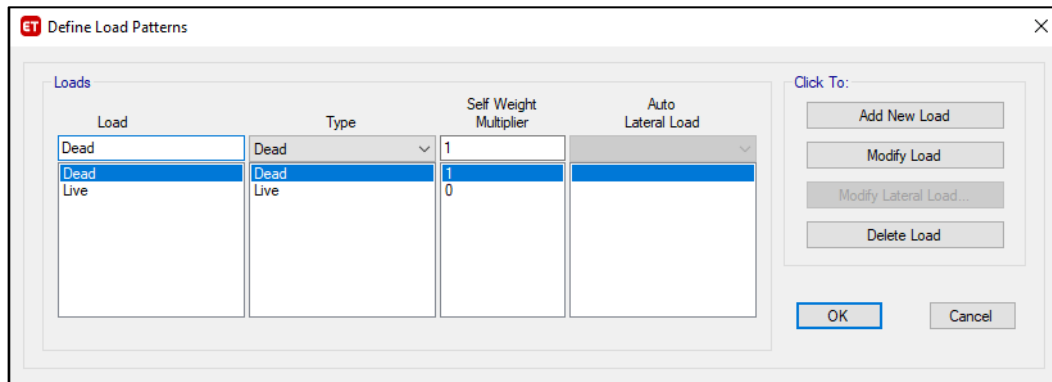
3.3.1.2. Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur mencakup pembebanan statik berupa beban hidup (*live load*) dan beban mati (*dead load*) serta pembebanan gempa.

a) Pembebanan Statik

Pembebanan statik meliputi semua beban yang bekerja terhadap struktur bangunan yaitu beban hidup dan beban mati. Pada analisis struktur dilakukan pembebanan yakni Beban Hidup + Beban Mati (Struktur + Tambahan). Beban mati struktur terjadi akibat dari adanya komponen struktur penyusun bangunan seperti pelat, balok, dan kolom. Beban mati tambahan merupakan beban akibat dari adanya komponen tambahan berkaitan adanya *finishing* bangunan dikarenakan mempunyai sifat stabil. Beban hidup diperoleh sesuai dengan penggunaan suatu bangunan.

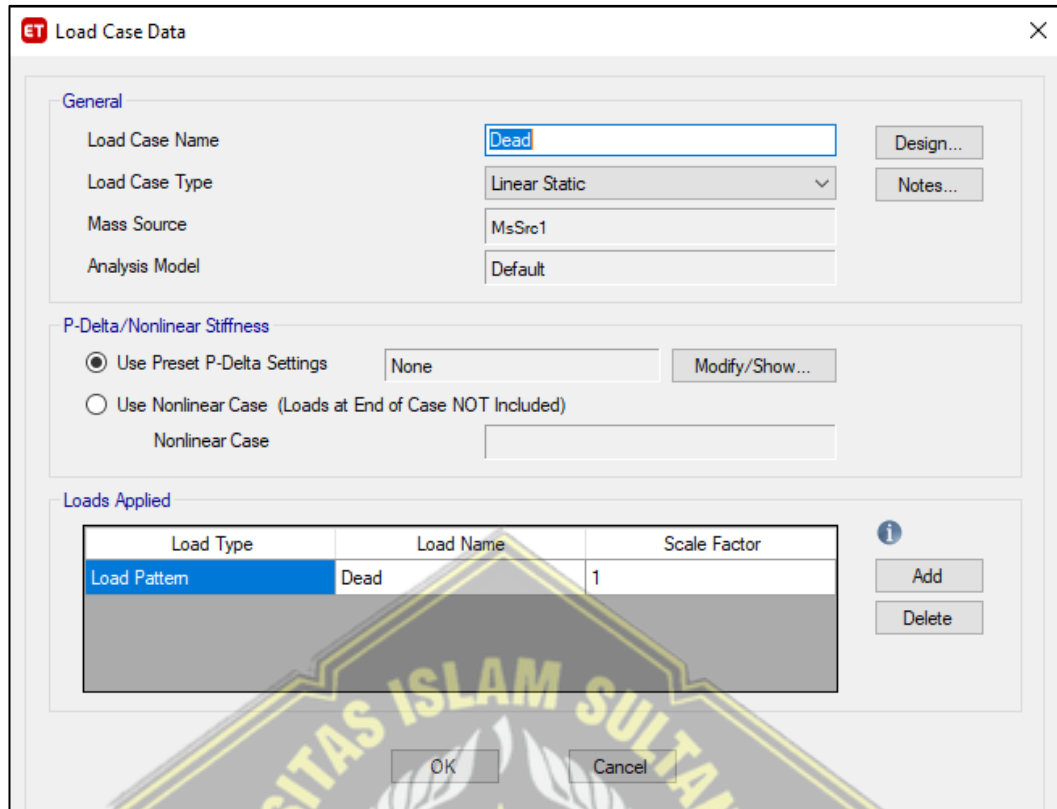
Beban statik dapat didefinisikan pada ETABS dengan cara memilih menu *Define-Load Patterns* ditunjukkan pada Gambar 3.16.



Gambar 3. 16. *Define Load Patterns*

- **Bagian Load : Dead**
Ganti tulisan *Dead* jadi *DL* → klik *Modify Load* → ganti *Type* jadi *Dead* → beri angka 1 pada *Self Weight Multiplier* → klik OK.
(1 = ETABS menghitung secara otomatis beban mati struktur).
- **Bagian Load : Live**
Ganti tulisan *Live* jadi *LL* → klik *Modify Load* → ganti *Type* jadi *Live* → beri angka 0 pada *Self Weight Multiplier* → klik OK.
(0 = kita masukkan sendiri untuk beban mati hidup berdasarkan kegunaan suatu bangunan).
- **Bagian Load : SIDL**
Ganti tulisan *Dead* jadi *SIDL* → klik *Modify Load* → ganti *Type* jadi *Super Dead* → beri angka 0 pada *Self Weight Multiplier* → klik *Add New Load* → klik OK
(0 = kita masukkan sendiri untuk beban mati tambahan)

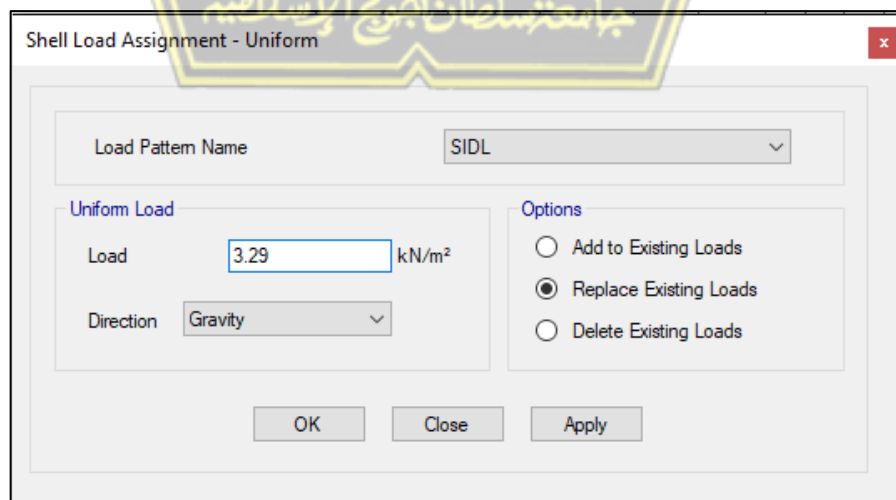
Untuk mengecek hasil *input* setelah beban yang didefinisikan pada tahap sebelumnya: klik *Define* → pilih *Load Cases* ditunjukkan pada Gambar 3.17 → klik *Load Case Name* → klik *Modify/Show Case* → ganti *Load Case Name* jadi sesuai jenis beban → klik OK.



Gambar 3. 17. *Load Case Data*

- *Input* Beban Mati Tambahan

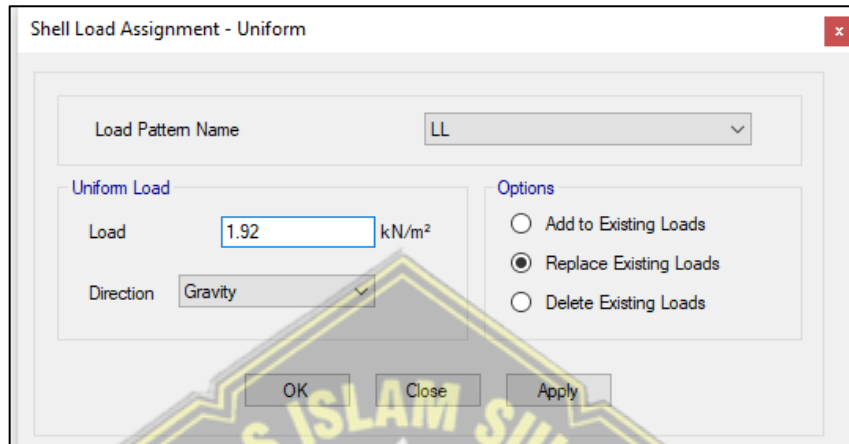
Klik menu *Select* → pilih *Select* → pilih *Properties* → klik *Slab Sections* → seleksi pelat yang akan dimasukkan beban → klik *Select* → klik *Close*. Klik *Assign* → pilih *Shell Loads* → klik *Uniform* → isikan beban → klik *Apply* → klik OK



Gambar 3. 18. *Input* Beban Mati Tambahan

- *Input* Beban Hidup

Klik menu *Select* → pilih *Select* → pilih *Properties* → klik *Slab Sections* → pilih pelat yang akan dimasukkan beban → klik *Select* → klik *Close*. Klik *Assign* → pilih *Shell Loads* → klik *Uniform* → isikan beban → klik *Apply* → klik OK

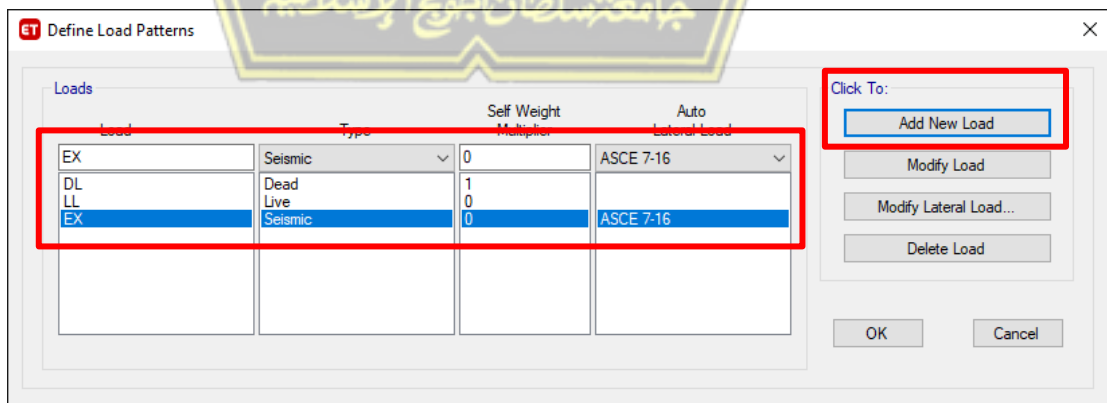


Gambar 3. 19. *Input* Beban Hidup

b) Pembebanan Gempa

Langkah-langkah untuk memasukkan pembebanan gempa statik ekuivalen pada ETABS adalah sebagai berikut:

1. Klik *Define* → klik *Load Patterns* → *input* Load jadi EX seperti Gambar 3.20 → klik *Modify Load* → ganti *Type* jadi *Seismic* → beri angka 0 pada *Self Weight Multiplier* → pilih *Auto Lateral Load ASCE 7 – 16* → klik *Add New Load* → klik OK.



Gambar 3. 20. *Input* Gaya Lateral EX

2. Klik *Modify Lateral Load* → pilih *X Dir* → pilih *Program Calculated* → isikan S_s , S_1 , T_L → isikan R , Ω_0 , C_d , I_e → input sesuai Gambar 3.21 → klik OK.

Gambar 3. 21. ASCE 7 – 16 Seismic Loading X-Direction (*Time Period Program*)

Keterangan :

- *Approximate*
Time Period program dihitung sesuai dengan persamaan pendekatan periode / minimum periode terhadap fungsi C_t (ft), x .
- *Program Calculated*
 Perhitungan waktu getar/periode desain secara otomatis oleh program dengan melibatkan batasan periode atas dan bawah.
- *User Defined*
 Nilai hasil dari periode desain yang sudah diperoleh dapat dimasukkan langsung oleh kita.

Penentuan nilai x dan C_t dalam fungsi $C_t(f_t)$, x ditunjukkan oleh Tabel 3.1

Tabel 3. 1. Indikator Pendekatan Periode x dan C_t

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana 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	0,028 (0,0724)	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,016 (0,0466)	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,03 (0,0731)	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,03 (0,0731)	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,02 (0,0488)	0,75

(sumber : Tabel 18 SNI 1726:2019)

Berdasarkan tabel di atas, sistem ganda dikategorikan dalam tipe struktur lainnya dengan formula pendekatan periodenya yakni $C_t(f_t)$, $x = 0,0488; 0,75$.

Keterangan:

- *Story Range* :

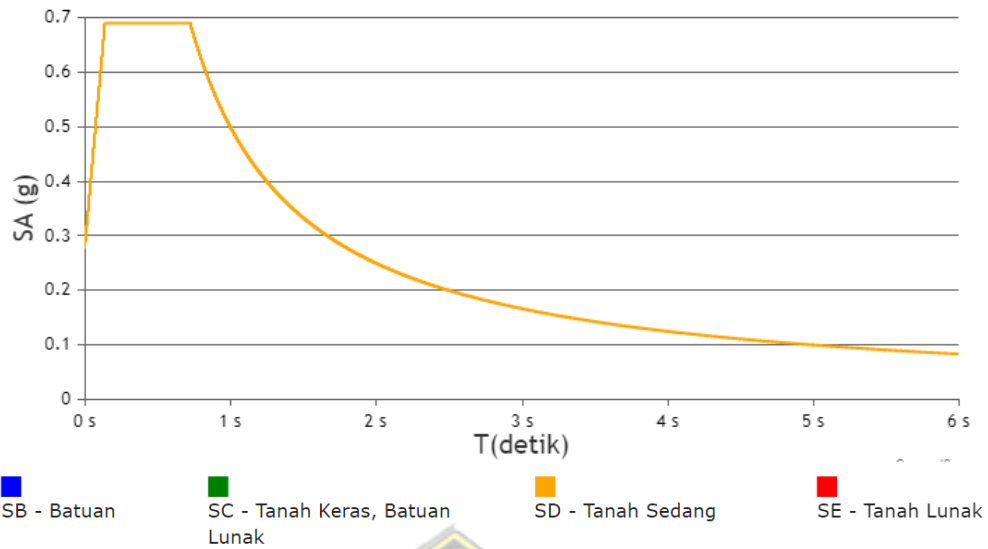
- *Bottom Story for Seismic Loads* = Base (Tingkat dasar)
- *Top Story for Seismic Loads* = Story 8 (Tingkat teratas)

- *Factors* :

- *Deflection Amplification* (C_d) = 5,5
- *Occupancy Important* (I_e) = 1,5
- *System Overstrength* (Ω_0) = 2,5
- *Response Modification* (R) = 7

- *Seismic Coefficients* :

Spektrum Respons Desain Kota Semarang berdasarkan situs Spektra Desain Indonesia ditunjukkan oleh Gambar 3.22.



Gambar 3. 22. Spektrum Respons Desain Kota Semarang

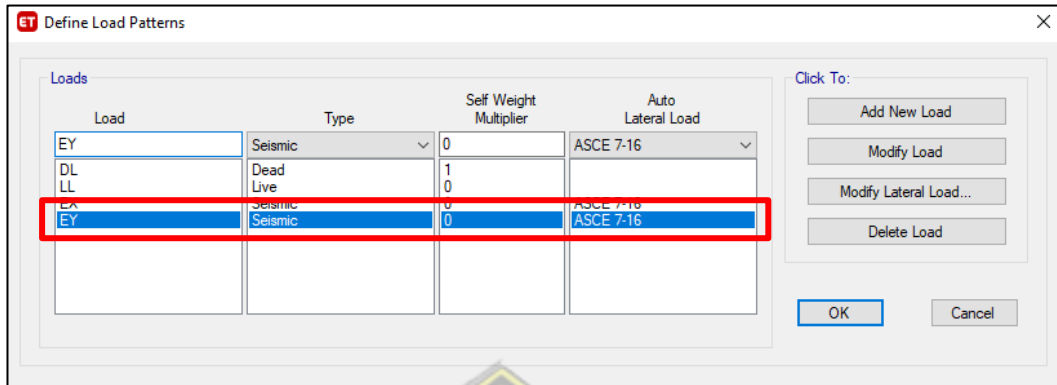
Indikator spektral tanah sedang Kota Semarang sesuai dengan *website* Spektra Desain Indonesia pada Gambar 3.23.

Kelas	SD - Tanah Sedang	T0(detik)	0.14	Ts(detik)	0.71	Sds(g)	0.70	Sd1(g)	0.50
Rentang T(s)	Value: 6								
PGA MCEG	0.4142	(g) bedrock							
SS MCEr	0.9374	(g) bedrock							
S1 MCEr	0.3913	(g) bedrock							
TL	20	Detik							

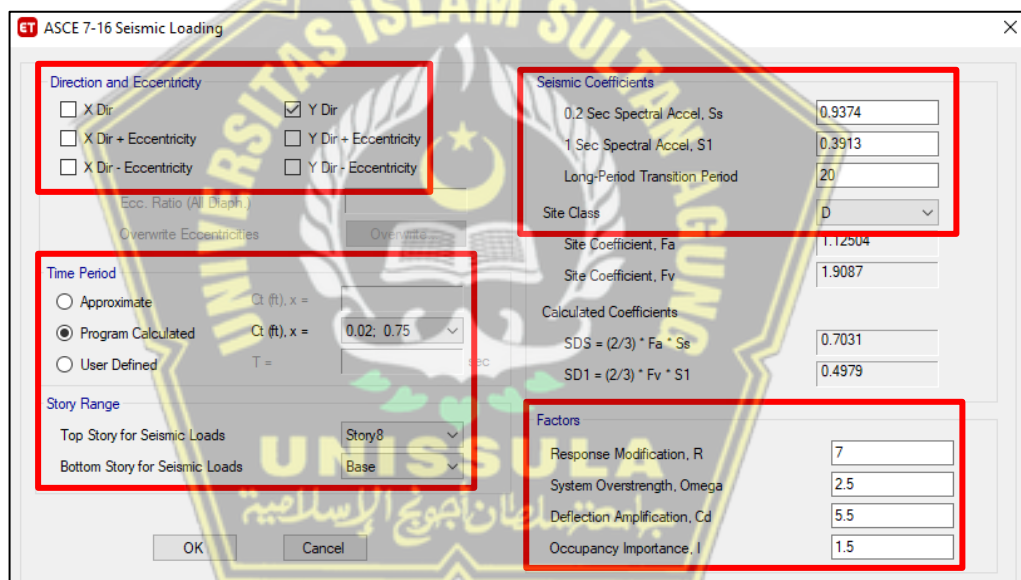
Gambar 3. 23. Parameter Spektral Tanah Sedang Kota Semarang

- *Site Class* = D (Situs SD, Tanah Sedang)
- *Long Period-Transition Period* = 20 sec
- *1 Sec Spectral Accel* (S_1) = 0,3913
- *0,2 Sec Spectral Accel* (S_s) = 0,9374

Langkah-langkah untuk membuat beban gempa statik arah-Y hampir sama seperti beban gempa statik arah-X. Perbedaannya terdapat pada Gambar 3.24 dan Gambar 3.25.



Gambar 3. 24. *Input Gaya Lateral EY*



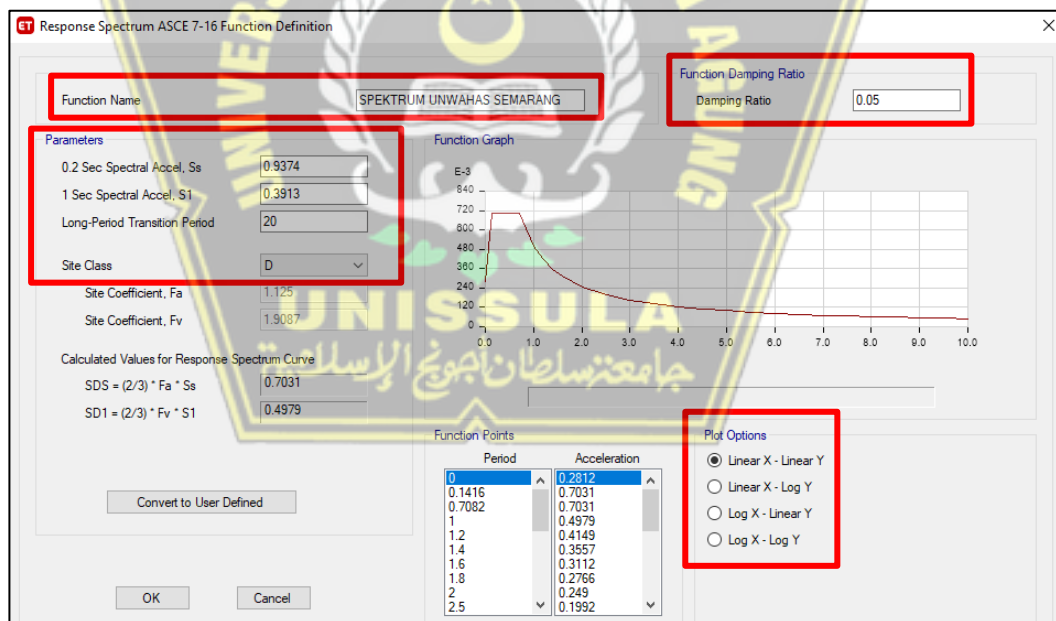
Gambar 3. 25. *ASCE 7 – 16 Seismic Loading Y-Direction (Time Period Program)*

Selain pembebanan gempa statik ekuivalen, juga terdapat adanya pembebanan gempa dinamik yang menggunakan respons spektra agar dapat mengetahui karakter dinamik terhadap desain gaya geser gedung-gedung tinggi yang terpengaruh pada terkontribusinya beragam *mode/modal*. Analisis gempa dinamik dalam perencanaan harus disertakan terhadap bangunan-bangunan yang mempunyai sisi ketidakberaturan/*irregularity*. Karakter dinamik bakal berpengaruh dan bisa dijadikan standar dalam memperoleh nilai rencana gaya

geser dengan semakin tingginya suatu bangunan dan semakin banyaknya *mode* yang berkontribusi. Hasil analisis gempa dinamik dikomparasikan terhadap hasil analisa ekivalen statik, sehingga sepanjang tinggi gedung diperoleh distribusi nilai-nilai gaya geser yang bagus.

Program ETABS yang digunakan dapat mempermudah dalam melakukan analisis secara langsung terhadap pembebanan respons spektra dinamik gempa dengan menetapkan terlebih dahulu kurva respons spektrum berdasarkan indikator spektral area lokasi bangunan didirikan maupun tipe tanahnya. Langkah-langkah agar dapat memasukkan pembebanan gempa dinamik respons spektra pada ETABS, antara lain:

1. Pilih *Define* → klik *Functions* → klik *Response Spectrum* → pilih *ASCE 7-16* pada bagian *Choose Function Type to Add* → klik *Add New Function* → beri nama di bagian *Function Name* → isikan S_s , S_1 , T_L → pilih *D* pada bagian *Site Class* → isikan *Damping Ratio* → tentukan *Plot Option* → *input* sesuai Gambar 3.26 → klik *OK*.



Gambar 3. 26. ASCE 7-16 Respon Spektrum

2. Klik *Define* → *Load Cases* → klik *Add New Case* → beri nama di bagian *Load Case Name* → pilih *Response Spectrum* pada *Load Case Type* → pilih *Acceleration* pada bagian *Load Type* → tentukan pada bagian *Function* → isikan *Scale Factor* → tentukan *Other Parameters* → input data pada *Load Case Data* sesuai Gambar 3.27 → klik OK

General

Load Case Name: SPEC-X
Load Case Type: Response Spectrum
Mass Source: Previous (Berat Bangunan)
Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	SPEKTRUM UNWA...	2102.14

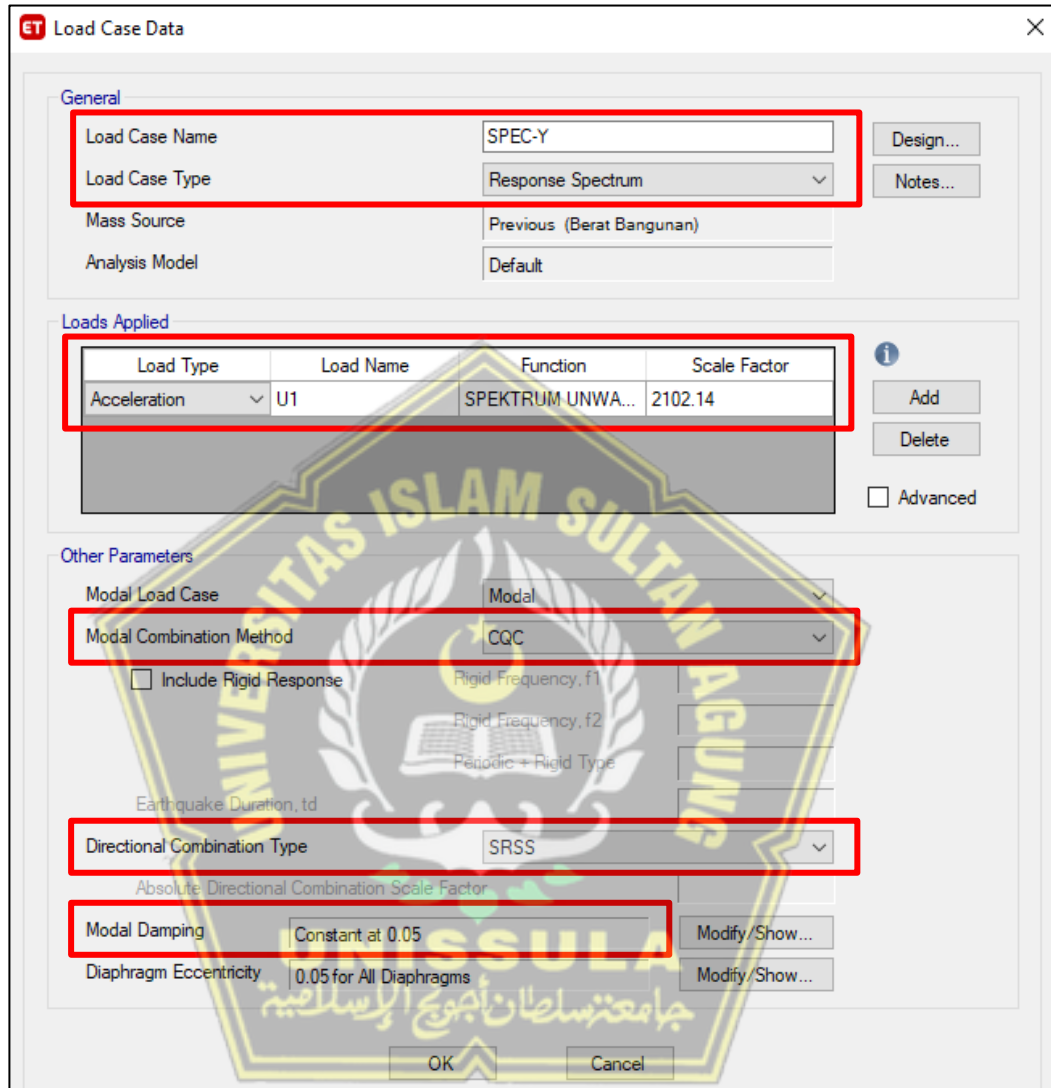
Other Parameters

Modal Load Case: Modal
Modal Combination Method: CQC
Include Rigid Response:
Rigid Frequency, f1:
Rigid Frequency, f2:
Periodic + Rigid Type:
Earthquake Duration, td:
Directional Combination Type: SRSS
Absolute Directional Combination Scale Factor:
Modal Damping: Constant at 0.05
Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

OK Cancel

Gambar 3. 27. *Load Case Data SPEC-X*

Langkah-langkah untuk membuat beban dinamik gempa respons spektrum arah Y hampir sama dengan beban dinamik gempa respons spektrum arah-X. Perbedaannya ditunjukkan oleh Gambar 3.28.



Gambar 3. 28. Load Case Data SPEC-Y

3.3.1.3. Analisis Struktur

Analisis struktur bertujuan agar dapat mengetahui gaya dalam yang diakibatkan aksi beban terhadap struktur yang selanjutnya dipergunakan dalam perhitungan keperluan tulangan. Gaya tersebut meliputi momen, gaya lintang, dan gaya aksial. Selain itu, juga dipergunakan untuk melihat adanya perpindahan dari sisi ke sisi. Program ETABS membantu dalam menganalisis gaya dalam tersebut.

Analisis struktur terhadap beban gempa dilakukan menggunakan Respons Spektrum agar dapat memperoleh kurva respons spektrum berdasarkan lokasi gempa sesuai situs yang berasal dari Direktorat Jenderal Kementerian PUPR yaitu rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021. Nilai F_a dan F_v dibutuhkan dalam perhitungan analisis respons spektrum.

3.3.2. Tahapan Perancangan

Komponen struktur atas berupa kolom, pelat, balok, hubungan kolom-balok (*joint*), dan dinding geser dianalisis agar memperoleh gaya-gaya dalam untuk mendesain penulangan untuk menahan gaya yang terjadi.

3.3.2.1. Tahapan Perancangan Pelat

Ada tahapan-tahapan yang perlu untuk dilakukan dalam perancangan pelat, antara lain:

- Menentukan properti material dan penampang pelat
- Pengambilan data gaya dalam pelat dari ETABS
- Mendesain penulangan lentur pelat
- Pengecekan kapasitas geser pelat
- Pengecekan lendutan pelat
- Rekapitulasi hasil penulangan pelat

3.3.2.2. Tahapan Perancangan Balok

Ada beragam tahapan yang perlu untuk dikerjakan dalam perancangan balok, antara lain:

- Menentukan properti material dan penampang balok
- Pengambilan data gaya dalam balok dari ETABS
- Mendesain penulangan longitudinal balok

- Mendesain penulangan transversal balok
- Mendesain penulangan torsi balok
- Rekapitulasi hasil penulangan balok

3.3.2.3. Tahapan Perancangan Kolom

Ada tahapan-tahapan yang perlu untuk dilakukan dalam perancangan kolom, antara lain:

- Menentukan properti material dan penampang kolom
- Pengambilan data gaya dalam kolom dari ETABS
- Mendesain penulangan longitudinal kolom
- Mendesain penulangan transversal kolom
- Rekapitulasi hasil penulangan kolom

3.3.2.4. Tahapan Pengecekan Syarat *Strong Column-Weak Beam*

Ada tahapan-tahapan yang perlu untuk dilakukan dalam pengecekan syarat *Strong Column-Weak Beam*, antara lain:

- Menentukan nilai momen kapasitas balok ($\sum M_{nb}$)
- Menentukan nilai momen kapasitas kolom ($\sum M_{nc}$)
- Pengecekan syarat $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$

3.3.2.5. Tahapan Perancangan Hubungan Balok-Kolom (*Joint*)

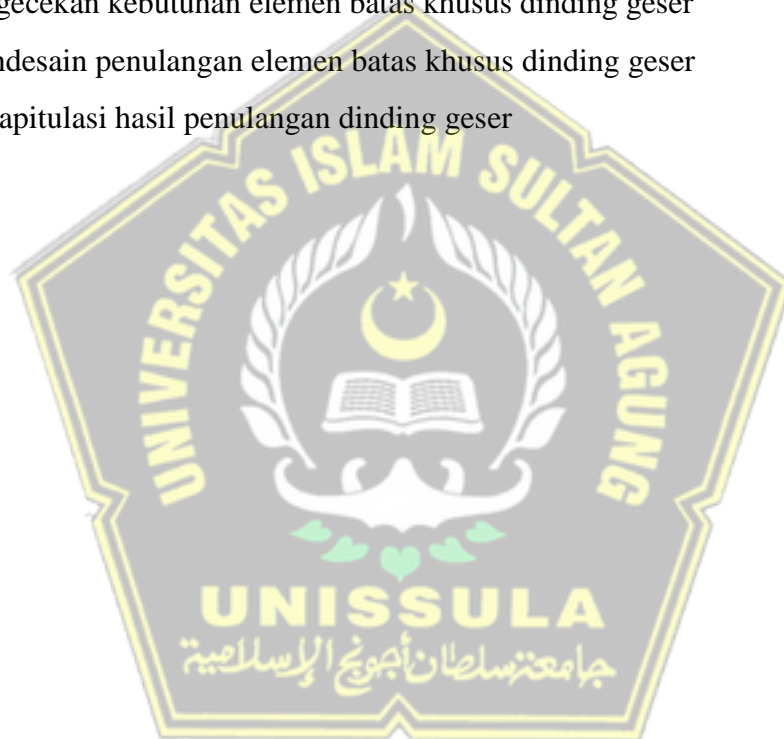
Ada tahapan-tahapan yang perlu untuk dilakukan dalam perancangan hubungan balok-kolom (*joint*), antara lain:

- Pengecekan syarat panjang *joint*
- Menentukan tulangan geser untuk *confinement*
- Menentukan gaya geser pada *joint*
- Menentukan gaya geser pada kolom
- Menentukan kekuatan geser pada *joint*
- Menentukan kekuatan geser terkekang keempat sisi
- Pengecekan syarat kuat geser terkekang lebih besar dari gaya geser *joint*

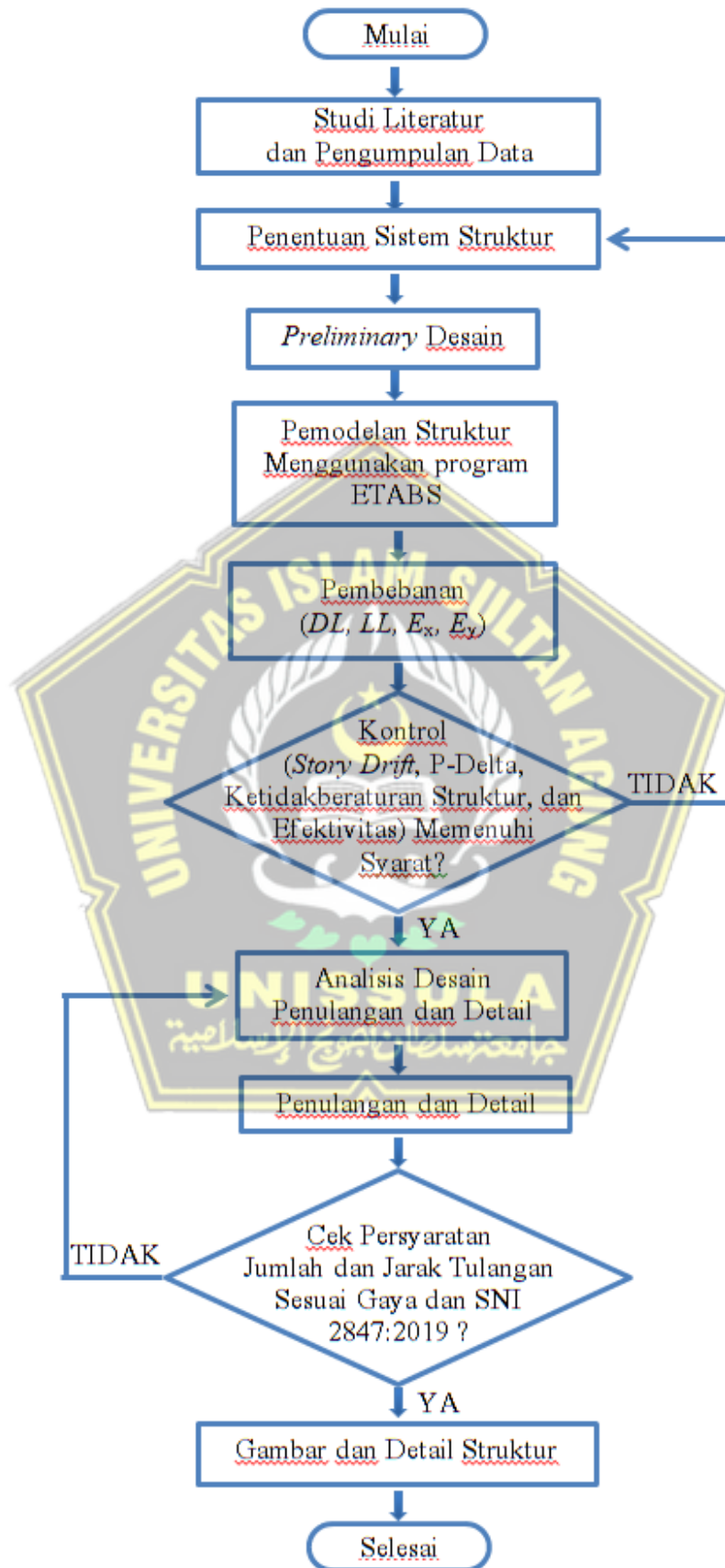
3.3.2.6. Tahapan Perancangan Dinding Geser

Ada tahapan-tahapan yang perlu untuk dilakukan dalam perancangan dinding geser, antara lain:

- Menentukan properti material dan penampang dinding geser
- Pengambilan data gaya dalam dinding geser dari ETABS
- Pengecekan syarat geometri dinding geser
- Menentukan kebutuhan tulangan minimum dinding geser
- Pengecekan terhadap gaya dalam aksial-lentur (*SPColumn*)
- Pengecekan kapasitas geser dinding geser
- Pengecekan kebutuhan elemen batas khusus dinding geser
- Mendesain penulangan elemen batas khusus dinding geser
- Rekapitulasi hasil penulangan dinding geser



3.4. Diagram Alir



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Struktur Gedung

4.1.1. Deskripsi Umum Struktur

Gedung bertingkat dengan tinggi 8 lantai akan dimodelkan dengan 3 jenis pemodelan. Pada model pertama, akan dimodelkan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Kemudian, model kedua dimodelkan dengan sistem ganda yakni Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) bersama Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK). Sementara, model ketiga berdasarkan model kedua dengan ditambahkan kolom keliling. Pemodelan dilakukan sesuai dengan standar SNI 1726:2019.

