

TUGAS AKHIR
PERANCANGAN ULANG STRUKTUR GEDUNG KANTOR
PEMERINTAHAN TERPADU KABUPATEN BREBES

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan
Pendidikan Program Sarjana (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh :

Devi Astari Damayanti
NIM : 30201800041

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

2022

LEMBAR PENGESAHAN
PERANCANGAN ULANG STRUKTUR GEDUNG KANTOR
PEMERINTAHAN TERPADU KABUPATEN BREBES



Devi Astari Damayanti

NIM : 30201800041

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 31 Januari 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

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

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 22/A.2/SA-T/I/2023

Pada hari ini tanggal 10 Januari 2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping :

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

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

Devi Astari Damayanti

NIM : 30201800041

Judul : Perancangan Ulang Struktur Gedung Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes

Dengan tahapan sebagai berikut:

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan Dosen Pembimbing	15 Februari 2022	-
2	Seminar Proposal	20 April 2022	ACC
3	Pengumpulan Data	15 Mei 2022	-
4	Analisis data	Juni 2022	-
5	Penyusunan Laporan	Juni 2022	-
6	Selesai laporan	30 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

Dosen Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. H Sumirin, MS

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

Mengetahui,
Ketua Program Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang betanda tangan dibawah ini:

NAMA : Devi Astari Damayanti

NIM : 30201800041

JUDUL TUGAS AKHIR : Perancangan Ulang Struktur Gedung Pemerintahan
Terpadu Kabupaten Brebes

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 atau ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung.

Demikian surat pernyataan ini saya buat.

Semarang, Januari 2023

Yan taan,

Devi Astari Damayanti

NIM : 30201800041

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Devi Astari Damayanti

NIM : 30201800041

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

PERANCANGAN ULANG STRUKTUR GEDUNG KANTOR PEMERINTAHAN
TERPADU KABUPATEN BREBES

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, 31 Januari 2023

Yai :taan,

F2B90AKX290915999

Devi Astari Damayanti

NIM : 30201800041



MOTTO

"Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) 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 Imran: 110)

"dan Dia memberinya rezeki dari arah yang tidak disangka-sangkanya. Dan barang siapa bertawakal kepada Allah, niscaya Allah akan mencukupkan (keperluan) nya. Sesungguhnya Allah melaksanakan urusan-Nya. Sungguh Allah telah mengadakan ketentuan bagi setiap sesuatu." (Q.S. At-Talaq: 3)

"Allah sesuai dengan prasangka hamba-Nya. Allah bersamanya ketika ia mengingat Allah. Jika ia mengingat-Nya saat sendirian, Allah akan mengingatnya dalam diri-Nya. Jika dia mengingat-Nya di suatu kumpulan, Allah akan mengingatnya di kumpulan yang lebih baik daripada itu (kumpulan malaikat). Jika ia mendekat kepada-Nya sejengkal, Allah akan mendekat kepadanya sehasta. Jika ia mendekat kepada-Nya sehasta, Allah akan mendekat kepadanya sedepa. Jika ia datang kepada-Nya dengan berjalan (biasa), maka Allah mendatangnya dengan berjalan cepat" (H.R. Bukhari : 6970 dan H.R. Muslim : 2675)

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya , Bapak Mudiyono dan Ibu Suprihatin, kakak dan adik saya , serta keluarga besar saya yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS dan Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D selaku dosen pembimbing saya yang telah sabar dalam membimbing saya dalam proses penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
3. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu-ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
4. Keluarga Besar Bapak Joko Sutrisno yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
5. Keluarga besar Bapak MB Setyo Wahyudi yang telah memberikan kasih sayang, do'a, serta dukungan positif dalam hal apapun termasuk penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
6. Saudara Andhika Arafat Brilianto Setyo Wahyudi selaku teman dekat saya yang selalu memberikan kasih sayang dan selalu memberikan dukungan positif dalam hal apapun termasuk penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
7. Saudara Riski Widiya Irawan, ST, selaku kakak tingkat yang telah membimbing dan mengajarkan ilmu yang bermanfaat selama pengerjaan laporan.
8. Teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 18, dan keluarga besar UNISSULA.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah kita panjatkan pui syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya. Tuhan semesta alam yang karena ridho-Nya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "PERANCANGAN ULANG GEDUNG KANTOR PEMERINTAHAN TERPADU KABUPATEN BREBES". Shalawat serta salam semoga tetap terlimpah curahkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW. beserta para sahabatnya RA.

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang. Dengan selesainya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan pihak yang telah memberikan masukan-masukan kepada Penulis. Untuk penyusunan Tugas Akhir ini Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Yth. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik UNISSULA.
2. Yth. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M. Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UNISSULA atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan.
3. Yth. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS., selaku Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.
4. Yth. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, MT., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 2 Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.
5. Orang tua, keluarga serta sahabat-sahabat dari Penulis atas dukungan dan serta bantuan yang diberikan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih banyak kekurangan-kekurangan dari segi kualitas dan kuantitas maupun dari ilmu pengetahuan yang Penyusun kuasai. Oleh karena itu, penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan laporan tugas kedepannya dan semoga bermanfaat bagi institusi pendidikan untuk kedepannya.

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Semarang, Januari 2023

Penyusun



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMBANG DAN NOTASI	xxiii
ABSTRAK	xxvii
<i>ABSTRACT</i>	xxviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Tugas Akhir	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2. 1. Umum.....	4
2. 2. Sistem Struktur Tahan Gempa.....	4
2. 3. Sistem Ganda (<i>Dual System</i>)	5

2. 4. Elemen Struktur	5
2.4.1. Balok	5
2.4.2. Kolom.....	8
2.4.3. Pelat.....	12
2.4.4. Dinding Geser	13
2.4.5. Hubungan Balok Kolom.....	16
2. 5. Pembebanan.....	17
2.5.1. Beban Mati	17
2.5.2. Beban Hidup	17
2.5.3. Beban Gempa.....	18
2.5.3.1. Kategori Risiko Bangunan.....	19
2.5.3.2. Faktor Keutamaan Gempa	20
2.5.3.3. Klasifikasi Situs	20
2.5.3.4. Parameter Percepatan Gempa Terpetakan (S_s dan S_1)	20
2.5.3.5. Koefisien Situs (F_a dan F_v).....	22
2.5.3.6. Parameter Respons Gempa	23
2.5.3.7. Penentuan Nilai S_{Ds} dan S_{D1}	23
2.5.3.8. Penentuan Nilai T_0 dan T_s	24
2.5.3.9. Penentuan Nilai S_a	24
2.5.3.10. Periode Waktu Getar Alami Fundamental (T)	25
2.5.3.11. Koefisien Respon Seismik (C_s)	26
2.5.3.12. Kontrol Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>)	26
2.5.3.13. Kontrol Simpangan Antar Lantai (<i>Drift</i>)	27
2.5.3.14. Eksentrisitas dan Torsi	27
2.5.4. Kombinasi Pembebanan	29
BAB III METODOLOGI	31
3.1. Pendahuluan.....	31
3.2. Pengumpulan Data	31
3.3. <i>Standart</i> Yang Digunakan	33

3.4	<i>Preliminary Design</i>	33
3.5	Perancangan Struktur Primer	35
3.6	Perhitungan Pembebanan	35
3.7	Perancangan Struktur Sekunder	36
3.8	Aplikasi Yang Digunakan	36
3.9	Analisis dan Permodelan Struktur.....	36
3.10	Diagram Alir Perancangan	57
BAB IV PERANCANGAN.....		59
4.1.	<i>Preliminary Design</i>	59
4.1.1.	Data Umum.....	59
4.1.2.	<i>Preliminary Design</i> Balok.....	61
4.1.2.1.	Dimensi Balok Induk	61
4.1.2.2.	Dimensi Balok Anak	62
4.1.3.	<i>Preliminary Design</i> Pelat Lantai.....	63
4.1.4.	<i>Preliminary Design</i> Kolom.....	71
4.1.5.	<i>Preliminary Design</i> Dinding Geser.....	73
4.2.	Permodelan Struktur Sistem Ganda	74
4.3.	Pembebanan Struktur	75
4.3.1.	Beban Mati Struktural.....	75
4.3.2.	Beban Mati Tambahan	76
4.3.3.	Beban Hidup.....	76
4.3.4.	Parameter gempa.....	76
4.3.5.	Beban Gempa Rencana	77
4.3.6.	Hasil Analisa Struktur	83
4.3.7.	Kombinasi Pembebanan	112
4.4.	Perhitungan Struktur Sekunder	113
4.4.1.	Perancangan Tangga	113
4.4.2.	Perhitungan Balok Bordes	128

4.4.3. Perancangan Pelat	137
4.4.3.1. Data Perancangan.....	137
4.4.3.2. Pelat Lantai	138
4.4.3.3. Perhitungan Rasio Tulangan.....	139
4.4.3.4. Pembebanan Pelat	140
4.4.3.5. Perhitungan Momen Pada Pelat	141
4.4.3.6. Perhitungan Tinggi Efektif Pelat.....	142
4.4.3.7. Perhitungan Tulangan Pelat.....	142
4.4.4. Perancangan Balok Anak	155
4.4.4.1 Data Perancangan Balok Anak	156
4.4.4.2 Perhitungan Tulangan Lentur	157
4.4.4.3 Perhitungan Tulangan Geser.....	164
4.5.1.1 Perhitungan Tulangan Torsi.....	171
4.5. Perhitungan Struktur Primer	173
4.5.1. Desain Penulangan Balok.....	173
4.5.1.1 Data Perancangan Balok Induk.....	173
4.5.1.2 Syarat Gaya Aksial dan Geometri Balok.....	174
4.5.1.3 Perhitungan Tulangan Lentur	176
4.5.1.4 Perhitungan Tulangan Geser.....	182
4.5.1.5 Perhitungan Tulangan Torsi.....	190
4.5.2. Desain Penulangan Kolom	191
4.5.2.1. Data Perancangan.....	191
4.5.2.2. Cek Syarat Gaya Aksial Dan Geometri Kolom	193
4.5.2.3. Penulangan Lentur	194
4.5.2.4. Kontrol <i>Strong Column Weak Beam</i>	199
4.5.2.5. Perhitungan Tulangan <i>Confinement</i>	200
4.5.2.6. Penulangan Geser.....	204
4.5.3. Perancangan Hubungan Balok Kolom	208
4.5.3.1. Pengecekan Syarat Panjang <i>Joint</i>	208
4.5.3.2. Penggunaan Tulangan Transversal Untuk <i>Confinement</i>	208

4.5.3.3. Perhitungan M_u Pada <i>Joint</i>	209
4.5.3.4. Perhitungan Gaya Geser Pada Kolom.....	209
4.5.3.5. Perhitungan Gaya Pada Tulangan Balok Longitudinal	209
4.5.3.6. Perhitungan Gaya Geser Pada <i>Joint</i>	209
4.5.3.7. Pengecekan Kuat Geser <i>Joint</i>	210
4.5.4. Desain Penulangan Dinding Geser.....	211
4.5.4.1. Data Perancangan.....	211
4.5.4.2. Perancangan Geometri Dinding Geser	212
4.5.4.3. Kebutuhan Tulangan Minimum	212
4.5.4.4. Pengecekan Gaya Aksial –Lentur	213
4.5.4.5. Pengecekan Kapasitas Geser	215
BAB V PENUTUP	217
5.1. Kesimpulan.....	217
5.2. Saran.....	219
DAFTAR PUSTAKA	220
LAMPIRAN	222



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di Antara Tumpuan pada Semua Sisinya.....	13
Tabel 2.2 Jenis Pembebanan Untuk Beban Hidup	18
Tabel 2.3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa.....	19
Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gempa	20
Tabel 2.5 Klasifikasi Situs.....	20
Tabel 2.6 Koefisien Situs F_a	22
Tabel 2.7 Koefisien Situs F_v	22
Tabel 2.9 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur	29
Tabel 2.10 Kombinasi Beban	30
Tabel 4.1. Rekapitulasi Dimensi Balok.....	63
Tabel 4.2 Rekapitulasi Ketebalan Pelat Lantai.....	70
Tabel 4.3. Rekapitulasi Dimensi Kolom	73
Tabel 4.5 Data Respon Spektral	78
Tabel 4.6 Kategori Desain Seismik Periode Pendek.....	79
Tabel 4.7 Kategori Desain Seismik Periode 1 Detik.....	79
Tabel 4.8 Parameter Sistem Struktur	80
Tabel 4.9 Nilai Parameter Periode Pendekatan	81
Tabel 4.10 Koefisien Batas Atas Periode	82
Tabel 4.11 <i>Modal Load Participation Ratios</i>	83
Tabel 4.12 <i>Modal Participating Mass Ratios</i> (Berlanjut)	83
Tabel 4.12 <i>Modal Participating Mass Ratios</i> (Lanjutan).....	84
Tabel 4.13 Berat Struktur Tiap Lantai	86
Tabel 4.14 Distribusi Gaya Gempa Statik Ekuivalen Arah X Tiap Lantai	88
Tabel 4.15 Distribusi Gaya Gempa Statik Ekuivalen Arah Y Tiap Lantai	88

Tabel 4.16 Gaya Geser Statik Tiap Lantai	89
Tabel 4.17 <i>Base Reaction</i> Berdasarkan <i>ASCE 7-16 Time Period Program Calculated</i>	90
Tabel 4.18 <i>Base Reaction</i> Berdasarkan <i>ASCE 7-16 Time Period User Defined</i>	90
Tabel 4.19 Perbandingan Nilai <i>Base Shear</i> Statik	90
Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Respon Spektrum Desain (Berlanjut).....	91
Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Respon Spektrum Desain (Lanjutan)	92
Tabel 4.21 Gaya Geser Dinamik.....	93
Tabel 4.22 Gaya Geser Dinamik – X Tiap Lantai (Berlanjut).....	93
Tabel 4.22 Gaya Geser Dinamik – X Tiap Lantai (Lanjutan)	94
Tabel 4.23 Gaya Geser Dinamik – Y Tiap Lantai (Berlanjut).....	94
Tabel 4.23 Gaya Geser Dinamik – Y Tiap Lantai (Lanjutan)	95
Tabel 4.24 Gaya Geser Statik dan Dinamik Tiap Lantai.....	95
Tabel 4.25 Relasi Gaya Gempa Statik dan Dinamik.....	95
Tabel 4.26 Koreksi Gaya Geser Dinamik.....	96
Tabel 4.27 Gaya Gempa Desain	97
Tabel 4.29 Simpangan Maksimum Lantai Akibat Gempa <i>Ex</i>	98
Tabel 4.30 Simpangan Maksimum Lantai Akibat Gempa <i>Ey</i>	99
Tabel 4.31 Simpangan Antar Tingkat Ijin.....	100
Tabel 4.32 Simpangan Antar Tingkat Ijin X- <i>Dir</i>	101
Tabel 4.33 Simpangan Antar Tingkat Ijin Y- <i>Dir</i> (Berlanjut).....	101
Tabel 4.33 Simpangan Antar Tingkat Ijin Y- <i>Dir</i> (Lanjutan).....	102
Tabel 4.34 <i>Output</i> Beban <i>P (Gravity)</i> (Berlanjut)	102
Tabel 4.34 <i>Output</i> Beban <i>P (Gravity)</i> (Lanjutan).....	103
Tabel 4.35 Rekapitulasi Kestabilan Pengaruh P-Delta Arah X	104
Tabel 4.36 Rekapitulasi Kestabilan Pengaruh P-Delta Arah Y (Berlanjut)	104
Tabel 4.36 Rekapitulasi Kestabilan Pengaruh P-Delta Arah Y (Lanjutan)	105

Tabel 4.37 Data Eksentrisitas Torsi Bawaan.....	105
Tabel 4.38 Data Eksentrisitas Torsi Tak Terduga.....	106
Tabel 4.39 Nilai Dari $\delta_{\max}$, δ_{avg} dan A_x untuk Gempa Arah X.....	107
Tabel 4.40 Nilai Dari $\delta_{\max}$, δ_{avg} dan A_x untuk Gempa Arah Y	108
Tabel 4.41 <i>Joint Reactions</i> Akibat Gempa Arah X (Berlanjut).....	109
Tabel 4.41 <i>Joint Reactions</i> Akibat Gempa Arah X (Lanjutan)	110
Tabel 4.42 <i>Joint Reactions</i> Akibat Gempa Arah Y.....	111
Tabel 4.43 Rekapitulasi Tulangan Pelat Lantai	155
Tabel 4.44 Momen Ultimit <i>Envelope</i> Tumpuan Lapangan Balok B3 30 x 50	158
Tabel 4.45 Gaya Geser Ultimit Desain Tumpuan Balok B3 30 x 50.....	165
Tabel 4.46 Rekapitulasi Desain Penulangan Balok Anak.....	172
Tabel 4.47 Momen Ultimit <i>Envelope</i> Tumpuan – Lapangan B1 40 x 60.....	177
Tabel 4.48 Gaya Geser Ultimit Desain Tumpuan Balok B1 40 x 60.....	184
Tabel 4.49 Rekapitulasi Desain Penulangan Balok Induk	191
Tabel 4.50 Momen <i>Envelope</i> Kolom K1	193
Tabel 4.51 <i>Factored Loads and Moment with Corresponding capacities</i>	199
Tabel 4.52 Rekapitulasi Desain Penulangan Kolom.....	208
Tabel 4.53 Gaya Dalam <i>Envelope Max – Min Pier 6</i>	211

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Detail Senggang Balok.....	7
Gambar 2.2 Gaya Geser Desain Untuk Balok.....	8
Gambar 2.3 Detail Senggang Kolom	11
Gambar 2.4 Gaya Geser Desain Untuk Kolom.....	11
Gambar 2.5 S_s Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)	21
Gambar 2.6 S_1 Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)	21
Gambar 2.7 Desain Respon Spektrum	24
Gambar 2.8 Faktor Pembesaran Torsi, A_x	28
Gambar 3.1 Denah <i>Basement</i> Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes	32
Gambar 3.2 Tampilan Lembar Kerja Program ETABS V18.....	37
Gambar 3.3 <i>Setting Initialization Options</i>	37
Gambar 3.4 <i>Model Grid</i>	38
Gambar 3.5 <i>Grid X dan Y</i>	39
Gambar 3.6 <i>Grid dan Story</i>	39
Gambar 3.7 <i>Input Data Material</i>	40
Gambar 3.8 Pemilihan Bentuk Dan Material Kolom.....	41
Gambar 3.9 <i>Input Dimensi Dan Material Kolom</i>	42
Gambar 3.10 <i>Input Dimensi Tulangan Kolom</i>	42
Gambar 3.11 <i>Input Safety Factor Momen Inersia Kolom</i>	43
Gambar 3.12 <i>Input Dimensi Dan Material Balok</i>	44
Gambar 3.13 <i>Input Material Tulangan Balok</i>	44
Gambar 3.14 <i>Input Safety Factor Momen Inersia Balok</i>	45
Gambar 3.15 <i>Input Dimensi Dan Material Pelat Lantai</i>	46
Gambar 3.16 <i>Input Dimensi Dan Material Pelat Atap</i>	46

Gambar 3.17 <i>Input Safaety Factor</i> Momen Inersia Pelat Lantai	47
Gambar 3.18 <i>Plan View Basement</i>	48
Gambar 3.19 <i>Plan View</i> Lantai 1	49
Gambar 3.20 <i>Plan View</i> Lantai 2	50
Gambar 3.21 <i>Plan View</i> Lantai 3	51
Gambar 3.22 <i>Plan View</i> Lantai 4	52
Gambar 3.23 <i>Plan View</i> Lantai 5	53
Gambar 3.24 <i>Plan View Top Floor</i>	54
Gambar 3.24 <i>Plan 3D View</i>	55
Gambar 3.24 <i>Input</i> Beban Mati	56
Gambar 3.25 <i>Input</i> Beban Mati	57
Gambar 3.26 Diagram Alir Perancangan	58
Gambar 4.1 Denah Lantai <i>Basement</i>	60
Gambar 4.2 Balok Induk (B1)	61
Gambar 4.3 Balok Anak (B3).....	62
Gambar 4.4. Pelat Lantai Tipe A	63
Gambar 4.5. Potongan Melintang Balok B1.....	64
Gambar 4.6. Potongan Melintang Balok B4.....	66
Gambar 4.7. Potongan Melintang B2 dan B3.....	68
Gambar 4.8 Permodelan Sistem Ganda.....	75
Gambar 4.9 Parameter Kelas Situs SE (Tanah Lunak)	77
Gambar 4.10 Grafik Respon Spektrum Desain	92
Gambar 4.11 Simpangan Maksimum Akibat Gempa <i>Ex</i>	97
Gambar 4.12 Simpangan Maksimum Akibat Gempa <i>Ey</i>	98
Gambar 4.13 Denah Tangga.....	114
Gambar 4.14 Potongan Tangga	114

Gambar 4.15 Ketebalan Tangga	115
Gambar 4.16 Beban Pada Tangga.....	116
Gambar 4.17 Bidang Normal.....	118
Gambar 4.18 Bidang Lintang	118
Gambar 4.19 Bidang Momen	119
Gambar 4.20 Tinggi Efektif Pelat Tangga.....	119
Gambar 4.21 Tinggi Efektif Pelat Bordes	123
Gambar 4.22 Penulangan Pelat Tangga dan Pelat Bordes.....	127
Gambar 4.23 Detail Potongan Balok Bordes.....	137
Gambar 4.24 Denah Pelat Lantai 1	138
Gambar 4.25 Pelat Tipe A.....	138
Gambar 4.26 Pelat Tipe C.....	139
Gambar 4.27 Detail Tulangan Pelat Dua Arah	148
Gambar 4.28 Detail Tulangan Pelat Satu Arah.....	155
Gambar 4.29 Denah Balok Lantai 1.....	156
Gambar 4.30 Penampang Balok Anak	157
Gambar 4.31 <i>Output Mu Tumpuan Kiri Balok Anak B5 30 x 50</i>	157
Gambar 4.32 <i>Output Mu Lapangan Balok Anak B5 30 x 50</i>	157
Gambar 4.33 <i>Output Mu Tumpuan Kanan Balok Anak B5 30 x 50</i>	158
Gambar 4.34 <i>Output Vu Tumpuan Balok B3</i>	164
Gambar 4.35 <i>Output Vu Kombinasi $W_u = 1,2 DL + 1 LL$ Tumpuan Kanan Balok B3</i>	165
Gambar 4.36 <i>Output Vu Kombinasi $W_u = 1,2 DL + 1 LL$ Tumpuan Kiri Balok B3</i>	165
Gambar 4.37 <i>Output Nilai Torsi Balok B3</i>	171
Gambar 4.38 Detail Balok Anak B3	172
Gambar 4.39 Letak Balok B1 40/60	174
Gambar 4.40 <i>Output Mu Tumpuan Kiri Balok B1 40 x 60</i>	176

Gambar 4.41 Output M_u Lapangan Balok B1 40 x 60.....	176
Gambar 4.42 Output M_u Tumpuan Kanan Balok B1 40 x 60	176
Gambar 4.43 Output V_u Tumpuan Balok B1	182
Gambar 4.44 Output V_u Kombinasi $W_u = 1,2 \text{ DL} + 1 \text{ LL}$ Tumpuan Kanan Balok B1	183
Gambar 4.45 Output V_u Kombinasi $W_u = 1,2 \text{ DL} + 1 \text{ LL}$ Tumpuan Kiri Balok B1	183
Gambar 4.46 Output Nilai Torsi Balok B1.....	190
Gambar 4.47 Detail Penulangan Balok B1.....	191
Gambar 4.48 Output Gaya Aksial Kolom K1.....	192
Gambar 4.49 Output Gaya M_3 dan V_2	192
Gambar 4.50 Output Gaya M_2 dan V_3	193
Gambar 4.51 Jendela Perintah Program <i>SpColumn</i>	194
Gambar 4.52 General Information Program <i>SpColumn</i>	195
Gambar 4.53 Material Properties Program <i>SpColumn</i>	195
Gambar 4.54 <i>Rectangular Section</i> Program <i>SpColumn</i>	196
Gambar 4.55 Tampilan <i>All Sides Equal Section</i> Program <i>SpColumn</i>	196
Gambar 4.56 <i>Factored Loads</i>	197
Gambar 4.57 Penampang Kolom.....	197
Gambar 4.58 Diagram Interaksi Kolom K1	198
Gambar 4.59 Momen Nominal Kolom dan Balok.....	200
Gambar 4.60 Momen Nominal Kolom dan Gaya Geser Kolom.....	205
Gambar 4.61 Detail Penulangan Kolom K1	207
Gambar 4.62 Detail Tulangan Tumpuan Kolom K1	207
Gambar 4.63 Detail Tulangan Lapangan Kolom K1	207
Gambar 4.64 Hubungan Balok-Kolom	210
Gambar 4.65 Penampang Dinding Geser	211
Gambar 4.66 Diagram Interaksi Dinding Geser	214

Gambar 4.67 Hasil Analisis Interaksi Dinding Geser	214
Gambar 4.68 Detail Penulangan Dinding Geser.....	216
Gambar 4.69 Detail Potongan Penulangan Dinding Geser	216



DAFTAR LAMBANG DAN NOTASI

$\emptyset$	=	Faktor reduksi
λ	=	Faktor reduksi normal tekan
Δ	=	Simpangan antar tingkat desain
Δ_i	=	Simpangan Tiap Lantai (mm)
ΔI_e	=	Simpangan Tiap Lantai (mm)
Δ_{ijin}	=	Simpangan Lantai Ijin Maksimum (mm)
Ψ_t	=	Faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada lokasi tulangan
Ψ_e	=	Faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada pelapis tulangan
Ψ_s	=	Faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada ukuran tulangan
θ	=	Koefisien Stabilitas
θ_{max}	=	Koefisien Stabilitas Maksimum
α_c	=	Koefisien relatif geser
A_{ch}	=	Luas penampang komponen struktur (mm ²)
A_{cv}	=	Luas bruto penampang beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang (mm ²)
A_g	=	Luas bruto penampang beton (mm ²)
A_{sh}	=	Luas penampang total tulangan transversal (mm ²)
A_{st}	=	Luas total tulangan longitudinal dan nonprategang (mm)
A_x	=	Faktor pembeseran torsi
cb	=	Yang terkecil dari a) jarak dari pusat batang tulangan atau kawat ke permukaan beton terdekat, dan b) setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan atau kawat yang di salurkan (mm)
C_d	=	Faktor pembeseran simpangan lateral dalam Tabel 12 SNI 1726 – 2019
C_s	=	Koefisien respon seismik.
C_u	=	Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung.

C_v	=	Faktor distribusi vertikal
C_w	=	Faktor distribusi dinding geser.
d_b	=	Diameter nominal batang tulangan (mm)
DL	=	Beban Mati
e_{dx}	=	Eksentrisitas Desain Arah Sumbu X (mm)
e_{0x}	=	Eksentrisitas Bawaan Arah Sumbu X (mm)
e_{dy}	=	Eksentrisitas Desain Arah Sumbu Y (mm)
e_{0y}	=	Eksentrisitas Bawaan Arah Sumbu Y (mm)
E_x	=	Beban Gempa Statik Arah X
E_y	=	Beban Gempa Statik Arah Y
F	=	Gaya gempa lateral
f'_c	=	Kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa)
F_i	=	Gaya gempa statik ekivalen perantai
f_y	=	Kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan (MPa)
f_{yt}	=	Kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan f_y (MPa)
g	=	Percepatan gravitasi (9,81 m/s ²)
h	=	Ketinggian struktur dari lantai dasar hingga tingkat tertinggi struktur (m)
h_{sx}	=	Tinggi tingkat di bawah level -x
I_e	=	Faktor keutamaan gempa
k	=	Eksponen yang terkait dengan periode struktur
K_{tr}	=	Indeks tulangan transversal (mm)
ℓ_n	=	Panjang bentang bersih (mm)
ℓ_d	=	Panjang penyaluran tarik batang tulangan (mm)
LL	=	Beban Hidup
l_o	=	Panjang yang diukur dari muka <i>joint</i> (mm)
ℓ_u	=	Panjang tak tertumpu komponen struktur (mm)
l_w	=	Panjang dinding keseluruhan (mm)
L_x	=	Panjang Bentang Total Sumbu X (mm)
L_y	=	Panjang Bentang Total Sumbu Y (mm)
M_{nb}	=	Kekuatan lentur nominal Balok (N-mm)

M_{nc}	=	Kekuatan lentur nominal Kolom (N-mm)
M_{nl}	=	Kekuatan lentur nominal kiri (N-mm)
M_{nr}	=	Kekuatan lentur nominal kanan (N-mm)
M_{pr}	=	Kekuatan lentur maksimum (N-mm)
M_{lx}	=	Momen Lapangan Arah x
M_{ly}	=	Momen Lapangan Arah y
M_{tx}	=	Momen Tumpuan Arah x
M_{ty}	=	Momen Tumpuan Arah y
P_u	=	Gaya aksial terfaktor (N)
P_x	=	Nilai P-Delta Tiap Lantai (kN)
ρ_l	=	Rasio tulangan longitudinal
ρ_t	=	Rasio luas tulangan transversal
R	=	Koefisien modifikasi respon
S_a	=	Respon spektral percepatan.
S_1	=	Parameter respon spektrum percepatan MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik
S_{bc}	=	Spasi dimensi penampang inti komponen struktur (mm)
S_{D1}	=	Parameter percepatan respon spektral pada periode 1 detik
S_{DS}	=	Parameter percepatan respon spektral pada periode pendek
δ_{avg}	=	rata-rata perpindahan di titik terjauh struktur di tingkat X yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$
δ_e	=	<i>Max Story Displacement</i> Hasil <i>Output</i> dari program ETABS (mm)
δ_{max}	=	perpindahan maksimum di tingkat X (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$
δ_x	=	Defleksi pada lantai ke – x
T	=	Periode getar fundamental struktur.
T_a	=	Periode fundamental pendekatan.
V	=	Geser desain total.
V_c	=	Kekuatan geser nominal beton (N)
V_e	=	Gaya geser desain (N)

- V_u = Gaya geser terfaktor penampang (N)
 V_{ul} = Gaya geser terfaktor penampang kiri (N)
 V_{ur} = Gaya geser terfaktor penampang kanan (N)
 V_x = Gaya Geser Desain Tiap Lantai (kN)
 W = Berat seismik efektif.
 W_u = Beban terfaktor per satuan panjang (N/mm)
 X = Nilai Konstanta dari Pembanding L_x/L_y



PERANCANGAN ULANG STRUKTUR GEDUNG PEMERINTAHAN TERPADU KABUPATEN BREBES

Devi Astari Damayanti¹⁾, Sumirin²⁾, Prabowo Setiyawan²⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Unissula

²⁾ Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Unissula

ABSTRAK

Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes memiliki 3 lantai pada gedung bagian depan serta 6 lantai pada gedung bagian belakang yang dirancang dengan sistem struktur portal biasa (Pelat, Balok dan Kolom).

Dalam Tugas Akhir ini Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes akan dimodifikasi menggunakan metode Sistem Ganda. Tujuan penulis dalam Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui hasil dari modifikasi struktur gedung Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes dengan metode sistem ganda. Metode dalam penelitian ini terdiri dari pengumpulan data berupa data sekunder yaitu gambar *Detail Engineering Design (DED)* dan data tanah, tinjauan pustaka terhadap metode Sistem Ganda, *preliminary design*, analisis beban, perancangan struktur sekunder, perancangan struktur primer, pemodelan dengan program bantu ETABS V.18, tinjauan *output* analisa struktur gedung berupa hasil perancangan gedung.

Berdasarkan analisis dan perhitungan didapatkan hasil tebal pelat 120 mm, Dimensi kolom yang digunakan yaitu K1 (85 x 85) cm, K2 (65 x 85) cm, K3 (65 x 65) cm, dan K4 (60 x 60) cm. Dimensi balok yang digunakan yaitu B1 40/60 cm, B2 30/50 cm, B3 30/50 cm, B4 25/40 cm, B5 20/35 cm, B6 20/30 cm. Dinding Geser dirancang dengan ketebalan 250 mm. Dari analisis struktur efektifitas gaya geser yang dipikul Dinding Geser dan Rangka pemikul Momen memenuhi syarat Sistem Ganda.

Kata Kunci: Perancangan Ulang; Sistem Ganda; Struktur Gedung

STRUCTURE REDESIGN OF INTEGRATED STATE OFFICE BUILDING ON BREBES DISTRICT

Devi Astari Damayanti¹⁾, Sumirin²⁾, Prabowo Setiyawan²⁾

¹⁾ *Student of the Faculty of Engineering, Unissula Civil Engineering Department*

²⁾ *Student of the Faculty of Engineering, Unissula Civil Engineering Department*

ABSTRACT

The Brebes Regency Integrated Government Office has 3 floors at the front and 6 floors at the back which are designed with the usual portal structure system (Slabs, Beams and Columns).

In this Final Project the Brebes Regency Integrated Government Office will be modified to use a Dual System method. The author's goal in this final assignment is to find out the results of the modification of the structure of the Brebes Regency Integrated Government Office building using the dual system method. The method in this study consists of collecting data in the form of secondary data such as Detailed Engineering Design (DED) drawings and soil data, a literature review of the Dual System method, preliminary design, load analysis, design of secondary structures, design of primary structures, modeling with the ETABS V.18 an auxiliary program, review of the output of the building structure analysis in the form of the results of the building design.

Based on the analysis and calculations, the thickness of the slab is 120 mm. The dimensions of the columns used are K1 (85 x 85) cm, K2 (65 x 85) cm, K3 (65 x 65) cm, and K4 (60 x 60) cm. The dimensions of the beams used are B1 40/60 cm, B2 30/50 cm, B3 30/50 cm, B4 25/40 cm, B5 20/35 cm, B6 20/30 cm. Shear Walls are designed with a thickness of 250 mm. From the structural analysis, the effectiveness of the shear force carried by the Shear Wall and the Moment Bearing Frame has met the requirements of Dual System.

Keywords : *Redesign ; Dual System ; Building Structure*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi, baik vulkanik maupun tektonik merupakan bencana alam yang umum terjadi di Indonesia. Gempa bumi berdampak signifikan pada kerusakan infrastruktur, sehingga perencana lebih memperhatikan persyaratan seismik saat memperluas infrastruktur. Salah satu metode yang digunakan dalam konstruksi tahan gempa adalah metode Sistem Ganda.

Sistem Ganda merupakan sistem struktur yang dapat meminimalisir kerusakan akibat gempa. Sistem ganda adalah sistem struktur yang terdiri dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Dinding Geser (*Shear Wall*).

Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes untuk saat ini sedang dalam proses pembangunan tahap kedua. Kantor ini merupakan gedung yang di bangun pada akhir tahun 2021 dan memiliki 3 lantai pada gedung bagian depan serta 6 lantai pada gedung bagian belakang.

Dalam Tugas Akhir ini Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes akan dimodifikasi menjadi desain struktur yang sangat aman dan mampu meminimalisir kerugian jika terjadi gempa besar, yang akan dijelaskan dalam Tugas Akhir yang berjudul “Perancangan Ulang Struktur Bangunan Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes” sesuai SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan konteks di atas, rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini sebagai berikut: “Bagaimana merancang ulang struktur gedung Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes menggunakan Sistem Ganda?”.

1.3 Tujuan

Tujuan umum dalam Tugas Akhir ini adalah merencanakan ulang struktur gedung Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRMPK) dan Dinding Khusus (Sistem Ganda).

Tujuan khusus dalam Tugas Akhir ini adalah :

- a. Merancang dimensi struktur (Kolom, Balok, Pelat, dan Dinding Geser) sesuai Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019).
- b. Menganalisis sistem struktur yang memenuhi syarat Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019).
- c. Merancang penulangan Kolom, Balok, Pelat dan Dinding Geser sesuai Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019).

1.4 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah :

- a. Analisis beban gempa dilakukan dengan metode respon spektrum, tidak ditinjau *Time History*.
- b. Analisis kinerja sistem struktur Sistem Pemikul Momen Khusus (SRMPK) dan Dinding Geser Khusus.
- c. Tidak meninjau analisa biaya dan waktu dalam pekerjaan konstruksi
- d. Tidak meninjau dari segi arsitektur.
- e. Kelas situs tanah yang ditinjau adalah kelas situs Tanah Lunak (*SE*) yang di dapatkan dari website resmi Kementerian PUPR (Desain Spektra Indonesia).

1.5 Sistematika Tugas Akhir

Tugas Akhir ini disusun dalam bentuk laporan yang terdiri dari 5 bab yang meliputi :

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan, Batasan Masalah serta Sistematika Tugas Akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori , peraturan-peraturan dan referensi yang terkait dengan perancangan dalam Tugas Akhir ini.

BAB 3 METODE PERANCANGAN

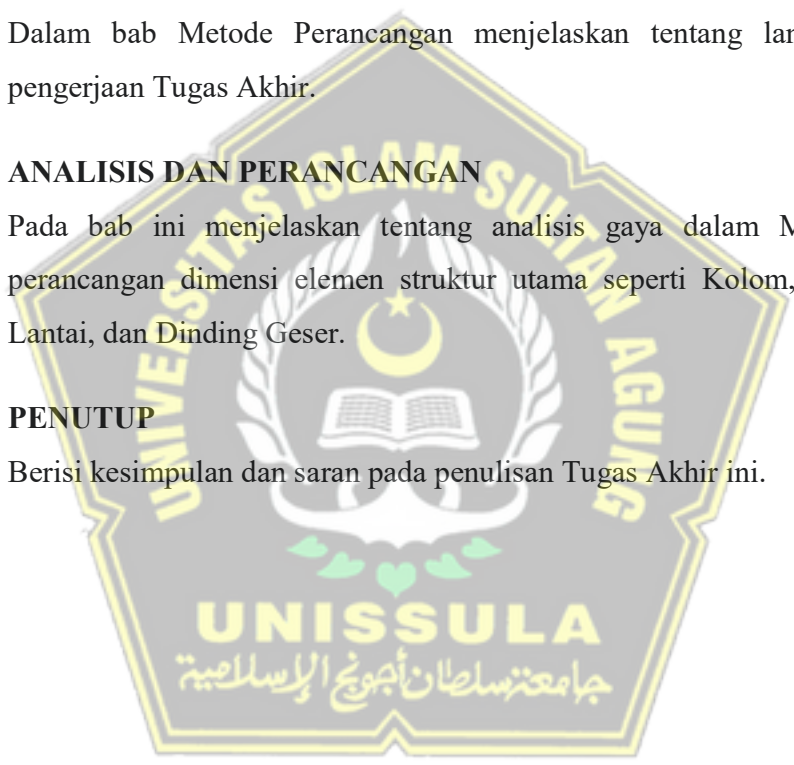
Dalam bab Metode Perancangan menjelaskan tentang langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir.

BAB 4 ANALISIS DAN PERANCANGAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis gaya dalam M, D, N dan perancangan dimensi elemen struktur utama seperti Kolom, Balok, Pelat Lantai, dan Dinding Geser.

BAB 5 PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran pada penulisan Tugas Akhir ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2. 1. Umum

Sistem struktur adalah sistem yang terbentuk dari elemen struktur berupa kolom, balok, dan Dinding Geser yang disusun sedemikian rupa sehingga masing-masing sistem memiliki peran yang berbeda dalam memikul beban. (Tumilar 2006 dalam Syahdiah, 2017).

Sistem struktur tahan gempa adalah sistem struktur yang dirancang untuk menahan gaya gempa seismik yang disyaratkan oleh aturan yang sah sesuai dengan bangunan tahan gempa. (Badan Standardisasi Nasional, SNI 2847- 2019)

Bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang apabila terjadi gempa bangunan tersebut bertahan dan tidak mengalami keruntuhan seutuhnya. (Prawirodikromo, 2012) Konsep bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut :

1. Walaupun sering terjadi gempa kecil (*light*, atau *minor earthquake*), maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan tetap berfungsi dengan baik. Kerusakan yang kecil masih bisa diterima.
2. Pada gempa sedang (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, struktur utama bangunan mungkin mengalami kerusakan/ retak, namun masih dapat diperbaiki.
3. Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka struktur utama boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh seluruhnya. Kondisi seperti ini juga diharapkan pada saat gempa besar terjadi, dimana bangunan secara maksimal harus dapat melindungi manusia atau penghuni bangunan.

2. 2. Sistem Struktur Tahan Gempa

Sistem Struktur Tahan Gempa merupakan sistem struktur yang dirancang khusus untuk dapat menahan gaya gempa dengan baik sehingga dampak kerusakan struktur dapat diperkecil.

Sistem Struktur Penahan Gempa menurut Badan Standardisasi Nasional, (SNI 1726:2019) diantaranya sebagai berikut :

- 1) Sistem Dinding Struktural Khusus,
- 2) Sistem Rangka Gedung ,
- 3) Sistem *Frame* ,
- 4) Sistem Ganda Dengan Sistem *Frame*
- 5) Sistem Interaktif antara Dinding Geser-Rangka dengan Kolom Kantilever.

2. 3. Sistem Ganda (*Dual System*)

Sistem Ganda secara umum dapat diartikan sebagai sistem struktur dengan gabungan antara portal dan Dinding Geser, sedangkan menurut Badan Standardisasi Nasional, (SNI 1726 - 2019) Sistem Ganda adalah sistem struktur dengan rangka yang ditopang oleh SRMPK dan Dinding Geser Khusus.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Sistem Ganda terdiri dari :

- a. Seluruh beban gravitasi dipikul oleh rangka *frame*,
- b. Dinding Geser dan rangka bresing dengan rangka pemikul momen memikul beban lateral. SRMPK dirancang harus mampu memikul paling sedikit 25% atau dari seluruh beban lateral,
- c. Kedua sistem harus dirancang untuk dapat menahan beban yang bekerja secara bersamaan dengan memperhatikan interaksi/Sistem Ganda.

2. 4. Elemen Struktur

Elemen struktur merupakan bagian-bagian yang menyusun sistem struktur yang berfungsi menyalurkan beban dari atas hingga ke bawah (pondasi). Elemen-elemen tersebut antara diantaranya adalah Balok, Kolom, Pelat Lantai, Dinding Geser, dan Pondasi.

2.4.1. Balok

- a. Pengertian Balok

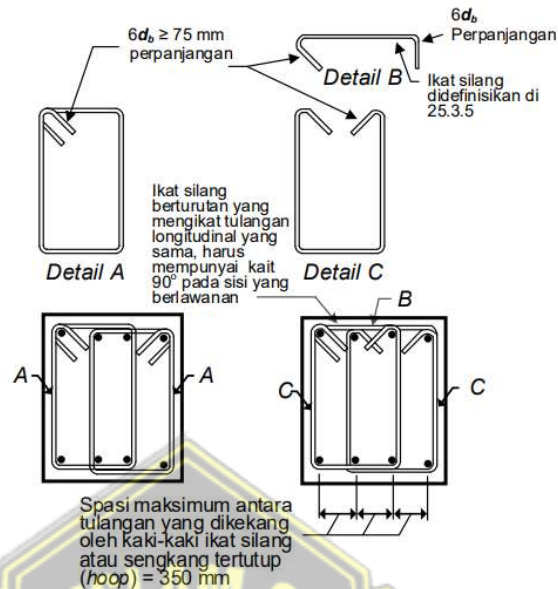
Balok adalah bagian struktural yang mendukung gaya yang bekerja secara lateral terhadap sumbunya yang menghasilkan momen lentur dan gaya geser sepanjang

bentanganya. Balok adalah bagian struktural yang mentransfer beban dari pelat ke kolom. (Syukri, 2016 dalam Wardana et al., 2019)

b. Persyaratan Penulangan Balok

Persyaratan penulangan untuk Balok yang merupakan elemen pemikul beban lateral pada sistem ganda diatur dalam Pasal 18 SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Berikut beberapa hal yang harus diperhatikan:

1. Kekuatan momen positif pada *joint* harus setidaknya lebih dari setengah kekuatan momen negatif pada muka *joint* (Pasal 18.6.3.2).
2. Momen negatif dan positif yang terjadi pada setiap penampang di sepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat momen maksimum pada muka *joint* (Pasal 18.6.3.2).
3. Sengkang harus dipasang pada Balok di daerah berikut (Pasal 18.6.4.1) :
 - a) Di setiap ujung balok, sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok, diukur dari muka kolom balok ke pusat bentang.
 - b) Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok, pada kedua sisi penampang dimana momen lentur dapat terjadi akibat deformasi lateral yang melebihi perilaku *elastic*.
4. Tulangan sengkang pertama harus dipasang pada jarak maksimum 50 mm dari muka Kolom. Jarak antar sengkang harus kurang dari atau sama dengan nilai terkecil dari a) hingga c) (Pasal 18.6.4.4) :
 - a) $d/4$, dimana d adalah jarak serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal (mm)
 - b) 6 kali diameter tulangan lentur, yang disyaratkan Pasal 9.7.2.3.
 - c) 150 mm.



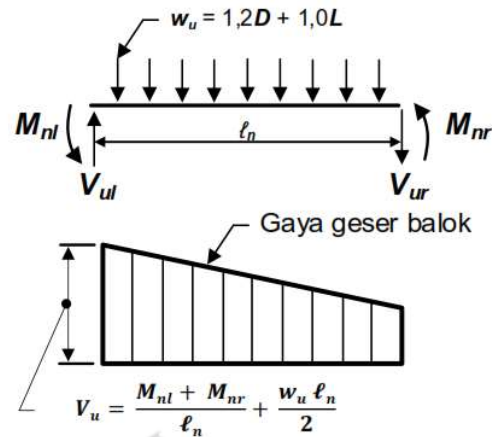
Gambar 2.1 Detail Sengkang Balok

Sumber : SNI 2847:2019

5. Gaya geser rencana V_e harus dihitung dengan meninjau gaya yang terjadi pada muka *joint* balok. M_{pr} , harus diasumsikan bekerja pada muka *joint* dan Balok menumpu beban gravitasi terfaktor di sepanjang bentangnya (Pasal 18.6.5.1)

Keterangan :

- ℓ_n = Panjang bersih bentang (mm)
 M_{nl} = Momen lentur nominal kiri (N-mm)
 M_{nr} = Momen lentur nominal kanan (N-mm)
 M_{pr} = Momen lentur maksimum (N-mm)
 V_e = Gaya geser desain (N)
 V_u = Gaya geser terfaktor penampang (N)
 V_{ul} = Gaya geser terfaktor penampang kiri (N)
 V_{ur} = Gaya geser terfaktor penampang kanan (N)
 W_u = Beban per satuan panjang (N/mm)



Gambar 2.2 Gaya Geser Desain Balok

Sumber : SNI 2847:2019

6. V_c (kuat geser beton) dianggap 0, Jika nilai gaya aksial (P_u) kurang dari $A_g f_c/20$.
Bila $V_c \neq 0$, perhitungan kekuatan geser harus mengikuti Pasal 9.6.3.1

Keterangan :

A_g	=	Luas penampang beton (mm^2)
f_c	=	Kuat tekan beton (MPa)
P_u	=	Gaya aksial (N)
V_c	=	Gaya geser nominal beton (N)

2.4.2. Kolom

a. Pengertian Kolom

Kolom adalah merupakan bagian struktur bangunan yang berfungsi sebagai penyangga beban aksial. Kolom di dalam konstruksi adalah penerus beban dari struktur atas ke struktur bawah (Syukri, 2016 dalam Wardana et al., 2019).

b. Persyaratan Penulangan Kolom

Syarat tulangan kolom diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 18. Berikut ini adalah beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perancangan penulangan kolom:

1. Luas tulangan longitudinal (A_{st}) harus lebih dari dari 0,01 A_g atau 0,06 A_g (Pasal 18.7.4.1).

Keterangan :

A_{st} = Luas total tulangan longitudinal (mm)

A_g = Luas penampang beton (mm²)

2. Kekuatan lentur Kolom yang harus dipenuhi adalah $\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$ (Pasal 18.7.3.2)

Keterangan :

M_{nb} = Momen lentur nominal Balok (N-mm)

M_{nc} = Momen lentur nominal Kolom (N-mm)

3. Tulangan *hoop* dipasang sepanjang l_o dari ujung-ujung Kolom dengan l_o merupakan nilai terbesar antara a) hingga c) (Pasal 18.7.5.1) :

a) h

b) $1/6 h$

c) 450 mm

Keterangan :

l_o = Bentang dari muka *joint* penampang kolom (mm)

4. Jarak maksimum sengkang pada daerah sepanjang l_o antar ujung Kolom. S_o , adalah nilai terbesar dari (Pasal 18.7.5.3) :

a) $1/4 b$.

b) 6 Dlentur

c) S_o , yang berdasarkan perhitungan :

$$S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \dots\dots\dots (2.1)$$

Nilai S_o harus kurang dari atau sama dengan 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm.

Keterangan :

S_o = Jarak pusat ke pusat tulangan transversal dalam panjang l_o (mm)

h_x = Jarak horizontal ikat silang atau kaki sengkang pengekang (*hoop*) pusat ke pusat maksimum pada semua muka Kolom (mm)

5. Untuk daerah sepanjang l_o dari ujung Kolom total luas penampang *hoop* tidak boleh kurang dari salah satu yang terbesar antara (Pasal 18.7.5.4)

$$A_{sh1} = 0,3 \left(\frac{s_{bc} \cdot f'_c}{f_{yt}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$A_{sh2} = 0,9 \left(\frac{s_{bc} \cdot f'_c}{f_{yt}} \right) \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

A_{sh} = Luas penampang total tulangan transversal (mm^2)

A_g = Luas bruto penampang beton (mm^2)

A_{ch} = Luas penampang komponen struktur (mm^2)

f'_c = Kekuatan tekan beton (MPa)

f_{yt} = Kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan f_y (MPa)

l_o = Panjang yang diukur dari muka *joint* (mm)

s_{bc} = Spasi dimensi penampang inti komponen struktur (mm)

6. Untuk daerah sepanjang sisa tinggi Kolom bersih diberi *hoops* dengan spasi minimum (Pasal 18.7.5.5):

- a) 6 kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- b) 150 mm

7. Gaya geser rencana desain V_e , dihitung dengan meninjau gaya maksimum yang bekerja pada muka kolom Gaya tersebut ditentukan dengan menghitung kekuatan momen maksimum yang mungkin terjadi M_{pr} , pada setiap ujung kolom yang ditunjukkan pada gambar 2.4.

Keterangan :

ℓ_u = Panjang tak tertumpu komponen struktur (mm)

M_{pr} = Momen lentur maksimum (N-mm)

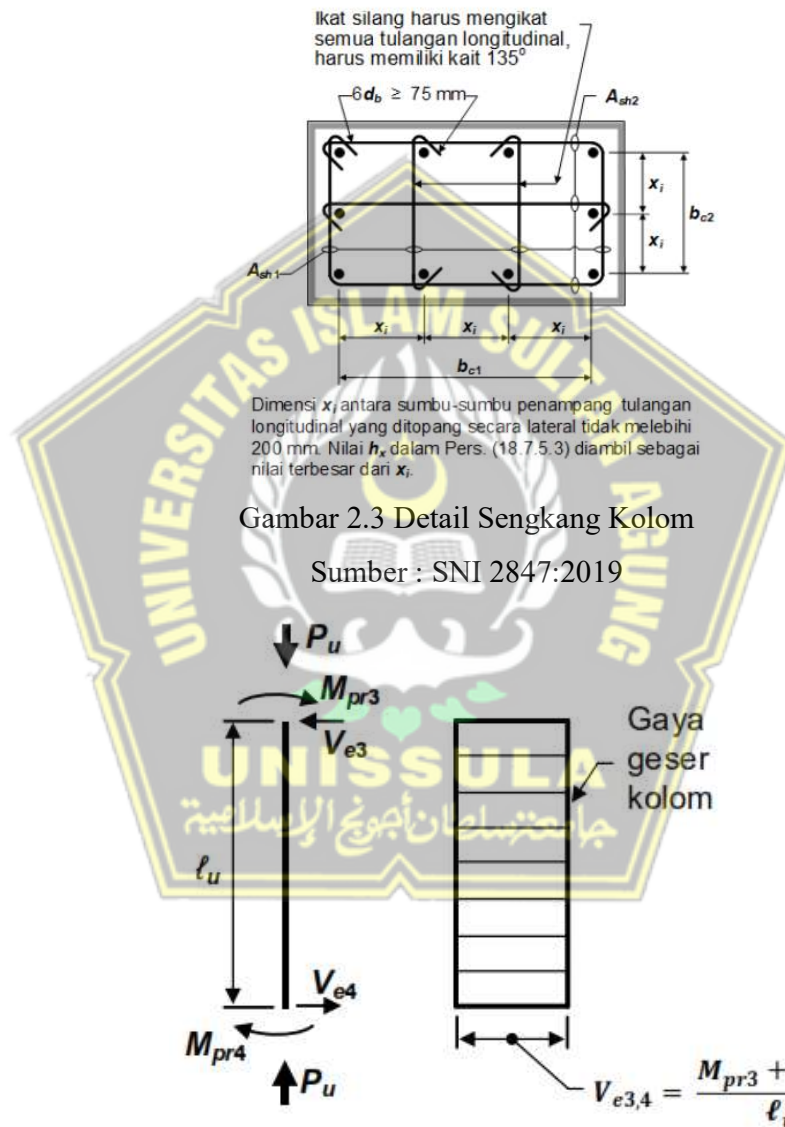
P_u = Gaya aksial terfaktor (N)

V_e = Gaya geser desain (N)

8. V_c (kuat geser beton) dianggap 0, jika gaya aksial P_u , kurang dari $A_g \cdot f'_c/10$. Bila $V_c \neq 0$, perhitungan kekuatan geser harus dihitung berdasarkan Pasal 10.6.2.1.

Keterangan :

- A_g = Luas penampang beton (mm^2)
 f_c = Momen tekan beton yang disyaratkan (MPa)
 P_u = Gaya aksial terfaktor (N)
 V_c = Gaya geser nominal beton (N)



Gambar 2.3 Detail Senggang Kolom

Sumber : SNI 2847:2019

Gambar 2.4 Gaya Geser Desain Kolom

Sumber : SNI 2847:2019

9. Perhitungan sambungan lewatan sesuai Pasal 25.4.2.3a

$$\ell_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t\Psi_e\Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

- c_b = Nilai terkecil dari jarak dari pusat batang tulangan atau kawat ke permukaan beton terdekat, dan setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan atau kawat yang di salurkan (mm)
- d_b = Diameter nominal batang tulangan (mm)
- f'_c = Kuat tekan beton (MPa)
- f_y = Kuat leleh tulangan (MPa)
- K_{tr} = Indeks tulangan transversal (mm)
- ℓ_d = Panjang saluran tarik tulangan (mm)
- λ = Faktor reduksi normal tekan
- Ψ_t = Faktor modifikasi panjang penyaluran lokasi tulangan
- Ψ_e = Faktor modifikasi panjang penyaluran pelapis tulangan
- Ψ_s = Faktor modifikasi panjang penyaluran ukuran tulangan

2.4.3. Pelat

Pelat adalah bagian struktur bangunan yang memiliki tulangan dua arah atau satu arah saja, tergantung sistem strukturnya. Gaya yang bekerja pada tulangan pelat diteruskan ke dalam Balok - Balok dan diteruskan ke dalam Kolom. (Yusuf and Sumarwan, 2017)

Syarat yang digunakan untuk menentukan ketebalan minimum pelat menurut SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1. dditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di Antara Tumpuan pada Semua Sisinya

α_{fm}	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Tebesar dari:	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b)
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$	(d)
		90	(e)

(Sumber : SNI 2847:2019)

2.4.4. Dinding Geser

a. Pengertian Dinding Geser

Dinding Geser adalah komponen struktural yang dirancang untuk meningkatkan kekakuan struktural dan menahan gaya lateral. Dinding Geser adalah jenis struktur dinding berupa beton bertulang yang dirancang untuk menahan gaya geser atau gaya lateral akibat gempa. Jika bangunan memiliki Dinding Geser kaku, sebagian besar beban dipikul oleh Dinding Geser. (Mufida, 2008 dalam Sasimoto, 2017),

Dinding Geser yang didefinisikan sebagai bagian sistem struktur tahan gempa, pada SNI 2847:2019 dikategorikan sebagai berikut:

- 1) Dinding beton polos (struktur biasa) diatur dalam Pasal 22
- 2) Dinding Geser beton bertulang biasa diatur dalam Pasal 1 sampai dengan Pasal 18
- 3) Dinding Geser *Precast* diatur dalam Pasal 1 hingga Pasal 18 dan Pasal 21.4
- 4) Dinding Geser Khusus diatur dalam Pasal 21.1.3-21.1.7, 21.9 dan Pasal 21.10

b. Persyaratan Penulangan Dinding Geser

Persyaratan Penulangan Dinding Struktural Khusus atau Dinding Geser Khusus yang merupakan elemen penahan beban lateral pada sistem *frame* maupun Sistem Ganda diatur dalam Pasal 18 SNI 2837-2019. Berikut beberapa hal yang harus diperhatikan:

1. Nilai ρ_l dan ρ_t harus lebih dari 0,0025 kecuali V_u tidak boleh lebih dari $0,083\lambda \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f_c + \rho_t f_y}$ (Pasal 18.10.2.1).

Keterangan :

- A_{cv} = Luas bruto penampang beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang (mm^2)
- f_c = Kuat tekan beton (MPa)
- f_y = Kuat leleh tulangan (MPa)
- V_u = Gaya geser terfaktor penampang (N)
- λ = Faktor reduksi normal tekan
- ρ_l = Rasio tulangan longitudinal
- ρ_t = Rasio luas tulangan transversal

2. Jarak tulangan harus kurang dari atau sama dengan 450 mm (Pasal 18.10.2.1)
3. Harus digunakan dua lapis tulangan pada dinding jika V_u lebih dari $0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f_c}$ atau h_w/l_w lebih dari atau sama dengan 2,0 (Pasal 18.10.2.2)

Keterangan :

- A_{cv} = Luas penampang beton yang dibatasi tebal badan dan panjang penampang (mm^2)
- f_c = Kuat tekan beton (MPa)
- h_w = Tinggi dinding keseluruhan (mm)
- l_w = Panjang dinding keseluruhan (mm)
- V_u = Gaya geser terfaktor penampang (N)

4. V_u harus didapatkan dari analisis beban lateral dengan menggunakan kombinasi beban terfaktor. (Pasal 18.10.3)

Keterangan :

V_u = Gaya geser terfaktor penampang (N)

5. Nilai V_n dinding struktural tidak boleh melebihi (Pasal 18.10.4.1)

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \cdot \lambda \sqrt{f_c} + \rho_t f_y) \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

A_{cv} = Luas bruto penampang beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang (mm^2)

f_c = Kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa)

f_y = Kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan (MPa)

V_n = Gaya geser nominal (N)

λ = Faktor reduksi normal tekan

α_c = Koefisien relatif geser

ρ_t = Rasio luas tulangan transversal terhadap dimensi penampang

$\alpha_c = 0,25$ jika $h_w/l_w \leq 1,5$

$\alpha_c = 0,17$ jika $h_w/l_w \geq 2,0$

$0,25 \geq \alpha_c \geq 0,17$ jika $1,5 \leq h_w/l_w \leq 2,0$

6. Untuk semua bagian dinding vertikal menahan gaya lateral yang sama V_n tidak boleh lebih dari, (Pasal 18.10.4.4)

$$V_n \leq 0,66 A_{cv} \sqrt{f_c} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

A_{cv} = Luas penampang beton yang dibatasi tebal badan dan panjang penampang (mm^2)

f_c = Kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa)

V_n = Gaya geser nominal (N)

7. Untuk masing-masing daerah vertikal individu, V_n tidak boleh lebih dari,(Pasal 18.10.4.5)

$$V_n \leq 0,83 A_{cw} \sqrt{f_c} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

A_{cw} = Luas penampang beton pilar tunggal (mm^2)

f_c = Kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa)

V_n = Gaya geser nominal (N)

8. Untuk segmen dinding horizontal,

$$V_n \leq 0,83 A_{cw} \sqrt{f_c} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

A_{cw} = Luas penampang beton pilar tunggal (mm^2)

f_c = Kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa)

V_n = Gaya geser nominal (N)

9. Desain Untuk beban lentur dan beban aksial mengikuti pada Pasal 22.4 SNI 2847:2019.

2.4.5. Hubungan Balok Kolom

a. *Joint* Balok Kolom

Balok dan kolom bertemu pada titik sambungan (*joint*) yang memiliki fungsi menahan beban dari gedung yang disebut portal. Portal adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) sebagai pemikul beban yang bekerja pada bangunan berupa beban horizontal dan beban vertikal. Sistem ini terbagi menjadi 3 jenis, yaitu :

- 1.) Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), tidak diperlukan detail spesifik. Komponen strukturnya hanya perlu memenuhi persyaratan Pasal 18.3 pada SNI 2847:2019 dan hanya dipakai untuk Wilayah Gempa 1 dan 2.
- 2.) Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) harus memenuhi spesifikasi detail di Pasal 18.4 hingga 18.5, untuk penggunaan di Wilayah Gempa 3 dan 4.
- 3.) Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRMPK) pada zona Gempa 5 dan 6 harus memenuhi persyaratan desain Pasal 18.6 hingga 18.11 SNI 2847:2019.

b. Persyaratan Penulangan Hubungan Balok Kolom

Persyaratan penulangan pada hubungan Kolom Sistem Ganda dan Sambungan Balok diatur dalam Pasal 18 SNI 2847:2019. Beberapa hal yang harus diperhatikan:

- 1) Jarak dan jumlah tulangan transversal dapat digunakan persyaratan detail kolom, sesuai Pasal 18.8.3.1.
- 2) Kekuatan geser *joint* harus diperiksa dan dianggap tidak melebihi V_n menurut Pasal 18.8.4.1.

2. 5. Pembebanan

Pembebanan dalam perancangan struktur ini meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa. Dibawah ini merupakan dari beban-beban tersebut.

2.5.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat semua konstruksi bangunan yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, *cladding* gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya, serta peralatan lain yang terpasang tidak termasuk berat katrol dan sistem pengangkutan material. Beban mati pada perancangan gedung dalam Akhir ini dihitung berdasarkan SNI 1727:2020.

2.5.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang disebabkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung dan juga beban struktur lainnya yang tidak termasuk kedalam jenis beban struktur atau beban lingkungan (beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati). Beban hidup memiliki sifat tidak tetap dan dapat berubah-ubah dapat dikatakan juga bahwa beban hidup adalah beban yang bergerak. Beban hidup yang bekerja pada struktur bangunan atas diatur dalam SNI 1727:2020 tentang Pedoman Perancangan Pembebanan Untuk Gedung dan Struktur Lain. Berikut ini tabel beban hidup yang digunakan dalam perancang gedung dalam Tugas Akhir ini.

Tabel 2.2 Jenis Pembebanan Untuk Beban Hidup

Hunian atau penggunaan	Merata, L_o psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga Lihat Pasal
Jalur penyelamatan saat kebakaran Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2) Ya (4.7.2)		
Tangga permanen		-	-	Lihat Pasal 4.5.4	
Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10) Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Tidak (4.7.4)	Ya (4.7.4)	Lihat Pasal 4.10.1	
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	-	-	Lihat Pasal 4.10.2	
Pegangan tangga dan pagar pengaman Batang pegangan	Lihat 4.5.1	-	-	Lihat 4.5.1 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)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Helikopter dengan berat lepas landas Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	60 (2,87)	Tidak (4.11.1)	-	Lihat Pasal 4.11.2	
Rumah sakit Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang pasien	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Hotel (lihat rumah tinggal)					
Perpustakaan Ruang baca	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1.000 (4,45)	4.13
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1.000 (4,45)	
Pabrik Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	2.000 (8,90)	
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	3.000 (13,35)	
Gedung perkantoran Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiran hunian					
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Kantor	50 (2,40)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2.000 (8,90)	

Sumber : (SNI 1727:2020)

2.5.3 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang ada pada bangunan atau beban yang ada dalam suatu struktur akibat gempa bumi atau pergerakan tanah. Beban gempa dihitung berdasarkan analisis gempa statik ekuivalen. Analisis pembebanan gempa pada struktur ini berdasarkan pada aturan yang ada pada SNI 1726:2019 dengan tinjauan gempa di daerah Brebes menggunakan analisis ragam respon spektrum. Dibawah ini adalah beberapahal yang harus diperhatikan pada saat melakukan analisis ragam respon spektrum :

2.5.3.1. Kategori Risiko Bangunan

Kategori risiko bangunan untuk beban gempa pada Tugas Akhir ini berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 yang ditujukan pada Tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

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

Sumber : (SNI 1726 - 2019)

2.5.3.2. Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : (Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726 - 2019)

2.5.3.3. Klasifikasi Situs

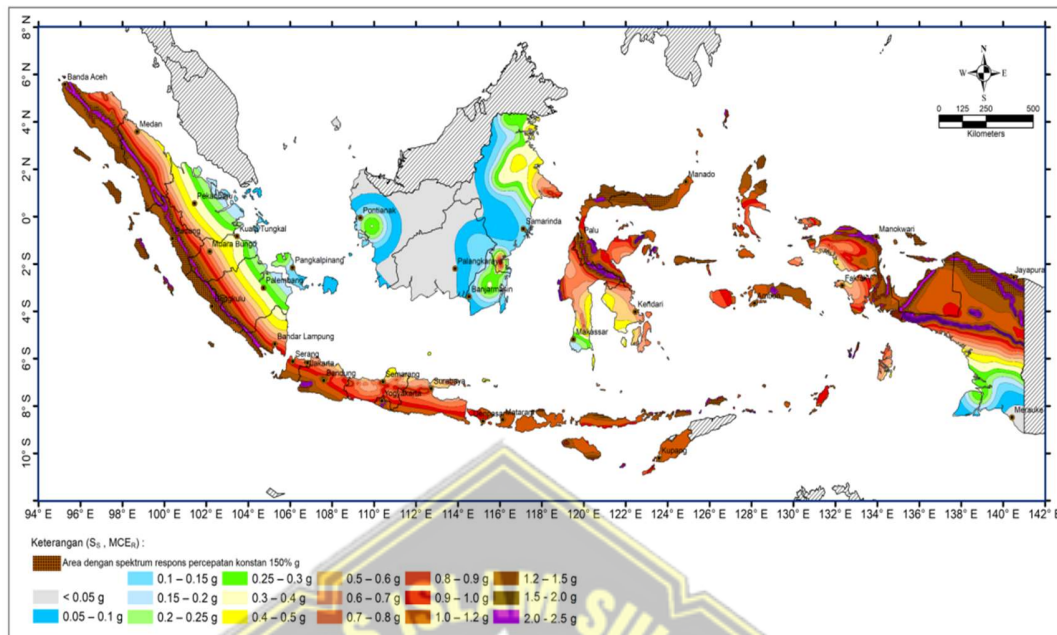
Tabel 2.5 Klasifikasi Situs

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726 - 2019)

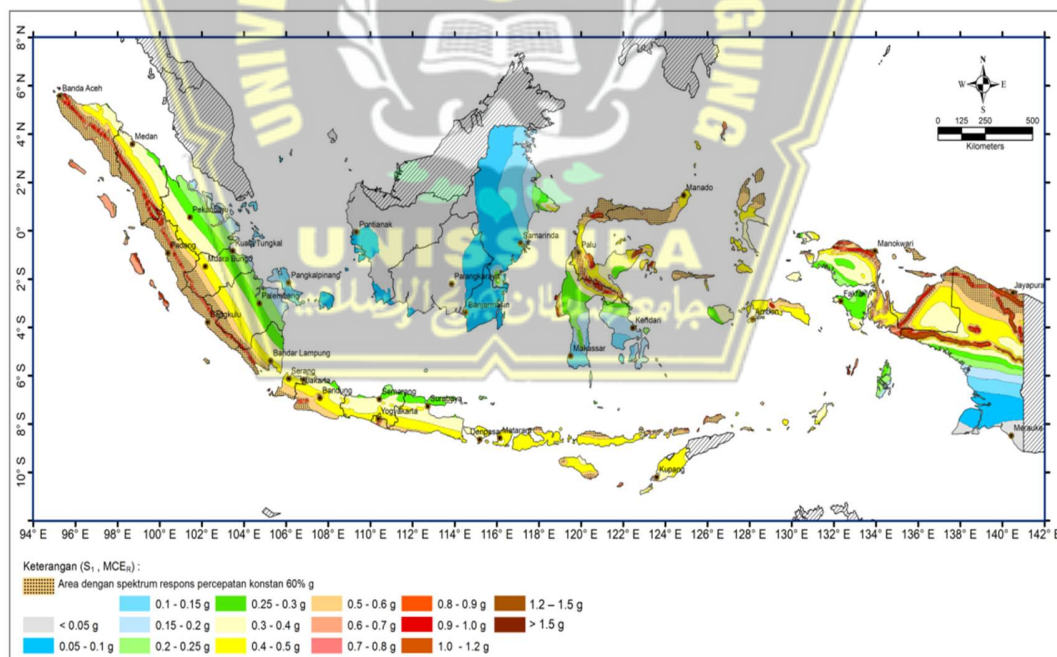
Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralisir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

2.5.3.4. Parameter Percepatan Gempa Terpetakan (S_s dan S_1)

Berikut ini gambar yang digunakan untuk menentukan parameter percepatan gempa terpetakan berdasarkan SNI 1726:2019



Gambar 2.5 S_s Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)
 Sumber : (Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726 - 2019)



Gambar 2.6 S_1 Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)
 Sumber : (Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726 - 2019)

2.5.3.5. Koefisien Situs (F_a dan F_v)

Berikut ini merupakan tabel yang digunakan untuk menentukan koefisien situs (F_a dan F_v) :

Tabel 2.6 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Terpetakan Pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber : (Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726 - 2019)

Tabel 2.7 Koefisien Situs F_v

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Terpetakan Pada Periode Pendek, $T = 1$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber : (Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726 - 2019)

2.5.3.6. Parameter Respons Gempa

Dalam menentukan respon spektrum gempa, percepatan gempa maksimum yang di pertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) sesuai SNI 1726:2019 Pasal 6.2 dan menurut tabel 6 dan 7.

Sehingga diperoleh data S_S, S_1, F_a, F_v :

$$S_{MS} = F_a \times S_S \dots\dots\dots(2.21)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan :

F_a = Koefisien situs untuk periode pendek

F_v = Koefisien situs untuk periode 1 detik

S_S = Parameter respon spektrum percepatan MCE_R terpetakan untuk periode pendek ,

S_1 = Parameter respon spektrum percepatan MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

S_{MS} = Parameter percepatan respon spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.

S_{M1} = Parameter percepatan respon spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.

2.5.3.7. Penentuan Nilai S_{DS} dan S_{D1}

Penentuan nilai parameter respon spektral percepatan gempa periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}), ditentukan dengan persamaan berikut :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektral pada periode pendek.

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

2.5.3.8. Penentuan Nilai T_0 dan T_s

Penentuan nilai periode getar fundamental struktur , ditentukan dengan persamaan berikut :

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(2.26)$$

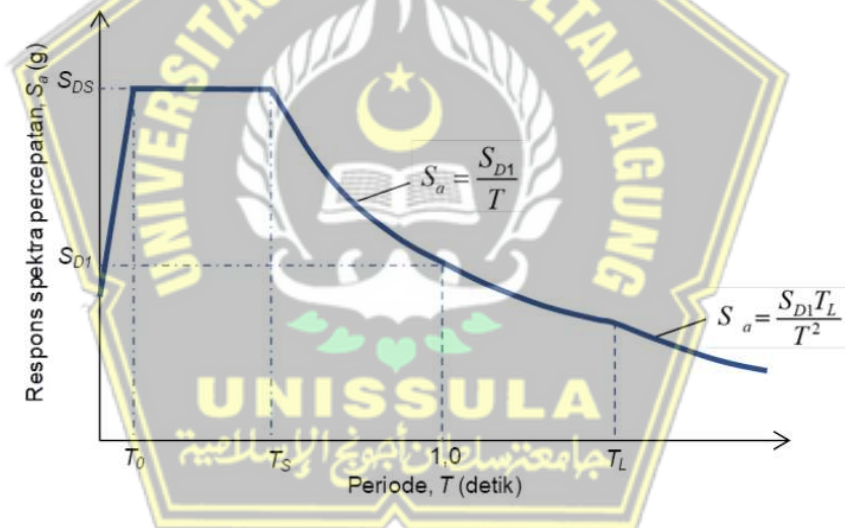
T_L = Peta transisi periode ditunjukkan pada gambar 2.7 .

Keterangan :

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektral pada periode pendek.

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

T = Periode getar fundamental struktur.



Gambar 2.7 Desain Respon Spektrum

Sumber : (Badan Standardisasi Nasional,SNI 1726 - 2019)

2.5.3.9. Penentuan Nilai S_a

- a. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , Spektrum respons percepatan desain S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots(2.27)$$

- b. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil T_s , spectrum respons percepatan desain S_a sama dengan S_{DS} .
- c. Untuk periode lebih besar dari T_s , tetapi lebih kecil dari T_L , respon spektrum percepatan desain S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{SD1}{T} \dots\dots\dots(2.28)$$

- d. Untuk periode lebih besar dari T_L , respon spektrum percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{SD \cdot T_L}{T^2} \dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan :

- S_a = Respon spektral percepatan.
- S_{DS} = Parameter percepatan respon spektral pada periode pendek.
- $SD1$ = Parameter percepatan respon spektral pada periode 1 detik.
- T = Periode getar fundamental struktur.

2.5.3.10. Periode Waktu Getar Alami Fundamental (T)

Penentuan nilai Periode Waktu Getar Alami Fundamental struktur, ditentukan dengan persamaan berikut :

$$T = T_a \times C_u \dots\dots\dots(2.30)$$

$$T_a = \frac{0,00058}{\sqrt{C_w}} h_n \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana :

- C_u = Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung.
- C_w = Faktor distribusi dinding geser.
- h_n = Batasan tinggi struktur.
- T_a = Periode fundamental pendekatan.
- T = Periode getar fundamental struktur.

2.5.3.11. Koefisien Respon Seismik (C_s)

Penentuan Koefisien Respon Seismik, ditentukan dengan persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.32)$$

Nilai C_s yang dihitung diatas tidak boleh melebihi berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.3)$$

C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,44 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots(2.34)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.35)$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respon seismik.

I_e = Faktor keutamaan gempa (m)

R = Koefisien modifikasi respon

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

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektral pada periode pendek.

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

T = Periode getar fundamental struktur.

2.5.3.12. Kontrol Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Penentuan Gaya Geser Dasar, ditentukan dengan persamaan berikut :

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

Keterangan :

C_s = Koefisien respon seismik.

V = Geser desain total.

W = Berat seismik efektif.

2.5.3.13. Kontrol Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Kontrol Simpangan Antar Lantai (*Drift*) ditentukan sesuai dengan SNI 1726 2019 melalui persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (2.37)$$

Untuk kontrol simpangan antar lantai (*drift*) yang digunakan pada struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dibatasi dengan :

$$\Delta = 0,02 h_{sx} \dots \dots \dots (2.38)$$

Keterangan :

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

δ_x = Defleksi pada lantai ke - x

I_e = Faktor keutamaan gempa

Δ = Simpangan antar tingkat desain.

h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah level -x

2.5.3.14. Eksentrisitas dan Torsi

Torsi di dalam SNI 1726 - 2019 termasuk ke dalam ketidakberaturan horizontal.

Untuk mengetahui ada tidaknya ketidakberaturan torsi pada suatu struktur dapat ditentukan dengan melihat defleksi maksimum (δ_{max}) dan defleksi rata-rata (δ_{avg}) pada struktur tersebut seperti pada Gambar 2.6. Berikut ini merupakan tipe dari ketidakberaturan torsi:

- a. $\delta_{max} < 1,2 \delta_{avg}$: Tanpa ketidakberaturan torsi
- b. $1,2\delta_{max} \leq \delta_{max} \leq 1,4 \delta_{avg}$: Ketidakberaturan torsi 1a
- c. $\delta_{max} > 1,4 \delta_{avg}$: Ketidakberaturan torsi 1b

Faktor pembesaran (A_x) ditunjukkan pada Gambar 2.8 dan ditentukan dari persamaan berikut ini :

$$A_x = \left(\frac{\delta_{\max}}{1,2\delta_{\text{avg}}} \right)^2 \dots\dots\dots(2.39)$$

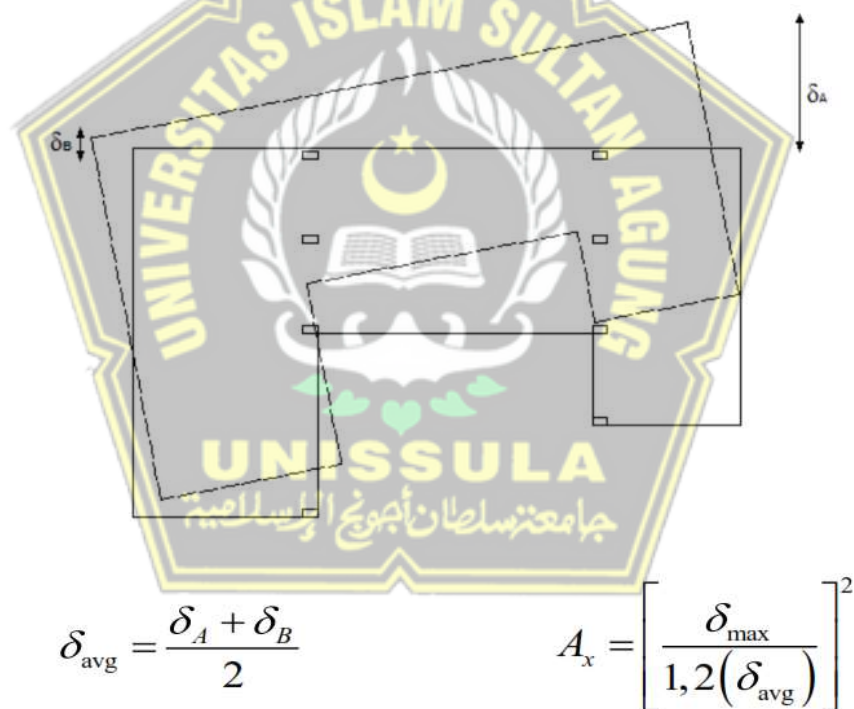
Keterangan :

A_x = Faktor pembesaran torsi

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

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

Faktor pembesaran torsi A_x tidak disyaratkan melebihi 3.



Gambar 2.8 Faktor Pembesaran Torsi, A_x

Sumber : (Badan Standardisasi Nasional,SNI 1726 - 2019)

Tabel 2.9 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur

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

Sumber : (Badan Standardisasi Nasional, SNI 1726 - 2019)

2.5.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 2847 – 2019 Pasal 5.3.1 ditujukan pada tabel 2.10

Tabel 2.10 Kombinasi Beban

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

Sumber : (SNI 2847 - 2019)

Keterangan :

U = Beban Ultimit

D = Beban Mati

L = Beban Hidup

E = Beban Gempa

BAB III

METODOLOGI

3.1 Pendahuluan

Dalam bab ini akan diuraikan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir. Langkah-langkah tersebut akan dimulai dari pengumpulan data, tinjauan pustaka, preliminary design, analisis pembebanan, Perancangan struktur bawah (pondasi), permodelan dengan program ETABS V18, ditinjau output analisis perhitungan struktur (kontrol perhitungan), sampai dengan kesimpulan dari analisis struktur gedung Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes berupa hasil Perancangan gedung.

3.2 Pengumpulan Data

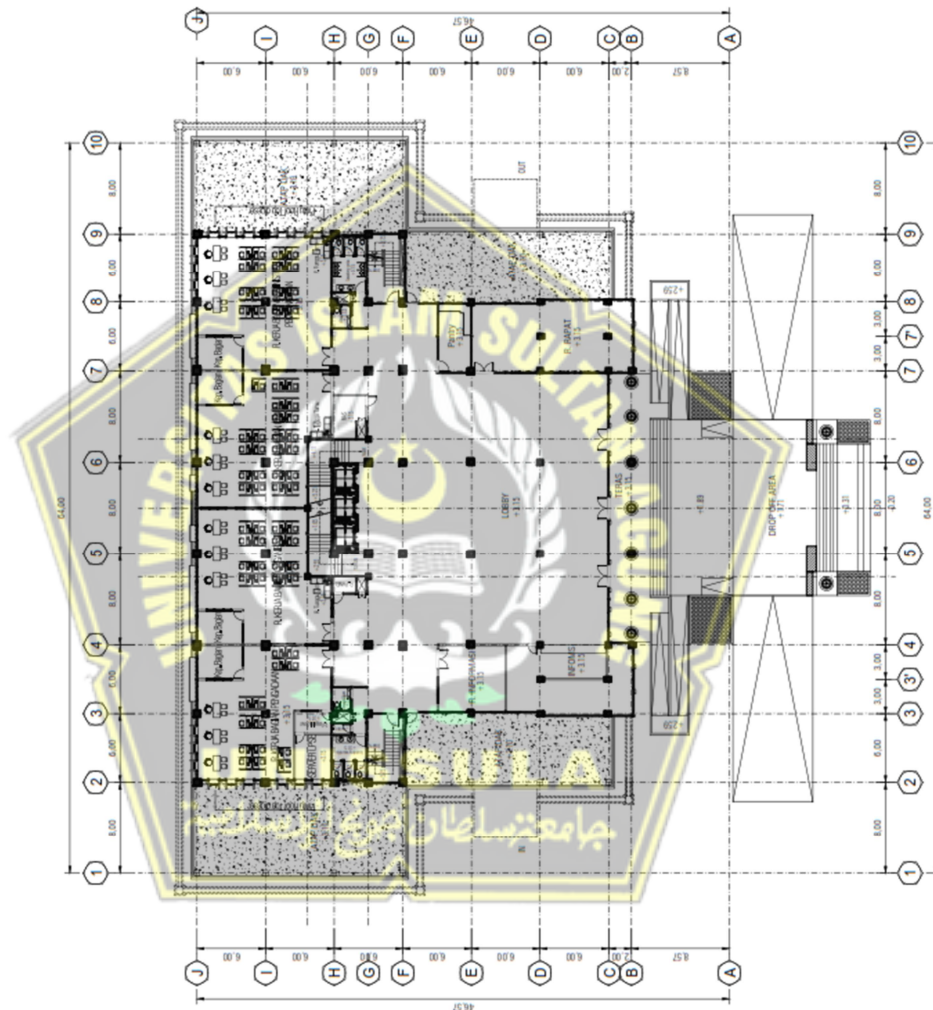
Data yang dikumpulkan berasal dari data lapangan yang diantaranya berisi data gambar kerja dari bangunan seperti gambar denah, tampak, detail Balok, Kolom dan sebagainya. Data-data yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Data Umum Bangunan
 - a. Jenis bangunan : Kantor Pemerintahan
 - b. Lokasi bangunan : Jl. Silenggang, Pasar Batang,
Kabupaten Brebes, Jawa Tengah
 - c. Jumlah lantai : 3 Bagian Depan
6 Bagian Belakang
 - d. Modifikasi : Struktur Sistem Ganda
 - e. Struktur bangunan : Beton Betulang
 - f. Struktur atap : Rangka Baja
 - g. Struktur pondasi : Tiang pancang
 - h. Mutu beton :
 - *Pile Cap* : 300 kN
 - Kolom : 300 kN
 - Balok dan Pelat : 300 kN
 - *Tie beam* dan pelat dasar : 300 kN

i. Mutu tulangan : 420 MPa

2. Data Gambar

Data gambar merupakan kumpulan data yang dituangkan dalam bentuk gambar. Data gambar pada Tugas Akhir ini meliputi, gambar struktur dan gambar arsitektur.



Gambar 3.1 Denah *Basement* Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes

Sumber : (DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM, 2021)

- a. Gambar Struktur
- b. Gambar Arsitektur

3. Data Tanah

3.3 *Standart Yang Digunakan*

Adapun *standart* yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, diantaranya :

- 1) Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung (SNI 1726:2019)
- 2) Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)
- 3) Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan (SNI 2847:2019)

3.4 *Preliminary Design*

Preliminary design merupakan perancangan bangunan yang berupa pendimensian atau tipe ukuran dari struktur yang direncanakan sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019, meliputi:

- 1) Perancangan Dimensi Balok

SNI 2847:2019 Pasal 9.3.1.1 mengatur tentang ketebalan minimum Balok jika lendutan dihitung yang diberikan Tabel 9.3.1.1

a. h Balok Induk : $h_{\min} = \frac{L}{16}$ (3.1)

b. h Balok Anak : $h_{\min} = \frac{L}{21}$ (3.2)

c. Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$

$b_w = \frac{2}{3} \cdot h_{\min}$ (3.3)

d. SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1 (b) mengatur tentang lebar Balok (b_w) tidak boleh kurang dari nilai terkecil dari $0,3 h_{\min}$ dan 250 mm.

- 2) Perancangan Dimensi Pelat Lantai

a. Menentukan pelat 1 arah atau 2 arah.

$\beta = \frac{L_n}{S_n} < 2$ (Plat 2 arah)(3.4)

- b. Menentukan lebar efektif flens berdasarkan Pasal 8.4.1.8 SNI 2847:2019.

$$b_e = b_w + 2h_b \leq b_w + 8h_f \dots\dots\dots(3.5)$$

$$b_e = b_w + 2h_b \dots\dots\dots(3.6)$$

$$b_e = b_w + 8h_f \dots\dots\dots(3.7)$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)\left(4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2\right) + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)^3}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)} \dots\dots\dots(3.8)$$

- c. Menentukan Momen Inersia penampang.

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} \dots\dots\dots(3.9)$$

- d. Menentukan Momen Inersia lajur Pelat Lantai.

$$I_p = 0,5 \frac{b_p t^3}{12} \dots\dots\dots(3.10)$$

- e. Menentukan kekakuan Balok terhadap Pelat Lantai.

$$\alpha_l = \frac{I_p}{I_b} \dots\dots\dots(3.11)$$

- f. Mencari nilai α_{fm}

$$\alpha_{fm} = \frac{1}{n} (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n) \dots\dots\dots(3.12)$$

- g. Mencari nilai h.

Sesuai SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.2.1 jika $\alpha_{fm} > 2$ maka h minimum harus ≥ 90 mm dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \geq 90 \text{ mm} \dots\dots\dots(3.13)$$

3) Perancangan Dimensi Kolom.

- a. Koefesien reduksi beban hidup untuk gedung perkantoran menurut Tabel 4 PPIUG tahun 1987 adalah $0,75 <$ sehingga total beban hidup yang bekerja pada struktur gedung ini adalah :

$$L_L = 0,75 \times L_{L \text{ total}} \dots\dots\dots(3.14)$$

$$L_{L \text{ total}} = 1,2 D_L + 1,6 L_L \dots\dots\dots(3.15)$$

- b. Berdasarkan tabel pada Pasal 21.2.1 SNI 2847:2019 aksial tekan dan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa memiliki faktor reduksi, ϕ , sebesar 0,65 .

- c. Mutu beton yang digunakan = K 300

Perancangan awal menggunakan rumus $\rightarrow A = \frac{w}{\phi f_y} \dots\dots\dots(3.16)$

4) Perancangan Dimensi Dinding Geser.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 11.3.1.1 Dinding tipe tumpu memiliki kriteria ketebalan lebih dari $1/25$ tinggi atau panjang bentang struktur tumpu terpendek atau kurang dari 100 mm.

3.5 Perancangan Struktur Primer

Struktur primer merupakan penahan utama dalam sebuah struktur. Struktur primer berfungsi menahan segala beban yang berasal dari beban gravitasi dan beban lateral yang berupa beban gempa. Perancangan struktur primer pada struktur gedung ini berdasarkan SNI 2847:2019. Perancangan struktur primer tersebut meliputi :

- 1) Perancangan Balok Induk.
- 2) Perancangan Kolom
- 3) Perancangan Dinding Geser

3.6 Perhitungan Pembebanan

Beban – beban yang dihitung dalam perancangan struktur ini meliputi beban- beban berikut :

- 1) Beban Mati (SNI 1727:2020).
- 2) Beban Hidup (SNI 1727:2020).

- 3) Beban Gempa (SNI 1726:2019).
- 4) Beban Kombinasi (SNI 2847:2019).

3.7 Perancangan Struktur Sekunder

Perancangan struktur pada struktur ini meliputi sebagai berikut :

- 1) Perancangan Tangga.
- 2) Perancangan Balok Bordes.
- 3) Perancangan Pelat.
- 4) Perancangan Balok Anak.

3.8 Aplikasi Yang Digunakan

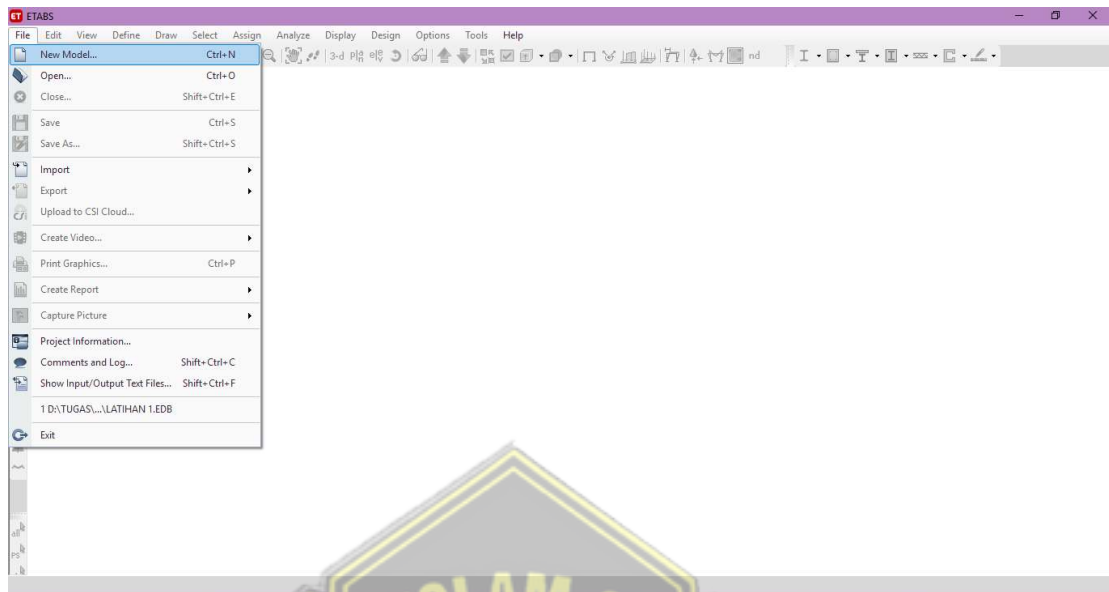
- 1) ETABS V18
- 2) PCACOL V3.36
- 3) *AutoCad 2020*

3.9 Analisis dan Permodelan Struktur

Permodelan struktur dalam Tugas Akhir ini adalah dengan mendesai bangunan menggunakan bantuan program ETABS V18 yang dimulai dari lantai 1 hingga lantai 6. Dalam program tersebut akan dimasukan data-data yang telah di tentukan sebelumnya dalam Bab *Preliminary Design* dan memasukan beban-beban yang telah dihitung sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil *control* apakah bangunan tersebut aman atau tidak terhadap beban-beban tersebut.

Permodelan pradimensi gedung dibuat berdasarkan gambar gedung yang telah diencanakan, hal ini dilakukan untuk mendesain elemen-elemen struktur gedung. Permodelan pada Tugas Akhir ini menggunakan program bantu ETABS V18. Berikut langkah-langkah permodelan dengan program bantu tersebut :

1. Permodelan Grid
 - Buka program ETABS V18 kemudian klik *File - New Model*



Gambar 3.2 Tampilan Lembar Kerja Program ETABS V18

Sumber : Aplikasi ETABS V18

- Pengaturan *Initialization Options*

Pada *initialization options* yang ditujukan pada gambar 3.3 telah mengacu pada peraturan SNI beton Indonesia terbaru yaitu SNI 2847:2019.

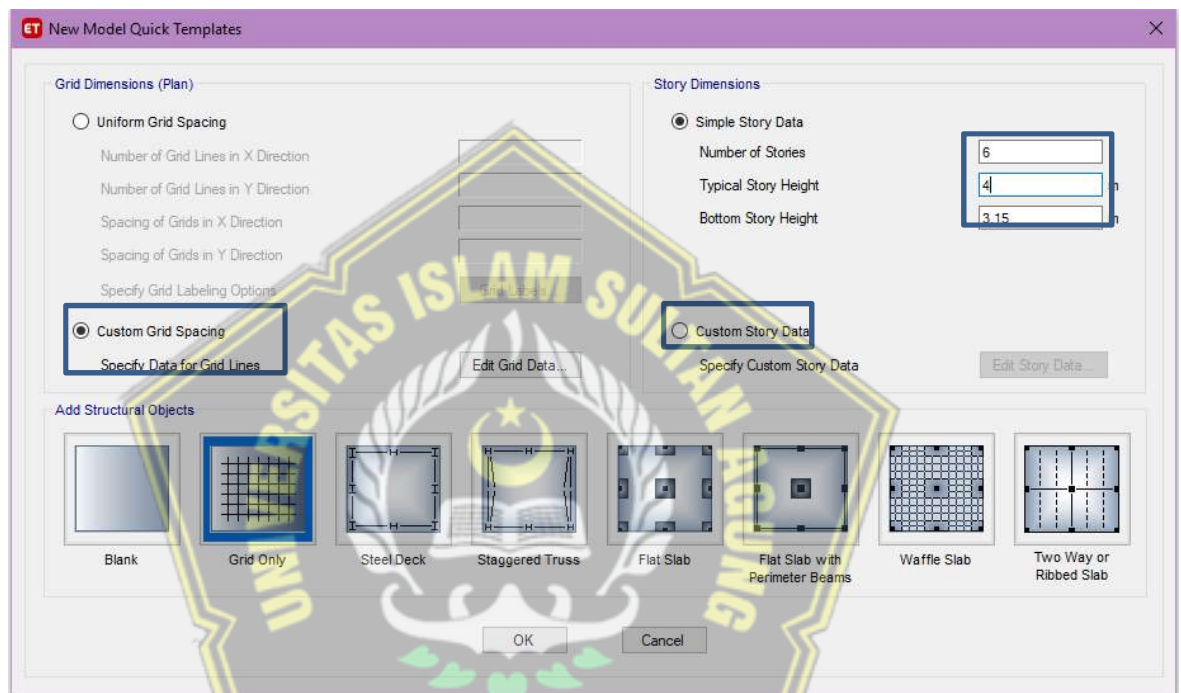


Gambar 3.3 Setting Initialization Options

Sumber : Aplikasi ETABS V18

- Pengaturan *New Model Quick Templates*

Pada *NewModel Quick Template* menggunakan *Costum Grid Spacing* untuk memudahkan pembuatan *grid* sesuai dengan Perancangankemudian *Edit Grid Data* dapat dilihat pada Gambar 3.4 , kemudian pada *Grid System Data* pada Gambar 3.5 *Input Data* sesuai dengan data Perancanganyang sudah ada

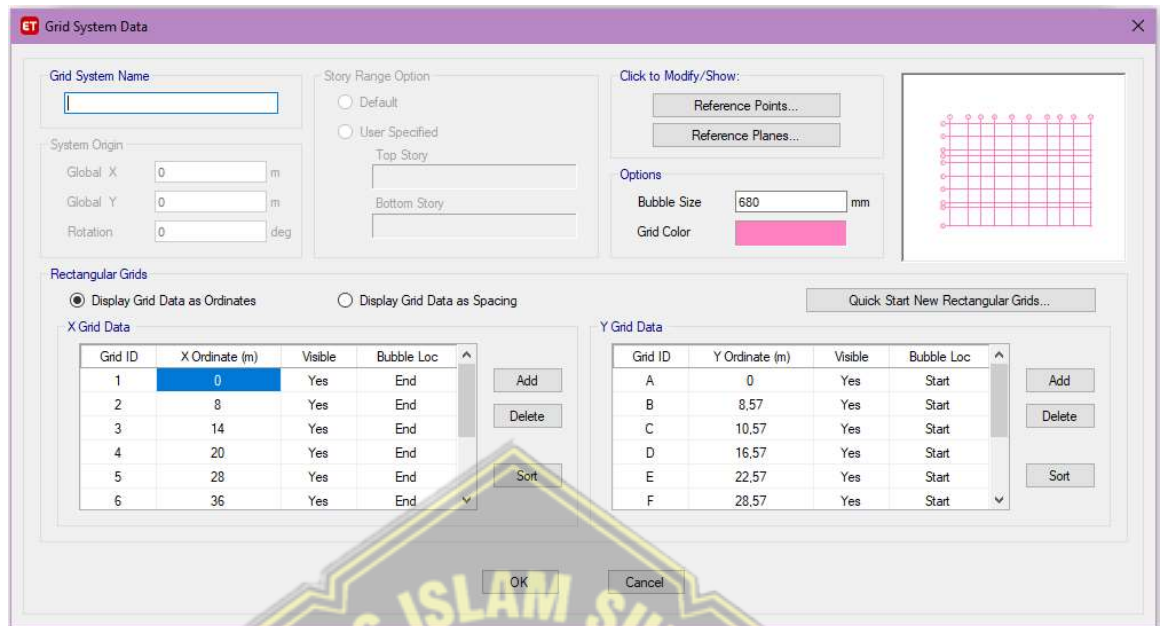


Gambar 3.4 *Model Grid*

Sumber : Aplikasi ETABS V18

- *Input Grid System Data*

Setelah dilakukan tahap diatas akan muncul jendela perintah seperti dibawah ini, masukkan angka sesuai dengan data yang ada, seperti nama *grid* pada bagian pojok kiri atas dan memasukan angka dimensi pada kolom *grid* arah X dan arah Y. Kemudian atur ukuran *bubble* untuk garis dengan ukuran yang proposional. Jika semua data yang dimasukkan kedalam kolom telah sesuai maka klik OK untuk menyimpan data tersebut.

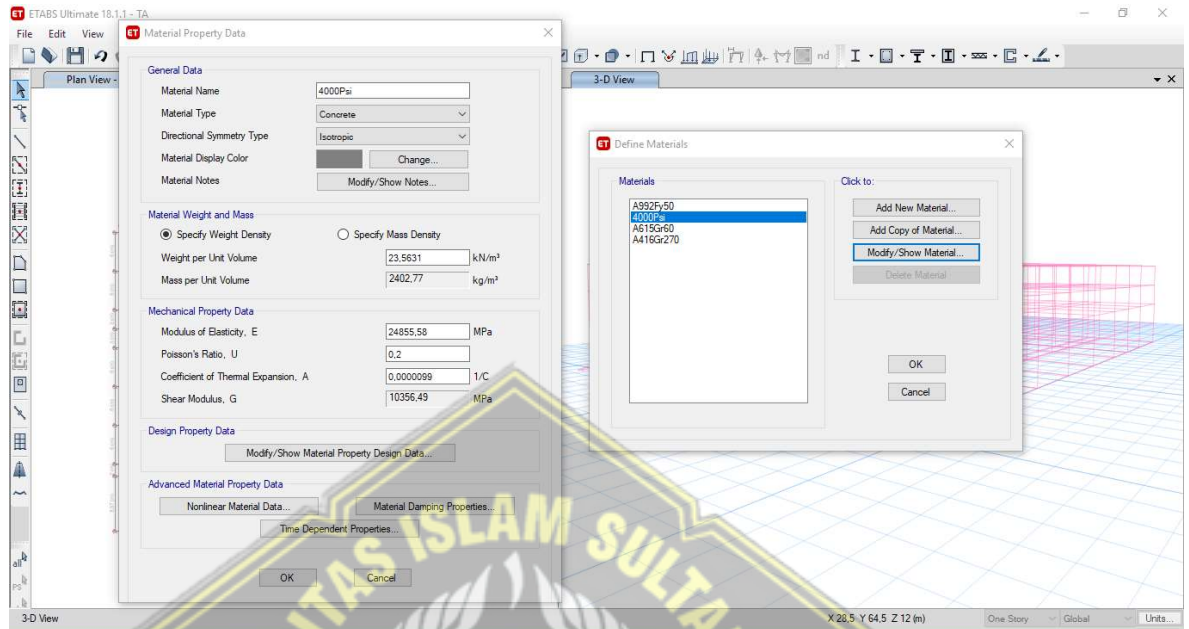


Gambar 3.5 Grid X dan Y
 Sumber : Aplikasi ETABS V18



Gambar 3.6 Grid dan Story
 Sumber : Aplikasi ETABS V18

2. *Input Material Properties*



Gambar 3.7 *Input Data Material*

Sumber : Aplikasi ETABS V18

Pada tahap ini dilakukan *input* data material seperti mutu beton dan mutu baja yang digunakan dengan cara klik menu *Define – Material Properties* – Pilih 4000psi Untuk Mutu Beton – *Modify/Show Material*.

3. *Input Dimensi Elemen Struktur*

• *Input Dimensi Kolom*

Pilih menu *Define – Section Properties – Frame Sections* kemudian *Add New Property*. Kemudian pilih tipe dan *Section Shape* kolom *input* tersebut dapat dilihat pada gambar 3.8.

Pada gambar 3.8 *Section Shape* untuk Kolom dipilih *Concrete Rectangular* dan *Shape* untuk kolom dipilih *Shape Types* dengan bentuk persegi. Pada Balok pemilihan *Section Shape* dan *Shape Types* sama seperti kolom.



Gambar 3.8 Pemilihan Bentuk Dan Material Kolom

Sumber : Aplikasi ETABS V18

Setelah pemilihan bentuk kolom dan material kolom akan muncul perintah *input* data seperti mutu beton yang digunakan dan ukuran dimensi kolom yaitu tinggi kolom dan lebar kolom.

Dalam perintah ini juga terdapat menu untuk menambahkan data tulangan yaitu menu *Reinforcement* dan menu untuk menambahkan data *Safety Factor* Momen Inersia yaitu menu *Property Modifiers* baik Kolom maupun Balok.

Berikut ini merupakan Gambar kolom perintah yang digunakan untuk memasukkan data-data yang dipakai dalam Perancangan Tugas Akhir ini :

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: K1

Material: K 300

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

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 700 mm

Width: 700 mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Gambar 3.9 Input Dimensi Dan Material Kolom

Sumber : Aplikasi ETABS V18

ET Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

☒ P-M2-M3 Design (Column)

☐ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: B7TS 420A

Confinement Bars (Ties): B7TS 280

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: 50 mm

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 5

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 5

Longitudinal Bar Size and Area: 19 mm²

Corner Bar Size and Area: 19 mm²

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: 10 mm²

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

Number of Confinement Bars in 3-dir: 2

Number of Confinement Bars in 2-dir: 2

OK

Cancel

Gambar 3.10 Input Dimensi Tulangan Kolom

Sumber : Aplikasi ETABS V18

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

OK Cancel

Gambar 3.11 *Input Safety Factor Momen Inersia Kolom*

Sumber : Aplikasi ETABS V18

- *Input Dimensi Balok*

Input Dimensi pada Balok memiliki langkah yang sama seperti langkah *Input Dimensi Kolom* namun terdapat beberapa perbedaan seperti ukuran dimensi baik tinggi balok maupun lebar balok, tipe desain serta nilai *Safety Factor Momen Inersia* yang digunakan.

Langkah-langkah tersebut dijelaskan pada Gambar 3.12 hingga Gambar 3.14 dan data yang dimasukkan pada tahap ini merupakan data yang digunakan pada Perancangan Tugas Akhir ini.