Kegunaan bangunan sebagai gedung perkuliahan yang bertempat di Gunungpati, Semarang dan terdiri dari 7 lantai yang berfungsi sebagai ruang kelas perkuliahan dan 1 lantai paling atas sebagai atap bangunan. Secara konvensional, material beton bertulang digunakan dalam perancangan bangunan ini. Bangunan berupa persegi panjang dengan total tingginya 32,64 meter. Data model struktur gedung ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Data Model Struktur Gedung

Fungsi Bangunan	: Gedung Perkuliahan
Lokasi	: Gunungpati, Semarang
Jumlah Lantai	: 8 Lantai
Tinggi Total	: 32,64 m
Sistem Struktur 1	: Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
Sistem Struktur 2	: Sistem Ganda (SRPMK dan SDSK)
Sistem Struktur 3	: Sistem Ganda dengan tambahan kolom keliling

Berikut denah arsitektur dari gedung yang didesain ditunjukkan oleh Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.

Berikut data tinggi antar lantai dan spesifikasi material yang digunakan :

- Tinggi antar lantai, sesuai Tabel 4.2.

Tabel 4. 2. Tinggi Antar Lantai Gedung

Lantai	Tinggi Antar Lantai (m)
Lantai 1	4,08
Lantai 2	4,08
Lantai 3	4,08
Lantai 4	4,08
Lantai 5	4,08
Lantai 6	4,08
Lantai 7	4,08
Lantai 8	4,08

- Spesifikasi material yang digunakan :

- 1) Mutu Baja Tulangan, sesuai Tabel 4.3

Tabel 4. 3. Mutu Baja Tulangan

No	Jenis Tulangan	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_{ye} (MPa)	f_{ue} (MPa)
1	BJTS ($D \geq 10$ mm)	420	620	462	682
2	BJTP ($\varnothing \leq 10$ mm)	240	370	264	407

- 2) Mutu Beton, sesuai Tabel 4.4 dan Tabel 4.5

- a) Balok dan Pelat

Tabel 4. 4. Mutu Beton Balok dan Pelat

f_c'	33,2	MPa
E	27081	MPa

- b) Kolom dan Dinding Geser, sesuai Tabel 4.5

Tabel 4. 5. Mutu Beton Kolom dan Dinding Geser

f_c'	40	MPa
E	29725	MPa

Perhitungan modulus elastisitas (E) diperoleh berdasarkan Persamaan 4.1

$$E = 4700 \sqrt{f_c'} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (4.1)$$

4.1.2. Perencanaan Awal Dimensi Struktur (*Preliminary Design*)

Tahapan awal pada saat merencanakan bangunan struktur tahan gempa adalah melakukan perencanaan dimensi awal terhadap komponen struktur (*preliminary design*) yaitu berupa penetapan awal dimensi dalam setiap komponen struktur sesuai dengan standar SNI 2847:2019, yaitu Persyaratan Struktural Beton untuk Bangunan Gedung.

4.1.2.1. *Preliminary* Elemen Pelat

Perancangan dimensi awal pelat berpedoman terhadap panjang rencana bentang. Sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 7.3 dan 8.3, standar minimum dimensi pelat 1 arah dan 2 arah dicantumkan oleh Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4. 6. Tebal Minimum Pelat Satu Arah

Kondisi Perlekatan	Tebal minimum pelat (h) ^[1]
Perlekatan Sederhana	$L/20$
Satu ujung menerus	$L/24$
Kedua ujung menerus	$L/28$
Kantilever	$L/10$

(sumber : Tabel 7.3.1.1 SNI 2847:2019)

Catatan:

L merupakan bentang panjang (mm)

^[1]Khusus kepada berat standar dengan $f_y = 420$ MPa. Pada persoalan lainnya:

- 1) Jika $f_y > 420$ MPa, persamaan di Tabel 4.12 wajib dikali $(0,4 + f_y / 700)$
- 2) Jika bukan pelat prategang beton ringan dimana $w_c = 1440$ sampai 1840 kg/m³, sesuai persamaan di Tabel 4.12 wajib dikali dengan nilai maksimum daripada :
a) $1,65 - 0,0003 w_c$ dan b) $1,09$

Tabel 4. 7. Tebal Minimum Pelat Dua Arah

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

(sumber : Tabel 8.3.1.1 SNI 2847:2019)

Ketebalan minimum pelat satu arah ditentukan dengan melihat hasil komparasi antara sisi paling panjang dan pendek yakni melebihi 2 dipergunakan persamaan $L/28$ dimana L yakni sisi paling pendek pelat. Sementara, ketebalan minimum pelat dua arah ditentukan dengan melihat hasil komparasi antara sisi paling panjang dan pendek yakni kurang dari 2 dipergunakan persamaan $L_n/33$ dimana L_n merupakan bentang neto menuju orientasi memanjang terukur dari bagian depan ke bagian depan tumpuan. Hasil *preliminary* elemen pelat pada perancangan bangunan 8 lantai ini tertera pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8. Hasil *Preliminary* Elemen Pelat

Nomor Pelat	L_y (mm)	L_x (mm)	L_y/L_x	Keterangan	L (mm)	L_n (mm)	H_{min} (mm)	H (mm)
1	5000	4000	1,25	2 arah	4000	3100	94	125
2	4000	4000	1,00	2 arah	4000	3100	94	125
3	5000	3000	1,67	2 arah	3000	2100	64	125
4	7000	3000	2,33	1 arah	3000	2100	107	125
5	4000	1850	2,16	1 arah	1850	950	66	125
6	4500	4000	1,13	2 arah	4000	3100	94	125
7	4000	3500	1,14	2 arah	3500	2600	79	125
8	4000	3000	1,33	2 arah	3000	2100	64	125
9	4875	3000	1,63	2 arah	3000	2100	64	125
10	4875	2000	2,44	1 arah	2000	1100	71	125
11	4775	3125	1,53	2 arah	3125	2225	67	125
12	3225	3125	1,03	2 arah	3125	2225	67	125
13	3500	3000	1,17	2 arah	3000	2100	64	125
14	3000	3000	1,00	2 arah	3000	2100	64	125
15	4000	3000	1,33	2 arah	3000	2100	64	125
16	4775	3000	1,59	2 arah	3000	2100	64	125
17	3225	3000	1,08	2 arah	3000	2100	64	125
18	4000	3225	1,24	2 arah	3225	2325	70	125
19	4775	4000	1,19	2 arah	4000	3100	94	125
20	4000	2400	1,67	2 arah	2400	1500	45	125
21	5600	2300	2,43	1 arah	2300	1400	82	125
22	4500	3000	1,50	2 arah	3000	2100	64	125

Sesuai Tabel 4.8 di atas, diperoleh bahwa dimensi pelat yang dapat digunakan yaitu 125 mm.

4.1.2.2. Preliminary Elemen Balok

Pada tahapan perhitungan awal dimensi komponen balok, dipergunakan formula dalam mencari tinggi minimal balok dengan balok induk yakni $L/12$ dan balok anak yakni $L/15$. Kemudian, lebar balok yang dicari dipergunakan formula $H/2$. Balok persegi panjang merupakan tipe balok yang dipergunakan.

Hasil *preliminary* elemen balok bisa diperoleh berdasarkan pada Tabel 4.9 antara lain:

Tabel 4. 9. Hasil *Preliminary* Elemen Balok

Nama	Status Balok	Tipe Balok	L (mm)	H_{min}	$H_{dipakai}$	B_{min}	$B_{dipakai}$
G1	Induk	Persegi panjang	8000	667	700	350	350
G2	Induk	Persegi panjang	7000	583	600	300	300
G3	Induk	Persegi panjang	6000	500	500	250	300
G4	Induk	Persegi panjang	4000	333	400	200	300
B1	Anak	Persegi panjang	8000	633	700	250	250
B2	Anak	Persegi panjang	6000	400	400	200	200

4.1.2.3. Preliminary Elemen Kolom

Preliminary elemen struktur kolom dihitung berdasarkan Persamaan 4.2 dengan formula:

$$A_g \geq \frac{P_u}{0,35 f_c'} \quad (4.2)$$

Keterangan:

A_g = luas bruto bidang kolom

P_u = keseluruhan aksi beban terhadap kolom

f_c' = kekuatan kolom terhadap tekan

Penggunaan dimensi kolom direncanakan terbagi menjadi empat dimensi kolom yang berbeda tiap dua lantai. Perhitungan beban pada kolom dengan cara beban yang beraksi di atas kolom per meter persegi dikalikan dengan luas daerah pengaruh dalam meter persegi. Pembebanan yang dikontrol yakni pada lantai 1, 3, 5, dan 7. Pembebanan serta perhitungan dimensi kolom ditunjukkan oleh Tabel 4.10 sampai Tabel 4.14.

Tabel 4. 10. Beban Total Lantai 8

Beban		Beban Per Lantai (kN)	Jumlah lantai	Total Beban Per Elemen (kN)	Total Beban (kN)
<i>DL</i>	Balok Induk	4402,38	1	4402,38	17025,84
	Balok Anak	2148,92	1	2148,92	
	Pelat	10474,55	1	10474,55	
	Kolom			0,00	
<i>SIDL</i>	Lt 8	118,35	1	118,35	118,35
<i>L_r</i>	Atap	252,48	1	252,48	252,48
<i>LL</i>	Lt 8				
<i>P_u</i> (kN)					17396,67

Perhitungan dimensi lantai kolom lantai 8:

$$A_g = \frac{17396,67}{0,35 \times 40} = 124262 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sisi kolom} = \sqrt{124262} = 352,51 \text{ mm}$$

Untuk dimensi kolom lantai 8 disamakan terhadap dimensi lantai 7.

Tabel 4. 11. Beban Total Lantai 7

Beban		Beban Per Lantai (kN)	Beban Per Lantai (kN/m)	Jumlah Lantai	Total Tinggi (m)	Total Beban Per Elemen (kN)	Total Beban (kN)
<i>DL</i>	Balok Induk	4402,38		1		4402,38	39592,89
	Balok Anak	2148,92		1		2148,92	
	Pelat	10474,55		1		10474,55	
	Kolom		5531,14		4,08	22567,05	
<i>SIDL</i>	Lt 7	865,27		1		865,27	865,27
<i>L_r</i>	Atap					0,00	0,00
<i>LL</i>	Lt 7	504,96		1		504,96	504,96
Total <i>P_u</i> di lantai atas (kN)							17396,67
<i>P_u</i> (kN)							40963,12

Perhitungan untuk dimensi kolom lantai 7 - 8 yakni:

$$A_g = \frac{40963,12}{0,35 \times 40} = 292594 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sisi kolom} = \sqrt{292594} = 540,92 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh dimensi kolom pada lantai 7 - 8 adalah

600 mm x 600 mm.

Tabel 4. 12. Beban Total Lantai 5 - 6

Beban		Beban Per Lantai (kN)	Beban Per Lantai (kN/m)	Jumlah lantai	Total tinggi (m)	Total Beban Per Elemen (kN)	Total Beban (kN)
DL	Balok Induk	4312,51		2		8625,01	95294,67
	Balok Anak	2144,03		2		4288,05	
	Pelat	10474,55		2		20949,09	
	Kolom		7528,49		8,16	61432,52	
SIDL	Lt 5-6	865,27		2		1730,54	1730,54
L _r	Atap					0,00	0,00
LL	Lt 5-6	504,96		2		1009,92	1009,92
Total P _u di lantai atas (kN)							40963,12
P _u (kN)							65356,76

Perhitungan untuk dimensi kolom lantai 5 - 6 yakni:

$$A_g = \frac{65356,76}{0,35 \times 40} = 466834 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sisi kolom} = \sqrt{466834} = 683,25 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh dimensi kolom pada lantai 5 - 6 adalah 700 mm x 700 mm.

Tabel 4. 13. Beban Total Lantai 3 - 4

Beban		Beban Per Lantai (kN)	Beban Per Lantai (kN/m)	Jumlah lantai	Total tinggi (m)	Total Beban Per Elemen (kN)	Total Beban (kN)
DL	Balok Induk	4222,63		2		8445,27	113911
	Balok Anak	2139,14		2		4278,27	
	Pelat	10474,55		2		20949,09	
	Kolom		9833,14		8,16	80238,39	
SIDL	Lt 3-4	865,27		2		1730,54	1730,54
L _r	Atap					0,00	0,00
LL	Lt 3-4	504,96		2		1009,92	1009,92
Total P _u di lantai atas (kN)							65356,76
P _u (kN)							77767,66

Perhitungan untuk dimensi kolom lantai 3 - 4 yakni:

$$A_g = \frac{77767,66}{0,35 \times 40} = 555483 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sisi kolom} = \sqrt{555483} = 745,31 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh dimensi kolom pada lantai 3 hingga 4 adalah 800 mm x 800 mm.

Tabel 4. 14. Beban Total Lantai 1 - 2

Beban		Beban Per Lantai (kN)	Beban Per Lantai (kN/m)	Jumlah lantai	Total tinggi (m)	Total Beban Per Elemen (kN)	Total Beban (kN)
DL	Balok Induk	4132,76		2		8265,52	135034,82
	Balok Anak	2134,25		2		4268,49	
	Pelat	10474,55		2		20949,09	
	Kolom		12445,06		8,16	101551,71	
SIDL	Lt 1-2	865,27		2		1730,54	1730,54
L _r	Atap					0,00	0,00
LL	Lt 1-2	504,96		2		1009,92	1009,92
Total P _u di lantai atas (kN)							77767,66
P _u (kN)							105980,99

Perhitungan untuk dimensi kolom lantai 1 – 2 yakni:

$$A_g = \frac{105980,99}{0,35 \times 40} = 757007 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sisi kolom} = \sqrt{757007} = 870,062 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh dimensi kolom pada lantai 1 - 2 adalah 900 mm x 900 mm.

Berikut adalah rangkuman hasil *preliminary* elemen struktur kolom yang digunakan dalam perancangan bangunan tinggi tahan gempa 8 lantai yang ditunjukkan oleh Tabel 4.15.

Tabel 4. 15. Hasil *Preliminary* Elemen Kolom

Lokasi	Tipe	P _u	A _g	S	Dimensi Sisi Kolom
		(kN)	(mm ²)	(mm)	(mm)
Lantai 8	1	17396,67	124261,93	352,51	600
Lantai 7	1	40963,12	292593,70	540,92	600
Lantai 5-6	2	65356,76	466833,98	683,25	700
Lantai 3-4	3	77767,66	555483,26	745,31	800
Lantai 1-2	4	105980,99	757007,05	870,06	900

Pengecekan dalam kelangsingan kolom berdasarkan dimensi dan tinggi kolom yang dicek merupakan akhir dari tahapan *preliminary* kolom.

Berikut syarat kolom dikatakan tidak langsing berdasarkan Persamaan 4.3.

$$\lambda = \frac{k \times l_u}{r} = \frac{k \times l_u}{0,3s} \leq 22 \dots\dots\dots (4.3)$$

Keterangan:

k = aspek jarak tekuk (jepit-jepit = 0,65)

l_u = ketinggian kolom

s = rusuk kolom

Berdasarkan pengecekan hasil, didapatkan komponen kolom seluruhnya masuk dalam kategori tipe kolom pendek. Kelangsingan kolom yang sudah dicek didapatkan hasil yang ditunjukkan oleh Tabel 4.16.

Tabel 4. 16. Pengecekan Kelangsingan Kolom

Lokasi	l_u maksimum terhadap lantai tertinjau (mm)	s (mm)	$\frac{k \times l_u}{r}$	Tipe Kolom
Lantai 1	4080	900	9,82	Pendek
Lantai 2	4080	900	9,82	Pendek
Lantai 3	4080	800	11,05	Pendek
Lantai 4	4080	800	11,05	Pendek
Lantai 5	4080	700	12,63	Pendek
Lantai 6	4080	700	12,63	Pendek
Lantai 7	4080	600	14,73	Pendek
Lantai 8	4080	600	14,73	Pendek

4.1.2.4. Preliminary Elemen Dinding Geser

Dinding geser merupakan komponen struktur yang universal dipergunakan pada perancangan gedung tahan gempa bertingkat agar dapat menyerap energi pada dinding geser akibat besarnya kekakuan dinding geser.

Ketebalan yang sama pada dinding geser di sepanjang ketinggian bangunan dikonsepsikan terhadap bentang dinding geser (L_w) dibagi 25 atau ketinggian terbesar per lantai (h_w) dibagi 25, kemudian dipilih yang minimal di antara nilai itu dan 100 mm itu nilai minimalnya. Sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 11.3, standar minimal tebal dinding ditunjukkan oleh Tabel 4.17.

Tabel 4. 17. Ketebalan Dinding Minimal

Tipe dinding	Ketebalan minimum (h)		
	Tumpu	Terbesar dari	100 mm
1/25 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu			(b)
Bukan tumpu	Terbesar dari	100 mm	(c)
		1/30 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu	(d)
Basemen dan fondasi eksterior		190 mm	(e)

(sumber : Tabel 11.3.1.1 SNI 2847:2019)

Perhitungan tebal dinding geser :

- $t \text{ dinding} = \frac{h_w}{25} = \frac{4080}{25} = 163 \text{ mm}$
- $t \text{ dinding} = \frac{l_w}{25} = \frac{8000}{25} = 320 \text{ mm}$

Persyaratan kedua terhadap ketebalan minimal komponen dinding geser sesuai Pasal 18.8.5 pada SNI 2847:2019, yakni pada panjang penyaluran (l_{dh}) dihitung berdasarkan Persamaan 4.4.

$$l_{dh} = \frac{f_y \times d_b}{5,4 \lambda \times \sqrt{f_c'}} \dots\dots\dots (4.4)$$

Sedangkan untuk mencari tebal minimum dinding dihitung berdasarkan Persamaan 4.5.

$$\text{Tebal minimum} = l_{dh} + t_{cover} \dots\dots\dots (4.5)$$

Dengan:

- f_y = kekuatan leleh tulangan (MPa)
- d_b = diameter nominal batang tulangan (mm)
- λ = aspek variasi (untuk beton normal = 1)
- f_c' = kekuatan beton tekan (MPa)
- t_{cover} = tebal cover dinding (mm)

Untuk tebal minimum dinding geser berdasarkan syarat kedua ini, yakni dengan menjumlahkan l_{dh} dengan tebal cover dinding geser yang digunakan.

- $l_{dh} = \frac{420 \times 25}{5,4 \times 1 \times \sqrt{40}} = 307,4 \text{ mm}$
- $t_{cover} = 40 \text{ mm}$

Tebal minimum dinding geser = $l_{dh} + t_{selimut} = 347,4 \text{ mm}$

Dari hasil perhitungan di atas, dimensi tebal dinding geser yang digunakan dalam *preliminary* adalah 400 mm.

4.2. Pemodelan Elemen Struktur

Pemodelan elemen struktur terdiri dari empat bagian, yaitu pemodelan pelat, pemodelan kolom, pemodelan balok, dan pemodelan dinding geser.

4.2.1. Pemodelan Pelat

Pemodelan awal pelat dikategorikan sesuai arahnya menggunakan program ETABS dengan mendefinisikan sebagai *slab* tipe *shell-thin*. Sesuai dengan

preliminary desain, penggunaan ketebalan pelat yakni 125 mm. Dalam rangka menghitung adanya dampak keretakan beton ketika terjadinya gempa, sebanyak 25% momen inersia penampang pelat dan torsi direduksi agar dapat menyetarakan inersia komponen struktur dengan nilai reduksi. Komponen pelat akan dimodelkan *semi-rigid* pada program ETABS untuk menghitung gaya yang bekerja pada pelat.

4.2.2. Pemodelan Balok

Balok akan didefinisikan sebagai komponen *frame* dengan *rigid joint* sehingga sendi plastis yang terbentuk pada maksimum momen-momen berada di ujung-ujung balok. Terdapat dua elemen balok yang dimodelkan, yakni balok anak dan induk. Desain dimensi balok yang dipergunakan ditunjukkan oleh Tabel 4.18.

Tabel 4. 18. Dimensi Balok Setelah Pengecekan

Nama	Status Balok	Tipe Balok	L (mm)	H_{min}	$H_{dipakai}$	B_{min}	$B_{dipakai}$
G1	Induk	Persegi panjang	8000	667	700	350	350
G2	Induk	Persegi panjang	7000	583	600	300	300
G3	Induk	Persegi panjang	6000	500	500	250	300
G4	Induk	Persegi panjang	4000	333	400	200	300
B1	Anak	Persegi panjang	8000	633	700	250	250
B2	Anak	Persegi panjang	6000	400	400	200	200

Dalam rangka menghitung adanya dampak keretakan beton ketika gempa terjadi, sebanyak 25% momen inersia penampang pelat dan torsi direduksi agar dapat menyetarakan inersia komponen struktur dengan nilai reduksi.

4.2.3. Pemodelan Kolom

Penggunaan empat tipe dimensi kolom yang dimensinya berbeda tiap dua lantai diterapkan pada perancangan bangunan ini. Pendefinisian kolom sebagai rangka dengan didesain jepit-jepit pada ujung bagian kolom. Dalam rangka menghitung adanya dampak keretakan beton ketika gempa terjadi pada kolom, sebanyak 70% momen inersia kolom efektif dari momen inersia awal direduksi.

Agar dapat menyetarakan inersia komponen struktur dengan nilai reduksi, sebanyak 25% torsi juga direduksi. Desain dimensi kolom yang dipergunakan ditunjukkan oleh Tabel 4.19.

Tabel 4. 19. Dimensi Kolom Setelah Pengecekan

Lokasi	Tipe	Dimensi Kolom Sisi Horizontal	Dimensi Kolom Sisi Vertikal
		mm	mm
Lantai 1-2	K1	900	900
Lantai 3-4	K2	800	800
Lantai 5-6	K3	700	700
Lantai 7-8	K4	600	600

4.2.4. Pemodelan Dinding Geser

Dinding geser dimodelkan dengan ketebalan yang sama di sepanjang tinggi bangunan. Dengan bantuan program ETABS, dinding geser didefinisikan sebagai komponen *wall* bertipe *shell-thick*. Selanjutnya akan dilakukan pengecekan dengan menggunakan program *SPColumn* untuk mengecek kapasitas dinding geser. Berikut dimensi dinding geser yang digunakan dalam desain ditunjukkan oleh Tabel 4.20.

Tabel 4. 20. Dimensi Dinding Geser Setelah Pengecekan

Tipe	Jumlah	Panjang mm	Tebal mm
1	4	8000	300

Dalam rangka menghitung adanya dampak keretakan beton (*cracking*), sebesar 70% dari momen inersia diberikan pada momen inersia penampang efektif dinding geser bila kondisi *uncracked* atau 35% dari momen inersia penampang efektif dinding geser adalah sebesar 70%, selanjutnya tiap-tiap dinding geser dilakukan pengecekan. Agar dapat menyetarakan inersia komponen struktur dengan nilai reduksi, sebanyak 25% torsi juga direduksi.

4.3. Pembebanan Struktur

4.3.1. Pembebanan Gravitasi

Penggunaan beban gravitasi pada pembebanan struktur sesuai SNI 1727:2020 merupakan Beban Minimal Desain dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Perencanaan bangunan tinggi 8 lantai ini menggunakan beban gravitasi yang mencakup: beban mati berat sendiri (*dead load*), beban mati tambahan (*super imposed dead load*), dan beban hidup (*live load*).

a. Beban Mati Berat Sendiri (*DL*)

Beban mati (*dead load*) merupakan seluruh beban elemen komponen struktur gedung mencakup pelat, kolom, balok, dan dinding geser. Dengan program ETABS, secara otomatis beban mati akan dikalkulasi dengan menggunakan berat jenis beton material 24 kN/m^3 dengan berat jenis tulangan $78,50 \text{ kN/m}^3$.

b. Beban Mati Tambahan (*SIDL*)

Beban mati tambahan (*super imposed dead load*) merupakan beban elemen bukan struktur (arsitektural dan MEP) terletak di dalam struktur bangunan. Beban *SIDL* yang dipergunakan terhadap desain ini ditunjukkan oleh Tabel 4.21 dan Tabel 4.22.

Tabel 4. 21. Beban Mati Tambahan Lantai

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

Tabel 4. 22. Beban Mati Tambahan Atap

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

c. Beban Hidup (LL)

Beban hidup (*live load*) yakni terjadinya beban yang menyebabkan sesuatu yang berubah terhadap pembebanan lantai dan atap akibat adanya penghunian atau pemakaian gedung berawal dari berpindah tempatnya orang atau barang. Beban hidup untuk ruangan kelas perkuliahan adalah $1,92 \text{ kN/m}^2$ dan beban hidup atap (L_r) yakni $0,96 \text{ kN/m}^2$ merupakan beban hidup (LL) yang dipergunakan terhadap desain ini.

4.3.2. Pembebanan Gempa

Analisis respons spektra (*Response Spectrum Analysis*) dipergunakan dalam pembebanan gempa pada perancangan bangunan. Agar keperluan tulangan komponen struktur sesuai dengan prinsip desain kapasitas, maka analisis ini perlu dipergunakan untuk mendesain gedung.

a) Analisis Beban Gempa

Beban gempa dianalisis berlandaskan dalam standar SNI 1726:2019 tentang tata cara perancangan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

1. Kategori Risiko dan Aspek Keunggulan Gempa

Gedung ini dirancang untuk gedung yang bermanfaat guna sarana perkuliahan. Berdasarkan Tabel 4 SNI 1726:2019, kategori gedung tersebut masuk ke dalam kategori risiko IV dan 1,50 adalah nilai aspek keunggulan gempa (I_e).

2. Klasifikasi Situs

Berlandaskan pada standar SNI 1726:2019. Klasifikasi situs bisa diperoleh sesuai 3 indikator yaitu \tilde{V}_s = rata-rata kecepatan gelombang geser pada minimal regangan geser terhadap 30 m lapisan paling atas. S_u = rata-rata kuat geser terhadap 30 m lapisan teratas dan N = standar tahanan penetrasi. Dalam menentukan klasifikasi situs digunakan nilai penetrasi standar (N -SPT) yang merupakan hasil pengujian tanah lokasi gedung. Data N -SPT tanah yang diperoleh dari lokasi gedung ini hanya diukur sampai kedalaman 20 m. Maka dari itu, penulis melakukan perhitungan hanya sampai kedalaman 20 m saja.

Dengan analisis kalkulasi nilai rata-rata N -SPT hingga dengan 20 m kedalaman diperhitungkan sesuai Tabel 4.23.

Tabel 4. 23. Nilai *N*-SPT

Kedalaman	Tebal (d_i)	<i>N</i> -SPT	d_i / N_i
-2,5	2,5	7	0,3571
-5	2,5	12	0,2083
-7,5	2,5	14	0,1786
-10	2,5	18	0,1389
-12,5	2,5	33	0,0758
-15	2,5	39	0,0641
-17,5	2,5	43	0,0581
-20	2,5	46	0,0543
Total	20		1,1353

Sesuai Tabel 4.23 di atas maka bisa dihitung rata-rata standar tahanan penetrasi lapangan (*N*) yaitu:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{20}{1,1353} = 17,617$$

Perolehan nilai rata-rata standar tahanan penetrasi lapangan (*N*) dari hasil perhitungan sebesar 17,617. Sesuai dengan SNI 1726:2019 Tabel 5, nilai $15 < N < 50$ termasuk ke dalam kategori **Tanah Sedang (SD)**.

3. Indikator Respons Spektra Akselerasi Gempa Terpetakan

Nilai indikator respons spektra akselerasi gempa diperoleh dari Program Spektra Desain Indonesia tahun 2021 (rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021) yang disediakan oleh Jenderal Direktorat Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia dengan cara menentukan titik koordinat atau menginput nama kota lokasi perancangan bangunan sehingga secara otomatis diperoleh hasil nilai indikator respons spektra akselerasi gempa terpetakan. Nilai indikator respons spektra akselerasi gempa terpetakan di daerah Gunungpati Semarang ditunjukkan oleh Tabel 4.24.

Tabel 4. 24. Data Parameter Respons Spektra Terpetakan

Variabel	Nilai
F_{PGA}	0,4142
S_s (g)	0,9374
S_1 (g)	0,3913
TL (detik)	20

4. Indikator Respons Spektra Akselerasi Gempa Tertarget

Nilai indikator respons spektra akselerasi gempa tertarget terhadap periode 1 detik (S_{M1}) dan periode pendek (S_{MS}) diselaraskan terhadap dampak pengklasifikasian situs yang diperoleh dari Program Spektra Desain Indonesia di *website* resmi Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Indonesia dengan cara menentukan jenis tanah maka didapatkan nilai parameter respons spektra gempa tertarget sesuai Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2.

$$F_a = 1,1250$$

$$F_v = 1,9087$$

$$S_{MS} = S_s \times F_a = 0,9374 \times 1,1250 = 1,0546$$

$$S_{M1} = S_1 \times F_v = 0,3913 \times 1,9087 = 0,7469$$

5. Indikator Respons Spektra Akselerasi Gempa Desain

Nilai indikator respons spektra akselerasi desain gempa untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) didapatkan berdasarkan Persamaan 2.3 dan 2.4.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1,0546 = 0,7031$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,7469 = 0,4979$$

6. Kategori Desain Seismik

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

7. Faktor R , Ω_0 , C_d Sistem Struktur

Nilai faktor R , Ω_0 , C_d untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menggunakan standar Tabel 12 SNI 1726:2019 dihasilkan aspek pembesaran simpang (C_d) = 5,5, aspek kuat lebih sistem (Ω_0) = 3, dan angka variasi respons (R) = 8.

Nilai faktor R , Ω_0 , C_d untuk Sistem Ganda menggunakan standar SNI 1726:2019 Tabel 12 dihasilkan aspek pembesaran simpang (C_d) = 5,5, aspek kuat lebih sistem (Ω_0) = 2,5, dan angka variasi respons (R) = 7.

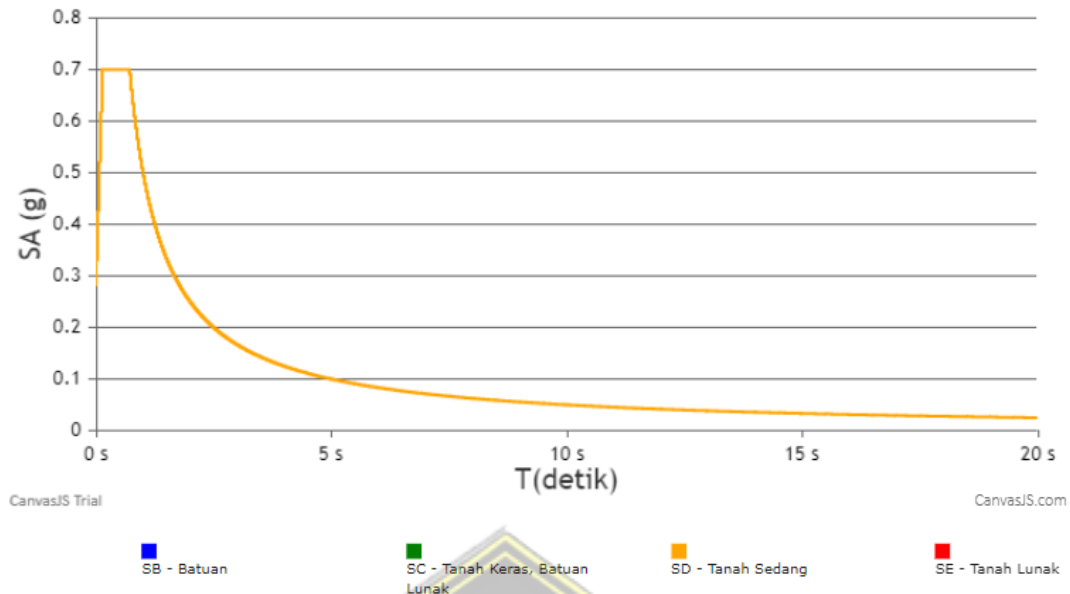
b) Rekap Analisis Beban Gempa

Sesuai SNI 1726:2019, beban gempa yang diberikan terhadap bangunan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda yang terletak di Gunungpati, Semarang mempunyai indikator tercantum Tabel 4.25.

Tabel 4. 25. Parameter Respons Spektra

Parameter Respons Spektra		
Kategori Risiko		IV
Faktor Keutamaan	I_a	1,5
Klasifikasi Situs		SD (Tanah Sedang)
Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek	S_s	0,9374
Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik	S_1	0,3913
Faktor amplifikasi periode pendek	F_a	1,1250
Faktor amplifikasi periode 1 detik	F_v	1,9087
Percepatan pada periode pendek	S_{MS}	1,0546
Percepatan pada periode 1 detik	S_{M1}	0,7469
Percepatan desain pada periode pendek	S_{DS}	0,7031
Percepatan desain pada periode 1 detik	S_{D1}	0,4979
Parameter periode	T_0	0,1416
	T_s	0,7082
Parameter Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)		
Faktor koefisien modifikasi	R	8
Faktor kuat lebih sistem	Ω_0	3
Faktor pembesaran defleksi	C_d	5,5
Parameter Sistem Ganda		
Faktor koefisien modifikasi	R	7
Faktor kuat lebih sistem	Ω_0	2,5
Faktor pembesaran defleksi	C_d	5,5

Dari indikator respons spektra di atas, desain spektrum respons ditunjukkan oleh Gambar 4.3.



Gambar 4. 3. Desain Spektrum Respons Lokasi Perancangan

4.3.3. Kombinasi Pembebanan Struktur

Agar kuat rencana sama atau lebih besar dari dampak beban terfaktor maka kombinasi beban diharuskan untuk dirancang terhadap metode ultimit struktur, elemen struktur, dan komponen fondasi.

Sesuai dalam Pasal 5.3.1 SNI 2847:2019, kombinasi pembebanan terfaktor meliputi:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W)$
4. $1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$
6. $0,9 D + 1,0 W$
7. $0,9 D + 1,0 E$

Sesuai aturan beban gempa oleh SNI 1726:2019 Pasal 7.4, faktor dan beban kombinasi untuk nomor 5 dan 7 terhadap beban hidup, mati, dan gempa nominal meliputi:

1. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1 L \pm 0,3 \rho E_x \pm 1 \rho E_y$
2. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1 L \pm 1 \rho E_x \pm 0,3 \rho E_y$
3. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D \pm 0,3 \rho E_x \pm 1 \rho E_y$
4. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) D \pm 1 \rho E_x \pm 0,3 \rho E_y$

S_{Ds} (g) = 0,7031 (Gunungpati, Semarang; Tanah Sedang)

ρ = 1,3 (SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4.2)

Berikut penggunaan beban kombinasi yang ditunjukkan oleh Tabel 4.26.

Tabel 4. 26. Beban Kombinasi

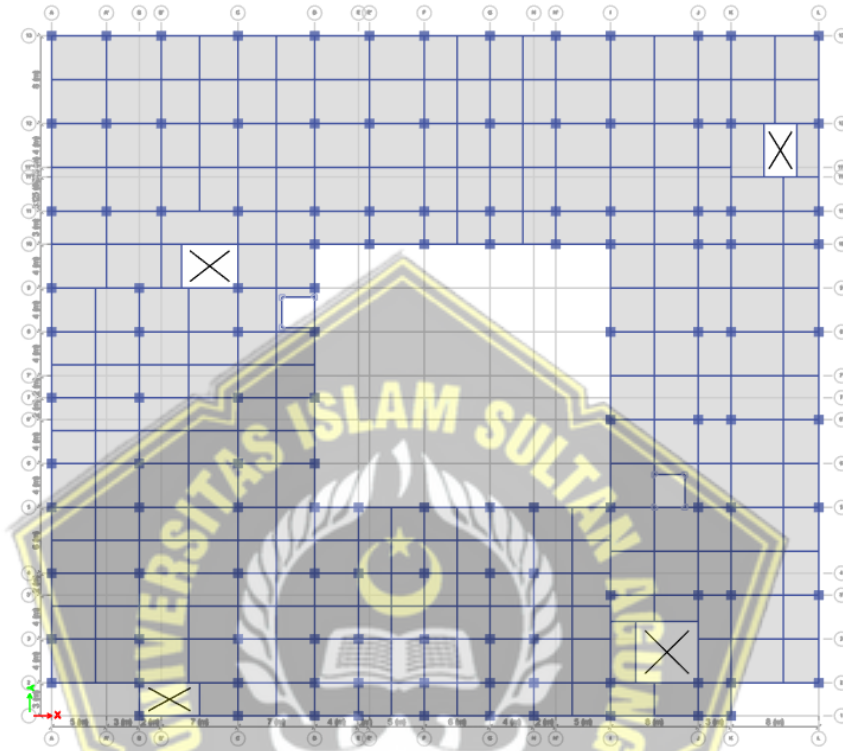
Kombinasi	<i>DL</i>	<i>SIDL</i>	<i>LL</i>	<i>L_r</i>	<i>E_x</i>	<i>E_y</i>
Comb 1	1,40	1,40				
Comb 2	1,20	1,20	1,60	0,50		
Comb 3	1,20	1,20	1,00	1,60		
Comb 4	1,34	1,34	1,00		1,30	0,39
Comb 5	1,34	1,34	1,00		1,30	-0,39
Comb 6	1,34	1,34	1,00		-1,30	0,39
Comb 7	1,34	1,34	1,00		-1,30	-0,39
Comb 8	1,34	1,34	1,00		0,39	1,30
Comb 9	1,34	1,34	1,00		-0,39	1,30
Comb 10	1,34	1,34	1,00		0,39	-1,30
Comb 11	1,34	1,34	1,00		-0,39	-1,30
Comb 12	0,76	0,76			1,30	0,39
Comb 13	0,76	0,76			1,30	-0,39
Comb 14	0,76	0,76			-1,30	0,39
Comb 15	0,76	0,76			-1,30	-0,39
Comb 16	0,76	0,76			0,39	1,30
Comb 17	0,76	0,76			-0,39	1,30
Comb 18	0,76	0,76			0,39	-1,30
Comb 19	0,76	0,76			-0,39	-1,30

4.4. Analisis Pemodelan Struktur

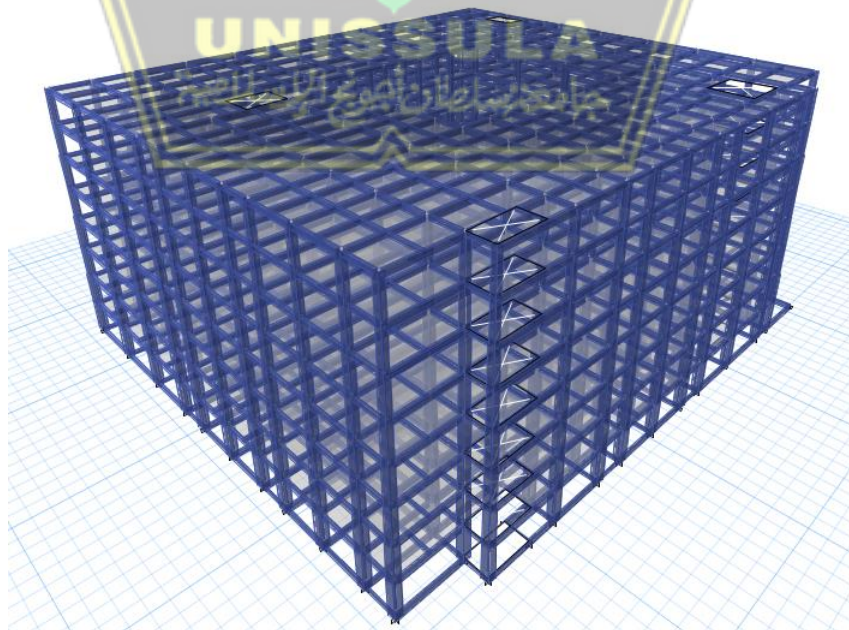
Pemodelan gedung pada akhirnya dirancang sebagai struktur gedung sistem ganda. Pemodelan awal dilakukan dengan bantuan program ETABS dengan dimodelkan sebuah sistem *grid*, dengan *grid* sebagai garis titik berat dan elemen struktur yang dimodelkan selanjutnya dianalisis terhadap pembebanan.