ET Frame Section Property Data

General Data

Property Name: B1

Material: BETON F'C 25 MPa

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

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 400 mm

Width: 700 mm

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column: ☐

OK Cancel

Gambar 3.12 *Input* Dimensi Dan Material Balok

Sumber : Aplikasi ETABS V18

ET Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

☐ P-M2-M3 Design (Column)

☒ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: B1TS 420A

Confinement Bars (Ties): B1TS 280

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 3.13 *Input* Material Tulangan Balok

Sumber : Aplikasi ETABS V18

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

Gambar 3.14 *Input Safety Factor* Momen Inersia Balok

Sumber : Aplikasi ETABS V18

- *Input Dimensi Pelat*

Pilih menu *Define – Section Properties – Slab Section – Add New Property – Input Data – OK*. Tahapan *Input* data Pelat Lantai dan Pelat Atap dapat dilihat pada Gambar 3.15 hingga 3.17 berikut ini :

ET Slab Property Data

General Data

Property Name: PL

Slab Material: BETON F'C 25 MPa

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

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently User Specified): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Type: Slab

Thickness: 120 mm

OK Cancel

Gambar 3.15 *Input Dimensi Dan Material Pelat Lantai*

Sumber : Aplikasi ETABS V18

ET Slab Property Data

General Data

Property Name: PA

Slab Material: BETON F'C 25 MPa

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

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently User Specified): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

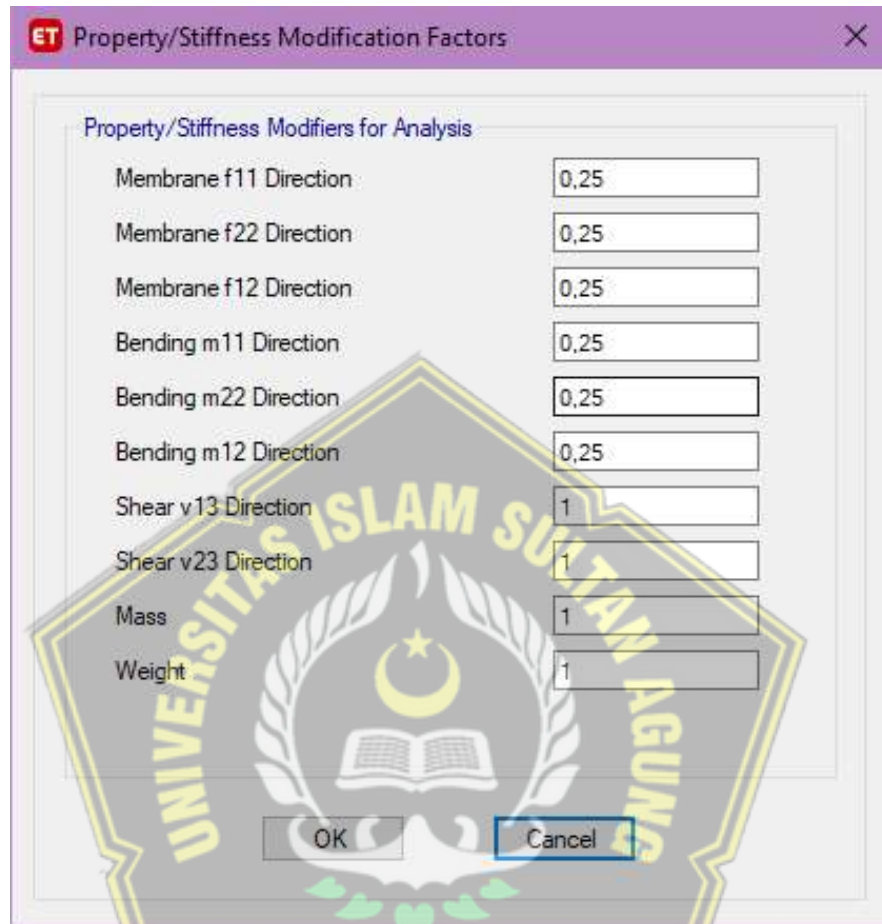
Type: Slab

Thickness: 120 mm

OK Cancel

Gambar 3.16 *Input Dimensi Dan Material Pelat Atap*

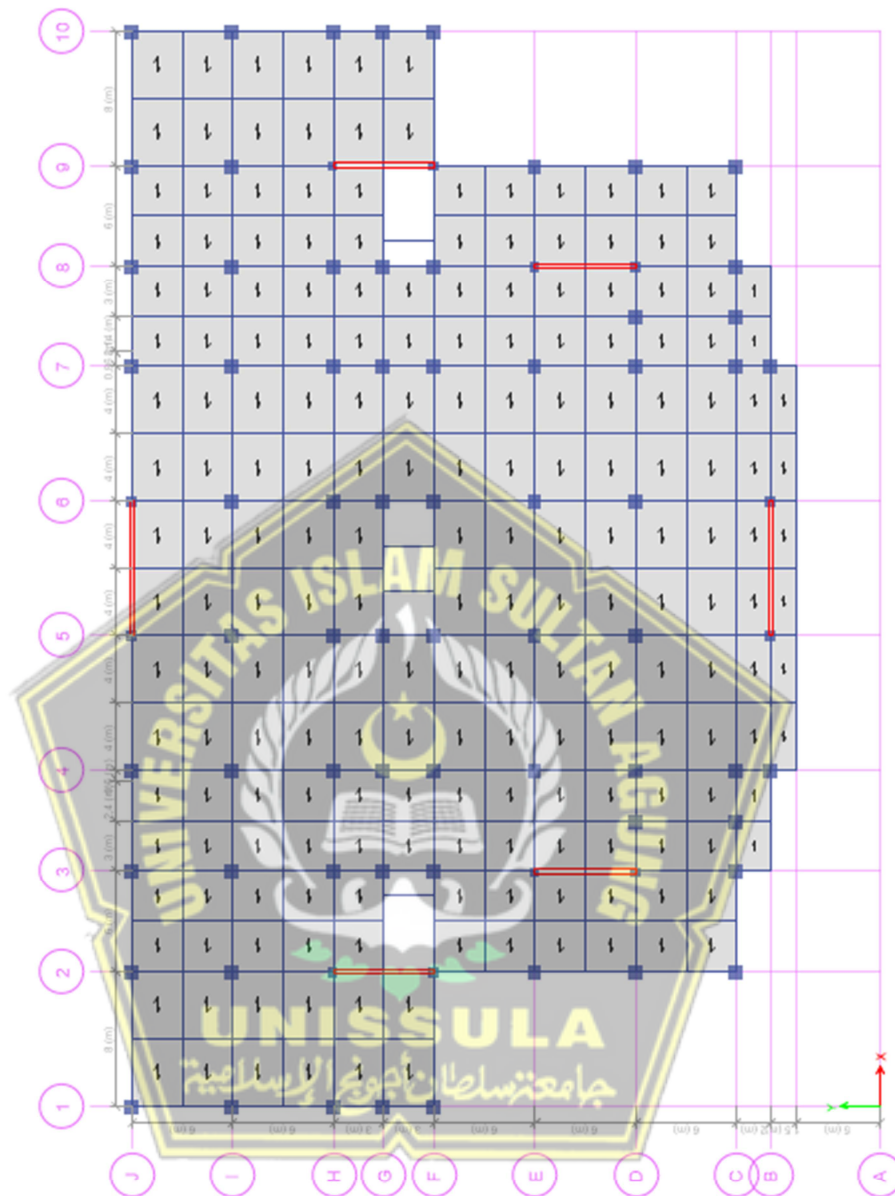
Sumber : Aplikasi ETABS V18



Gambar 3.17 *Input Safaety Factor* Momen Inersia Pelat Lantai

Sumber : Aplikasi ETABS V18

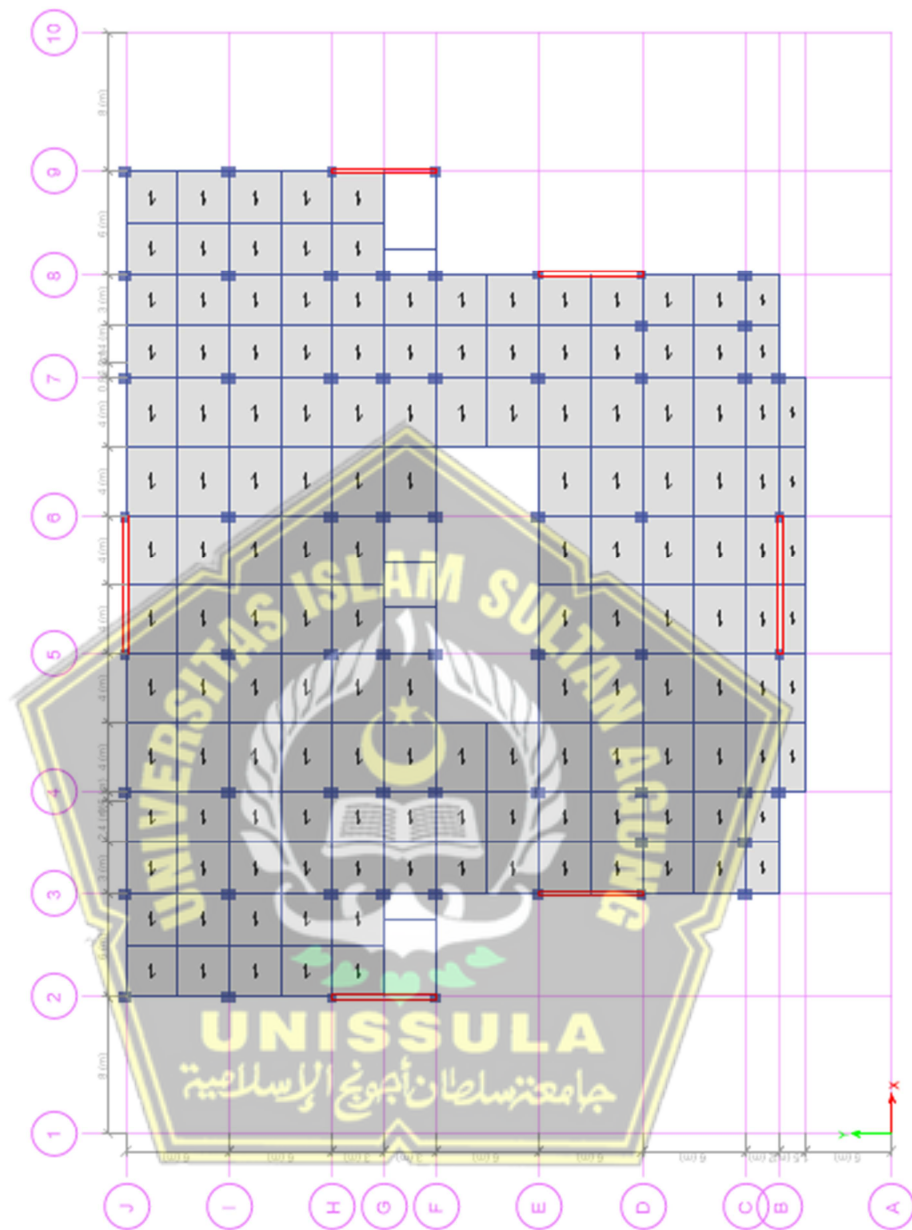
Dari tahap-tahap diatas didapatkan satu permodelan gedung Perkantoran sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar berikut ini :



Gambar 3.18 *Plan View Basement*

Sumber : Aplikasi ETABS V18

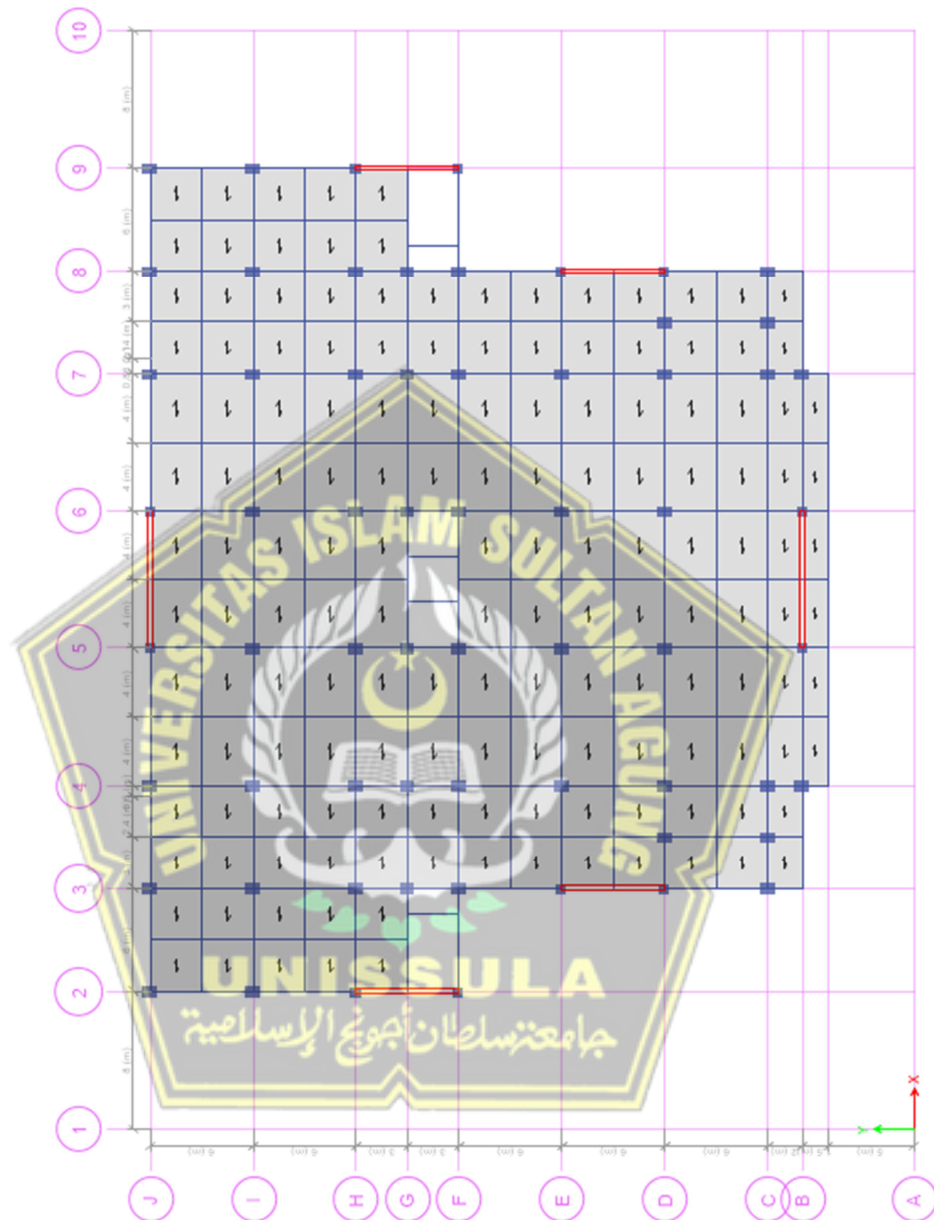
Gambar diatas merupakan gambar denah Lantai *Basement* gedung Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes yang didapatkan dari hasil permodelan awal menggunakan program bantu ETABS.



Gambar 3.19 *Plan View* Lantai 1

Sumber : Aplikasi ETABS V18

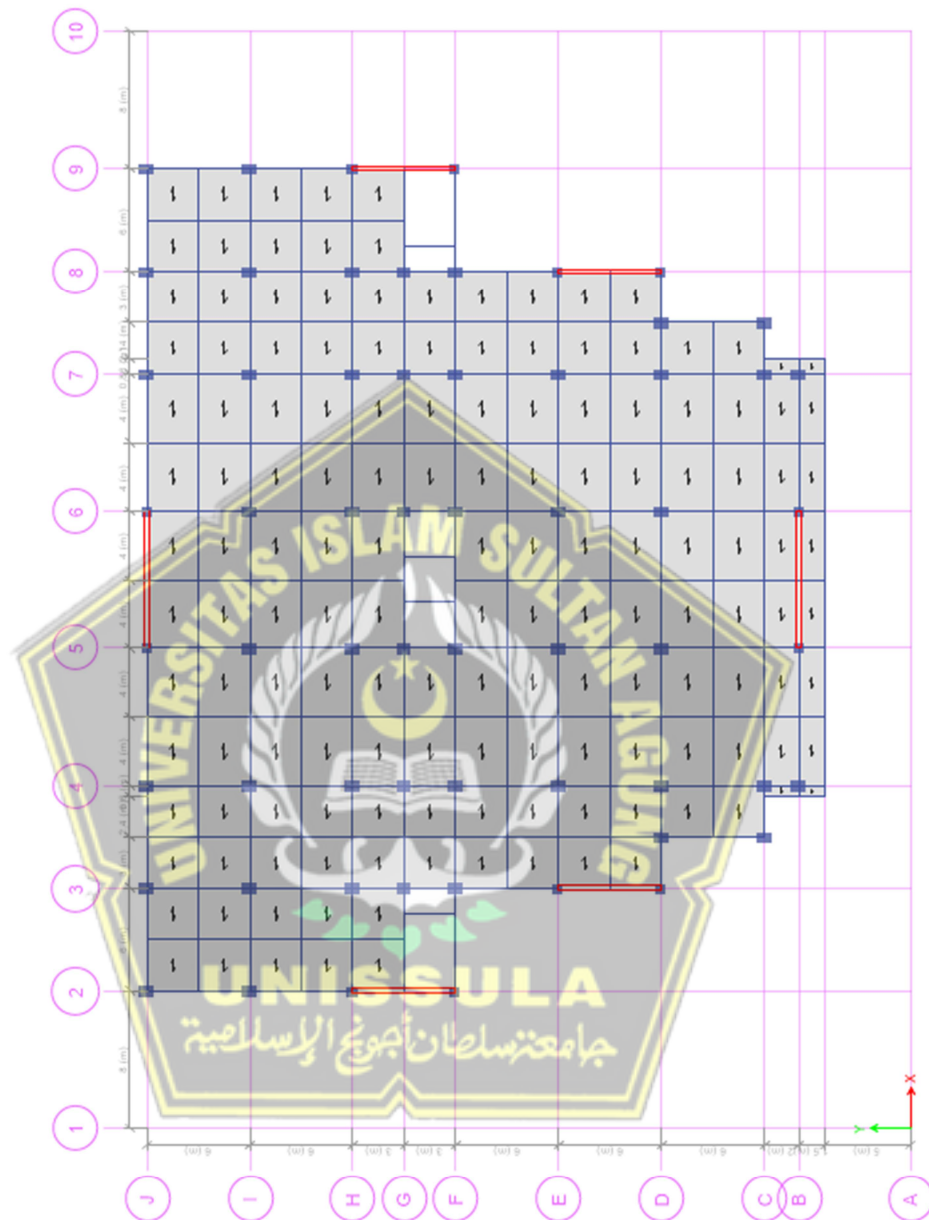
Gambar diatas merupakan gambar denah Lantai 1 gedung Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes yang didapatkan dari hasil permodelan awal menggunakan program bantu ETABS.



Gambar 3.20 *Plan View* Lantai 2

Sumber : Aplikasi ETABS V18

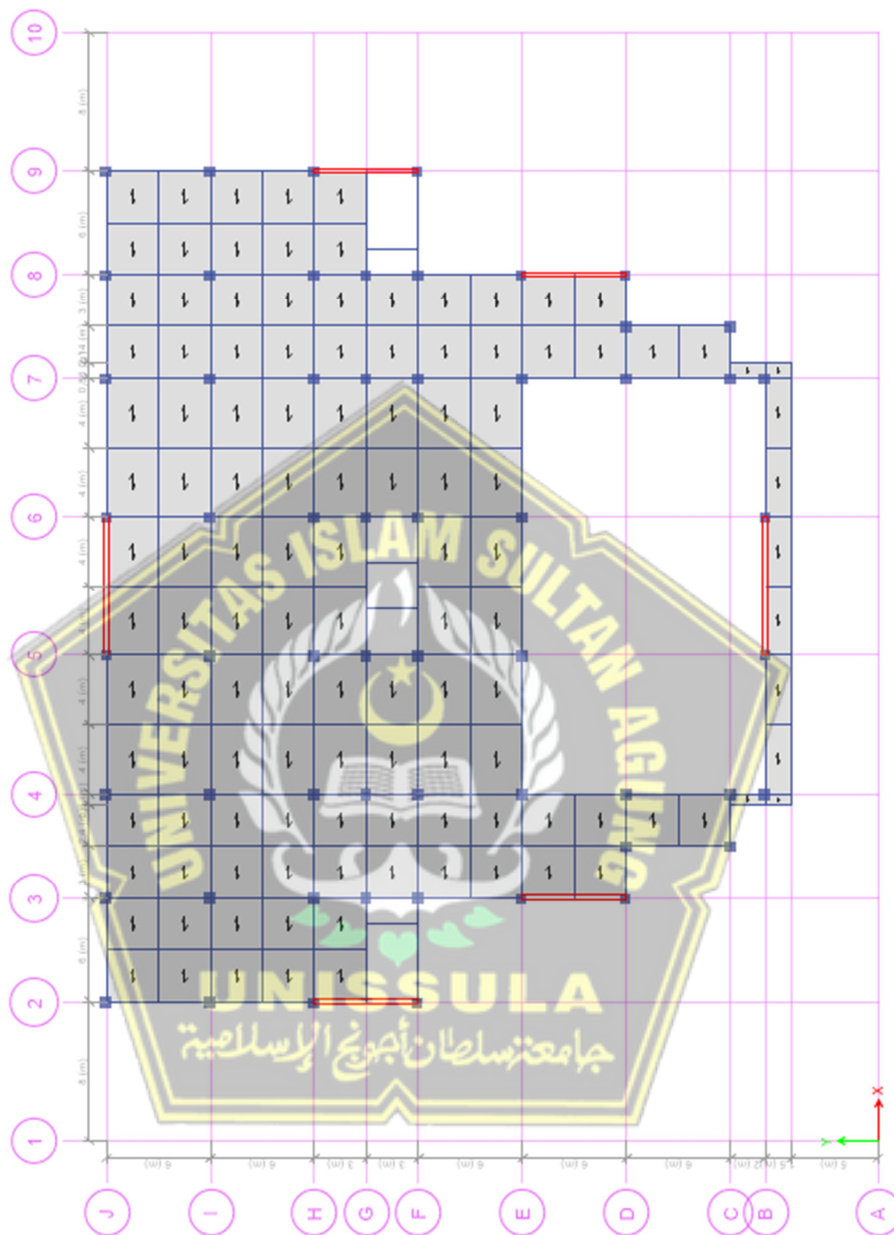
Gambar diatas merupakan gambar denah Lantai 2 gedung Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes yang didapatkan dari hasil permodelan awal menggunakan program bantu ETABS.



Gambar 3.21 *Plan View* Lantai 3

Sumber : Aplikasi ETABS V18

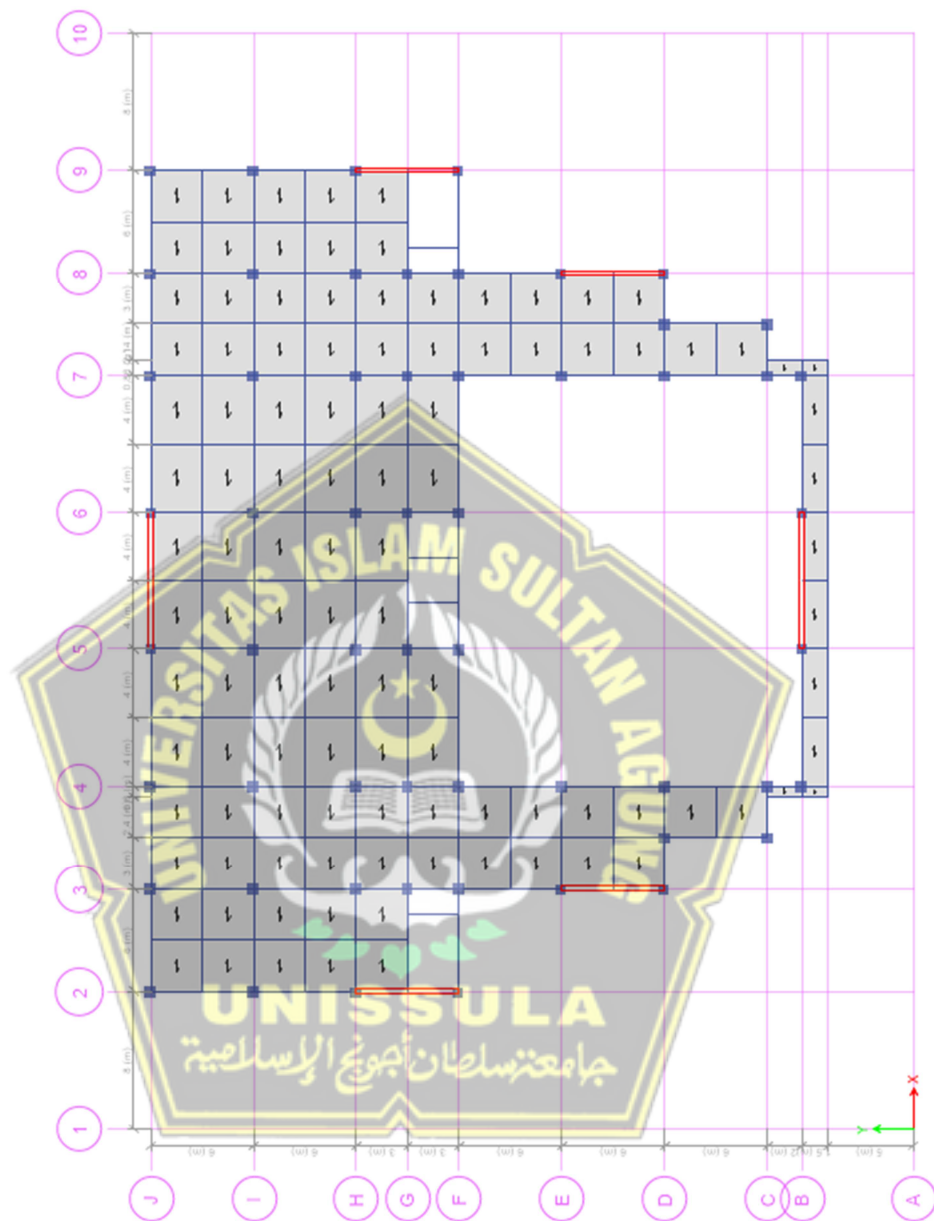
Gambar diatas merupakan gambar denah Lantai 3 gedung Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes yang didapatkan dari hasil permodelan awal menggunakan program bantu ETABS.



Gambar 3.22 *Plan View* Lantai 4

Sumber : Aplikasi ETABS V18

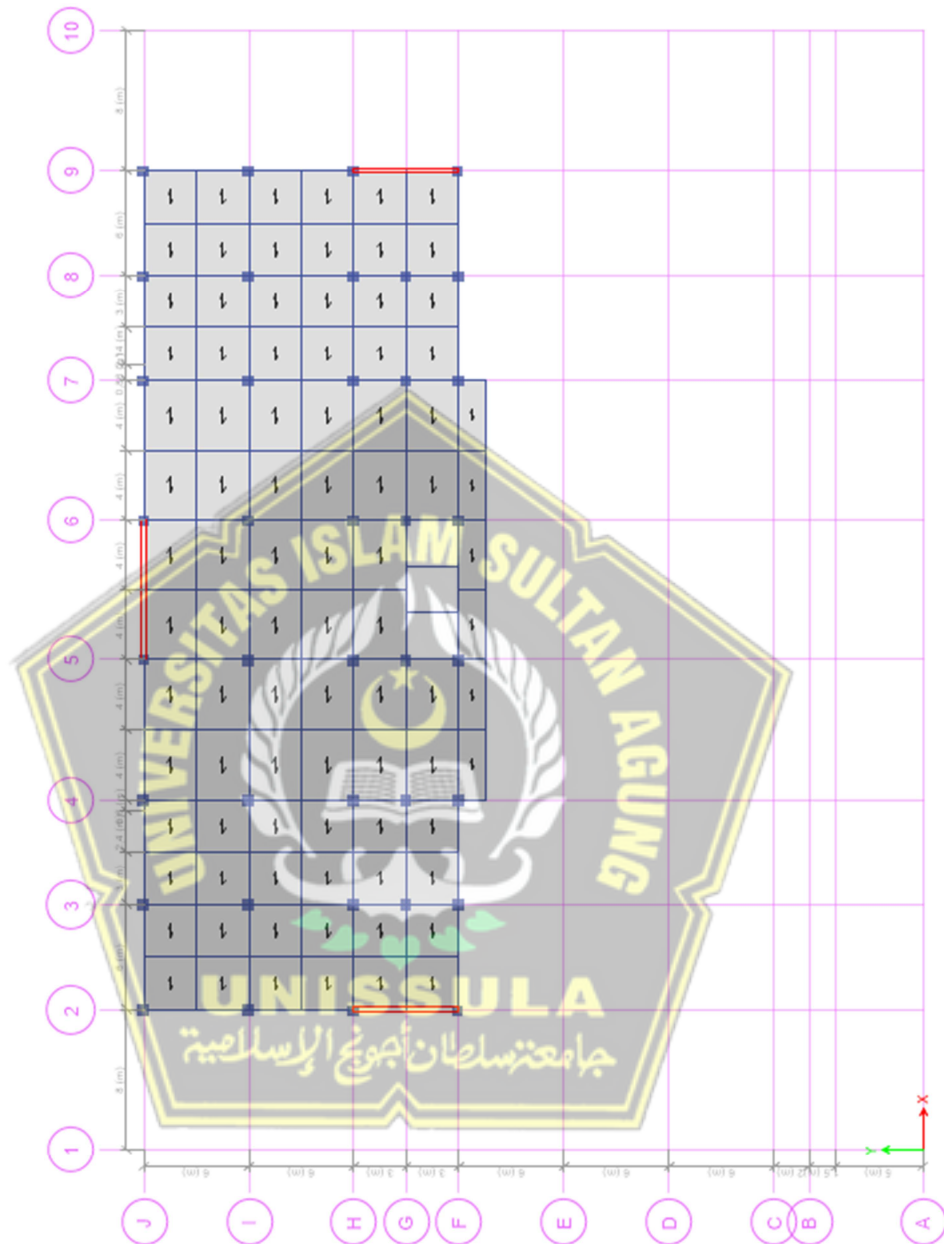
Gambar diatas merupakan gambar denah Lantai 4 gedung Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes yang didapatkan dari hasil permodelan awal menggunakan program bantu ETABS.



Gambar 3.23 *Plan View* Lantai 5

Sumber : Aplikasi ETABS V18

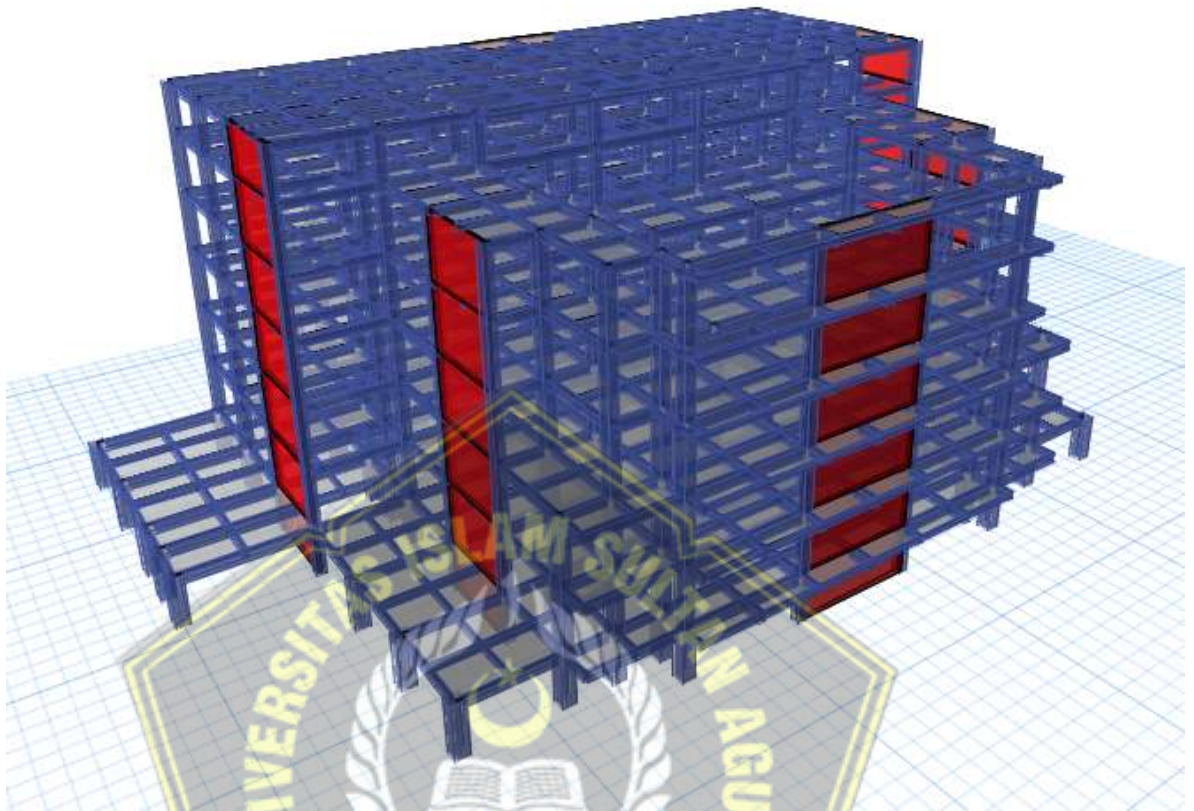
Gambar diatas merupakan gambar denah Lantai 5 gedung Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes yang didapatkan dari hasil permodelan awal menggunakan program bantu ETABS.



Gambar 3.24 *Plan View Top Floor*

Sumber : Aplikasi ETABS V18

Gambar diatas merupakan gambar denah Lantai *Top Floor* gedung Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes yang didapatkan dari hasil permodelan awal menggunakan program bantu ETABS.



Gambar 3.24 *Plan 3D View*

Sumber : Aplikasi ETABS V18

4. Pembebanan stuktur

a. *Input* Beban Mati

Beban mati yang diinput harus berdasarkan perhitungan berdasarkan SNI 1727:2020.

Joint Load Assignment - Force

Load Pattern Name: Dead

Loads

Force Global X: 0 kN

Force Global Y: 0 kN

Force Global Z: 0 kN

Moment Global XX: 0 kN-m

Moment Global YY: 0 kN-m

Moment Global ZZ: 0 kN-m

Options

☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Size of Load for Punching Shear

X Dimension: 0 mm

Y Dimension: 0 mm

OK Close Apply

Gambar 3.24 *Input* Beban Mati

Sumber : Aplikasi ETABS V18

b. *Input* Beban Hidup

Beban mati yang diinput harus berdasarkan perhitungan berdasarkan SNI 1727:2020.

Joint Load Assignment - Force

Load Pattern Name: Live

Loads

Force Global X: 0 kN

Force Global Y: 0 kN

Force Global Z: 0 kN

Moment Global XX: 0 kN-m

Moment Global YY: 0 kN-m

Moment Global ZZ: 0 kN-m

Options

☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Size of Load for Punching Shear

X Dimension: 0 mm

Y Dimension: 0 mm

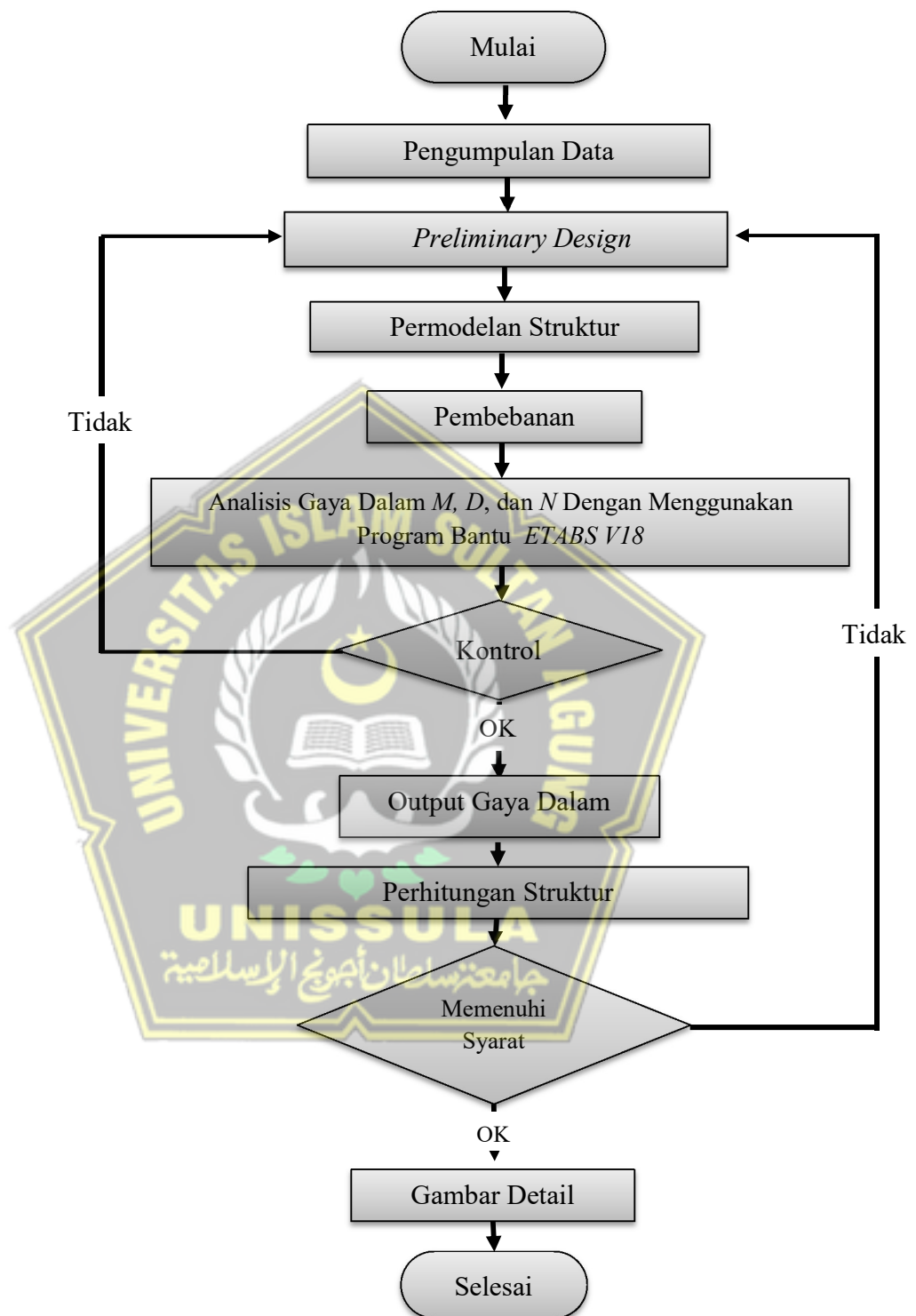
OK Close Apply

Gambar 3.25 *Input Beban Mati*

Sumber : Aplikasi ETABS V18

3.10 Diagram Alir Perancangan

Diagram alir atau *Flowchart* merupakan suatu bagan dengan simbol-simbol tertentu yang menggambarkan urutan proses secara mendetail dan hubungan antara suatu proses (instruksi) dengan proses lainnya dalam suatu program (WIBAWANTO, 2017). Berikut adalah diagram alir atau *flowchart* tugas akhir ini :



Gambar 3.26 Diagram Alir Perancangan

BAB IV

PERANCANGAN

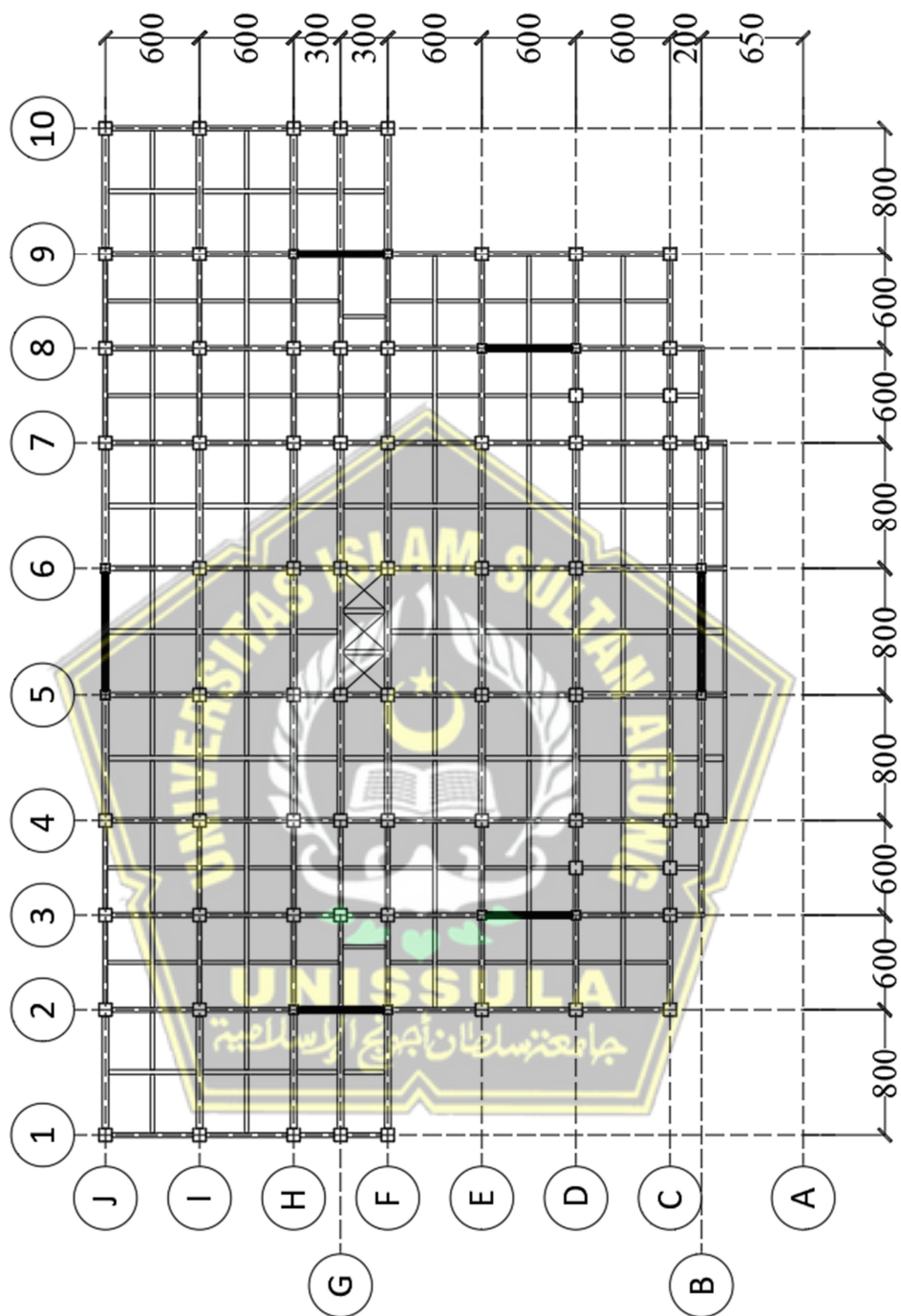
4.1. *Preliminary Design*

4.1.1. Data Umum

Gedung dalam perancangan ini menggunakan struktur beton bertulang dengan data sebagai berikut :

Lokasi	: Desa Silenggang, Pasar Batang, Kecamatan Brebes , Jawa Tengah
Tipe bangunan	: Perkantoran
Luas bangunan	: 2848 m ²
Tinggi bangunan	: 26,5 m (6 lantai)
Tinggi lantai <i>Basement</i>	: 3,15 m
Tinggi lantai 1-5	: 4 m
Tinggi lantai <i>top floor</i>	: 3,15 m
Mutu beton	: 25 MPa
Mutu baja Balok dan Kolom	: 420 MPa
Mutu baja Pelat	: 420 MPa

Gambar denah dari salah satu lantai gedung Kantor Pemerintahan Terpadu kabupaten Brebes dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Denah Lantai *Basement*

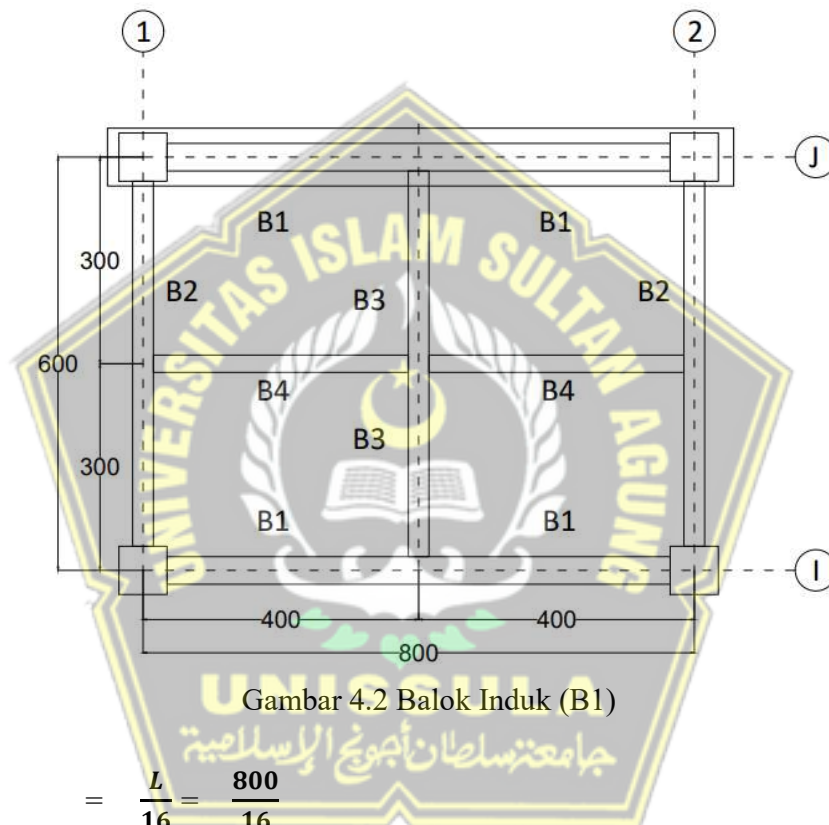
Sumber : Aplikasi ETABS V18

4.1.2. Preliminary Design Balok

Balok merupakan elemen struktur memiliki fungsi sebagai pemikul beban lateral. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.3.1.1, desain dimensi Balok dengan bentang seperti pada Gambar 4.2 dan 4.3 adalah sebagai berikut :

4.1.2.1. Dimensi Balok Induk

Dimensi Balok Induk (B1), bentang (L) = 8 m.



Gambar 4.2 Balok Induk (B1)

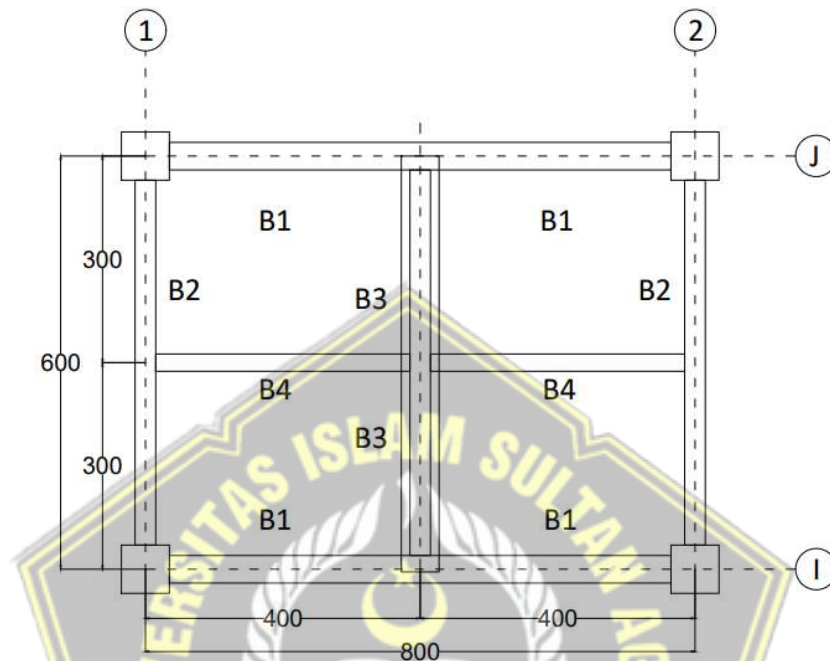
$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{L}{16} = \frac{800}{16} \\ &= 50 \text{ cm, Diambil nilai } 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} bw &= \frac{2}{3} \times h_{\min} \\ &= \frac{2}{3} \times 60 \\ &= 40 \text{ cm} \end{aligned}$$

Jadi dimensi Balok Induk (B1) adalah 40/60 cm

4.1.2.2. Dimensi Balok Anak

Dimensi Balok Anak (B3), bentang (L) = 6 m.



Gambar 4.3 Balok Anak (B3)

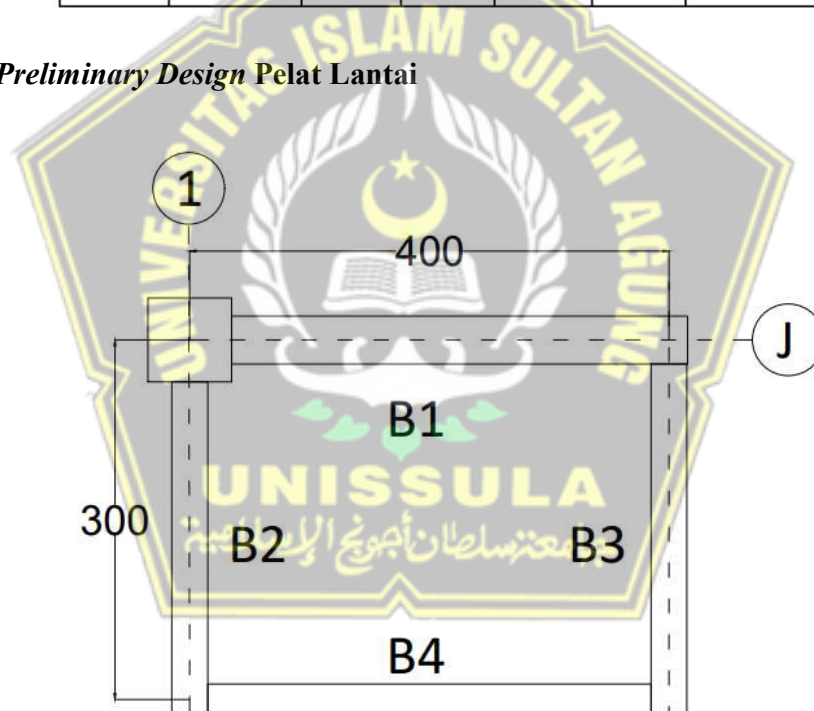
$$\begin{aligned}
 h_{\min} &= \frac{L}{21} = \frac{600}{21} \\
 &= 28,5, \text{ Diambil nilai } 50 \text{ cm} \\
 bw &= \frac{2}{3} \times h_{\min} \\
 &= \frac{2}{3} \times 50 \\
 &= 33,33, \text{ Diambil nilai } 30 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Jadi dimensi Balok Induk (B3) adalah 30/50 cm

Tabel 4.1. Rekapitulasi Dimensi Balok

Nama Balok	Bentang (L)	h_{min}	h_{ren}	b_w	b_{ren}	Dimensi
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
B1	800	50	60	40	40	40/60
B2	600	37,5	50	26,66	30	30/50
B3	600	28,5	50	23,3	30	30/50
B4	600	28,5	40	23,3	25	25/40
B5	400	19,04	35	23,33	20	20/35
B6	300	14,02	30	20	20	20/30

4.1.3. Preliminary Design Pelat Lantai



Gambar 4.4. Pelat Lantai Tipe A

Tipe Pelat dengan dimensi 400 cm x 300 cm (Tipe Pelat A)

$$L_y = 400 \text{ cm}$$

$$L_x = 300 \text{ cm}$$

$$L_n = L - \left(\frac{b_{\text{panjang}}}{2} + \frac{b_{\text{panjang}}}{2} \right)$$

$$L_n = 400 - \left(\frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right) = 370 \text{ cm}$$

$$S_n = L - \left(\frac{b_{\text{lebar}}}{2} + \frac{b_{\text{lebar}}}{2} \right)$$

$$S_n = 300 - \left(\frac{40}{2} + \frac{25}{2} \right) = 267,5 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{370}{267,5} = 1,4 < 2 \text{ (Pelat 2 arah)}$$

Direncanakan menggunakan ketebalan pelat 12 cm.

1. Balok B1 (40/60) dengan panjang 400 cm.



Gambar 4.5. Potongan Melintang Balok B1

a. Menghitung lebar efektif

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2h_b \\ &= b_w + 2 \times (h_w - h_f) \\ &= 40 + 2 \times (60 - 12) \end{aligned}$$

$$= 136 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + 8h_f \\ &= 30 + 8 \times 12 \\ &= 136 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$b_e = 136 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} k &= \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)\left(4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2\right) + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)^3}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)} \\ &= \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right)\left(\frac{12}{60}\right)\left(4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2\right) + \left(\frac{136}{40} - 1\right)\left(\frac{12}{60}\right)^3}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right)\left(\frac{12}{60}\right)} \\ &= 1,92 \end{aligned}$$

b. Menentukan Momen Inersia penampang

$$\begin{aligned} I_b &= k \frac{b_w h^3}{12} \\ &= 1,92 \frac{40 \times 60^3}{12} \\ &= 1383178,378 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

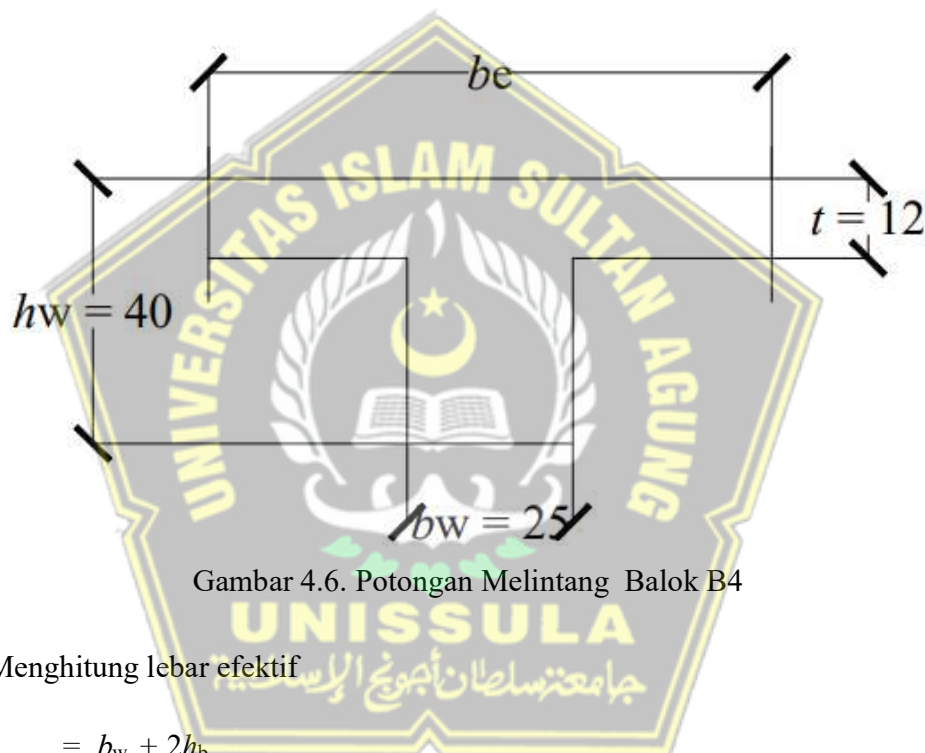
c. Menentukan Momen Inersia lajur Pelat Lantai

$$\begin{aligned} I_P &= 0,5 \frac{b_p t^3}{12} \\ &= 0,5 \frac{(400+300) \times 12^3}{12} \\ &= 50400 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

d. Menentukan kekakuan Balok terhadap Pelat Lantai

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \frac{I_b}{I_p} \\ &= \frac{1383178,378}{50400} \\ &= 27,44\end{aligned}$$

2. Balok B4 (25/40) dengan panjang 400 cm.



Gambar 4.6. Potongan Melintang Balok B4

a. Menghitung lebar efektif

$$\begin{aligned}b_{e1} &= b_w + 2h_b \\ &= b_w + 2 \times (h_w - h_f) \\ &= 25 + 2 \times (40 - 12) \\ &= 81 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}b_{e2} &= b_w + 8h_f \\ &= 25 + 8 \times 12\end{aligned}$$

$$= 121 \text{ cm}$$

$1b_{e1} < b_{e2}$ sehingga $b_e = b_{e1} = 81 \text{ cm}$.

$$\begin{aligned} k &= \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)\left(4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2\right) + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)^3}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)} \\ &= \frac{1 + \left(\frac{81}{25} - 1\right)\left(\frac{12}{40}\right)\left(4 - 6\left(\frac{12}{40}\right) + 4\left(\frac{12}{40}\right)^2\right) + \left(\frac{81}{25} - 1\right)\left(\frac{12}{40}\right)^3}{1 + \left(\frac{81}{25} - 1\right)\left(\frac{12}{40}\right)} \\ &= 1,92 \end{aligned}$$

b. Menentukan Momen Inersia penampang

$$\begin{aligned} I_b &= k \frac{b_w h^3}{12} \\ &= 1,92 \frac{25 \times 40^3}{12} \\ &= 256051,03 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

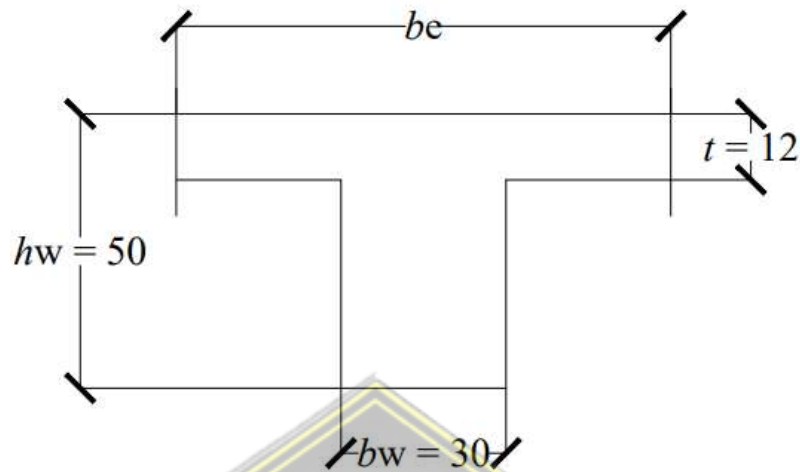
c. Menentukan Momen Inersia lajur Pelat Lantai

$$\begin{aligned} I_p &= 0,5 \frac{b_p t^3}{12} \\ &= 0,5 \frac{(400+300) \times 12^3}{12} \\ &= 50400 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

d. Menentukan kekakuan Balok terhadap Pelat Lantai

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \frac{I_b}{I_p} \\ &= \frac{256051,03}{50400} \\ &= 5,08 \end{aligned}$$

3. Balok B2 dan B3 (30/50) dengan panjang 300 cm.



Gambar 4.7. Potongan Melintang B2 dan B3

a. Menghitung lebar efektif

$$\begin{aligned}
 b_{e1} &= b_w + 2h_b \\
 &= b_w + 2 \times (h_w - h_f) \\
 &= 30 + 2 \times (50 - 12) \\
 &= 106 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b_{e2} &= b_w + 8h_f \\
 &= 35 + 8 \times 12 \\
 &= 126 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$b_{e2} < b_{e1}$ sehingga $b_e = b_{e1} = 106 \text{ cm}$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)\left(4 - 6\left(\frac{t}{h}\right) + 4\left(\frac{t}{h}\right)^2\right) + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)^3}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right)\left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$= \frac{1 + \left(\frac{106}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{50}\right)\left(4 - 6\left(\frac{12}{50}\right) + 4\left(\frac{12}{50}\right)^2\right) + \left(\frac{106}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{50}\right)^3}{1 + \left(\frac{106}{30} - 1\right)\left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$= 1,98$$

b. Menentukan Momen Inersia penampang

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12}$$

$$= 1,98 \frac{30 \times 50^3}{12}$$

$$= 621793,53 \text{ cm}^4$$

c. Menentukan Momen Inersia lajur Pelat Lantai

$$I_p = 0,5 \frac{b_p t^3}{12}$$

$$= 0,5 \frac{(400+300) \times 12^3}{12}$$

$$= 50400 \text{ cm}^4$$

d. Menentukan kekakuan Balok terhadap Pelat Lantai

$$\alpha_{3,4} = \frac{I_b}{I_p}$$

$$= \frac{621793,53}{50400}$$

$$= 12,33$$

4. Mencari nilai αfm

$$\begin{aligned}\alpha fm &= \frac{\alpha 1 + \alpha 2 + \alpha 3 + \alpha 4}{4} \\ &= \frac{27,44 + 5,08 + 12,33 + 12,33}{4} \\ &= 14,29\end{aligned}$$

Karena nilai $\alpha fm > 2$ maka nilai h dicari dengan menggunakan Persamaan 3.12 dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

5. Mencari nilai h

$$\begin{aligned}h &= \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \geq 90 \text{ mm} \\ &= \frac{370\left(0,8 + \frac{420}{1400}\right)}{36 + (9 \times 1,38)} \\ &= 84,01, \text{ Diambil } 120 \text{ mm} \\ &= 120 \text{ mm} \geq 90 \text{ mm} \\ &\text{Dipakai tebal Pelat Lantai} = 120 \text{ cm.}\end{aligned}$$

Tabel 4.2 Rekapitulasi Ketebalan Pelat Lantai

Tipe Pelat	Dimensi				β	Tipe Arah	$t_{\min}$ (cm)	t_{rencana} (cm)
	P (cm)	L (cm)	Ln (cm)	Sn (cm)				
A	400	300	370	267,5	1,4	2	8,4	12
B	300	300	275	272,5	1,01	2	6,7	12
C	400	200	370	165	2,3	1	7,3	12
D	400	150	365	120	3,1	1	6,3	12

4.1.4. Preliminary Design Kolom

Perancangan kolom yang ditinjau adalah kolom yang mengalami pembebanan paling besar, yaitu kolom yang memikul bentang 800 cm x 600 cm.

Direncanakan :

Tebal pelat	:	12 cm
Tinggi Lantai <i>Basement</i>	:	315 cm
Tinggi Lantai 1 – 5	:	400 cm
Tinggi Lantai Atap	:	315 cm
Dimensi pelat	:	800 cm x 600 cm
Beban Hidup Kantor	:	2,40 kN/m ² (SNI-1727-2020)
Luas Tributari	:	48 m ²
K_{LL}	:	4 (SNI-1727-2020)

Beban Mati

Pelat lantai	=	$8 \times 6 \times 0,120 \times 24 \times 7$	=	967,68	kN/m ²
Penggantungan	=	$8 \times 6 \times 0,10 \times 7$	=	33,6	kN/m ²
<i>Plafond</i>	=	$8 \times 6 \times 0,10 \times 7$	=	33,6	kN/m ²
Keramik	=	$8 \times 6 \times 0,22 \times 6$	=	63,36	kN/m ²
Spesi (2 cm)	=	$8 \times 6 \times 0,22 \times 6$	=	63,36	kN/m ²
ME dan <i>Plumbing</i>	=	$8 \times 6 \times 0,25 \times 7$	=	84	kN/m ²
Dinding	=	$8 \times 6 \times 1,8 \times 6$	=	518,4	kN/m ²
B1 (40/60)	=	$0,4 \times 0,6 \times 8 \times 24 \times 7$	=	322,56	kN/m ²
B2 (30/50)	=	$0,3 \times 0,5 \times 6 \times 24 \times 7$	=	151,2	kN/m ²
B3 (30/50)	=	$0,3 \times 0,5 \times 6 \times 24 \times 7$	=	151,2	kN/m ²
B4 (25/40)	=	$0,25 \times 0,4 \times 3 \times 24 \times 7$	=	50,4	kN/m ²
B4 (25/40)	=	$0,25 \times 0,4 \times 3 \times 24 \times 7$	=	50,4	kN/m ²
Total			=	2489,76	kN/m ²

Menurut SNI 1727:2020 Pasal 4.8.3 komponen struktur yang memiliki nilai $K_{LLAT} \geq 37,16 \text{ m}^2$ diijinkan untuk dirancang dengan beban hidup tereduksi.

$$A_T = 8 \times 6 = 48 \text{ m}^2$$

$$K_{LL}A_T = 48 \times 4 = 192 \text{ m}^2$$

Karena , $192 \text{ m}^2 \geq 37,16 \text{ m}^2$ maka beban hidup boleh direduksi.

→ Reduksi beban hidup Pelat Lantai 1-5

$$\begin{aligned} L &= L_0 \left(0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{K_{LL}A_T}} \right) \geq 0,4 L_0 \\ &= 2,40 \left(0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{192}} \right) \geq 0,4 \times 2,40 \\ &= 2,40 \left(0,25 + \frac{4,75}{\sqrt{192}} \right) \geq 0,4 \times 2,40 \\ &= 1,42 \text{ kN/m}^2 \geq 0,96 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga beban hidup total lantai 1-5 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L &= 1,42 \times 8 \times 6 \times 6 \\ &= 409,74 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

→ Reduksi beban hidup Pelat Lantai atap

Reduksi beban hidup lantai atap diatur oleh SNI 1727:2020 Pasal 4.8.2 maka :

$$\begin{aligned} R1 &= 1,2 - 0,011 A_T (18,58 \text{ m}^2 < 48 \text{ m}^2 < 55,74 \text{ m}^2) \\ &= 1,2 - 0,011 \times 48 \\ &= 0,672 \text{ m}^2 \\ R2 &= 1 (F < 4) \\ L_0 &= 0,96 \text{ kN/m}^2 \\ L_r &= L_0 \cdot R1 \cdot R2 \\ &= 0,96 \times 0,672 \times 1 \\ &= 0,64 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Karena nilai L_r lebih besar dari 0,58 dan lebih kecil dari 0,96 , maka nilai L_r diambil 0,64 kN/m².

$$\text{Lantai Atap} = 0,64 \times 8 \times 6 = 30,96 \text{ kN}$$

Jadi total beban hidup Pelat Lantai Atap 30,96 kN

Kombinasi beban

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,4 D \\ &= 1,4 \times 2489,76 \\ &= 3485,664 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 D + 1,6 L + 0,5 L_r \\ &= (1,2 \times 2489,76) + (1,6 \times 409,74) + (0,5 \times 30,96) \\ &= 3658,786 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diambil nilai Q_u terbesar $Q_u = 3658,786 \text{ kN}$, sehingga perhitungan kolom adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A &= \frac{W}{0,65 \times f'_c} = \frac{3658786}{0,65 \times 25} = 226060,3127 \text{ mm}^2 \\ b &= \sqrt{A} = \sqrt{226060,3127} = 475,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk dimensi rencana kolom diambil nilai yang lebih besar dari 475,45 mm sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4.3. Rekapitulasi Dimensi Kolom

Nama Kolom	Letak Kolom	Dimensi
		(cm)
K1	<i>Basement</i>	85 x 85
K2	Lantai 1 - Lantai 4	65 x 85
K3	Lantai 5 - <i>Top Floor</i>	65 x 65
K4	Ujung Kanan dan Kiri Dinding Geser	60 x 60

4.1.5. Preliminary Design Dinding Geser

Perancangan Dinding Geser diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 11.3.1.1 Dinding Tipe Tumpu memiliki ketebalan lebih dari 1/25 tinggi atau panjang bentang struktur tumpu terpendek atau lebih dari 100 mm.

Direncanakan :

Tebal Dinding Geser : 25 cm

Panjang bentang : 600 cm
Tinggi Lantai *Basement* : 315 cm
Tinggi Lantai 1 – 5 : 400 cm
Tinggi Lantai Atap : 315 cm

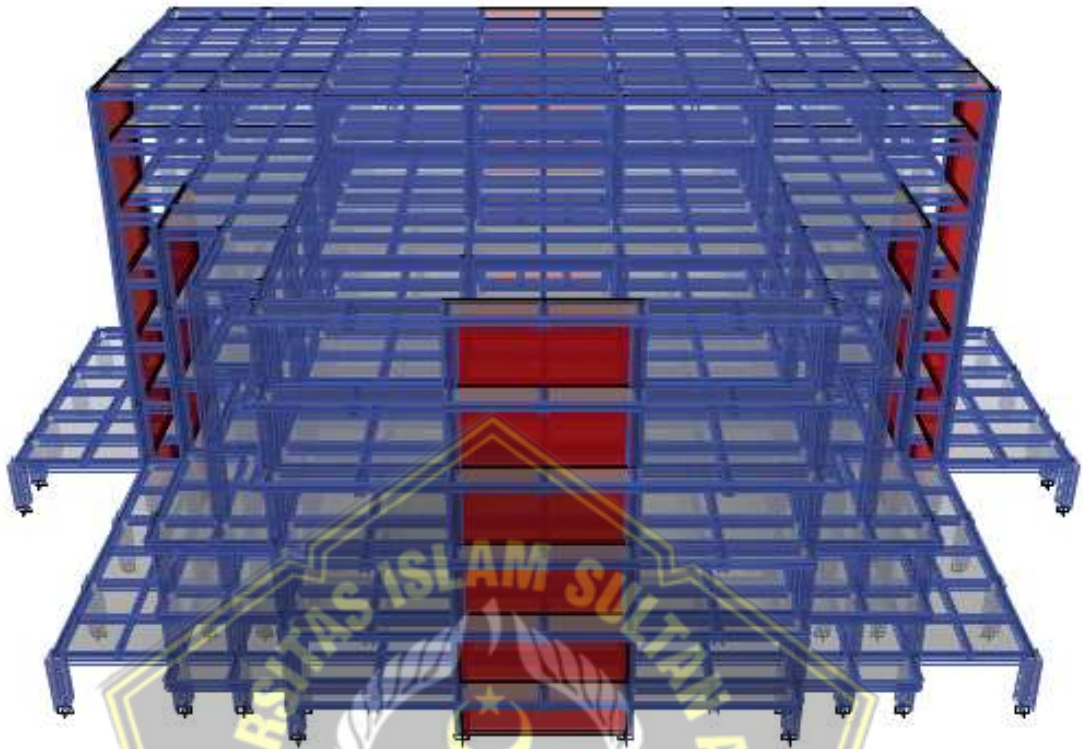
Untuk mengetahui data perancangan tersebut memenuhi syarat, maka di lakukan perhitungan dibawah ini :

$$\begin{aligned} \rightarrow 25 \text{ cm} &\geq H/25 \\ 25 \text{ cm} &\geq 315/25 = 12,6 \text{ cm (Ok)} \\ 25 \text{ cm} &\geq 400/25 = 16 \text{ cm (Ok)} \\ 25 \text{ cm} &\geq 315/25 = 12,6 \text{ cm (Ok)} \\ \rightarrow 25 \text{ cm} &\geq L/25 \\ 25 \text{ cm} &\geq 600/25 = 24 \text{ cm (Ok)} \\ \rightarrow 25 \text{ cm} &\geq 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm (Ok)} \end{aligned}$$

Karena hasil perhitungan kurang dari 25 cm maka ketebalan rencana Dinding Geser dapat digunakan.

4.2. Permodelan Struktur Sistem Ganda

Permodelan akan digunakan adalah permodelan Sistem Ganda yaitu sistem struktur yang memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap sedangkan beban lateral dipikul oleh Dinding Geser dan sekurang-kurangnya 25% oleh Rangka Pemikul Momen. Berikut ini merupakan gambar permodelan Sistem Ganda Tugas Akhir ini :



Gambar 4.8 Permodelan Sistem Ganda

4.3. Pembebanan Struktur

Setelah dilakukan permodelan struktur dengan menggunakan program bantu Etabs, kemudian dilakukan *input* data pembebanan. Dalam pembebanan hanya ditambahkan beban mati tambahan dan beban hidup karena berat sendiri elemen struktur telah dihitung otomatis oleh program ETABS. Berikut perhitungan manual beban yang akan bekerja pada struktur :

4.3.1. Beban Mati Struktural

Beban mati struktural merupakan beban yang berasal dari berat sendiri suatu bangunan. Dalam perancangan ini menggunakan struktur beton bertulang sehingga memiliki berat sendiri 24 kN/m^3 sesuai dengan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung tahun 1987.

4.3.2. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah beban mati yang berasal dari elemen non struktural. Beban – beban tersebut adalah sebagai berikut :

1. Beban mati tambahan pada Lantai 1 s/d Lantai *Top Floor*

$$\begin{aligned}\rightarrow \text{Finishing} &= 0,04 \times 22 + 0,01 \times 24 &= 1,12 \text{ kN/m}^2 \\ \rightarrow \text{Plafond} &&= 0,10 \text{ kN/m}^2 \\ \rightarrow \text{Penggantung} &&= 0,10 \text{ kN/m}^2 \\ \rightarrow \text{Dinding rebah} &&= 1,8 \text{ kN/m}^2 \\ \rightarrow \text{ME dan Plumbing} &&= 0,25 \text{ kN/m}^2 + \\ \text{Total beban} &&= 3,37 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

2. Beban mati tambahan pada Lantai Atap

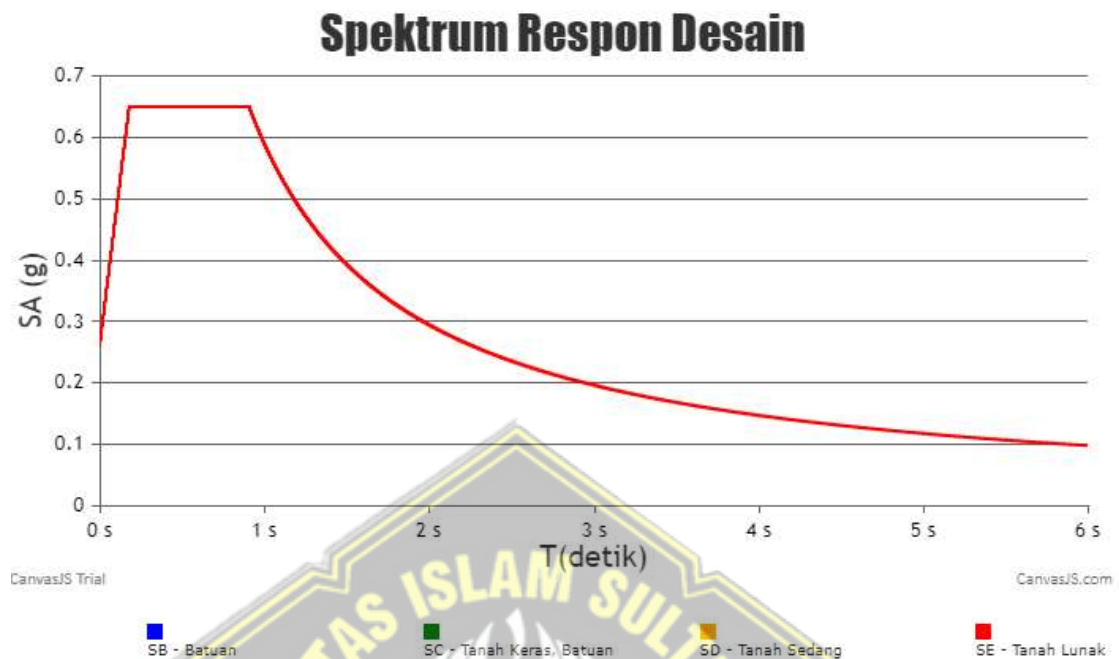
$$\begin{aligned}\rightarrow \text{Finishing} &= 0,04 \times 22 + 0,01 \times 24 &= 1,12 \text{ kN/m}^2 \\ \rightarrow \text{Plafond} &&= 0,10 \text{ kN/m}^2 \\ \rightarrow \text{Penggantung} &&= 0,10 \text{ kN/m}^2 \\ \rightarrow \text{ME dan Plumbing} &&= 0,25 \text{ kN/m}^2 + \\ \text{Total beban} &&= 1,57 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

4.3.3. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang dapat berubah-ubah seiring waktu. Beban ini berasal dari penghuni atau pengguna suatu bangunan. Beban hidup ini berubah sesuai dengan lokasi dan jenis bangunan. Gedung ini termasuk dalam jenis bangunan Kantor sehingga beban hidupnya bernilai 2,40 kN/m² dan beban hidup atap bernilai 0,96 kN/m² berdasarkan SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

4.3.4. Parameter gempa

Perancangan ini berlokasi di kota Brebes, Jawa Tengah yang berdiri diatas tanah lunak berdasarkan parameter gempa sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019. Parameter gempa kota Brebes ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut ini :



Gambar 4.9 Parameter Kelas Situs SE (Tanah Lunak)

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

4.3.5. Beban Gempa Rencana

Pembebanan gempa mengacu pada peraturan SNI 1726:2019 dan untuk menentukan beban rencana gempa perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

a. Menentukan Kategori Resiko Gempa

Kategori resiko gempa ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 pada Pasal 4.1.2. yang dapat dilihat pada Tabel 2.3. Untuk gedung Perkantoran masuk dalam kategori resiko II.

b. Menentukan Faktor Keutamaan Gempa

Faktor Keutamaan Gempa didapatkan berdasarkan kategori risiko yang telah didapatkan pada langkah awal, sehingga nilai Faktor Keutamaan Gempa dalam perancangan ini adalah 1 sesuai dengan Tabel 2.4.

c. Klasifikasi Situs

Penentuan kelas situs didapatkan dari hasil pencarian pada *website* resmi Dinas PU Cipta Karya yang menyebutkan sebagian besar tanah Kabupaten Brebes adalah Tanah Lunak. Tanah Lunak pada Tabel 2.5 masuk kedalam golongan kelas situs SE (tanah lunak).

d. Parameter Respon Spektral

Data respon gempa didapatkan dari langkah-langkah perhitungan berdasarkan SNI 1726:2019. Pada Tugas Akhir ini, gedung yang dirancang berada di Kabupaten Brebes, Jawa Tengah. Berdasarkan lokasi tersebut data yang didapatkan adalah sebagai berikut ini :

Tabel 4.5 Data Respon Spektral

Parameter	Nilai
PGA (g)	0,3173
S_s (g)	0,7020
S_1 (g)	0,3233
F_a	1,3768
F_v	2,8
S_{MS} (g)	0,967
S_{M1} (g)	0,905
S_{Ds} (g)	0,644
S_{D1} (g)	0,603
T_0 (g)	0,187
T_s (g)	0,937

e. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan Pasal 6.5 SNI 1726:2019 Kategori Desain Seismik ditentukan berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} . Berdasarkan perhitungan diatas dengan kategori resiko II maka termasuk dalam Kategori Desain Seismik D, sehingga Kategori Desain Seismik yang digunakan dalam perancangan adalah Kategori Desain Seismik D.

Tabel 4.6 Kategori Desain Seismik Periode Pendek

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

Sumber : SNI 1726:2019

Tabel 4.7 Kategori Desain Seismik Periode 1 Detik

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

Sumber : SNI 1726:2019

f. Parameter Struktur

Pada struktur ini menggunakan Sistem Ganda yang berupa gabungan antara Dinding Geser dengan Rangka Pemikul Momen sehingga pada struktur ini menggunakan Sistem Rangka Gedung dengan Dinding Geser beton bertulang khusus sebagai pemikul beban pada arah X dan arah Y. Parameter struktur yang digunakan pada sistem struktur tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.8. berikut :

Tabel 4.8 Parameter Sistem Struktur

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefesien Modifikasi Respons, R^a	Faktor Kuat lebih Sistem, Ω_0^b	Faktor Pembesaran Defleksi, C_d^e	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m) d					
				Kategori Desain Seismik					
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f	
D	Sistem Ganda dengan Rangka Pemikul Momen Khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% Gaya Seismik yang ditetapkan								
1	Rangka baja dengan <i>Bresing</i> Eksentris	8	2 ½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2	Rangka baja dengan <i>Bresing</i> Eksentris Khusus	7	2 ½	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
3	Dinding Geser Beton Bertulang Khusus g, h	7	2 ½	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
4	Dinding Geser Beton Bertulang Biasa g	6	2 ½	5	TB	TB	TB	TB	TB
5	Rangka baja dan beton komposit dengan <i>Bresing</i> Eksentris	8	2 ½	4	TB	TB	TB	TB	TB

Sumber: SNI 1726:2019

g. Respon Spektrum Desain

Respon Spektrum akan dihitung berdasarkan ketentuan SNI 1726 -2019. Nilai respon spektrum yang telah didapatkan harus dikalikan dengan *scale factor* yang besarnya sebagai berikut :

$$SF = g \frac{I_e}{R} = \frac{9,81 \times 1}{7} = 1,4 \dots \dots \dots (4.1)$$

Keterangan :

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

I_e = Faktor Keutamaan Gempa berdasarkan kategori resiko gempa

R = Koefisien modifikasi respon

h. Menentukan Periode Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019 nilai periode struktur dibatasi oleh batas bawah periode (periode fundamental pendekatan) dengan batas atas periode (periode maksimum) dalam pasal 7.8.2.

• Periode Fundamental Pendekatan

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \dots\dots\dots(4.2)$$

Keterangan :

T_a = Batas bawah

h_n = Ketinggian struktur dari lantai dasar hingga tingkat tertinggi struktur (m)

C_t dan x = Koefisien batas bawah

C_t dan x ditentukan dari Tabel 4.9 berikut ini :

Tabel 4.9 Nilai Parameter Periode Pendekatan

Tipe Rangka Struktur	C_t	x
Sistem Rangka Pemikul Momen dimana rangka memikul 100% Gaya Seismik yang diisyaratkan 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 <i>Bresing</i> eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan <i>Bresing</i> terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : SNI 1726:2019

Tipe struktur yang digunakan adalah “Sistem struktur lainnya” karena dalam perancangan ini digunakan Sistem Ganda.

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t \cdot h_n^x \\
 &= 0,0488 \times 26,5^{0,75} \\
 &= 0,570 \text{ detik} \dots\dots\dots \text{Batas bawah}
 \end{aligned}$$

- Batas Atas Periode

$$T = C_u \cdot T_a \dots\dots\dots (4.3)$$

Keterangan :

- T = Periode desain
 C_u = Koefisien batas atas
 T_a = Batas bawah

Nilai C_u didapatkan berdasarkan tabel berikut ini :

Tabel 4.10 Koefisien Batas Atas Periode

Percepatan parameter respons spektral desain pada 1 detil, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,5
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : SNI 1726:2019

$$\begin{aligned}
 T &= 1,4 \times 0,570 \\
 &= 0,798 \dots\dots\dots \text{Batas atas}
 \end{aligned}$$

Periode fundamental struktur , T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung.

4.3.6. Hasil Analisa Struktur

a. Periode Struktur

Hasil dari analisis periode struktur pada program ETABS dapat dilihat pada Tabel 4.11. dan 4.12. berikut ini :

Tabel 4.11 *Modal Load Participation Ratios*

<i>Case</i>	<i>ItemType</i>	<i>Item</i>	<i>Static</i>	<i>Dynamic</i>
			%	%
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UX	100	99,9
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UY	100	98,85
<i>Modal</i>	<i>Acceleration</i>	UZ	0	0

Sumber : Hasil *Output* ETABS

Tabel 4.12 *Modal Participating Mass Ratios* (Berlanjut)

<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	Sum UZ
		<i>sec</i>						
<i>Modal</i>	1	0,708	0,5913	0,0000009	0	0,5913	0,00000095	0
<i>Modal</i>	2	0,731	9,803E-07	0,6167	0	0,5913	0,6167	0
<i>Modal</i>	3	0,44	0,0415	0	0	0,6328	0,6167	0
<i>Modal</i>	4	0,177	0,2116	0	0	0,8444	0,6167	0
<i>Modal</i>	5	0,163	0	0,2247	0	0,8444	0,8414	0
<i>Modal</i>	6	0,106	0,0071	0	0	0,8515	0,8414	0
<i>Modal</i>	7	0,087	0,0715	0	0	0,923	0,8414	0
<i>Modal</i>	8	0,076	0	0,0842	0	0,923	0,9256	0
<i>Modal</i>	9	0,062	0,0394	0	0	0,9624	0,9256	0

Sumber : Hasil *Output* ETABS

Tabel 4.12 *Modal Participating Mass Ratios* (Lanjutan)

<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	Sum UZ
		<i>sec</i>						
<i>Modal</i>	10	0,053	0,0028	0	0	0,9653	0,9256	0
<i>Modal</i>	11	0,052	0	0,0413	0	0,9653	0,9669	0
<i>Modal</i>	12	0,048	0,0213	0	0	0,9865	0,9669	0
<i>Modal</i>	13	0,04	0	0,0217	0	0,9865	0,9885	0
<i>Modal</i>	14	0,039	0,0095	0	0	0,996	0,9885	0
<i>Modal</i>	15	0,037	0,003	0	0	0,999	0,9885	0
<i>Modal</i>	10	0,053	0,0028	0	0	0,9653	0,9256	0
<i>Modal</i>	11	0,052	0	0,0413	0	0,9653	0,9669	0
<i>Modal</i>	12	0,048	0,0213	0	0	0,9865	0,9669	0

Sumber : Hasil *Output* ETABS

Berdasarkan Tabel 4.12 didapatkan hasil periode dari mode masing-masing arah yaitu sebagai berikut :

$$T_x = 0,731 \text{ detik (mode 2)}$$

$$T_y = 0,708 \text{ detik (mode 1)}$$

Dalam menentukan periode desain ada 3 hal yang harus dipenuhi yaitu sebagai berikut:

Jika $T_{ETABS} < T_a$, maka diambil $T = T_a$

Jika $T_a < T_{ETABS} < C_u.T_a$, maka diambil $T = T_{ETABS}$

Jika $T_{ETABS} > C_u.T_a$, maka diambil $T = C_u.T_a$

Keterangan :

T : periode desain

T_{ETABS} : periode hasil analisa program *ETABS V18*

T_a : batas bawah/ periode minimum

$C_u.T_a$: batas atas/periode maksimum

Jadi periode desain yang akan digunakan masing-masing arah yaitu :

$$T_x = 0,570 \text{ detik} < 0,731 \text{ detik} < 0,798 \text{ detik}, T_x = \mathbf{0,731 \text{ detik}}$$

$$T_y = 0,570 \text{ detik} < 0,708 \text{ detik} < 0,798 \text{ detik}, T_y = \mathbf{0,708 \text{ detik}}$$

b. Menentukan Koefisien Respon Seismik

Koefisien Respon Seismik dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8 dengan rincian perhitungan sebagai berikut :

$$S_{DS} = 0,644$$

$$S_{D1} = 0,603$$

$$l_e = 1$$

$$R = 7$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{l_e}}$$

$$= \frac{0,644}{\frac{7}{1}}$$

$$= 0,092$$

Nilai C_s yang dihitung tidak perlu melebihi perhitungan C_s berikut ini :

$$C_{sx} = \frac{S_{D1}}{\frac{R}{l_e}}$$

$$= \frac{0,603}{\frac{7}{1}}$$

$$= 0,1179,$$

$$C_{sy} = \frac{S_{D1}}{\frac{R}{l_e}}$$

$$= \frac{0,603}{0,708 \frac{7}{1}}$$

= 0,1218 nilai C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

$$= 0,044 \cdot 0,644 \cdot 1 \geq 0,01$$

$$= 0,028 \geq 0,01$$

c. Berat Seismik Efektif

Berat Seismik per lantai didapatkan langsung melalui aplikasi ETABS yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.13 Berat Struktur Tiap Lantai

Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y	XCM	YCM	Cum Mass X	Cum Mass Y
		kN	kN	m	m	kN	kN
Top Floor	D7	6980,7717	6980,7717	32	35,08	6980,7717	6980,7717
Lt 5	D6	12099,3655	12099,3655	32	30,96	12099,3655	12099,3655
Lt 4	D5	14256,8806	14256,8806	32	29,51	14256,8806	14256,8806
Lt 3	D4	17561,7367	17561,7367	32	26,74	17561,7367	17561,7367
Lt 2	D3	18473,3848	18473,3848	32	26,23	18473,3848	18473,3848
Lt 1	D2	17771,683	17771,683	32	26,30	17771,683	17771,683
Basement	D1	23213,6003	23213,6003	32	26,57	23213,6003	23213,6003

Sumber : Hasil *Output* ETABS

Berdasarkan Tabel diatas didapatkan berat keseluruhan pada Kolom *Cum Mass*.
Jadi total berat seismik untuk desain adalah :

$$W_{total} = 110357,42 \text{ kN}$$

d. Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots (4.4)$$

Keterangan :

V = Gaya dasar seismik

C_s = Koefisien respon seismik desain

W = Berat seismik efektif total

$$V_x = 0,1179 \times 110357,42 \text{ kN} = 13015,43 \text{ kN}$$

$$V_y = 0,1218 \times 110357,42 \text{ kN} = 13438,25 \text{ kN}$$

e. Distribusi Gaya Gempa Statik Per Lantai

Distribusi gaya gempa lateral (F) pada setiap lantai dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 dalam Pasal 7.8 dengan rumus seperti dibawah ini :

$$F = C_v \times V \dots\dots\dots (4.5)$$

$$C_v = \frac{w \cdot h^k}{\sum_{i=1}^n w \cdot h^k} \dots\dots\dots (4.6)$$

Keterangan :

F = Gaya gempa lateral

V = Gaya dasar seismik

C_v = Faktor distribusi vertikal

W = Berat seismik efektif total

h = Ketinggian struktur dari lantai dasar hingga tingkat tertinggi struktur (m)

k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur

Interpolasi nilai k untuk nilai perioda desain pada rentang $0,5 < T < 2,5$ adalah :

$$k = 0,5 T + 0,75$$

$$k = 0,5 (0,731) + 0,75$$

$$k = 1,1155$$

$$k = 0,5 T + 0,75$$

$$k = 0,5 (0,708) + 0,75$$

$$k = 1,104$$

Tabel 4.14 Distribusi Gaya Gempa Statik Ekvivalen Arah X Tiap Lantai

Sumber : Perhitungan Sendiri

Story	h_i	W_i	k	$W_i h_i^k$	C_v	F_x
	(m)	(kN)		(kN-m)		(kN)
Top Floor	26,5	6980,77	1,1155	270105,99	0,137	1788,10
Lt 5	23,35	12099,37		406524,40	0,207	2691,19
Lt 4	19,35	14256,88		388433,91	0,198	2571,43
Lt 3	15,35	17561,74		369548,43	0,188	2446,41
Lt 2	11,35	18473,38		277583,96	0,141	1837,60
Lt 1	7,35	17771,68		164464,47	0,084	1088,75
Basement	3,35	23213,60		89419,04	0,045	591,95
Jumlah		110357,42		1966080,18	1,000	13015,43

Tabel 4.15 Distribusi Gaya Gempa Statik Ekvivalen Arah Y Tiap Lantai

Sumber : Perhitungan Sendiri

Story	h_i	W_i	k	$W_i h_i^k$	C_v	F_y
	(m)	(kN)		(kN-m)		(kN)
Top Floor	26,5	6980,77	1,1040	260115,89	0,137	1835,32
Lt 5	23,35	12099,37		392058,90	0,206	2766,28
Lt 4	19,35	14256,88		375422,50	0,197	2648,90
Lt 3	15,35	17561,74		358122,09	0,188	2526,83
Lt 2	11,35	18473,38		269936,68	0,142	1904,61
Lt 1	7,35	17771,68		160734,75	0,084	1134,11
Basement	3,35	23213,60		88184,44	0,046	622,21
Jumlah		110357,42		1904575,26	1,000	13438,25

f. Gaya Geser Statik Per Lantai

Gaya Geser Statik pada setiap lantai dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 dalam Pasal 7.8 dengan rumus seperti dibawah ini :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \dots\dots\dots (4.7)$$

Keterangan :

V_x = Gaya geser

F_i = Gaya gempa statik ekivalen perlantai

Gaya geser merupakan komulatif dari penjumlahan Gaya Gempa Statik Ekivalen perlantai.

Tabel 4.16 Gaya Geser Statik Tiap Lantai

Sumber : Perhitungan Sendiri

<i>Story</i>	<i>hi</i> (m)	F_x (kN)	V_x (kN)	F_y (kN)	V_y (kN)
<i>Top Floor</i>	26,50	1788,10	1788,10	1835,32	1835,32
Lt 5	23,35	2691,19	4479,29	2766,28	4601,60
Lt 4	19,35	2571,43	7050,72	2648,90	7250,49
Lt 3	15,35	2446,41	9497,12	2526,83	9777,32
Lt 2	11,35	1837,60	11334,73	1904,61	11681,93
Lt 1	7,35	1088,75	12423,48	1134,11	12816,04
<i>Basement</i>	3,35	591,95	13015,43	622,21	13438,25

Tabel 4.17 *Base Reaction Berdasarkan ASCE 7-16 Time Period Program Calculated*

Sumber : Hasil *Output* ETABS

Output Case	Case Type	<i>FX</i>	<i>FY</i>	<i>FZ</i>
		kN	kN	kN
DL	<i>LinStatic</i>	0	0	105190,9418
LL	<i>LinStatic</i>	0	0	21930,552
EX	<i>LinStatic</i>	-11966,4137	0	0
EY	<i>LinStatic</i>	0	-11966,4137	0

Tabel 4.18 *Base Reaction Berdasarkan ASCE 7-16 Time Period User Defined*

Sumber : Hasil *Output* ETABS

Output Case	Case Type	<i>FX</i>	<i>FY</i>	<i>FZ</i>
		kN	kN	kN
DL	<i>LinStatic</i>	0	0	103622,4934
LL	<i>LinStatic</i>	0	0	21894,624
EX	<i>LinStatic</i>	-11910,4319	0	0
EY	<i>LinStatic</i>	0	-11910,4319	0

Tabel 4.19 Perbandingan Nilai *Base Shear* Statik

Sumber : Hasil *Output* ETABS dan Perhitungan Sendiri

No	METODE	<i>V_x</i>	<i>V_y</i>
		kN	kN
1	Perhitungan Manual	13015,43	13438,25
2	<i>ASCE 7-16 Time period Program Calculated</i>	11910,43	11910,43
3	<i>ASCE 7-16 Time period User Defined</i>	11966,42	11966,42

Berdasarkan tabel diatas, perbandingan antara nilai *base shear* statik dari ke-3 analisis memberikan angka yang dekat sehingga membuktikan ke-3 aturan diatas relevan, sehingga dapat digunakan untuk desain ataupun sekedar pengecekan terhadap perhitungan manual.

g. Pembebanan Gempa Dinamik Respon Spektra

Pembebanan gempa dinamik dapat dianalisis langsung menggunakan program ETABS dengan menggunakan data yang telah dihitung diatas dengan data berikut ini :

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Respon Spektrum Desain (Berlanjut)

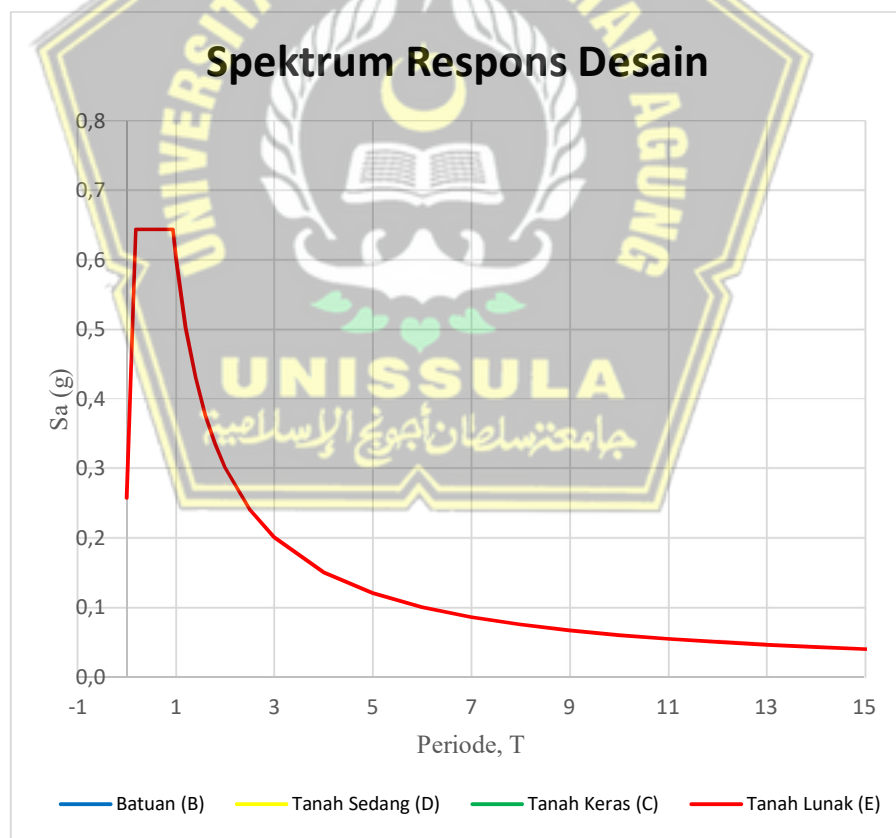
Sumber : Perhitungan Sendiri

<i>T</i>	<i>Sa(g)</i>	<i>T</i>	<i>Sa(g)</i>
0,00000	0,2576	4,00000	0,1508
0,18700	0,6440	5,00000	0,1206
0,93700	0,6440	6,00000	0,1005
1,00000	0,6030	7,00000	0,0861
1,20000	0,5025	8,00000	0,0754
1,40000	0,4307	9,00000	0,0670
1,60000	0,3769	10,00000	0,0603
1,80000	0,3350	11,00000	0,0548
2,00000	0,3015	12,00000	0,0503
2,50000	0,2412	13,00000	0,0464
3,00000	0,2010	14,00000	0,0431

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Respon Spektrum Desain (Lanjutan)

Sumber : Perhitungan Sendiri

T	$S_a(g)$	T	$S_a(g)$
15,00000	0,0402	20,00000	0,03015
16,00000	0,0377	21,00000	0,027347
17,00000	0,0355	22,00000	0,024917
18,00000	0,0335	23,00000	0,022798
19,00000	0,0317	24,00000	0,020938



Gambar 4.10 Grafik Respon Spektrum Desain

Tabel 4.21 Gaya Geser Dinamik

Sumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Output case</i>	<i>FX</i>	<i>FY</i>	<i>FZ</i>
	kN	kN	kN
DL	0,00	0,00	105190,94
LL	0,00	0,00	21930,55
<i>SPEC - X</i>	9889,53	5,17	0,00
<i>SPEC - Y</i>	5,17	10292,97	0,00

h. Relasi Beban Gempa Statik dan Dinamik

Berdasarkan SNI 1726 - 2019 Pasal 7.91.4.1, nilai beban gempa dinamik tidak boleh kurang dari 100% beban gempa statik. Jika syarat tersebut tidak terpenuhi maka beban gempa dinamik harus dikalikan dengan faktor skala sebesar :

$$Scale\ Factor = \frac{100\% V_{Base\ Static}}{V_{Base\ Dinamic}} \dots\dots\dots (4.8)$$

Gaya geser dinamik tiap lantai dapat dilihat dari *output* ETABS berikut ini :

Tabel 4.22 Gaya Geser Dinamik – X Tiap Lantai (Berlanjut)

Sumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Story</i>	<i>Elevation</i>	<i>Location</i>	<i>X-Dir</i>	<i>Y-Dir</i>
	m		kN	kN
<i>Top Floor</i>	26,5	<i>Top</i>	1821,616	0,8488
		<i>Bottom</i>	1821,616	0,8488
Lt 5	23,35	<i>Top</i>	4017,079	2,0677
		<i>Bottom</i>	4017,079	2,0677
Lt 4	19,35	<i>Top</i>	5839,355	3,1781
		<i>Bottom</i>	5839,355	3,1781

Tabel 4.22 Gaya Geser Dinamik – X Tiap Lantai (Lanjutan)

Sumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Story</i>	<i>Elevation</i>	<i>Location</i>	<i>X-Dir</i>	<i>Y-Dir</i>
	m		kN	kN
Lt 3	15,35	<i>Top</i>	7429,57	4,1453
		<i>Bottom</i>	7429,57	4,1453
Lt 2	11,35	<i>Top</i>	8656,585	4,7728
		<i>Bottom</i>	8656,585	4,7728
Lt 1	7,35	<i>Top</i>	9439,115	5,0683
		<i>Bottom</i>	9439,115	5,0683
<i>Basement</i>	3,35	<i>Top</i>	9889,534	5,1679
		<i>Bottom</i>	9889,534	5,1679
<i>Base</i>	0,2	<i>Top</i>	0	0
		<i>Bottom</i>	0	0

Tabel 4.23 Gaya Geser Dinamik – Y Tiap Lantai (Berlanjut)

Sumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Story</i>	<i>Elevation</i>	<i>Location</i>	<i>X-Dir</i>	<i>Y-Dir</i>
	m		kN	kN
<i>Top Floor</i>	26,5	<i>Top</i>	0,8476	1862,158
		<i>Bottom</i>	0,8476	1862,158
Lt 5	23,35	<i>Top</i>	2,0588	4126,054
		<i>Bottom</i>	2,0588	4126,054
Lt i 4	19,35	<i>Top</i>	3,1581	6016,187
		<i>Bottom</i>	3,1581	6016,187
Lt 3	15,35	<i>Top</i>	4,1151	7714,125
		<i>Bottom</i>	4,1151	7714,125
Lt 2	11,35	<i>Top</i>	4,7537	9013,118
		<i>Bottom</i>	4,7537	9013,118

Tabel 4.23 Gaya Geser Dinamik – Y Tiap Lantai (Lanjutan)

Sumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Story</i>	<i>Elevation</i>	<i>Location</i>	<i>X-Dir</i>	<i>Y-Dir</i>
	m		kN	kN
Lt 1	7,35	<i>Top</i>	5,0621	9825,484
		<i>Bottom</i>	5,0621	9825,484
<i>Basement</i>	3,35	<i>Top</i>	5,1679	10292,97
		<i>Bottom</i>	5,1679	10292,97
<i>Base</i>	0,2	<i>Top</i>	0	0
		<i>Bottom</i>	0	0

Tabel 4.24 Gaya Geser Statik dan Dinamik Tiap Lantai

Sumber : Perhitungan Sendiri

<i>Story</i>	STATIK		DINAMIK	
	V_X	V_Y	V_{SPEC-X}	V_{SPEC-Y}
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
<i>Top Floor</i>	1788,10	1835,32	1821,62	1862,16
Lt 5	4479,29	4601,60	4017,08	4126,05
Lt 4	7050,72	7250,49	5839,36	6016,19
Lt 3	9497,12	9777,32	7429,57	7714,13
Lt 2	11334,73	11681,93	8656,59	9013,12
Lt 1	12423,48	12816,04	9439,11	9825,48
<i>Basement</i>	13015,43	13438,25	9889,53	10292,97

Tabel 4.25 Relasi Gaya Gempa Statik dan Dinamik

Sumber : Perhitungan Sendiri

Gaya Gempa	V_X	V_Y
Statik	13015,43	13438,25
100 % Statik	13015,43	13438,25
Dinamik	9889,53	10292,97

Berdasarkan tabel diatas , $V_{Dinamik} < 100\% V_{Statik}$, maka gaya yang harus diberikan adalah :

$$Scale Factor \text{ arah X} = \frac{130515,43}{9889,53} = 1,3161$$

$$Scale Factor \text{ arah Y} = \frac{13438,25}{10292,97} = 1,3056$$

Tabel 4.26 Koreksi Gaya Geser Dinamik

Sumber : Perhitungan Sendiri

<i>Story</i>	Statik		Dinamik <i>Correction</i>	
	V_X (kN)	V_Y (kN)	V_{SPEC-X} (kN)	V_{SPEC-Y} (kN)
<i>Top Floor</i>	1788,10	1835,32	2397,43	2431,23
Lt 5	4479,29	4601,60	5286,87	5386,98
Lt 4	7050,72	7250,49	7685,17	7854,73
Lt 3	9497,12	9777,32	9778,05	10071,56
Lt 2	11334,73	11681,93	11392,92	11767,53
Lt 1	12423,48	12816,04	12422,80	12828,15
<i>Basement</i>	13015,43	13438,25	13015,60	13438,51

i. Gaya Gempa Lateral Desain

Gaya gempa lateral desain tiap lantai didapatkan dari analisis dan perhitungan gaya geser sebelumnya, nilai gaya gempa tiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.29 berikut ini :

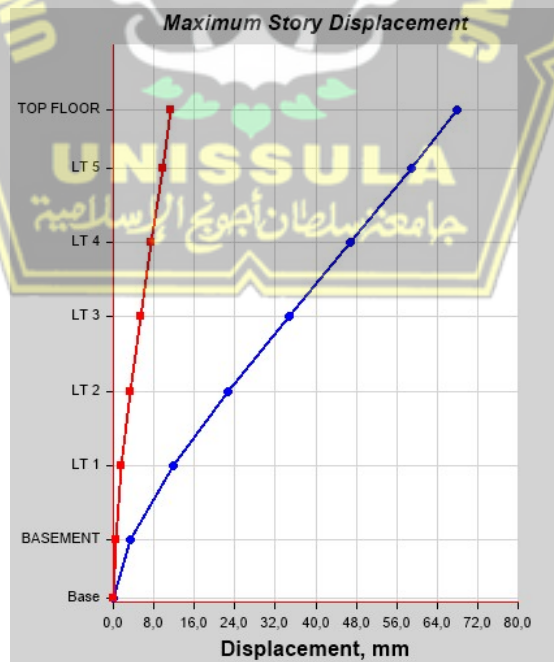
Tabel 4.27 Gaya Gempa Desain

Sumber : Perhitungan Sendiri

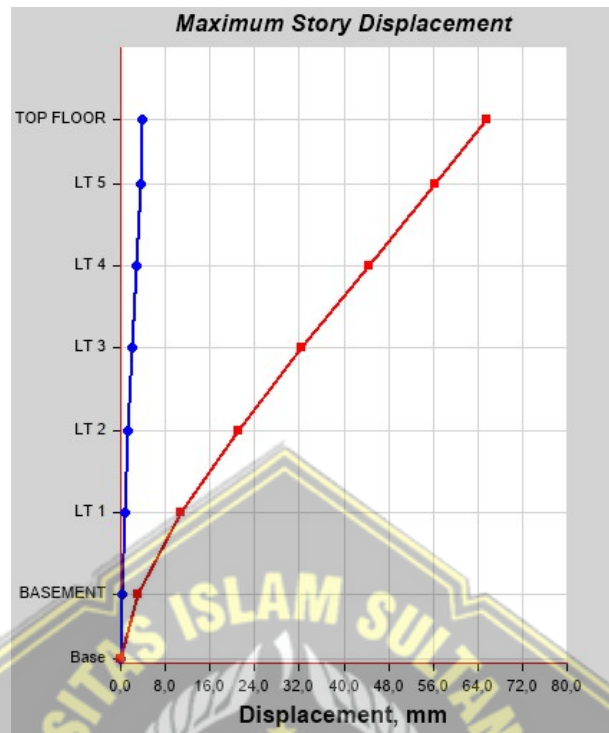
Story	Gaya Gempa Desain		F Gempa Desain	
	V_x	V_y	F_x	F_y
	kN	kN	kN	kN
Top Floor	2397,43	2431,23	2397,43	2431,23
Lantai 5	5286,87	5386,98	2889,45	2955,74
Lantai 4	7685,17	7854,73	4795,72	4898,99
Lantai 3	9778,05	10071,56	4982,33	5172,57
Lantai 2	11392,92	11767,53	6410,59	6594,96
Lantai 1	12423,48	12828,15	6012,89	6233,20
Basement	13015,60	13438,51	7002,71	7205,31

j. Kontrol Desain

Kontrol desain struktur dilakukan untuk mengetahui batas simpangan lantai dan kestabilan akibat efek P-Delta yang diatur pada SNI 1726:2019. Berikut grafik simpangan lantai dan kestabilan akibat efek P-Delta :



Gambar 4.11 Simpangan Maksimum Akibat Gempa Ex



Gambar 4.12 Simpangan Maksimum Akibat Gempa E_y

Tabel 4.29 Simpangan Maksimum Lantai Akibat Gempa E_x

Sumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Story</i>	<i>Elevation</i>	<i>Location</i>	<i>X-Dir</i>	<i>Y-Dir</i>
	m		mm	mm
<i>Top Floor</i>	26,5	Top	68,012	11,344
Lt 5	23,35	Top	58,918	9,674
Lt 4	19,35	Top	46,905	7,515
Lt 3	15,35	Top	34,673	5,37
Lt 2	11,35	Top	22,764	3,364
Lt 1	7,35	Top	11,887	1,648
<i>Basement</i>	3,35	Top	3,323	0,562
<i>Base</i>	0,2	Top	0	0

Tabel 4.30 Simpangan Maksimum Lantai Akibat Gempa *Ey*

Sumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Story</i>	<i>Elevation</i>	<i>Location</i>	<i>X-Dir</i>	<i>Y-Dir</i>
	m		mm	mm
<i>Top Floor</i>	26,5	Top	3,772	65,547
Lt 5	23,35	Top	3,599	56,316
Lt 4	19,35	Top	2,836	44,433
Lt 3	15,35	Top	2,075	32,492
Lt 2	11,35	Top	1,349	21,041
Lt 1	7,35	Top	0,702	10,783
<i>Basement</i>	3,35	Top	0,204	3,065
<i>Base</i>	0,2	Top	0,000	0,000

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6 untuk memenuhi syarat simpangan digunakan rumus berikut ini :

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \leq \Delta_\alpha \dots\dots\dots (4.8)$$

Keterangan :

- δ_{xe} : Defleksi pada lantai ke x yang dilakukan dengan analisis elastis
- C_d : Faktor pembesaran defleksi
- I_e : Faktor Keutamaan Gedung
- Δ_α : Simpangan Ijin

Simpangan ijin dihitung berdasarkan rumus yang ada pada tabel berikut ini :

Tabel 4.31 Simpangan Antar Tingkat Ijin

Sumber : SNI 1726:2019

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit – langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat	$0,025h_{sx}^e$	$0,020h_{sx}$	$0,020h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Menghitung nilai simpangan ijin lantai tipikal tingkat paling atas

$$h_x = 3,15 \text{ m} = 3150 \text{ mm}$$

$$\Delta_{\alpha} = 0,020 \cdot h_x = 0,020 \times 3150 = 63,00 \text{ mm}$$

Menghitung simpangan akibat gempa arah x pada lantai *Top Floor*

$$C_d = 5,5$$

$$I_e = 1$$

$$\delta_{xe} \text{ atas} = 68,012 \text{ mm}$$

$$\delta_{xe} \text{ bawah} = 58,918 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \delta_x \text{ atas} &= \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \\ &= \frac{5,5 \times 68,012}{1} \\ &= 374,066 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\delta_x \text{ bawah} = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{5,5 \times 58,918}{1} \\
&= 324,049 \text{ mm} \\
\Delta &= \delta_X \text{ atas} - \delta_X \text{ bawah} \\
&= 374,066 - 324,049 \\
&= 50,02 \text{ mm} \\
\Delta \leq \Delta_{\alpha} &= 50,02 \text{ mm} \leq 63,00 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}
\end{aligned}$$

Tabel 4.32 Simpangan Antar Tingkat Ijin X- *Dir*

Sumber : Perhitungan Sendiri

<i>Story</i>	h_{sx} (mm)	δ_e (mm)	Δ (mm)	Δ_i (mm)	Δ_{ijin} (mm)	Ket
<i>Top Floor</i>	3150	68,012	374,066	50,02	63,00	OK
Lantai 5	4000	58,918	324,049	66,07	80,00	OK
Lantai 4	4000	46,905	257,978	67,28	80,00	OK
Lantai 3	4000	34,673	190,702	65,50	80,00	OK
Lantai 2	4000	22,764	125,202	59,82	80,00	OK
Lantai 1	4000	11,887	65,379	47,10	80,00	OK
<i>Basement</i>	3150	3,323	18,277	18,28	63,00	OK
<i>Base</i>	200	0,000	0,000	0,00	4,00	OK

Tabel 4.33 Simpangan Antar Tingkat Ijin Y- *Dir* (Berlanjut)

Sumber : Perhitungan Sendiri

<i>Story</i>	h_{sx} (mm)	δ_e (mm)	Δ (mm)	Δ_i (mm)	Δ_{ijin} (mm)	Ket
<i>Top Floor</i>	3150	65,547	360,509	50,77	63,00	OK
Lantai 5	4000	56,316	309,738	65,36	80,00	OK
Lantai 4	4000	44,433	244,382	65,68	80,00	OK
Lantai 3	4000	32,492	178,706	62,98	80,00	OK

Tabel 4.33 Simpangan Antar Tingkat Ijin Y- *Dir* (Lanjutan)

Sumber : Perhitungan Sendiri

<i>Story</i>	h_{sx} (mm)	δ_e (mm)	Δ (mm)	Δ_i (mm)	Δ_{ijin} (mm)	Ket
Lantai 2	4000	21,041	115,726	56,42	80,00	OK
Lantai 1	4000	10,783	59,307	42,45	80,00	OK
<i>Basement</i>	3150	3,065	16,858	16,86	63,00	OK
<i>Base</i>	200	0,000	0,000	0,00	4,00	OK

Keterangan :

Story : Lantai atau Tingkat

h_{sx} : Ketinggian Tiap Lantai atau Tingkat (mm)

δ_e : *Max Story Displacement* Hasil *Output* dari program ETABS (mm)

Δ : Nilai dari $\delta_e * C_d / I_e$ (mm)

Δ_i : Simpangan Tiap Lantai (mm)

Δ_{ijin} : Simpangan Lantai Ijin Maksimum (mm)

C_d : Faktor Pembesaran Defleksi

I_e : Faktor Keutamaan Gedung

Ket : Didapatkan dari analisa syarat Δ_i harus lebih kecil atau sama dengan Δ_{ijin}

Pada analisis selanjutnya yaitu dilakukan cek pada kestabilan bangunan (efek P-Delta), dibutuhkan nilai beban komulatif *grafity* pada setiap lantai dengan faktor beban yang tidak lebih dari 1,0.