4.4.1. Pemodelan 1

Pada model pertama, akan dimodelkan gedung tinggi 8 lantai yang terencana berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Denah dan gambar 3D dari pendesainan model gedung ditunjukkan oleh Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 4. 4. Denah Lantai 1-8 Pemodelan 1



Gambar 4. 5. Model 3D Pemodelan 1

Pada model pertama, hasil analisis simpangan antar tingkat (*story drift*) arah X ditunjukkan oleh Tabel 4.27 dan Gambar 4.6, sedangkan hasil analisis simpangan antar tingkat arah Y ditunjukkan oleh Tabel 4.28 dan Gambar 4.7.

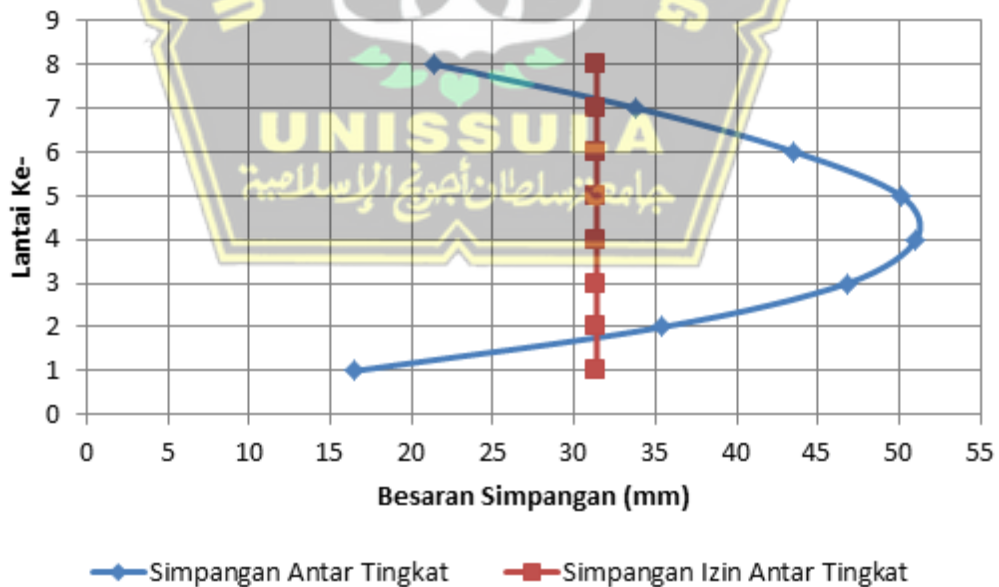
Tabel 4. 27. Pengecekan *Story Drift* Arah X Pemodelan 1

Lantai	<i>h</i> (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
8	4080	81,44	298,60	21,39	31,38	OK
7	4080	75,60	277,21	33,84	31,38	NOT
6	4080	66,37	243,37	43,55	31,38	NOT
5	4080	54,50	199,82	50,10	31,38	NOT
4	4080	40,83	149,72	51,06	31,38	NOT
3	4080	26,91	98,66	46,81	31,38	NOT
2	4080	14,14	51,85	35,40	31,38	NOT
1	4080	4,49	16,45	16,45	31,38	OK

Keterangan:

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

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



Gambar 4. 6. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 1

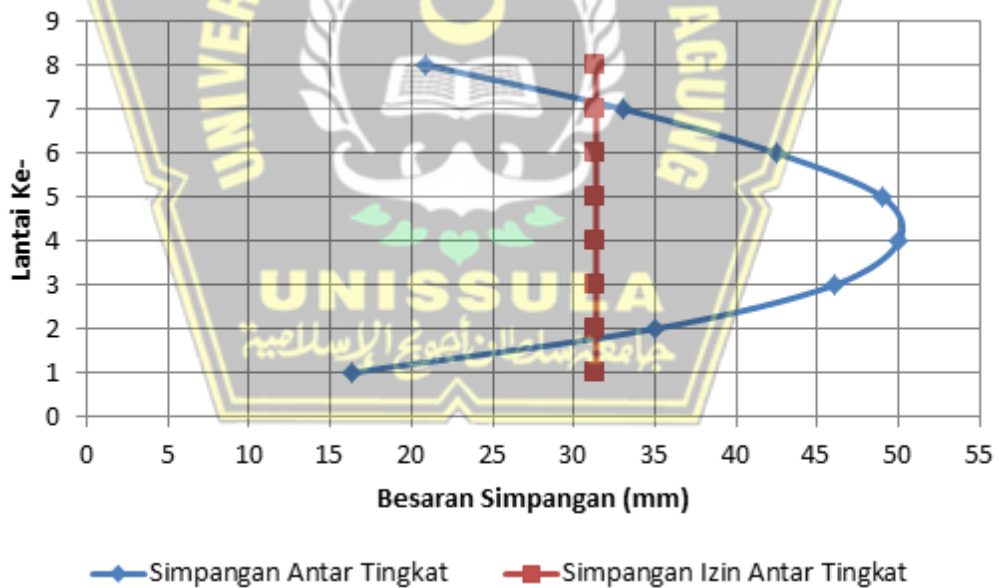
Tabel 4. 28. Pengecekan *Story Drift* Arah Y Pemodelan 1

Lantai	h (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
8	4080	79,93	293,06	20,93	31,38	OK
7	4080	74,22	272,13	33,08	31,38	NOT
6	4080	65,20	239,05	42,50	31,38	NOT
5	4080	53,61	196,55	49,01	31,38	NOT
4	4080	40,24	147,55	50,06	31,38	NOT
3	4080	26,59	97,48	46,10	31,38	NOT
2	4080	14,01	51,38	35,03	31,38	NOT
1	4080	4,46	16,35	16,35	31,38	OK

Keterangan:

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

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

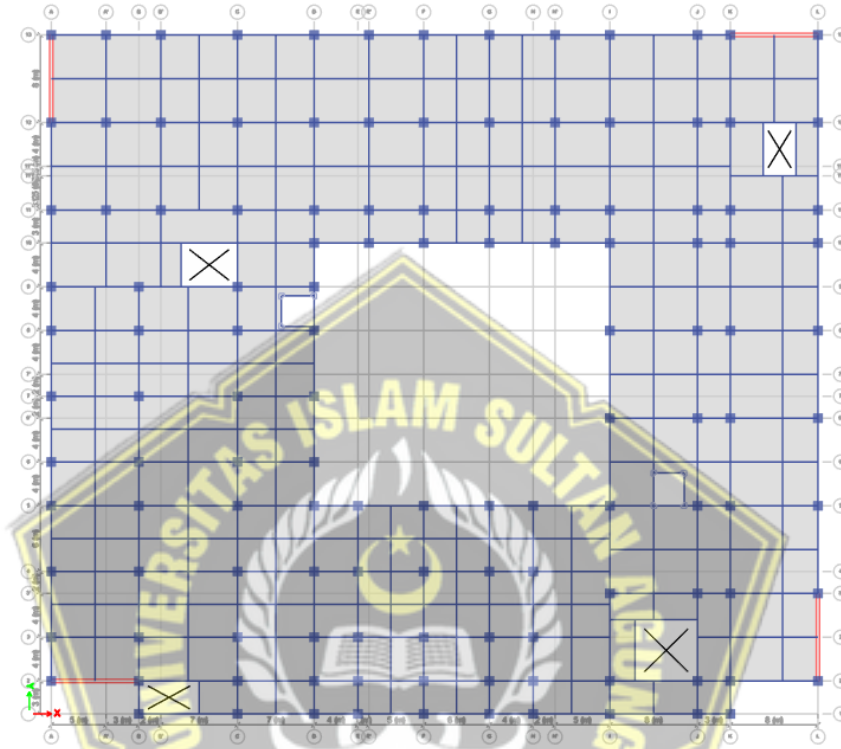


Gambar 4. 7. Diagram *Story Drift* Arah Y Pemodelan 1

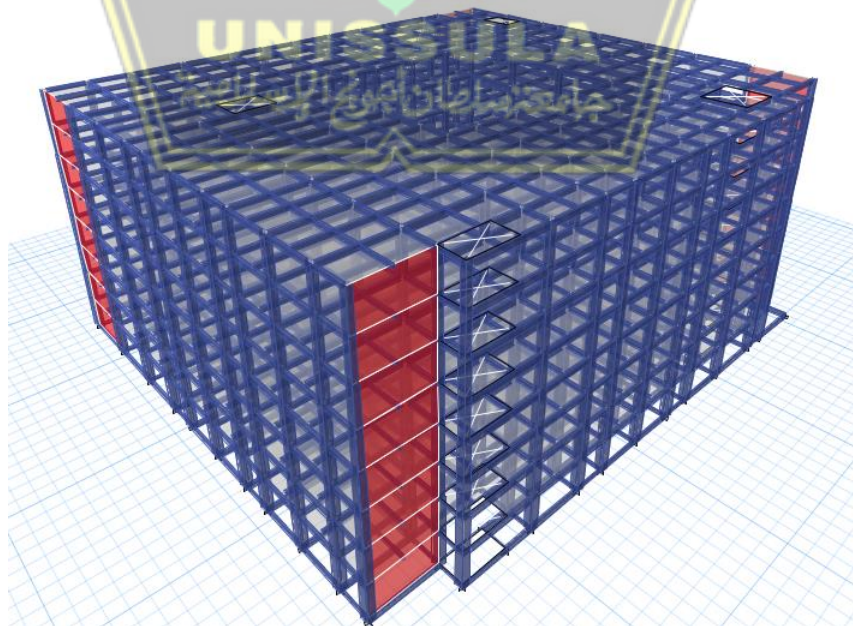
Berdasarkan kontrol simpangan antar tingkat di atas, terdapat simpangan yang melebihi batas izinnnya. Untuk mengatasi masalah tersebut, penulis mencoba melakukan perkuatan struktur dengan menambah dinding geser pada Pemodelan 2 diharapkan agar struktur menjadi lebih kuat dan efisien.

4.4.2. Pemodelan 2

Pada model kedua, akan dimodelkan gedung tinggi 8 lantai yang direncanakan berdasarkan Sistem Ganda yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang ditambah dinding geser SDSK. Denah dan gambar 3D dari pendesainan model gedung ditunjukkan oleh Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



Gambar 4. 8. Denah Lantai 1-8 Pemodelan 2



Gambar 4. 9. Model 3D Pemodelan 2

Pada model kedua, hasil analisis simpangan antar tingkat (*story drift*) arah X ditunjukkan oleh Tabel 4.29 dan Gambar 4.10, sedangkan hasil analisis simpangan antar tingkat arah Y ditunjukkan oleh Tabel 4.30 dan Gambar 4.11.

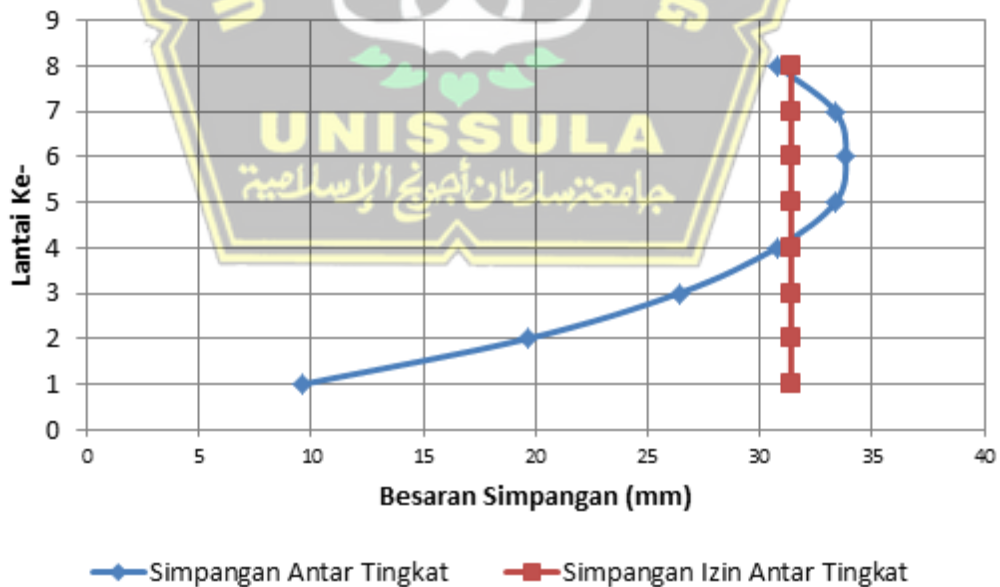
Tabel 4. 29. Pengecekan *Story Drift* Arah X Pemodelan 2

Lantai	<i>h</i> (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
8	4080	59,37	217,70	30,78	31,38	OK
7	4080	50,98	186,92	33,35	31,38	NOT
6	4080	41,88	153,56	33,83	31,38	NOT
5	4080	32,66	119,74	33,36	31,38	NOT
4	4080	23,56	86,38	30,75	31,38	OK
3	4080	15,17	55,63	26,39	31,38	OK
2	4080	7,98	29,24	19,62	31,38	OK
1	4080	2,62	9,62	9,62	31,38	OK

Keterangan:

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

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



Gambar 4. 10. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 2

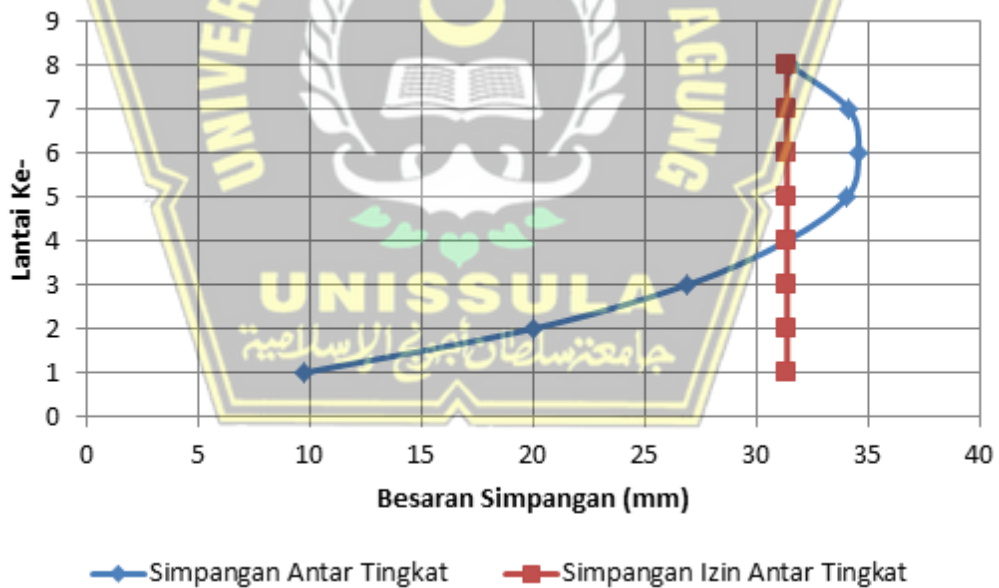
Tabel 4. 30. Pengecekan *Story Drift* Arah Y Pemodelan 2

Lantai	h (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
8	4080	60,64	222,34	31,52	31,38	NOT
7	4080	52,04	190,83	34,14	31,38	NOT
6	4080	42,73	156,68	34,57	31,38	NOT
5	4080	33,30	122,11	34,07	31,38	NOT
4	4080	24,01	88,04	31,37	31,38	OK
3	4080	15,46	56,67	26,91	31,38	OK
2	4080	8,12	29,76	19,99	31,38	OK
1	4080	2,67	9,78	9,78	31,38	OK

Keterangan:

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

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

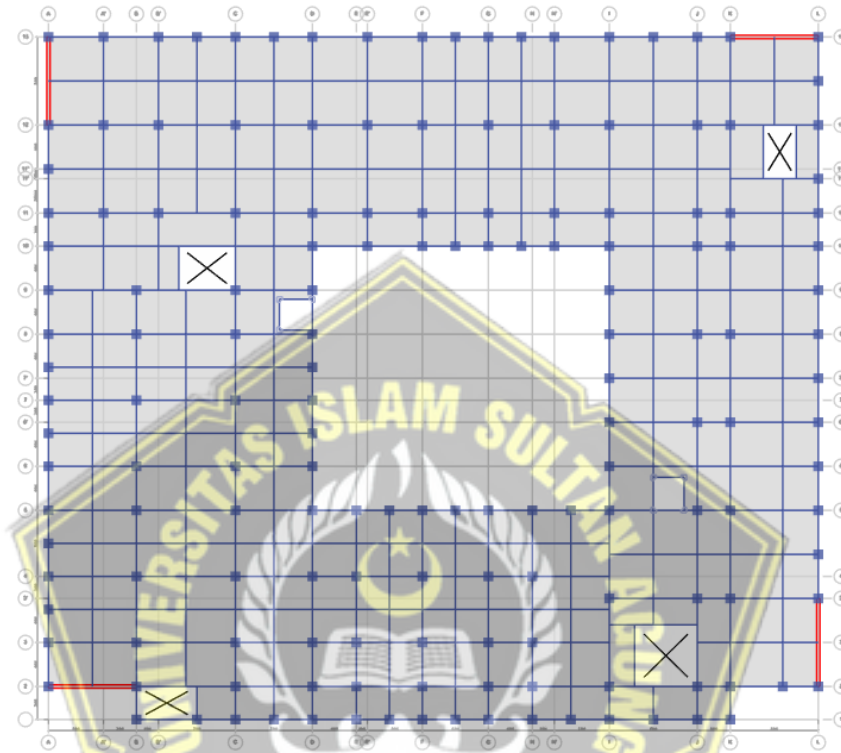


Gambar 4. 11. Diagram *Story Drift* Arah Y Pemodelan 2

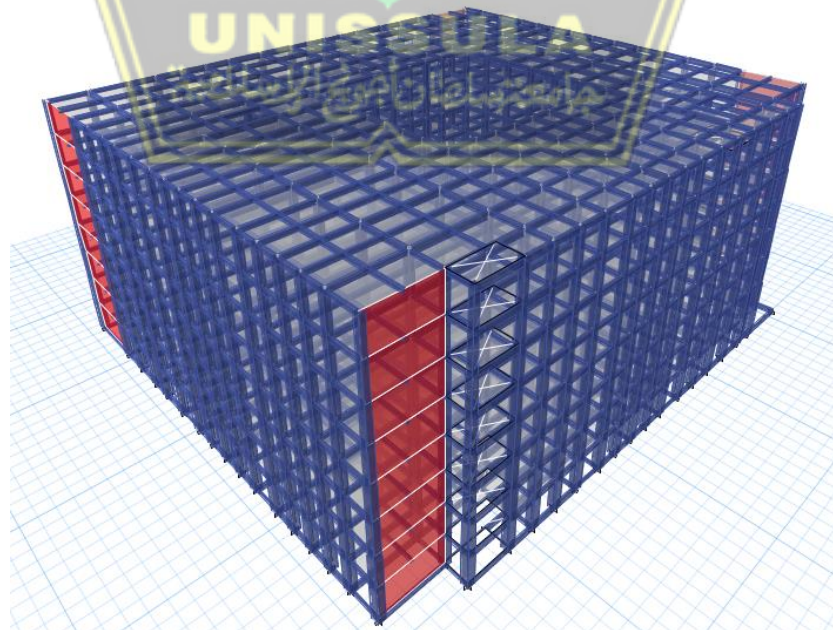
Berdasarkan kontrol simpangan antar tingkat di atas, masih terdapat simpangan yang melebihi batas izinnnya. Untuk mengatasi masalah tersebut, penulis mencoba melakukan perkuatan struktur dengan menambah kolom keliling pada Pemodelan 3 diharapkan agar struktur menjadi lebih kuat dan efisien.

4.4.3. Pemodelan 3

Pada model ketiga, akan dimodelkan gedung tinggi 8 lantai yang direncanakan berdasarkan Sistem Ganda pada Pemodelan 2 yang ditambahkan dengan kolom keliling. Denah dan gambar 3D dari pendesainan model gedung ditunjukkan oleh Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.



Gambar 4. 12. Denah Lantai 1-8 Pemodelan 3



Gambar 4. 13. Model 3D Pemodelan 3

Pada model ketiga, hasil analisis simpangan antar tingkat (*story drift*) arah X ditunjukkan oleh Tabel 4.31 dan Gambar 4.14, sedangkan hasil analisis simpangan antar tingkat arah Y ditunjukkan oleh Tabel 4.32 dan Gambar 4.15.

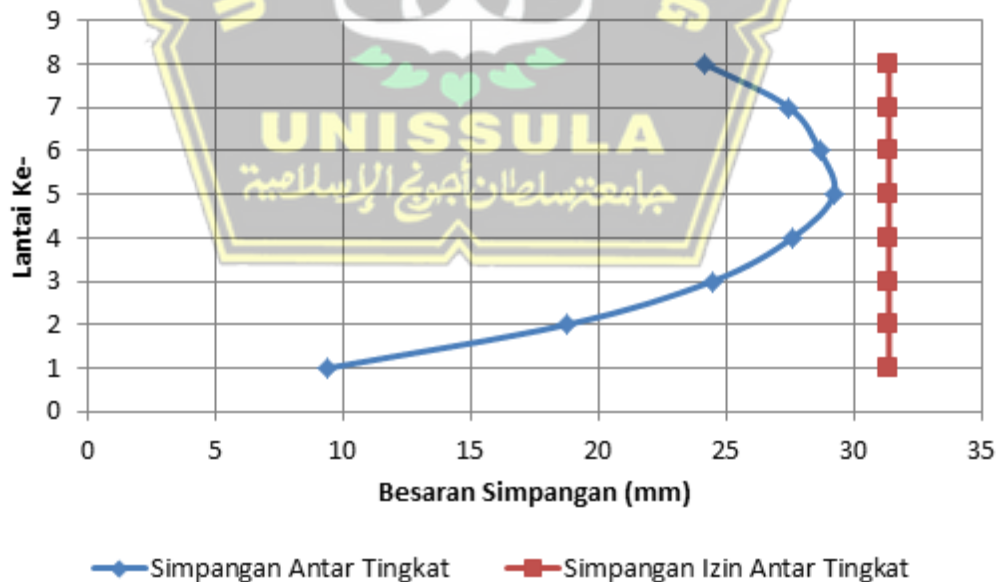
Tabel 4. 31. Pengecekan *Story Drift* Arah X Pemodelan 3

Lantai	<i>h</i> (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
8	4080	51,74	189,72	24,17	31,38	OK
7	4080	45,15	165,55	27,47	31,38	OK
6	4080	37,66	138,08	28,66	31,38	OK
5	4080	29,84	109,42	29,22	31,38	OK
4	4080	21,87	80,20	27,60	31,38	OK
3	4080	14,35	52,60	24,46	31,38	OK
2	4080	7,67	28,13	18,75	31,38	OK
1	4080	2,56	9,38	9,38	31,38	OK

Keterangan:

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

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



Gambar 4. 14. Diagram *Story Drift* Arah X Pemodelan 3

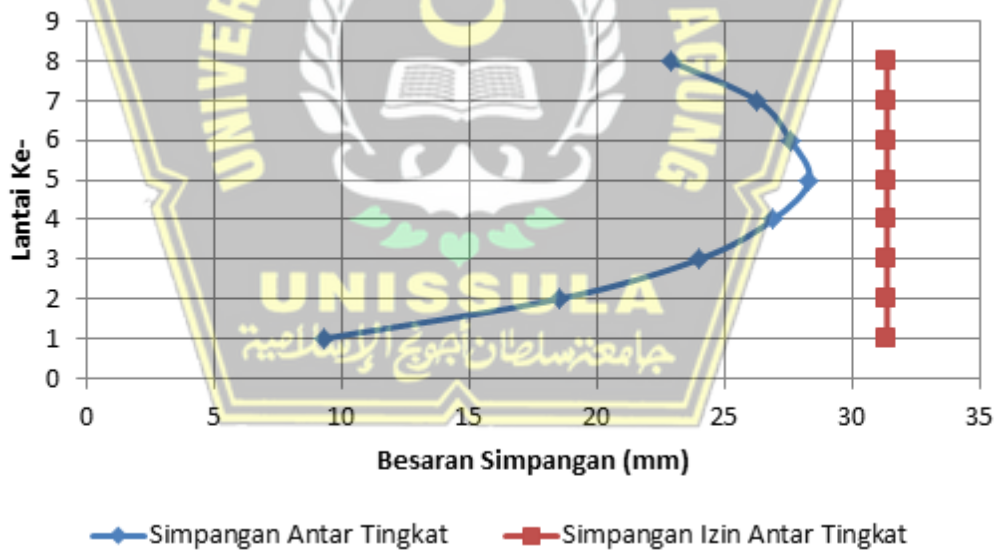
Tabel 4. 32. Pengecekan *Story Drift* Arah Y Pemodelan 3

Lantai	h (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
8	4080	50,13	183,82	22,88	31,38	OK
7	4080	43,89	160,94	26,29	31,38	OK
6	4080	36,72	134,65	27,60	31,38	OK
5	4080	29,20	107,06	28,33	31,38	OK
4	4080	21,47	78,72	26,91	31,38	OK
3	4080	14,13	51,82	24,00	31,38	OK
2	4080	7,59	27,82	18,51	31,38	OK
1	4080	2,54	9,31	9,31	31,38	OK

Keterangan:

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

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



Gambar 4. 15. Diagram *Story Drift* Arah Y Pemodelan 3

Berdasarkan kontrol simpangan antar tingkat di atas, tidak terdapat simpangan yang melebihi batas izinnya. Maka, Pemodelan 3 yaitu sistem ganda ditambah kolom keliling merupakan pemodelan yang digunakan penulis pada akhirnya karena struktur lebih kuat dan efisien.

4.4.4. Pemodelan yang Digunakan

Sesuai dengan *trial and error* dalam melakukan pemodelan diperoleh hasil yakni penggunaan struktur sistem ganda berupa sistem rangka pemikul momen khusus yang diperkuat dengan dinding geser dikarenakan paling kuat dan efisien di antara pemodelan yang lain. Berikut merupakan rekapitulasi hasil *trial and error* dari pemodelan yang penulis coba ditunjukkan oleh Tabel 4.33.

Tabel 4. 33. Rekap Hasil Pemodelan

Tipe Sistem Struktur	Keterangan
Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	<ul style="list-style-type: none"> • Pada pengecekan ragam getar, Ragam 1 dominan rotasi. • Simpangan antar tingkat arah X (Lantai 2-7) melebihi batas izin. • Simpangan antar tingkat arah Y (Lantai 2-7) melebihi batas izin.
Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan Pembesaran Kolom	<ul style="list-style-type: none"> • Pada pengecekan ragam getar, sudah memenuhi. • Simpangan antar tingkat arah X (Lantai 3-6) melebihi batas izin. • Simpangan antar tingkat arah Y (Lantai 3-6) melebihi batas izin.
Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Geser	<ul style="list-style-type: none"> • Pada pengecekan ragam getar, sudah memenuhi. • Simpangan antar tingkat arah X (Lantai 5-8) melebihi batas izin. • Simpangan antar tingkat arah Y (Lantai 5-8) melebihi batas izin.
Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Geser diperkuat Kolom Keliling	<ul style="list-style-type: none"> • Pada pengecekan ragam getar, sudah memenuhi. • Simpangan antar tingkat arah X dan Y sudah memenuhi. • Pengecekan P-Delta arah X dan arah Y diperoleh struktur stabil. • Pengecekan ketidakberaturan: Ketidakberaturan horizontal sudut dalam ada dan dapat diatasi, tidak terdapat ketidakberaturan vertikal. • Pengecekan syarat Sistem Ganda: <i>frame</i> pemikul momen mampu minimal 25% sudah memenuhi.

4.5. Pengecekan Perilaku Struktur Bangunan

4.5.1. Rasio Partisipasi Massa

Berdasarkan hasil ETABS, ringkasan dan partisipasi modal massa yang diperoleh ditunjukkan oleh Tabel 4.34.

Tabel 4. 34. Rekapitulasi Rasio Partisipasi Modal Massa

Mode	Period	UX	UY	RZ	Keterangan
	(sec)				
1	0,856	0,69	0,00	0,00	Arah X
2	0,851	0,00	0,69	0,00	Arah Y
3	0,633	0,00	0,00	0,69	Torsi
4	0,239	0,18	0,00	0,00	Arah X
5	0,238	0,00	0,18	0,00	Arah Y
6	0,172	0,00	0,00	0,19	Torsi
7	0,117	0,06	0,00	0,00	Arah X
8	0,117	0,00	0,06	0,00	Arah Y
9	0,083	0,00	0,00	0,06	Torsi
10	0,075	0,03	0,00	0,00	Arah X
11	0,075	0,00	0,03	0,00	Arah Y
12	0,054	0,01	0,00	0,00	Arah X
Total		0,98	0,96		

4.5.2. Perhitungan Faktor Skala Gempa

4.5.2.1. Perhitungan Koefisien Respons Seismik (C_s)

Perhitungan nilai C_s menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1, yakni adanya nilai C_s baik arah X maupun arah Y dimana perlu dibandingkan terhadap batas nilai maksimal C_s dan minimal nilai C_s . Formula C_s , $C_{s \min}$, dan $C_{s \max}$ arah X dan arah Y menggunakan Persamaan 4.6 sampai Persamaan 4.8 berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots (4.6)$$

$$C_{s \min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots (4.7)$$

$$C_{s \max} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots (4.8)$$

Penggunaan nilai Periode (T) dalam C_s yang telah dihitung yakni menggunakan perbandingan nilai periode hasil ETABS terhadap batas nilai minimum maksimum periode berlandaskan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.

- Periode Minimum

$$T_{\min} = h_n^x \times C_t = (32,64)^{0,75} \times 0,0488 = 0,666 \text{ detik}$$

- Periode Maksimum

$$T_{\max} = C_u \times T_{\min} = 1,4 \times 0,666 = 0,933 \text{ detik}$$

- Periode arah X dan Y ETABS

$$- T_a \text{ arah X } (T_{cx}) = 0,856 \text{ detik}$$

$$- T_a \text{ arah Y } (T_{cy}) = 0,851 \text{ detik}$$

- Periode tergunakan

Nilai T tergunakan pada arah X dan juga Y adalah menggunakan T arah X maupun Y ETABS sebesar:

$$- T \text{ arah X } (T_x) = 0,856 \text{ detik}$$

$$- T \text{ arah Y } (T_y) = 0,851 \text{ detik}$$

Perhitungan nilai T setelah dihitung lalu melakukan perhitungan nilai C_s dengan formula sebagai berikut:

$$• C_s \text{ arah X} = \frac{0,4979}{0,856 \times \left(\frac{7}{1,5}\right)} = 0,1246$$

$$• C_s \text{ arah Y} = \frac{0,4979}{0,851 \times \left(\frac{7}{1,5}\right)} = 0,1254$$

$$• C_{s \min} = 0,044 \times 0,7031 \times 1,5 = 0,0464$$

$$• C_{s \max} = \frac{0,7031}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} = 0,1507$$

Nilai C_s di atas dibandingkan dengan minimal nilai C_s dan maksimal nilai C_s , maka nilai C_s yang didapatkan dalam arah X maupun Y sesuai Tabel 4.35.

Tabel 4. 35. Koefisien Respons Seismik

C_s arah X	0,1246	C_s arah Y	0,1254
C_s minimum	0,0464	C_s minimum	0,0464
C_s maksimum	0,1507	C_s maksimum	0,1507
C_s yang dipakai	0,1507	C_s yang dipakai	0,1507

4.5.2.2. Perhitungan Faktor Skala Gaya

Dari hasil ETABS diperoleh nilai gaya geser seismik statik dasar (V) terhadap arah X dan Y ditunjukkan oleh Tabel 4.36.

Tabel 4. 36. Output Gaya Geser Dasar Statik (V)

Lantai	Elevasi (m)	V_X (kN)	V_Y (kN)
8	32,64	5654,10	5680,84
7	28,56	13433,70	13499,83
6	24,48	20088,08	20190,48
5	20,40	25604,85	25739,85
4	16,32	29967,33	30130,56
3	12,24	33169,74	33356,02
2	8,16	35217,24	35420,34
1	4,08	36151,33	36363,74

Sedangkan hasil dari gaya dinamik geser yang diperhitungkan oleh ETABS ditunjukkan oleh Tabel 4.37.

Tabel 4. 37. Output Gaya Geser Dinamik Dasar (V_I)

Lantai	Elevasi (m)	V_{IX} (kN)	V_{IY} (kN)
8	32,64	4939,68	4957,77
7	28,56	10939,69	10994,12
6	24,48	15586,87	15679,10
5	20,40	19338,78	19464,38
4	16,32	22396,29	22546,70
3	12,24	24817,01	24982,85
2	8,16	26501,95	26674,45
1	4,08	27252,42	27426,49

Berlandaskan Pasal 7.9.2.5.2 SNI 1726:2019. Perhitungan gaya geser awal, V_X dan V_Y terhadap arah X maupun arah Y diharuskan sesuai Pasal 7.8.1.1. Untuk analisis tiap pergerakan tanah, penentuan skala faktor gaya geser 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:

$$\eta_x = \frac{V_X}{V_{IX}} = \frac{36151,331}{27252,416} = 1,3265$$

$$\eta_y = \frac{V_Y}{V_{IY}} = \frac{36363,736}{27426,491} = 1,3259$$

Maka, diperoleh rekapitulasi hasil pengecekan faktor skala dalam Tabel 4.38 antara lain:

Tabel 4. 38. Rekapitulasi Hasil Pengecekan Faktor Skala

W (berat seismik efektif)	290033,774		kN
V_X	36151,331		kN
V_Y	36363,736		kN
V_{IX}	27252,416		kN
V_{IY}	27426,491		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	
Faktor skala arah X	1,3265		
Faktor skala arah Y	1,3259		

Selanjutnya gempa dibesarkan dari kedua arahnya maka didapatkan nilai gaya geser dinamik dasar terkoreksi ditunjukkan oleh Tabel 4.39.

Tabel 4. 39. Output Gaya Geser Dinamik Terkoreksi

Lantai	Elevasi (m)	V_{Spec-X} (kN)	V_{Spec-Y} (kN)
8	32,64	6552,49	6573,52
7	28,56	14511,51	14577,12
6	24,48	20675,99	20788,94
5	20,40	25652,91	25807,84
4	16,32	29708,69	29894,70
3	12,24	32919,78	33124,79
2	8,16	35154,85	35367,69
1	4,08	36150,35	36364,82

Gaya geser desain yang akan digunakan diambil dari yang terbesar antara gaya geser statik ekuivalen dan gaya geser dinamik terkoreksi. Gaya geser desain untuk setiap tingkat ditunjukkan oleh Tabel 4.40.