Tabel 4.34 *Output* Beban *P* (*Gravity*)(Berlanjut)

Sumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Story</i>	<i>Output Case</i>	<i>Case Type</i>	<i>Location</i>	<i>P</i>
				kN
<i>Top Floor</i>	<i>P-Delta</i>	<i>Combination</i>	<i>Bottom</i>	7686,38
Lt 5	<i>P-Delta</i>	<i>Combination</i>	<i>Bottom</i>	20489,97

Tabel 4.34 *Output* Beban *P* (*Gravity*)(Lanjutan)Sumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Story</i>	<i>Output Case</i>	<i>Case Type</i>	<i>Location</i>	<i>P</i>
				kN
Lt 4	<i>P-Delta</i>	<i>Combination</i>	<i>Bottom</i>	34652,92
Lt 3	<i>P-Delta</i>	<i>Combination</i>	<i>Bottom</i>	52384,33
Lt 2	<i>P-Delta</i>	<i>Combination</i>	<i>Bottom</i>	70698,65
Lt 1	<i>P-Delta</i>	<i>Combination</i>	<i>Bottom</i>	88258,88
<i>Basement</i>	<i>P-Delta</i>	<i>Combination</i>	<i>Bottom</i>	111770,11

Pengaruh P-Delta pada SNI 1726:2019 ditentukan berdasarkan nilai dari koefisien stabilitas (θ) . Jika $\theta < 0,1$, Pengaruh P-Delta dapat diabaikan. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung nilai P-Delta :

$$\begin{aligned}
 \theta &= \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \\
 &= \frac{7686,38 \times 50,017 \times 1}{2397,43 \times 3150 \times 5,5} \\
 &= 0,0093 \\
 \theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \\
 &= \frac{0,5}{1 \times 5,5} \leq 0,25 \\
 &= 0,0909 \leq 0,25
 \end{aligned}$$

Karena nilai $\theta < 0,1$, maka perhitungan P-Delta dapat diabaikan, dan nilai $\theta < \theta_{\max}$, sehingga struktur masih dalam kondisi stabil.

Keterangan :

P_x : Nilai P-Delta Tiap Lantai (kN)

ΔI_e : Simpangan Tiap Lantai (mm)

V_x : Gaya Geser Desain Tiap Lantai (kN)

h_{sx} : Ketinggian Tiap Lantai atau Tingkat (mm)

- C_d : Faktor Pembesaran Defleksi
 θ : Koefisien Stabilitas
 θ_{max} : Koefisien Stabilitas Maksimum

Tabel 4.35 Rekapitulasi Kestabilan Pengaruh P-Delta Arah X

Sumber : Perhitungan Sendiri

<i>Story</i>	h_{sx}	Δ_i	P	V_x	θ	θ_{max}	Cek
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)			
<i>Top Floor</i>	3150	50,017	7686,38	2397,43	0,0093	0,0909	STABIL
Lt 5	4000	66,072	20489,97	5286,87	0,0116	0,0909	STABIL
Lt 4	4000	67,276	34652,92	7685,17	0,0138	0,0909	STABIL
Lt 3	4000	65,500	52384,33	9778,05	0,0160	0,0909	STABIL
Lt 2	4000	59,824	70698,65	11392,92	0,0169	0,0909	STABIL
Lt 1	4000	47,102	88258,88	12423,48	0,0152	0,0909	STABIL
<i>Basement</i>	3150	18,277	111770,11	13015,60	0,0091	0,0909	STABIL
<i>Base</i>	200	0,000	0,00	0,00	0,0000	0,0909	STABIL

Tabel 4.36 Rekapitulasi Kestabilan Pengaruh P-Delta Arah Y (Berlanjut)

Sumber : Perhitungan Sendiri

<i>Story</i>	h_{sy}	Δ_i	P	V_y	θ	θ_{max}	Cek
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)			
<i>Top Floor</i>	3150	50,771	7686,38	2431,23	0,0093	0,0909	STABIL
Lt 5	4000	65,357	20489,97	5386,98	0,0113	0,0909	STABIL
Lt 4	4000	65,676	34652,92	7854,73	0,0132	0,0909	STABIL
Lt 3	4000	62,981	52384,33	10071,56	0,0149	0,0909	STABIL

Tabel 4.36 Rekapitulasi Kestabilan Pengaruh P-Delta Arah Y (Lanjutan)

Sumber : Perhitungan Sendiri

<i>Story</i>	h_{sx}	Δ_i	P	V_y	θ	θ_{max}	Cek
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)			
Lt 2	4000	56,419	70698,65	11767,53	0,0154	0,0909	STABIL
Lt 1	4000	42,449	88258,88	12828,15	0,0133	0,0909	STABIL
<i>Basement</i>	3150	16,858	111770,11	13438,51	0,0081	0,0909	STABIL
<i>Base</i>	200	0,000	0,00	0,00	0,0000	0,0909	STABIL

k. Analisa Pengaruh Eksentrisitas dan Torsi

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.4.1 dan 7.8.4.2. Torsi terdiri dari torsi bawaan dan torsi tak terduga. Eksentrisitas dari torsi bawaan dapat dilihat dari hasil analisa program ETABS seperti yang ditunjukkan dalam tabel berikut ini:

Tabel 4.37 Data Eksentrisitas Torsi Bawaan

Sumber : Hasil Output ETABS

<i>Story</i>	Pusat Massa		Pusat Rotasi		Eksentrisitas (e)	
	XCM	YCM	XCR	YCR	X	Y
	m	m	m	m	m	m
<i>Top Floor</i>	32	26,5799	32	25,8607	0	0,7192
Lt 5	32	26,2999	32,0001	25,6399	-0,0001	0,66
Lt 4	32	26,2383	32,0002	25,5892	-0,0002	0,6491
Lt 3	32,0056	26,7441	32,0004	25,6182	0,0052	1,1259
Lt 2	32,0069	29,5161	32,0006	25,6929	0,0063	3,8232
Lt 1	32,0081	30,9658	32,0007	25,7617	0,0074	5,2041
<i>Basement</i>	32	35,0831	32,0007	26,586	-0,0007	8,4971

Nilai eksentrisitas dari torsi tak terduga ditentukan dengan menghitung eksentrisitas tambahan 5% dari dimensi arah tegak lurus panjang bentang struktur

bangunan terbuat dimana gaya gempa bekerja. Berikut ini tabel dari nilai eksentrisitas tak terduga.

Tabel 4.38 Data Eksentrisitas Torsi Tak Terduga

Sumber : Perhitungan Sendiri

<i>Story</i>	Panjang Bentang Total Sumbu –Y (<i>Ly</i>)	Panjang Bentang Total Sumbu – X (<i>Lx</i>)	0,05 <i>Ly</i>	0,05 <i>Lx</i>
	mm	mm	mm	mm
<i>Top Floor</i>	48000	38000	2400	1900
Lt 5	48000	38000	2400	1900
Lt 4	48000	38000	2400	1900
Lt 3	48000	38000	2400	1900
Lt 2	48000	38000	2400	1900
Lt 1	48000	38000	2400	1900
<i>Basement</i>	48000	38000	2400	1900

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.4.2. Apabila gaya gempa digunakan secara bersamaan dalam dua arah ortogonal perpindahan pusat massa yang dihasilkan sebesar 5%, sehingga tidak perlu diterapkan pada kedua arah ortogonal secara bersamaan tetapi harus diterapkan pada arah yang memberikan pengaruh yang lebih besar.

Nilai eksentrisitas torsi tak terduga harus dikalikan dengan faktor pembesaran momen torsi tak terduga (*Ax*) ditentukan oleh persamaan berikut ini :

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

Keterangan :

Ax = Faktor pembesaran torsi

$\delta_{\max}$ = Perpindahan maksimum di tingkat X (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan *Ax* = 1

δ_{avg} = Rata-rata perpindahan di titik terjauh struktur di tingkat X yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$

Penjelasan tentang rumus diatas mengacu pada BAB III mengenai Eksentrisitas dan Torsi.

Nilai δ_{max} dan δ_{avg} diambil dari kombinasi terbesar. Nilai tersebut didapatkan langsung dari hasil *output* program ETABS yang ditunjukkan pada Tabel 4.39 dan Tabel 4.40 berikut ini :

Tabel 4.39 Nilai Dari δ_{max} , δ_{avg} dan A_x untuk Gempa Arah X

Sumber : Hasil *Output* ETABS dan Perhitungan Sendiri

<i>Story</i>	δ_{max}	δ_{avg}	$\frac{1}{2} \delta_{avg}$	$A_x = (\delta_{max} /$	Kontrol Torsi
	mm	mm	mm	$\frac{1}{2} \delta_{avg})^2$	
<i>Top Floor</i>	9,094	8,468	10,1616	0,800913675	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Lt 5	12,013	10,237	12,2844	0,956301981	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Lt 4	12,232	10,467	12,5604	0,948392267	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Lt 3	11,909	10,321	12,3852	0,924580101	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Lt 2	10,877	9,519	11,4228	0,906719825	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Lt 1	8,563	7,592	9,1104	0,883439874	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
<i>Basement</i>	3,323	2,99	3,588	0,857740297	Tanpa Ketidakberaturan Torsi

Tabel 4.40 Nilai Dari $\delta_{\max}$, δ_{avg} dan A_x untuk Gempa Arah Y

Sumber : Hasil *Output* ETABS dan Perhitungan Sendiri

<i>Story</i>	$\delta_{\max}$	δ_{avg}	$\frac{1}{2} \delta_{\text{avg}}$	$A_x = (\delta_{\max} / \frac{1}{2} \delta_{\text{avg}})^2$	Kontrol Torsi
	mm	mm	mm		
<i>Top Floor</i>	9,23	8,522	10,2264	0,814625218	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Lt 5	11,883	11,006	13,2072	0,809525783	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Lt 4	11,941	11,061	13,2732	0,809338351	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Lt 3	11,451	10,607	12,7284	0,809355271	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Lt 2	10,258	9,503	11,4036	0,809173104	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
Lt 1	7,797	7,217	8,6604	0,810548797	Tanpa Ketidakberaturan Torsi
<i>Basement</i>	3,065	2,75	3,3	0,862646924	Tanpa Ketidakberaturan Torsi

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai $\delta_{\max} < \frac{1}{2} \delta_{\text{avg}}$, sehingga struktur bangunan tersebut termasuk kedalam kategori tanpa ketidakberaturan torsi dengan faktor amplifikasi (A_x) kurang dari 1, maka pada perhitungan eksentrisitas desain arah sumbu X (e_{dx}) dan sumbu Y (e_{dy}) menggunakan faktor amplifikasi (A_x) dengan nilai 1.

$$e_{dx} = e_{0x} + (0,5 L_x) A_x = e_{0x} + (0,05 L_x) \dots \dots \dots (4.10)$$

$$e_{dx} = e_{0x} - (0,5 L_x) A_x = e_{0x} - (0,05 L_x) \dots \dots \dots (4.11)$$

$$e_{dy} = e_{0y} + (0,5 L_y) A_x = e_{0y} + (0,05 L_y) \dots \dots \dots (4.12)$$

$$e_{dy} = e_{0y} - (0,5 L_y) A_x = e_{0y} - (0,05 L_y) \dots \dots \dots (4.13)$$

Keterangan :

- e_{dx} : Eksentrisitas Desain Arah Sumbu X (mm)
 e_{0x} : Eksentrisitas Bawaan Arah Sumbu X (mm)
 e_{dy} : Eksentrisitas Desain Arah Sumbu Y (mm)
 e_{0y} : Eksentrisitas Bawaan Arah Sumbu Y (mm)
 L_x : Panjang Bentang Total Sumbu X (mm)
 L_y : Panjang Bentang Total Sumbu Y (mm)
 A_x : Faktor Pembesaran Torsi tak Terduga/ Faktor Amplifikasi.

Jadi data eksentrisitas sebesar 0,05 pada awal permodelan ETABS sudah sesuai.

1. Analisa Sistem Ganda (*Dual System*)

Pada tahap ini akan dilakukan pengecekan pada gaya geser desain yang ditahan oleh Rangka Pemikul Momen dan Dinding Geser (*Shear Wall*) sebagai syarat Sistem Ganda.

Tabel 4.41 *Joint Reactions* Akibat Gempa Arah X (Berlanjut)

Sumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Story</i>	<i>Label</i>	<i>Output Case</i>	<i>FX</i>	<i>Label</i>	<i>FX</i>	<i>Label</i>	<i>FX</i>	<i>Label</i>	<i>FX</i>
			kN		kN		kN		kN
<i>Base</i>	3	<i>EX</i>	-229,38	11	-244,43	17	-5744,25	24	-199,49
<i>Base</i>	4	<i>EX</i>	-235,15	12	-252,53	18	-201,50	26	-173,87
<i>Base</i>	5	<i>EX</i>	-244,43	13	-205,39	19	-190,66	27	-180,25
<i>Base</i>	6	<i>EX</i>	-252,53	14	-190,66	20	-205,39	28	-185,20
<i>Base</i>	9	<i>EX</i>	-229,38	15	-201,50	22	-88,41	30	-173,87
<i>Base</i>	10	<i>EX</i>	-235,15	16	-5744,25	23	-89,78	31	-180,25

Tabel 4.41 *Joint Reactions* Akibat Gempa Arah X (Lanjutan)Sumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Story</i>	<i>Label</i>	<i>Output Case</i>	<i>FX</i>	<i>Label</i>	<i>FX</i>	<i>Label</i>	<i>FX</i>	<i>Label</i>	<i>FX</i>
			kN		kN		kN		kN
<i>Base</i>	32	<i>EX</i>	-185,20	47	-186,83	65	-70,12	81	-178,20
<i>Base</i>	34	<i>EX</i>	-88,41	48	-180,33	66	-176,82	82	-178,33
<i>Base</i>	35	<i>EX</i>	-89,78	53	-193,90	67	-176,22	83	-178,20
<i>Base</i>	36	<i>EX</i>	-199,49	54	-202,38	68	-176,22	84	-178,32
<i>Base</i>	37	<i>EX</i>	-191,50	55	-208,69	69	-176,82	91	-232,28
<i>Base</i>	38	<i>EX</i>	-198,51	56	-193,90	70	-70,12	97	-177,08
<i>Base</i>	39	<i>EX</i>	-198,51	57	-202,38	71	-175,86	99	-183,12
<i>Base</i>	40	<i>EX</i>	-191,50	58	-208,69	72	-164,13	101	-189,69
<i>Base</i>	41	<i>EX</i>	-185,92	59	-65,92	75	-164,13	103	-189,69
<i>Base</i>	42	<i>EX</i>	-192,59	60	-175,20	76	-175,86	105	-183,12
<i>Base</i>	43	<i>EX</i>	-192,59	61	-181,22	77	-165,41	108	-177,08
<i>Base</i>	44	<i>EX</i>	-185,92	62	-181,22	78	-4795,07	117	-232,28
<i>Base</i>	45	<i>EX</i>	-180,33	63	-175,20	79	-4795,08		
<i>Base</i>	46	<i>EX</i>	-186,83	64	-65,92	80	-165,39		

Berdasarkan tabel diatas , *Shear Wall* dan Kolom menahan gaya geser pada lantai *base* atau dasar sebesar :

$$V_{\text{Shear Wall}} = 21707 \text{ kN}$$

$$\%V_{\text{Shear Wall}} = 62,94 \%$$

$$V_{\text{Kolom}} = 12784 \text{ kN}$$

$$\%V_{\text{Kolom}} = 37,06 \%$$

Tabel 4.42 *Joint Reactions* Akibat Gempa Arah YSumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Story</i>	<i>Label</i>	<i>Output Case</i>	<i>FY</i>	<i>Label</i>	<i>FY</i>	<i>Label</i>	<i>FY</i>	<i>Label</i>	<i>FY</i>
			kN		kN		kN		kN
<i>Base</i>	3	<i>EY</i>	-187,05	27	-129,46	53	-180,72	75	-152,23
<i>Base</i>	4	<i>EY</i>	-198,84	28	-122,74	54	-193,57	76	-140,14
<i>Base</i>	5	<i>EY</i>	-187,34	30	-151,83	55	-198,32	77	-128,75
<i>Base</i>	6	<i>EY</i>	-175,29	31	-149,59	56	-214,82	78	-58,17
<i>Base</i>	9	<i>EY</i>	-235,79	32	-141,92	57	-230,07	79	-60,42
<i>Base</i>	10	<i>EY</i>	-250,62	34	-3439,65	58	-235,62	80	-142,23
<i>Base</i>	11	<i>EY</i>	-236,16	35	-3423,49	59	-2934,08	81	-109,59
<i>Base</i>	12	<i>EY</i>	-221,00	36	-145,24	60	-123,98	82	-113,32
<i>Base</i>	13	<i>EY</i>	-110,66	37	-123,82	61	-133,38	83	-123,90
<i>Base</i>	14	<i>EY</i>	-115,52	38	-128,06	62	-137,73	84	-128,46
<i>Base</i>	15	<i>EY</i>	-116,28	39	-132,65	63	-136,74	91	-211,20
<i>Base</i>	16	<i>EY</i>	-53,29	40	-136,56	64	-3371,90	97	-136,39
<i>Base</i>	17	<i>EY</i>	-55,18	41	-130,59	65	-2922,21	99	-137,29
<i>Base</i>	18	<i>EY</i>	-128,35	42	-135,08	66	-123,73	101	-141,86
<i>Base</i>	19	<i>EY</i>	-133,69	43	-139,50	67	-132,84	103	-146,48
<i>Base</i>	20	<i>EY</i>	-134,44	44	-143,95	68	-137,65	105	-151,26
<i>Base</i>	22	<i>EY</i>	-2858,16	45	-130,64	69	-136,45	108	-157,51
<i>Base</i>	23	<i>EY</i>	-2844,82	46	-140,28	70	-3356,27	117	-266,09
<i>Base</i>	24	<i>EY</i>	-119,77	47	-144,84	71	-120,81		
<i>Base</i>	26	<i>EY</i>	-131,45	48	-143,99	72	-138,26		

Berdasarkan tabel diatas , *Shear Wall* dan Kolom menahan gaya geser pada lantai *base* atau dasar sebesar :

$$V_{Shear\ Wall} = 25377,639 \text{ kN}$$

$$\%V_{Shear\ Wall} = 71,5 \%$$

$$V \text{ Kolom} = 10114,361 \text{ kN}$$

$$\%V \text{ Kolom} = 28,5 \%$$

4.3.7. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan dalam Tugas Akhir ini berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 4.2.2.1 . Kombinasi pembebanan yang akan digunakan dalam analisis struktur adalah sebagai berikut :

Comb. 1	=	1,4	DL							
Comb. 2	=	1,2	DL	+	1,6	LL				
Comb. 3	=	1,3289	DL	+	1,0	LL	+	1,3	E_x	+ 0,39 E_y
Comb. 4	=	1,3289	DL	+	1,0	LL	+	1,3	E_x	- 0,39 E_y
Comb. 5	=	1,3289	DL	+	1,0	LL	-	1,3	E_x	+ 0,39 E_y
Comb. 6	=	1,3289	DL	+	1,0	LL	-	1,3	E_x	- 0,39 E_y
Comb. 7	=	1,3289	DL	+	1,0	LL	+	0,39	E_x	+ 1,3 E_y
Comb. 8	=	1,3289	DL	+	1,0	LL	-	0,39	E_x	+ 1,3 E_y
Comb. 9	=	1,3289	DL	+	1,0	LL	+	0,39	E_x	- 1,3 E_y
Comb. 10	=	1,3289	DL	+	1,0	LL	-	0,39	E_x	- 1,3 E_y
Comb. 11	=	0,77113152	DL				+	1,3	E_x	+ 0,39 E_y
Comb. 12	=	0,77113152	DL				+	1,3	E_x	- 0,39 E_y
Comb. 13	=	0,77113152	DL				-	1,3	E_x	+ 0,39 E_y
Comb. 14	=	0,77113152	DL				-	1,3	E_x	- 0,39 E_y
Comb. 15	=	0,77113152	DL				+	0,39	E_x	+ 1,3 E_y
Comb. 16	=	0,77113152	DL				-	0,39	E_x	+ 1,3 E_y
Comb. 17	=	0,77113152	DL				+	0,39	E_x	- 1,3 E_y
Comb. 18	=	0,77113152	DL				-	0,39	E_x	- 1,3 E_y

Keterangan :

DL	=	Beban Mati
LL	=	Beban Hidup
E_x	=	Beban Gempa Statik Arah X
E_y	=	Beban Gempa Statik Arah Y

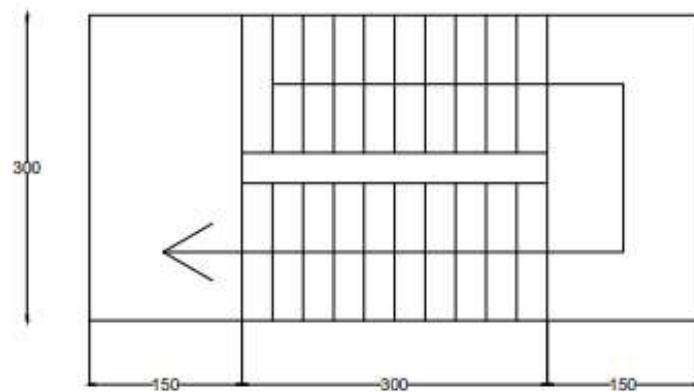
4.4. Perhitungan Struktur Sekunder

4.4.1. Perancangan Tangga

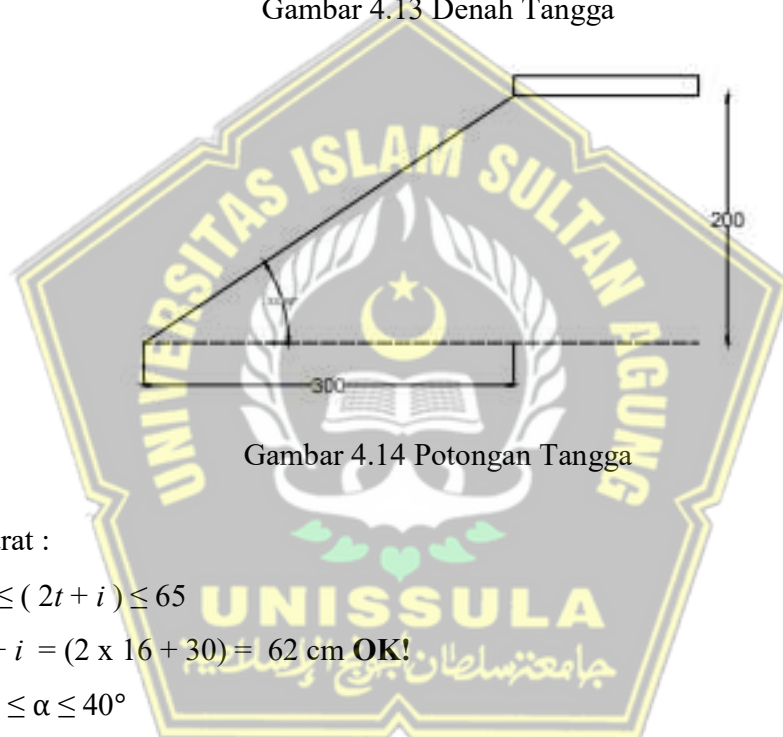
1) Data Perancangan Tangga

Tipe Tangga	=	Tangga 1
Tinggi antar lantai	=	400 cm (lantai 1- 5)
Tinggi injakan	=	20 cm
Lebar injakan	=	30 cm
Tinggi pelat tangga	=	16 cm
Tebal pelat bordes	=	16 cm
Elevasi bordes	=	200 cm
Lebar bordes	=	150 cm
Panjang bordes	=	300 cm
Lebar tangga	=	135 cm
Decking tulangan	=	2 cm
Kemiringan Tangga	=	$\arctan \alpha \left(\frac{200}{300} \right) = 33,69^\circ$
Tebal pelat rata-rata	=	Tebal pelat tangga + T_r
Mutu beton	=	25 MPa
Mutu tulangan	=	420 MPa

Berikut denah dan potongan tangga yang akan ditinjau dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.13 Denah Tangga



Gambar 4.14 Potongan Tangga

Cek syarat :

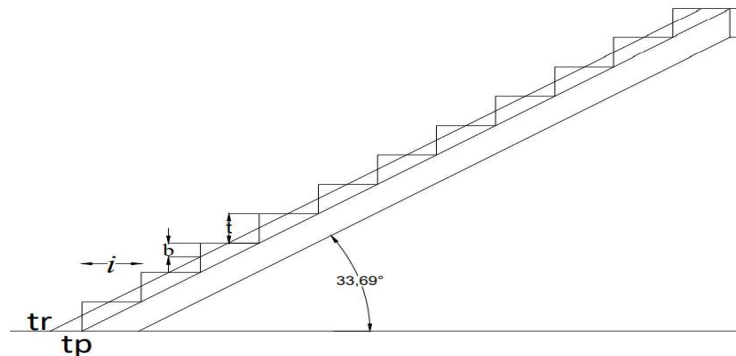
- $60 \leq (2t + i) \leq 65$
 $2t + i = (2 \times 16 + 30) = 62 \text{ cm OK!}$

- $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$

$$\alpha = \arctan \left(\frac{200}{300} \right) = 33,69^\circ \text{ OK!}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal pelat anak tangga rata-rata} &= (i/2) \sin \alpha \\ &= (30/2) \sin 33,69 \\ &= 8,38789 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal pelat rata-rata} &= \text{tebal pelat tangga} + tr \\ &= 16 + 8,38789 \\ &= 24,38789 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm} \end{aligned}$$



Gambar 4.15 Ketebalan Tangga

2) Perhitungan Analisis Struktur

a. Pelat Tangga

• Beban Mati

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat tangga} &= \frac{0,25 \times 24 \times 1,35}{\cos 33,69} = 9,34 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Keramik} &= 1,35 \times 0,24 = 0,32 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Spesi (2 cm)} &= 1,35 \times 2 \times 0,22 = 0,56 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Sandaran} &= 0,5 \text{ kN/m}^2 + \\
 &= 10,73 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

• Beban Hidup

$$\begin{aligned}
 &= 2,4 \times 1,35 \\
 &= 3,24 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

• Q_u

$$\begin{aligned}
 &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\
 &= (1,2 \times 10,73) + (1,6 \times 3,24) \\
 &= 18,06 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

b. Pelat Bordes

• Beban Mati

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat Bordes} &= 0,16 \times 24 \times 1,35 = 5,18 \text{ kNm}^2 \\
 \text{Keramik} &= 1,35 \times 0,22 = 0,32 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Spesi (2 cm)} &= 1,35 \times 0,22 \times 2 = 0,56 \text{ kN/m}^2 + \\
 &= 6,07 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

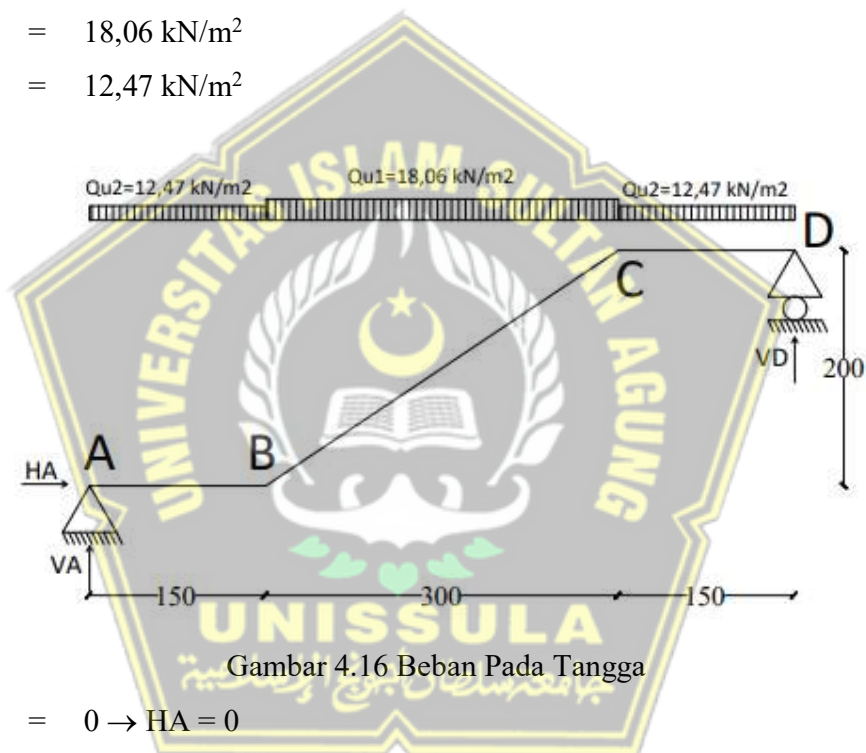
- Beban Hidup = $2,4 \times 1,35$
= $3,24 \text{ kN/m}^2$
- Q_u = $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$
= $(1,2 \times 6,07) + (1,6 \times 3,24)$
= $12,47 \text{ kN/m}^2$

3) Perhitungan Gaya Dalam

Reaksi Perletakan :

$$Q_{u1} = 18,06 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{u2} = 12,47 \text{ kN/m}^2$$



$$\Sigma H = 0 \rightarrow H_A = 0$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$= R_D (6) - Q_{u2} (1,5)(0,75) - Q_{u1} (3)(3) - Q_{u2} (1,5)(5,25) = 0$$

$$R_D = \frac{(12,24 \times 1,5 \times 0,75) + (18,06 \times 3 \times 3) + (12,47 \times 1,5 \times 5,25)}{6}$$

$$= 45,795 \text{ kN}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$R_A = Q_{u1} (3) + Q_{u2} (1,5) + Q_{u2}(1,5) - 45,795$$

$$= 45,795 \text{ kN}$$

1. Perhitungan pada A-B dan C-D

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang N} \quad N_{AB} &= 0 \\
 \text{Bidang D} \quad D_A &= R_A \\
 &= 45,795 \text{ kNm} \\
 D_B \text{ kiri} &= R_A - Qu2 (1,5) \\
 &= 27,09 \text{ kNm} \\
 \text{Bidang M} \quad M_A &= 0 \text{ kNm} \\
 M_B \text{ kiri} &= R_A (1,5) - \frac{1}{2} Qu2 (1,5)^2 \\
 &= 54,66 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

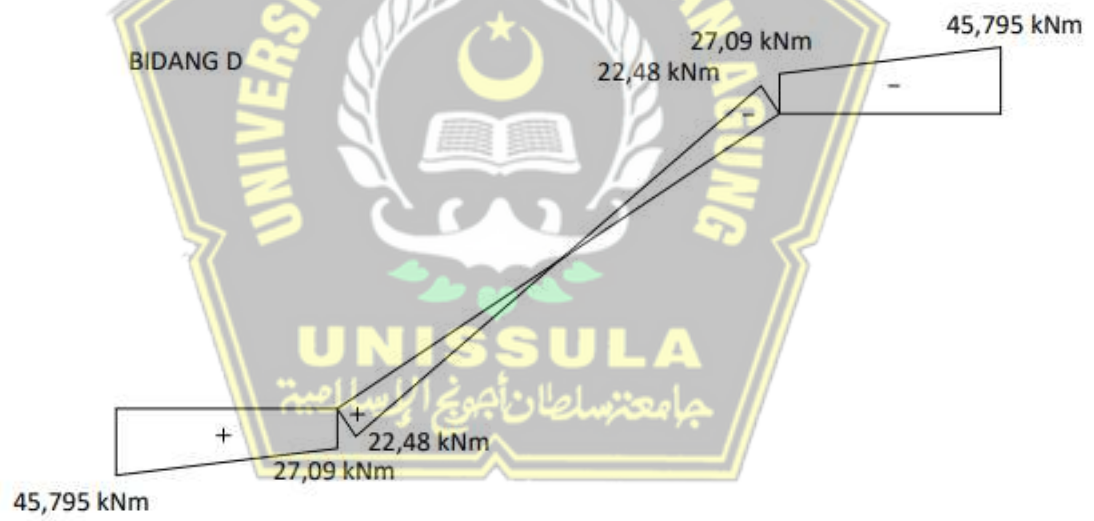
2. Perhitungan pada B-C

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang N} \quad N_B \text{ kanan} &= -R_A \sin \alpha + (Qu2. \sin \alpha. L_{BC}) \\
 &= -15,01 \text{ kNm} \\
 N_C \text{ kiri} &= N_B \text{ kanan} + (Qu1. \sin \alpha. L_{BC}) \\
 &= 15,01 \text{ kNm} \\
 \text{Bidang D} \quad D_B \text{ kanan} &= R_A \cos \alpha - (Qu2. \cos \alpha. L_{ab}) \\
 &= 22,48 \text{ kNm} \\
 D_C \text{ kiri} &= D_A - (Qu1. \cos \alpha. L_{ab}) \\
 &= -22,48 \text{ kNm} \\
 \text{Bidang M} \quad M_{\text{Max}} &\rightarrow \text{ditengah} \\
 M_{\text{Max}} &= R_A \cdot 3 - 1,5 \cdot Qu1 \cdot 0,75 - 1,5 \cdot Qu2 \cdot 2,25 \\
 &= 81,75 \text{ kNm} \\
 M_B \text{ kanan} &= M_B \text{ kiri} \\
 &= 54,66 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

BIDANG N

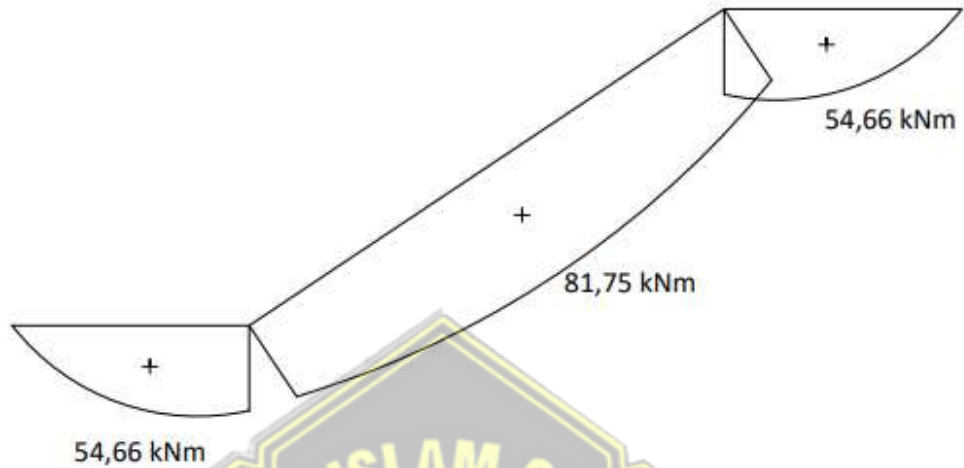


Gambar 4.17 Bidang Normal



Gambar 4.18 Bidang Lintang

BIDANG M



Gambar 4.19 Bidang Momen

4) Perhitungan Pelat Tangga dan Pelat Bordes

a. Pelat tangga

$$M_u = 81,75 \text{ kNm} = 81750000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal pelat efektif} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal decking} = 20 \text{ mm}$$

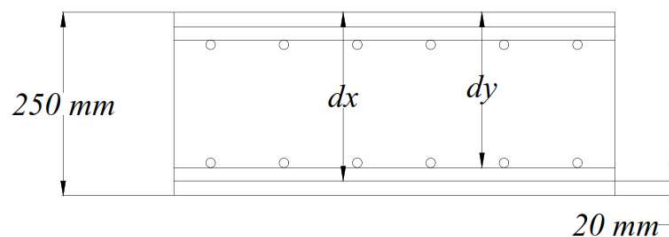
$$\text{Diameter tulangan lentur} = 13 \text{ mm} (A = 132 \text{ mm}^2)$$

$$\text{Diameter tulangan susut} = 10 \text{ mm} (A = 78,5 \text{ mm}^2)$$

$$\text{Mutu Beton } f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu tulangan baja } f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,87 \text{ (untuk } f_c' 25 \text{ MPa)}$$



Gambar 4.20 Tinggi Efektif Pelat Tangga

$$\begin{aligned}
 dx &= \text{tebal pelat} - \text{cover} - \frac{1}{2} D_{\text{lentur}} \\
 &= 250 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 13 \text{ mm} \\
 &= 223,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= \text{tebal pelat} - \text{cover} - 13 - \frac{1}{2} D_{\text{susut}} \\
 &= 250 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\
 &= 212 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Lentur

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\
 &= \frac{81750000}{0,9 \times 1350 \times 223,5^2} \\
 &= 1,34 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,0018$$

$$\rho_{\max} = 0,025$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \right) \\
 &= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 19,7 \times 1,34}{420}} \right) \right) \\
 &= 0,003315
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} = 0,0018 < 0,003315$$

$$\text{Maka, dipakai } \rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,003315$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,003315 \times 1350 \times 223,5 \\
 &= 1000,43 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_{D13}} \\
 &= \frac{1000,43}{132} \\
 &= 7,5, \text{ diambil 8 buah}
 \end{aligned}$$

- Cek nilai ϕ

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1000,43 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1350} \\
 &= 14,64
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - \left(0,05 \times \frac{f'_c - 28}{7} \right) \\
 &= 0,85 - \left(0,05 \times \frac{25 - 28}{7} \right) \\
 &= 0,871
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{\alpha}{\beta_1} \\
 &= \frac{14,64}{0,871} \\
 &= 16,807
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{223,5 - 16,807}{16,807} \times 0,003 \\
 &= 0,0368
 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_t > 0,005 \quad = 0,0368 > 0,005 \rightarrow \text{Terkendali Tarik}$$

Jadi, faktor reduksi $\phi = 0,9$ dapat digunakan.

Syarat jarak maksimum berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 7.7.2.3 :

$$3h = 3 \times 250 = 750 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D13 mm, sehingga jarak tulangan :

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1350}{1000,43}
 \end{aligned}$$

$$= 179,02 \text{ mm} < S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

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

Tulangan yang dipakai D13-150 mm

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{s_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1350}{150} \\ &= 1193,985 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 1000,43 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi dipasang tulangan lentur D13-150 mm.

Perhitungan Tulangan Susut

Tulangan susut atau tulangan bagi merupakan tulangan melintang pada struktur tangga. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 24.4.3.2 untuk baja $f_y = 420 \text{ MPa}$ dipasang tulangan susut dengan ρ min sebesar 0,0018.

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1350 \times 223,5 \\ &= 543,105 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut tidak boleh lebih dari $5h$ atau 450 mm (SNI 2847:2019 Pasal 7.7.2.4).

Dipakai tulangan D10 mm, sehingga jarak antar tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} s &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 1350}{543,105} \\ &= 195,12 \text{ mm} < S_{\max} = 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

Jadi tulangan susut yang digunakan adalah D10-150 mm.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{s_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 1350}{150} \\ &= 706,5 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 543,105 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi dipasang tulangan susut D10-150 mm.

Perhitungan Tulangan Geser

Tulangan geser dihitung berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.3.1 tentang tulangan geser minimum. Jika $V_u > 0,5 \phi V_c$, maka harus menggunakan perkuatan geser.

- V_u
$$= 0,5 \times q_u \times l$$
$$= 0,5 \times 81,75 \times 1,5$$
$$= 61,31 \text{ kN}$$
- V_c
$$= 0,17 \lambda \sqrt{f_c} \times b \times d$$
$$= 0,17 \times 1 \sqrt{25} \times 1350 \times 223,5$$
$$= 256466,25 \text{ N}$$
- ϕV_c
$$= 0,75 (0,17 \times 1 \sqrt{25} \times 1350 \times 262) \times 10^{-3}$$
$$= 192,34 \text{ kN}$$
- $\frac{1}{2} \phi V_c$
$$= \frac{1}{2} \times 192,34$$
$$= 96,17 \text{ kN}$$

Berdasarkan perhitungan diatas nilai V_u yang didapatkan lebih kecil daripada nilai $0,5 \phi V_c$, sehingga tidak diperlukan adanya perkuatan geser.

b. Pelat Bordes

$$M_u = 54,66 \text{ kNm} = 54660000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Tebal pelat} = 160 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal decking} = 20 \text{ mm}$$

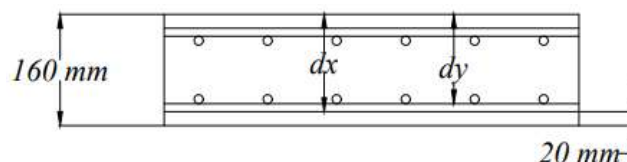
$$\text{Diameter tulangan lentur} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan susut} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu Beton } f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu tulangan baja } f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,87 \text{ (untuk } f_c' 25 \text{ MPa)}$$



Gambar 4.21 Tinggi Efektif Pelat Bordes

$$\begin{aligned}
 dx &= \text{tebal pelat} - \text{cover} - \frac{1}{2} D_{\text{lentur}} \\
 &= 160 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 13 \text{ mm} \\
 &= 133,5 \text{ mm} \\
 dy &= \text{tebal pelat} - \text{cover} - 13 - \frac{1}{2} D_{\text{susut}} \\
 &= 160 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\
 &= 122 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Lentur

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,9 \\
 Rn &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\
 &= \frac{54660000}{0,9 \times 1500 \times 133,5^2} \\
 &= 2,27 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_{\min} &= 0,0018 \\
 \rho_{\max} &= 0,025 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \right) \\
 &= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 19,765 \times 2,27}{420}} \right) \right) \\
 &= 0,00573 \\
 \text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} &= 0,0018 < 0,00573 \\
 \text{Maka, dipakai } \rho = \rho_{\text{perlu}} &= 0,00573 \\
 A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,00573 \times 1500 \times 133,5 \\
 &= 1148,24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_{D13}} \\
 &= \frac{1148,24}{132} \\
 &= 8,69, \text{ diambil 9 buah}
 \end{aligned}$$

- Cek nilai ϕ

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1148,24 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1500} \\
 &= 15,12
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - \left(0,05 \times \frac{f'_c - 28}{7} \right) \\
 &= 0,85 - \left(0,05 \times \frac{25 - 28}{7} \right) \\
 &= 0,871
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{\alpha}{\beta_1} \\
 &= \frac{15,12}{0,87} \\
 &= 17,36
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{133,5 - 17,36}{17,36} \times 0,003 \\
 &= 0,02 \\
 \epsilon_t &> 0,005 &= 0,02 > 0,005 \rightarrow \text{Terkendali Tarik}
 \end{aligned}$$

Jadi, faktor reduksi $\phi = 0,9$ dapat digunakan.

Syarat jarak maksimum berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 7.7.2.3 :

$$3h = 3 \times 160 = 480 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D13 mm, sehingga jarak tulangan :

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1500}{1148,24}
 \end{aligned}$$

$$= 173,30 \text{ mm} < S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

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

Tulangan yang dipakai D13-150 mm

$$\begin{aligned} As \text{ pakai} &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{s \text{ pakai}} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1500}{150} \\ &= 1326,65 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 1148,24 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi dipasang tulangan lentur D13-150 mm.

Perhitungan Tulangan Susut

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 24.4.3.2 untuk baja $f_y = 420 \text{ MPa}$ dipasang tulangan susut dengan $\rho_{\min}$ sebesar 0,0018.

$$\begin{aligned} As \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1500 \times 133,5 \\ &= 360,45 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut tidak boleh lebih dari $5h$ atau 450 mm (SNI 2847:2019 Pasal 7.7.2.4).

Dipakai tulangan D10 mm, sehingga jarak antar tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} s &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{As \text{ perlu}} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 1500}{360,45} \\ &= 326,67 \text{ mm} < S_{\max} = 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \text{ pakai} = 250 \text{ mm}$$

Jadi tulangan susut yang digunakan adalah D10-250

$$\begin{aligned} As \text{ pakai} &= \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{s \text{ pakai}} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 1500}{250} \\ &= 471 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 360,45 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

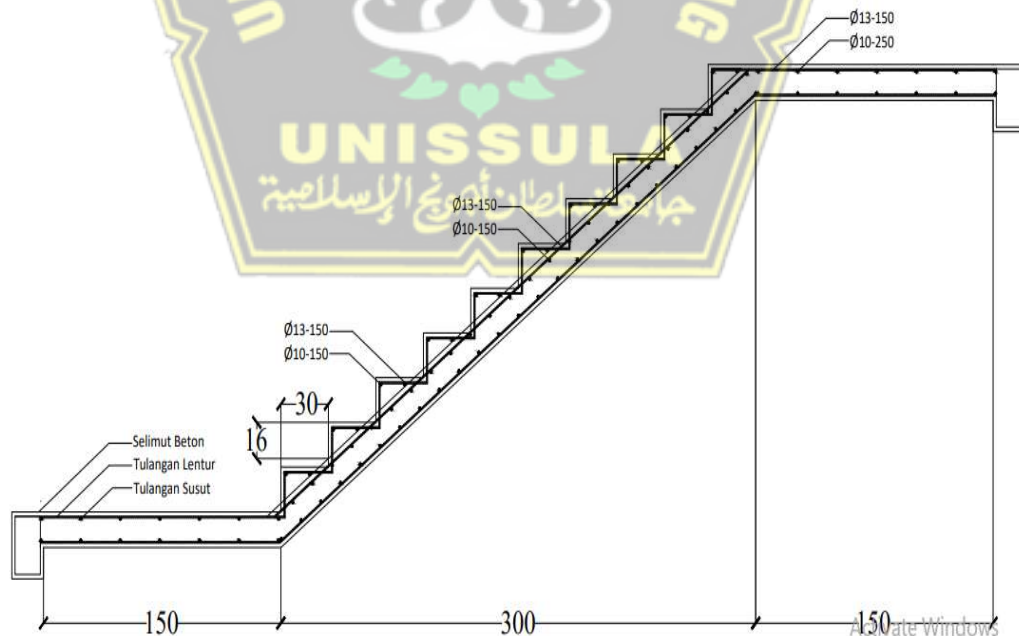
dipasang tulangan susut D10-250 mm.

Perhitungan Tulangan Geser

Tulangan geser dihitung berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.3.1 tentang tulangan geser minimum. Jika $V_u > 0,5 \phi V_c$, maka harus menggunakan perkuatan geser.

- V_u
 $= 0,5 \times q_u \times l$
 $= 0,5 \times 54,66 \times 1,5$
 $= 40,99 \text{ kN}$
- V_c
 $= 0,17 \lambda \sqrt{f_c} \times b \times d$
 $= 0,17 \times 1 \sqrt{25} \times 1500 \times 133,5$
 $= 170212,5 \text{ N}$
- ϕV_c
 $= 0,75 (0,17 \times 1 \sqrt{25} \times 1500 \times 133,5) \times 10^{-3}$
 $= 127,66 \text{ kN}$
- $\frac{1}{2} \phi V_c$
 $= \frac{1}{2} \times 127,66$
 $= 62,82 \text{ kN}$

Berdasarkan perhitungan diatas nilai V_u yang didapatkan lebih kecil daripada nilai $0,5 \phi V_c$, sehingga tidak diperlukan adanya perkuatan geser.



Gambar 4.22 Penulangan Pelat Tangga dan Pelat Bordes

4.4.2. Perhitungan Balok Bordes

Dalam SNI 2847:2019 Pasal 9.3.1.1 Balok bordes dianggap sebagai Balok tertumpu sederhana, sehingga untuk Balok bordes dengan panjang 3000 mm didapatkan data perancangan sebagai berikut :

$$h_{\min} = \frac{\ell}{16} = \frac{3000}{16} = 187,5 \text{ mm}, \text{ diambil nilai } 300 \text{ mm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h_{\min} = \frac{2 \times 187,5}{3} = 125 \text{ mm}, \text{ diambil nilai } 200 \text{ mm}$$

Untuk desain awal Balok Bordes digunakan ukuran balok 200 x 300 mm

1) Data Perancangan Balok Bordes

$$h = 300 \text{ mm}$$

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

$$\text{Tebal decking} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan lentur} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan geser} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu Beton } f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu tulangan baja } f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,87 \text{ (untuk } f_c' 25 \text{ MPa)}$$

2) Pembebanan Balok Bordes Bawah

Beban mati (DL)

$$\text{Pelat bordes} = 24 \times 2 \times 0,16 = 7,68 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat Balok} = 0,2 \times 0,3 \times 24 = 1,44 \text{ kN/m}^2 +$$

$$q_d = 9,12 \text{ kN/m}^2$$

Beban hidup (LL)

$$q_l = 2,4 \times 2 = 0,48 \text{ kN/m}^2$$

Kombinasi

$$q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 18,62 \text{ kN/m}^2$$

3) Perhitungan Tulangan Balok Bordes Bawah

$$d = h - \text{tebal decking} - \text{sengkang} - \left(\frac{1}{2} \times D_{\text{lentur}}\right)$$

$$= 300 - 20 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 16\right)$$

$$= 262 \text{ mm}$$

$$M_u = \frac{1}{10} \times q_u \times l^2$$

$$= \frac{1}{10} \times 18,62 \times 3^2$$

$$= 16,7616 \text{ kNm}$$

$$= 16761600 \text{ Nmm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{16761600}{0,9 \times 200 \times 262^2}$$

$$= 1,35 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420}$$

$$= 0,0033$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c}$$

$$= \frac{420}{0,85 \times 25}$$

$$= 19,765$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right)\right)$$

$$= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 19,765 \times 1,35}{420}}\right)\right)$$

$$= 0,0033$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, maka dipakai $\rho = \rho_{\min} = \mathbf{0,0033}$

a. Tulangan Lentur Tarik

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0033 \times 200 \times 262$$

$$= 172,92 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2 menetapkan A_s tidak boleh kurang dari perhitungan dibawah ini :

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \times 200 \times 262$$

$$= 155,95 \text{ mm}^2$$

Atau ;

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y}$$

$$= \frac{1,4 \times 200 \times 262}{420}$$

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

Maka A_s pakai adalah 175 mm^2

Digunakan tulangan D16 mm ($A_{D16} = 200,96 \text{ mm}^2$)

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{A_{D16}}$$

$$= \frac{175}{200,96}$$

$$= 1, \text{ diambil } 2 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan lentur tarik 2D16 ($A = 401,92 \text{ mm}^2$).

b. Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.4.2.1. Tulangan lentur tekan digunakan $\frac{1}{2}$ dari kekuatan lentur tarik atau minimal 2 buah, sehingga digunakan tulangan lentur tekan 2D16 ($A = 401,92 \text{ mm}^2$).

c. Kontrol Kapasitas Penampang

Tinggi blok tegangan persegi ekivalen :

$$\alpha = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$= \frac{401,92 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200}$$

$$\begin{aligned}
 &= 39,72 \text{ mm} \\
 c &= \frac{\alpha}{0,87} \\
 &= \frac{39,72}{0,87} \\
 &= 45,65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

d. Cek regangan tarik

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \left(\frac{d}{c} - 1 \right) \times 0,003 \\
 &= \left(\frac{262}{45,65} - 1 \right) \times 0,003 \\
 &= 0,014
 \end{aligned}$$

$$\epsilon_t > 0,005 \quad \rightarrow \quad 0,014 > 0,005 \rightarrow \text{Terkendali Tarik}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} \alpha \right) \\
 &= 0,9 \times 401,92 \times 420 \times \left(262 - \frac{1}{2} \times 39,72 \right) \\
 &= 51979943,87 \text{ Nmm} \\
 &= 51,97 \text{ kNm} > M_u = 16,7616 \text{ kNm (Ok)}
 \end{aligned}$$

e. Tulangan Geser

$$\begin{aligned}
 V_u &= 0,5 \times q_u \times l \\
 &= 0,5 \times 18,62 \times 3 \\
 &= 27,94 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \lambda \sqrt{f_c} \times b \times d \\
 &= 0,17 \times 1 \sqrt{25} \times 200 \times 262 \\
 &= 44,54 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,75 (0,17 \times 1 \sqrt{25} \times 200 \times 262) \times 10^{-3} \\
 &= 33,405 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} \phi V_c &= \frac{1}{2} \times 33,405 \\
 &= 16,7025 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kekuatan geser tulangan mengalami kondisi $\frac{1}{2}\phi V_c \leq V_u < V_c$, sehingga digunakan tulangan geser minimum.

$$\begin{aligned}
 V_n &= \frac{V_u}{\phi} \\
 &= \frac{27,936}{0,75} \\
 &= 37,248 \text{ kN} \\
 A_v \text{ (D10)} &= 157,08 \text{ mm}^2 \\
 s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_n} \\
 &= \frac{157,08 \times 420 \times 262}{37248} \\
 &= 464,05 \text{ mm} \\
 V_s &= 0,333 \sqrt{f_c} \times b \times d \\
 &= 0,333 \sqrt{25} \times 200 \times 262 \\
 &= 872,46 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Digunakan D10 mm dua kali ($A_v = 157,08 \text{ mm}^2$) pada jarak maksimum, yang dipilih dari nilai terkecil antara :

$$\begin{aligned}
 s_1 &= \frac{d}{2} = \frac{262}{2} = 131 \text{ mm} \\
 s_2 &= \frac{A_v \times f_y}{0,35 \times b} = \frac{157,08 \times 420}{0,35 \times 200} = 942,48 \text{ mm} \\
 s_3 &= 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipakai $s = 150 \text{ mm}$ (dipasang sengkang D10 - 150)

4) Pembebanan Balok Bordes Atas

- Beban mati (DL)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= 1,8 \times 2 &= 3,6 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Pelat bordes} &= 24 \times 2 \times 0,16 &= 7,68 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Berat balok} &= 0,2 \times 0,3 \times 24 &= 1,44 \text{ kN/m}^2 + \\
 q_d & &= 9,48 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- Beban hidup (LL)

$$q_l = 2,4 \times 2 = 0,48 \text{ kN/m}^2$$

- Kombinasi

$$q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 19,056 \text{ kN/m}^2$$

5) Perhitungan Tulangan Balok Bordes Atas

$$\begin{aligned} d &= h - \text{tebal } \textit{decking} - \text{sengkang} - \left(\frac{1}{2} \times \text{Dlentur}\right) \\ &= 300 - 20 - 10 - \left(\frac{1}{2} \times 16\right) \\ &= 262 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{10} \times q_u \times l^2 \\ &= \frac{1}{10} \times 19,056 \times 3^2 \\ &= 17,15 \text{ kNm} \\ &= 17150400 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{17150400}{0,9 \times 200 \times 262^2} \\ &= 1,39 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} \\ &= 0,0033 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\ &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\ &= 19,765 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right)\right) \\ &= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 19,765 \times 1,39}{420}}\right)\right) \end{aligned}$$

$$= 0,0034$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}}$, maka dipakai $\rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,0034$

a. Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0034 \times 200 \times 262 \\ &= 179,23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2 menetapkan A_s tidak boleh kurang dari perhitungan dibawah ini :

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \times b_w \times d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \times 200 \times 262 \\ &= 155,95 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Atau ;

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \times 200 \times 262}{420} \\ &= 175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka A_s pakai adalah 175 mm²

Digunakan tulangan D16 mm ($A_{D16} = 200,96 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_s \text{ pakai}}{A_{D16}} \\ &= \frac{175}{200,96} \\ &= 1, \text{ diambil 2 buah} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur tarik 2D16 ($A = 401,92 \text{ mm}^2$).

b. Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.4.2.1. Tulangan lentur tekan digunakan ½ dari kekuatan lentur tarik atau minimal 2 buah, sehingga digunakan tulangan lentur tekan 2D16 ($A = 401,92 \text{ mm}^2$).

c. Kontrol Kapasitas Penampang

Tinggi blok tegangan persegi ekivalen :

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{401,92 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200} \\ &= 39,72 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{\alpha}{0,87} \\ &= \frac{39,72}{0,87} \\ &= 45,65 \text{ mm}\end{aligned}$$

d. Cek regangan tarik

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \left(\frac{d}{c} - 1 \right) \times 0,003 \\ &= \left(\frac{262}{46,73} - 1 \right) \times 0,003 \\ &= 0,01\end{aligned}$$

$$\epsilon_t > 0,005 \quad = 0,01 > 0,005 \rightarrow \text{Terkendali Tarik}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} \alpha \right) \\ &= 0,9 \times 401,92 \times 420 \times \left(262 - \frac{1}{2} 39,72 \right) \\ &= 51979943,87 \text{ Nmm} \\ &= 51,97 \text{ kNm} > M_u = 17,15 \text{ kNm (Ok)}\end{aligned}$$

e. Tulangan Geser

$$\begin{aligned}V_u &= 0,5 \times q_u \times l \\ &= 0,5 \times 19,056 \times 3 \\ &= 28,58 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times 1 \sqrt{25} \times 200 \times 262 \\ &= 44,54 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 (0,17 \times 1\sqrt{25} \times 200 \times 262) \times 10^{-3} \\ &= 33,405 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}\phi V_c &= \frac{1}{2} \times 33,405 \\ &= 16,7025 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kekuatan geser tulangan mengalami kondisi $\frac{1}{2}\phi V_c \leq V_u < V_c$, sehingga digunakan tulangan geser minimum.

$$\begin{aligned}V_n &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{28,58}{0,75} \\ &= 38,112 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$A_v (\text{D10}) = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_n} \\ &= \frac{157,08 \times 420 \times 262}{38112} \\ &= 453,53 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_s &= 0,333 \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,333 \sqrt{25} \times 200 \times 262 \\ &= 872,46 \text{ kN}\end{aligned}$$

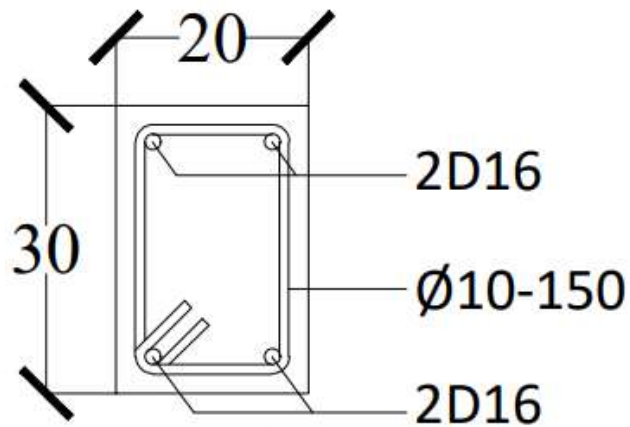
Digunakan D10 mm dua kali ($A_v = 157,08 \text{ mm}^2$) pada jarak maksimum, yang dipilih dari nilai terkecil antara :

$$s_1 = \frac{d}{2} = \frac{262}{2} = 131 \text{ mm}$$

$$s_2 = \frac{A_v \times f_y}{0,35 \times b} = \frac{157,08 \times 420}{0,35 \times 200} = 942,48 \text{ mm}$$

$$s_3 = 600 \text{ mm}$$

Dipakai $s = 150 \text{ mm}$ (dipasang sengkang D10 - 150)



Gambar 4.23 Detail Potongan Balok Bordes

4.4.3. Perancangan Pelat

Pelat yang digunakan pada perancangan gedung ini dibagi menjadi dua, yaitu Pelat Lantai dan Pelat Atap. Pada Sub Bab 4.1.3 *Preliminary Design*, Pelat Lantai telah dirancang ketebalan pelat yaitu 12 cm.

4.4.3.1. Data Perancangan

Data perancangan pelat meliputi :

Mutu beton = 25 MPa

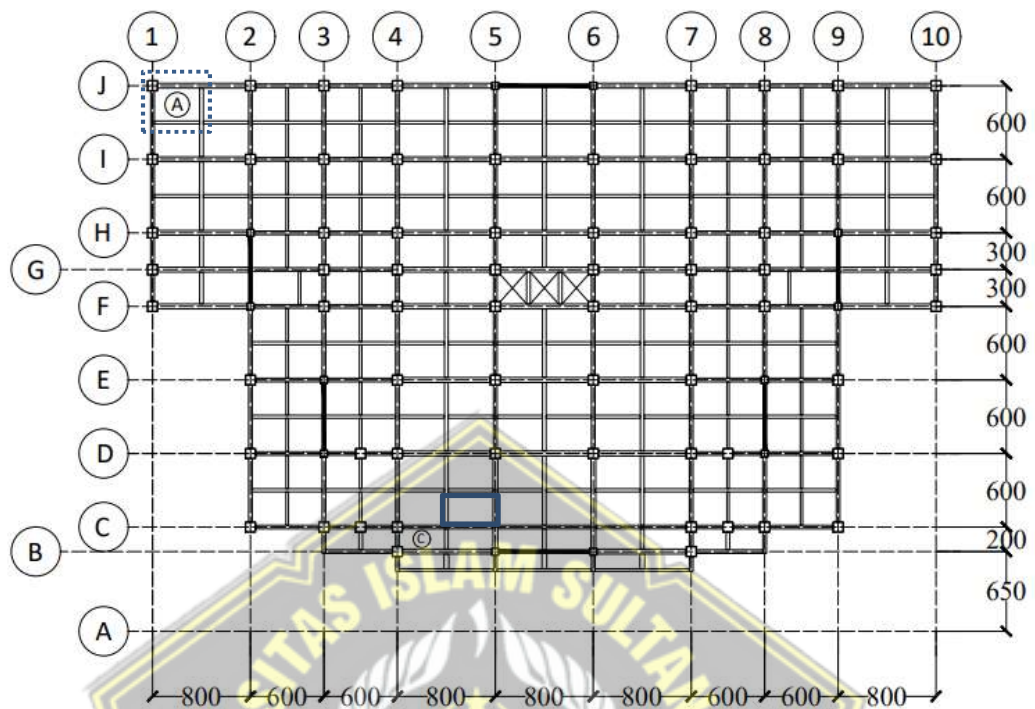
Mutu baja = 420 MPa

Tebal Pelat Lantai = 12 cm

Diameter tulangan lentur = 10 mm

Diameter tulangan susut = 8 mm

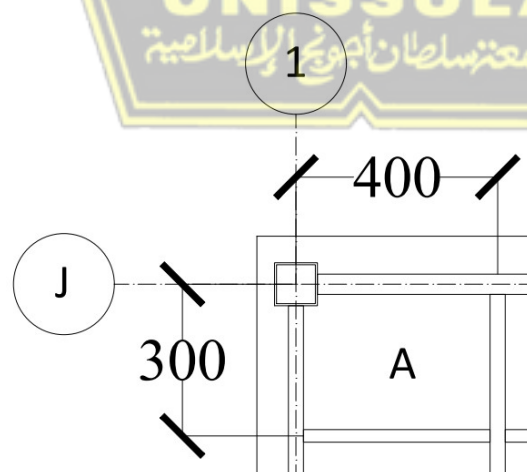
Tebal selimut = 30 mm



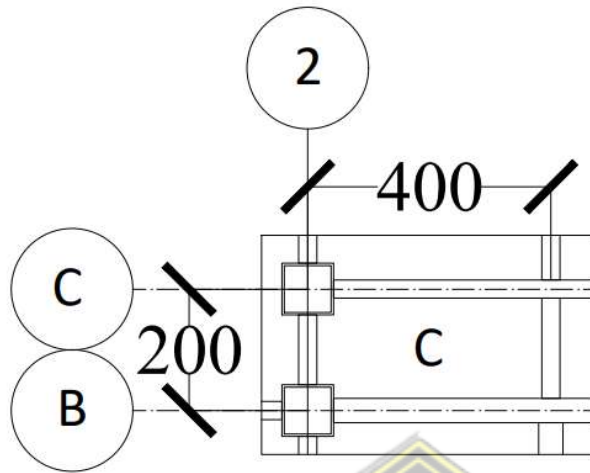
Gambar 4.24 Denah Pelat Lantai 1

4.4.3.2. Pelat Lantai

Pelat yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan adalah tipe Pelat A dan Pelat C Lantai 1 yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.25 Pelat Tipe A



Gambar 4.26 Pelat Tipe C

4.4.3.3. Perhitungan Rasio Tulangan

Pada perhitungan rasio tulangan akan dilakukan dua perhitungan yang berbeda yaitu pelat dua arah dan pelat satu arah.

1) Pelat Dua Arah (Pelat A)

$$L_y = 400 \text{ cm}$$

$$L_x = 300 \text{ cm}$$

$$L_n = L - \left(\frac{b_{\text{panjang}}}{2} + \frac{b_{\text{panjang}}}{2} \right)$$

$$L_n = 400 - \left(\frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right) = 370 \text{ cm}$$

$$S_n = L - \left(\frac{b_{\text{lebar}}}{2} + \frac{b_{\text{lebar}}}{2} \right)$$

$$S_n = 300 - \left(\frac{40}{2} + \frac{25}{2} \right) = 267,5 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{370}{267,5} = 1,4 < 2, \text{ maka Pelat Tipe A termasuk pelat dua arah.}$$

Karena nilai $\beta = 1,4$ berdasarkan PBI 1971 untuk perhitungan M_{lx} dan M_{tx} nilai X = 53, sedangkan untuk perhitungan M_{ly} dan M_{ty} nilai X = 38.

2) Pelat Satu Arah (Pelat C)

$$L_y = 400 \text{ cm}$$

$$L_x = 200 \text{ cm}$$

$$L_n = L - \left(\frac{b_{\text{panjang}}}{2} + \frac{b_{\text{panjang}}}{2} \right)$$

$$L_n = 400 - \left(\frac{30}{2} + \frac{30}{2} \right) = 370 \text{ cm}$$

$$S_n = L - \left(\frac{b_{\text{lebar}}}{2} + \frac{b_{\text{lebar}}}{2} \right)$$

$$S_n = 200 - \left(\frac{40}{2} + \frac{30}{2} \right) = 165 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{370}{165} = 2,3 > 2, \text{ maka Pelat Tipe C termasuk pelat satu arah.}$$

Karena nilai $\beta = 2,3$ berdasarkan PBI 1971 untuk perhitungan M_{lx} dan M_{tx} nilai X = 63, sedangkan untuk perhitungan M_{ly} dan M_{ty} nilai X = 34.

4.4.3.4. Pembebanan Pelat

Beban yang bekerja pada Pelat Lantai terdiri dari dua jenis beban, yaitu beban mati dan beban hidup.

1) Beban Mati

$$\text{Pelat lantai} = 0,12 \times 24 = 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Finishing} = 0,04 \times 21 = 0,84 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Plafond} = 0,11 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Dinding rebah} = 1,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Penggantung} = 0,07 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{ME dan Plumbing} = 0,1 \text{ kN/m}^2 +$$

$$\text{Total DL} = 5,8 \text{ kN/m}^2$$

2) Beban Hidup

$$\text{Beban hidup perkatoran} = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total LL} = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

3) Kombinasi Beban

$$Qu = 1,2 (\text{DL}) + 1,6 (\text{LL})$$

$$= 1,2 (5,8) + 1,6 (2,4)$$

$$= 10,8 \text{ kN/m}^2$$

4.4.3.5. Perhitungan Momen Pada Pelat

Momen pada pelat dihitung berdasarkan aturan yang ada dalam Peraturan Beton Indonesia (PBI) tahun 1971.

1) Momen Pada Pelat Dua Arah.

$$\begin{aligned} \bullet \quad M_{lx} = M_{tx} &= 0,001 \cdot q \cdot S_n^2 \cdot x \\ &= 0,001 \cdot 10,8 \cdot (2,675)^2 \cdot 53 \\ &= 4,09588 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad M_{ly} = M_{ty} &= 0,001 \cdot q \cdot L_n^2 \cdot x \\ &= 0,001 \cdot 10,8 \cdot (3,70)^2 \cdot 38 \\ &= 5,618376 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2) Momen Pada Pelat Satu Arah.

$$\begin{aligned} \bullet \quad M_{lx} = M_{tx} &= 0,001 \cdot q \cdot S_n^2 \cdot x \\ &= 0,001 \cdot 10,8 \cdot (1,65)^2 \cdot 63 \\ &= 1,852389 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad M_{ly} = M_{ty} &= 0,001 \cdot q \cdot L_n^2 \cdot x \\ &= 0,001 \cdot 10,8 \cdot (3,70)^2 \cdot 34 \\ &= 5,026968 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Keterangan :

$$M_{lx} = \text{Momen Lapangan Arah x}$$

$$M_{ly} = \text{Momen Lapangan Arah y}$$

$$M_{tx} = \text{Momen Tumpuan Arah x}$$

M_{ty} = Momen Tumpuan Arah y
 X = Nilai Konstanta dari Pembandingan L_x/L_y

4.4.3.6. Perhitungan Tinggi Efektif Pelat

Berikut ini adalah perhitungan tinggi efektif pelat dua arah dan pelat satu arah.

1) Tinggi Efektif Pelat Dua Arah.

$$\begin{aligned}
 dx &= \text{tebal pelat} - \text{cover} - \frac{1}{2} \text{ Dlentur} \\
 &= 120 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - \frac{1}{2} 10 \text{ mm} \\
 &= 85 \text{ mm} \\
 dy &= \text{tebal pelat} - \text{cover} - 10 - \frac{1}{2} \text{ Dlentur} \\
 &= 120 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\
 &= 75 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,87 \text{ (untuk } f'_c 25 \text{)}
 \end{aligned}$$

2) Tinggi Efektif Pelat Satu Arah.

$$\begin{aligned}
 dx &= \text{tebal pelat} - \text{cover} - \frac{1}{2} \text{ Dlentur} \\
 &= 120 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - \frac{1}{2} 10 \text{ mm} \\
 &= 85 \text{ mm} \\
 dy &= \text{tebal pelat} - \text{cover} - 10 - \frac{1}{2} \text{ Dlentur} \\
 &= 120 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\
 &= 75 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,87 \text{ (untuk } f'_c 25 \text{)}
 \end{aligned}$$

4.4.3.7. Perhitungan Tulangan Pelat

1) Penulangan Pelat Dua Arah (*Two Way Slab*)

Pada penulangan Pelat Dua Arah (*Two Way Slab*) terdapat tulangan yang dipasang pada dua arah yang saling tegak lurus. Tulangan pokok tersebut dipasang untuk menahan momen lentur dikedua arah pada daerah lapangan, sedangkan pada daerah tumpuan tulangan pokok dibantu dengan tulangan bagi atau tulangan susut.

→ Penulangan Arah X

$$\begin{aligned} M_u &= 4,09588 \text{ kNm} \\ &= 4095880 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{4095880}{0,9 \times 1000 \times 85^2} \\ &= 0,63 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} \\ &= 0,0033 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\ &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\ &= 19,765 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \right) \\ &= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 19,765 \times 0,63}{420}} \right) \right) \\ &= 0,0015 \end{aligned}$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, maka dipakai $\rho = \rho_{\min} = 0,0033$

- Luas Tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\ &= 0,0033 \cdot 1000 \cdot 85 \\ &= 283,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan minimum untuk komponen struktur lentur :

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b \cdot d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{25 \text{ MPa}}}{420 \text{ MPa}} \times 1000 \times 85 \\ &= 252,97 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan Pakai Ø 10 – 200

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \left(\frac{b}{s} \right) \\
 &= \frac{1}{4} \pi (10)^2 \left(\frac{1000}{200} \right) \\
 &= 392,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &: A_s \text{ min} < A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai} \\
 &: 252,97 \text{ mm}^2 < 283,33 \text{ mm}^2 < 392,5 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)}
 \end{aligned}$$

- Cek syarat spasi antar tulangan

$$S_{\text{maks}} \leq 3h \text{ atau } S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm (SNI 2847:2019)}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &= 3 \cdot h \\
 &= 3 \cdot 120 \\
 &= 360 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek : } S_{\text{pakai}} < S_{\text{maks}}$$

$$200 \text{ mm} < 360 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Atau

$$200 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol Kapasitas Penampang

Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen :

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{392,5 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000}
 \end{aligned}$$

$$= 7,76 \text{ mm}$$

$$c = \frac{\alpha}{0,87}$$

$$= \frac{7,76}{0,87}$$

$$= 8,91 \text{ mm}$$

- Cek Regangan Tarik

$$\epsilon_t = \left(\frac{d}{c} - 1 \right) \times 0,003$$

$$= \left(\frac{85}{8,91} - 1 \right) \times 0,003$$

$$= 0,0256 > 0,005 \rightarrow \text{Terkendali Tarik}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$= 0,9 \times 392,5 \times 420 \times \left(85 - \frac{1}{2} \times 7,76 \right)$$

$$= 12035543,35 \text{ Nmm}$$

$$= 12,03 \text{ kNm} > M_u = 4,096 \text{ kNm (Ok)}$$

Jadi dipakai tulangan arah X = Ø10 – 200 mm.

→ Penulangan Arah Y

$$M_u = 5,618376 \text{ kNm}$$

$$= 5618376 \text{ Nmm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{5618376}{0,9 \times 1000 \times 85^2}$$

$$= 0,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420}$$

$$= 0,0033$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c}$$

$$= \frac{420}{0,85 \times 25}$$

$$= 19,765$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \right)$$

$$= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 19,765 \times 0,86}{420}} \right) \right)$$

$$= 0,0021$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, maka dipakai $\rho = \rho_{\min} = 0,0033$

- Luas Tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\ &= 0,0033 \cdot 1000 \cdot 85 \\ &= 283,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan minimum untuk komponen struktur lentur :

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} b \cdot d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{25 \text{ MPa}}}{420 \text{ MPa}} \times 1000 \times 85 \\ &= 252,97 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan pakai Ø 10 – 200

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \left(\frac{b}{s} \right) \\ &= \frac{1}{4} \pi (10)^2 \left(\frac{1000}{200} \right) \\ &= 392,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek

$$\begin{aligned} &: A_s \text{ min} < A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai} \\ &: 252,97 \text{ mm}^2 < 283,33 \text{ mm}^2 < 392,5 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)} \end{aligned}$$

- Cek syarat spasi antar tulangan

$S_{\text{maks}} \leq 3h$ atau $S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm}$ (SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= 3 \cdot h \\ &= 3 \cdot 120 \\ &= 360 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek : $S_{\text{pakai}} < S_{\text{maks}}$

200 mm < 360 mm (memenuhi)

Atau

200 mm < 450 mm (memenuhi)

- Kontrol Kapasitas Penampang

Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen :

$$\alpha = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{392,5 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\
&= 7,76 \text{ mm} \\
c &= \frac{\alpha}{0,87} \\
&= \frac{7,76}{0,87} \\
&= 8,91 \text{ mm}
\end{aligned}$$

- Cek Regangan Tarik

$$\begin{aligned}
\varepsilon_t &= \left(\frac{d}{c} - 1 \right) \times 0,003 \\
&= \left(\frac{85}{8,91} - 1 \right) \times 0,003 \\
&= 0,0256 > 0,005 \rightarrow \text{Terkendali Tarik}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} \alpha \right) \\
&= 0,9 \times 392,5 \times 420 \times \left(85 - \frac{1}{2} \times 7,76 \right) \\
&= 12035543,35 \text{ Nmm} \\
&= 12,03 \text{ kNm} > M_u = 5,618 \text{ kNm (Ok)}
\end{aligned}$$

Jadi dipakai tulangan arah Y = Ø10 – 200 mm.

→ Penulangan Susut

Pada tulangan susut digunakan tulangan ulir mutu 420 MPa yang memiliki rasio luas tulangan sebesar 0,0018 (SNI 2847 – 2013 Pasal 8.6.1.1 (b))

$$\begin{aligned}
A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\
&= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 120 \text{ mm}^2 \\
&= 216 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan untuk komponen tulangan susut :

Tulangan pakai Ø8-200

$$\begin{aligned}
A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \left(\frac{b}{s} \right) \\
&= \frac{1}{4} \pi (8)^2 \left(\frac{1000}{200} \right)
\end{aligned}$$

$$= 251,2 \text{ mm}^2$$

Cek

$$: A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ min}}$$

$$: 251,2 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

- Cek syarat spasi antar tulangan susut

$$S_{\text{maks}} \leq 5h \text{ atau } S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm (SNI 2847 – 2019)}$$

$$S_{\text{maks}} = 5 \cdot h$$

$$= 5 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$= 600 \text{ mm}$$

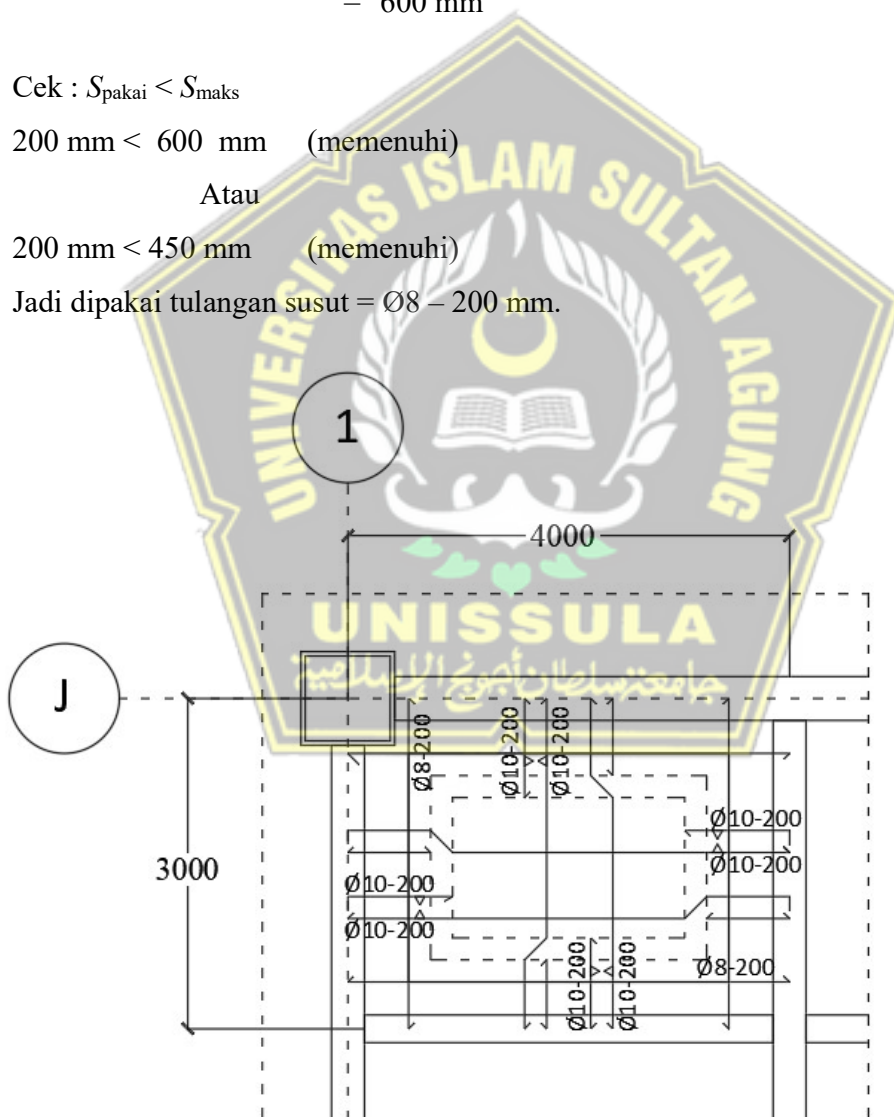
$$\text{Cek : } S_{\text{pakai}} < S_{\text{maks}}$$

$$200 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Atau

$$200 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan susut = $\emptyset 8 - 200 \text{ mm}$.



Gambar 4.27 Detail Tulangan Pelat Dua Arah

2) Penulangan Pelat Satu Arah (*One Way Slab*)

Pada penulangan satu arah (*One Way Slab*) terdapat tulangan yang dipasang pada satu arah saja karena momen lentur hanya terjadi pada satu arah yaitu bentang terpanjang. Tulangan pokok tersebut dipasang untuk menahan momen lentur di daerah lapangan, sedangkan pada daerah tumpuan tulangan pokok dibantu dengan tulangan bagi atau tulangan susut.

→ Penulangan Arah X

$$M_u = 1,8552389 \text{ kNm}$$

$$= 1852389 \text{ Nmm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{1852389}{0,9 \times 1000 \times 85^2}$$

$$= 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{420}$$

$$= 0,0033$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c}$$

$$= \frac{420}{0,85 \times 25}$$

$$= 19,765$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \right)$$

$$= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 19,765 \times 0,28}{420}} \right) \right)$$

$$= 0,00068$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, maka dipakai $\rho = \rho_{\min} = 0,0033$

- Luas Tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\ &= 0,0033 \cdot 1000 \cdot 85 \\ &= 283,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan minimum untuk komponen struktur lentur :

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} b \cdot d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{25 \text{ MPa}}}{420 \text{ MPa}} \times 1000 \times 85 \\ &= 252,97 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan pakai Ø 10 – 200

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \left(\frac{b}{s} \right) \\ &= \frac{1}{4} \pi (10)^2 \left(\frac{1000}{200} \right) \\ &= 392,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek

$$\begin{aligned} &: A_s \text{ min} < A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai} \\ &: 252,97 \text{ mm}^2 < 283,33 \text{ mm}^2 < 392,5 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)} \end{aligned}$$

- Cek syarat spasi antar tulangan

$$S_{\text{maks}} \leq 3h \text{ atau } S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm (SNI 2847:2019)}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= 3 \cdot h \\ &= 3 \cdot 120 \\ &= 360 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek : } S_{\text{pakai}} < S_{\text{maks}}$$

$$200 \text{ mm} < 360 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Atau

$$200 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol Kapasitas Penampang

Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen :

$$\alpha = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{392,5 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 7,76 \text{ mm} \\
 c &= \frac{\alpha}{0,87} \\
 &= \frac{7,76}{0,87} \\
 &= 8,91 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek Regangan Tarik

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= \left(\frac{d}{c} - 1 \right) \times 0,003 \\
 &= \left(\frac{85}{8,91} - 1 \right) \times 0,003 \\
 &= 0,0256 > 0,005 \rightarrow \text{Terkendali Tarik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} \alpha \right) \\
 &= 0,9 \times 392,5 \times 420 \times \left(85 - \frac{1}{2} \times 7,76 \right) \\
 &= 12035543,35 \text{ Nmm} \\
 &= 12,03 \text{ kNm} > M_u = 1,85 \text{ kNm (Ok)}
 \end{aligned}$$

Jadi dipakai tulangan arah X = Ø10 – 200 mm.

→ Penulangan Arah Y

$$\begin{aligned}
 M_u &= 5,026968 \text{ kNm} \\
 &= 5026968 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\
 &= \frac{5026968}{0,9 \times 1000 \times 85^2} \\
 &= 0,77 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420} \\
 &= 0,0033
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \right) \\
 &= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 19,765 \times 0,77}{420}} \right) \right) \\
 &= 0,0018
 \end{aligned}$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$, maka dipakai $\rho = \rho_{\text{min}} = 0,0033$

- Luas Tulangan

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\
 &= 0,0033 \cdot 1000 \cdot 85 \\
 &= 283,33 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan minimum untuk komponen struktur lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b \cdot d \\
 &= \frac{0,25 \sqrt{25 \text{ MPa}}}{420 \text{ MPa}} \times 1000 \times 85 \\
 &= 252,97 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan pakai Ø 10 – 200

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \left(\frac{b}{s} \right) \\
 &= \frac{1}{4} \pi (10)^2 \left(\frac{1000}{200} \right) \\
 &= 392,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek

$$\begin{aligned}
 &: A_{s \text{ min}} < A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ pakai}} \\
 &: 252,97 \text{ mm}^2 < 283,33 \text{ mm}^2 < 392,5 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)}
 \end{aligned}$$

- Cek syarat spasi antar tulangan

$$S_{\text{maks}} \leq 3h \text{ atau } S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm (SNI 2847:2019)}$$

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= 3 \cdot h \\
 &= 3 \cdot 120 \\
 &= 360 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek : $S_{pakai} < S_{maks}$

$$200 \text{ mm} < 360 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Atau

$$200 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

- Kontrol Kapasitas Penampang

Tinggi blok tegangan persegi ekivalen :

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{392,5 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 7,76 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{\alpha}{0,87} \\
 &= \frac{7,76}{0,87} \\
 &= 8,91 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek Regangan Tarik

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \left(\frac{d}{c} - 1 \right) \times 0,003 \\
 &= \left(\frac{85}{8,91} - 1 \right) \times 0,003 \\
 &= 0,0256 > 0,005 \rightarrow \text{Terkendali Tarik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} \alpha \right) \\
 &= 0,9 \times 392,5 \times 420 \times \left(85 - \frac{1}{2} \times 7,76 \right) \\
 &= 12035543,35 \text{ Nmm} \\
 &= 12,03 \text{ kNm} > M_u = 5,026 \text{ kNm (Ok)}
 \end{aligned}$$

Jadi dipakai tulangan arah Y = Ø10 – 200 mm.

→ Penulangan Susut Y

Pada tulangan susut digunakan tulangan ulir mutu 420 MPa yang memiliki rasio luas tulangan sebesar 0,0018 (SNI 2847 – 2013 Pasal 8.6.1.1 (b))

$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\&= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 120 \text{ mm}^2 \\&= 216 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan untuk komponen tulangan susut :

Tulangan pakai Ø8 -200

$$\begin{aligned}A_s \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \left(\frac{b}{s} \right) \\&= \frac{1}{4} \pi (8)^2 \left(\frac{1000}{200} \right) \\&= 251,2 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Cek

$$: A_s \text{ pakai} > A_s \text{ min}$$

$$: 251,2 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

- Cek syarat spasi antar tulangan susut

$$S_{\text{maks}} \leq 5h \text{ atau } S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm (SNI 2847 – 2019)}$$

$$\begin{aligned}S_{\text{maks}} &= 5 \cdot h \\&= 5 \cdot 120 \text{ mm} \\&= 600 \text{ mm}\end{aligned}$$

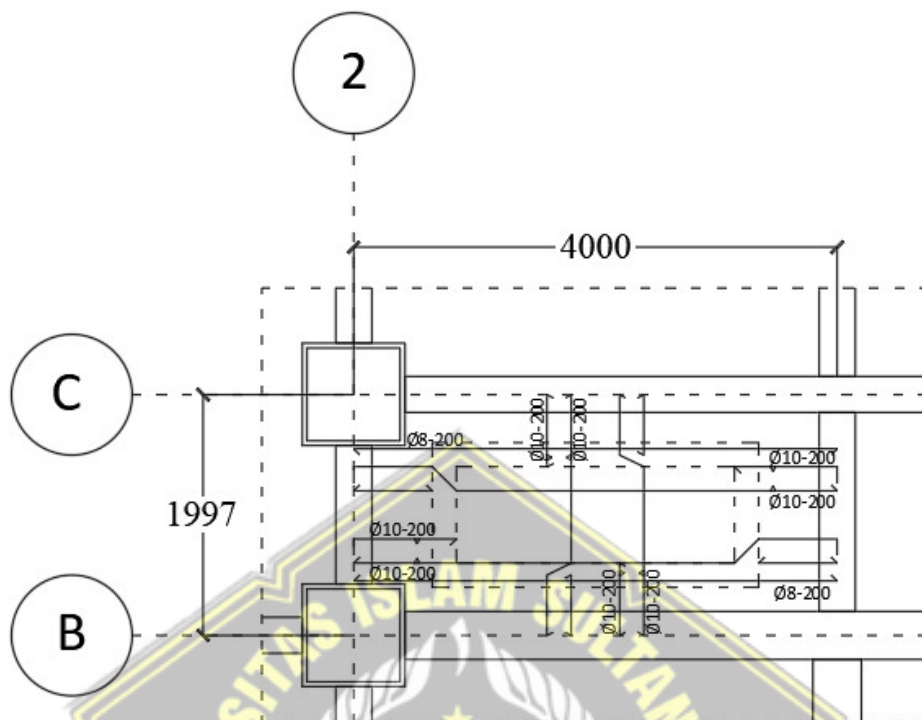
$$\text{Cek : } S_{\text{pakai}} < S_{\text{maks}}$$

$$200 \text{ mm} < 600 \text{ mm (memenuhi)}$$

Atau

$$200 \text{ mm} < 450 \text{ mm (memenuhi)}$$

Jadi dipakai tulangan susut = Ø8 – 200 mm.



Gambar 4.28 Detail Tulangan Pelat Satu Arah

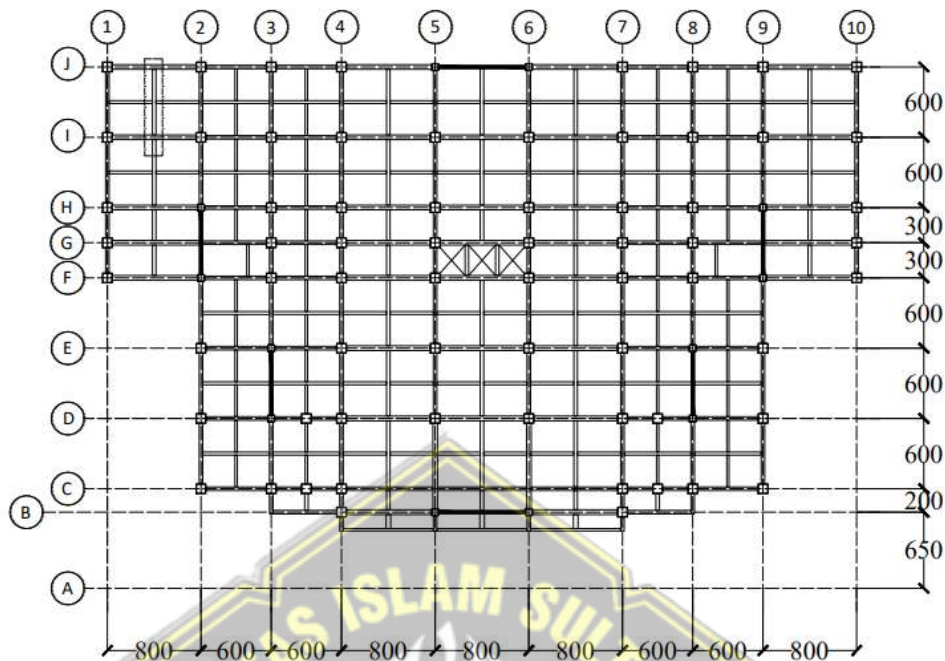
Tabel 4.43 Rekapitulasi Tulangan Pelat Lantai

Sumber : Perhitungan Sendiri

Tipe	Lantai	Tebal (mm)	Ket	Tulangan Arah X	Tulangan Arah Y	Tulangan Susut
A	1 s/d Atap	120	2 Arah	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm	Ø8-200 mm
B	1 s/d Atap	120	2 Arah	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm	Ø8-200 mm
C	1 s/d Atap	120	1 Arah	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm	Ø8-200 mm
D	1 s/d Atap	120	1 Arah	Ø10-200 mm	Ø10-200 mm	Ø8-200 mm

4.4.4. Perancangan Balok Anak

Balok anak adalah struktur sekunder yang berfungsi membagi atau mendistribusikan beban dari pelat ke Balok Induk. Dalam perancangan struktur pada Tugas Akhir ini, dimensi balok anak yang akan digunakan sebagai contoh perhitungan adalah Balok B3 30/50 untuk bentang 600 cm.



Gambar 4.29 Denah Balok Lantai 1

4.4.4.1 Data Perancangan Balok Anak

Data perancangan balok anak adalah sebagai berikut :

Mutu beton = 25 MPa

Mutu baja = 420 MPa

Tinggi balok, h = 500 mm

Lebar balok, b = 300 mm

Diameter tulangan lentur = 22 mm

Diameter tulangan sengkang = 13 mm

Tebal selimut = 30 mm

d = h – selimut beton – tulangan sengkang – $\frac{1}{2}$ tulangan utama

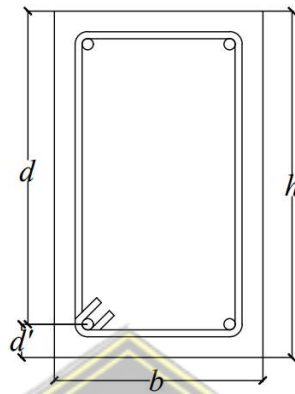
$$= 500 - 30 - 10 - 11$$

$$= 449 \text{ mm}$$

d' = selimut beton + tulangan sengkang + $\frac{1}{2}$ tulangan utama

$$= 30 + 10 + 11$$

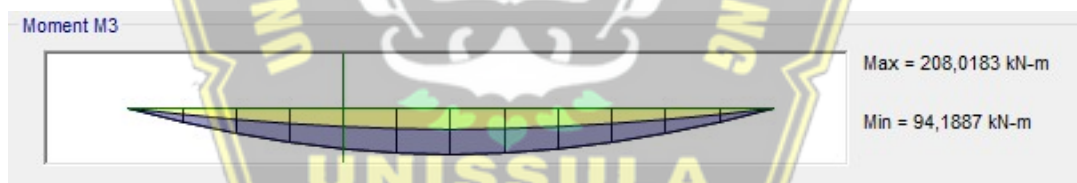
$$= 51 \text{ mm}$$



Gambar 4.30 Penampang Balok Anak

4.4.4.2 Perhitungan Tulangan Lentur

Dalam perhitungan Tulangan Lentur ada beberapa parameter yang dibutuhkan salah satunya yaitu *output Mu* Tumpuan dan *Mu* Lapangan dari hasil permodelan ETABS yang ditunjukkan dalam Gambar 4.31 hingga Gambar 4.33 berikut :



Gambar 4.31 *Output Mu Tumpuan Kiri* Balok Anak B5 30 x 50



Gambar 4.32 *Output Mu Lapangan* Balok Anak B5 30 x 50



Gambar 4.33 *Output Mu* Tumpuan Kanan Balok Anak B5 30 x 50

Tabel 4.44 Momen Ultimit *Envelope* Tumpuan Lapangan Balok B3 30 x 50

Sumber : Perhitungan Sendiri

<i>Story</i>	Momen <i>Max</i> (+)	Momen <i>Min</i> (-)
	Lapangan	Tumpuan
	(kN – m)	(kN – m)
<i>Top floor</i>	161,7243	139,4109
5	238,4335	208,0183
4	238,4335	208,0183
3	238,4335	208,0183
2	238,4335	208,0183
1	238,4335	208,0183
<i>Basement</i>	238,4335	208,0183

Dari Tabel 4.44 didapatkan nilai $M_{u \max}$ sebesar 238,4335 kNm dan $M_{u \min}$ sebesar 208,0183 kNm. Momen maksimum akan digunakan untuk penulangan daerah lapangan sedangkan momen minimum akan digunakan untuk perhitungan tulangan tumpuan.

1) Penulangan Lentur Daerah Tumpuan Kanan dan Tumpuan Kiri.

$$M_u = 208,0183 \text{ kNm}$$

$$= 208018300 \text{ Nmm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{208018300}{0,9 \times 300 \times 449^2}$$

$$= 2,9 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,0033\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \\ &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\ &= 19,765\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \right) \\ &= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 19,765 \times 2,9}{420}} \right) \right) \\ &= 0,007\end{aligned}$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\min}$, maka dipakai $\rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,007$

- Luas Tulangan

$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\ &= 0,007 \cdot 300 \cdot 449 \\ &= 1324,48 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2 menetapkan A_s tidak boleh kurang dari perhitungan dibawah ini :

$$\begin{aligned}A_s \text{ min} &= \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \times 300 \times 449 \\ &= 400,89 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Atau ;

$$\begin{aligned}A_s \text{ min} &= \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \times 300 \times 449}{420} \\ &= 449 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Maka A_s pakai adalah 1324,48 mm².

Digunakan tulangan D22 mm ($A_{D22} = 379,94 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s \text{ pakai}}}{A_{D16}} \\ &= \frac{1324,48}{379,94} \\ &= 3,48, \text{ diambil 4 buah} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 4D22 ($A = 1519,76 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned} \text{Cek} &: A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai} \\ &: 1324,48 \text{ mm}^2 < 1519,76 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)} \end{aligned}$$

- Kontrol Jarak Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2019 jarak minimum antara dua batang tulangan adalah 25 mm. Minimum lebar balok yang diperlukan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S &= \frac{b_w - 2 \times \text{decking} - 2 \times \text{sengkang} - n \times \text{Dutama}}{n-1} \geq 25 \\ &= \frac{300 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 4 \times 22}{4-1} \geq 25 \\ &= 44 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Ok)} \end{aligned}$$

- Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.4.2.1. Tulangan lentur tekan digunakan $\frac{1}{2}$ dari kekuatan lentur tarik atau minimal 2 buah, sehingga digunakan tulangan lentur tekan 2D22 ($A = 759,88 \text{ mm}^2$).

- Kontrol Jarak Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2019 jarak minimum antara dua bentang tulangan adalah 25 mm. Minimum lebar balok yang diperlukan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S &= \frac{b_w - 2 \times \text{decking} - 2 \times \text{sengkang} - n \times \text{Dutama}}{n-1} \geq 25 \\ &= \frac{300 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 2 \times 22}{2-1} \geq 25 \\ &= 176 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (Ok)} \end{aligned}$$

- Kontrol Kapasitas Penampang

Tinggi blok tegangan persegi ekivalen :

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1519,76 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 100,12 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{\alpha}{0,87} \\ &= \frac{100,12}{0,87} \\ &= 115,08 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Cek regangan tarik

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \left(\frac{d}{c} - 1 \right) \times 0,003 \\ &= \left(\frac{449}{115,08} - 1 \right) \times 0,003 \\ &= 0,009\end{aligned}$$

$$\epsilon_t > 0,005 \quad = 0,009 > 0,005 \rightarrow \text{Terkendali Tarik}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} \alpha \right) \\ &= 0,9 \times 1519,76 \times 420 \times \left(449 - \frac{1}{2} 100,12 \right) \\ &= 229177234 \text{ Nmm} \\ &= 229,17 \text{ kNm} > M_u = 208,41 \text{ kNm (Ok)}\end{aligned}$$

2) Tulangan Lentur Daerah Lapangan

$$\begin{aligned}M_u &= 238,4335 \text{ kNm} \\ &= 238433500 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\emptyset = 0,9$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{238433500}{0,9 \times 300 \times 449^2} \\ &= 3,3 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,0033\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'c} \\ &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\ &= 19,765\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \right) \\ &= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 19,765 \times 3,3}{420}} \right) \right) \\ &= 0,0086\end{aligned}$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\min}$, maka dipakai $\rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,0086$

- Luas Tulangan

$$\begin{aligned}A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\ &= 0,0086 \cdot 300 \cdot 449 \\ &= 1150,79 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2 menetapkan A_s tidak boleh kurang dari perhitungan dibawah ini :

$$\begin{aligned}A_s \text{ min} &= \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \times 300 \times 449 \\ &= 400,89 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Atau ;

$$\begin{aligned}A_s \text{ min} &= \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \times 300 \times 449}{420} \\ &= 449 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Maka A_s pakai adalah 1150,79 mm².