Tabel 4. 40. Gaya Desain Geser

Lantai	Elevasi (m)	Statik		Dinamik Terkoreksi		Gaya Geser Desain	
		V_x (kN)	V_y (kN)	V_{Spec-x} (kN)	V_{Spec-y} (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)
8	32,64	5654,10	5680,84	6552,49	6573,52	6552,49	6573,52
7	28,56	13433,70	13499,83	14511,51	14577,12	14511,51	14577,12
6	24,48	20088,08	20190,48	20675,99	20788,94	20675,99	20788,94
5	20,40	25604,85	25739,85	25652,91	25807,84	25652,91	25807,84
4	16,32	29967,33	30130,56	29708,69	29894,70	29967,33	30130,56
3	12,24	33169,74	33356,02	32919,78	33124,79	33169,74	33356,02
2	8,16	35217,24	35420,34	35154,85	35367,69	35217,24	35420,34
1	4,08	36151,33	36363,74	36150,35	36364,82	36151,33	36364,82

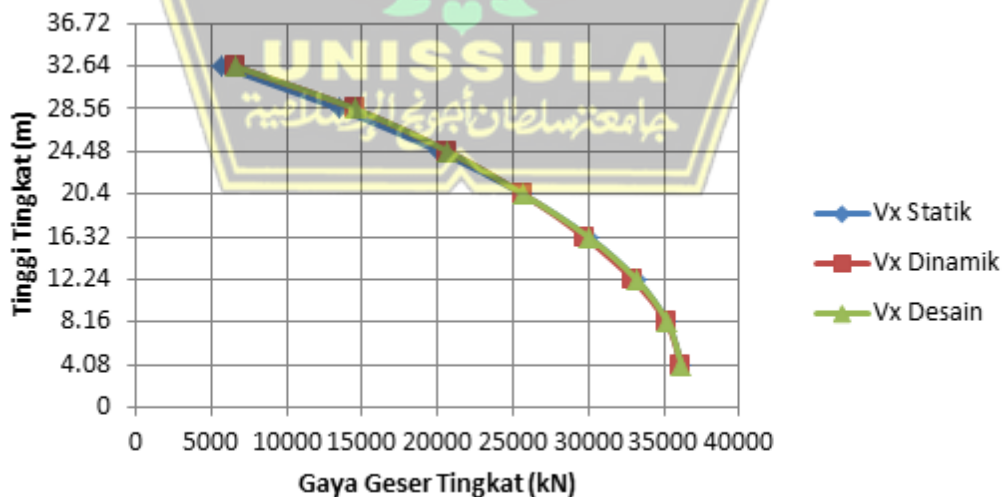
Keterangan :

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

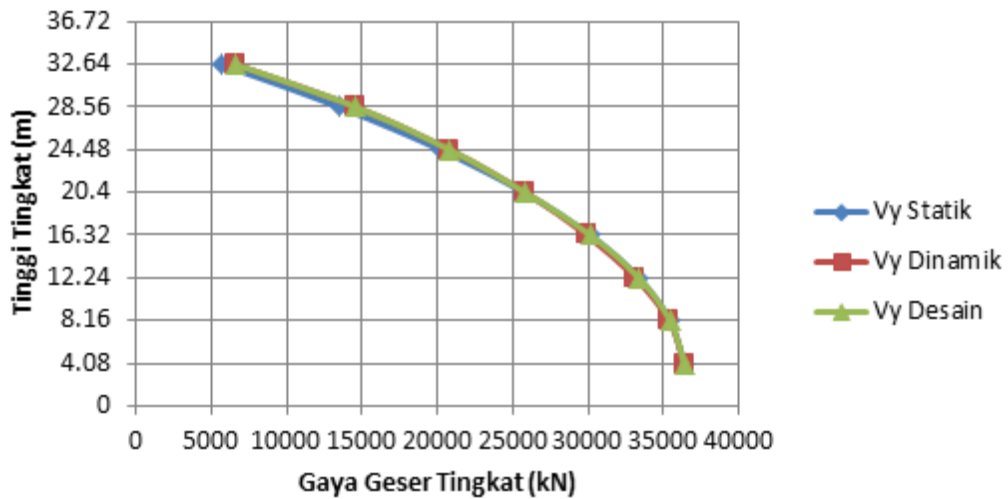
V_{Spec-y} = Gaya geser dinamik arah Y

4.5.3. Pengecekan Gaya Geser

Penggunaan ETABS dapat memperoleh gaya geser terhadap struktur secara langsung. Diagram gaya geser terhadap arah X dan arah Y tinggi suatu bangunan ditunjukkan oleh Gambar 4.16. dan Gambar 4.17.



Gambar 4. 16. Gaya Geser Gempa Diagram Arah X



Gambar 4. 17. Gaya Geser Gempa Diagram Arah Y

4.5.4. Pengecekan Simpangan Antar Tingkat (*Story Drift*)

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

- Aspek pembesaran simpang (C_d) untuk Sistem Ganda = 5,5 (SNI 1726:2019 Tabel 8),
- Aspek Keunggulan Gempa (I_e) = 1,5 (Tabel 2 SNI 1726:2019),
- Aspek redundansi dimana KDS D pada gedung adalah $\rho = 1,3$ (SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4.2),
- Simpangan desain antar tingkat (Δ) tidak diperbolehkan melampaui simpangan izin antar tingkat. Sesuai dengan Pasal 7.12.1 SNI 1726:2019, simpangan izin antar tingkat dengan kategori risiko IV pada gedung yaitu = $(0,010) \times h$, dengan h merupakan ketinggian tingkat.

Pergeseran horizontal pada tingkat relatif bagian atas terhadap bawahnya dinamakan simpangan antar tingkat. Simpangan arah X maupun Y yang didapat sesuai dengan analisis oleh ETABS ditunjukkan oleh Tabel 4.41 dan Tabel 4.42.

Tabel 4. 41. Pengecekan *Story Drift* Arah X

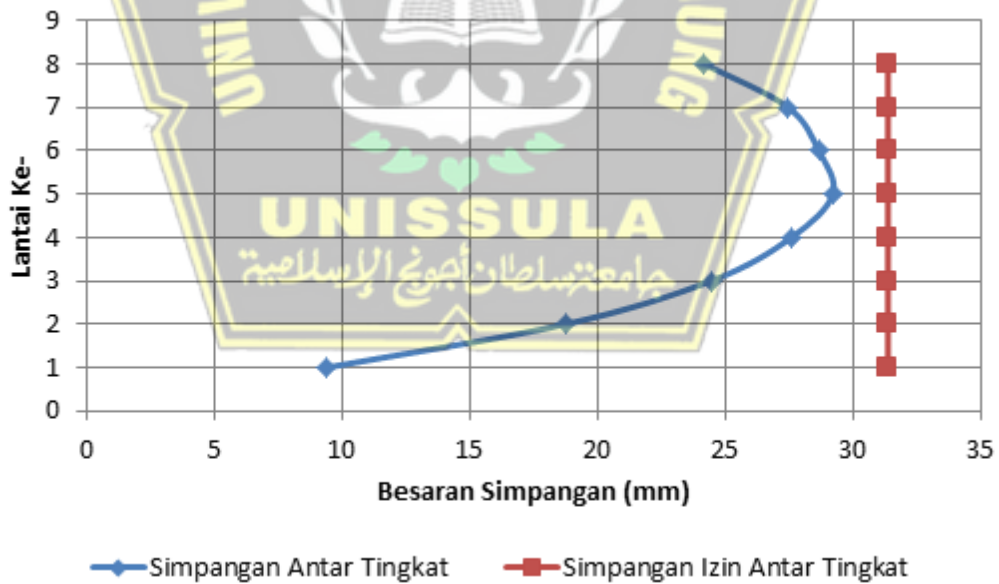
Lantai	<i>h</i> (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
8	4080	51,74	189,72	24,17	31,38	OK
7	4080	45,15	165,55	27,47	31,38	OK
6	4080	37,66	138,08	28,66	31,38	OK
5	4080	29,84	109,42	29,22	31,38	OK
4	4080	21,87	80,20	27,60	31,38	OK
3	4080	14,35	52,60	24,46	31,38	OK
2	4080	7,67	28,13	18,75	31,38	OK
1	4080	2,56	9,38	9,38	31,38	OK

Keterangan:

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

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

Hasil diagram analisis simpangan antar tingkat pada arah X dapat dilihat Gambar 4.18.



Gambar 4. 18. Diagram *Story Drift* Arah X

Tabel 4. 42. Pengecekan *Story Drift* Arah Y

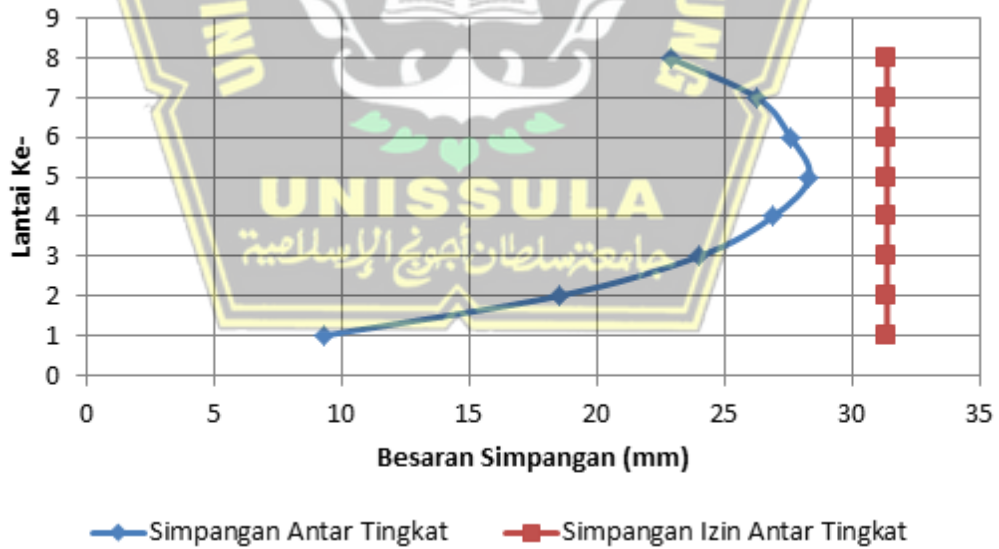
Lantai	<i>h</i> (mm)	Simpangan Elastis (δ) (mm)	Perpindahan yang diperbesar (mm)	Simpangan antar tingkat (mm)	Simpangan yang diizinkan (mm)	Ket
8	4080	50,13	183,82	22,88	31,38	OK
7	4080	43,89	160,94	26,29	31,38	OK
6	4080	36,72	134,65	27,60	31,38	OK
5	4080	29,20	107,06	28,33	31,38	OK
4	4080	21,47	78,72	26,91	31,38	OK
3	4080	14,13	51,82	24,00	31,38	OK
2	4080	7,59	27,82	18,51	31,38	OK
1	4080	2,54	9,31	9,31	31,38	OK

Keterangan:

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

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

Diagram dari hasil analisis simpangan antar tingkat arah Y dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4. 19. Diagram *Story Drift* Arah Y

4.5.5. Pengecekan P-Delta

Penentuan dampak P-Delta sesuai dengan hasil terhadap angka kestabilan (θ). Hasil θ maksimum lebih besar daripada θ sehingga boleh diabaikannya dampak P-Delta. Nilai θ maksimum dihitung dengan rumus berikut:

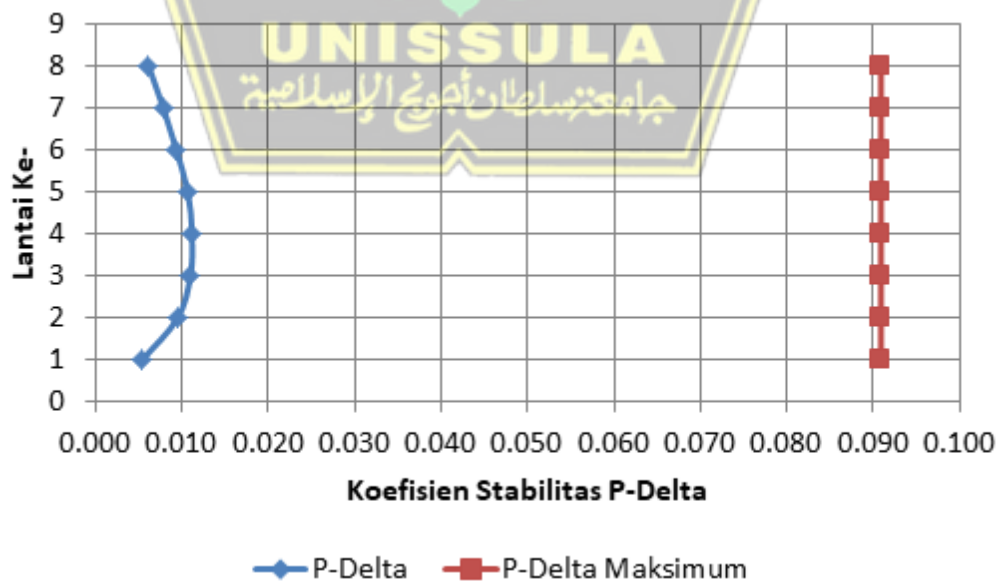
$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{c_d \times \beta} = \frac{0,5}{5,5 \times 1} = 0,0909$$

Hasil dari pengecekan P-Delta arah X ditunjukkan oleh Tabel 4.43.

Tabel 4. 43. P-Delta Arah X yang Dicek

Lantai	h_{sx} (mm)	Δ_i (mm)	P (kN)	V_x (kN)	θ	θ_{\max}	Cek
8	4080	24,17	25081,00	6552,49	0,0062	0,0909	STABIL
7	4080	27,47	62324,16	14511,51	0,0079	0,0909	STABIL
6	4080	28,66	101469,93	20675,99	0,0094	0,0909	STABIL
5	4080	29,22	140615,69	25652,91	0,0107	0,0909	STABIL
4	4080	27,60	181971,33	29967,33	0,0112	0,0909	STABIL
3	4080	24,46	223326,97	33169,74	0,0110	0,0909	STABIL
2	4080	18,75	267199,78	35217,24	0,0095	0,0909	STABIL
1	4080	9,38	311072,59	36151,33	0,0054	0,0909	STABIL

Dari P-Delta arah X yang sudah dicek menghasilkan diagram kestabilan P-Delta arah X dapat dilihat di Gambar 4.20.



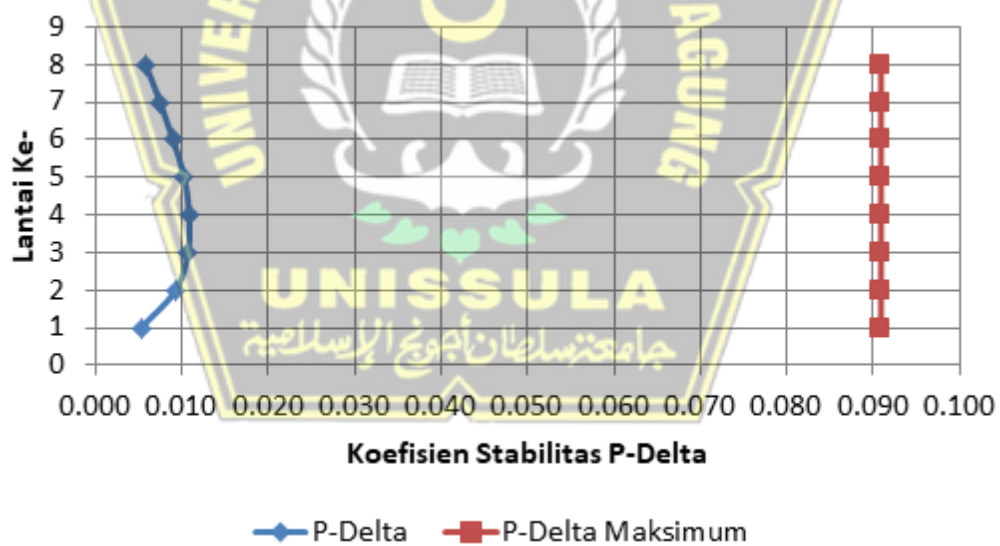
Gambar 4. 20. Diagram P-Delta Arah X

Sedangkan untuk hasil dari pengecekan P-Delta arah Y ditunjukkan oleh Tabel 4.44 antara lain:

Tabel 4. 44. P-Delta Arah Y yang Dicek

Lantai	h_{sx} (mm)	Δ_i (mm)	P (kN)	V_x (kN)	θ	θ_{max}	Cek
8	4080	22,88	25081,00	6573,52	0,0058	0,0909	STABIL
7	4080	26,29	62324,16	14577,12	0,0075	0,0909	STABIL
6	4080	27,60	101469,93	20788,94	0,0090	0,0909	STABIL
5	4080	28,33	140615,69	25807,84	0,0103	0,0909	STABIL
4	4080	26,91	181971,33	30130,56	0,0109	0,0909	STABIL
3	4080	24,00	223326,97	33356,02	0,0107	0,0909	STABIL
2	4080	18,51	267199,78	35420,34	0,0093	0,0909	STABIL
1	4080	9,31	311072,59	36364,82	0,0053	0,0909	STABIL

Kemudian dari P-Delta arah Y yang sudah dicek menghasilkan diagram kestabilan P-Delta arah Y dapat dilihat di Gambar 4.21.



Gambar 4. 21. Diagram P-Delta Arah Y

4.5.6. Pengecekan Eksentrisitas dan Torsi

4.5.6.1. Pengecekan Eksentrisitas

Sesuai dengan Pasal 7.8.4.1 dan Pasal 7.8.4.2 SNI 1726:2019, torsi tersusun atas torsi *default* dan torsi *unpredicted*. Program ETABS dapat mengetahui nilai eksentrisitas torsi bawaan. Data eksentrisitas torsi ditunjukkan oleh Tabel 4.45.

Tabel 4. 45. Data Penyimpangan Torsi Bawaan ETABS

Lantai	XCM	YCM	XCR	YCR	e_{ox}	e_{oy}
	m	m	m	m	m	m
8	36,12	31,00	37,18	29,74	1,07	1,27
7	36,44	31,05	37,16	29,89	0,73	1,15
6	36,45	31,01	37,13	30,08	0,68	0,93
5	36,46	30,97	37,09	30,31	0,63	0,66
4	36,47	30,93	37,04	30,54	0,57	0,39
3	36,48	30,88	36,99	30,75	0,51	0,13
2	36,49	30,84	36,93	30,83	0,44	0,01
1	36,50	30,80	36,86	30,55	0,36	0,25

Adapun penyimpangan dalam torsi tak terduga yakni sebesar 5% tambahan eksentrisitas terhadap dimensi ortogonal arah bentang panjang struktur bangunan tempat beraksinya gaya gempa. Penyimpangan tak terduga terkalkulasi ditunjukkan oleh Tabel 4.46.

Tabel 4. 46. Data Penyimpangan Torsi Tidak Terduga

Lantai	Total bentang panjang sumbu x (L_x)	Total bentang panjang sumbu y (L_y)	5% L_x	5% L_y
	(m)	(m)	(m)	(m)
8	70,00	62,00	3,50	3,10
7	70,00	62,00	3,50	3,10
6	70,00	62,00	3,50	3,10
5	70,00	62,00	3,50	3,10
4	70,00	62,00	3,50	3,10
3	70,00	62,00	3,50	3,10
2	70,00	62,00	3,50	3,10
1	70,00	62,00	3,50	3,10

Berlandaskan Pasal 7.8.4.3 SNI 1726:2019, penyimpangan tak terduga torsi wajin dikalikan terhadap aspek amplifikasi tak terduga momen torsi (A). Penentuan aspek amplifikasi tak terduga torsi (A) berdasarkan Persamaan 4.9.

$$A = \left(\frac{\delta_{\max}}{1,2 \times \delta_{\text{avg}}} \right)^2 \geq 1 \dots\dots\dots (4.9)$$

$$\delta_{\text{avg}} = \frac{\delta_{\max} + \delta_{\min}}{2} \dots\dots\dots (4.10)$$

Penentuan nilai δ_{\max} , δ_{\min} , maupun δ_{avg} diperoleh dalam pembebanan *envelope* dengan menggunakan nilai total simpangan tidak menggunakan simpangan antar tingkat. Kalkulasi A_x dan A_y ditunjukkan pada Tabel 4.47 dan Tabel 4.48.

Tabel 4. 47. Nilai δ_{\min} , δ_{\max} , δ_{avg} dan A_x terhadap Arah X Gempa

Lantai	δ_{\max} (mm)	δ_{\min} (mm)	δ_{avg} (mm)	$1,2 \delta_{\text{avg}}$ (mm)	$A_x =$ $(\delta_{\max}/1,2\delta_{\text{avg}})^2$	Kontrol Torsi
8	69,284	67,836	68,560	82,272	0,918	Tidak ada ketidakberaturan torsi
7	60,390	59,221	59,806	71,767	0,917	Tidak ada ketidakberaturan torsi
6	50,317	49,420	49,869	59,842	0,917	Tidak ada ketidakberaturan torsi
5	39,829	39,180	39,505	47,405	0,917	Tidak ada ketidakberaturan torsi
4	29,164	28,733	28,949	34,738	0,916	Tidak ada ketidakberaturan torsi
3	19,06	18,855	18,981	22,777	0,916	Tidak ada ketidakberaturan torsi
2	10,210	10,094	10,152	12,182	0,915	Tidak ada ketidakberaturan torsi
1	3,402	3,370	3,386	4,063	0,915	Tidak ada ketidakberaturan torsi

Tabel 4. 48. Nilai δ_{\min} , δ_{\max} , δ_{avg} dan A_y terhadap Arah Y Gempa

Lantai	δ_{\max} (mm)	δ_{\min} (mm)	δ_{avg} (mm)	$1,2 \delta_{\text{avg}}$ (mm)	$A_y =$ $(\delta_{\max}/1,2\delta_{\text{avg}})^2$	Kontrol Torsi
8	68,544	66,208	67,376	80,851	0,921	Tidak ada ketidakberaturan torsi
7	59,841	57,964	58,903	70,683	0,920	Tidak ada ketidakberaturan torsi
6	49,933	48,500	49,217	59,060	0,919	Tidak ada ketidakberaturan torsi
5	39,592	38,562	39,077	46,892	0,919	Tidak ada ketidakberaturan torsi
4	29,037	28,360	28,699	34,438	0,918	Tidak ada ketidakberaturan torsi
3	19,061	18,671	18,866	22,639	0,918	Tidak ada ketidakberaturan torsi
2	10,204	10,028	10,116	12,139	0,917	Tidak ada ketidakberaturan torsi
1	3,406	3,359	3,383	4,059	0,916	Tidak ada ketidakberaturan torsi

Dari Tabel 4.47, nilai faktor amplikasi (A) lebih kecil dari satu maka dalam menghitung nilai desain eksentrisitas menggunakan nilai faktor amplifikasi (A) sebesar satu. Eksentrisitas desain merupakan kombinasi eksentrisitas bawaan torsi dan torsi tidak terduga dihitung sesuai Persamaan 4.11 dan Persamaan 4.12.

$$e_{dx} = e_{ox} - 0,05 L_x \times A_y \dots\dots\dots (4.11)$$

$$e_{dy} = e_{oy} + 0,05 L_y \times A_x \dots\dots\dots (4.12)$$

Hasil perhitungan eksentrisitas desain dalam arah sumbu X dan Y ditunjukkan oleh Tabel 4.49 dan Tabel 4.50.

Tabel 4. 49. Desain Eksentrisitas Terhitung terhadap Sumbu Arah X

Lantai	e_{ox}	$0,05 L_x$	A_y	e_{dx}	Eksentrisitas, x
	(m)	(m)			(m)
8	1,069	3,600	1,000	2,532	0,035
7	0,726	3,600	1,000	2,874	0,040
6	0,681	3,600	1,000	2,919	0,041
5	0,630	3,600	1,000	2,970	0,041
4	0,573	3,600	1,000	3,027	0,042
3	0,510	3,600	1,000	3,090	0,043
2	0,444	3,600	1,000	3,156	0,044
1	0,363	3,600	1,000	3,237	0,045

Tabel 4. 50. Desain Eksentrisitas Terhitung terhadap Sumbu Arah Y

Lantai	e_{oy}	$0,05 L_y$	A_x	e_{dy}	Eksentrisitas, y
	(m)	(m)			(m)
8	1,266	3,100	1,000	4,366	0,070
7	1,154	3,100	1,000	4,254	0,069
6	0,931	3,100	1,000	4,031	0,065
5	0,657	3,100	1,000	3,757	0,061
4	0,386	3,100	1,000	3,486	0,056
3	0,131	3,100	1,000	3,231	0,052
2	0,013	3,100	1,000	3,113	0,050
1	0,248	3,100	1,000	3,348	0,054

4.5.6.2. Perhitungan Ketidakberaturan Torsi

Penentuan kategori terhadap ketidakberaturan torsi sesuai dengan SNI 1726:2019, berdasarkan maksimal defleksi (δ_{max}), minimal defleksi (δ_{min}), dan rata-rata defleksi (δ_{avg}). Pengecekan ketidakberaturan torsi sumbu X maupun sumbu Y ditunjukkan oleh Tabel 4.51 dan Tabel 4.52.

Tabel 4. 51. Ketidakberaturan Torsi yang Dicek pada Sumbu X

lantai	δ_{max}	<i>story drift max</i>	<i>story drift max</i> $\times C_d$	δ_{min}	<i>story drift min</i>	<i>story drift min</i> $\times C_d$	δ_{avg}	1,2 δ_{avg}	1,4 δ_{avg}	Cek
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
8	69,28	8,89	48,92	67,84	8,62	47,38	48,15	57,78	67,41	Tanpa torsi
7	60,39	10,07	55,40	59,22	9,80	53,91	54,65	65,58	76,52	Tanpa Torsi
6	50,32	10,49	57,68	49,424	10,24	56,32	57,00	68,40	79,80	Tanpa Torsi
5	39,83	10,67	58,66	39,18	10,45	57,46	58,06	69,67	81,28	Tanpa Torsi
4	29,16	10,06	55,32	28,73	9,88	54,34	54,83	65,79	76,76	Tanpa Torsi
3	19,11	8,89	48,93	18,86	8,76	48,19	48,56	58,27	67,98	Tanpa Torsi
2	10,21	6,88	37,44	10,09	6,72	36,98	37,21	44,65	52,09	Tanpa Torsi
1	3,40	3,4	18,71	3,37	3,37	18,54	18,62	22,35	26,07	Tanpa Torsi

Tabel 4. 52. Ketidakberaturan Torsi yang Dicek pada Sumbu Y

lantai	δ_{max}	<i>story drift max</i>	<i>story drift max</i> $\times C_d$	δ_{min}	<i>story drift min</i>	<i>story drift min</i> $\times C_d$	δ_{avg}	1,2 δ_{avg}	1,4 δ_{avg}	Cek
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
8	68,54	8,70	47,87	66,21	8,24	45,34	46,60	55,93	65,25	Tanpa torsi
7	59,84	9,91	54,49	57,96	9,46	52,05	53,27	63,92	74,58	Tanpa Torsi
6	49,93	10,34	56,88	48,50	9,94	54,66	55,77	66,92	78,07	Tanpa Torsi
5	39,59	10,56	58,05	38,56	10,20	56,11	57,08	68,50	79,91	Tanpa Torsi
4	29,04	9,98	54,87	28,36	9,69	53,29	54,08	64,89	75,71	Tanpa Torsi
3	19,06	8,86	48,71	18,67	8,64	47,54	48,13	57,75	67,38	Tanpa Torsi
2	10,20	6,80	37,39	10,03	6,67	36,68	37,03	44,44	51,85	Tanpa Torsi
1	3,41	3,41	18,73	3,36	3,36	18,47	18,60	22,32	26,05	Tanpa Torsi

4.5.7. Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal yang Dicek

Berlandaskan SNI 1726:2019 Tabel 13 dan Tabel 14, pengecekan ketidakberaturan horizontal maupun vertikal terhadap struktur wajib dilakukan. Hasil ketidakberaturan horizontal dan vertikal yang telah dicek sebagai berikut:

1. Ketidakberaturan Horizontal

a) Ketidakberaturan torsi 1a dan 1b

Hasil pengecekan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b arah X dan arah Y ditunjukkan oleh Tabel 4.53 dan Tabel 4.54.

Tabel 4. 53. Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X

Lantai	Gaya Lateral	δ_{max}	δ_{avg}	$\delta_{max} / \delta_{avg}$	Status			
					Cek	1a	Cek	1b
8	EX	6,592	5,928	1,112	< 1,2	OK	< 1,4	OK
7	EX	7,491	6,829	1,097	< 1,2	OK	< 1,4	OK
6	EX	7,818	7,164	1,091	< 1,2	OK	< 1,4	OK
5	EX	7,969	7,348	1,085	< 1,2	OK	< 1,4	OK
4	EX	7,528	6,972	1,080	< 1,2	OK	< 1,4	OK
3	EX	6,672	6,210	1,074	< 1,2	OK	< 1,4	OK
2	EX	5,114	4,777	1,071	< 1,2	OK	< 1,4	OK
1	EX	2,559	2,390	1,071	< 1,2	OK	< 1,4	OK

Tabel 4. 54. Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y

Lantai	Gaya Lateral	δ_{max}	δ_{avg}	$\delta_{max} / \delta_{avg}$	Status			
					Cek	1a	Cek	1b
8	EY	6,241	5,865	1,064	< 1,2	OK	< 1,4	OK
7	EY	7,169	6,749	1,062	< 1,2	OK	< 1,4	OK
6	EY	7,526	7,089	1,062	< 1,2	OK	< 1,4	OK
5	EY	7,727	7,283	1,061	< 1,2	OK	< 1,4	OK
4	EY	7,337	6,918	1,061	< 1,2	OK	< 1,4	OK
3	EY	6,546	6,174	1,060	< 1,2	OK	< 1,4	OK
2	EY	5,048	4,758	1,061	< 1,2	OK	< 1,4	OK
1	EY	2,538	2,386	1,064	< 1,2	OK	< 1,4	OK

Dari hasil ketidakberaturan torsi 1a dan 1b yang sudah dicek, tidak didapat simpangan antar tingkat maksimum > 1,2 kali rata-rata simpangan antar tingkat (torsi 1a) dan tidak didapat simpangan antar tingkat maksimum < 1,4 kali rata-rata simpangan antar tingkat (torsi 1b).

b) Ketidakberaturan sudut dalam

Ketidakberaturan sudut dalam terdapat pada struktur dikarenakan terdapat bukaan di bagian tengah denah struktur dengan dimensi kedua denah struktur proyeksi terhadap wilayah sudut dalam melampaui 15% dimensi denah struktur. Untuk mengatasi hal tersebut, gaya desain diafragma wajib dinaikkan sebesar 25% untuk komponen sistem gaya pemikul seismik.

c) Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Luas bukaan total adalah 717,85 m² dan luas bruto 3574,15 m² maka persentasenya adalah 20,1% sehingga struktur tidak mengalami 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 ortogonal terhadap bidang

Struktur tidak mengalami ketidakberaturan akibat pergeseran ortogonal terhadap bidang dikarenakan dinding geser didesain menerus dari lantai 1 sampai lantai 8.

e) Ketidakberaturan non paralel sistem

Struktur tidak mengalami ketidakberaturan non paralel sistem dikarenakan dinding geser didesain saling ortogonal terhadap sumbu x maupun terhadap sumbu y.

2. Ketidakberaturan Vertikal

a) Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a dan 1b

Bilamana kekakuan tingkat lateral lebih kecil dari 70% kekakuan tingkat lateral di atasnya atau 80% rata-rata kekakuan ketiga tingkat di atasnya maka terdapat ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a. Hasil ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a yang sudah dicek arah X dan arah Y ditunjukkan pada Tabel 4.55 dan Tabel 4.56.

Tabel 4. 55. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X

Lantai	Load Case	Shear X	Story drift	Kekakuan	Cek 70%	Cek 80%
		kN	m	kN/m		
8	EX	6552,49	0,006	1105258		
7	EX	14511,51	0,007	2124906	Tidak ada	
6	EX	20675,99	0,007	2886062	Tidak ada	
5	EX	25652,90	0,007	3491320	Tidak ada	Tidak ada
4	EX	29967,32	0,007	4298523	Tidak ada	Tidak ada
3	EX	33169,74	0,006	5341289	Tidak ada	Tidak ada
2	EX	35217,24	0,005	7372865	Tidak ada	Tidak ada
1	EX	36151,33	0,002	15127740	Tidak ada	Tidak ada

Tabel 4. 56. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y

Lantai	Load Case	Shear Y	Story drift	Kekakuan	Cek 70%	Cek 80%
		kN	m	kN/m		
8	EY	6573,52	0,006	1120831		
7	EY	14577,12	0,007	2159780	Tidak ada	
6	EY	20788,94	0,007	2932525	Tidak ada	
5	EY	25807,84	0,007	3543368	Tidak ada	Tidak ada
4	EY	30130,56	0,007	4355246	Tidak ada	Tidak ada
3	EY	33356,02	0,006	5402605	Tidak ada	Tidak ada
2	EY	35420,34	0,005	7444324	Tidak ada	Tidak ada
1	EY	36364,82	0,002	15242213	Tidak ada	Tidak ada

Bilamana kekakuan tingkat lateral lebih kecil dari 60% kekakuan tingkat lateral di atasnya atau 70% dari rata-rata kekakuan ketiga tingkat di atasnya maka terdapat ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1b. Hasil ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1b yang sudah dicek arah X dan arah Y ditunjukkan pada Tabel 4.57 dan Tabel 4.58.

Tabel 4. 57. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X

Lantai	Load Case	Shear X	Story drift	Kekakuan	Cek 60%	Cek 70%
		kN	m	kN/m		
8	EX	6552,49	0,006	1105258		
7	EX	14511,51	0,007	2124906	Tidak ada	
6	EX	20675,99	0,007	2886062	Tidak ada	
5	EX	25652,90	0,007	3491320	Tidak ada	Tidak ada
4	EX	29967,32	0,007	4298523	Tidak ada	Tidak ada
3	EX	33169,74	0,006	5341289	Tidak ada	Tidak ada
2	EX	35217,24	0,005	7372865	Tidak ada	Tidak ada
1	EX	36151,33	0,002	15127740	Tidak ada	Tidak ada

Tabel 4. 58. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y

Lantai	Load Case	Shear Y	Story drift	Kekakuan	Cek 60%	Cek 70%
		kN	m	kN/m		
8	EY	6573,52	0,006	1120831		
7	EY	14577,12	0,007	2159780	Tidak ada	
6	EY	20788,94	0,007	2932525	Tidak ada	
5	EY	25807,84	0,007	3543368	Tidak ada	Tidak ada
4	EY	30130,56	0,007	4355246	Tidak ada	Tidak ada
3	EY	33356,02	0,006	5402605	Tidak ada	Tidak ada
2	EY	35420,34	0,005	7444324	Tidak ada	Tidak ada
1	EY	36364,82	0,002	15242213	Tidak ada	Tidak ada

b) Ketidakberaturan Berat (Massa)

Bilamana efektif berat di lintas tingkat melampaui 1,5 kali efektif massa terdekat maka terdapat ketidakberaturan ini. Hasil pengecekan ketidakberaturan berat (massa) ditunjukkan oleh Tabel 4.59.

Tabel 4. 59. 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
8	22285,38		OK
7	35886,26	OK	OK
6	36808,00	OK	OK
5	37826,37	OK	OK
4	38904,78	OK	OK
3	40079,82	OK	OK
2	41314,90	OK	OK
1	42646,61	OK	

c) Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Struktur tidak mengalami ketidakberaturan geometri vertikal dikarenakan adanya penggunaan dimensi dinding geser dengan ukuran yang sama terhadap ketinggian bangunan.

d) Ketidakberaturan akibat bidang diskontinuitas terhadap komponen vertikal penahan gaya lateral

Struktur tidak mengalami ketidakberaturan akibat bidang diskontinuitas terhadap komponen vertikal penahan gaya lateral dikarenakan dinding geser didesain menerus dari lantai 1 sampai lantai 8.

- e) Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas terhadap kuat tingkat lateral 5a dan 5b

Hasil pengecekan ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas terhadap kuat tingkat lateral ditunjukkan Tabel 4.60 dan Tabel 4.61.

Tabel 4. 60. Ketidakberaturan Vertikal 5a yang Dicek

Lantai	Load Case / Combo	Location	V_x	V_y	Cek 80% arah X	Cek 80% arah Y
8	Envelope Max	Bottom	8518,24	8545,57		
7	Envelope Max	Bottom	18864,96	18950,25	OK	OK
6	Envelope Max	Bottom	26878,79	27025,63	OK	OK
5	Envelope Max	Bottom	33348,77	33550,20	OK	OK
4	Envelope Max	Bottom	38957,52	39169,73	OK	OK
3	Envelope Max	Bottom	43120,66	43362,82	OK	OK
2	Envelope Max	Bottom	45782,41	46046,44	OK	OK
1	Envelope Max	Bottom	46996,73	47274,26	OK	OK

Tabel 4. 61. Ketidakberaturan Vertikal 5b yang Dicek

Lantai	Load Case / Combo	Location	V_x	V_y	Cek 65% arah X	Cek 65% arah Y
8	Envelope Max	Bottom	8518,24	8545,57		
7	Envelope Max	Bottom	18864,96	18950,25	OK	OK
6	Envelope Max	Bottom	26878,79	27025,63	OK	OK
5	Envelope Max	Bottom	33348,77	33550,20	OK	OK
4	Envelope Max	Bottom	38957,52	39169,73	OK	OK
3	Envelope Max	Bottom	43120,66	43362,82	OK	OK
2	Envelope Max	Bottom	45782,41	46046,44	OK	OK
1	Envelope Max	Bottom	46996,73	47274,26	OK	OK

4.5.8. Pengecekan Kontribusi *Frame* Memikul Minimal 25% Gaya Lateral

Berdasarkan Pasal 7.2.5.1 SNI 1726:2019, *frame* momen pemikul diharuskan sanggup menopang setidaknya 25% gaya desain gempa pada saat mendesain sistem ganda sehingga total tahanan gaya gempa diharuskan tersedia oleh gabungan dinding geser dan *frame* momen pemikul dengan penyaluran setara tentang kekakuan.

Berdasarkan hasil perhitungan pada ETABS didapatkan jumlah lateral gaya bekerja terhadap rangka pemikul momen dan dinding geser yang dapat dilihat pada Tabel 4.62.

Tabel 4. 62. Komparasi Lateral Gaya pada Dinding Geser dan Rangka Pemikul Momen

Arah	V_{desain}	$V_{dinding\ geser}$		V_{kolom}		Status
	(kN)	(kN)	(%)	(kN)	(%)	
X	36151,33	18283,29	50,57	17868,04	49,43	OK
Y	36364,82	18299,67	50,32	18065,14	49,68	OK

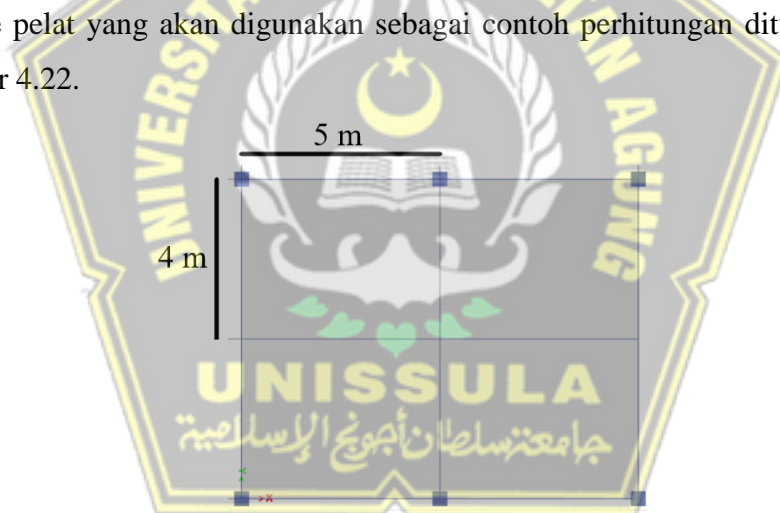
4.6. Perancangan Elemen Struktur Beton Bertulang

4.6.1. Perancangan Pelat

Perilaku pelat diklasifikasi dalam dua tipe yakni pelat satu arah dan pelat dua arah. Pelat perlu dilakukan pengecekan dengan perbandingan lebar dan panjang pelat (L_x/L_y). Tahapan-tahapan perancangan pelat yang dilakukan, antara lain:

4.6.1.1. Properti Material dan Penampang

Tipe pelat yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan ditunjukkan oleh Gambar 4.22.



Gambar 4. 22. Tipe Pelat

$$\text{Sisi pelat arah sumbu X } (L_x) = 5000 \text{ mm}$$

$$\text{Sisi pelat arah sumbu Y } (L_y) = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Perbandingan sisi pelat } \left(\frac{L_y}{L_x}\right) = \frac{4}{5} = 0,2$$

$$\text{Jenis pelat} = \text{dua arah, karena } L_y / L_x \leq 2$$

$$\text{Tebal pelat } (h) = 125 \text{ mm}$$

$$\text{Diamater tulangan } (d_b) = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut bersih } (c_c) = 20 \text{ mm (Tabel 20.6.1.3.1 SNI 2847:2019)}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal efektif penampang } (d) &= h - c_c - d_s - d_b/2 \\ &= 125 - 20 - 10 - 10/2 \\ &= 90 \end{aligned}$$

$$\text{Kuat tekan beton } (f_c') = 33,2 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat leleh tulangan } (f_y) = 420 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas beton } (E_c) &= 4700 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \times \sqrt{33,2} \\ &= 27081 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor distribusi tegangan } (\beta_1)$$

(SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3)

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(f_c' - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(33,2 - 28)}{7} \\ &= 0,8129 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor modifikasi } (\lambda)$$

(SNI 2847:2019 Tabel 25.4.2.4)

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

4.6.1.2. Gaya Dalam

Pada perancangan pelat diambil gaya dalam dari analisis menggunakan ETABS sebagai berikut:

- M_{\max} akibat $M_{11 \max}$ = 7,963 kN-m
- M_{\min} akibat $M_{11 \min}$ = -7,562 kN-m
- M_{\max} akibat $M_{22 \max}$ = 13,829 kN-m
- M_{\min} akibat $M_{22 \min}$ = -10,441 kN-m
- V_u = 8,528 kN

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

a) Momen Positif M_{11}

(Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu X)

- Spasi tulangan (s)

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

- Spasi maksimum (s_{\max})

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

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

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{150} = \frac{1000}{150} = 6,67$$
- Diameter tulangan (d_b)

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

$$s - d_b = 150 - 10 = 140 \text{ mm}$$
- Cek jarak bersih
(SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1)
Syarat = Jarak bersih $\geq d_b = 140 \geq 10 \rightarrow \text{OK}$
- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= \pi \times n \times d_b^2 \times \frac{1}{4} \\ &= 3,14 \times 6,67 \times 10^2 \times \frac{1}{4} \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$
- Luas tulangan minimum ($A_{s \text{ min}}$)
 - Bila $f_y < 420 \text{ MPa}$

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

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

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

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

- Cek $A_s \text{ min}$:
 Syarat $= A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ min} = 523,599 \geq 225 \rightarrow \text{OK}$
- Tinggi blok beton (a)
 (SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$a = A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = 523,599 \times \frac{420}{0,85 \times 33,2 \times 1000} = 7,793 \text{ mm}$$
- Kapasitas lentur (M_n)
 (SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

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

$$= (90 - \frac{7,793}{2}) \times 420 \times 523,599 \times 10^{-6}$$

$$= 18,935 \text{ kN-m}$$
- Lokasi garis netral (c)
 (SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,793}{0,8129} = 9,587 \text{ mm}$$
- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

$$\epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 = \frac{(90-9,587)}{9,587} \times 0,003 = 0,025$$
- Regangan tulangan tarik lapisan terluar (ϵ_{ty})

$$\epsilon_{ty} = 0,002 \text{ (beton non prategang)}$$
- Batas tulangan regangan tarik
 Batas $= 0,005$
- Faktor reduksi (ϕ)
 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)
 - Untuk $\epsilon_t < \epsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$
 - Untuk $\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$

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

$$= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,025 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)}$$

$$= 2,57$$
 - 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)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 18,935 \\ &= 17,042 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{\max} \text{ akibat } M_{11 \max}| \\ &= |7,963| \\ &= 7,963 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 17,042 > 7,963 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 150

b) Momen Negatif M_{11}

(Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu X)

- Spasi tulangan (s)

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

- Spasi maksimum (s_{\max})

$$s_{\max} = 2 h = 2 \times 125 = 250 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

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

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{150} = 6,67$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

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

- Cek jarak bersih

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq d_b \\ &= 140 \geq 10 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= d_b^2 \times n \times \pi \times \frac{1}{4} \\ &= 10^2 \times 6,67 \times 3,14 \times \frac{1}{4} \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

- Bila $f_y < 420$ MPa

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

- Bila $f_y \geq 420$ MPa

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

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

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

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

$$\text{Syarat} = A_s \text{ pasang} \geq A_{s \text{ min}} = 523,599 \geq 225 \rightarrow \text{OK}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$a = A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = 523,599 \times \frac{420}{0,85 \times 33,2 \times 1000} = 7,793 \text{ mm}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= \left(d - \frac{a}{2} \right) \times f_y \times A_s \times 10^{-6} \\ &= \left(90 - \frac{7,793}{2} \right) \times 420 \times 523,599 \times 10^{-6} \\ &= 18,935 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,793}{0,8129} = 9,587 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

$$\epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 = \frac{(90-9,587)}{9,587} \times 0,003 = 0,025$$

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

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})} \\ &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,025 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ &= 2,57 \end{aligned}$$

- Untuk $\epsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

ϕ dipakai = 0,90 (karena $\epsilon_t \geq 0,005 = 0,025 \geq 0,005$)

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 18,935 \\ &= 17,042 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{\min} \text{ akibat } M_{11 \min}| \\ &= |-7,562| \\ &= 7,562 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 17,042 > 7,562 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 150

c) Momen Positif M_{22}

(Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu Y)

- Spasi tulangan (s)

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

- Spasi maksimum (s_{\max})

$$s_{\max} = 2h = 2 \times 125 = 250 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

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

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{150} = 6,67$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

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

- Cek jarak bersih

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq d_b \\ &= 140 \geq 10 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= \pi \times n \times d_b^2 \times \frac{1}{4} \\ &= 3,14 \times 6,67 \times 10^2 \times \frac{1}{4} \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}1} &= h \times \left(\frac{420}{f_y} \times 0,18\%\right) \times b \\ &= 125 \times \left(\frac{420}{420} \times 0,18\%\right) \times 1000 \\ &= 225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \min 2} &= h \times 0,14\% \times b \\
 &= 125 \times 0,14\% \times 1000 \\
 &= 175 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \min} &= 225 \text{ mm}^2 \text{ (dipilih yang terbesar)}
 \end{aligned}$$

- Cek $A_s \min$:

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= A_s \text{ pasang} \geq A_s \min \\
 &= 523,599 \geq 225 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= 523,599 \times \frac{420}{0,85 \times 33,2 \times 1000} \\
 &= 7,793 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned}
 M_n &= \left(d - d_b - \frac{a}{2} \right) \times f_y \times A_s \times 10^{-6} \\
 &= \left(90 - 10 - \frac{7,793}{2} \right) \times 420 \times 523,599 \times 10^{-6} \\
 &= 16,736 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,793}{0,8129} = 9,587 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(90-9,587)}{9,587} \times 0,003 \\
 &= 0,025
 \end{aligned}$$

- 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 $\varepsilon_t < \varepsilon_{ty}$

$$\phi = 0,65$$
 - Untuk $\varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0,005$

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

$$= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,025 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)}$$

$$= 2,57$$
 - 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)

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

$$= 0,90 \times 16,736$$

$$= 15,062 \text{ kN-m}$$
- Momen ultimit (M_u)

$$M_u = |M_{\text{max}} \text{ akibat } M_{22 \text{ max}}|$$

$$= |13,829|$$

$$= 13,829 \text{ kN-m}$$
- Cek kapasitas :

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

$$= 15,062 > 13,829 \rightarrow \text{OK}$$
- Kesimpulan :
Digunakan Tulangan D 10 - 150

d) Momen Negatif M_{22}

(Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu Y)

- Spasi tulangan (s)

$$s = 150 \text{ mm}$$
- Spasi maksimum (s_{max})

$$s_{\text{max}} = 2 h = 2 \times 125 = 250 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

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

- Jumlah tulangan negatif tumpuan (n)

$$n = \frac{b}{s} = \frac{1000}{s} = \frac{1000}{150} = 6,67$$

- Diameter tulangan (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

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

- Cek jarak bersih

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq d_b \\ &= 140 \geq 10 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= d_b^2 \times n \times \pi \times \frac{1}{4} \\ &= 10^2 \times 6,67 \times 3,14 \times \frac{1}{4} \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}1} &= h \times \left(\frac{420}{f_y} \times 0,18\% \right) \times b \\ &= 125 \times \left(\frac{420}{420} \times 0,18\% \right) \times 1000 \\ &= 225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}2} &= h \times 0,14\% \times b \\ &= h \times 0,14\% \times 1000 \\ &= 175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}} \\ &= 523,599 \geq 225 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 523,599 \times \frac{420}{0,85 \times 33,2 \times 1000} \\ &= 7,793 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= (d - d_b - \frac{a}{2}) \times f_y \times A_s \times 10^{-6} \\ &= (90 - 10 - \frac{7,793}{2}) \times 420 \times 523,599 \times 10^{-6} \\ &= 16,736 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,793}{0,8129} = 9,587 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(90-9,587)}{9,587} \times 0,003 \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \phi &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{(0,005 - \varepsilon_{ty})} \\ &= 0,65 + 0,25 \times \frac{(0,025 - 0,002)}{(0,005 - 0,002)} \\ &= 2,57 \end{aligned}$$

- Untuk $\varepsilon_t \geq 0,005$

$$\phi = 0,90$$

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

▪ Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 16,736 \\ &= 15,062 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

▪ Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned}M_u &= |M_{\min} \text{ akibat } M_{22 \min}| \\ &= |-10,441| \\ &= 10,441 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

▪ Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 15,062 > 10,441 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

▪ Kesimpulan :

Digunakan Tulangan D 10 - 150

e) Tulangan Minimum

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

▪ Spasi tulangan (s)

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

▪ Spasi maksimum (s_{\max})

$$s_{\max} = 2h = 2 \times 125 = 250 \text{ mm}$$

▪ Cek spasi :

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

▪ Diameter tulangan (d_b)

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

▪ Jarak bersih antar tulangan

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

▪ Cek jarak bersih

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \text{Jarak bersih} \geq d_b \\ &= 140 \geq 10 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= d_b^2 \times n \times \pi \times \frac{1}{4} \\ &= 10^2 \times 6,67 \times 3,14 \times \frac{1}{4} \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}} \\ &= 523,599 \geq 225 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Kesimpulan : $\text{جامعته سلطان أجونغ الإسلامية}$

Digunakan Tulangan D 10 - 150

4.6.1.4. Pengecekan Kapasitas Geser

- Kapasitas geser beton (V_c)

$$\begin{aligned} V_c &= d \times \sqrt{f_c'} \times b \times 0,17 \\ &= 90/1000 \times \sqrt{33,2} \times 1000 \times 0,17 \\ &= 88,158 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

$$\phi = 0,75$$

- Ambang batas geser pelat
 Batas $= 0,5 \times V_c \times \phi$
 $= 0,5 \times 88,158 \times 0,75$
 $= 33,059 \text{ kN}$
- Cek keperluan tulangan geser pelat
 Syarat $= V_u > 1/2 \times V_c \times \phi$
 $= 8,528 < 33,059 \rightarrow$ Tidak perlu tulangan geser

4.6.1.5. Pengecekan Lendutan Pelat

a) Kapasitas Retak Lentur

- Momen inersia pelat (I_g)

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

- Tegangan retak (f_r)

$$f_r = \sqrt{f_c'} \times 0,62 = \sqrt{33,2} \times 0,62 = 3,572 \text{ MPa}$$

- Garis netral (y)

$$y = \frac{h}{2} = \frac{125}{2} = 62,5 \text{ mm}$$

- Kapasitas retak lentur (M_{cr})

$$M_{cr} = f_r \times \frac{I_g}{y} \times 10^{-6} = 3,572 \times \frac{162760417}{62,5} \times 10^{-6} = 9,303 \text{ kNm}$$

- Momen inersia retak (I_{cr})

$$I_{cr} = 0,25 \times I_g = 0,25 \times 162760417 = 40690104 \text{ mm}^4$$

b) Lendutan Arah Sumbu X

- Gaya dalam yang diperoleh dalam ETABS :

- $M_{11 \text{ max}}$ akibat *DL* = 3,997 kN-m
- $M_{11 \text{ min}}$ akibat *DL* = -3,819 kN-m
- $M_{11 \text{ max}}$ akibat *SIDL* = 2,696 kN-m
- $M_{11 \text{ min}}$ akibat *SIDL* = -1,938 kN-m
- $M_{11 \text{ max}}$ akibat *LL* = 1,574 kN-m
- $M_{11 \text{ min}}$ akibat *LL* = -1,131 kN-m

- Data hasil olah gaya dalam :

- M_a lapangan (+) = $\sum M_{11 \text{ max}}$
 $= 3,997 + 2,696 + 1,574 = 8,267 \text{ kN-m}$

$$\begin{aligned}
- M_a \text{ tumpuan (-)} &= \sum M_{11} \text{ min} \\
&= -3,819 + (-1,938) + (-1,131) \\
&= -6,888 \text{ kN-m} \\
- M_{cr} / M_a \text{ lapangan} &= 9,303 / 8,267 \\
&= 1,125 \text{ kN-m} \\
- M_{cr} / M_a \text{ tumpuan} &= 9,303 / 6,888 \\
&= 1,351 \text{ kN-m} \\
- I_e \text{ lapangan} &= I_g \times \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 + I_{cr} \times \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \\
&= 1,63 \times 10^8 \times (1,1)^3 + 4,07 \times 10^7 \times [1 - (1,1)^3] \\
&= 214497249 \text{ mm}^4 \\
I_e \text{ lapangan dipakai} &= I_g = 162760417 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ lapangan} > I_g) \\
- I_e \text{ tumpuan} &= I_g \times \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 + I_{cr} \times \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \\
&= 1,63 \times 10^8 \times (1,3)^3 + 4,07 \times 10^7 \times [1 - (1,3)^3] \\
&= 341696764 \text{ mm}^4 \\
I_e \text{ tumpuan dipakai} &= I_g = 162760417 \text{ mm}^4 \text{ (karena } I_e \text{ tumpuan} > I_g) \\
- I_e \text{ rata-rata} &= 0,5 \times I_e \text{ lapangan} + 0,5 \times I_e \text{ tumpuan} \\
&= 0,5 \times 162760417 + 0,5 \times 162760417 \\
&= 162760417 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

▪ Lendutan seketika akibat DL (δ_{DL})

$$\begin{aligned}
\delta_{DL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6 \\
&= \frac{\frac{5}{48} \times 5000 \times (3,997 + 0,2 \times 3,819)}{27081 \times 162760417} \times 10^6 \\
&= 2,813 \text{ mm}
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
\delta_{SIDL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_e \text{ rata-rata}} \times 10^6 \\
&= \frac{\frac{5}{48} \times 5000 \times (2,696 + 0,2 \times 1,938)}{27081 \times 162760417} \times 10^6 \\
&= 1,822 \text{ mm}
\end{aligned}$$

- Lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

$$\begin{aligned}\delta_{LL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 5000 \times (1,574 + 0,2 \times 1,131)}{27081 \times 162760417} \times 10^6 \\ &= 1,064 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{360} = \frac{5000}{360} = 13,889 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned}\text{Cek} &= \delta_{LL} < \frac{L}{360} \\ &= 1,064 < 13,889 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

- Rasio tulangan pelat (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times d} = \frac{529,599}{1000 \times 90} = 0,00588$$

- Faktor jangka panjang (λ)

$$\lambda = \frac{2}{1 + 50 \times \rho} = \frac{2}{1 + 50 \times 0,00588} = 1,549$$

- Lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\begin{aligned}\delta_{LT} &= \lambda \times (\delta_{DL} + \delta_{SIDL}) + \delta_{LL} \\ &= 1,549 \times (2,813 + 1,822) + 1,064 \\ &= 8,244 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\text{Syarat} = \frac{L}{240} = \frac{5000}{240} = 20,833 \text{ mm}$$

- Cek lendutan jangka panjang (δ_{LT})

$$\begin{aligned}\text{Cek} &= \delta_{LT} < \frac{L}{240} \\ &= 8,244 < 20,833 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

c) Lendutan Arah Sumbu Y

- Gaya dalam yang diperoleh dalam ETABS :

- $M_{22 \text{ max}}$ akibat *DL* = 5,143 kN-m
- $M_{22 \text{ min}}$ akibat *DL* = -3,865 kN-m
- $M_{22 \text{ max}}$ akibat *SIDL* = 3,598 kN-m
- $M_{22 \text{ min}}$ akibat *SIDL* = -2,720 kN-m
- $M_{22 \text{ max}}$ akibat *LL* = 2,101 kN-m
- $M_{22 \text{ min}}$ akibat *LL* = -1,588 kN-m

- Data hasil olah gaya dalam :

- M_a lapangan (+) = $\sum M_{11 \text{ max}} = 5,143 + 3,598 + 2,101$
= 10,842 kN-m
- M_a tumpuan (-) = $\sum M_{11 \text{ min}} = -3,865 + (-2,720) + (-1,588)$
= -8,173 kN-m
- M_{cr} / M_a lapangan = $9,303 / 10,842 = 0,858$ kN-m
- M_{cr} / M_a tumpuan = $9,303 / 8,173 = 1,138$ kN-m
- I_e lapangan = $\left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] \times I_{cr}$
= $(0,8)^3 \times 1,63 \times 10^8 + [1 - (0,8)^3] \times 4,07 \times 10^7$
= 117810699 mm⁴
- I_e lapangan dipakai = 117810699 mm⁴ (karena I_e lapangan < I_g)
- I_e tumpuan = $I_g \times \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 + I_{cr} \times \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right]$
= $1,63 \times 10^8 \times (1,1)^3 + 4,07 \times 10^7 \times [1 - (1,1)^3]$
= 220592457 mm⁴
- I_e tumpuan dipakai = $I_g = 162760417$ mm⁴ (karena I_e tumpuan > I_g)
- I_e rata-rata = $1/2 \times I_e$ lapangan + $1/2 \times I_e$ tumpuan
= $1/2 \times 117810699 + 1/2 \times 162760417$
= 140285558 mm⁴

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

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

$$= \frac{5}{48} \times 5000 \times \frac{(5,143 + 0,2 \times 3,865)}{27081 \times 140285558} \times 10^6$$

$$= 10,381 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned}\delta_{SIDL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 5000 \times (3,598 + 0,2 \times 2,720)}{27081 \times 140285558} \times 10^6 \\ &= 7,268 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

$$\begin{aligned}\delta_{LL} &= \frac{\frac{5}{48} \times L^2 \times (M_{lap} + 0,2 \times M_{tum})}{E_c \times I_{e \text{ rata-rata}}} \times 10^6 \\ &= \frac{\frac{5}{48} \times 5000 \times (2,101 + 0,2 \times 1,588)}{27081 \times 140285558} \times 10^6 \\ &= 4,244 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan seketika akibat LL (δ_{LL})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

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

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

$$\text{Cek} = \delta_{LL} < \frac{L}{360} = 4,244 < 22,222 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan pelat (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times d} = \frac{529,599}{1000 \times 90} = 0,00588$$

- Faktor jangka panjang (λ)

$$\lambda = \frac{2}{1 + 50 \times \rho} = \frac{2}{1 + 50 \times 0,00588} = 1,549$$

- Lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

$$\begin{aligned}\delta_{LT} &= \lambda \times (\delta_{DL} + \delta_{SIDL}) + \delta_{LL} \\ &= 1,549 \times (10,381 + 7,268) + 4,244 \\ &= 31,589 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Syarat lendutan jangka panjang (δ_{LT})

(SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2)

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

- Cek lendutan jangka panjang (δ_{LT})

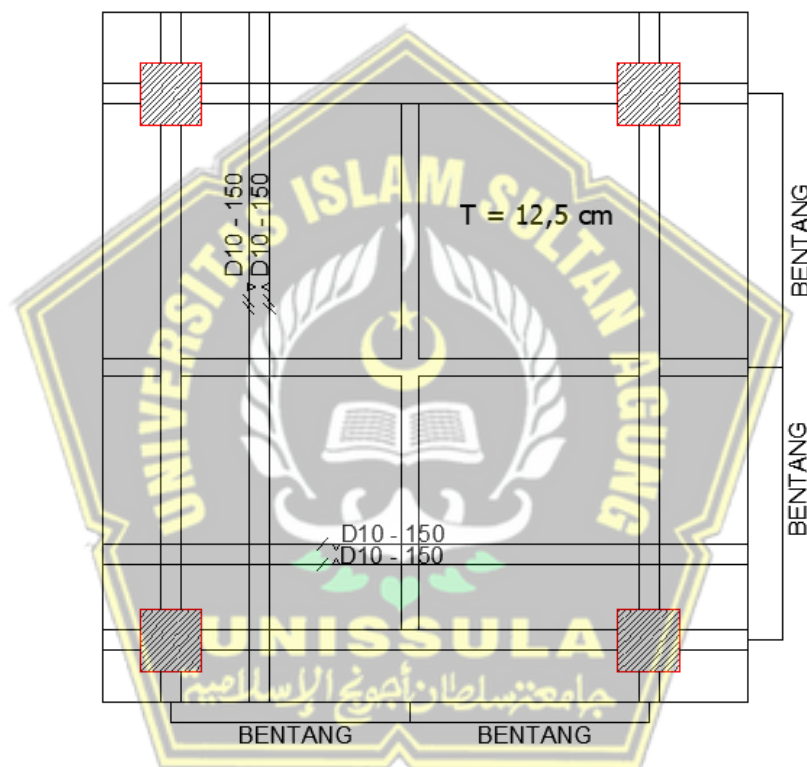
$$\text{Cek} = \delta_{LT} < \frac{L}{240} = 31,589 < 33,333 \rightarrow \text{OK}$$

4.6.1.6. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

Rekapitulasi hasil tulangan pelat dan gambar penulangan pelat beton pada perancangan ditunjukkan oleh Tabel 4.63 dan Gambar 4.23.

Tabel 4. 63. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

Pelat	L_x (m)	L_y (m)	Arah	Tumpuan		Lapangan	
				Atas	Bawah	Atas	Bawah
S1	5	4	X	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150
			Y	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150
S2	5	4	X	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150
			Y	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150



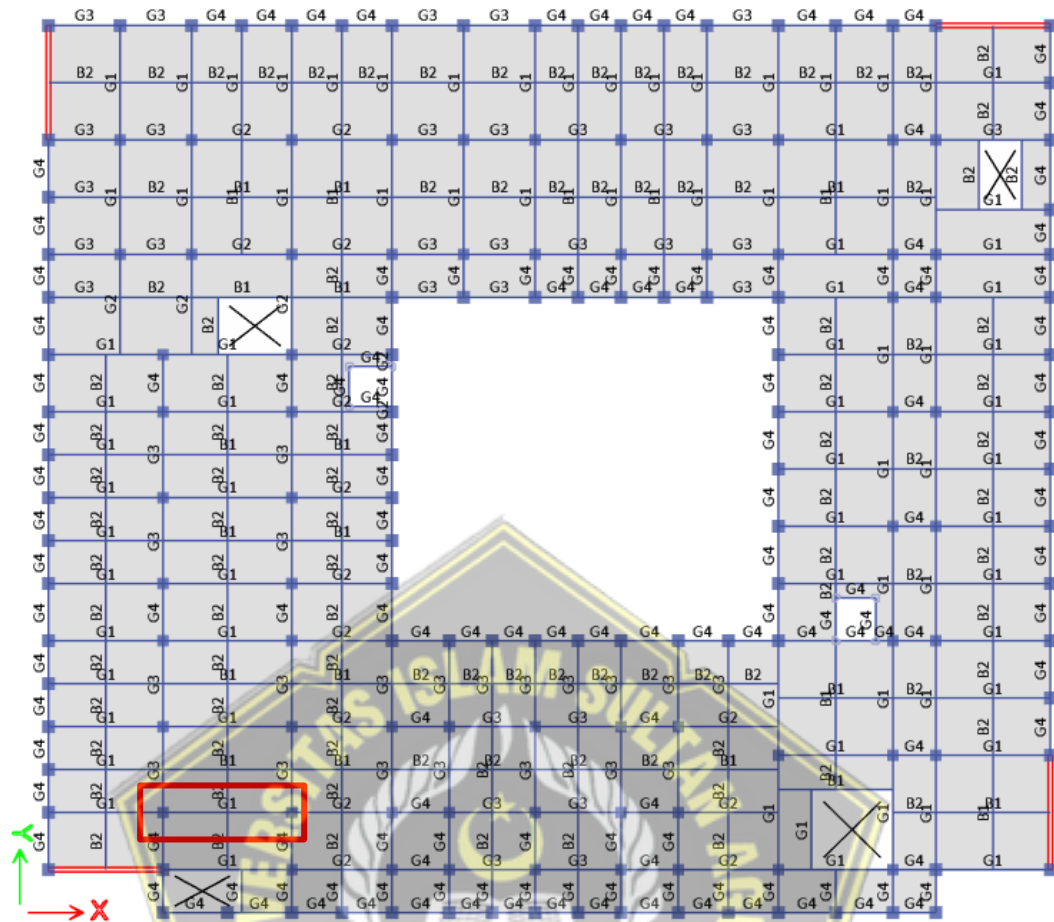
Gambar 4. 23. Penulangan Pelat

4.6.2. Perancangan Balok

Perhitungan tulangan lentur balok, tulangan geser, dan perhitungan torsi balok dilakukan secara konvensional sebagai bagian dari analisis kapasitas perancangan balok berdasarkan SRPMK untuk menentukan jumlah beban yang diperlukan.

4.6.2.1. Properti Material dan Penampang

Tipe balok yang hendak digunakan untuk contoh perhitungan yakni balok G1 pada tingkat kelima yang ditunjukkan Gambar 4.24.



Gambar 4. 24. Denah Balok G1 Sampel

- Panjang balok (L) = 8000 mm
- Lebar balok (b) = 350 mm
- Tinggi balok (h) = 700 mm
- Panjang tumpuan = $2 \times h = 2 \times 700 = 1400$ mm
- Diamater tulangan longitudinal (d_b) = 22 mm
- Diamater tulangan pinggang (d_{bt}) = 16 mm
- Diamater 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') = 33,2 MPa
- Kuat leleh tulangan longitudinal (f_y) = 420 MPa

Kuat leleh tulangan transversal (f_y) = 420 MPa

$$\begin{aligned}\text{Faktor distribusi tegangan } (\beta_1) &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(f_c' - 28)}{7} \\ &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(33,2 - 28)}{7} \\ &= 0,8129\end{aligned}$$

Panjang Kolom (c_1) = 700 mm

Lebar Kolom (c_2) = 700 mm

Panjang bersih balok (L_n) = $L - c_1 = 8000 - 700 = 7300$ mm

Faktor modifikasi (λ) = 1 (beton normal)

4.6.2.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok

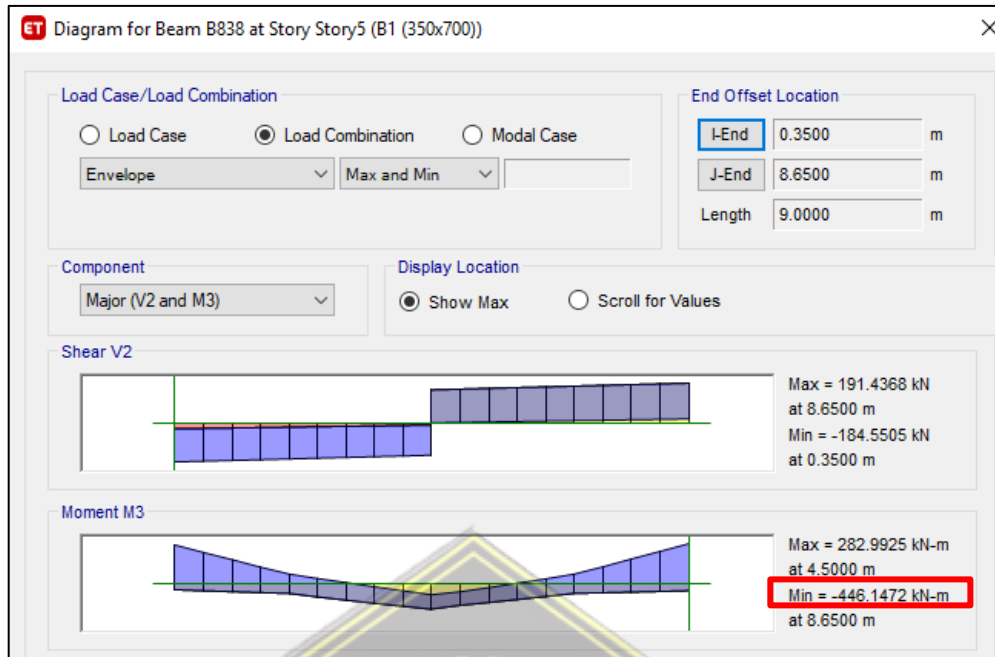
Tahapan-tahapan dalam menghitung tulangan longitudinal balok yang dilakukan, antara lain:

1. Gaya Dalam

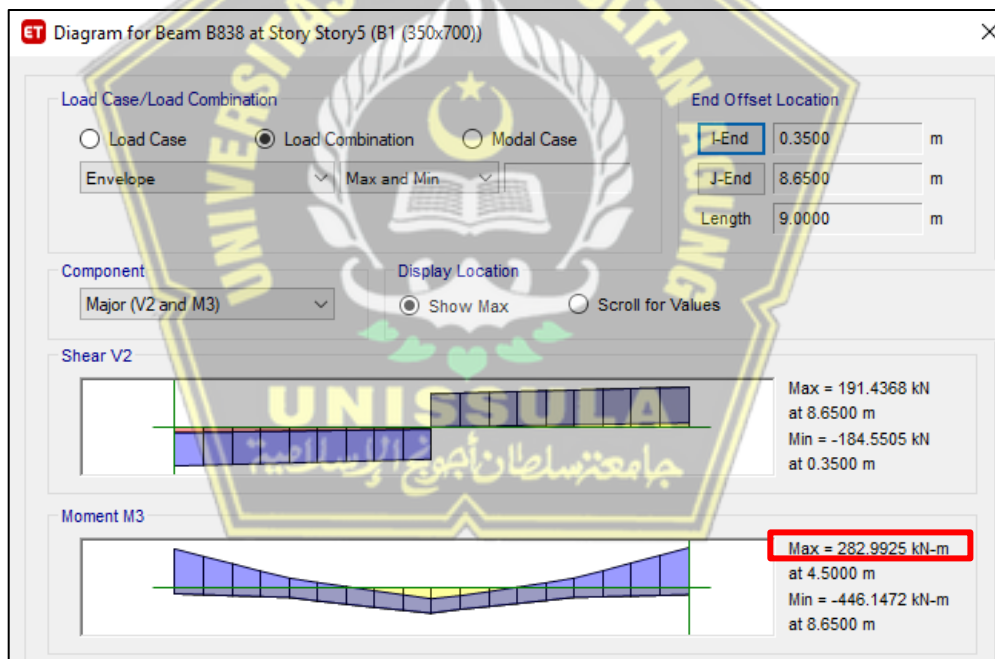
Gaya dalam berupa momen ultimit lapangan dan tumpuan terhadap balok G1 diperoleh dengan ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan longitudinal balok sebagai berikut:

- M_u tumpuan (-) = -446,147 kN-m
- M_u tumpuan (+) = 100,924 kN-m
- M_u lapangan (-) = -106,202 kN-m
- M_u lapangan (+) = 282,993 kN-m
- P_u = 0 kN

Tampilan momen ultimit lapangan dan tumpuan terhadap balok G1 diperoleh dengan ETABS ditunjukkan oleh Gambar 4.25 dan Gambar 4.26.



Gambar 4. 25. Momen Ultimit Balok G1 Tumpuan



Gambar 4. 26. Momen Ultimit Balok G1 Lapangan

2. Syarat Gaya dan Geometri

a) Syarat Gaya Aksial

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

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= P_u \leq f_c' \times 0,1 A_g \\
 &= 0 \leq 33,2 \times 0,1 \times 350 \times 700 \\
 &= 0 \leq 813400 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

b) Syarat Tinggi Efektif

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= L_n \geq 4 d \\ &= 7300 \geq 4 \times 649 \\ &= 7300 \geq 2596 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

c) Syarat Lebar 1

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

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

d) Syarat Lebar 2

(SNI 2847:2019 pada Pasal 18.6.2.1)

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= b \leq 2 \times \text{minimal } (c_2 \text{ atau } 0,75 c_1) + c_2 \rightarrow \text{ambil terkecil} \\ &= 350 \leq 2 \times \text{minimal } (700 \text{ atau } 0,75 \times 700) + 700 \\ &= 350 \leq 2 \times \text{minimal } (700 \text{ atau } 525) + 700 \\ &= 350 \leq 2 \times 525 + 700 \\ &= 350 \leq 1750 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$

3. Tulangan Tumpuan Atas

- Jumlah tulangan tumpuan atas (n)

$$n = 6$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

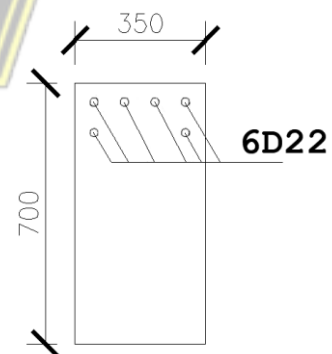
$$d_b = 22 \text{ mm}$$

- Jarak bersih antar tulangan

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih} &= \frac{b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b}{n - 1} \\ &= \frac{350 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 6 \times 22}{6 - 1} \\ &= 27,600 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Cek jarak bersih

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= \text{Jarak Bersih} \geq \text{maksimal } (d_b \text{ dan } 25 \text{ mm}) \\ &= 27,600 \geq \text{maksimal } (22 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar} \\ &= 27,600 \geq 25 \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$



- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \pi \times d_b^2 \times \frac{1}{4} \times n \\ &= 3,14 \times 22^2 \times \frac{1}{4} \times 6 \\ &= 2280,796 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (A_s min)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \times d \times b \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{33,2}}{420} \times 649 \times 350 \\ &= 779,063 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times d \times b \\ &= \frac{1,4}{420} \times 649 \times 350 \\ &= 757,167 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \text{maksimum} (A_{s \text{ min } 1} \text{ atau } A_{s \text{ min } 2}) \\ &= 779,063 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_s \text{ pasang} \geq A_{s \text{ min}} \\ &= 2280,796 \geq 779,063 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times d} = \frac{2280,796}{350 \times 649} = 0,010$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max } 1} &= 0,85 \times 0,75 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,85 \times 0,75 \times 0,8129 \times \frac{33,2}{420} \times \frac{600}{600+420} \\ &= 0,02409 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max } 2} = 0,025 \text{ (Pasal 18.6.3.1)}$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\text{max}} \\ &= 0,010 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 2280,796 \times \frac{420}{0,85 \times 33,2 \times 350} \\ &= 96,986 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= \left(d - \frac{a}{2}\right) \times f_y \times A_s \times 10^{-6} \\ &= \left(649 - \frac{96,986}{2}\right) \times 420 \times 2280,796 \times 10^{-6} \\ &= 575,246 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{96,986}{0,8129} \\ &= 119,315 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Regangan tulangan tarik (ϵ_t)

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(649-119,315)}{119,315} \times 0,003 \\ &= 0,013 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \epsilon_t \geq 0,005 = 0,013 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 575,246 \\ &= 517,722 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{u \text{ tumpuan}} (-)| \\ &= |-446,147| \\ &= 446,147 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :
 Syarat $= \phi M_n > M_u$
 $= 517,722 > 446,147 \rightarrow \text{OK}$

- Luas tulangan diperlukan (A_s perlu)

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

$$= \frac{446,147}{420 \times (649 - \frac{96,986}{2})} \times 10^6$$

$$= 1768,931 \text{ mm}^2$$

4. Tulangan Tumpuan Bawah

- Jumlah tulangan tumpuan bawah (n)

$$n = 3$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

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

$$= \frac{350 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 3 \times 22}{3 - 1}$$

$$= 102 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

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

$$= 102 \geq \text{maksimal} (22 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar}$$

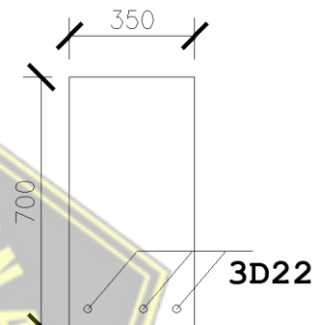
$$= 102 \geq 25 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

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

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

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



- Minimal luas tulangan ($A_{s \text{ min}}$)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.1.2 dan 18.6.3.2)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \times d \times b \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{33,2}}{420} \times 649 \times 350 \\ &= 779,063 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times d \times b \\ &= \frac{1,4}{420} \times 649 \times 350 \\ &= 757,167 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 3} &= 1/2 \times A_{s \text{ tumpuan (-)}} \\ &= 1/2 \times 2280,796 \\ &= 1140,398 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \text{maksimum } (A_{s \text{ min } 1} ; A_{s \text{ min } 2} ; \text{ atau } A_{s \text{ min } 3}) \\ &= 1140,398 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}} \\ &= 1140,398 \geq 1140,398 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{1140,398}{350 \times 649} = 0,005$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max } 1} &= 0,85 \times 0,75 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,85 \times 0,75 \times 0,8129 \times \frac{33,2}{420} \times \frac{600}{600+420} \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\text{max}} \\ &= 0,005 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 1140,398 \times \frac{420}{0,85 \times 33,2 \times 350} \\ &= 48,493 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= \left(d - \frac{a}{2}\right) \times f_y \times A_s \times 10^{-6} \\ &= \left(649 - \frac{48,493}{2}\right) \times 420 \times 1140,398 \times 10^{-6} \\ &= 299,236 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{48,493}{0,8129} = 59,658 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(649-59,658)}{59,658} \times 0,003 \\ &= 0,030 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

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

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 299,236 \\ &= 269,313 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{u \text{ tumpuan (+)}}| \\ &= |100,924| \\ &= 100,924 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :
 Syarat $= \phi M_n > M_u$
 $= 269,313 > 100,924 \rightarrow \text{OK}$