Digunakan tulangan D22 mm ($A_{D22} = 379,94 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s \text{ pakai}}}{A_{D22}} \\ &= \frac{1150,79}{379,94} \\ &= 3,02, \text{ diambil } 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur 5D22 ($A = 1899,7 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned} \text{Cek} &: A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai} \\ &: 1160,13 \text{ mm}^2 < 1899,7 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)} \end{aligned}$$

- Kontrol Jarak Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2019 jarak minimum antara dua batang tulangan adalah 25 mm. Minimum lebar balok yang diperlukan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S &= \frac{b_w - 2 \times \text{decking} - 2 \times \text{sengkang} - n \times \text{Dutama}}{n-1} \geq 25 \\ &= \frac{300 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{5-1} \geq 25 \\ &= 27,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (Ok)} \end{aligned}$$

- Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.4.2.1. Tulangan lentur tekan digunakan ½ dari kekuatan lentur tarik atau minimal 2 buah, sehingga digunakan tulangan lentur tekan 3D22 ($A = 1139,82 \text{ mm}^2$).

- Kontrol Jarak Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2019 jarak minimum antara dua batang tulangan adalah 25 mm. Minimum lebar balok yang diperlukan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S &= \frac{b_w - 2 \times \text{decking} - 2 \times \text{sengkang} - n \times \text{Dutama}}{n-1} \geq 25 \\ &= \frac{300 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 3 \times 22}{3-1} \geq 25 \\ &= 77 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (Ok)} \end{aligned}$$

- Kontrol Kapasitas Penampang

Tinggi blok tegangan persegi ekivalen :

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1899,7 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 125,15 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{\alpha}{0,87} \\ &= \frac{125,15}{0,87} \\ &= 143,85 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Cek regangan tarik

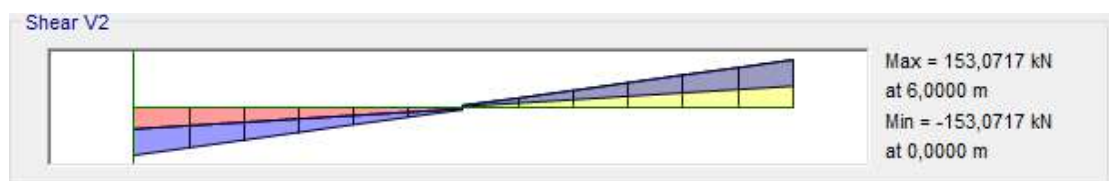
$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \left(\frac{d}{c} - 1 \right) \times 0,003 \\ &= \left(\frac{449}{143,85} - 1 \right) \times 0,003 \\ &= 0,0063\end{aligned}$$

$$\epsilon_t > 0,005 \quad = 0,0063 > 0,005 \rightarrow \text{Terkendali Tarik}$$

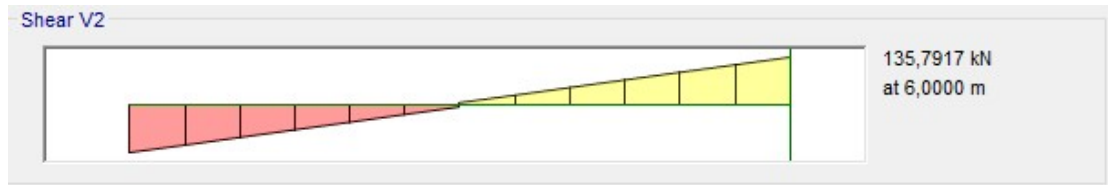
$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} \alpha \right) \\ &= 0,9 \times 1889,7 \times 420 \times \left(449 - \frac{1}{2} 125 \right) \\ &= 277484207 \text{ Nmm} \\ &= 277,48 \text{ kNm} > M_u = 238,43 \text{ kNm (Ok)}\end{aligned}$$

4.4.4.3 Perhitungan Tulangan Geser

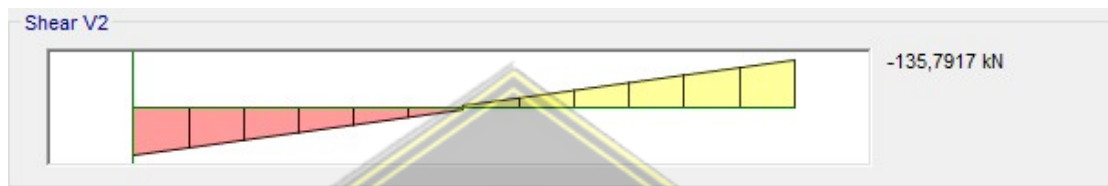
Tulangan geser dihitung berdasarkan *output* nilai Gaya Geser dari program ETABS yang ditunjukkan pada Gambar 4.34 hingga Gambar 4.36 berikut :



Gambar 4.34 *Output* V_u Tumpuan Balok B3



Gambar 4.35 Output V_u Kombinasi $W_u = 1,2 \text{ DL} + 1 \text{ LL}$ Tumpuan Kanan Balok B3



Gambar 4.36 Output V_u Kombinasi $W_u = 1,2 \text{ DL} + 1 \text{ LL}$ Tumpuan Kiri Balok B3

Tabel 4.45 Gaya Geser Ultimit Desain Tumpuan Balok B3 30 x 50

Sumber : Hasil Output ETABS

Lantai	Envelope			$W_u = 1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL}$		
	$V_{\text{Tumpuan Kiri}}$	V_{Lapangan}	$V_{\text{Tumpuan Kanan}}$	$V_{\text{Tumpuan Kiri}}$	V_{Lapangan}	$V_{\text{Tumpuan Kanan}}$
	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Top Floor	101,3001	52,0953	101,3001	92,5917	34,7866	92,5917
Lantai 5	153,0717	54,9466	153,0717	135,7917	49,1866	135,7917
Lantai 4	153,0717	54,9466	153,0717	135,7917	49,1866	135,7917
Lantai 3	153,0717	54,9466	153,0717	135,7917	49,1866	135,7917
Lantai 2	153,0717	54,9466	153,0717	135,7917	49,1866	135,7917
Lantai 1	153,0717	54,9466	153,0717	135,7917	49,1866	135,7917
Basement	153,0717	54,9466	153,0717	135,7917	49,1866	135,7917

1) Desain Tulangan Geser Tumpuan

→ Kapasitas Momen

- Tumpuan Atas

A_s yang terpasang pada tumpuan atas 4D22 ($A = 1519,76 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned}
 A_{pr}^{-} &= \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1,25 \times 1519,76 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\
 &= 125,16 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^{-} &= 1,25 \times A_s \times f_y \left[d - \frac{A_{pr}^{-}}{2} \right] \\
 &= 1,25 \times 1519,76 \times 420 \left[449 - \frac{125,16}{2} \right] \\
 &= 308315785 \text{ Nmm} \\
 &= 308,31 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Tumpuan Bawah

As yang terpasang pada tumpuan atas 2D22 ($A = 759,88 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned}
 A_{pr}^{+} &= \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1,25 \times 759,88 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\
 &= 62,57 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^{+} &= 1,25 \times A_s \times f_y \left[d - \frac{A_{pr}^{+}}{2} \right] \\
 &= 1,25 \times 759,88 \times 420 \left[449 - \frac{62,57}{2} \right] \\
 &= 166640303 \text{ Nmm} \\
 &= 166,64 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway}}(V_{pr}) &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + V_{wu} \\
 &= \frac{308,31 + 166,64}{6} + 135,7917 \\
 &= 214,35 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

→ Diagram Gaya Geser

Berdasarkan Tabel 4.45 gaya geser ultimit balok terbesar adalah gaya akibat kombinasi gempa atau *envelope* gempa. Pada tabel tersebut didapatkan nilai gaya geser desain maksimum sebesar 153,0717 kN sehingga nilai gaya geser desain adalah sebagai berikut :

$$V_{\text{sway}} > V_u$$

$$214,35 \text{ kN} > 153,0717 \text{ kN} \text{ (Ok)}$$

Maka nilai V yang digunakan adalah V dengan nilai terbesar yaitu $V_{\text{sway}} = 214,35 \text{ kN}$.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2 untuk penggunaan tulangan geser syarat yang harus dipenuhi adalah $V_{\text{sway}} > 0,5 V_u$.

$$V_{\text{sway}} > 0,5 V_u$$

$$214,35 \text{ kN} > 0,5 \times 153,0717 \text{ kN}$$

$$214,35 \text{ kN} > 76,53 \text{ kN} \text{ (Ok)}$$

$$P_u < \frac{A_g \times f'_c}{20}$$

$$P_u < \frac{(500 \times 300) \times 25}{20}$$

$$0 \text{ kN} < 187,5 \text{ kN}$$

Karena nilai $P_u = 0$, maka nilai $V_c = 0$.

→ Syarat Jarak Sengkang

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.4 Sengkang tertutup pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom dan sengkang tertutup berikutnya dipasang tidak boleh lebih dari :

$$1) \frac{d}{4} = \frac{449}{4} = 112,25 \text{ mm}$$

$$2) 6 d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan ulir sengkang tertutup D10-125. Karena 1 sengkang tertutup dihitung 2 *loop*, maka luas sengkang adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 157 \text{ mm}^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_a &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\
 &= \frac{157 \times 420 \times 449}{125} \\
 &= 236856,48 \text{ Nmm} \\
 &= 236,85 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

→ Cek Geser Nominal Aktual

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0,66 \sqrt{f_c} \times b \times d \\
 &= 0,66 \sqrt{25} \times 300 \times 449 \\
 &= 0,66 \times 5 \times 400 \times 449 \\
 &= 444510 \text{ Nmm} \\
 &= 444,51 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 0 + 444,51 \\
 &= 444,51 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\phi V_n}{V_u} &\geq 1 \\
 \frac{0,75 \times 444,51}{153,0717} &\geq 1 \\
 1,55 &\geq 1 \text{ (Ok)}
 \end{aligned}$$

2) Desain Tulangan Geser Lapangan

→ Kapasitas Momen

- Tumpuan Bawah

A_s yang terpasang pada tumpuan atas 5D22 ($A = 1899,7 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned}
 A_{pr} &= \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1,25 \times 1899,7 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\
 &= 156,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr} &= 1,25 \times A_s \times f_y \left[d - \frac{A_{pr}}{2} \right] \\
 &= 1,25 \times 1899,7 \times 420 \left[449 - \frac{156,45}{2} \right]
 \end{aligned}$$

$$= 369791719 \text{ Nmm}$$

$$= 369,79 \text{ kNm}$$

- Tumpuan Atas

A_s yang terpasang pada tumpuan atas 3D22 ($A = 1139,82 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned} A_{pr}^+ &= \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 1139,82 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 93,86 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= 1,25 \times A_s \times f_y \left[d - \frac{A_{pr}^+}{2} \right] \\ &= 1,25 \times 1139,82 \times 420 \left[449 - \frac{93,86}{2} \right] \\ &= 240598647 \text{ Nmm} \\ &= 240,59 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{sway}}(V_{pr}) &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + V_{wu} \\ &= \frac{369,79 + 240,59}{6} + 49,1866 \\ &= 150,91 \text{ kN} \end{aligned}$$

→ Diagram Gaya Geser

Berdasarkan Tabel 4.45 gaya geser ultimit balok terbesar adalah gaya akibat kombinasi gempa atau *envelope* gempa. Pada tabel tersebut didapatkan nilai gaya geser desain maksimum sebesar 54,9466 kN sehingga nilai gaya geser desain adalah sebagai berikut :

$$V_{\text{sway}} > V_u$$

$$150,91 \text{ kN} > 54,9466 \text{ kN} \text{ (Ok)}$$

Maka nilai V yang digunakan adalah V dengan nilai terbesar yaitu $V_{\text{sway}} = 150,91 \text{ kN}$.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2 untuk penggunaan tulangan geser syarat yang harus dipenuhi adalah $V_{\text{sway}} > 0,5 V_u$.

$$V_{\text{sway}} > 0,5 V_u$$

$$150,91 \text{ kN} > 0,5 \times 54,9466 \text{ kN}$$

$$150,91 \text{ kN} > 27,4733 \text{ kN} \text{ (Ok)}$$

$$P_u < \frac{A_g \times f'_c}{20}$$

$$P_u < \frac{(500 \times 300) \times 25}{20}$$

$$0 \text{ kN} < 187,5 \text{ kN}$$

Karena nilai $P_u = 0$, maka nilai $V_c = 0$.

→ Syarat Jarak Sengkang

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.4 Sengkang tertutup pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom dan sengkang tertutup berikutnya dipasang tidak boleh lebih dari :

$$\begin{aligned} 1) \frac{d}{4} &= \frac{449}{4} \\ &= 112,25 \text{ mm} \\ 2) 6 d_b &= 6 \times 22 \\ &= 132 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan ulir sengkang tertutup D10-100. Karena 1 sengkang tertutup dihitung 2 *loop*, maka luas sengkang adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 157 \text{ mm}^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_a &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{265,33 \times 420 \times 449}{100} \\ &= 296070,6 \text{ Nmm} \\ &= 296,07 \text{ kNm} \end{aligned}$$

→ Cek Geser Nominal Aktual

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0,66\sqrt{f_c} \times b \times d \\
 &= 0,66 \sqrt{25} \times 300 \times 449 \\
 &= 0,66 \times 5 \times 300 \times 449 \\
 &= 444510 \text{ Nmm} \\
 &= 444,51 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 0 + 444,51 \\
 &= 444,51 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

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

$$\frac{0,75 \times 444,51}{54,9466} \geq 1$$

$$2,20 \geq 1 \text{ (Ok)}$$

4.5.1.1 Perhitungan Tulangan Torsi

Tulangan torsi dihitung berdasarkan data *output* dari program ETABS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.37 berikut ini :



Gambar 4.37 *Output* Nilai Torsi Balok B3

Pengaruh puntir atau torsi dapat diabaikan apabila momen puntir yang terjadi tidak melebihi persamaan dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{3} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'}}{3} \times \left[\frac{(b \times h)^2}{2 \times (b+h)} \right]
 \end{aligned}$$

$$= \frac{0,75 \times \sqrt{25}}{3} \times \left[\frac{(300 \times 500)^2}{2 \times (300+500)} \right]$$

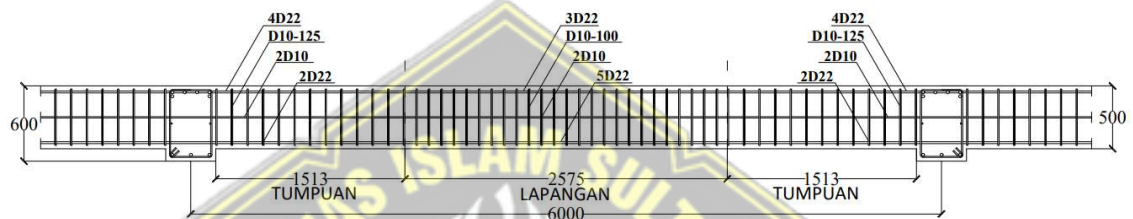
$$= 17578125 \text{ Nmm}$$

$$= 17,57 \text{ kNm.}$$

Torsi yang terjadi pada Balok B1 sebesar 0 kNm.

Kontrol : 0 kNm < 17,57 kNm (Torsi diabaikan)

Maka digunakan tulangan torsi minimum 2D10.



Gambar 4.38 Detail Balok Anak B3

Tabel 4.46 Rekapitulasi Desain Penulangan Balok Anak

Sumber : Perhitungan Sendiri

Lokasi	Dimensi Balok	Tulangan Lentur				Tulangan Geser		Tulangan Torsi
		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah			
B3	30/50	4D22	2D22	3D22	5D22	D10-125	D10-100	2D10
B4	25/40	3D22	2D22	2D22	3D22	D10-125	D10-100	2D10
B5	20/35	2D22	2D22	2D22	2D22	D10-125	D10-100	2D10
B6	20/30	2D22	2D22	2D22	2D22	D10-125	D10-100	2D10

4.5. Perhitungan Struktur Primer

4.5.1. Desain Penulangan Balok

Balok merupakan salah satu komponen rangka pada Sistem Rangka Pemikul Momen sehingga harus direncanakan sebaik mungkin agar tidak terjadi kegagalan struktur dan dapat menjamin keamanan bagi penghuninya.

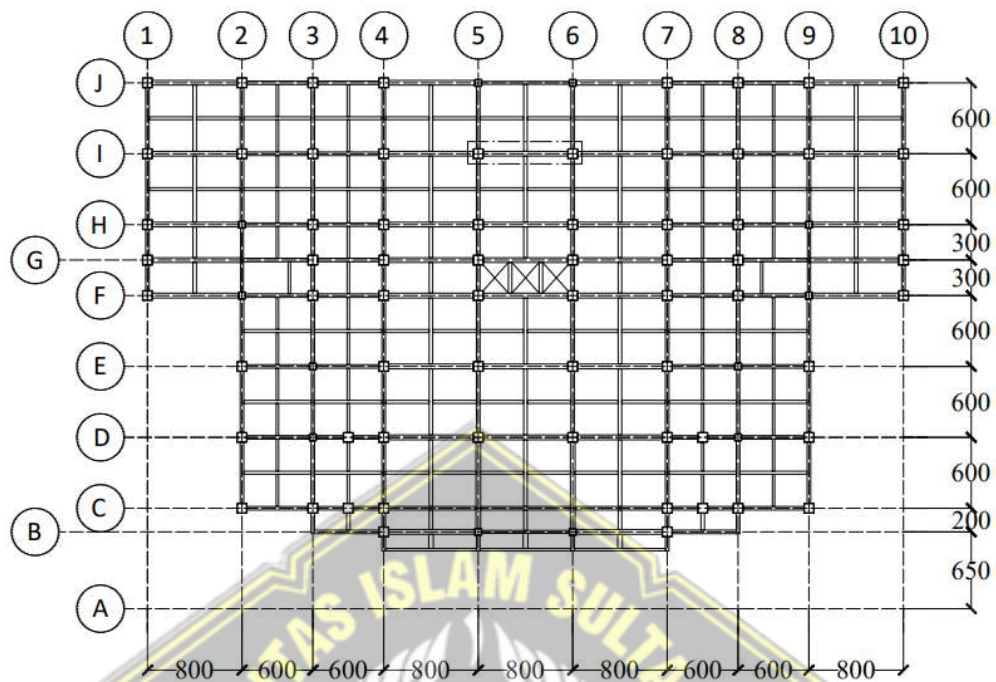
Tulangan balok akan didesain tipikal dari lantai 1 – Atap. Hal ini dilakukan untuk mempermudah dan mempercepat pelaksanaan di lapangan. Perancangan penulangan balok mengacu pada SNI 2847 – 2019 pada Pasal 18 mengenai ketentuan khusus tulangan pada Sistem Rangka Pemikul Momen.

Perhitungan Balok Induk pada perancangan ini akan diambil satu contoh perhitungan yaitu Balok B1 40 x 60 dari hasil *output* Gaya Dalam pada analisa struktur utama menggunakan program bantu ETABS.

4.5.1.1 Data Perancangan Balok Induk

Data – data desain yang dibutuhkan dalam perhitungan Balok Induk B1 :

- Bentang balok, l = 8000 mm
- Tinggi balok, h = 600 mm
- Lebar balok, b = 400 mm
- Panjang kolom, l = 650 mm
- Mutu beton (f'_c) = 25 MPa
- Mutu Baja (f_y) = 420 MPa
- Selimut beton, c_c = 30 mm
- Diameter Tulangan Lentur ($\emptyset$) = D-22
- Diameter Tulangan Sengkang ($\emptyset$) = D-10



Gambar 4.39 Letak Balok B1 40/60

4.5.1.2 Syarat Gaya Aksial dan Geometri Balok

1) Syarat Gaya Aksial

$$P_u \leq 0,1 \times A_g \times f_c' \dots\dots\dots(4.14)$$

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 400 \times 600 \\ &= 240000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &\leq 0,1 \times A_g \times f_c' \\ 0 &\leq 0,1 \times 240000 \times 25 \\ 0 &\leq 600000 \text{ Nmm}^2 \text{ (Ok)} \end{aligned}$$

Keterangan :

P_u = Gaya aksial (N)
 b = Lebar balok (mm)
 h = Panjang balok (mm)

A_g = Luas bruto penampang beton (mm^2)

2) Syarat Tinggi Efektif

$$\begin{aligned} L_n &\geq 4d \\ L_n &= l - \text{Panjang kolom} \\ &= 8000 - 650 \\ &= 7350 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diasumsikan menggunakan 1 lapis tulangan simetris

$$\begin{aligned} d &= h - \text{Selimut Beton} - \text{Sengkang} - \left(\frac{1}{2} \phi_{\text{Utama}}\right) \\ d &= 600 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \times 22 \text{ mm}\right) = 549 \text{ mm.} \\ d' &= \text{Selimut Beton} + \text{Sengkang} + \left(\frac{1}{2} \times \phi_{\text{Utama}}\right) \\ d' &= 30 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \left(\frac{1}{2} \times 22 \text{ mm}\right) = 51 \text{ mm.} \\ 4d &= 4 \times 549 = 2196 \text{ mm.} \\ L_n &= 7350 \text{ mm} \geq 4d = 2196 \text{ mm. (Ok)} \end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} L_n &= \text{Bentang bersih balok dari muka kolom ke muka kolom (mm)} \\ d &= \text{Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan (mm)} \\ h &= \text{Tinggi balok (mm)} \\ l &= \text{Bentang balok (mm)} \end{aligned}$$

3) Syarat Lebar

$$\begin{aligned} b_w &\geq 0,3 h \text{ atau } 250 \text{ mm} \\ b_w &= 400 \text{ mm} > 250 \text{ mm (OK)} \\ 0,3h &= 0,3(600) = 180 \text{ mm} < b_w \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Lebar penampang b_w tidak boleh melebihi lebar kolom pendukung ditambah jarak pada tiap sisi kolom yang sama atau lebih kecil dari nilai terkecil antara lebar kolom atau $\frac{3}{4}$ kali tinggi kolom. Ukuran kolom pendukung balok B1 adalah $650 \times 650 \text{ mm}^2$, maka :

$$b_w = 400 \text{ mm} < 650 + 2 \left(\frac{3}{4} \times 650 \right) = 1625 \text{ mm (Ok)}$$

Keterangan :

b_w = Lebar balok (mm)

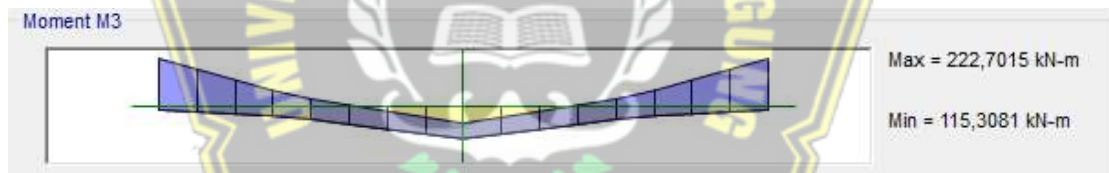
h = Panjang balok (mm)

4.5.1.3 Perhitungan Tulangan Lentur

Dalam perhitungan Tulangan Lentur ada beberapa parameter yang dibutuhkan salah satunya yaitu *output Mu* Tumpuan dan *Mu* Lapangan dari hasil permodelan ETABS yang ditunjukkan dalam gambar 4.40 hingga Gambar 4.42 berikut :



Gambar 4.40 *Output Mu* Tumpuan Kiri Balok B1 40 x 60



Gambar 4.41 *Output Mu* Lapangan Balok B1 40 x 60



Gambar 4.42 *Output Mu* Tumpuan Kanan Balok B1 40 x 60

Dari hasil permodelan ETABS didapatkan Momen *Envelope* dari beberapa kombinasi beban pada Balok B1 40 x 60 yang dapat dilihat pada Tabel 4.47 berikut :

Tabel 4.47 Momen Ultimit *Envelope* Tumpuan – Lapangan B1 40 x 60

Sumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Story</i>	Momen <i>Max</i> (+)	Momen Min (-)
	Lapangan (kN – m)	Tumpuan (kN – m)
<i>Top floor</i>	222,7015	331,0398
5	323,5227	419,7733
4	323,5051	420,4938
3	323,5223	423,0838
2	323,5037	416,5123
1	323,4232	397,2423
<i>Basement</i>	323,3001	337,0056

Dari Tabel 4.47 didapatkan nilai $M_{u \max}$ sebesar 323,5227 kNm (Lantai 5) dan $M_{u \min}$ sebesar 423,0838 kNm (Lantai 3). Momen maksimum akan digunakan untuk penulangan daerah lapangan sedangkan momen minimum akan digunakan untuk perhitungan tulangan tumpuan.

1) Desain Tulangan Lentur Tumpuan Atas

$$M_u = 423,0838 \text{ kNm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{423,0838 \times 10^6}{0,9 \times 400 \times 549^2}$$

$$= 3,9 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{420}$$

$$= 0,0033$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
&= 19,765 \\
\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \right) \\
&= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 19,765 \times 3,9}{420}} \right) \right) \\
&= 0,01
\end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}}$

Maka, dipakai $\rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,01$

$$\begin{aligned}
A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\
&= 0,01 \times 400 \times 549 \\
&= 2270,79 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2 menetapkan A_s tidak boleh kurang dari perhitungan dibawah ini :

$$\begin{aligned}
A_s \text{ min} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \times b_w \times d \\
&= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \times 400 \times 549 \\
&= 653,57 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Atau ;

$$\begin{aligned}
A_s \text{ min} &= \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y} \\
&= \frac{1,4 \times 400 \times 549}{420} \\
&= 732 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Maka A_s pakai adalah 2270,79 mm².

Digunakan tulangan D22 mm ($A_{D22} = 379,94 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_s \text{ pakai}}{A_{D22}} \\
&= \frac{2270,79}{379,94}
\end{aligned}$$

$$= 5,9, \text{ diambil 6 buah}$$

Digunakan tulangan lentur tarik 6D22 ($A = 2279,64 \text{ mm}^2$).

- Kontrol Kapasitas Penampang

Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen :

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{2279,64 \times 420}{0,85 \times 25 \times 400} \\ &= 112,64 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{\alpha}{0,87} \\ &= \frac{112,64}{0,87} \\ &= 129,47 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Cek tegangan tarik

$$\begin{aligned}\varepsilon_t &= \left(\frac{d}{c} - 1 \right) \times 0,003 \\ &= \left(\frac{549}{129,47} - 1 \right) \times 0,003 \\ &= 0,0097\end{aligned}$$

Cek syarat : $0,0097 \geq 0,005 \rightarrow$ Terkendali Tarik

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} \alpha \right) \\ &= 0,9 \times 2279,64 \times 420 \times \left(549 - \frac{1}{2} \times 112,64 \right) \\ &= 424543841,2 \text{ Nmm} \\ &= 424,54 \text{ kNm} > M_u = 423,0838 \text{ kNm (Ok)}.\end{aligned}$$

2) Desain Tulangan Tarik Tumpuan Bawah

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.4.2.1. Tulangan lentur tekan digunakan $\frac{1}{2}$ dari kekuatan lentur tarik atau minimal 2 buah, sehingga digunakan tulangan lentur tekan 3D19 ($A = 1139,82 \text{ mm}^2$).

3) Desain Tulangan Lapangan Bawah

$$M_u = 323,5227 \text{ kNm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{323,5227 \times 10^6}{0,9 \times 400 \times 549^2}$$

$$= 2,98 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{420}$$

$$= 0,0033$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c}$$

$$= \frac{420}{0,85 \times 25}$$

$$= 19,765$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \right)$$

$$= \frac{1}{19,765} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{2 \times 19,765 \times 2,98}{420}} \right) \right)$$

$$= 0,0076$$

$$\text{Syarat} : \rho_{\text{perlu}} > \rho_{\min}$$

$$\text{Maka, dipakai } \rho = \rho_{\text{perlu}} = 0,0076$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0076 \times 400 \times 549$$

$$= 1265,29 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2 menetapkan A_s tidak boleh kurang dari perhitungan dibawah ini :

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \times 400 \times 549$$

$$= 653,57 \text{ mm}^2$$

Atau ;

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \times 400 \times 549}{420} \\ &= 732 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka $A_{s \text{ pakai}}$ adalah $1265,29 \text{ mm}^2$.

Digunakan tulangan D22 mm ($A_{D22} = 1265,29 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{s \text{ pakai}}}{A_{D22}} \\ &= \frac{1265,29}{379,94} \\ &= 3,33, \text{ diambil 5 buah} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan lentur tarik 5D22 ($A = 1899,7 \text{ mm}^2$).

- Kontrol Kapasitas Penampang

Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen :

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} \\ &= \frac{1899,7 \times 420}{0,85 \times 25 \times 400} \\ &= 93,86 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{\alpha}{0,87} \\ &= \frac{93,86}{0,87} \\ &= 107,89 \text{ mm.} \end{aligned}$$

- Cek tegangan tarik

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \left(\frac{d}{c} - 1 \right) \times 0,003 \\ &= \left(\frac{549}{107,89} - 1 \right) \times 0,003 \\ &= 0,012 \end{aligned}$$

Cek syarat : $0,012 \geq 0,005 \rightarrow$ Terkendali Tarik

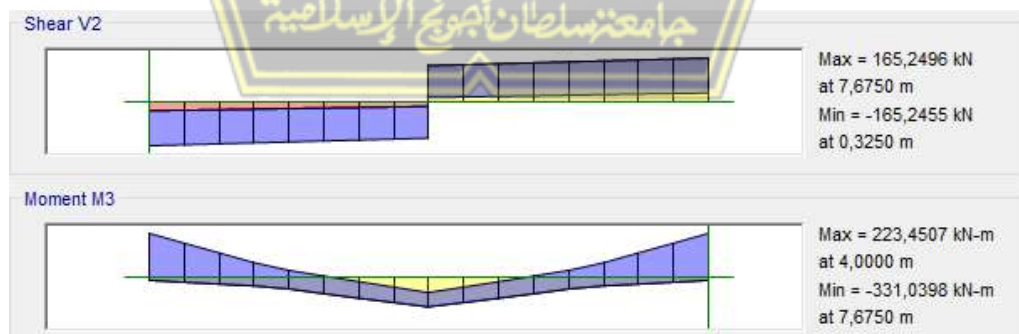
$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2} \alpha\right) \\
 &= 0,9 \times 1899,7 \times 420 \times \left(549 - \frac{1}{2} 93,86\right) \\
 &= 360527035 \text{ Nmm} \\
 &= 360,52 \text{ kNm} > M_u = 323,5227 \text{ kNm (Ok)}.
 \end{aligned}$$

4) Desain Tulangan Lapangan Atas

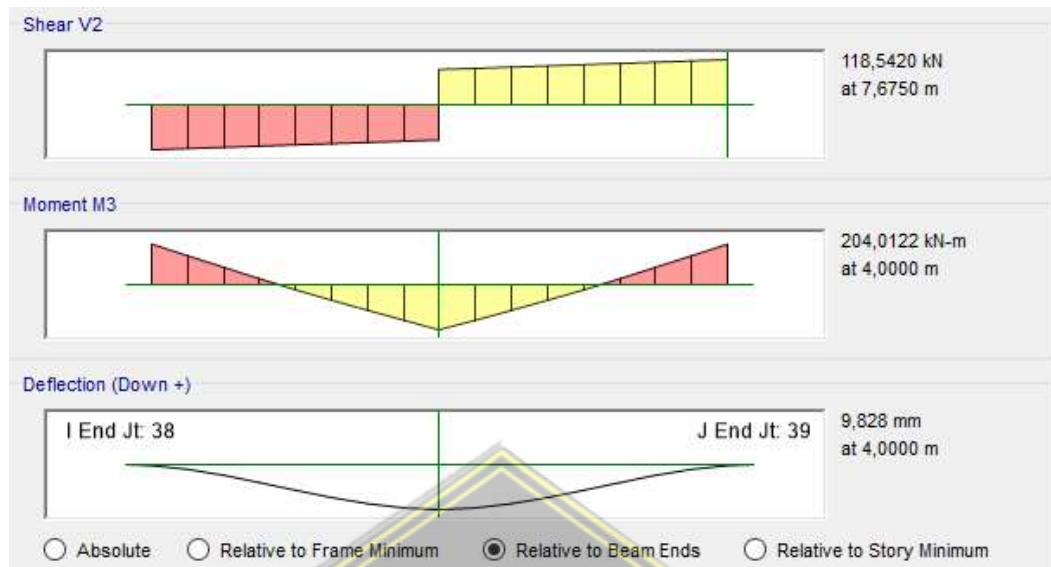
Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.4.2.1. Tulangan lentur tekan digunakan $\frac{1}{2}$ dari kekuatan lentur tarik atau minimal 2 buah, sehingga digunakan tulangan lentur tekan 3D19 ($A = 1139,82 \text{ mm}^2$).

4.5.1.4 Perhitungan Tulangan Geser

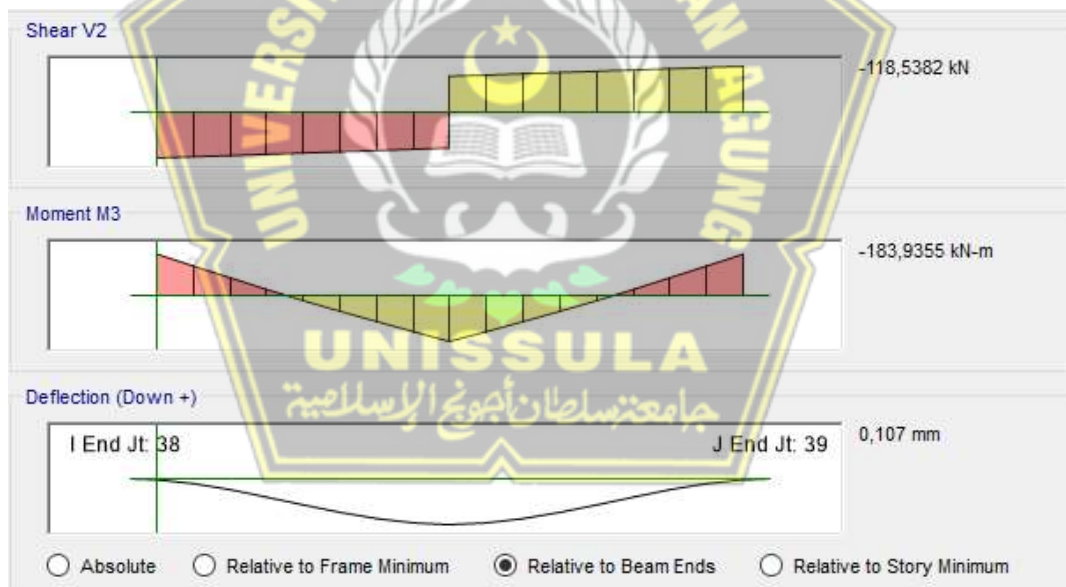
Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1.1. "Gaya geser desain V_e harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat terjadi di muka - muka *joint* pada setiap ujung kolom. Gaya-gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan lentur maksimum yang akan terjadi, (M_{pr}) di setiap ujung kolom terkait dengan rentang beban aksial terfaktor, (P_u) yang bekerja pada kolom". Tulangan geser didesain untuk menahan Gaya Horizontal agar suatu bangunan aman terhadap beban gempa. Tulangan geser dihitung berdasarkan *output* nilai Gaya Geser dari program ETABS yang ditunjukkan pada Gambar 4.43 hingga Gambar 4.45 berikut ini :



Gambar 4.43 Output V_u Tumpuan Balok B1



Gambar 4.44 Output V_u Kombinasi $W_u = 1,2 \text{ DL} + 1 \text{ LL}$ Tumpuan Kanan Balok B1



Gambar 4.45 Output V_u Kombinasi $W_u = 1,2 \text{ DL} + 1 \text{ LL}$ Tumpuan Kiri Balok B1

Tabel 4.48 Gaya Geser Ultimit Desain Tumpuan Balok B1 40 x 60

Sumber : Hasil *Output* ETABS

Lantai	<i>Envelope</i>			$W_u = 1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ LL}$		
	$V_{\text{Tumpuan Kiri}}$	V_{Lapangan}	$V_{\text{Tumpuan Kanan}}$	$V_{\text{Tumpuan Kiri}}$	V_{Lapangan}	$V_{\text{Tumpuan Kanan}}$
	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Top Floor	165,2455	136,5098	165,2496	118,5382	92,5898	118,5420
Lantai 5	214,4164	185,6807	214,4218	161,7376	135,7892	161,7426
Lantai 4	214,6059	186,8702	214,6111	161,7377	135,7893	161,7425
Lantai 3	215,3146	186,5789	215,3189	161,7381	135,7879	161,7421
Lantai 2	213,5280	184,7923	213,5308	161,7388	135,7904	161,7414
Lantai 1	208,2797	179,5440	208,2813	161,7393	135,7909	161,7408
Basement	196,4652	168,5115	196,4658	161,0337	135,7914	161,0343

3) Desain Tulangan Geser Tumpuan

→ Kapasitas Momen

- Tumpuan Atas

A_s yang terpasang pada tumpuan atas 6D22 ($A = 2279,64 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned}
 A_{pr} &= \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1,25 \times 2279,64 \times 420}{0,85 \times 25 \times 400} \\
 &= 140,80 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr} &= 1,25 \times A_s \times f_y \left[d - \frac{A_{pr}}{2} \right] \\
 &= 1,25 \times 2279,64 \times 420 \left[549 - \frac{140,80}{2} \right] \\
 &= 572792970,2 \text{ Nmm} \\
 &= 572,79 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Tumpuan Bawah

As yang terpasang pada tumpuan atas 3D22 ($A = 1139,82 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned} A_{pr}^+ &= \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 1139,82 \times 420}{0,85 \times 25 \times 400} \\ &= 70,40 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= 1,25 \times A_s \times f_y \left[d - \frac{A_{pr}^+}{2} \right] \\ &= 1,25 \times 1139,82 \times 420 \left[549 - \frac{70,40}{2} \right] \\ &= 307460552,3 \text{ Nmm} \\ &= 307,46 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{sway}}(V_{pr}) &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + V_{wu} \\ &= \frac{572,79 + 307,46}{8} + 161,7426 \\ &= 271,77 \text{ kN} \end{aligned}$$

→ Diagram Gaya Geser

Berdasarkan Tabel 4.48 gaya geser ultimit balok terbesar adalah gaya akibat kombinasi gempa atau *envelope* gempa. Pada tabel tersebut didapatkan nilai gaya geser desain maksimum sebesar 215,3189 kN sehingga nilai gaya geser desain adalah sebagai berikut :

$$V_{\text{sway}} > V_u$$

$$271,77 \text{ kN} > 215,3189 \text{ kN} \text{ (Ok)}$$

Maka nilai V yang digunakan adalah V dengan nilai terbesar yaitu $V_{\text{sway}} = 271,77 \text{ kN}$.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2 untuk penggunaan tulangan geser syarat yang harus dipenuhi adalah $V_{\text{sway}} > 0,5 V_u$.

$$V_{\text{sway}} > 0,5 V_u$$

$$271,77 \text{ kN} > 0,5 \times 215,3189 \text{ kN}$$

$$271,77 \text{ kN} > 107,66 \text{ kN} \text{ (Ok)}$$

$$P_u < \frac{A_g \times f'_c}{20}$$

$$P_u < \frac{(600 \times 400) \times 25}{20}$$

$$0 \text{ kN} < 300 \text{ kN}$$

Karena nilai $P_u = 0$, maka nilai $V_c = 0$.

→ Syarat Jarak Sengkang

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.4 Sengkang tertutup pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom dan sengkang tertutup berikutnya dipasang tidak boleh lebih dari :

$$\begin{aligned} 3) \quad \frac{d}{4} &= \frac{549}{4} \\ &= 135,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \quad 6 d_b &= 6 \times 22 \\ &= 132 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan ulir sengkang tertutup D10-100. Karena 1 sengkang tertutup dihitung 2 *loop*, maka luas sengkang adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 157 \text{ mm}^2. \\ V_a &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{157 \times 420 \times 549}{100} \\ &= 358054,2 \text{ Nmm} \\ &= 358,054 \text{ kNm} \end{aligned}$$

→ Cek Geser Nominal Aktual

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,66 \sqrt{25} \times 400 \times 549 \\ &= 0,66 \times 5 \times 400 \times 549 \end{aligned}$$

$$= 724680 \text{ Nmm}$$

$$= 724,68 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 0 + 724,68 \\ &= 724,68 \text{ kNm} \end{aligned}$$

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

$$\frac{0,75 \times 724,68}{291,65} \geq 1$$

$$1,99 \geq 1 \text{ (Ok)}$$

4) Desain Tulangan Geser Lapangan

→ Kapasitas Momen

- Tumpuan Bawah

A_s yang terpasang pada tumpuan atas 5D22 ($A = 1899,7 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned} A_{pr}^- &= \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 1899,7 \times 420}{0,85 \times 25 \times 400} \\ &= 117,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^- &= 1,25 \times A_s \times f_y \left[d - \frac{A_{pr}^-}{2} \right] \\ &= 1,25 \times 1899,7 \times 420 \left[549 - \frac{117,33}{2} \right] \\ &= 489029734,7 \text{ Nmm} \\ &= 489,02 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Tumpuan Atas

A_s yang terpasang pada tumpuan atas 3D22 ($A = 1139,82 \text{ mm}^2$).

$$\begin{aligned} A_{pr}^+ &= \frac{1,25 \times A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 1139,82 \times 420}{0,85 \times 25 \times 400} \\ &= 70,40 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^{+} &= 1,25 \times A_s \times f_y \left[d - \frac{A_{pr}^{+}}{2} \right] \\
 &= 1,25 \times 1139,82 \times 420 \left[549 - \frac{70,40}{2} \right] \\
 &= 307460552,3 \text{ Nmm} \\
 &= 307,46 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{sway}(V_{pr}) &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + V_{wu} \\
 &= \frac{489,02 + 307,46}{8} + 135,7914 \\
 &= 235,35 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

→ Diagram Gaya Geser

Berdasarkan Tabel 4.48 gaya geser ultimit balok terbesar adalah gaya akibat kombinasi gempa atau *envelope* gempa. Pada tabel tersebut didapatkan nilai gaya geser desain maksimum sebesar 186,87 kN sehingga nilai gaya geser desain adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_{sway} &> V_u \\
 235,35 \text{ kN} &> 186,87 \text{ kN} \text{ (Ok)}
 \end{aligned}$$

Maka nilai V yang digunakan adalah V dengan nilai terbesar yaitu $V_{sway} = 234,15 \text{ kN}$.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2 untuk penggunaan tulangan geser syarat yang harus dipenuhi adalah $V_{sway} > 0,5 V_u$.

$$\begin{aligned}
 V_{sway} &> 0,5 V_u \\
 235,35 \text{ kN} &> 0,5 \times 186,87 \text{ kN} \\
 235,35 \text{ kN} &> 93,435 \text{ kN} \text{ (Ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &< \frac{A_g \times f'_c}{20} \\
 P_u &< \frac{(600 \times 400) \times 25}{20} \\
 0 \text{ kN} &< 300 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Karena nilai $P_u = 0$, maka nilai $V_c = 0$.

→ Syarat Jarak Sengkang

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.4 Sengkang tertutup pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom dan sengkang tertutup berikutnya dipasang tidak boleh lebih dari :

$$\begin{aligned} 3) \frac{d}{4} &= \frac{543}{4} \\ &= 135,75 \text{ mm} \\ 4) 6 d_b &= 6 \times 22 \\ &= 132 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan ulir sengkang tertutup D10-125. Karena 1 sengkang tertutup dihitung 2 loop, maka luas sengkang adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 157 \text{ mm}^2. \\ V_a &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{157 \times 420 \times 549}{125} \\ &= 289608,48 \text{ Nmm} \\ &= 289,60 \text{ kNm} \end{aligned}$$

→ Cek Geser Nominal Aktual

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,66 \sqrt{25} \times 400 \times 549 \\ &= 0,66 \times 5 \times 400 \times 549 \\ &= 724680 \text{ Nmm} \\ &= 724,68 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 0 + 724,68 \end{aligned}$$

$$= 724,68 \text{ kNm}$$

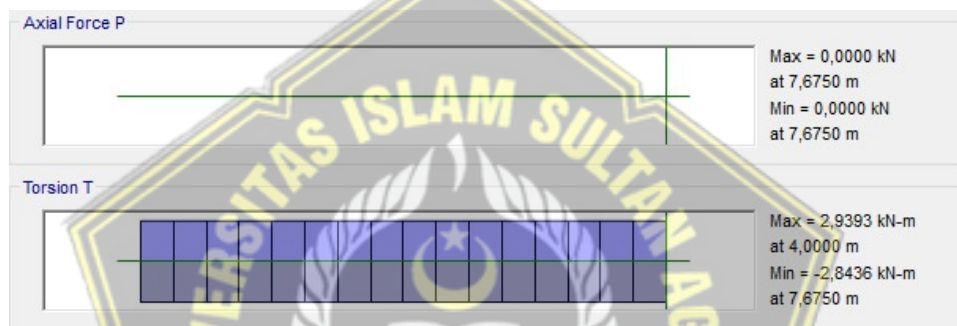
$$\frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1$$

$$\frac{0,75 \times 724,68}{234,15} \geq 1$$

$$2,30 \geq 1 \text{ (Ok)}$$

4.5.1.5 Perhitungan Tulangan Torsi

Tulangan torsi dihitung berdasarkan data *output* dari program ETABS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.46 berikut ini :



Gambar 4.46 *Output* Nilai Torsi Balok B1

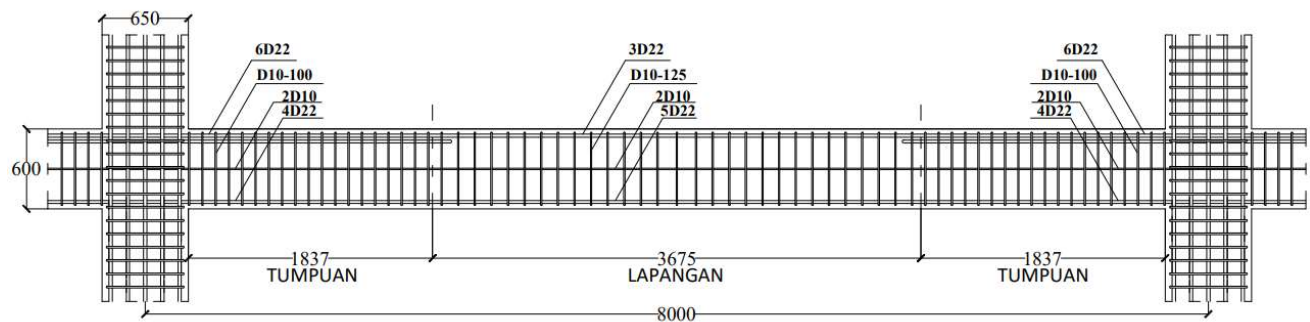
Pengaruh puntir atau torsi dapat diabaikan apabila momen puntir yang terjadi tidak melebihi persamaan dibawah ini :

$$\begin{aligned} T_u &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'} }{3} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &= \frac{\phi \times \sqrt{f_c'} }{3} \times \left[\frac{(b \times h)^2}{2 \times (b+h)} \right] \\ &= \frac{0,75 \times \sqrt{25}}{3} \times \left[\frac{(400 \times 600)^2}{2 \times (400+600)} \right] \\ &= 36000000 \text{ Nmm} \\ &= 36 \text{ kNm.} \end{aligned}$$

Torsi yang terjadi pada Balok B1 sebesar 2,9393 kNm.

Kontrol : 2,9393 kNm < 36 kNm (Torsi diabaikan)

Maka digunakan tulangan torsi minimum 2D10.



Gambar 4.47 Detail Penulangan Balok B1

Tabel 4.49 Rekapitulasi Desain Penulangan Balok Induk

Sumber : Perhitungan Sendiri

Dimensi Balok	Tulangan Lentur				Tulangan Geser		Tulangan Bagi
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan	
	Atas	Bawah	Atas	Bawah			
B1 (40/60)	6D22	3D22	3D22	5D22	D10-100	D10-125	2D10
B2 (30/50)	3D22	2D22	2D22	3D22	D10-100	D10-125	2D10

4.5.2. Desain Penulangan Kolom

Kolom merupakan struktur utama dalam bangunan gedung yang berfungsi menerima beban-beban yang diterima struktur sekunder dan Balok Induk kemudian meneruskan beban yang diterima ke pondasi. Dalam contoh perhitungan kolom berikut ini akan dirancang kolom dengan dimensi 85 x 85 cm² yang terletak dilantai *Basement*.

4.5.2.1. Data Perancangan

Data – data yang dibutuhkan dalam perhitungan K1 adalah sebagai berikut :

Panjang/tinggi kolom, L = 4000 mm

Sisi pendek kolom, b = 850 mm

Sisi panjang kolom, h = 850 mm

Diameter tulangan lentur, d_b = 25 mm

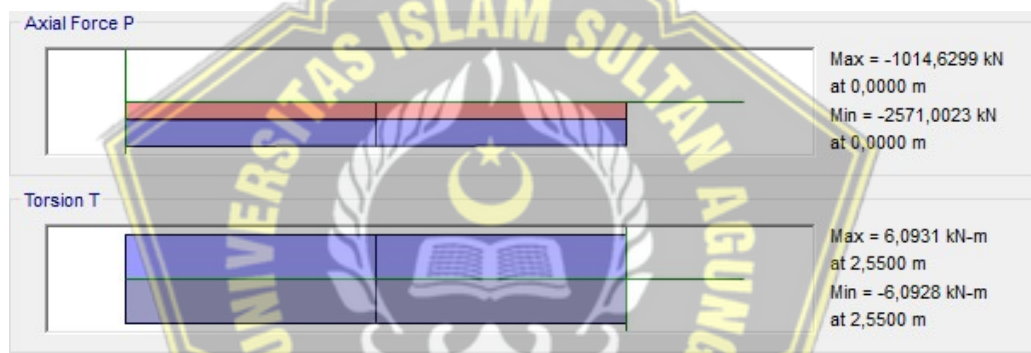
Diameter tulangan sengkang, d_s = 13 mm

Selimut beton, c_c = 40 mm

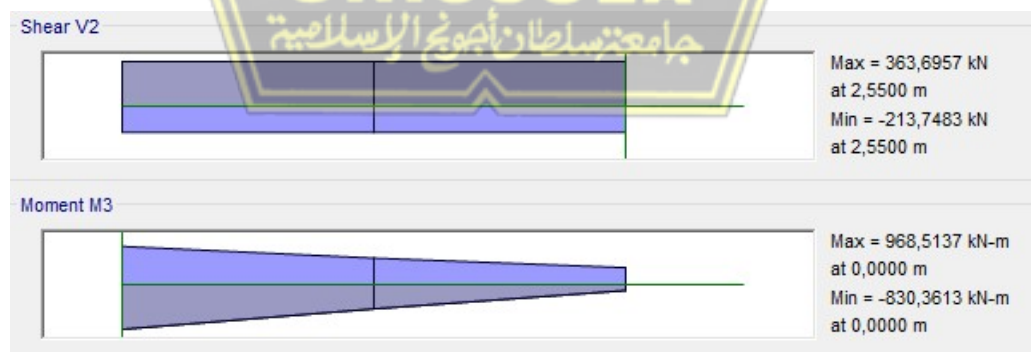
Mutu beton, f'_c = 25 MPa

Mutu tulangan, f_y = 420 MPa

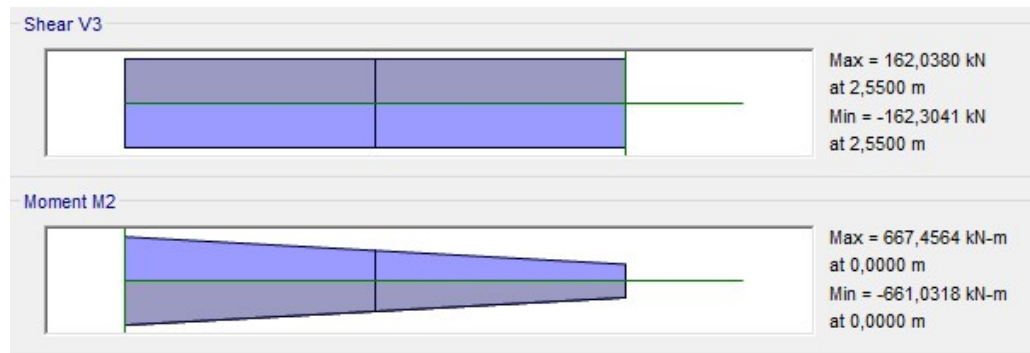
Dari permodelan program ETABS didapatkan *output* momen *envelope* dari beberapa kombinasi beban pada kolom seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.48 - Gambar 4.50 dan Tabel 4.50 dibawah ini :



Gambar 4.48 *Output* Gaya Aksial Kolom K1



Gambar 4.49 *Output* Gaya M3 dan V2



Gambar 4.50 Output Gaya M2 dan V3

Tabel 4.50 Momen Envelope Kolom K1

Sumber : Hasil Output Program ETABS

Kolom	Gaya Aksial	M2	M3	V2	V3
	kNm	kNm	kNm	kNm	kNm
Kolom lantai atas (lantai 1)	4130,1255	253,3419	222,8519	75,3534	53,6453
Kolom yang didesain (lantai Basement)	4852,2414	691,5999	874,2248	261,3484	168,8462

4.5.2.2. Cek Syarat Gaya Aksial Dan Geometri Kolom

→ Syarat Gaya Aksial

$$\begin{aligned}
 A_g &= b \times h \\
 &= 850 \times 850 \\
 &= 722500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &\geq 0,1 \times A_g \times f'c' \\
 4852,2414 &\geq 0,1 \times 722500 \times 25 \\
 4852241,4 \text{ Nmm} &\geq 1806250 \text{ Nmm (Ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &\leq 0,3 \times A_g \times f'c' \\
 4852,2414 &\leq 0,3 \times 722500 \times 25 \\
 4852241,4 \text{ Nmm} &\leq 5418750 \text{ Nmm (Ok)}
 \end{aligned}$$

→ Syarat Sisi Terpendek

$$b \geq 300 \text{ mm}$$

$$850 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm (Ok)}$$

→ Syarat Rasio Dimensi Penampang

$$b/h \geq 0,4$$

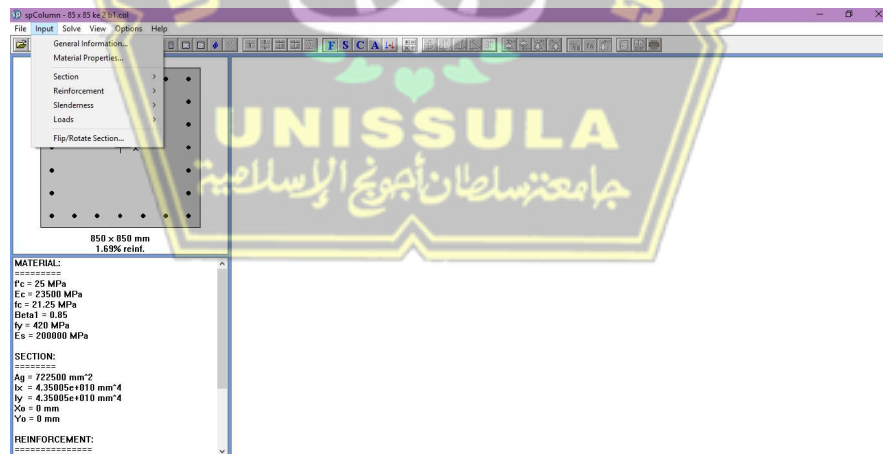
$$850/850 \geq 0,4$$

$$1 \geq 0,4 \text{ (Ok)}$$

4.5.2.3. Penulangan Lentur

Dalam perhitungan tulangan lentur kolom akan digunakan program bantu *SpColumn*, dengan memasukkan data-data yang akan digunakan. Berikut ini langkah – langkah yang dilakukan dalam merancang tulangan pokok kolom pada program bantu *SpColumn*.