- Luas tulangan diperlukan (A_s perlu)

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

$$= \frac{100,924}{420 \times (649 - \frac{48,493}{2})} \times 10^6$$

$$= 384,624 \text{ mm}^2$$

5. Tulangan Lapangan Atas

- Jumlah tulangan lapangan atas (n)

$$n = 3$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

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

$$= \frac{350 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 3 \times 22}{3 - 1}$$

$$= 102 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

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

$$= 102 \geq \text{maksimal} (22 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar}$$

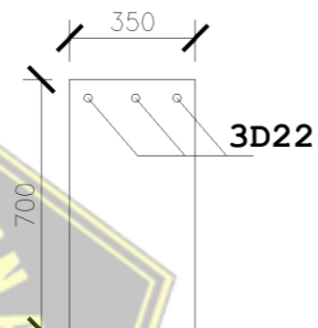
$$= 102 \geq 25 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

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

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

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



- Minimal luas tulangan ($A_s \text{ min}$)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \times d \times b \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{33,2}}{420} \times 649 \times 350 \\ &= 779,063 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times d \times b \\ &= \frac{1,4}{420} \times 649 \times 350 \\ &= 757,167 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 3} &= 0,25 \times A_s \text{ tumpuan (-)} \\ &= 0,25 \times 2280,796 \\ &= 570,199 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \text{maksimum } (A_{s \text{ min } 1} ; A_{s \text{ min } 2} ; \text{ atau } A_{s \text{ min } 3}) \\ &= 779,063 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek $A_s \text{ min}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ min} \\ &= 1140,398 \geq 779,063 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_s \text{ pasang}}{b \times d} = \frac{1140,398}{350 \times 649} = 0,005$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\begin{aligned} \rho_{\text{max } 1} &= 0,85 \times 0,75 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,85 \times 0,75 \times 0,8129 \times \frac{33,2}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0,024 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max } 2} = 0,025 \text{ (Pasal 18.6.3.1)}$$

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

- Cek $A_s \text{ max}$:

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\text{max}} \\ &= 0,005 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 1140,398 \times \frac{420}{0,85 \times 33,2 \times 350} \\ &= 48,493 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= \left(d - \frac{a}{2}\right) \times f_y \times A_s \times 10^{-6} \\ &= \left(649 - \frac{48,493}{2}\right) \times 420 \times 1140,398 \times 10^{-6} \\ &= 299,236 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{48,493}{0,8129} = 59,658 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(649-59,658)}{59,658} \times 0,003 \\ &= 0,030 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.1.2 dan 22.2.2.1)

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

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 299,236 \\ &= 269,313 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{u \text{ lapangan}} (-)| \\ &= |-106,202| \\ &= 106,202 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :
 Syarat $= \phi M_n > M_u$
 $= 269,313 > 106,202 \rightarrow \text{OK}$

- Luas tulangan diperlukan (A_s perlu)

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

$$= \frac{106,202}{420 \times (649 - \frac{48,493}{2})} \times 10^6$$

$$= 404,739 \text{ mm}^2$$

6. Tulangan Lapangan Bawah

- Jumlah tulangan lapangan bawah (n)

$$n = 4$$

- Diameter tulangan longitudinal (d_b)

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

- Jarak bersih antar tulangan

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

$$= \frac{350 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 4 \times 22}{4 - 1}$$

$$= 60,667 \text{ mm}$$

- Cek jarak bersih

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

$$= 60,667 \geq \text{maksimal } (22 \text{ dan } 25) \rightarrow \text{ambil nilai terbesar}$$

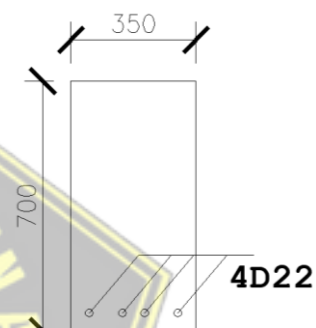
$$= 60,667 \geq 25 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan yang dipasang (A_s pasang)

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

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

$$= 1520,531 \text{ mm}^2$$



- Minimal luas tulangan ($A_{s \text{ min}}$)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \times d \times b \\
 &= \frac{0,25 \times \sqrt{33,2}}{420} \times 649 \times 350 \\
 &= 779,063 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times d \times b \\
 &= \frac{1,4}{420} \times 649 \times 350 \\
 &= 757,167 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 3} &= 0,25 \times A_{s \text{ tumpuan (-)}} \\
 &= 0,25 \times 2280,796 \\
 &= 570,199 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \text{maksimum } (A_{s \text{ min } 1} ; A_{s \text{ min } 2} ; \text{ atau } A_{s \text{ min } 3}) \\
 &= 779,063 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ min}} \\
 &= 1520,531 \geq 779,063 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times d} = \frac{1520,531}{350 \times 649} = 0,006$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max})

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max } 1} &= 0,85 \times 0,75 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,85 \times 0,75 \times 0,8129 \times \frac{33,2}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\
 &= 0,024
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max } 2} = 0,025 \text{ (Pasal 18.6.3.1)}$$

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

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

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= \rho \leq \rho_{\text{max}} \\
 &= 0,006 \leq 0,025 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Tinggi blok beton (a)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} a &= A_s \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= 1520,531 \times \frac{420}{0,85 \times 33,2 \times 350} \\ &= 64,658 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kapasitas lentur (M_n)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$\begin{aligned} M_n &= \left(d - \frac{a}{2}\right) \times f_y \times A_s \times 10^{-6} \\ &= \left(649 - \frac{64,658}{2}\right) \times 420 \times 1520,531 \times 10^{-6} \\ &= 393,820 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Lokasi garis netral (c)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.2.2.4.1)

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{64,658}{0,8129} = 79,544 \text{ mm}$$

- Regangan tulangan tarik (ε_t)

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{(d-c)}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(649-79,544)}{79,544} \times 0,003 \\ &= 0,021 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi (ϕ)

$$\phi = 0,90 \text{ (karena } \varepsilon_t \geq 0,005 = 0,021 \geq 0,005)$$

- Kapasitas lentur tereduksi (ϕM_n)

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,90 \times 393,820 \\ &= 354,438 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Momen ultimit (M_u)

$$\begin{aligned} M_u &= |M_{u \text{ lapangan (+)}}| \\ &= |282,993| \\ &= 282,993 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \phi M_n > M_u \\ &= 354,438 > 282,993 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan diperlukan (A_s perlu)

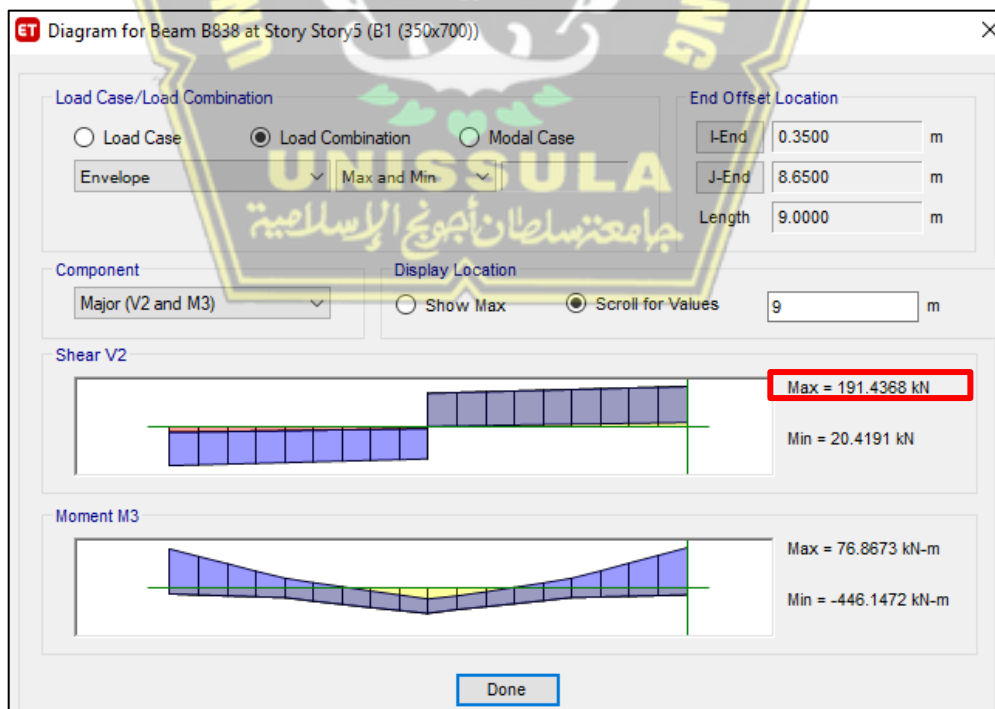
$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \frac{M_u}{f_y \times (d - \frac{a}{2})} \times 10^6 \\ &= \frac{282,993}{420 \times (649 - \frac{64,658}{2})} \times 10^6 \\ &= 1092,627 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.6.2.3. Perhitungan Tulangan Transversal Balok

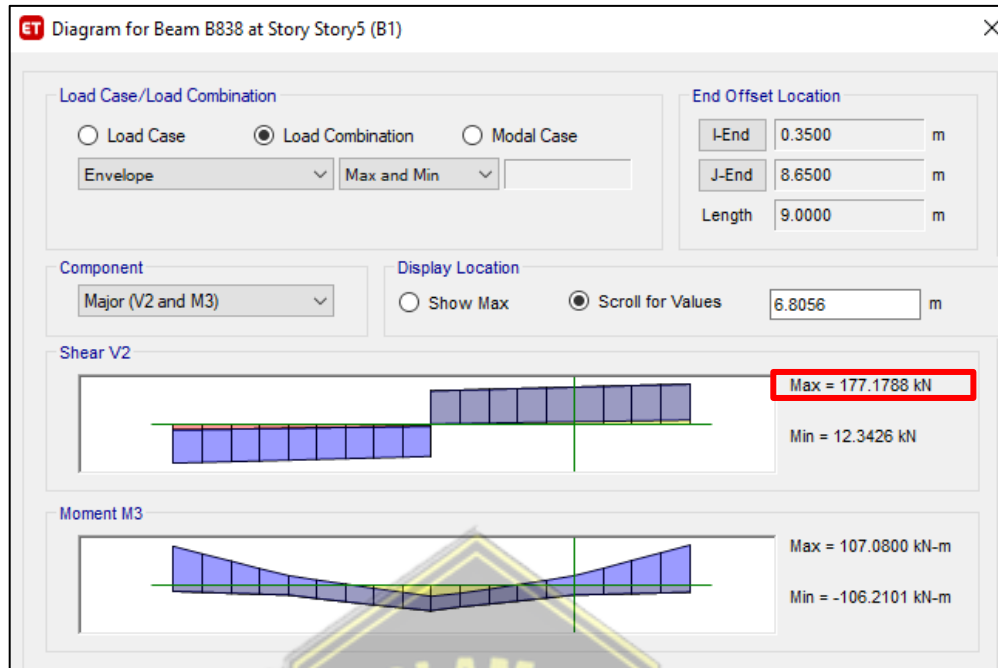
Tulangan transversal pada balok merupakan tulangan yang berguna untuk menahan gaya geser ultimit yang diterima balok. Tahapan-tahapan perhitungan tulangan transversal balok yang dilakukan, antara lain:

1. Gaya Dalam

Gaya dalam meliputi gaya geser ultimit tumpuan dan lapangan pada balok G1. Tampilan gaya geser ultimit tumpuan dan lapangan pada balok G1 diperoleh dengan ETABS tercantum pada Gambar 4.27 dan Gambar 4.28.



Gambar 4. 27. Gaya Geser Ultimit Tumpuan Balok G1



Gambar 4. 28. Gaya Geser Ultimit Lapangan Balok G1

Gaya dalam meliputi gaya geser ultimit lapangan dan tumpuan terhadap balok G1 diperoleh dengan ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan transversal balok sebagai berikut:

- V_u tumpuan = 191,437 kN
- V_u lapangan = 177,178 kN

2. Tulangan Transversal Tumpuan

a) Gaya Desain

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

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

$$V_g \text{ tumpuan} = 129,067 \text{ kN}$$

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

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

$$A_s^- \text{ tumpuan} = 2280,796 \text{ mm}^2$$

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

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

$$= 1,25 \times 48,493$$

$$= 60,616 \text{ mm}^2$$

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

$$= 1,25 \times 96,986$$

$$= 121,233 \text{ mm}^2$$

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

$$= 1140,398 \times (649 - \frac{60,616}{2}) \times 1,25 \times 420$$

$$= 370416336 \text{ Nmm}$$

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

$$= 2280,796 \times (649 - \frac{121,233}{2}) \times 1,25 \times 420$$

$$= 704541036 \text{ Nmm}$$

- Gaya Geser Akibat Goyangan (V_{sway})

Gaya geser akibat goyangan diperhitungkan dengan rumus berikut:

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

$$= \frac{370416336 + 704541036}{8300}$$

$$= 129513 \text{ N}$$

- Gaya Geser Desain Akibat Goyangan (V_e)

Gaya desain geser akibat goyangan diperhitungkan oleh rumus berikut:

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

$$= 129,067 \times 10^3 + 129513$$

$$= 258580 \text{ N}$$

b) Tahanan Geser Beton

- Gaya Geser Akibat Goyangan (V_{sway})

$$V_{sway} \text{ atau } V_{pr} = 129513 \text{ N}$$

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

$$\frac{1}{2} V_e = \frac{1}{2} \times 258580 = 129290 \text{ N}$$

- Gaya Aksial Terfaktor (P_u)

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

- Menghitung $A_g f_c' / 20$:

$$\frac{A_g f_c'}{20} = \frac{350 \times 700 \times 33,2}{20} = 406700 \text{ N}$$

- Kekuatan Nominal Geser Beton (V_c)

$$\text{Syarat} = V_c = 0, \text{ bila } \frac{1}{2} V_e \leq V_{pr} \text{ dan } \frac{A_g f_c'}{20} > P_u$$

$$\frac{1}{2} V_e \leq V_{pr} = 129290 \leq 129513 \rightarrow \text{OK}$$

$$\frac{A_g f_c'}{20} > P_u = 406700 > 0 \rightarrow \text{OK}$$

$$V_c = 0$$

c) Penulangan Geser

- Jumlah kaki (n)

$$n = 3$$

- Luas tulangan geser (A_v)

$$\begin{aligned} A_v &= \pi \times n \times d_s^2 \times \frac{1}{4} \\ &= 3,14 \times 4 \times 10^2 \times \frac{1}{4} \\ &= 235,619 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Spasi tulangan (s)

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

- Spasi maksimum (s_{\max})

$$s_{\max 1} = \frac{1}{4} \times d = 649 / 4 = 162,25 \text{ mm}$$

$$s_{\max 2} = 6 d_b = 22 \times 6 = 132 \text{ mm}$$

$$s_{\max 3} = 150 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = \text{minimal} (s_{\max 1} ; s_{\max 2} ; \text{atau } s_{\max 3})$$

$$= 132 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 100 < 132 \rightarrow \text{OK}$$

- Kekuatan nominal geser akibat penulangan geser (V_s)

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\
 &= \frac{235,619 \times 420 \times 649}{100} \\
 &= 642251 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Batas kekuatan nominal geser akibat penulangan geser (V_s) :

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= d \times b \times \sqrt{f_c'} \times 0,66 \\
 &= 649 \times 350 \times \sqrt{33,2} \times 0,66 \\
 &= 863825 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat geser (ϕ)

$$\phi = 0,75$$

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 0 + 642251 \\
 &= 642251 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \phi \times V_n \\
 &= 0,75 \times 642251 \\
 &= 481689 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned}
 V_u &= V_{u \text{ tumpuan}} \times 10^3 \\
 &= 191,437 \times 10^3 \\
 &= 191437 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Cek kapasitas :

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat} &= \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1 \\
 &= \frac{481689}{191437} \geq 1 \\
 &= 2,516 \geq 1 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

3. Tulangan Transversal Lapangan

a) Gaya Dalam

$$V_u \text{ lapangan} = 177,178 \text{ kN}$$

b) Penulangan Geser

- Jumlah kaki (n)

$$n = 2$$

- Luas tulangan geser (A_v)

$$\begin{aligned} A_v &= \pi \times n \times d_s^2 \times \frac{1}{4} \\ &= 3,14 \times 2 \times 10^2 \times \frac{1}{4} \\ &= 157,080 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Spasi tulangan (s)

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

- Spasi maksimum (s_{\max})

$$s_{\max} = \frac{1}{2} \times d = 649 / 2 = 324,50 \text{ mm}$$

- Cek spasi :

$$s < s_{\max} = 150 < 324,50 \rightarrow \text{OK}$$

- Kekuatan nominal geser akibat penulangan geser (V_s)

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{157,080 \times 420 \times 649}{150} \\ &= 285445 \text{ N} \end{aligned}$$

- Batas kuat geser nominal akibat penulangan geser (V_s) :

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= d \times 0,66 \times b \times \sqrt{f_c'} \\ &= 649 \times 0,66 \times 350 \times \sqrt{33,2} \\ &= 863825 \text{ N} \end{aligned}$$

- Kuat geser nominal beton (V_c)

$$\begin{aligned} V_c &= d \times 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \\ &= 649 \times 0,17 \times \sqrt{33,2} \times 350 \\ &= 222500 \text{ N} \end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat geser (ϕ)

$$\phi = 0,75$$
- Kuat geser nominal (V_n)

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 222500 + 285445$$

$$= 507945 \text{ N}$$
- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\phi V_n = \phi \times V_n$$

$$= 0,75 \times 507945$$

$$= 380959 \text{ N}$$
- Gaya geser ultimit (V_u)

$$V_u = V_{u \text{ lapangan}} \times 10^3$$

$$= 177,178 \times 10^3$$

$$= 177178 \text{ N}$$
- Cek kapasitas :
 Syarat
$$= \frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1$$

$$= \frac{380959}{177178} \geq 1$$

$$= 2,150 \geq 1 \rightarrow \text{OK}$$

4.6.2.4. Perhitungan Tulangan Torsi Balok

Tulangan torsi pada balok yakni tulangan dimana 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 luar keliling bidang beton (A_{cp})

$$A_{cp} = h \times b = 700 \times 350 = 245000 \text{ mm}^2$$
- Keliling luar penampang beton (p_{cp})

$$p_{cp} = (h + b) \times 2$$

$$= (700 + 350) \times 2$$

$$= 2100 \text{ mm}$$

- $x_0 = b - d_s - 2c_c$
 $= 350 - 10 - 2 \times 30$
 $= 280 \text{ mm}$

- $y_0 = h - d_s - 2c_c$
 $= 700 - 10 - 2 \times 30$
 $= 630 \text{ mm}$

- Luas lingkup garis pusat tulangan torsi (A_{oh})
(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R22.7.6.1.1)

$$A_{oh} = x_0 \times y_0$$

$$= 280 \times 630$$

$$= 176400 \text{ mm}^2$$

- Luas bruto lingkup lintasan alir geser (A_o)

$$A_o = A_{oh} \times 0,85$$

$$= 176400 \times 0,85$$

$$= 149940 \text{ mm}^2$$

- Keliling garis pusat tul. torsi (p_h)

$$p_h = 2 \times (x_0 + y_0)$$

$$= 2 \times (280 + 630)$$

$$= 1820 \text{ mm}$$

- Kekuatan tulangan leleh (f_y)

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

- Kekuatan tul. torsi leleh (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)

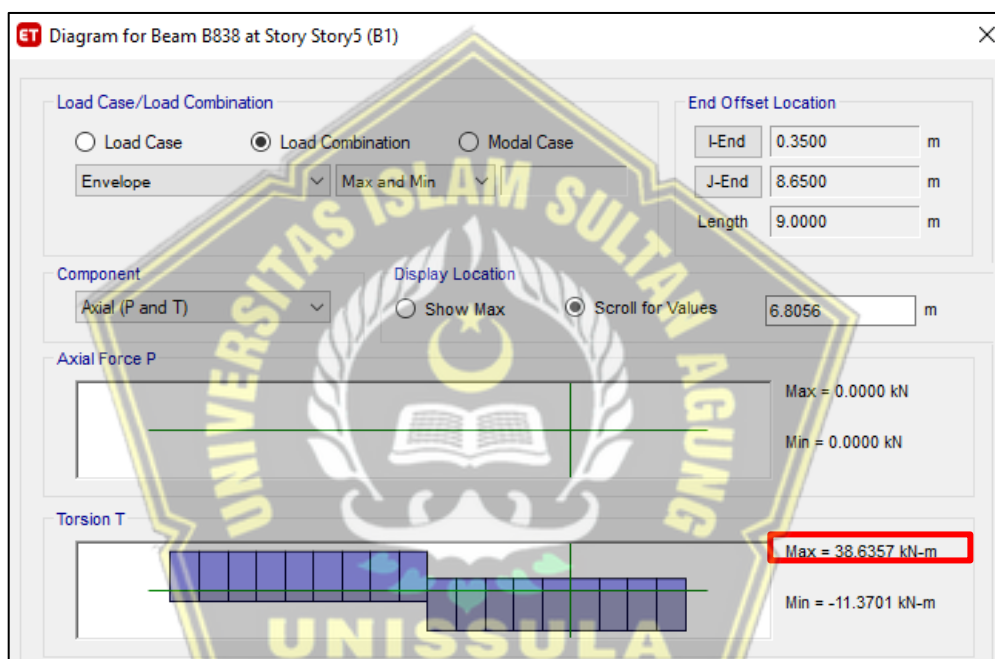
$$\theta = 45^\circ \text{ (non prategang)}$$

2. Gaya Dalam

Gaya dalam berupa gaya torsi terhadap balok G1 diperoleh dengan ETABS yang digunakan untuk mendesain tulangan torsi balok sebagai berikut:

$$\begin{aligned}T_u &= 38,6357 \text{ kN-m} \\ &= 38,6357 \times 10^6 \\ &= 38635700 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

Tampilan gaya torsi pada balok G1 diperoleh dengan ETABS ditunjukkan oleh Gambar 4.29.



Gambar 4. 29. Gaya Torsi Balok G1

3. Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

- Momen retak torsi (T_{cr})

$$\begin{aligned}T_{cr} &= 0,33 \times \sqrt{f_c} \times \frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \\ &= 0,33 \times \sqrt{33,2} \times \frac{245000^2}{2100} \\ &= 54349538 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Faktor reduksi kuat torsi (ϕ)

(SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.1)

$$\phi = 0,75$$

- Kapasitas torsi tereduksi (ϕT_{cr})

$$\begin{aligned}\phi T_{cr} &= T_{cr} \times \phi \\ &= 54349538 \times 0,75 \\ &= 40762153 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Cek perlu tul. torsi :

$$\begin{aligned}\text{Syarat} &= T_u > \frac{1}{4} \phi T_{cr} \\ &= 38635700 > \frac{1}{4} \times 40762153 \\ &= 38635700 > 10190538 \rightarrow \text{Perlu}\end{aligned}$$

4. Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang

- Momen torsi ultimit yang dipakai ($T_{u \text{ pakai}}$)

$$\begin{aligned}T_{u \text{ pakai}} &= \text{minimal} (\phi T_{cr} \text{ atau } T_u) \\ &= \text{minimal} (40762153 \text{ atau } 38635700) \\ &= 38635700 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

- Gaya geser ultimit (V_u)

$$\begin{aligned}V_u &= V_{u \text{ tumpuan}} \times 10^3 \\ &= 191,437 \times 10^3 \\ &= 191437 \text{ N}\end{aligned}$$

- Kekuatan nominal geser beton (V_c)

$$\begin{aligned}V_c &= d \times 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \\ &= 649 \times 0,17 \times \sqrt{33,2} \times 350 \\ &= 222500 \text{ N}\end{aligned}$$

- Tegangan ultimit geser + torsi

$$\begin{aligned}\text{Tegangan ultimit geser + torsi} &= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times p_h}{1,7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{191437}{350 \times 649}\right)^2 + \left(\frac{38635700 \times 1820}{1,7 \times 176400^2}\right)^2} \\ &= 1,574 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Kapasitas tegangan beton

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas tegangan beton} &= \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f_c'} \right) \\ &= \phi \times \left(\frac{222500}{350 \times 649} + 0,66 \times \sqrt{33,2} \right) \\ &= 3,587 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Cek dimensi penampang :

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \times p_h}{1,7 \times A_{oh}^2} \right)^2} &\leq \phi \times \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f_c'} \right) \\ 1,574 &\leq 3,587 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

5. Penulangan Transversal Torsi

- Jumlah kaki (n)

$$n_{\text{tumpuan}} = 3$$

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

- Spasi tulangan (s)

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

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

- Spasi maksimum (s_{max})

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.7.6.3.3)

$$s_{\text{max 1}} = \frac{1}{8} \times p_h = \frac{1}{8} \times 1820 = 228 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} s_{\text{max}} &= \text{minimal } (s_{\text{max 1}} \text{ atau } s_{\text{max 2}}) \\ &= 228 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek spasi :

$$s_{\text{tumpuan}} < s_{\text{max}} = 100 < 228 \rightarrow \text{OK}$$

$$s_{\text{lapangan}} < s_{\text{max}} = 150 < 228 \rightarrow \text{OK}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t})

$$\begin{aligned} A_{v+t \text{ tumpuan}} &= \pi \times d_s^2 \times n_{\text{tumpuan}} \times \frac{1}{4} \\ &= 3,14 \times 10^2 \times 3 \times \frac{1}{4} \\ &= 235,619 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} \text{ lapangan} &= \pi \times n \text{ lapangan} \times d_s^2 \times \frac{1}{4} \\
 &= 3,14 \times 2 \times 10^2 \times \frac{1}{4} \\
 &= 157,079 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi pasang (s_{pasang})

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s \text{ tumpuan pasang} &= \frac{A_{v+t} \text{ tumpuan}}{s_{\text{tumpuan pasang}}} \\
 &= \frac{235,619}{100} \\
 &= 2,356 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s \text{ lapangan pasang} &= \frac{A_{v+t} \text{ lapangan}}{s_{\text{lapangan pasang}}} \\
 &= \frac{157,079}{150} \\
 &= 1,047 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

- Luas satu kaki sengkang penahan torsi (A_t) / spasi (s)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned}
 A_t / s &= \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_{yt}} \\
 &= \frac{38635700}{2 \times 0,75 \times 149940 \times 420} \\
 &= 0,409 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser (A_v) / spasi perlu (s_{perlu})

$$\begin{aligned}
 A_v / s \text{ tumpuan perlu} &= \left(\frac{V_u \text{ tumpuan}}{\phi} - V_c \text{ tumpuan} \right) / (f_y \times d) \\
 &= \left(\frac{191437}{0,75} - 0 \right) / (420 \times 649) \\
 &= 0,936 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v / s \text{ lapangan perlu} &= \left(\frac{V_u \text{ lapangan}}{\phi} - V_c \text{ lapangan} \right) / (f_y \times d) \\
 &= \left(\frac{177178}{0,75} - 222500 \right) / (420 \times 649) \\
 &= 0,050 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi perlu (s_{perlu})
(SNI 2847:2019 pada Penjelasan Pasal R9.5.4.3)

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s \text{ tumpuan perlu} &= (A_t / s) \times 2 + (A_v / s \text{ tumpuan perlu}) \\
 &= 0,409 \times 2 + 0,936 \\
 &= 1,754 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s_{\text{lapangan perlu}} &= (A_t / s) \times 2 + (A_v / s_{\text{lapangan perlu}}) \\
 &= 0,409 \times 2 + 0,050 \\
 &= 0,868 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan geser + torsi (A_{v+t}) / spasi minimum (s_{min}) (SNI 2847:2019 pada Pasal 9.6.4.2)

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s_{\text{min 1}} &= 0,062 \times \sqrt{f_c} \times \frac{b}{f_y} \\
 &= 0,062 \times \sqrt{33,2} \times \frac{350}{420} \\
 &= 0,298 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s_{\text{min 2}} &= 0,35 \times \frac{b}{f_y} \\
 &= 0,35 \times \frac{350}{420} \\
 &= 0,292 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s_{\text{min}} &= \text{maksimum } (A_{v+t} / s_{\text{min 1}} \text{ atau } A_{v+t} / s_{\text{min 2}}) \\
 &= 0,298 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

- Cek geser + torsi :

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s_{\text{tumpuan pasang}} &\geq \text{maksimum } (A_{v+t} / s_{\text{perlu}} \text{ atau } A_{v+t} / s_{\text{min}}) \\
 2,356 &\geq \text{maksimum } (1,754 \text{ atau } 0,298) \\
 2,356 &\geq 1,754 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v+t} / s_{\text{lapangan pasang}} &\geq \text{maksimum } (A_{v+t} / s_{\text{perlu}} \text{ atau } A_{v+t} / s_{\text{min}}) \\
 1,047 &\geq \text{maksimum } (0,868 \text{ atau } 0,298) \\
 1,047 &\geq 0,868 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

6. Penulangan Longitudinal Torsi

- Diameter tulangan pinggang (d_b)

$$d_b = 16 \text{ mm}$$

- Diameter tulangan pinggang minimum ($d_{b \text{ min}}$)

(SNI 2847:2019 pada Pasal 9.7.5.2)

$$\begin{aligned}
 d_{b \text{ min}} &= s \times 0,042 \\
 &= \text{maksimum } (s_{\text{tumpuan}} \text{ atau } s_{\text{lapangan}}) \times 0,042 \\
 &= 150 \times 0,042 \\
 &= 6,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek d_b :

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= d_b \geq d_{b \text{ min}} \\ &= 16 \geq 6,3 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

- Luas tulangan diperlukan (A_s perlu)

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu atas tumpuan} &= 1768,931 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ perlu bawah tumpuan} &= 384,624 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ perlu atas lapangan} &= 404,739 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ perlu bawah lapangan} &= 1092,627 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi (A_t)
(SNI 2847:2019 pada Pasal 22.7.6.1)

$$\begin{aligned} A_t &= (A_t / s) \times p_h \\ &= 0,409 \times 1820 \\ &= 744,393 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tul. longitudinal minimal torsi ($A_{t \text{ min}}$)

$$\begin{aligned} A_{t \text{ min}} &= 0,42 \times \sqrt{f_c} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) \times p_h \\ &= 0,42 \times \sqrt{33,2} \times \frac{245000}{420} - 0,409 \times 1820 \\ &= 667,284 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal (A_s)

$$\begin{aligned} A_s &= \text{maksimum } (A_t \text{ atau } A_{t \text{ min}}) \\ &= \text{maksimum } (744,393 \text{ atau } 667,284) \\ &= 744,393 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi perlu ($A_{t \text{ perlu}}$)

$$\begin{aligned} A_{t \text{ perlu tumpuan}} &= A_s \text{ perlu tumpuan bawah} + A_s \text{ perlu tumpuan atas} \\ &= 384,624 + 1768,931 \\ &= 2153,555 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{t \text{ perlu lapangan}} &= A_s \text{ perlu lapangan bawah} + A_s \text{ perlu lapangan atas} \\ &= 1092,627 + 404,739 \\ &= 1497,366 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tul. longitudinal (A_s) + luas tul. longitudinal torsi perlu ($A_{I \text{ perlu}}$)

$$\begin{aligned} A_s + A_{I \text{ perlu tumpuan}} &= 744,393 + 2153,555 \\ &= 2897,948 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s + A_{I \text{ perlu lapangan}} &= 744,393 + 1497,366 \\ &= 2241,759 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan negatif (n)

$$n \text{ atas tumpuan} = 6$$

$$n \text{ tengah tumpuan} = 2 \text{ (angka kelipatan 2)}$$

$$n \text{ bawah tumpuan} = 3$$

$$\begin{aligned} n \text{ vertikal tumpuan} &= 2 + n \text{ tumpuan tengah} / 2 \\ &= 2 + 2 / 2 \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$n \text{ atas lapangan atas} = 3$$

$$n \text{ tengah lapangan} = 2 \text{ (angka kelipatan 2)}$$

$$n \text{ bawah lapangan} = 4$$

$$\begin{aligned} n \text{ vertikal lapangan} &= 2 + n \text{ lapangan tengah} / 2 \\ &= 2 + 2 / 2 \\ &= 3 \end{aligned}$$

- Minimal n (n_{atas} atau n_{bawah})

$$\begin{aligned} \text{Minimal } n_{\text{tumpuan}} &= \text{minimal } (n_{\text{tumpuan atas}} \text{ atau } n_{\text{tumpuan bawah}}) \\ &= \text{minimal } (6 \text{ atau } 3) \\ &= 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Minimal } n_{\text{lapangan}} &= \text{minimal } (n_{\text{lapangan atas}} \text{ atau } n_{\text{lapangan bawah}}) \\ &= \text{minimal } (3 \text{ atau } 4) \\ &= 3 \end{aligned}$$

- Spasi tumpuan (s_{tumpuan})

$$\begin{aligned} s_{\text{horizontal tumpuan}} &= \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}} \text{ atau } n_{\text{bawah}}) - 1} \\ &= \frac{350 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{3 - 1} \\ &= 124 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{vertikal tumpuan}} &= \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{n_{\text{vertikal}} - 1} \\
 &= \frac{700 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{3 - 1} \\
 &= 299
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tumpuan}} &= \text{maksimum } (s_{\text{horizontal}} \text{ atau } s_{\text{vertikal}}) \\
 &= \text{maksimum } (124 \text{ atau } 299) \\
 &= 299
 \end{aligned}$$

• Spasi lapangan (s_{lapangan})

$$\begin{aligned}
 S_{\text{horizontal lapangan}} &= \frac{b - 2c_c - 2d_s - d_b}{\min(n_{\text{atas}} \text{ atau } n_{\text{bawah}}) - 1} \\
 &= \frac{350 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{3 - 1} \\
 &= 124 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{vertikal lapangan}} &= \frac{h - 2c_c - 2d_s - d_b}{n_{\text{vertikal}} - 1} \\
 &= \frac{700 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 22}{3 - 1} \\
 &= 299
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{lapangan}} &= \text{maksimum } (s_{\text{horizontal}} \text{ atau } s_{\text{vertikal}}) \\
 &= \text{maksimum } (124 \text{ atau } 299) \\
 &= 299
 \end{aligned}$$

• Cek spasi tulangan longitudinal :

$$s_{\text{tumpuan}} \leq 300 = 299 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

$$s_{\text{lapangan}} \leq 300 = 299 \leq 300 \rightarrow \text{OK}$$

• Luas tulangan longitudinal (A_s)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ tumpuan}} &= (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\
 &= (6 + 3) \times \frac{3,14}{4} \times 22^2 \\
 &= 3421,194 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ lapangan}} &= (n_{\text{atas}} + n_{\text{bawah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\
 &= (3 + 4) \times \frac{3,14}{4} \times 22^2 \\
 &= 2660,929 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan longitudinal torsi pasang ($A_{I \text{ pasang}}$)

$$\begin{aligned}
 A_{I \text{ pasang tumpuan}} &= (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2 \\
 &= 2 \times \frac{3,14}{4} \times 16^2 \\
 &= 402,124 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{I \text{ pasang lapangan}} &= (n_{\text{tengah}}) \times \frac{\pi}{4} \times d_{bt}^2 \\
 &= 2 \times \frac{3,14}{4} \times 16^2 \\
 &= 402,124 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Luas tul. longitudinal (A_s) + luas tul. longitudinal torsi pasang ($A_{I \text{ pasang}}$)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ tumpuan} + A_{I \text{ pasang tumpuan}} &= 3421,194 + 402,124 \\
 &= 3823,318 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

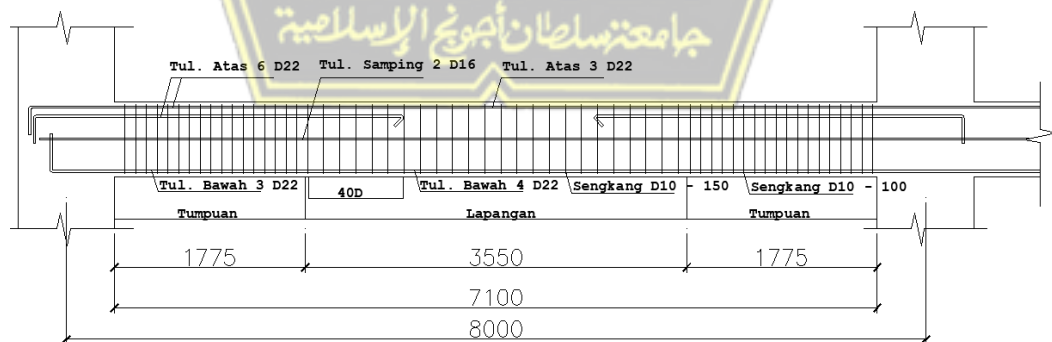
$$\begin{aligned}
 A_s \text{ lapangan} + A_{I \text{ pasang lapangan}} &= 2660,929 + 402,124 \\
 &= 3063,053 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek lentur + torsi :

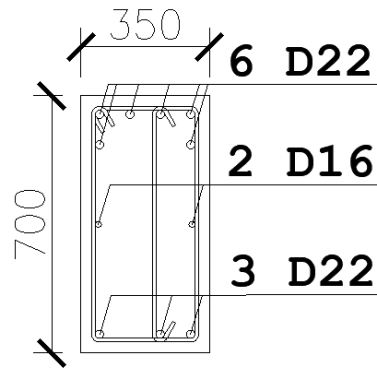
$$\begin{aligned}
 A_s \text{ tumpuan} + A_{I \text{ pasang tumpuan}} &\geq A_s + A_{I \text{ perlu tumpuan}} \\
 3823,318 &\geq 2897,948 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ lapangan} + A_{I \text{ pasang lapangan}} &\geq A_s + A_{I \text{ perlu lapangan}} \\
 3063,053 &\geq 2241,759 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

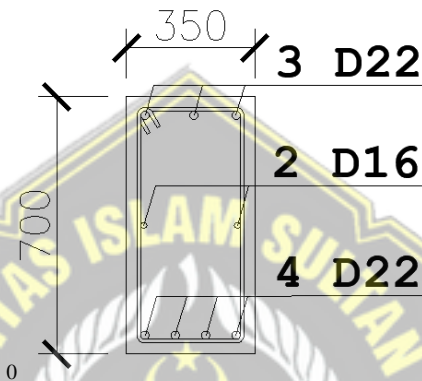
Gambar tulangan balok G1 yang didapat berdasarkan perhitungan di atas ditunjukkan oleh Gambar 4.30 sampai Gambar 4.32.