1. Buka program *SpColumn* dengan cara klik kanan – open atau klik kiri 2 kali program pada layar *desktop*.
2. Klik menu *input – general information*, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut ini :



Gambar 4.51 Jendela Perintah Program *SpColumn*

3. Masukkan data-data yang dibutuhkan - kemudian klik ok.

General Information

Labels
Project: Kolom
Column: 850 x 850
Engineer: Devi

Design Code
ACI 318-14

Units
☐ English
☒ Metric

Run Option
☒ Investigation
☐ Design

Run Axis
☐ About X-Axis
☒ About Y-Axis

Consider slenderness? ☐ Yes ☒ No

OK Cancel

Gambar 4.52 General Information Program SpColumn

4. Klik *input – Material properties* – masukkan data – kemudian klik ok.

Material Properties

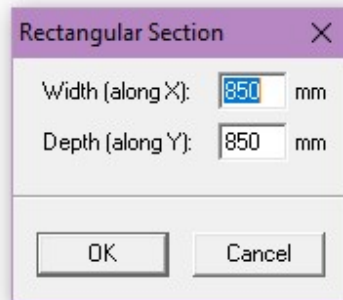
Concrete
Strength, f'c: 25 MPa
☒ Standard
Elasticity, Ec: 23500 MPa
Max stress, fc: 21.25 MPa
Beta(1): 0.85
Ultimate strain: 0.003

Reinforcing Steel
Strength, fy: 420 MPa
☒ Standard
Elasticity, Es: 200000 MPa
Compression-controlled strain limit, Eps_yt: 0.0021

OK Cancel

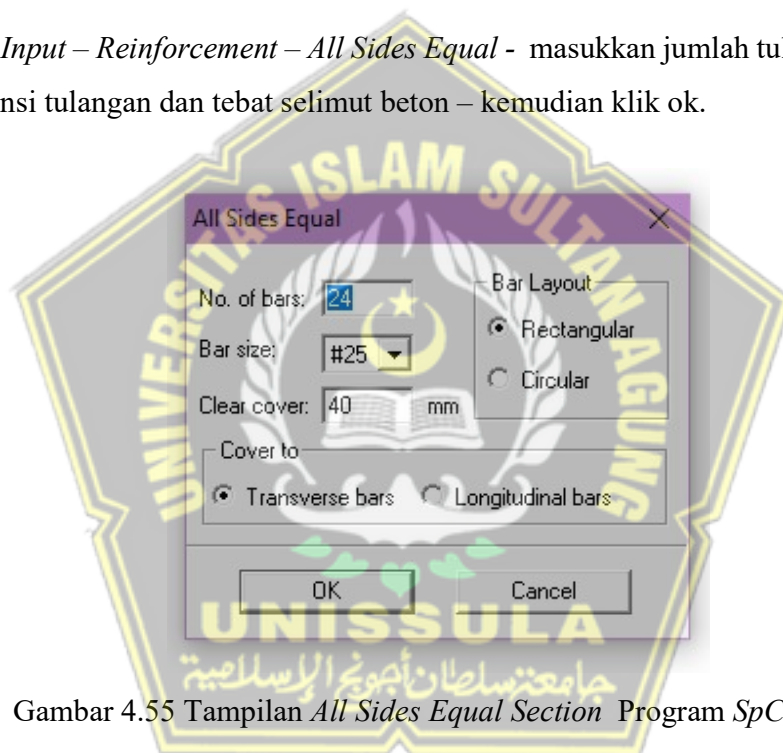
Gambar 4.53 Material Properties Program SpColumn

5. Klik *Input – Section – Rectangular* – Masukkan dimensi kolom – ok.



Gambar 4.54 *Rectangular Section* Program *SpColumn*

6. Klik *Input – Reinforcement – All Sides Equal* - masukkan jumlah tulangan rencana, dimensi tulangan dan tebal selimut beton – kemudian klik ok.



Gambar 4.55 Tampilan *All Sides Equal Section* Program *SpColumn*

7. Masukkan beban yang telah didapatkan dari program ETABS dengan cara klik *Input – Loads – Factored*.

Factored Loads

Load: 4852 (kN) X-Moment: 691 (kNm) Y-Moment: 874 (kNm)

Insert Modify Delete

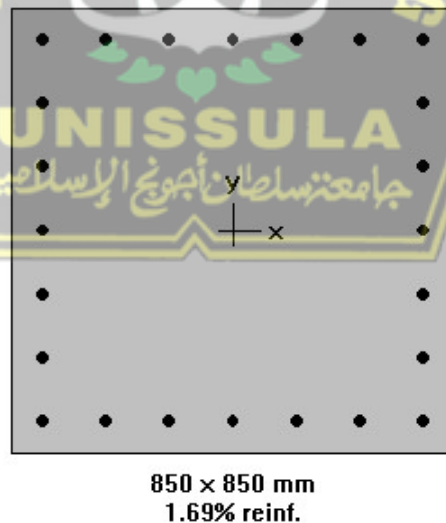
No.	P	Mx	My
1	4130	253	222
2	4852	691	874

OK Cancel

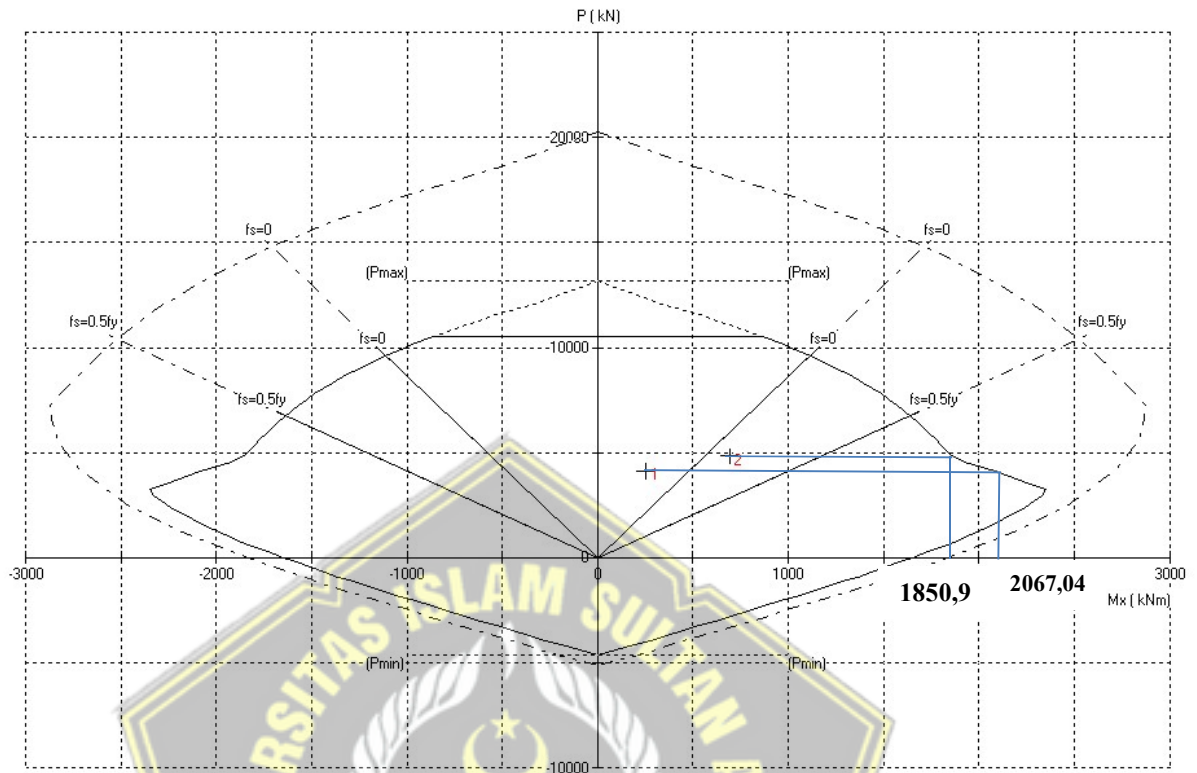
Gambar 4.56 *Factored Loads*

8. Kemudian Klik *Solve – Execute*.

Dari langkah diatas didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 4.57 Penampang Kolom



Gambar 4.58 Diagram Interaksi Kolom K1

Dari hasil percobaan desain pada program *SpColumn* didapatkan konfigurasi tulangan 24D25 ($A_{st} = 11775 \text{ mm}^2$) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.57 Berdasarkan SNI 1847-2019 Pasal 18.7.4.1 batasan rasio tulangan komponen struktur tekan yang diijinkan adalah 1% - 6%. Dari diagram interaksi diatas didapatkan rasio tulangan lentur 24D25 sebesar 1,69%. Dari Gambar 4.58 Penampang juga telah mampu memikul kombinasi beban pada kedua sumbunya.

Berdasarkan SNI 1847-2019 Pasal 22.4.2.2 kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor.

$$\begin{aligned}
 \phi P_n \max &= 0,8 \times \phi \times [0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \\
 &= 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 25 \times (722500 - 11775) + 420 \times 11775] \\
 &= 10425171 \text{ Nmm} \\
 &= 10425,171 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_n \max &\geq P_u \\ 10425,171 \text{ kNm} &\geq 4852,2414 \text{ kNm (Ok)}\end{aligned}$$

4.5.2.4. Kontrol Strong Column Weak Beam

a. Menentukan Nilai $\sum M_{nb}$

Nilai M_{nb} merupakan nilai dari Momen Kapasitas Balok yang menyatu dengan kolom yang ditinjau. Dalam Tugas Akhir kolom yang ditinjau adalah Kolom K1 85 x 85 cm², yang memiliki nilai M_{nb} dari kedua ujung Balok B1 40 x 60 cm² sebesar :

$$\begin{aligned}M_{nb}^- &= 572,79 \text{ kNm} \\ M_{nb}^+ &= 307,46 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}1,2 \sum M_{nb} &= 1,2 (M_{nb}^- + M_{nb}^+) \\ &= 1,2 (572,79 + 307,46) \\ &= 1056,304 \text{ kNm}\end{aligned}$$

b. Menentukan Nilai $\sum M_{nc}$

Nilai $\sum M_{nc}$ merupakan nilai yang diperoleh dari diagram interaksi kolom P-M dengan program *SpColumn* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.51 berikut ini :

Tabel 4.51 *Factored Loads and Moment with Corresponding capacities*

Sumber : Hasil Output Program *SpColumn*

No	P_u	M_{ux}	M_{uy}	$\phi M_{nx,y}$	$\phi M_n / M_u$	NA Depth	d_t Depth	ϵ_t	ϕ
	kN	kNm	kNm	kNm		Mm	mm		
1	4130	253	222	2067,04	8,170	393	788	0,00301	0,729
2	4852	691	874	1850,93	2,679	472	788	0,00202	0,650

Dari tabel diatas didapatkan nilai M_{nc} sebesar :

$$\begin{aligned}M_{nc} \text{ atas} &= 2067,04 \text{ kNm} \\ M_{nc} \text{ bawah} &= 1850,93 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum M_{nc} &= (\phi M_{nc} \text{ atas} + \phi M_{nc} \text{ bawah}) \\
 &= 0,65 \times (2067,04 + 1850,93) \\
 &= 2546,68 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

c. Cek Syarat *Strong Column Weak Beam*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2, kekuatan lentur kolom harus memenuhi syarat :

$$\begin{aligned}
 \sum M_{nc} &\geq 1,2 \sum M_{nb} \\
 2546,68 \text{ kNm} &\geq 1056,304 \text{ kNm (Ok)}
 \end{aligned}$$



4.5.2.5. Perhitungan Tulangan *Confinement*

Pada perancangan tulangan geser sebagai *confinement* ini, luas tulangan transversal kolom yang dibutuhkan didapat dari nilai terbesar persamaan berikut ini yang dihitung berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.4.

$$A_{sh} = 0,3 \times \left(\frac{s \times b_c \times f_c}{f_{yt}} \right) \times \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \dots \dots \dots (4.15)$$

$$A_{sh} = 0,09 \times \left(\frac{s \times b_c \times f_c}{f_{yt}} \right) \dots \dots \dots (4.16)$$

$$A_{sh} = 0,2 \times \left(\frac{b_c \times P_u \times k_f \times k_n}{f_{yt} \times A_{ch}} \right) \dots\dots\dots(4.17)$$

Keterangan :

A_g	= Luasan penampang kolom (mm ²)
A_{ch}	= Luasan penampang kolom diukur dari daerah terluar tulangan transversal (mm ²)
b_c	= Dimensi potongan melintang dari inti kolom (mm)
f_{yt}	= Kuat leleh tulangan transversal (MPa)
k_f	= Faktor kekuatan beton
k_n	= Faktor keefektifan pengekanan
P_u	= Gaya tekan aksial terfaktor (kN)

Apabila nilai gaya tekan aksial terfaktor kurang dari atau sama dengan 0,3 luas penampang kolom dengan mutu beton 25 MPa dan mutu beton kurang dari atau sama dengan 70 MPa, maka diambil nilai terbesar dari Persamaan 4.15 dan 4.16, sedangkan apabila nilai yang didapatkan adalah sebaliknya, maka diambil nilai terbesar dari ketiga persamaan diatas.

Dirancang menggunakan tulangan 5D13 dengan A_{st} seperti perhitungan berikut ini :

$$\begin{aligned} A_{sh} \text{ pakai} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 4 \times \frac{3,14}{4} \times 13^2 \\ &= 530,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

1. Cek Luas Penampang

$$\begin{aligned} b_{c1} &= h - (2 \times c_c) \\ &= 850 - (2 \times 40) \\ &= 770 \text{ mm} \\ b_{c2} &= b - (2 \times c_c) \\ &= 850 - (2 \times 40) \\ &= 770 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{ch} &= b_{c1} \times b_{c2} \\
 &= 770 \times 770 \\
 &= 592900 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

2. Jarak Spasi Minimum

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3 spasi maksimum merupakan spasi terkecil dari :

a. $\frac{1}{4}$ dimensi penampang kolom terkecil

$$\begin{aligned}
 s_o &= \frac{1}{4} \times h \\
 &= \frac{1}{4} \times 850 \\
 &= 212,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b. $6db$

$$\begin{aligned}
 s_o &= 6 \times db \\
 &= 6 \times 25 \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

c. $s_o = 100 + \left(\frac{350 - hx}{3} \right)$, dengan nilai hx dapat diperkirakan $\frac{1}{3} \times hc$ atau bc .

$$\begin{aligned}
 hx &= \frac{1}{3} \times bc \\
 &= \frac{1}{3} \times 770 \\
 &= 256,66 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_o &= 100 + \left(\frac{350 - hx}{3} \right) \\
 &= 100 + \left(\frac{350 - 256,66}{3} \right) \\
 &= 131,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Namun s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak boleh kurang dari 100 mm, sehingga jarak s_o yang digunakan adalah 100 mm.

3. Perhitungan Luas Tulangan *Confinement*

$$\begin{aligned}A_{sh1} &= 0,3 \times \left(\frac{s \times b_c \times f_c}{f_{yt}} \right) \times \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\&= 0,3 \times \left(\frac{100 \times 770 \times 25}{420} \right) \times \left[\left(\frac{722500}{592900} \right) - 1 \right] \\&= 300,56 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{sh2} &= 0,09 \times \left(\frac{s \times b_c \times f_c}{f_{yt}} \right) \\&= 0,09 \times \left(\frac{100 \times 770 \times 25}{420} \right) \\&= 412,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan nilai A_{sh} terbesar yaitu 412,5 mm².

Cek Syarat :

$$\begin{aligned}A_{sh} &< A_{sh} \text{ pakai} \\412,5 \text{ mm}^2 &< 530,66 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

Jadi 4D13-100 dengan A_{sh} sebesar 530,66 mm² dapat digunakan.

4. Panjang l_o

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1 tulangan *hoops* yang diperlukan sepanjang l_o dari ujung kolom dipilih nilai terbesar dari :

→ Tinggi komponen struktur pada *joint*, h .

$$\begin{aligned}l_o &= h \\&= 850 \text{ mm}\end{aligned}$$

→ $\frac{1}{6}$ x bentang bersih kolom.

$$\begin{aligned}l_o &= \frac{1}{6} \times (4000 - 850) \\&= 525 \text{ mm}\end{aligned}$$

→ 450 mm

Diambil nilai l_o terbesar yaitu 850 mm, sehingga sepanjang 850 mm dari muka hubungan antara pelat dan kolom harus dipasang tulangan transversal sebagai *confinement* 4 kaki D13 – 100.

5. Jarak Tulangan di luar l_o

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5 di luar panjang l_o kolom harus diberi tulangan *hoops* dengan spasi (s) tidak melebihi nilai :

→ $6db$

$$\begin{aligned}l_o &= 6 \times db \\&= 6 \times 25 \\&= 150 \text{ mm}\end{aligned}$$

→ 150 mm

Sehingga dipasang tulangan dengan jarak maksimal dengan jarak 150 mm yaitu 4D13-150.

4.5.2.6. Penulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6.1 Gaya Geser V_e harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang bekerja pada muka *joint* kolom.

$$V_e = \frac{\sum M_{nc}}{l_n} \dots \dots \dots (4.17)$$

Keterangan :

- V_e = Gaya geser desain kolom (kN)
- $\sum M_{nc}$ = Jumlah momen nominal kolom hasil *output* program *SpColumn* (kNm)
- l_n = Bentang bersih kolom (mm)

1. Menghitung nilai V_e

Nilai V_u tidak boleh lebih besar dari nilai V_{sway} balok pada perhitungan sebelumnya yang dihitung berdasarkan M_{pr} balok.

$$\begin{aligned}V_{e1} &= \frac{\sum M_{nc}}{l_n} \\&= \frac{3917,97}{4000/10^3} \\&= 979,49 \text{ kN}\end{aligned}$$

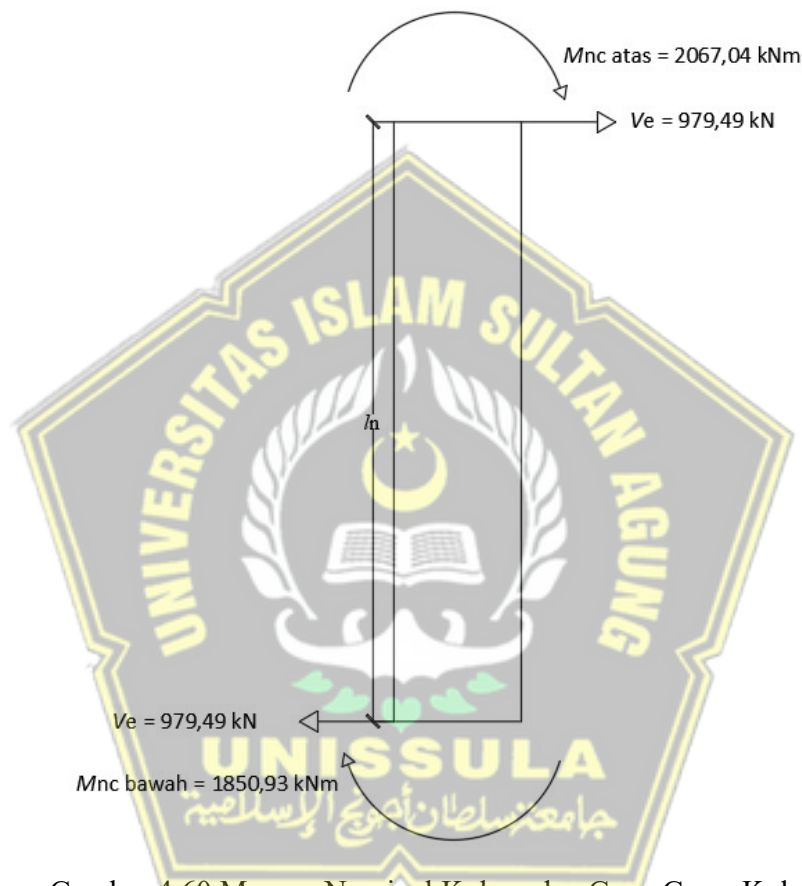
$$V_{e2} = \frac{\sum M_{pr} \text{ Balok}}{l_n}$$

$$= \frac{1056,304 \times 0,5}{4000/10^3}$$

$$= 110,03 \text{ kN}$$

$$V_{e3} = 168,8462 \text{ kN (Hasil analisa program ETABS)}$$

V_u tidak boleh lebih kecil dari V_{e3} , sehingga diambil nilai V_u sebesar 979,49 kN.



Gambar 4.60 Momen Nominal Kolom dan Gaya Geser Kolom

2. Menghitung nilai V_c

$$V_c = 0 \text{ jika } P_u > \frac{A_g \times f'_c}{20},$$

$$P_u > \frac{A_g \times f'_c}{20}$$

$$4852,2414 \text{ kN} > \frac{850 \times 850 \times 25}{20}$$

$$4852,2414 \text{ kN} > 903,125 \text{ kN (Ok)}$$

3. Kekuatan geser nominal

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= \frac{979,49}{0,75} \\ &= 1305,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} \times d} \\ &= \frac{1305990}{420 \times 784,5} \\ &= 3,96 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Jika digunakan $s = 100 \text{ mm}$, maka nilai A_v adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{A_v}{s} \times s \\ &= 3,96 \times 100 \\ &= 396,3671 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sengkang tertutup dan ikat selang digunakan 4D13-100 dengan A_v sebesar 530,66 mm^2 .

$$\begin{aligned} A_v &\leq A_{sh} \\ 396,3671 \text{ mm}^2 &\leq 530,66 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)} \end{aligned}$$

4. Untuk bentang diluar l_o

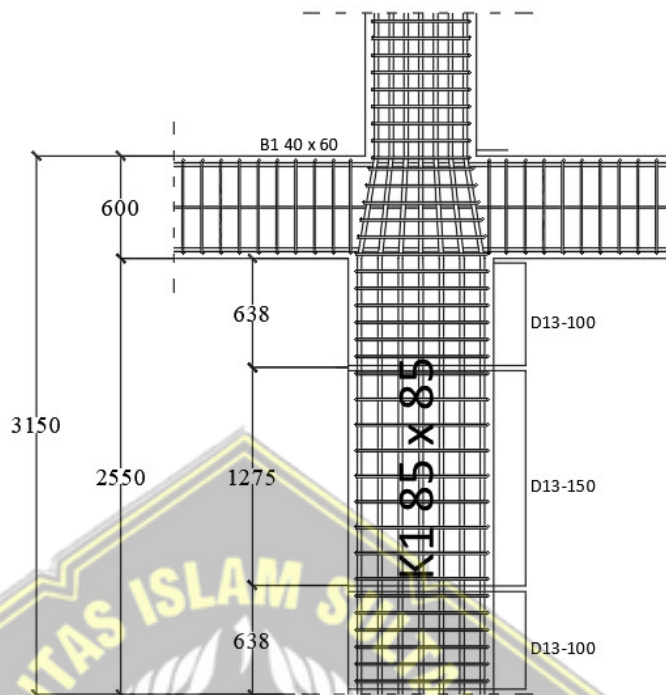
Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.5 di luar panjang l_o kolom harus diberi tulangan *hoops* dengan spasi (s) tidak melebihi nilai :

→ $6db$

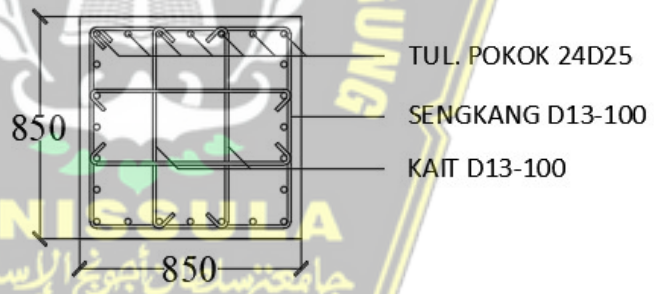
$$\begin{aligned} l_o &= 6 \times db \\ &= 6 \times 25 \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

→ 150 mm

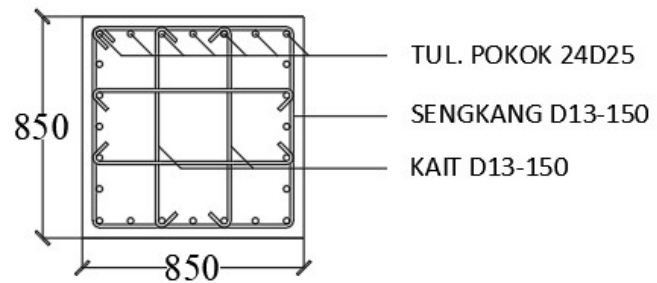
Sehingga dipasang tulangan dengan jarak maksimal dengan jarak 150 mm yaitu 4D13-150.



Gambar 4.61 Detail Penulangan Kolom K1



Gambar 4.62 Detail Tulangan Tumpuan Kolom K1



Gambar 4.63 Detail Tulangan Lapangan Kolom K1

Tabel 4.52 Rekapitulasi Desain Penulangan Kolom

Sumber : Perhitungan Sendiri

No	Jenis Kolom	Dimensi Kolom (mm ²)	Tulangan Pokok	Tulangan Geser Tumpuan	Tulangan Geser Lapangan
1	K1	850 x 850	24D25	4D13-100	4D13-150
2	K2	650 x 850	20D25	4D13-100	4D13-150
3	K3	650 x 650	16D25	3D13-100	3D13-150
4	K4	600 x 600	12D25	3D13-100	3D13-150

4.5.3. Perancangan Hubungan Balok Kolom

4.5.3.1. Pengecekan Syarat Panjang *Joint*

Berdasarkan SNI-2847-2019 pasal 18.8.2.3 dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan terbesar balok.

$$b = 850 \text{ mm}$$

$$h = 850$$

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

$$20 \times d_b = 20 \times 22$$

$$= 440 \text{ mm}$$

$$h > 20 \times d_b$$

$$850 \text{ mm} > 440 \text{ mm (Ok)}$$

4.5.3.2. Penggunaan Tulangan Transversal Untuk *Confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.3.1 jumlah tulangan transversal *confinement* boleh ditambahkan dengan detail tulangan transversal kolom, sehingga digunakan tulangan 3D13-100.

4.5.3.3. Perhitungan M_u Pada *Joint*

Apabila *joint* kolom atas dan kolom bawah memiliki kekakuan yang serupa maka nilai d_f untuk setiap kolom adalah 0,5.

$$\begin{aligned}M_u &= 0,5 (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) \\&= 0,5 (572,79 + 307,46) \\&= 440,126 \text{ kN}\end{aligned}$$

4.5.3.4. Perhitungan Gaya Geser Pada Kolom

$$\begin{aligned}L_n &= L - h \\&= 8000 - 850 \\&= 7150 \text{ mm} \\&= 7,15 \text{ m} \\V_h &= \frac{M_u}{L_n} \\&= \frac{440,126}{7,15} \\&= 61,56 \text{ kN}\end{aligned}$$

4.5.3.5. Perhitungan Gaya Pada Tulangan Balok Longitudinal

A_s balok kanan dan balok kiri 6D22 = 2279,64 mm²

$$\begin{aligned}T_{1,2} &= 1,2 \times A_s \times f_y \\&= 1,2 \times 2279,64 \times 420/1000 \\&= 1148,93 \text{ kN}\end{aligned}$$

Gaya tekan yang terjadi pada beton sisi kanan hubungan balok kolom sebesar :

$$\begin{aligned}C_{1,2} &= T_{1,2} \\&= 1148,93 \text{ kN}\end{aligned}$$

4.5.3.6. Perhitungan Gaya Geser Pada *Joint*

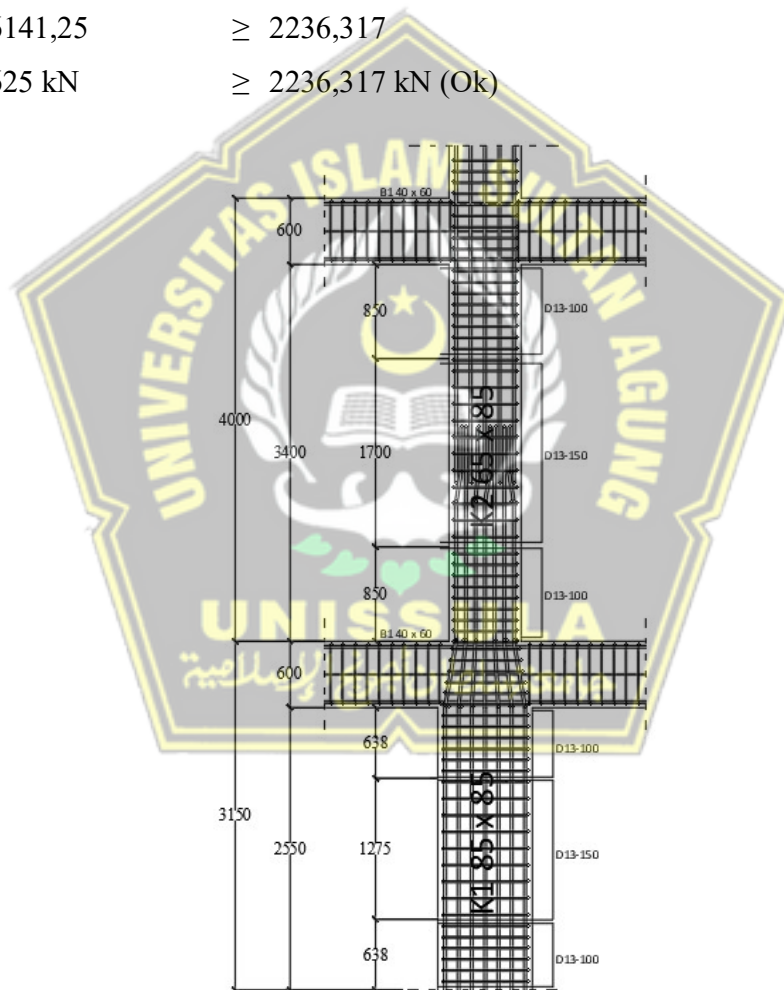
$$\begin{aligned}V_j &= T_1 + T_2 - V_h \\&= 1148,93 + 1148,93 - 61,56 \\&= 2236,317 \text{ kN}\end{aligned}$$

4.5.3.7. Pengecekan Kuat Geser *Joint*

Apabila pada keempat sisi *joint* terdapat balok - balok maka nilai kuat geser *joint* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_n &= 1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times A_g \\
 &= 1,7 \times 1 \times \sqrt{25} \times \frac{850^2}{1000} \\
 &= 6141,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek } \phi V_n &\geq V_j \\
 0,85 \times 6141,25 &\geq 2236,317 \\
 5220,0625 \text{ kN} &\geq 2236,317 \text{ kN (Ok)}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.64 Hubungan Balok-Kolom

4.5.4. Desain Penulangan Dinding Geser

4.5.4.1. Data Perancangan

Data-data yang dibutuhkan dalam perancangan Dinding Geser adalah sebagai berikut :

Tinggi dinding total , h_u	=	26300	mm
Tebal dinding, t_w	=	250	mm
Panjang, l	=	8000	mm
Panjang kolom, h_k	=	600	mm
Lebar kolom, b_k	=	600	mm
Diameter tulangan longitudinal badan, d_l	=	22	mm
Diameter tulangan transversal badan, d_t	=	22	mm
Diameter tulangan kolom, d_b	=	25	mm
Mutu beton, f'_c	=	25	MPa
Mutu tulangan , f_y	=	420	MPa
ϕ	=	0,75	



Gambar 4.65 Penampang Dinding Geser

Gaya dalam yang bekerja pada Dinding Geser hasil analisis struktur dari program ETABS ditunjukkan pada Tabel 4.53 berikut ini.

Tabel 4.53 Gaya Dalam *Envelope Max – Min Pier 6*

Sumber : Hasil *Output* ETABS

<i>Output</i> Gaya	Nilai (kN)
P_u	5064,218
M_u	84689,6
V_u	14961,37

4.5.4.2. Perancangan Geometri Dinding Geser

- Panjang Total (L_u)

$$\begin{aligned}L_u &= L + h_k \\&= 8000 + 600 \\&= 8600 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Panjang bersih (L_n)

$$\begin{aligned}L_n &= L - h_k \\&= 8000 - 600 \\&= 7400 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Luas penampang melintang (A_{cv})

$$\begin{aligned}A_{cv} &= t_w \times L_u \\&= 250 \times 8600 \\&= 2150000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Luas total dinding geser (A_u)

$$\begin{aligned}A_u &= t_w \times L_n + 2 (b_k \times h_k) \\&= 250 \times 7400 + 2 (600 \times 600) \\&= 2570000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

4.5.4.3. Kebutuhan Tulangan Minimum

- Faktor reduksi kekuatan geser

$$\phi = 0,75$$

- Gaya geser

$$\begin{aligned}\frac{V_u}{\phi} &= \frac{14961,37}{0,75} \\&= 19948,49 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Rasio tulangan minimum

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.1 rasio tulangan minimal yaitu 0,0025 kecuali jika $V_u \leq 0,083 \times A_g \times \sqrt{f'_c}$, maka rasio tulangan minimum diizinkan sesuai dengan SNI 2847:2019 Tabel 11.6.1.

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq 0,083 \times A_g \times \sqrt{f'_c} \\
 14961,37 \text{ kN} &\leq 0,083 \times 2150000 \times \sqrt{25} \\
 14961370 \text{ Nmm} &\leq 892250 \text{ Nmm (tidak memenuhi syarat)}
 \end{aligned}$$

Karena $V_u \geq 0,083 \times A_g \times \sqrt{f'_c}$, maka rasio tulangan longitudinal (ρ_l) dan rasio tulangan transversal (ρ_t) sebesar 0,0025.

- Jumlah lapis tulangan pakai

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2.2 dibutuhkan minimal 2 lapis tulangan apabila $V_u \geq 0,17 \times A_u \times \sqrt{f'_c}$ atau $\frac{h_u}{l_u} > 2$.

Cek Batasan 1

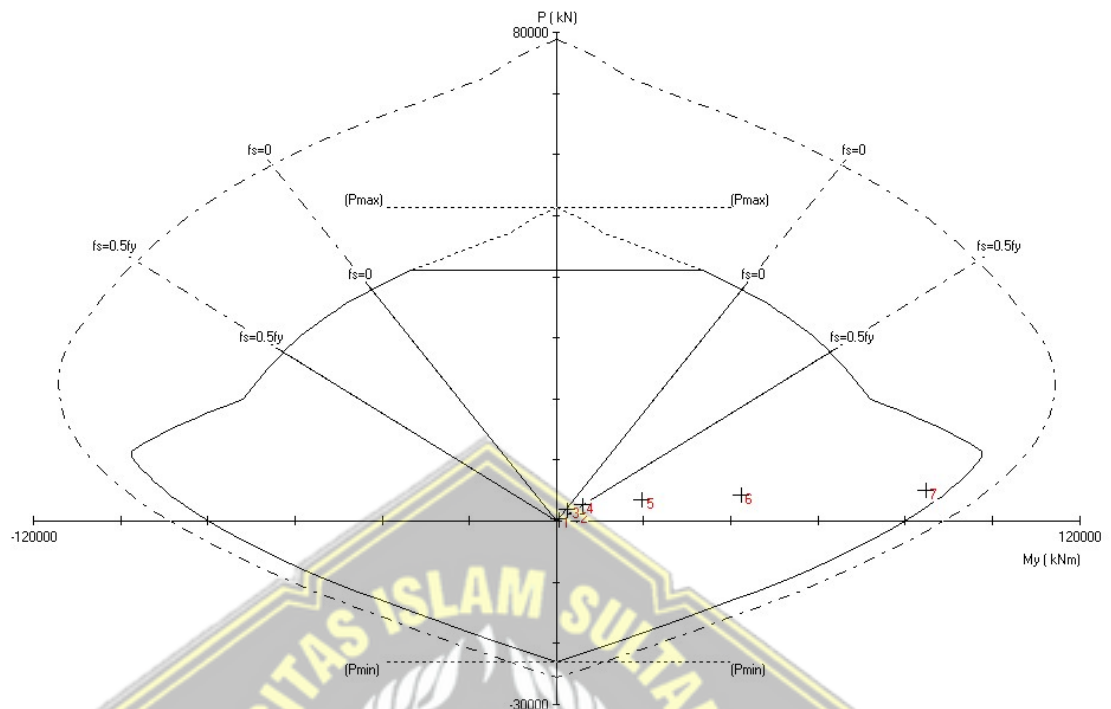
$$\begin{aligned}
 V_u &\geq 0,17 \times A_u \times \sqrt{f'_c} \\
 14961,37 \text{ kN} &\geq 0,17 \times 2570000 \times \sqrt{25} \\
 14961370 \text{ Nmm} &\geq 2184500 \text{ Nmm (dibutuhkan 2 lapis tulangan)}
 \end{aligned}$$

Cek Batasan 2

$$\begin{aligned}
 \frac{h_u}{l_u} &> 2 \\
 \frac{26300}{8600} &> 2 \\
 3,05 &> 2 \text{ (dibutuhkan 2 lapis tulangan)}
 \end{aligned}$$

4.5.4.4. Pengecekan Gaya Aksial–Lentur

Kuat tekan dan lentur dinding struktural dapatkan dari diagram interaksi hasil analisis program *SpColumn*. Dari proses *trial and error* konfigurasi tulangan longitudinal pada Dinding Geser didapatkan D22-150 dan konfigurasi tulangan pada kolom didapatkan 12D25. Diagram interaksi aksial tekan dan lentur dapat dilihat pada Gambar 4.66 berikut ini :



Gambar 4.66 Diagram Interaksi Dinding Geser

Pu	Mux	Muy	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	$\phi M_n/M_u$	NA Depth	dt Depth	ϵ_t	ϕ
kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
396.00	106.00	452.00	2194.00	9355.55	20.698	293	735	0.00420	0.831
1138.00	72.00	4522.00	952.23	59804.97	13.225	601	1720	0.00535	0.900
1935.00	86.00	2484.00	1422.66	41091.70	16.543	491	1335	0.00474	0.877
2729.00	70.00	5927.00	791.56	67022.77	11.308	651	1805	0.00516	0.900
3518.00	62.00	19590.00	263.95	83399.42	4.257	1029	3119	0.00602	0.900
4299.00	61.00	42343.00	125.09	86835.10	2.051	1470	4623	0.00643	0.900
5064.00	59.00	84689.00	62.03	89047.85	1.051	1974	6292	0.00656	0.900

Gambar 4.67 Hasil Analisis Interaksi Dinding Geser

1) Daerah Badan

Spasi tulangan longitudinal (s) = 150 mm

- Cek spasi tulangan maksimum

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.10.2 spasi tulangan dinding struktural maksimum 450 mm.

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 450 \text{ mm (Ok)}$$

- Rasio tulangan longitudinal (ρ_1)

$$\begin{aligned}\rho_1 &= n_{\text{lapis}} \times \frac{0,25 \times \pi \times d_1^2}{t_w \times s} \\ &= 2 \times \frac{0,25 \times 3,14 \times 22^2}{250 \times 150} \\ &= 2,03 \%\end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan minimum

$$\begin{aligned}\rho_1 &\geq \rho_{1 \text{ min}} \\ 2,03 \% &\geq 0,25 \% \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

2) Daerah Kolom

- Rasio tulangan longitudinal

$$\begin{aligned}\rho &= n \times \frac{0,25 \times \pi \times d_b^2}{b_k \times h_k} \\ &= 12 \times \frac{0,25 \times 3,14 \times 25^2}{600 \times 600} \\ &= 1,64 \%\end{aligned}$$

- Cek rasio tulangan kolom

$$\begin{aligned}1 \% &\leq \rho \leq 6 \% \\ 1 \% &\leq 1,64 \% \leq 6 \% \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

4.5.4.5. Pengecekan Kapasitas Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.10.4.1 untuk $\frac{h_u}{l_u} > 2$ maka :

$$\alpha_c = 0,17$$

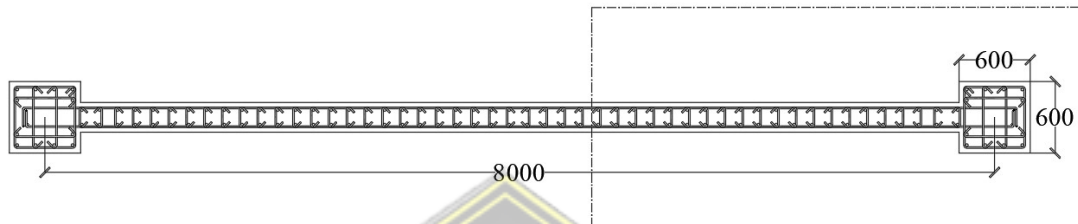
- Kuat Geser Dinding

$$\begin{aligned}V_n &= A_{cv} (\alpha_c \times \sqrt{f'_c} + \rho_1 \times f_y) \\ &= 2150000 \times (0,17 \times \sqrt{25} + 2,03\% \times 420) \\ &= 20125410 \text{ Nmm} \\ &= 20125,41 \text{ kNm}\end{aligned}$$

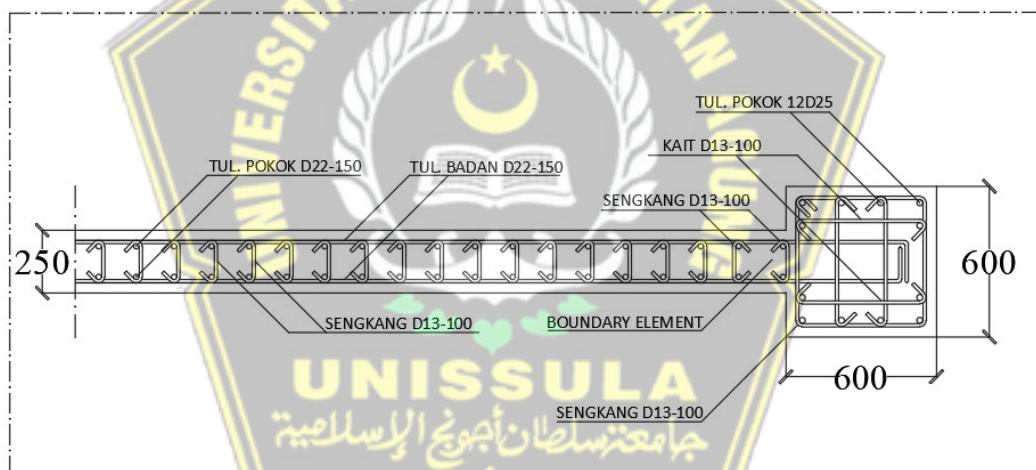
- Cek kapasitas geser

$$V_n \geq \frac{V_u}{\phi}$$

$$20125,41 \text{ kNm} \geq 19948,49 \text{ kNm (Ok)}$$



Gambar 4.68 Detail Penulangan Dinding Geser



Gambar 4.69 Detail Potongan Penulangan Dinding Geser

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan dalam Tugas Akhir dengan judul Perancangan Ulang Struktur Gedung Kantor Pemerintahan Terpadu Kabupaten Brebes dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil perancangan dimensi struktur yang memenuhi syarat didapatkan:
 - Perancangan dimensi Balok berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.3.1.1 tentang tinggi balok minimum dengan syarat ($\frac{l}{16}$) didapatkan dimensi balok pada bentang 8 m = B1 (400 x 600 mm) dan pada bentang 6 m = B2 (300 x 500 mm).
 - Perancangan dimensi Pelat berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1. Tentang ketebalan pelat minimum didapatkan tebal pelat sebesar 120 mm.
 - Perancangan dimensi Kolom berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2 tentang batasan dimensi kolom. Pada bangunan 7 lantai ini didapatkan kolom K1 (850 x 850 mm), K2 (650 x 850 mm), K3 (650 x 650 mm).
 - Perancangan dimensi Dinding Geser Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 11.3.1.1 tentang ketebalan minimum Dinding Geser didapatkan ketebalan Dinding Geser sebesar 250 mm.
2. Hasil perhitungan dan analisis sistem struktur yang memenuhi syarat SNI 1726:2019 didapatkan :
 - a. Berdasarkan lokasi bangunan yang terletak di daerah Brebes yang memiliki kelas situs tanah *SE* dengan nilai parameter percepatan respon spektral periode pendek (S_{Ds}) = 0,664 $\geq$ 0,5 dan nilai parameter percepatan respon spektral periode 1 detik (S_{D1}) = 0,605 $\geq$ 0,2 didapatkan KDS D.

- b. Dengan KSD D dimana dalam penggunaan Dinding Struktural Khusus tidak dibatasi oleh ketinggian gedung, syarat simpangan antar tingkat memenuhi dan syarat *frame* memikul 25% gaya seismik memenuhi sebagaimana yang diisyaratkan dalam SNI 1727:2019 Pasal 7.2.2 sehingga dapat digunakan struktur dengan Sistem Ganda (SRMPK dan Dinding Geser).
- c. Kontrol simpangan antar lantai untuk simpangan arah X maksimum sebesar 67,28 mm dengan simpangan izin 63,00 mm dan simpangan arah Y maksimum sebesar 65,68 mm dengan simpangan izin 63,00 mm. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1 simpangan antar lantai pada bangunan ini telah memenuhi syarat.
- d. Kontrol P-Delta untuk arah X didapatkan nilai terbesar 0,0169 dengan nilai P-Delta maksimum 0,091 dan arah Y didapatkan nilai terbesar 0,0154 dengan nilai P-Delta maksimum 0,091. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7 pengaruh P-Delta pada struktur ini telah memenuhi syarat.
- e. Analisis Sistem Ganda didapatkan gaya yang dapat dipikul oleh Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRMPK) untuk arah X sebesar 37,06 % dan arah Y sebesar 28,5 %. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.5.1 nilai tersebut telah memenuhi syarat untuk sistem ganda dimana Rangka Pemikul Momen kurang-kurangnya memikul 25% gaya seismik desain.
3. Hasil analisis perancangan penulangan berdasarkan kombinasi beban (*Envelope*) didapatkan :
- Perancangan penulangan Pelat dengan momen terbesar $M_u = 5,6 \text{ kNm}$ digunakan tulangan Ø10-200 yang telah memenuhi syarat tulangan minimum Pelat dalam SNI 2847:2019 Pasal 7.7.2.4.
 - Perancangan penulangan Balok dimensi terbesar yaitu B1(400 x 600 mm) dengan syarat tulangan lentur berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.5.1.1 ϕM_n Tumpuan = 424,54 kNm > M_u Tumpuan = 423,0838 kNm dan ϕM_n Lapangan = 360,52 kNm > M_u Lapangan = 323,5227 kNm telah memenuhi syarat dan

- syarat tulangan geser berdasarkan SNI 2847:2019 9.5.1.1 $\frac{\phi V_n}{V_u} \geq 1$ yaitu $2,2 \geq 1$ telah memenuhi syarat, sehingga digunakan tulangan lentur tumpuan atas 6D22, tulangan lentur lapangan bawah 5D22 dan tulangan Geser D10-100
- Perancangan penulangan Kolom dengan dimensi terbesar K1 (850 x 850 mm) dengan syarat (*Strong Column Weak Beam*) tulangan pokok $\sum M_{nc} = 2546,68$ kNm $\geq 1,2 \sum M_{nb} = 1056,304$ kNm telah memenuhi syarat dalam SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2 dan nilai V_e didapatkan sebesar 979,49 kNm sehingga digunakan tulangan pokok 24D25 dan tulangan geser 4D13-100.
- Dinding Geser dengan tebal 250 mm didapatkan $V_n = 20125,41$ kNm $\geq \frac{V_u}{\phi} = 19948,49$ kNm telah memenuhi syarat dalam SNI 2847:2019 Pasal 18.10, sehingga digunakan tulangan badan 2D22 – 150 dengan tulangan transversal D13-100.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil Tugas Akhir ini, beberapa saran yang bisa dilakukan apabila dimasa depan dilakukan penelitian lanjut :

1. Perlu dipahami lebih dalam sebelum melakukan perancangan struktur dengan mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomis, agar hasil perancangan yang didapat mendekati kondisi sesungguhnya di lapangan dan hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan perancangan yaitu kuat dan ekonomis.
2. Lebih teliti dan perlu paham dalam menggunakan program analisis seperti ETABS dan *SpColumn*, untuk mengurangi tingkat kesalahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional (2019) 'Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung', *SNI 1726*. Jakarta.
- DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM (1987) 'PEDOMAN PERENCANAAN PEMBEBANAN UNTUK RUMAH DAN GEDUNG', *PPIUG*.
- DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM (2021) *GAMBAR KERJA KANTOR PEMERINTAHAN TERPADU KABUPATEN BREBES*.
- Nasional, B.S. (2019) 'Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan', *SNI 2847*.
- Nasional, B.S. (2020) 'Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain', *SNI 1727*.
- Prawirodikromo, W. (2012) *SEISMOLOGI TEKNIK & REKAYASA KEGEMPAAN*. Yogyakarta: PUSTAKA PELAJAR.
- Sasimoto, D.H. (2017) *Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Kantor Graha Atmaja Dengan Metode Dual System di Daerah Resiko Gempa Tinggi*.
- Syahdiah, F. (2017) *STUDI PERBANDINGAN DESAIN STRUKTUR MENGGUNAKAN SISTEM RANGKA GEDUNG DENGAN SISTEM GANDA SESUAI SNI 1726:2012 DAN SNI 2847:2013*.

Wardana, M.R., Waluyo, R. and Simamora, Y. (2019) ‘Analisa Rekayasa Nilai Pekerjaan Struktur Balok Dan Kolom Bangunan Gedung (Studi Kasus Badan Penanaman Modal Dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Kota Palangka Raya)’, *Jurnal Teknika*, 2(2), pp. 101–111.

WIBAWANTO, W. (2017) *DESAIN DAN PEMROGRAMAN MULTIMEDIA PEMBELAJARAN INTERAKTIF*. Edited by D. Febiharsa. Jember: PENERBIT CERDAS ULET KREATIF.

Yusuf, M. and Sumarwan (2017) ‘Analisis Dan Perencanaan Masjid Raya Jawa Barat Plumbon Kabupaten Cirebon Dengan Menggunakan Struktur Beton SNI : 2847- 2013’, *Jurnal Konstruksi*, 6, p. 14.