Gambar 4. 30. Potongan Memanjang Balok



Gambar 4. 31. Tulangan Balok Tumpuan



Gambar 4. 32. Tulangan Balok Lapangan

4.6.2.5. Rekapitulasi Hasil Tulangan Balok

Dari hasil perhitungan terdapat rekapitulasi tulangan balok yang ditunjukkan oleh Tabel 4.64.

Tabel 4. 64. Rekapitulasi Tulangan Balok

Balok Kode	Dimensi (cm)	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tul. Torsi
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
G1	35 × 70	Atas	6 D22	3 D22	3D10-100	2D10-150	2 D16
		Bawah	3 D22	4 D22			
G2	30 × 60	Atas	6 D22	2 D22	2D10-100	2D10-100	2 D16
		Bawah	3 D22	5 D22			
G3	30 × 50	Atas	4 D19	2 D19	2D10-100	2D10-150	2 D16
		Bawah	2 D19	3 D19			
G4	30 × 40	Atas	4 D19	2 D19	2D10-100	2D10-150	-
		Bawah	2 D19	3 D19			
B1	25 × 70	Atas	4 D16	2 D16	2D10-100	2D10-150	2 D13
		Bawah	3 D16	2 D16			
B2	20 × 40	Atas	3 D16	2 D16	2D10-100	2D10-100	-
		Bawah	3 D16	2 D16			

4.6.3. Perancangan Kolom

Desain dimensi penampang kolom harus sanggup menopang gaya momen dan geser sehingga diperlukan analisis kapasitas desain kolom. Diagram interaksi P_n - M kolom juga disertakan dalam analisis kapasitas desain kolom untuk mengetahui kapasitas kolom terhadap gaya aksial yang menumpunya.

4.6.3.1. Properti Material dan Penampang

Tipe kolom yang hendak digunakan untuk contoh perhitungan yakni kolom K1 pada tingkat pertama yang tertera pada Gambar 4.33.



Gambar 4. 33. Denah Kolom K1 Sampel

Ketinggian kolom (L)	= 4080 mm
Dimensi ($h \times b$)	= 900 x 900 mm
Luas penampang (A_g)	= 810000 mm ²
Tebal selimut bersih (c_c)	= 40 mm
Diameter tul. longitudinal (d_b)	= 22 mm
Diameter tul. sengkang (d_s)	= 13 mm

$$\begin{aligned}
\text{Efektif ketinggian kolom } (d) &= b - d_b/2 - d_s - c_c \\
&= 900 - 22/2 - 13 - 40 \\
&= 836 \text{ mm} \\
\text{Kuat tekan beton } (f_c') &= 40 \text{ MPa} \\
\text{Kuat tulangan baja leleh } (f_y) &= 420 \text{ MPa} \\
\text{Aspek pengurangan kekuatan } (\phi) &= 0,65 \text{ (Tabel 21.2.1)} \\
\text{Momen kapasitas balok } (M_{nb+}) &= 203,71 \text{ kNm} \\
\text{Momen kapasitas balok } (M_{nb-}) &= 384,96 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

4.6.3.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Tahapan-tahapan dalam menghitung tulangan longitudinal kolom yang dilakukan, antara lain:

1. Gaya Dalam

Gaya dalam berupa gaya tekan aksial yang diterima kolom dengan geser gaya terhadap kolom K1 dan kolom atasnya diperoleh dengan ETABS yang dipergunakan untuk mendesain tulangan longitudinal kolom sebagai berikut:

- P_u atas kolom = 5185,768 kN
- P_u desain kolom = 5998,853 kN
- V_u desain kolom = 99,765 kN

2. Cek Dimensi

Batasan dimensi untuk struktur kolom sesuai Pasal 18.7.2.1 SNI 2847:2019 diharuskan :

- a) Dimensi penampang paling kecil minimal 300 mm

$$\text{Syarat} \quad = b \geq 300 = 900 \geq 300 \rightarrow \text{OK}$$

- b) Proporsi dimensi penampang minimal 0,4

$$\text{Syarat} \quad = \frac{b}{h} \geq 0,4 = \frac{900}{900} \geq 0,4 = 1 \geq 0,4 \rightarrow \text{OK}$$

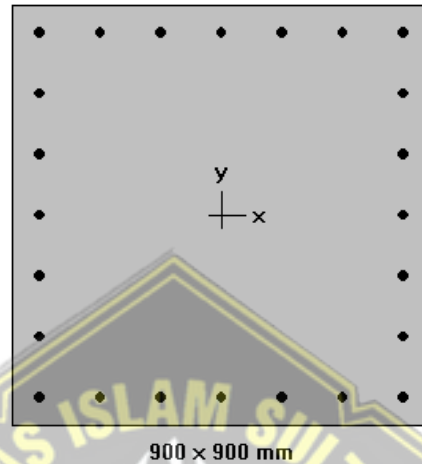
3. Cek persyaratan elemen struktur tahan gempa

Gaya aksial tekan (P_u) dampak beban kombinasi kurang dari $0,3 A_g f_c'$

$$\begin{aligned}
\text{Syarat} &= P_u \leq 0,3 A_g \times f_c' \\
&= 5998,853 \leq 0,3 \times 810000 \times 40 \times 10^{-3} \\
&= 5998,853 \leq 9720 \rightarrow \text{OK}
\end{aligned}$$

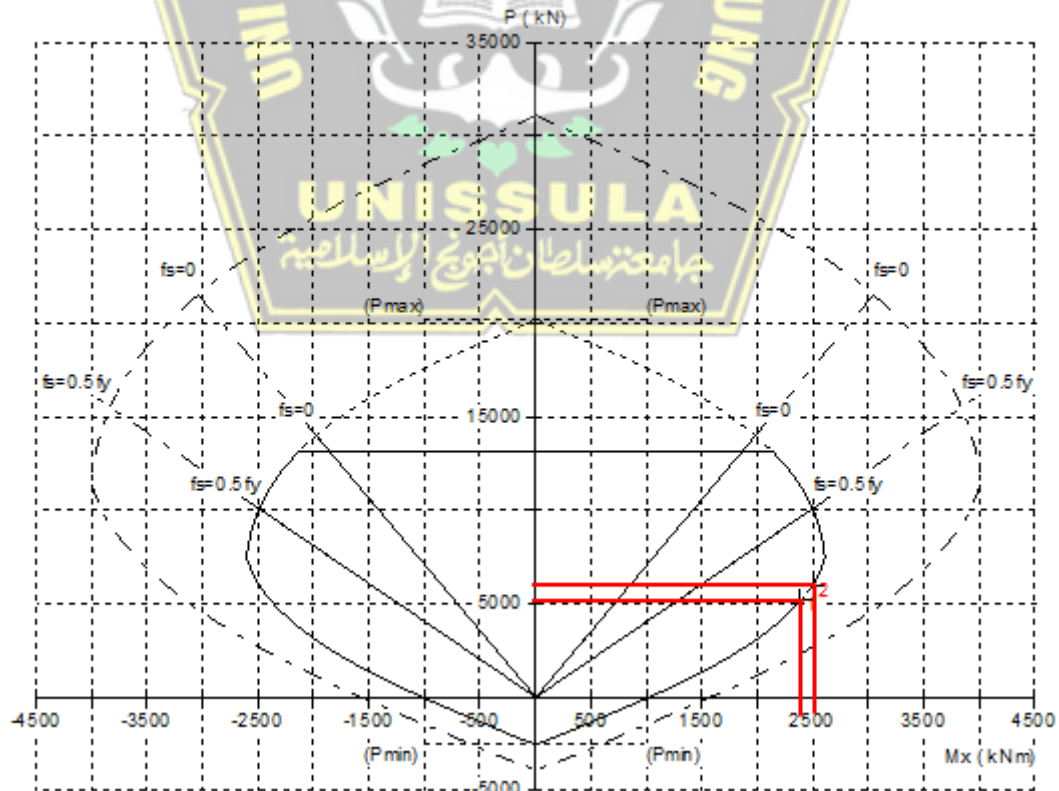
4. Menentukan longitudinal tulangan pemikul lentur

Luas longitudinal tulangan diharuskan di antara dari $0,01A_g$ dan $0,06A_g$ sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4. Hasil konfigurasi tulangan lentur kolom K1 yaitu 24 D22 didapatkan secara *trial and error* dengan memakai *SPColumn* tertera pada Gambar 4.34.



Gambar 4. 34. Konfigurasi Tulangan Longitudinal Kolom K1

Diagram interaksi P_n-M_{pr} *SPColumn* kolom K1 dan hasil analisis interaksi P_n-M_{pr} kolom K1 tertera pada Gambar 4.35 dan Tabel 4.65.



Gambar 4. 35. Interaksi Diagram P_n-M_{pr} *SPColumn* Kolom K1

Tabel 4. 65. 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	5185,77	2382,20	2389,27	1,003	366	839	0,00388	0,65
2	5998,85	2493,40	2495,11	1,001	411	839	0,00313	0,65

$$0,01 A_g = 0,01 \times 810000 = 8100 \text{ mm}^2$$

$$0,06 A_g = 0,06 \times 810000 = 48600 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = n \times 1/4 \times \pi \times D^2 = 24 \times 1/4 \times 3,14 \times 22^2 = 9118,56 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat} = 0,01 A_g < A_{st} < 0,06 A_g = 8100 < 9118,56 < 48600 \rightarrow \text{OK}$$

4.6.3.3. Perhitungan Tulangan Transversal Kolom

Tahapan-tahapan dalam menghitung 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) Penentuan jarak tulangan transversal diletakkan sejauh l_0 dari setiap muka *joint* dalam kolom. Berlandaskan SNI 2847:2019 Pasal 18.4.3.3 dengan l_0 merupakan maksimal nilai dari:

a. Seperenam ketinggian kolom bersih = $4080 / 6 = 680 \text{ mm}$

b. Maksimal ukuran kolom = 900 mm

c. 450 mm

Jadi, jarak l_0 digunakan 900 mm

b) Penentuan s_{max} merupakan nilai terbesar dari:

a. $0,25$ ukuran minimal bidang kolom = $0,25 \times 900 = 225 \text{ mm}$

b. $D \times 6 = 22 \times 6 = 132 \text{ mm}$

c. s_o , harus kurang dari 150 mm dan melebihi 100 mm

$$s_o = 100 + \frac{350 - 0,33(900 - 2 \times 40 - 2(10) - 2)}{3} = 130,22 \text{ mm}$$

Ambil jarak tulangan transversal 100 mm

c) Mencari nilai luas pengeangan tulangan

Berlandaskan SNI 2847:2019 Tabel 18.7.5.4. Dalam wilayah sejauh ℓ_o terhadap titik ujung total kolom area bidang *hoop* tak diperbolehkan lebih kecil daripada maksimal nilai salah satu di antara :

- Tinggi penampang inti beton yang tertekan (b_{c1})

$$b_{c1} = h - (2 \times c_c) = 900 - (2 \times 40) = 820 \text{ mm}$$

- Lebar inti penampang beton yang tertekan (b_{c2})

$$b_{c2} = b - (2 \times c_c) = 900 - (2 \times 40) = 820 \text{ mm}$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

$$A_{ch} = b_{c1} \times b_{c2} = 820 \times 820 = 672400 \text{ mm}^2$$

- Faktor kekuatan beton (k_f)

$$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 = \frac{40}{175} + 0,6 = 0,82857 \rightarrow \text{minimal } 1$$

- Faktor efektivitas pengeangan (k_n)

$$k_n = \frac{n_i}{n_i - 2} = \frac{24}{24 - 2} = 1,09$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$\begin{aligned} A_{sh1} &= \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f'_c}{f_{yt}} \times 0,3 \\ &= \left(\frac{810000}{672400} - 1 \right) \times \frac{40}{420} \times 0,3 \\ &= 0,00585 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh2} &= \frac{f'_c}{f_{yt}} \times 0,09 \\ &= \frac{40}{420} \times 0,09 \\ &= 0,00857 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh3} &= 0,2 \times k_f \times k_n \times \frac{P_u}{f_{yt} \times A_{ch}} \\ &= 0,2 \times 1 \times 1,09 \times \frac{5998,853 \times 10^3}{420 \times 672400} \\ &= 0,00463 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} &= b_c \times A_{sh \text{ max}} \\ &= 820 \times 0,00857 \\ &= 7,0286 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= s \times \frac{A_{sh}}{s} \\ &= 100 \times 7,0286 \\ &= 702,86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka dapat digunakan Sengkang (*hoop*) 6 D13-100

$$A_s \text{ pasang} = 6 \text{ kaki} \times 1/4 \times 3,14 \times 13^2 = 795,99 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_s \text{ pasang} > A_{sh} \\ &= 795,99 > 702,86 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

d) Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5. Pada daerah tidak di dalam ℓ_0 diberi sengkang dengan spasi tak melampaui minimal nilai daripada:

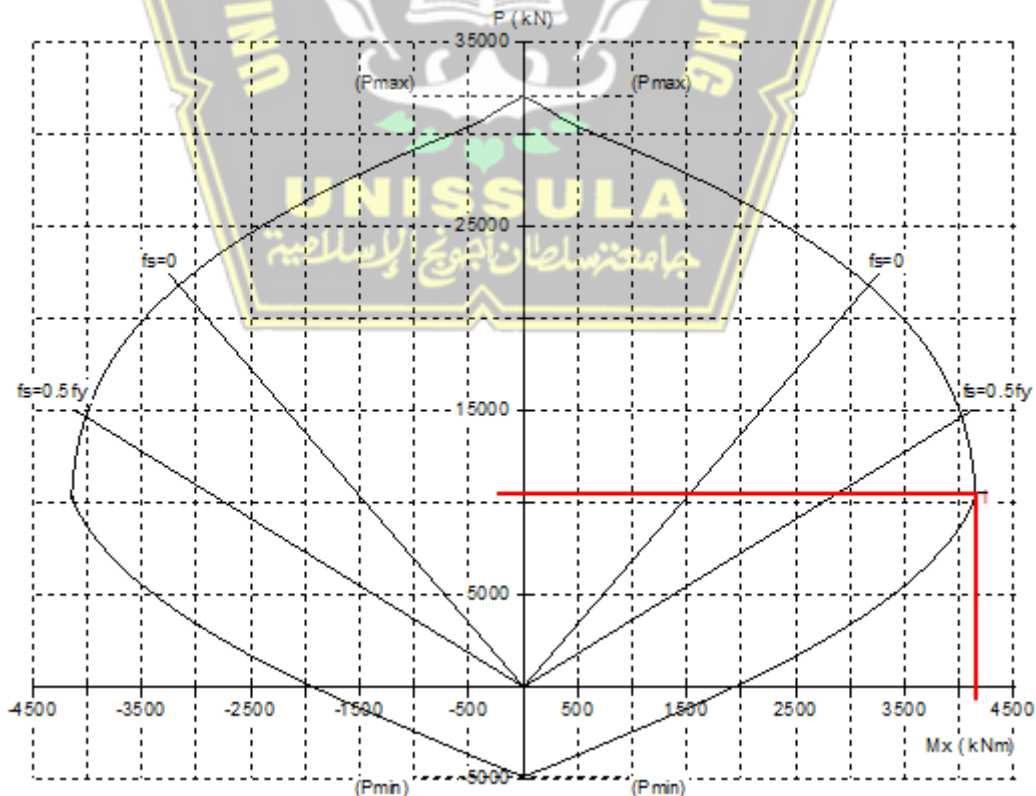
a. $D \times 6 = 22 \times 6 = 132 \text{ mm}$

b. 150 mm

Maka $s_{\max} = 150 \text{ mm}$ dan bisa dipergunakan spasi (s) = 150 mm sejauh sisa bersih kolom.

2. Analisis Gaya Desain Geser Tulangan Sengkang Kolom

Pengambilan Gaya geser V_e diharuskan dari gaya geser berkesinambungan terhadap sendi plastis pada kedua muka kolom sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1. Nilai M_{pr} terhadap kolom ditentukan dengan anggapan kekuatan tarik memanjang minimal $1,25f_y$ dan $\phi = 1$. Untuk diagram interaksi P_n - M SPColumn dengan $1,25 f_y$ dan hasil analisis interaksi P_n - M SPColumn dengan $1,25 f_y$ tertera pada Gambar 4.36 dan Tabel 4.66.



Gambar 4. 36. Interaksi Diagram P_n - M SPColumn Kolom K1 dengan $1,25 f_y$

Tabel 4. 66. 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	10524	4138	4140,98	1,001	456	839	0,00253	1,000

- Probable Moment of Column ($M_{pr c}$)

$$M_{pr c} = 4140,98 \text{ kNm}$$

- Tinggi bersih kolom (L_n)

$$\begin{aligned} L_n &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\ &= 4080 - 500 \\ &= 3580 \text{ mm} \\ &= 3,58 \text{ m} \end{aligned}$$

- Probable Moment of Beam ($M_{pr b}$)

$$M_{pr b \text{ atas}} = 128881810 \text{ Nmm} = 128,88 \text{ kNm}$$

$$M_{pr b \text{ bawah}} = 247294877 \text{ Nmm} = 247,29 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_{pr b} &= 128,88 + 247,29 \\ &= 376,18 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Faktor distribusi kolom (D_f)

$$D_f = 1/2 \text{ (bawah dan atas dianggap sama)}$$

- Faktor reduksi geser (ϕ)

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser desain (V_e)

$$\begin{aligned} V_{e1} &= \frac{M_{pr c \text{ atas}} + M_{pr c \text{ bawah}}}{L_n} \\ &= \frac{4140,98 + 4140,98}{3,58} \\ &= 2313,40 \text{ kN} \end{aligned}$$

V_e tidak perlu melebihi dari:

$$\begin{aligned} V_{e2} &= \frac{\Sigma M_{pr b} \times D_{f \text{ atas}} + \Sigma M_{pr b} \times D_{f \text{ bawah}}}{L_n} \\ &= \frac{376,18 \times 0,5 + 376,18 \times 0,5}{3,58} \\ &= 105,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

V_e tak diperbolehkan lebih kecil dari hasil analisis gaya terfaktor geser:

$$V_{e3} = 99,77 \text{ kN}$$

- Dari nilai V_c yang telah dihitung, maka diambil $V_u = 105,08$ kN. Asumsi kekuatan geser tersumbang terhadap beton, $V_c = 0$. Maka:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{105,08}{0,75} = 140,10 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{140,10}{420 \times 836} = 0,399 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Dimana $s = 100$ mm, jadi:

$$A_v = \frac{A_v}{s} \times 100 = 0,399 \times 100 = 39,90 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Cek $A_{sh} > A_v$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= A_{sh} > A_v \\ &= 795,99 > 39,90 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

Digunakan 6 D13-100 untuk sengkang tertutup dan ikat silang dengan $A_{sh} = 795,99 \text{ mm}^2$.

3. Menghitung nilai V_c area di luar ℓ_0

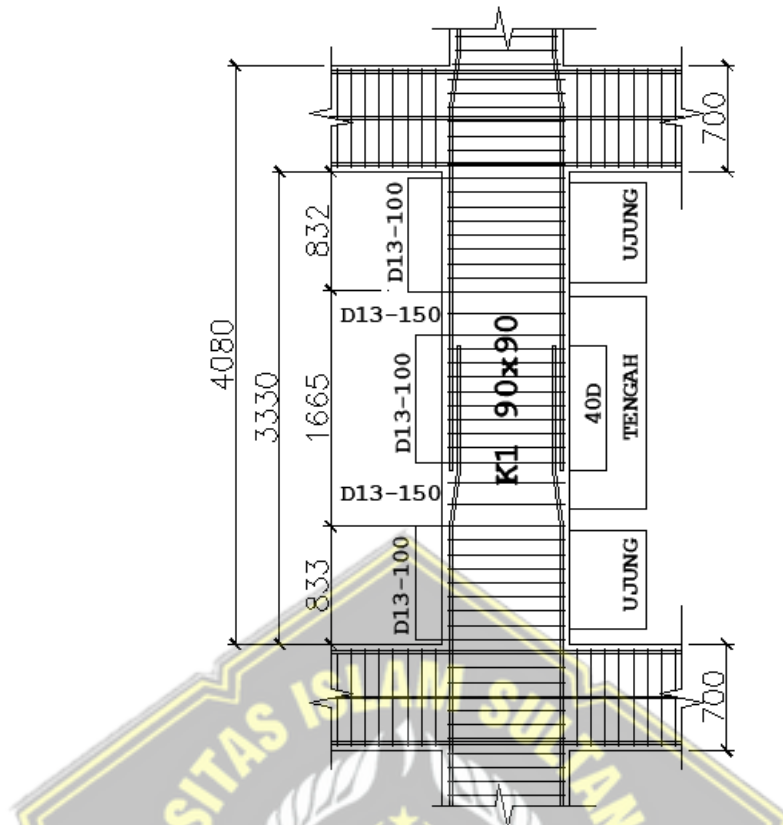
$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{P_u}{14A_g}\right) \times \lambda \times d \times b_w \times \sqrt{f'_c} \times 0,17 \\ &= \left(1 + \frac{5998,853 \times 10^3}{14 \times 810000}\right) \times 1 \times 836 \times 900 \times \sqrt{40} \times 0,17 \\ &= 1236,901 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena $V_c > V_u$ ($V_u = 105,08$ kN) maka area tidak di dalam ℓ_0 dipasang tulangan sengkang dengan jarak:

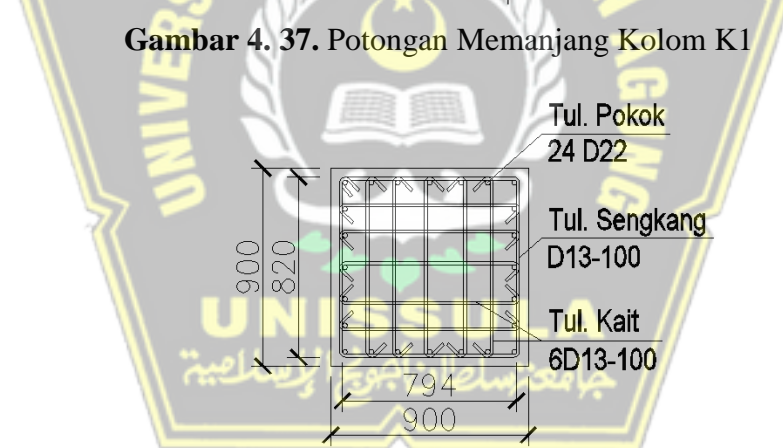
$$s = \frac{d}{2} = \frac{836}{2} = 418 \text{ mm}$$

Berlandaskan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5, jarak transversal tulangan tak di dalam ℓ_0 tak boleh melampaui 150 mm atau $6d_b$ (132 mm). Maka dipasang jarak maksimal 150 mm.

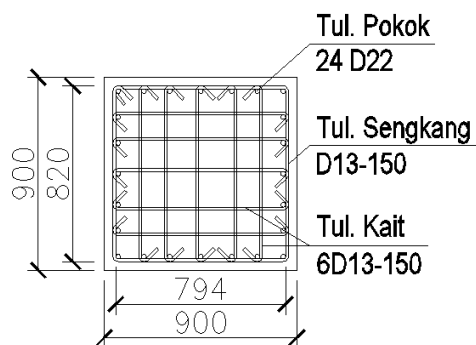
Berikut adalah gambar dari hasil perhitungan ditunjukkan oleh Gambar 4.37 sampai Gambar 4.39.



Gambar 4. 37. Potongan Memanjang Kolom K1



Gambar 4. 38. Tulangan Ujung Kolom K1



Gambar 4. 39. Tulangan Tengah Kolom K1

4.6.3.4. Rekapitulasi Hasil Tulangan Kolom

Dari hasil perhitungan tulangan pada semua tipe kolom yang telah dilakukan, rekapitulasi hasil tulangan kolom ditunjukkan oleh Tabel 4.67.

Tabel 4. 67. Rekapitulasi Tulangan Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi Kolom	Tulangan Pokok	Tulangan Geser	
				Tumpuan	Lapangan
1	K1	900 × 900	24 D22	6 D13-100	6 D13-150
2	K2	800 × 800	20 D22	5 D13-100	5 D13-150
3	K3	700 × 700	20 D19	6 D10-100	6 D10-150
4	K4	600 × 600	16 D19	6 D10-100	6 D10-150

4.6.4. Pengecekan Persyaratan *Strong Column-Weak Beam*

Kuat lentur suatu kolom wajib berpedoman pada Persamaan 4.13 menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2 mencakup:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \dots\dots\dots (4.13)$$

1. Menentukan nilai $\sum M_{nb}$

$$\begin{aligned} \sum M_{nb} &= M_{nb}^+ + M_{nb}^- \\ &= 203,71 + 384,96 \\ &= 588,67 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2. Menentukan nilai $\sum M_{nc}$

Melalui interaksi diagram P_n - M *SPColumn* diperoleh nilai M_{nc} dengan mencari gaya aksial hasil dari beban kombinasi pada atas kolom dan bawah kolom. Nilai M_{nc} bawah dan M_{nc} atas sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum M_{nc} &= M_{nc} \text{ bawah} + M_{nc} \text{ atas} \\ &= 0 + 3675,80 \\ &= 3675,80 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \\ &= \frac{\sum M_{nc}}{\sum M_{nb}} \geq 1,2 \\ &= \frac{3675,80}{588,67} \geq 1,2 \\ &= 6,24 \geq 1,2 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

4.6.5. Perancangan Hubungan Balok-Kolom (*Joint*)

Hubungan balok-kolom (*joint*) merupakan area perhimpunan terhadap kolom dan balok dan harus didetailkan dengan baik. Langkah-langkah menganalisis perhitungan hubungan balok G3 dengan kolom K1 lantai 1 meliputi:

4.6.5.1. Persyaratan Panjang *Joint*

Sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.2.3, untuk beton normal ukuran penampang kolom sejajar terhadap tulangan balok tersebut tak diperbolehkan lebih kecil daripada 20 kali maksimal diameter longitudinal tulangan balok.

- Lebar kolom (b)

$$b = h = 900 \text{ mm}$$

- Diameter tulangan longitudinal terbesar balok (d_b)

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

$$20 d_b = 19 \times 20 = 380 \text{ mm}$$

- Cek $20d_b < b$

$$\text{Syarat} = b > 20d_b = 900 > 380 \rightarrow \text{OK}$$

4.6.5.2. Tulangan Geser *Confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.3.1, jumlah *confinement* tulangan dapat menggunakan seperti pada detail tulangan geser kolom pada ℓ_0 . Dari hasil analisis tulangan geser kolom di atas digunakan tulangan geser 6 D13-100.

4.6.5.3. Gaya Geser *Joint*

Momen balok yang timbul:

- *Probable Moment of Beam Positive* (M_{prb}^+)

$$M_{prb}^+ = 128,88 \text{ kNm}$$

- *Probable Moment of Beam Negative* (M_{prb}^-)

$$M_{prb}^- = 247,29 \text{ kNm}$$

- Faktor distribusi kolom (D_f)

$$D_f = 0,5 \rightarrow \text{OK}$$

- Momen terfaktor diperbesar (M_c)

$$\begin{aligned} M_c &= 0,5 \times (M_{prb}^+ + M_{prb}^-) \\ &= 0,5 \times (128,88 + 247,29) \\ &= 188,09 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4.6.5.4. Gaya Geser pada Kolom

- Tinggi efektif kolom (L_n)

$$\begin{aligned}L_n &= \text{Tinggi Kolom} - \text{Tinggi Balok} \\ &= 4080 - 500 \\ &= 3580 \text{ mm} \\ &= 3,58 \text{ m}\end{aligned}$$

- Gaya geser kolom (V_h)

$$\begin{aligned}V_h &= \frac{M_c}{L_n} \\ &= \frac{188,09}{3,58} \\ &= 52,54 \text{ kN}\end{aligned}$$

4.6.5.5. Gaya Geser pada Tulangan Longitudinal Balok

- Luas tulangan atas 4 D19, $A_s = 1134,11 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}T_1 &= f_y \times A_s \times 1,25 \\ &= 420 \times 1134,11 \times 1,25 \\ &= 595,41 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Gaya tekan beraksi terhadap beton pada sisi hubungan balok kolom bagian kiri, sebesar:

$$C_1 = T_1 = 595,41 \text{ kN}$$

- Luas tulangan bawah 2 D19, $A_s = 567,06 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}T_2 &= f_y \times A_s \times 1,25 \\ &= 420 \times 567,06 \times 1,25 \\ &= 297,71 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Gaya tekan beraksi terhadap beton pada sisi hubungan balok kolom bagian kanan, sebesar :

$$C_2 = T_2 = 297,71 \text{ kN}$$

4.6.5.6. Kuat Geser pada *Joint*

- Kekuatan geser *joint* (V_j) sebesar:

$$\begin{aligned}V_j &= T_1 + T_2 - V_h \\ &= 595,41 + 297,71 - 52,54 \\ &= 840,58 \text{ kN}\end{aligned}$$

4.6.5.7. Kuat Geser yang dikekang Keempat Sisi

- Kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= A_g \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times 1,7 \\ &= 810000 \times 10^{-3} \times 1 \times \sqrt{33,2} \times 1,7 \\ &= 7934,20 \text{ kN} \end{aligned}$$

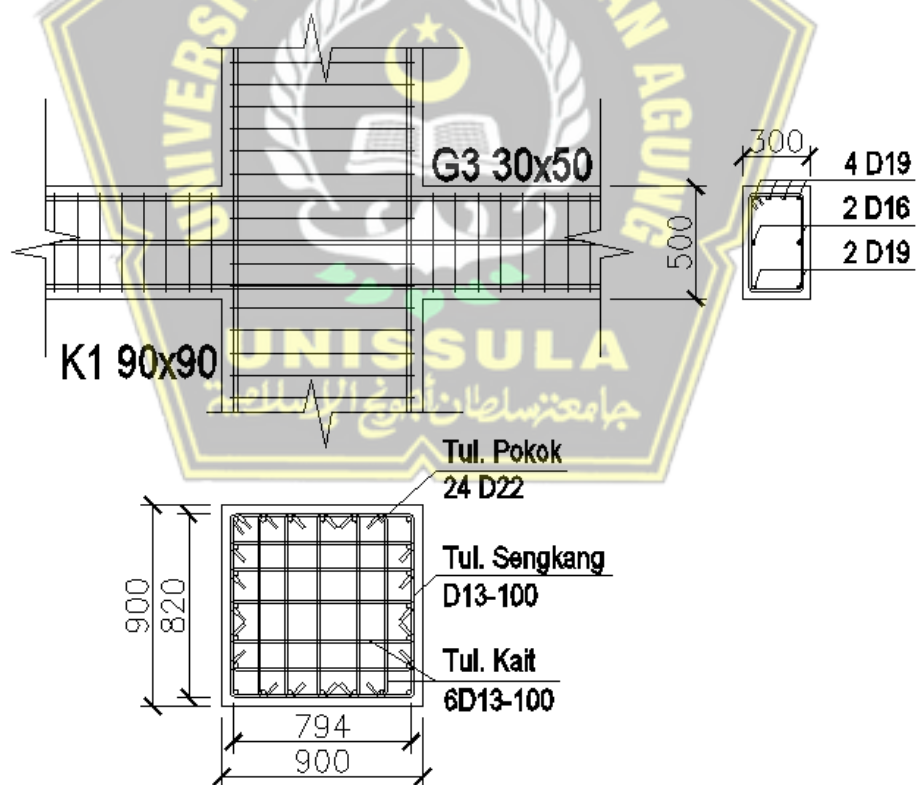
- Kapasitas geser tereduksi (ϕV_n)

$$\phi V_n = \phi \times V_n = 0,85 \times 7934,20 = 6744,07 \text{ kN}$$

- Cek $\phi V_n > V_j$

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \phi V_n > V_j \\ &= 6744,07 > 840,58 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan, kekuatan geser terkekang keempat sisinya lebih besar daripada gaya geser *joint* yang ditimbulkan. Dengan nilai 6744,07 kN > 840,58 kN maka memenuhi persyaratan. Gambar hasil perhitungan tulangan hubungan kolom-balok ditunjukkan oleh Gambar 4.40.



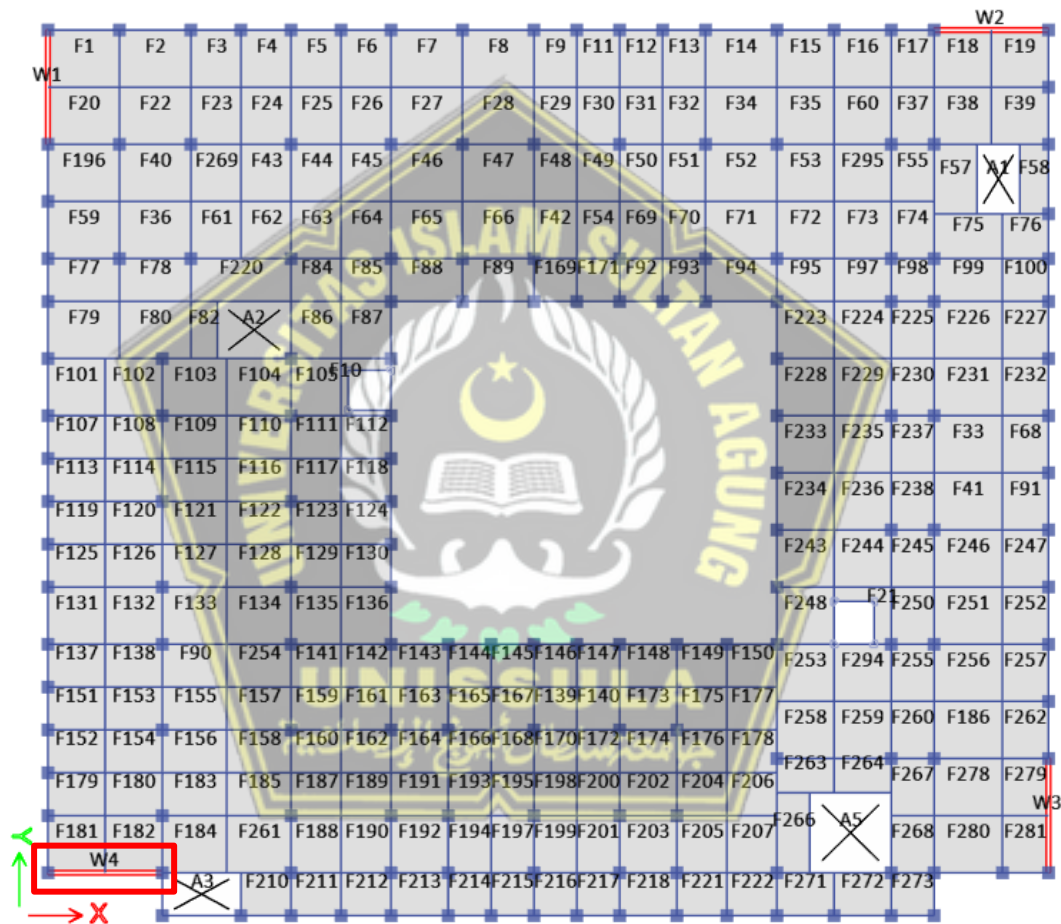
Gambar 4. 40. Hubungan Balok-Kolom (*Joint*)

4.6.6. 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.

4.6.6.1. Properti Material dan Penampang

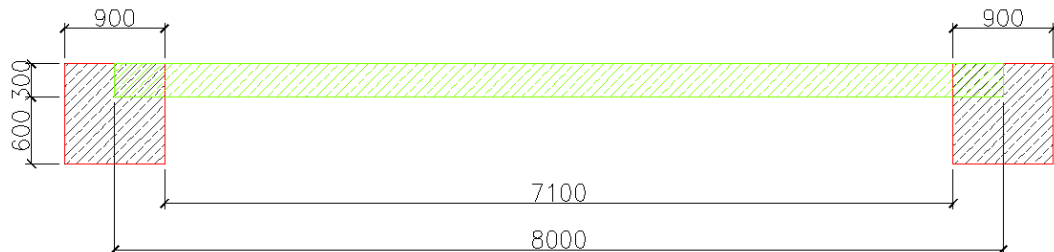
Dinding geser yang akan digunakan untuk contoh perhitungan yakni dinding geser yang ditunjukkan Gambar 4.41. Penampang dinding geser dapat dilihat di Gambar 4.42.



Gambar 4. 41. Denah Dinding Geser Sampel

- Tebal dinding geser (t_w) = 300 mm
- Panjang dinding geser (L) = 8000 mm
- Panjang kolom (h_k) = 900 mm
- Lebar kolom (b_k) = 900 mm
- Tinggi dinding geser total (h_w) = 32640 mm
- Diameter tul. longitudinal badan (d_l) = 25 mm

Diameter tul. transversal badan (d_t) = 25 mm
 Diameter tulangan kolom (d_b) = 22 mm
 Kuat tekan beton (f_c') = 40 MPa
 Kuat leleh baja tulangan (f_y) = 420 MPa



Gambar 4. 42. Penampang Dinding Geser Rencana

4.6.6.2. Gaya Dalam

Gaya dalam untuk perancangan dinding geser diambil dari analisis menggunakan ETABS ditunjukkan oleh Tabel 4.68 dan Tabel 4.69.

Tabel 4. 68. Gaya Aksial-Lentur pada Dinding Geser

Gaya Aksial – Lentur			
Kondisi	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)
P_{max}	-67,337	370,750	1767,413
P_{min}	-6871,119	-338,618	99623,873
M_2_{Max}	-1475,380	626,774	85146,235
M_2_{Min}	-5959,642	-610,538	-91932,849
M_3_{Max}	-1866,876	373,411	99631,198
M_3_{Min}	-1149,415	103,398	-105922,251

Tabel 4. 69. Gaya Geser pada Dinding Geser

Gaya Geser	
V_2 (kN)	16661,427
V_3 (kN)	253,944

4.6.6.3. Pengecekan Geometri

- Panjang total (L_w)

$$L_w = L + h_k = 8000 + 900 = 8900 \text{ kN}$$

- Panjang bersih (L_n)

$$L_n = L - h_k = 8000 - 900 = 7100 \text{ N}$$

- Luas penampang melintang (A_{cv})

$$A_{cv} = t_w \times L_w = 300 \times 8900 = 2670000 \text{ mm}^2$$

- Luas total dinding geser (A_w)

$$\begin{aligned} A_w &= (h_k \times b_k) \times 2 + L_n \times t_w \\ &= (900 \times 900) \times 2 + 7100 \times 300 \\ &= 3750000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.6.6.4. Kebutuhan Tulangan Minimum

- Faktor reduksi kuat geser

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser ($\frac{V_u}{\phi}$)

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{16661,427 \times 10^3}{0,75} = 22215236 \text{ N}$$

- Proporsi minimal tulangan (ρ_{\min})

Proporsi minimal tulangan yaitu 0,0025, kecuali bila $V_u < A_{cv} \times \sqrt{f_c}$ x 0,083 maka rasio tulangan diizinkan menurut SNI 2847:2019 Tabel 11.6.1.

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u < 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c} \\ &= 22215236 < 0,083 \times 2670000 \times \sqrt{40} \\ &= 22215236 > 1401585 \text{ N} \rightarrow \text{Pakai rasio minimal } 0,0025 \end{aligned}$$

Karena $V_u > 0,083 \times A_{cv} \times \sqrt{f_c}$, maka :

$$\text{Proporsi minimal longitudinal tulangan } (\rho_{l \min}) = 0,0025$$

$$\text{Proporsi minimal transversal tulangan } (\rho_{t \min}) = 0,0025$$

- Jumlah lapis tulangan pakai (n lapis)

(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.2)

Minimal 2 lapis tulangan dibutuhkan jika $V_u > A_{cv} \times 0,17 \times \sqrt{f_c}$ atau $\frac{h_w}{l_w} \geq 2$.

Cek batasan 1:

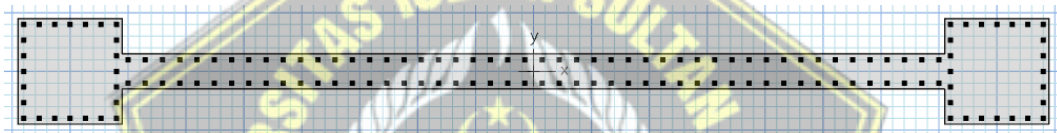
$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= V_u > A_{cv} \times 0,17 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 22215236 > 2670000 \times 0,17 \times \sqrt{40} \\ &= 22215236 > 2870716 \text{ N} \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis} \end{aligned}$$

Cek batasan 2:

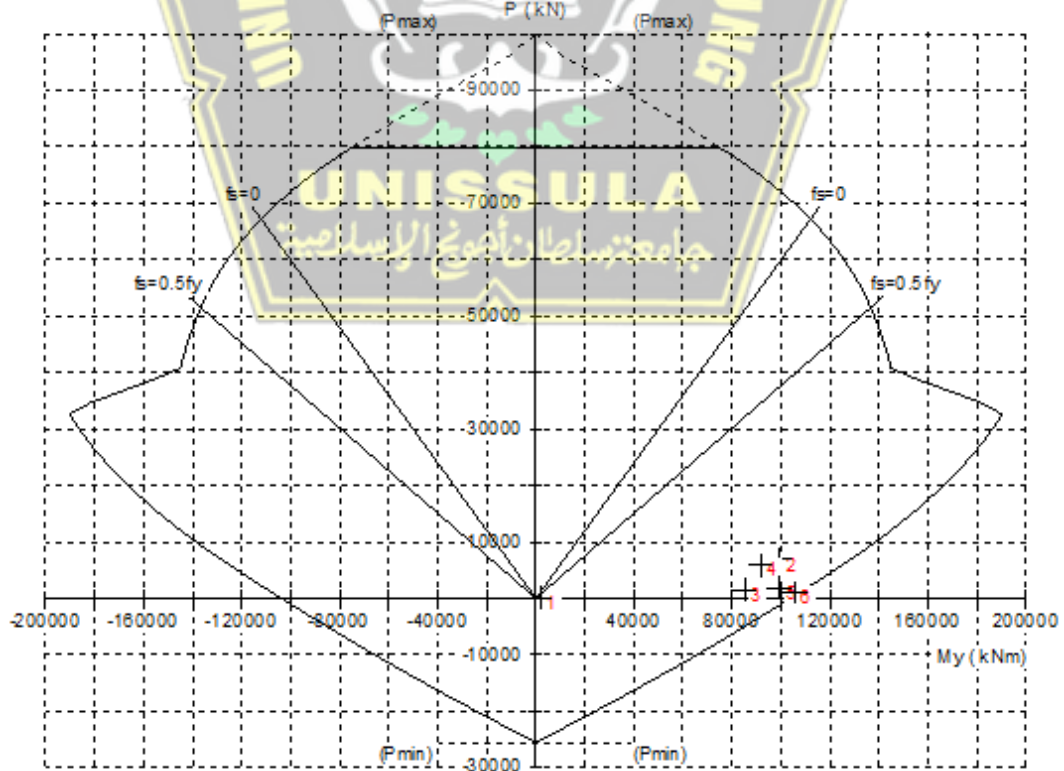
$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= \frac{h_w}{l_w} \geq 2 = \frac{32640}{8900} \geq 2 \\ &= 3,67 > 2 \rightarrow \text{Perlu tulangan 2 lapis} \end{aligned}$$

4.6.6.5. Pengecekan terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (SPColumn)

Konfigurasi tulangan longitudinal dinding geser diperoleh dari hasil *trial and error* dengan SPColumn yaitu D25-150 dan pada kolom yaitu 24 D22 ditunjukkan Gambar 4.43. Untuk diagram interaksi SPColumn dinding geser dan hasil analisis interaksi P_n - M_{pr} dinding geser ditunjukkan oleh Gambar 4.44 dan Tabel 4.70.



Gambar 4. 43. Konfigurasi Tulangan Dinding Geser



Gambar 4. 44. Interaksi Diagram SPColumn Dinding Geser

Tabel 4. 70. Analisis Hasil Interaksi SPColumn Dinding Geser

No	P_u (kN)	M_{uy} (kNm)	ϕM_{ny} (kNm)	$\phi M_n/M_u$	NA depth (mm)	dt depth (mm)	ε_t	Φ
1	67,34	1767,41	104123	58,913	916	885	0,02597	0,90
2	6871,12	99623,88	128420	1,289	1174	885	0,01962	0,90
3	1475,38	85146,20	109263	1,283	969	885	0,02440	0,90
4	5959,64	91932,85	125241	1,362	1139	885	0,02031	0,90
5	1866,88	99631,20	110686	1,111	984	885	0,02399	0,90
6	1149,42	105922,25	108076	1,020	957	885	0,02474	0,90

1. Bagian Badan

- Spasi tulangan longitudinal (s)

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

- Cek spasi tulangan maksimum

Spasi tulangan untuk struktur dinding maksimum 450 mm

$$\text{Syarat} = s \leq 450 = 150 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$$

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.5)

$$\begin{aligned} \rho_l &= n \text{ lapis} \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_l^2}{t_w \times s} \\ &= 2 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 25^2}{300 \times 150} \\ &= 2,182 \% \end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan minimum

$$\text{Syarat} = \rho_l \geq \rho_{l \text{ min}} = 2,182 \% \geq 0,25 \% \rightarrow \text{OK}$$

2. Bagian Kolom

Jumlah tulangan per kolom (n) = 52 mm

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_l)

$$\begin{aligned} \rho_l &= n \times \frac{\frac{\pi}{4} \times d_b^2}{b_k \times h_k} \\ &= 24 \times \frac{\frac{\pi}{4} \times 22^2}{900 \times 900} \\ &= 1,126 \% \end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan kolom
 Syarat $= 1 \% \leq \rho \leq 6 \%$
 $= 1 \% \leq 1,126 \% \leq 6 \% \rightarrow \text{OK}$

4.6.6.6. Pengecekan Kapasitas Geser

- Rasio tinggi dinding dengan panjang total (h_w/L_w)
 $h_w/L_w = 32640 / 8900 = 3,67$
- Koefisien kekuatan beton terhadap geser dinding nominal (α_c)
 (SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.1)
 $\alpha_c = 0,17$ (untuk $h_w/L_w > 2$)
- Spasi tulangan transversal (s)
 $s = 150 \text{ mm}$
- Cek spasi tulangan maksimum
 Spasi tulangan untuk struktur dinding maksimum 450 mm
 Syarat $= s \leq 450 = 150 \leq 450 \rightarrow \text{OK}$
- Kuat geser dinding (V_n)

$$V_n = A_{cv} \times (\alpha_c \times \sqrt{f_c} + \rho_t \times f_y)$$

$$= 2670000 \times (0,17 \times \sqrt{40} + 2,182 \% \times 420)$$

$$= 27335868 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 27335868 \times 10^{-3} = 20504,748 \text{ kN}$$
- Cek kapasitas geser
 Syarat $= V_n \geq \frac{V_u}{\phi} = 27335868 \geq 22215236 \rightarrow \text{OK}$

4.6.6.7. Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus

Terdapat dua cara yang bisa dipergunakan untuk dilakukannya pengecekan kebutuhan elemen batas khusus, antara lain:

1. *Displacement-Based Method*

- Panjang zona tekan (c)
 (SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.4)
 $c = 1174 \text{ mm}$ (ambil nilai *NA 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

$$\begin{aligned} \text{Syarat} &= c \geq \frac{L_w}{600 \times (1,5 \times \frac{\delta_u}{h_w})} \\ &= 1174 \geq \frac{8900}{600 \times (1,5 \times 0,005)} \\ &= 1174 < 1977 \rightarrow \text{tidak perlu elemen batas khusus} \end{aligned}$$

- Batas perpanjangan elemen batas khusus

$$c - 0,1 L_w = 1174 - 0,1 \times 8900 = 284 \text{ mm}$$

$$c / 2 = \frac{1174}{2} = 587 \text{ mm}$$

$$h_c + 300 = 900 + 300 = 1200 \text{ mm}$$

- Panjang elemen batas khusus (L_{BE})

$$L_{BE} = \text{maksimum} (c - 0,1 L_w ; c/2 ; \text{atau } h_c + 300) = 1200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_u}{4 V_u} &= \frac{\text{maksimum} (M_3 \text{ max} ; M_3 \text{ min})}{4 \times V_2} \\ &= \frac{\text{maksimum} (99631,198 ; 105922,251)}{4 \times 16661,427} \\ &= 1589,333 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tinggi elemen batas khusus (h_{BE})

$$\begin{aligned} h_{BE} &= \text{maksimum} (L_w ; \frac{M_u}{4 V_u}) \\ &= \text{maksimum} (8900 ; 1589,333) \\ &= 8900 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Strength-Based Method

- Luas penampang total (A_g)

$$A_g = A_w = 3750000 \text{ mm}^2$$

- Penampang Inersia (I_g)

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \times L_n^3 \times t_w + 2 (h_k^3 \times b_k \times \frac{1}{12} + (\frac{L}{2})^2 \times h_k \times b_k) \\ &= \frac{1}{12} \times 7100^3 \times 300 + 2 (900^3 \times 900 \times \frac{1}{12} + (\frac{8000}{2})^2 \times 900 \times 900) \\ &= 3,498 \times 10^{13} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Tegangan kondisi (σ)

- Tegangan kondisi 1 (σ_1)

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{67,337 \times 10^3}{3750000} + \frac{1767,413 \times 10^6}{3,498 \times 10^{13}} \times \frac{8000}{2} \\ &= 0,220 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 2 (σ_2)

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{6871,119 \times 10^3}{3750000} + \frac{99623,873 \times 10^6}{3,498 \times 10^{13}} \times \frac{8000}{2} \\ &= 13,225 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 3 (σ_3)

$$\begin{aligned}\sigma_3 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{1475,380 \times 10^3}{3750000} + \frac{85146,235 \times 10^6}{3,498 \times 10^{13}} \times \frac{8000}{2} \\ &= 10,131 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 4 (σ_4)

$$\begin{aligned}\sigma_4 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{5959,642 \times 10^3}{3750000} + \frac{91932,849 \times 10^6}{3,498 \times 10^{13}} \times \frac{8000}{2} \\ &= 12,103 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 5 (σ_5)

$$\begin{aligned}\sigma_5 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{1866,876 \times 10^3}{3750000} + \frac{99631,198 \times 10^6}{3,498 \times 10^{13}} \times \frac{8000}{2} \\ &= 11,892 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan kondisi 6 (σ_6)

$$\begin{aligned}\sigma_6 &= \frac{P_u}{A_g} + \frac{m_u}{I_g} \times \frac{L}{2} \\ &= \frac{1149,415 \times 10^3}{3750000} + \frac{105922,251 \times 10^6}{3,498 \times 10^{13}} \times \frac{8000}{2} \\ &= 12,420 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Tegangan maksimum (σ_{\max})

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \text{maksimum } (\sigma_1 ; \sigma_2 ; \sigma_3 ; \sigma_4 ; \sigma_5 ; \text{ atau } \sigma_6) \\ &= 13,225 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Batas tegangan
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)
Batas $= 0,2 f_c' = 0,2 \times 40 = 8 \text{ MPa}$
- Cek keperluan elemen batas khusus
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)
Syarat $= \sigma_{\max} > 0,2 f_c' = 13,225 > 8 \rightarrow$ Perlu elemen batas khusus
- Tinggi elemen batas khusus (h_{BE})
(SNI 2847:2019 Pasal 18.10.6.3)
$$h_{BE} = h_w - (0,15 f_c' / \sigma_{\max}) \times h_w$$
$$= 32640 - (0,15 \times 40 / 13,225) \times 32640$$
$$= 17832 \text{ mm}$$

4.6.6.8. Penulangan Elemen Batas Khusus

Penulangan elemen batas khusus dilakukan terhadap area kolom dan area 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)
 $s = 100 \text{ mm}$
- Diameter *confinement* (d_s)
 $d_s = 13 \text{ mm}$
- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})
$$A_{sh\ 1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 6 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 796,394 \text{ mm}^2$$
$$\frac{A_{sh\ 1}}{s} = \frac{796,394}{100} = 7,964 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh\ 2} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 6 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 796,394 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh\ 2}}{s} = \frac{796,394}{100} = 7,964 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Lebar penampang inti beton (b_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$b_c = b_k - 2 c_c = 900 - 2 \times 40 = 820 \text{ mm}$$

- Panjang penampang inti beton (h_c)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$h_c = h_k - 2 c_c = 900 - 2 \times 40 = 820 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_g = b_k \times h_k = 900 \times 900 = 810000 \text{ mm}^2$$

- Luas penampang inti beton (A_{ch})

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4.1)

$$A_{ch} = b_c \times h_c = 820 \times 820 = 672400 \text{ mm}^2$$

- Sejajar lebar kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \blacksquare \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \left(h_c \times \frac{f_c'}{f_y} \right) \times 0,3 \\ &= \left(\frac{810000}{672400} - 1 \right) \times \left(820 \times \frac{40}{240} \right) \times 0,3 \\ &= 4,794 \text{ mm}^2 \\ \blacksquare \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} &= 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 820 \times \frac{40}{240} = 7,029 \text{ mm}^2 \\ \blacksquare \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} &= \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} \right) = 7,029 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek:

$$\text{Syarat} = \frac{A_{sh\ 1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 7,964 > 7,029 \rightarrow \text{OK}$$

- Sejajar panjang kolom

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

$$\begin{aligned} \blacksquare \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \left(b_c \times \frac{f_c'}{f_y} \right) \times 0,3 \\ &= \left(\frac{810000}{672400} - 1 \right) \times \left(820 \times \frac{40}{240} \right) \times 0,3 \\ &= 4,794 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 820 \times \frac{40}{240} = 7,029 \text{ mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} \right) = 7,029 \text{ mm}^2$
- Cek:
 Syarat $= \frac{A_{sh2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 7,964 > 7,029 \rightarrow \text{OK}$

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)

$$n_1 = 5$$

- Jumlah kaki sejajar panjang kolom (n_2)

$$n_2 = 5$$

- Spasi (s)

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

- Diameter *confinement* (d_s)

$$d_s = 13 \text{ mm}$$

- Luas penampang total tulangan transversal (A_{sh})

$$A_{sh1} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 5 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 663,661 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh1}}{s} = \frac{663,661}{100} = 6,637 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh2} = n_1 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 = 5 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 = 663,661 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{sh2}}{s} = \frac{663,661}{100} = 6,637 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- Panjang daerah EBK badan (b)

$$b = L_{BE} - h_k = 1200 - 900 = 300 \text{ mm}$$

- 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)

- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} = \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \times \left(b_c \times \frac{f_c'}{f_y}\right) \times 0,3$
 $= \left(\frac{90000}{48400} - 1\right) \times \left(220 \times \frac{40}{240}\right) \times 0,3$
 $= 5,403 \text{ mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times h_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{40}{240} = 1,886 \text{ mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}\right) = 5,403 \text{ mm}^2$
- Cek:
Syarat $= \frac{A_{sh1}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 6,637 > 5,403 \rightarrow \text{OK}$

- Tegak lurus dinding

(SNI 2847:2019 Pasal R18.10.6.4)

- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} = \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right) \times \left(b_c \times \frac{f_c'}{f_y}\right) \times 0,3$
 $= \left(\frac{90000}{48400} - 1\right) \times \left(220 \times \frac{40}{240}\right) \times 0,3$
 $= 5,403 \text{ mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} = 0,09 \times b_c \times \frac{f_c'}{f_y} = 0,09 \times 220 \times \frac{40}{240} = 1,886 \text{ mm}^2$
- $\frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = \text{maksimum} \left(\frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} ; \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2}\right) = 5,403 \text{ mm}^2$
- Cek:
Syarat $= \frac{A_{sh2}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min} = 6,637 > 5,403 \rightarrow \text{OK}$

4.6.6.9. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser

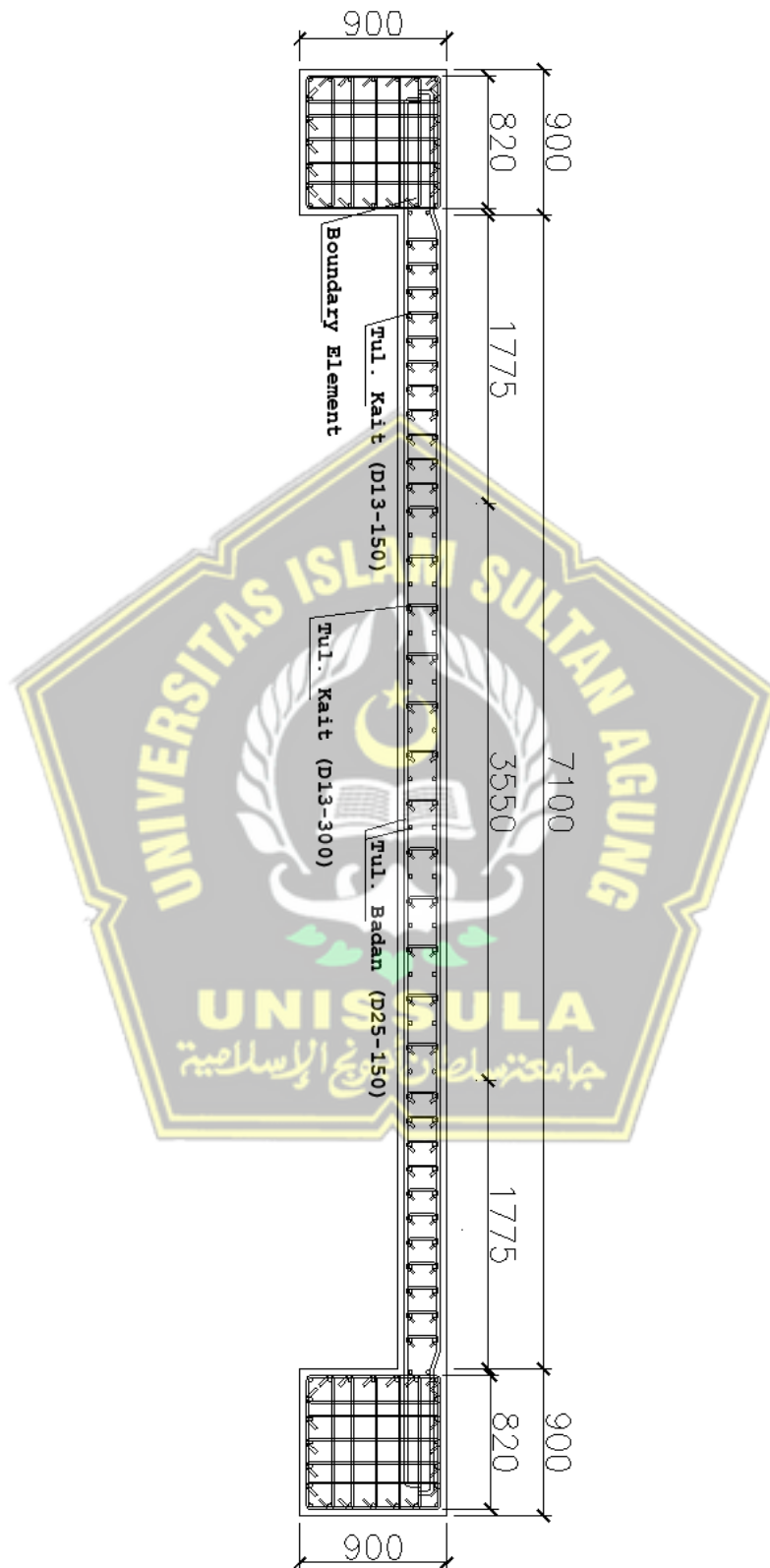
Rekapitulasi hasil penulangan dinding geser ditunjukkan oleh Tabel 4.71, antara lain:

Tabel 4. 71. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser

Tulangan Kolom	
Longitudinal	24 D22
Transversal (Sejajar Lebar)	6 D13-100
Transversal (Sejajar Panjang)	6 D13-100
Tulangan Badan	
Longitudinal	2 D25-150
Transversal	2 D25-150
Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar)	5 D13-100
Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang)	5 D13-100



Gambar detail tulangan dinding geser dari hasil perhitungan yang sudah dikerjakan tercantum di Gambar 4.45.



Gambar 4. 45. Detail Tulangan Dinding Geser

4.7. Rekapitulasi Hasil Analisis dan Perancangan

Rekapitulasi hasil analisis dan perancangan yang sudah dikerjakan terhadap Gedung Pendidikan di Gunungpati, Semarang sebagai berikut:

1. Perancangan gedung pendidikan 8 lantai di Gunungpati, Semarang berkondisi Tanah Sedang (*SD*) yang memakai sistem struktur ganda (SRPMK dan SDSK) dengan desain parameter pada Tabel 4.72 sebagai berikut:

Tabel 4. 72. Parameter Respons Spektra

Parameter Respons Spektra		
Kategori Risiko		IV
Faktor Keutamaan	I_e	1,5
Klasifikasi Situs		<i>SD</i> (Tanah Sedang)
Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek	S_s	0,9374
Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik	S_1	0,3913
Faktor amplifikasi periode pendek	F_a	1,1250
Faktor amplifikasi periode 1 detik	F_v	1,9087
Percepatan pada periode pendek	S_{MS}	1,0546
Percepatan pada periode 1 detik	S_{M1}	0,7469
Percepatan desain pada periode pendek	S_{DS}	0,7031
Percepatan desain pada periode 1 detik	S_{D1}	0,4979
Parameter periode	T_0	0,1416
	T_s	0,7082
Parameter Sistem Ganda		
Faktor koefisien modifikasi	R	7
Faktor kuat lebih sistem	Ω_0	2,5
Faktor pembesaran defleksi	C_d	5,5

2. Analisis hasil respon struktur dinamik yang disebabkan beban gempa yang diberikan yakni:

a) Analisis Respon Dinamik

Hasil partisipasi massa diperoleh dari analisis respon dinamik, meliputi:

- Mode 1 = Translasi arah X sebesar 69%
- Mode 2 = Translasi arah Y sebesar 69%
- Mode 3 = Rotasi arah Z sebesar 69%

b) Analisis Gempa dari Struktur Atas

Hasil yang didapatkan dari analisis dinamik respons spektrum, meliputi:

- Beban gempa arah X
 - $T_x = 0,856$ detik
 - $V_{\text{dinamik X}} = 27252,416$ kN
- Beban gempa arah Y
 - $T_y = 0,851$ detik
 - $V_{\text{dinamik Y}} = 27426,491$ kN

c) Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat (*Story Drift*) sudah sesuai persyaratan. Simpangan maksimal antar tingkat yang terjadi yakni:

- $\text{Story Drift X} = 29,22 \text{ mm} < 0,01 h / \rho = 31,38 \text{ mm}$
- $\text{Story Drift Y} = 28,33 \text{ mm} < 0,01 h / \rho = 31,38 \text{ mm}$

d) Pengecekan Efek P-Delta

Efek P-Delta yang sudah dicek dari struktur menandakan bahwasanya tak terpengaruhnya struktur akibat efek P-Delta.

e) Pengecekan Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan torsi yang sudah dicek menandakan bahwasanya tak terdapat ketidakberaturan torsi horizontal dan vertikal arah X dan Y.

3. Hasil analisis perolehan gaya dalam dengan memakai bantuan program ETABS, antara lain:

a) Pelat

Dimensi pelat 5000 x 4000 mm dengan tebal 125 mm

- M_{max} akibat $M_{11 \text{ max}} = 7,963$ kN-m
- M_{min} akibat $M_{11 \text{ min}} = -7,562$ kN-m
- M_{max} akibat $M_{22 \text{ max}} = 13,829$ kN-m
- M_{min} akibat $M_{22 \text{ min}} = -10,441$ kN-m
- $V_u = 8,528$ kN

b) Balok

Dimensi balok G1 350 x 700 mm

- | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -446,147 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 100,924 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 191,437 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -106,202 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 177,178 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 282,993 kN-m | ▪ T_u | = 38,6357 kN-m |

Dimensi balok G2 300 x 600 mm

- | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -421,635 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 43,178 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 243,521 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -102,348 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 235,356 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 347,847 kN-m | ▪ T_u | = 59,4201 kN-m |

Dimensi balok G3 300 x 500 mm

- | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|---------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -140,923 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 55,505 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 72,166 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -47,826 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 65,777 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 65,982 kN-m | ▪ T_u | = 0,7780 kN-m |

Dimensi balok G4 300 x 400 mm

- | | | | |
|----------------------|-----------------|------------------|----------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -125,396 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 22,665 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 89,223 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -48,059 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 85,879 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 104,255 kN-m | ▪ T_u | = 56,7762 kN-m |

Dimensi balok B1 250 x 700 mm

- | | | | |
|----------------------|----------------|------------------|---------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -90,624 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 74,321 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 58,291 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -13,475 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 52,375 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 30,811 kN-m | ▪ T_u | = 3,9250 kN-m |

Dimensi balok B2 200 x 400 mm

- | | | | |
|----------------------|----------------|------------------|---------------|
| ▪ M_u tumpuan (-) | = -62,855 kN-m | ▪ P_u | = 0 kN |
| ▪ M_u tumpuan (+) | = 56,142 kN-m | ▪ V_u tumpuan | = 28,317 kN |
| ▪ M_u lapangan (-) | = -25,685 kN-m | ▪ V_u lapangan | = 24,783 kN |
| ▪ M_u lapangan (+) | = 34,884 kN-m | ▪ T_u | = 2,0636 kN-m |

c) Kolom

Dimensi kolom K1 900 x 900 mm

- P_u atas kolom = 5185,768 kN
- P_u desain kolom = 5998,853 kN
- V_u desain kolom = 99,765 kN
- P_u bawah kolom = 0 kN

Dimensi kolom K2 800 x 800 mm

- P_u atas kolom = 3571,404 kN
- P_u desain kolom = 4369,673 kN
- V_u desain kolom = 76,310 kN
- P_u bawah kolom = 5185,768 kN

Dimensi kolom K3 700 x 700 mm

- P_u atas kolom = 1989,779 kN
- P_u desain kolom = 2771,919 kN
- V_u desain kolom = 79,296 kN
- P_u bawah kolom = 3571,404 kN

Dimensi kolom K4 600 x 600 mm

- P_u atas kolom = 468,957 kN
- P_u desain kolom = 1208,010 kN
- V_u desain kolom = 67,247 kN
- P_u bawah kolom = 1989,779 kN

d) Dinding Geser

Dimensi dinding geser 300 x 8000 mm

Gaya dalam ditunjukkan oleh Tabel 4.73 sebagai berikut:

Tabel 4. 73. Gaya Dalam Dinding Geser

Kondisi	Gaya Aksial – Lentur			Gaya Geser	
	P (kN)	M_2 (kNm)	M_3 (kNm)		
P_{max}	-67,337	370,750	1767,413	V_2 (kN)	16661,427
P_{min}	-6871,119	-338,618	99623,873		
M_2_{Max}	-1475,380	626,774	85146,235		
M_2_{Min}	-5959,642	-610,538	-91932,849	V_3 (kN)	253,944
M_3_{Max}	-1866,876	373,411	99631,198		
M_3_{Min}	-1149,415	103,398	-105922,251		

4. Hasil perancangan berupa desain elemen struktur penopang beban gempa dan beban gravitasi sebagai berikut:

a) Pelat

Rekapitulasi hasil penulangan pelat beton pada perancangan ditunjukkan oleh Tabel 4.74.

Tabel 4. 74. Rekapitulasi Hasil Tulangan Pelat

Pelat	L_x (m)	L_y (m)	Arah	Tumpuan		Lapangan	
				Atas	Bawah	Atas	Bawah
S1	5	4	X	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150
			Y	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150
S2	5	4	X	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150
			Y	D10-150	D10-150	D10-150	D10-150

b) Balok

Rekapitulasi hasil penulangan balok pada perancangan ditunjukkan oleh Tabel 4.75.

Tabel 4. 75. Rekapitulasi Tulangan Balok

Balok Kode	Dimensi (cm)	Lokasi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tul. Torsi
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
G1	35 × 70	Atas	6 D22	3 D22	3D10-100	2D10-150	2 D16
		Bawah	3 D22	4 D22			
G2	30 × 60	Atas	6 D22	2 D22	2D10-100	2D10-100	2 D16
		Bawah	3 D22	5 D22			
G3	30 × 50	Atas	4 D19	2 D19	2D10-100	2D10-150	2 D16
		Bawah	2 D19	3 D19			
G4	30 × 40	Atas	4 D19	2 D19	2D10-100	2D10-150	-
		Bawah	2 D19	3 D19			
B1	25 × 70	Atas	4 D16	2 D16	2D10-100	2D10-150	2 D13
		Bawah	3 D16	2 D16			
B2	20 × 40	Atas	3 D16	2 D16	2D10-100	2D10-100	-
		Bawah	3 D16	2 D16			

c) Kolom

Rekapitulasi hasil penulangan kolom pada perancangan tercantum pada Tabel 4.76.

Tabel 4. 76. Rekapitulasi Tulangan Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi Kolom	Tulangan Pokok	Tulangan Geser	
				Tumpuan	Lapangan
1	K1	900 × 900	24 D22	6 D13-100	6 D13-150
2	K2	800 × 800	20 D22	5 D13-100	5 D13-150
3	K3	700 × 700	20 D19	6 D10-100	6 D10-150
4	K4	600 × 600	16 D19	6 D10-100	6 D10-150

d) Dinding Geser

Rekapitulasi hasil penulangan dinding geser pada perancangan tercantum di Tabel 4.77.

Tabel 4. 77. Rekapitulasi Hasil Tulangan Dinding Geser

Tulangan Kolom	
Longitudinal	24 D22
Transversal (Sejajar Lebar)	6 D13-100
Transversal (Sejajar Panjang)	6 D13-100
Tulangan Badan	
Longitudinal	2 D25-150
Transversal	2 D25-150
Elemen Batas Khusus (Sejajar Lebar)	5 D13-100
Elemen Batas Khusus (Sejajar Panjang)	5 D13-100

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari laporan tugas akhir “Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung Pendidikan 8 Lantai di Gunungpati Semarang” dimana menggunakan studi kasus pada Gedung Fakultas Farmasi Universitas Wahid Hasyim Semarang dari 3 lantai yang dirancang ulang menjadi 8 lantai berdasarkan bahasan hasil analisis dan perancangan sebelumnya, antara lain:

1. Dari analisis yang sudah dilakukan berdasarkan nilai $S_{DS} \geq 0,50$ dan $S_{D1} \geq 0,20$ didapatkan KDS D dimana dalam penggunaan dinding geser beton bertulang khusus tidak dibatasi, syarat simpangan antar tingkat memenuhi, dan syarat *frame* memikul 25% gaya lateral memenuhi yaitu dengan menggunakan struktur Sistem Ganda (SRPMK dan Dinding Geser) dengan ditambahkan kolom keliling di bagian terluar bangunan.
2. Respon struktur yang diperoleh dari parameter desain dengan risiko kategori IV dan 1,5 yakni faktor keutamaan gempa menggunakan klasifikasi situs tanah sedang. Struktur mengalami translasi pada arah X pada ragam 1 dan struktur mengalami translasi pada arah Y pada ragam 2. Periode getar yang diperoleh yaitu periode minimum (T_{min}) yakni 0,666 detik, periode maksimum (T_{max}) yakni 0,933 detik, dan periode yang digunakan yaitu T_x (0,856 detik) dan T_y (0,851 detik). Kontrol simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat dimana simpangan terbesar arah X yakni 29,22 mm dan arah Y yakni 28,33 mm kurang dari batas izinnya 31,38 mm. Efektivitas struktur gaya lateral yang ditahan rangka pemikul momen (*frame*) pada arah X yakni 49,43 % dan pada arah Y yakni 49,68 %, maka *frame* mampu menahan minimal 25% gaya lateral berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 12.
3. Dari analisis perhitungan dimensi dan penulangan pada struktur yang memenuhi persyaratan didapatkan hasil:
 - Pelat lantai yang terbesar dimensinya dengan tebal 125 mm diperoleh lendutan total (δ_{LT}) yakni 8,244 mm < batas lendutan maksimum ($L_x/240$)

yakni 20,833 mm sudah memenuhi syarat sesuai SNI 2847:2019 Tabel 24.2.2 menggunakan tulangan D10-150.

- Perancangan balok dengan dimensi yang terbesar didapatkan syarat penulangan lentur ϕM_n^+ tumpuan $> 1/2 \phi M_n^-$ yakni $301,06 > 291,43$ (kNm) dan ϕM_n^+ lapangan $> 1/4 \phi M_{n \max}$ yakni $282,99 > 145,72$ (kNm) sudah memenuhi syarat menurut SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1 dan syarat penulangan geser $\phi V_n / V_u > 1$ yakni $2,51 > 1$ sudah memenuhi syarat menurut SNI 2847:2019 Pasal 22.5 menggunakan tulangan tumpuan atas 6 D22 dan tulangan lapangan bawah 4 D22.
- Perancangan kolom dengan dimensi yang terbesar didapatkan syarat kekuatan lentur kolom $(\sum M_{nc}) / \text{kekuatan lentur balok } (\sum M_{nb}) > 1,2$ yakni $6,24 > 1,2$ sudah memenuhi syarat sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2 menggunakan tulangan pokok 24 D22 dan tulangan geser 6 D13-100.
- Dinding geser dengan tebal 300 mm didapatkan $V_u = 16661,427 \text{ kN} < \phi V_n = 20504,748 \text{ kN}$ sudah memenuhi syarat sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.10 menggunakan tulangan badan 2 D25-150 dengan tulangan elemen batas khusus 5 D13-100.

5.2. Saran

Saran yang diperoleh sesuai dengan pembahasan hasil analisis dan perancangan sebelumnya, antara lain:

1. Struktur bangunan gedung yang dirancang lebih baik mengikuti perkembangan standar SNI yang terbaru dikarenakan standar SNI terbaru menyesuaikan dengan kondisi dan teknologi pada saat itu sehingga nantinya menghasilkan struktur yang selalu memenuhi standar SNI terbaru.
2. Perhitungan struktur bangunan gedung yang menggunakan program ETABS dan sebagainya lebih baik disertakan dengan perhitungan secara manual agar dapat menghindari adanya kesalahan dalam penginputan data pada program atau kurangnya pengetahuan terhadap program yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmadja, H. S., & Maulana, S. A. (2017). *Redesign Gedung Training Centre II Universitas Diponegoro Kota Semarang*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).
- Budiono, Bambang dkk. (2017). *Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa*. Bandung: ITB Press.
- Fadli, M. H. (2015). *Aplikasi ETABS pada Perancangan Gedung 15 Lantai dengan Struktur Beton Bertulang Menggunakan Sistem Ganda (Dual System) Sebagai Penahan Beban Gempa Sesuai Standard Code SNI 1726:2012*. Jakarta, Indonesia.
- Musthofa, E., & Fasikhullisan. (2019). *Perencanaan Gedung Enam Tingkat Rumah Sakit Royal Biringkanaya di Makasar Berdasarkan SNI 1726-2012*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).
- Nasional, B. S. (2019). *SNI 1726-2019 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 693.
- Nasional, B. S. (2019). *SNI 2847-2019 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 694.
- Nasional, B. S. (2020). *SNI 1727-2020 : Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 235.
- PU, Puskim. (2021). *Spektra Desain Indonesia*. <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>
- Putra, Rozy B. A. & Budiyanto, S. (2022). *Redesain Struktur Gedung Dua Belas Lantai Berdasarkan SNI 1726-2019 (Studi pada Struktur Gedung FT-MIPA UNIMUS Semarang)*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).
- Reza, Alif Muhammad. (2021, 13 Januari). *Penulangan Balok*. 8 Minutes Learn, <https://youtu.be/iWj6L-jefoU>
- Reza, Alif Muhammad. (2021, 27 Januari). *Penulangan Dinding Geser*. 8 Minutes Learn, <https://youtu.be/OvmMcXg0hVU>
- Reza, Alif Muhammad. (2022, 1 September). *Desain Penulangan Lentur Pelat*. 8 Minutes Learn, <https://youtu.be/q7AhrEsfZOE>
- Setiawan, Agus. (2020, 16 Juli). *Desain Kolom SRPMK #1 Sesuai SNI Beton Terbaru*. Agus Setiawan, https://youtu.be/Uyu_sS2Ixpw
- Setiawan, Agus. (2020, 29 Juli). *Bagaimana Cara Mendesain Kolom SRPMK ? #2 Contoh Soal*. Agus Setiawan, <https://youtu.be/GEF6-xvf3Ks>
- Sofian, A., & Arrosyid, A. (2019). *Analisis Perbandingan Sistem Ganda dan Sistem Rangka Pemikul Khusus pada Desain Struktur Gedung Asrama Mahasiswa Unimus di Semarang*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung).