

TUGAS AKHIR
KAJIAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS
GEDUNG PERKULIAHAN FAKULTAS PETERNAKAN
UNIVERSITAS JAMBI



Disusun Oleh :
IBNU ABI HURAIRAH
NPM. 1700822201087

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BATANGHARI JAMBI

2023

HALAMAN PERSETUJUAN

KAJIAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS GEDUNG PERKULIAHAN FAKULTAS PETERNAKAN UNIVERSITAS JAMBI



Disusun Oleh:

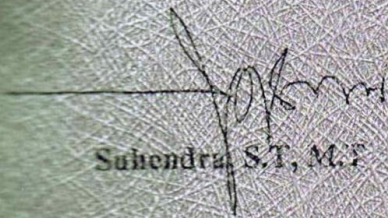
Itnu Ahi Hurairah

1709822201087

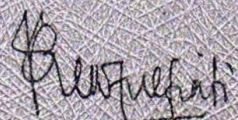
Dengan Ini Dosen Pembimbing Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Batanghari menyatakan Tugas Akhir dengan Judul dan Penyusun Sebagaimana Di Atas Telah Disetujui Sesuai Prosedur, Ketentuan dan Kelaziman yang Berlaku.

Jambi, Maret 2023

Dosen Pembimbing I


Suhendra, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing II


Ria Zulfiati, S.T., M.T.

HALAMAN PENGESAHAN
KAJIAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS
GEDUNG PERKULIAHAN FAKULTAS PETERNAKAN
UNIVERSITAS JAMBI

Tugas Akhir ini telah dipertahankan di hadapan Panitia Penguji Ujian Tugas Akhir dan Komprehensif dan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Batanghari.

Nama : Ibnu Abi Hurairah

NPM : 1700822201087

Hari/Tanggal Ujian : Jum'at/17 Maret 2023

Jam : 14.00 s/d selesai

Tempat : Ruang Sidang Fakultas Teknik

Jabatan

Nama

Tanda Tangan

Ketua : Dr. Ir. H. Amsoni M. Das, M. Eng.

Sekretaris : Ria Zulfiati, S.T., M.T.

Penguji I : Dr. Ir. H. Fakhru Rozi Yamali, M.E.

Penguji II : Ir. Wari Dony, S.T., M.T.

Penguji III : Suhendra, S.T., M.T.

Disahkan Oleh :

Dean Fakultas Teknik

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. H. Fakhru Rozi Yamali, M.E.

Ir. Elvira Handayani, S.T., M.T.

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN



Yang Bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ibnu Abi Hurairah

Npm : 1700822201087

Judul : Kajian Struktur Bangunan Atas Gedung

Perkuliahan Fakultas Peternakan

Universitas Jambi

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Laporan Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Batanghari Jambi sesuai aturan yang berlaku. Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun

Jambi, April 2023



Ibnu Abi Hurairah

**KAJIAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS GEDUNG
PERKULIAHAN FAKULTAS PETERNAKAN UNIVERSITAS JAMBI**

Ibnu Abi Hurairah

Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi

Email: Ibnuabihurairahst@gmail.com

Abstrak

Perkembangan infrastruktur di Indonesia menuntut gedung bertingkat tinggi memiliki ketahanan terhadap beban gempa untuk menjamin keamanan dan kenyamanan pengguna. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji struktur atas (*upper structure*) pada Gedung Perkuliahan yang meliputi perencanaan balok, kolom dan pelat beton bertulang. Analisis dilakukan dengan pedoman SNI 1727:2020 untuk pembebanan, SNI 1726:2019 untuk ketahanan gempa, dan SNI 2847:2019 untuk persyaratan beton struktural.

Metode penelitian menggunakan pemodelan 3D melalui *software* ETABS 2018 untuk menghitung gaya-gaya dalam dan simpangan antar lantai. Hasil analisis menunjukkan bahwa partisipasi massa ragam terkombinasi mencapai 99%, memenuhi ketentuan SNI 1726:2019. Dimensi kolom yang digunakan adalah 60 cm x 60 cm dengan kuat tekan beton (f'_c) 30 MPa.

Kata Kunci : Struktur Atas, ETABS 2018, Beton Bertulang, Beban Gempa, SNI 1726:2019.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Kajian Struktur Bangunan Atas Gedung Perkuliahan Fakultas Peternakan Universitas Jambi** dengan baik.

Kepada kedua orang tua saya, Ayahanda Asnawi Yusuf dan Ibunda Nurpisah beserta abang, kakak dan ponakan yang telah memberikan do'a serta dukungan untuk penulis dalam melaksanakan studi dan Tugas Akhir ini.

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis yang harus diselesaikan oleh mahasiswa/i guna memenuhi persyaratan kurikulum, untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada (S-1) Program Studi Teknik Sipil Universitas Batanghari.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik moril maupun materil. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. H. Fakhrol Rozi Yamali, M.E selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Batanghari, Jambi.
2. Bapak Drs. G.M. Saragih, M.Si selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Batanghari, Jambi.

3. Ibu Ria Zulfiati, S.T , M.T selaku Wakil Dekan II sekaligus Dosen Pembimbing II Fakultas Teknik Universitas Batanghari, Jambi.
4. Bapak Ir. Wari Dony, S.T , M.T selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Batanghari, Jambi.
5. Ibu Ir. Elvira Handayani, S.T , M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Batanghari, Jambi.
6. Bapak Suhendra, S.T , M.T selaku Dosen Pembimbing I.
7. Kepada teman-teman Tongkrongan Bandrek dan Rumah Kita (RK) yang telah membantu dan memberikan semangat untuk penulis.

Penulis menyadari bahwa penulisan dan penyusunan Proposal Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, maka dari itu penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk penyempurnaan Proposal Tugas Akhir ini, semoga dapat bermanfaat untuk semua pihak. Penulis mohon maaf apabila terdapat kekeliruan dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir ini. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Jambi, April 2023

Ibnu Abi Hurairah

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Landasan SNI yang Dipakai	5

2.3	Struktur Bangunan Atas (<i>Upper Structure</i>)	6
2.4	Struktur Bangunan Bawah (<i>Lower Structure</i>)	13
2.5	Pembebanan	14
2.6	Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)	24
2.7	Ketidakteraturan Horizontal	25
2.8	Ketidakteraturan Vertikal	26
2.9	Perpindahan dan Simpangan Antar Lantai	28
2.10	Kombinasi Beban	29
2.11	Kekuatan Desain	29
2.12	ETABS (<i>Extended Three Analysis Building System</i>) 2018.....	32
2.13	PCA Column.....	31
2.14	Penelitian Terdahulu	32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Deskripsi Penelitian	34
3.2	Metode Analisis	34
3.3	Bagan Alir	35
3.4	Data Perencanaan	36
3.5	Geometri Struktur.....	37
3.6	Pembebanan Struktur	39

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

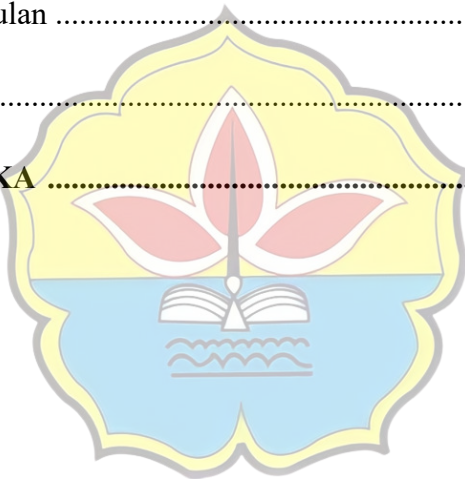
4.1	Beban Yang Diperhitungkan.....	41
4.2	Dimensi Elemen Struktur	41
4.3	Analisis Beban Gempa	56
4.4	Perhitungan Struktur	59
4.5	Perhitungan Penulangan.....	100

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	187
5.2	Saran.....	188

DAFTAR PUSTAKA	189
-----------------------------	------------

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tebal minimum & $A_{s,Min}$ Pelat Satu Arah	10
Tabel 2.1 Tebal minimum & $A_{s,Min}$ Pelat Satu Arah (Lanjutan)	11
Tabel 2.2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa	17
Tabel 2.3 Faktor Keutamaan Gempa	18
Tabel 2.4 Klasifikasi Situs	19
Tabel 2.5 Koefisien Situs, F_a	21
Tabel 2.6 Koefisien Situs, F_v	21
Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	23
Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik	23
Tabel 2.9 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur	25
Tabel 2.10 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur	27
Tabel 2.11 Perpindahan Simpang Antar Lantai	28
Tabel 2.12 Faktor Reduksi Kekuatan	30
Tabel 3.1 Data Perencanaan	36
Tabel 4.1 Beban Mati Lantai	54
Tabel 4.2 Beban Mati Atap	54
Tabel 4.3 Beban Hidup Atap	54
Tabel 4.4 Beban Hidup Lantai	55
Tabel 4.5 Perhitungan Respon Spektrum Gempa	57
Tabel 4.6 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik	58
Tabel 4.7 Pembebanan Balok Induk	60
Tabel 4.8 Pembebanan Kolom	60
Tabel 4.9 Pembebanan Lantai	61
Tabel 4.10 Pembebanan Balok	62
Tabel 4.11 Pembebanan Tambahan Dinding	62

Tabel 4.12 Pembebanan Tambahan.....	62
Tabel 4.13 Pembebanan Tangga.....	63
Tabel 4.14 Pembebanan Ramp	63
Tabel 4.15 Pembebanan Tambahan Tangga.....	63
Tabel 4.16 Pembebanan Tambahan Ramp	64
Tabel 4.17 Pembebanan Hidup.....	64
Tabel 4.18 Total Beban Struktur Lantai 1	64
Tabel 4.19 Pembebanan Balok Induk.....	66
Tabel 4.20 Pembebanan Balok Anak	66
Tabel 4.21 Pembebanan Kolom	67
Tabel 4.22 Pembebanan Lantai	67
Tabel 4.23 Pembebanan Dinding	68
Tabel 4.24 Pembebanan Tambahan Dinding.....	69
Tabel 4.25 Pembebanan Tambahan.....	69
Tabel 4.26 Pembebanan Tangga.....	69
Tabel 4.27 Pembebanan Ramp	70
Tabel 4.28 Pembebanan Tambahan Tangga.....	70
Tabel 4.29 Pembebanan Tambahan Ramp	70
Tabel 4.30 Pembebanan Hidup.....	71
Tabel 4.31 Total Beban Struktur Lantai 2	71
Tabel 4.32 Pembebanan Balok Induk.....	73
Tabel 4.33 Pembebanan Balok Anak	73
Tabel 4.34 Pembebanan Kolom	74
Tabel 4.35 Pembebanan Lantai	74
Tabel 4.36 Pembebanan Dinding	75
Tabel 4.37 Pembebanan Tambahan Dinding.....	76
Tabel 4.38 Pembebanan Tambahan.....	76
Tabel 4.39 Pembebanan Tangga.....	76
Tabel 4.40 Pembebanan Ramp	77
Tabel 4.41 Pembebanan Tambahan Tangga.....	77
Tabel 4.42 Pembebanan Tambahan Ramp	77

Tabel 4.43 Pembebanan Hidup.....	78
Tabel 4.44 Total Beban Struktur Lantai 3	78
Tabel 4.45 Pembebanan Balok Induk.....	80
Tabel 4.46 Pembebanan Balok Anak	80
Tabel 4.47 Pembebanan Kolom	81
Tabel 4.48 Pembebanan Lantai	81
Tabel 4.49 Pembebanan Dinding	82
Tabel 4.50 Pembebanan Tambahan Dinding.....	83
Tabel 4.51 Pembebanan Tambahan.....	83
Tabel 4.52 Pembebanan Tangga.....	83
Tabel 4.53 Pembebanan Ramp	84
Tabel 4.54 Pembebanan Tambahan Tangga.....	84
Tabel 4.55 Pembebanan Tambahan Ramp	84
Tabel 4.56 Pembebanan Hidup.....	85
Tabel 4.57 Total Beban Struktur pada Lantai 4	85
Tabel 4.58 Pembebanan Balok Induk.....	85
Tabel 4.59 Pembebanan Kolom	86
Tabel 4.60 Pembebanan Terpusat pada Atap	86
Tabel 4.61 Total Beban Struktur pada Lantai 5	87
Tabel 4.62 Rekapitulasi Pembebanan Struktur	87
Tabel 4.63 Pemeriksaan Pembebanan	88
Tabel 4.64 Kombinasi beban.....	88
Tabel 4.65 Rekapitulasi Hasil MPMR	89
Tabel 4.66 Hasil Perhitungan Faktor Skala.....	92
Tabel 4.67 Hasil <i>Drift</i> Struktur.....	93
Tabel 4.68 Pengaruh P-Delta.....	95
Tabel 4.69 Hasil Perhitungan Ketidakberaturan Torsi	96
Tabel 4.70 Hasil Perhitungan Ketidakberaturan Sudut Dalam	97
Tabel 4.71 Hasil Perhitungan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak.....	98
Tabel 4.72 Hasil Pengecekan Ketidakberaturan Berat (Massa)	99
Tabel 4.73 Pengecekan Ketidakberaturan Ketidakberaturan Kuat Lateral	100

Tabel 4.74 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai 1	108
Tabel 4.75 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai 2	111
Tabel 4.76 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai 3	114
Tabel 4.77 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai 4	117
Tabel 4.88 Hasil Perhitungan Kapasitas Momen Lantai 2	142
Tabel 4.89 Hasil Perhitungan Kapasitas Momen Lantai 3	148
Tabel 4.90 Hasil Perhitungan Kapasitas Momen Lantai 3	158
Tabel 4.91 Hasil Perhitungan Kapasitas Momen Lantai 4	164
Tabel 4.92 Hasil Perhitungan Kapasitas Momen Lantai 4	173
Tabel 4.93 Hasil Perhitungan Kapasitas Momen Lantai 5	183



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Bagan Alir (Flow Chart).....	35
Gambar 3.2 Pemodelan 3D Struktur Bangunan	37
Gambar 3.3 Pemodelan Tangga	37
Gambar 3.4 Pemodelan Ramp.....	38
Gambar 3.5 Tampak Depan.....	38
Gambar 3.6 Tampak Samping Kiri.....	39
Gambar 4.1 Dimensi Balok	42
Gambar 4.2 Denah Plat Lantai	43
Gambar 4.3 Plat Lantai.....	44
Gambar 4.4 Balok <i>Eksterior</i> (Balok Induk)	45
Gambar 4.5 Balok <i>Interior</i> (Balok Induk).....	46
Gambar 4.6 Balok <i>Interior</i> (Balok Anak)	47
Gambar 4.7 Balok Penampang Pelat <i>Eksterior</i> (Balok Induk).....	49
Gambar 4.8 Balok Penampang Pelat <i>Interior</i> (Balok Induk)	50
Gambar 4.9 Balok Penampang Pelat <i>Interior</i> (Balok Anak).....	51
Gambar 4.10 Denah Kolom Yang Mewakili Perhitungan.....	53
Gambar 4.11 Grafik Respon Spektrum Desain	56
Gambar 4.13 Denah Pelat Lantai 2.....	65
Gambar 4.14 Denah Pelat Lantai 3	72
Gambar 4.15 Denah Pelat Lantai 4.....	79
Gambar 4.16 Grafik Hasil <i>drift</i> pada Struktur.....	93
Gambar 4.17 Grafik Pengaruh P-Delta pada Struktur.....	95
Gambar 4.18 Koefisien Momen untuk Pelat Terjepit keempat Sisi	101
Gambar 4.19 Penulangan Pelat Lantai 1	109
Gambar 4.20 Koefisien Momen untuk Pelat Terjepit kedua Sisi	110
Gambar 4.21 Penulangan Pelat Lantai 2	112
Gambar 4.22 Koefisien Momen untuk Pelat Terjepit kedua Sisi	113

Gambar 4.23 Penulangan Pelat Lantai 3	115
Gambar 4.24 Koefisien Momen untuk Pelat Terjepit ketiga Sisi.....	116
Gambar 4.25 Penulangan Pelat Lantai 4	118
Gambar 4.26 Diagram <i>Envelope Moment</i>	119
Gambar 4.27 Penulangan Balok Lantai 1	124
Gambar 4.28 Detail Penampang Balok Lantai 1	132
Gambar 4.29 Diagram Momen <i>Max & Min</i>	133
Gambar 4.30 Penulangan Balok Lantai 2.....	138
Gambar 4.31 Detail Penampang Balok Lantai 2	142
Gambar 4.32 Diagram <i>Envelope Moment</i>	143
Gambar 4.33 Penulangan Balok Lantai 3	148
Gambar 4.35 Diagram <i>Envelope Moment</i>	149
Gambar 4.36 Penulangan Balok Lantai 3	153
Gambar 4.37 Detail Penampang Balok Lantai 3	158
Gambar 4.38 Diagram <i>Envelope Moment</i>	159
Gambar 4.39 Penulangan Balok Lantai 4.....	163
Gambar 4.40 Detail Penulangan Balok Lantai 4	164
Gambar 4.41 Diagram <i>Envelope Moment</i>	165
Gambar 4.42 Penulangan Balok Lantai 4.....	169
Gambar 4.43 Detail Penampang Balok Lantai 4	173
Gambar 4.44 Diagram <i>Envelope Moment</i>	174
Gambar 4.45 Penulangan Balok Lantai 5	179
Gambar 4.46 Detail Penampang Balok Lantai 5/Atap	183
Gambar 4.47 Hasil <i>SpColumn</i> Diagram Iteraksi Kolom	184
Gambar 4.48 Hasil Input Beban pada <i>SpColumn</i>	185
Gambar 4.49 Detail Penampang Kolom.....	186

DAFTAR NOTASI

A	: Luas penampang kolom (m^2)
A_{og}	: Luas total bukaan pada amplop bangunan gedung
I	: Momen inersia (m^4)
D	: Beban mati
E	: Beban gempa
f_y	: Kuat leleh tulangan
h	: Tebal pelat lantai (mm)
I_e	: Faktor keutamaan gempa
K_d	: Faktor arah angin
L	: Beban hidup
L_r	: Beban hidup atap
M_1	: Momen kecil pada ujung kolom (kNm)
M_2	: Momen besar pada ujung kolom (kNm)
R	: Beban Hujan
r	: Radius girasi atau jari – jari inersia penampang kolom (m)
S_{DS}	: Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek
S_{D1}	: Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik
S_s	: Parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode pendek
S_1	: Parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik



U : Kuat perlu

V : Kecepatan angin dasar

V_i : Volume internal ruang tanpa partisi (ft³)

W : Beban angin

$\emptyset$: Faktor Reduksi

ℓ_n : Panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpukan (mm)

α_{fm} : Nilai rata – rata α_f untuk semua balok pada tepi panel

β : Rasio bentang bersih pelat arah panjang terhadap arah pendek

$\lambda_{n,k}$: Panjang bersih kolom (m)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan semakin berkembangnya infrastruktur di Indonesia, sudah seharusnya gedung bertingkat tinggi memiliki ketahanan terhadap beban gempa. Hal ini tentu sangat mempengaruhi keamanan dan kenyamanan dalam penggunaan gedung yang direncanakan. Dalam lingkungan sekitar, sangat banyak bangunan bertingkat yang memiliki berbagai macam dimensi yang terdiri dari pondasi, balok, kolom dan lainnya. Dimana hal tersebut merupakan salah satu elemen penting dalam struktur bangunan.

Oleh karena itu, penulis melakukan kajian pada struktur atas bangunan, baik itu dimensi, pembebanan dan gaya-gaya yang bekerja pada struktur bangunan. Selain itu, penulis juga menganalisa beban gempa pada bangunan yang ditinjau, hal ini guna untuk meminimalisir terjadinya keruntuhan struktur yang diakibatkan oleh gempa bumi.

Struktur bangunan sendiri terdiri atas dua jenis, yakni struktur bawah (*lower structure*) dan struktur atas (*upper structure*). Struktur bawah merupakan bagian-bagian bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah, contohnya seperti pondasi, sloof dan lain-lain. Sedangkan struktur atas merupakan yang berfungsi sebagai penopang atap dan berbentuk vertikal. Contoh struktur ini adalah balok, kolom, pelat lantai serta rangka kuda-kuda. Pada penelitian yang dilakukan ini, penulis meneliti gedung bertingkat yang berfungsi sebagai gedung perkuliahan.

Penulis meneliti struktur atas gedung tersebut, hal ini dikarenakan struktur atas merupakan bagian yang cukup rawan ketika terjadi gempa bumi. Untuk memudahkan penulis dalam melakukan perhitungan, penulis menggunakan bantuan *software* ETABS 2018 dan *Microsoft Excel*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara merencanakan struktur bangunan gedung bertingkat berdasarkan peraturan SNI terbaru?
2. Bagaimana cara merencanakan elemen struktur beton bertulang?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk dapat merencanakan bangunan gedung bertingkat berdasarkan peraturan SNI terbaru.
2. Untuk dapat merencanakan elemen struktur beton bertulang.

1.4 Batasan Masalah

1. Struktur yang penulis teliti merupakan gedung perkuliahan salah satu Perguruan Tinggi Negeri di Provinsi Jambi.
2. Struktur yang diteliti oleh penulis merupakan struktur atas yang meliputi perencanaan balok, kolom dan pelat beton.
3. Analisa pembebanan, gaya – gaya dalam, perhitungan struktur, pengecekan ketidakberaturan dan kontrol simpangan atas dan bawah menggunakan bantuan Program ETABS 2018.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Penulis berharap agar peneletian ini dapat dijadikan referensi untuk pelaku konstruksi dalam merencanakan suatu struktur bangunan bertingkat.
2. Diharapkan agar penelitian ini menjadi salah satu referensi bagi sesama mahasiswa Tekni Sipil dan pelaku konstruksi.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas Akhir ini terdiri dari 5 (lima) bab, dimana pada masing – masing bab membahas hal – hal sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini membahas tentang teori-teori yang mendukung dalam proses penyusunan penelitian mengenai kajian ulang struktur atas bangunan bertingkat. Teori – teori yang ada dalam penelitian ini diambil dari berbagai macam sumber.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

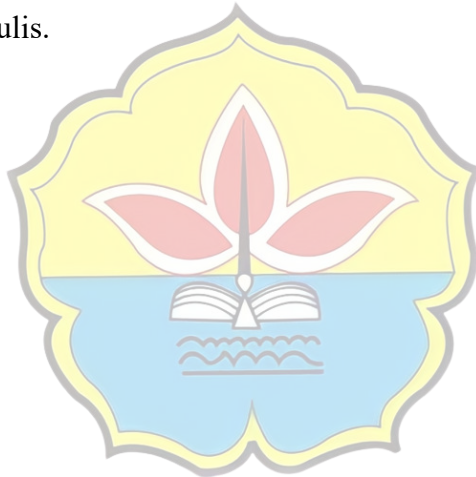
Pada bab ini membahas tentang metodologi yang digunakan dalam melakukan penelitian, mulai dari sumber data, cara pengumpulan data, proses analisis data dan tahapan penelitian.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang perhitungan struktur (beban yang diperhitungkan, dimensi, perhitungan pembebanan, analisa gempa rencana, prarencana (pemodelan struktur) dan perhitungan struktur meliputi penentuan perioda gempa, berat struktur, serta penulangan balok, pelat, kolom dan perencanaan atap.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil perhitungan yang dilakukan oleh penulis.



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Umum

Perencanaan struktur adalah memiliki tujuan untuk menghasilkan suatu struktur yang kuat, kokoh dan stabil. Struktur bangunan dikatakan stabil apabila bangunan tidak mudah miring, tergeser atau runtuh selama umur bangunan yang direncanakan. Pada struktur bangunan atas, kolom merupakan komponen yang sangat penting, apabila kolom ini mengalami kegagalan maka akan berakibat keruntuhan struktur bangunan atas secara keseluruhan (Ali Asroni, 2010).

2.2 Standar yang digunakan

Pada perencanaan struktur gedung bertingkat, harus mempunyai pedoman pada syarat dan ketentuan yang tercantum didalam SNI perencanaan gedung. Adapun syarat, ketentuan beserta rumus yang berlaku pada SNI, antara lain:

1. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain SNI 1727 : 2020
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung SNI 1726 : 2019
3. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847 : 2019
4. Baja Tulangan Beton SNI 2052 : 2017

Pada bangunan bertingkat, struktur bangunan terbagi menjadi 2 yaitu struktur bangunan atas dan struktur bangunan bawah.

2.3 Struktur Bangunan Atas (*Upper Structure*)

Struktur bangunan atas adalah bagian dari struktur bangunan yang berada dipermukaan tanah seperti balok, kolom, plat lantai dan atap.

2.3.1 Balok

Balok yaitu bagian struktur yang digunakan sebagai dudukan lantai dan pengikat kolom lantai atas. Balok mempunyai karakteristik internal yang lebih rumit dalam memikul beban dibandingkan dengan jenis elemen struktur lainnya. Balok dengan tumpuan jepit memikul beban terpusat di tengah bentang dua kali lebih besar dari pada balok yang sama tapi ujungnya tidak jepit. Prinsip desain tiap balok berbeda, seperti desain balok kayu yang dipengaruhi oleh sifat kayu yang mempunyai kemampuan untuk memikul tegangan besar dalam waktu singkat. Desain balok baja, didesain berdasarkan beban kerja dan tegangan izin. Balok yang digunakan bisa berupa penampang *wide flens*, kanal atau tersusun atas elemen – elemen (pelat/siku). Desain balok beton tidak dapat digunakan sendiri pada balok karena sangat kecil kekuatan tariknya dan arena sifat getasnya.

Balok berfungsi sebagai penyangga bangunan yang berada di atasnya, seperti pelat dan atau atap. Balok juga merupakan penyangga beban struktural bangunan yang terdistribusi pada arah horizontal.

Secara umum balok terdiri dari 2 yaitu Balok Induk dan Balok Anak.

a. Balok Induk

Balok induk merupakan penyangga utama pada struktur bangunan yang mengikat kolom – kolom pada bangunan secara rigid. Gaya – gaya yang bekerja melalui kolom bangunan, seluruhnya didistribusikan ke pondasi.

b. Balok Anak

Balok anak berfungsi sebagai pembagi/pendistribusi beban. Ujung – ujung balok anak terhubung pada balok induk, meskipun ukurannya lebih kecil daripada balok induk. Balok anak berguna untuk mendukung bentang kerja optimal dari pelat lantai dan penggunaan komponen ini sangat penting.

2.3.2 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996 dalam judul buku “Perancangan dan Analisis Kolom Beton Bertulang”). Sedangkan, menurut SK SNI T-15-1991-03 mendefenisikan kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya memikul beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil.

Menurut Ali Asroni, 2010, menyebutkan bahwa dalam perencanaan kolom, adapun jenis kolom yang bisa digunakan pada perencanaan struktur bangunan. Yaitu kolom pendek dan kolom langsing (panjang).

a) Kolom Pendek

Kolom dan tingkat struktur bangunan terutama pada kolom pendek, dikelompokkan menjadi kolom bergoyang dan tidak bergoyang. Sesuai dengan

pasal 12.12 SNI 03-2847-2002, suatu kolom disebut kolom pendek apabila memenuhi syarat sebagai berikut:

1) Kolom yang tak dapat bergoyang goyang (pasal 12.12.2):

$$\frac{k \cdot \lambda_{n,k}}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

2) Kolom yang dapat bergoyang goyang (pasal 12.13.2):

$$\frac{k \cdot \lambda_{n,k}}{r} \leq 22$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Dengan :

k = Faktor panjang efektif kolom

$\lambda_{n,k}$ = Panjang bersih kolom (m)

r = Radius girasi atau jari – jari inersia penampang kolom (m)

= 0,3h (jika kolom berbentuk persegi)

M_1 dan M_2 = Momen kecil dan besar pada ujung kolom (kNm)

I dan A = Momen inersia dan luas penampang kolom (m⁴ dan m²)

b) Kolom Langsing (Panjang)

Kolom panjang atau nama lainnya kolom langsing atau kolom kurus, biasanya kegagalan pada kolom panjang ini terjadi tekukan yang besar sehingga patah. Kolom panjang juga dibedakan menjadi 2, yaitu: kolom tak dapat

bergoyang dan kolom dapat bergoyang. Untuk mengetahui apakah kolom tersebut adalah kolom panjang, jika tidak memenuhi syarat sebagai berikut:

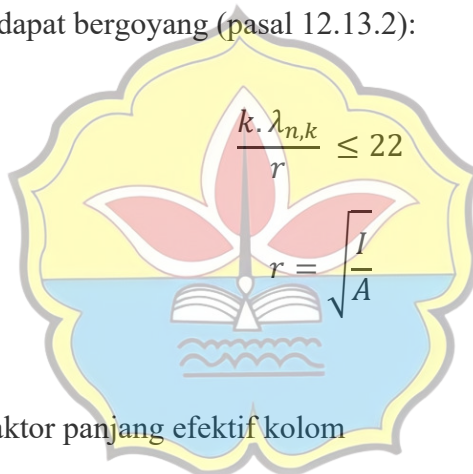
1) Kolom yang tak dapat bergoyang goyang (pasal 12.12.2):

$$\frac{k \cdot \lambda_{n,k}}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_{u1}}{M_{u2}} \right)$$

Dengan suku $\left[34 - 12 \cdot \left(\frac{M_{u1}}{M_{u2}} \right) \right] \leq 40$

M_{u1}/M_{u2} , jika kolom melentur dengan lengkungan tunggal maka bernilai positif dan apabila kolom melentur lengkungan ganda bernilai negatif.

2) Kolom yang dapat bergoyang (pasal 12.13.2):



Dengan :

k = Faktor panjang efektif kolom

$\lambda_{n,k}$ = Panjang bersih kolom (m)

r = Radius girasi atau jari – jari inersia penampang kolom (m)

= 0,3h (jika kolom berbentuk persegi)

= 0,25 x diameter kolom (jika kolom berbentuk bulat)

M_1 dan M_2 = Momen kecil dan besar pada ujung kolom (kNm)

I dan A = Momen inersia dan luas penampang kolom (m⁴ dan m²)

2.3.3 Pelat Lantai

Pelat lantai adalah lantai yang tidak terletak di atas tanah langsung elemen merupakan lantai tingkat. Pelat lantai didukung oleh balok – balok yang bertumpu pada kolom – kolom bangunan yang mendukung beban mati maupun beban hidup dan menyalurkan ke tulangan arah vertikal dari sistem struktur. Pelat lantai mempunyai fungsi untuk memisahkan bagian – bagian dari lantai secara mendatar, memindahkan beban pada dinding, mencegah perambatan gempa suara, isolasi terhadap pertukaran temperatur.

Sistem perencanaan pelat beton bertulang dibagi menjadi 2 macam, yaitu :

a. Penulangan Pelat Satu Arah

Menurut Ali Asroni (2010) dalam judul buku “Balok dan Pelat Beton Bertulang”, pelat dengan tulangan pokok satu arah ini akan dijumpai jika pelat beton lebih dominan menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang satu arah saja. Contoh pelat satu arah adalah pelat kantilever.

Berdasarkan Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2019, untuk tebal minimum (h) pelat dapat dilihat pada tabel berikut ini :

**Tabel 2.1 Ketebalan minimum
pelat solid satu arah nonprategang**

Kondisi Tumpuan	$h^{[1]}$ minimum
Tumpuan sederhana	$\ell/20$
Satu ujung menerus	$\ell/24$
Kedua ujung menerus	$\ell/28$
kantilever	$\ell/10$

Angka ini berlaku untuk beton normal dan $f_y = 420$ Mpa. Untuk kasus lain, ketebalan minimum harus dimodifikasi sesuai 7.3.1.1.1 hingga 7.3.1.1.3

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 7.3.1.1.1

**Tabel 2.1 Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang
(Lanjutan)**

Tipe Tulangan	F_y , Mpa		$A_s \text{ min}$
Batang Ulir	< 420		$0,0020 A_g$
Batang Ulir atau Kawat Las	≥ 420	Terbesar dari:	$\frac{0,0018 \times 420}{F_y} A_g$ $0,0014 A_g$

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 7.3.1.1.1

b. Penulangan Pelat Dua Arah

Menurut Ali Asroni (2010), pelat dengan tulangan pokok dua arah ini dapat dijumpai jika pelat beton menahan beban berupa momen lentur pada bentang dua arah yang ditumpu 4 sisi yang saling sejajar. Karena momen lentur bekerja pada 2 arah yaitu, searah bentang l_y dan l_x .

Berdasarkan Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2019, untuk tebal minimum (h) pelat dapat dilihat pada tabel berikut ini :

- (a) Untuk α_{fm} yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan tebal minimum pelat satu arah
- (b) Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, h tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \dots\dots\dots (1)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm;

(c) Untuk αf_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots (2)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

Keterangan :

h : Tebal pelat lantai (mm)

ℓ_n : Panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpukan (mm)

f_y : Kuat leleh tulangan

αf_m : Nilai rata – rata αf untuk semua balok pada tepi panel

β : Rasio bentang bersih pelat dalam arah panjang terhadap arah pendek

2.3.4 Atap

Atap adalah bagian dari suatu bangunan yang letaknya pada bagian paling atas. Atap berfungsi untuk melindungi gedung dan penghuninya dari cuaca dan benda - benda lain yang mungkin akan mengganggu kenyamanan dan keamanan. Perencanaan bentuk model atap haruslah diperhitungkan dan harus mendapat perhatian yang khusus dari perencana (arsitek). Atap umumnya terdiri dari dua bagian, yaitu:

1. Penopang atap atau kuda – kuda, bagian ini dapat berasal dari balok kayu atau baja yang disusun membentuk segitiga.
2. Rangka atap, berfungsi untuk menahan beban dari bahan penutup.

2.4 Struktur Bangunan Bawah (*Sub Structure*)

Struktur bangunan bawah sebagai pondasi yang berada langsung di tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul beban pada struktur bangunan atas yang terdiri dari pondasi, sloof dan basement.

2.4.1 Pondasi

Pondasi merupakan bagian bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah yang berfungsi memikul beban – beban dari semua unsur bangunan yang ada di atasnya. Untuk menghindari kegagalan pondasi, maka bangunan pondasi harus berada pada lapisan tanah yang cukup keras, padat dan kuat untuk mendukung beban bangunan tanpa menimbulkan penurunan pada tanah. Pondasi ini harus diperhitungkan sedemikian rupa untuk menjamin keamanan, kenyamanan dan kestabilan bangunan. Pondasi juga harus kuat terhadap perubahan cuaca dan pengaruh bahan kimia. Untuk mengetahui kedalaman tanah keras dan daya dukung tanah, maka perlu dilakukan dengan cara: pemboran (*Drilling*), percobaan penetrasi (*penetration test*) dengan menggunakan sondir.

2.4.2 Basement

Basement adalah sebuah tingkat atau beberapa tingkat dari bangunan yang terletak di bawah tanah. Basement digunakan untuk memaksimalkan penggunaan lahan yang semakin padat dan juga tidak semua bangunan memiliki basement. Sebagai struktur bangunan bawah, pelaksanaan konstruksi basement perlu dilakukan dengan memperhitungkan banyak hal dari segi aspek teknis, aspek

lingkungan dan yang paling berpengaruh pada umur basement adalah mutu pekerjaan itu sendiri.

2.4.3 Sloof

Jika balok adalah penguat vertikal untuk lantai atas dan atap, maka sloof adalah struktur bangunan yang berada di atas pondasi, yang berfungsi membantu menahan beban yang diterima oleh pondasi.

2.5 Pembebanan

Untuk menjalankan fungsinya, setiap struktur bangunan pasti akan menerima beban dari luar yang harus dipikul. Beban yang harus dipikul pada struktur bangunan yaitu beban sendiri struktur, beban akibat fungsi struktur dan beban akibat gempa. Dalam melakukan analisis dan desain pada struktur bangunan, diperlukan gambaran perilaku beban yang bekerja pada struktur. Adapun pembebanan yang diterima oleh struktur bangunan, yaitu:

2.5.1 Beban Statis

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus – menerus pada suatu struktur. Beban statis juga diasumsikan dengan beban – beban yang secara perlahan timbul dengan variabel tetap. Seperti beban mati dan beban hidup.

2.5.2 Beban Dinamis

Beban dinamis adalah beban yang bekerja secara tiba – tiba pada struktur. Umumnya beban ini bersifat tidak tetap serta mempunyai karakteristik dan besaran yang cepat berubah, serta deformasi pada struktur juga berubah dengan cepat akibat beban dinamik. Beban dinamis itu seperti beban akibat gempa dan angin.

2.5.3 Beban Mati (*Dead Load/DL*)

Menurut SNI 1727:2020 beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing* dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

2.5.4 Beban Hidup (*Live Load/LL*)

Menurut SNI 1727:2020 beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lainnya yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir dan atau beban mati. Beban hidup terbagi menjadi 2 bagian yaitu beban hidup merata dan beban hidup terpusat.

a. Beban Hidup Merata

Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur dengan beban harus maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata yang ditetapkan.

b. Beban Hidup Terpusat

Lantai, atap dan permukaan sejenisnya harus dirancang untuk mendukung dengan aman beban hidup terpusat. Beban terpusat yang ditunjukkan harus diasumsikan bekerja merata pada daerah seluas 2,5 ft x 2,5 ft (762 mm x 762 mm) dan harus di tempatkan sedemikian rupa sehingga menghasilkan efek beban maksimum dalam komponen struktur.

2.5.5 Beban Gempa

Beban gempa yaitu sebagian besar gempa bumi disebabkan oleh dari pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan yang dilakukan oleh lempeng yang bergerak.

Menurut SNI 1726:2019 gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Dalam menganalisis beban gempa harus menggunakan metode yang rasional dengan prinsip – prinsip Mekanika Teknik. Asumsi mengenai kekakuan, kekuatan dan redaman dari komponen sambungan dianalisis harus berdasarkan standar yang telah ditentukan.

a. Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Adapun setiap struktur bangunan gedung dan non gedung, memiliki berbagai kategori resiko yang sesuai dengan Tabel 3 SNI 1726:2019 pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa I_e Tabel 4 SNI 1726:2019.

Tabel 2.2 Kategori Resiko 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:	I
- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan	
Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 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	III
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	

Tabel 2.2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa (Lanjutan)

Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.

Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:

- Bangunan-bangunan monumental
- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan
- Rumah ibadah
- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat
- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya
- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat
- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat
- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat.

Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.

IV

Sumber: Tabel 3 SNI 1726:2019

Tabel 2.3 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber: Tabel 4 SNI 1726:2019

b. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs ini untuk memberikan kriteria desain seismik yang berupa faktor amplifikasi pada suatu bangunan pada permukaan tanah. Penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa dari batuan dasar ke permukaan tanah. Profil tanah pada situs harus dikategorikan sesuai dengan tabel 5 SNI 1726:2019 berdasarkan profil tanah lapisan 30 m.

Tabel 2.4 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 30	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa			
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs – situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengan teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

Sumber : Tabel 5 SNI 1726:2019

c. Parameter Percepatan Gempa

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing – masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan koefisien 2 % terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 % dalam 50 tahun) dalam bilangan desimal.

d. Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa

Diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik untuk menentukan respons spektral percepatan gempa di permukaan tanah. Ada 2 faktor amplifikasi yaitu faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi yang terkait pada percepatan mewakili periode 1 detik (F_y). Percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}), parameter spektral respon harus disesuaikan dengan klasifikasi situs, yang ditentukan dengan rumus sesuai dengan pasal 6.2 SNI 1726:2019 berikut ini :

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{M1} = F_y \times S_1$$

Keterangan :

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode pendek

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik

Tabel 2.5 Koefisien Situs, Fa

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko – tertarget (MCE_R) terpatekan 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					

Catatan :

SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons situs-spesifik.

Sumber : Tabel 6 SNI 1726:2019

Tabel 2.6 Koefisien Situs, Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko – tertarget (MCE_R) terpatekan pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_1					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
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					

Catatan :

SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons situs-spesifik.

Sumber : Tabel 6 SNI 1726:2019

e. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}), harus ditentukan melalui perumusan berikut :

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} S_{MS} \\ S_{D1} &= \frac{3}{2} S_{M1} \end{aligned}$$

f. Spektral Respon Desain

Apabila spektrum respon desain diperlukan, kurva spektral respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada pasal 6.4 SNI 1726:2019. Adapun ketentuan dalam membuat kurva ini sebagai berikut:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 spektral respons percepatan desain yaitu S_a , sesuai dengan persamaan:

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

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain atau $S_a = S_{DS}$
3. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain atau S_a diambil berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L respons spektral percepatan desain atau S_a diambil berdasarkan persamaan berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}$$

g. Kategori Desain Seismik

Struktur dengan kategori risiko I, II atau III dimana percepatan $S_1 \geq 0,75$ ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Sedangkan struktur yang berkategori risiko IV, $S_1 \geq 0,75$ harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik berdasarkan kategori risiko (S_{DS}) dan percepatan desainnya (S_{D1}). Jika $S_1 < 0,75$, maka kategori desain seismik diizinkan sesuai tabel 8 SNI 1726:2019.

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

Sumber : Tabel 8 SNI 1726:2019

Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik

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

Sumber : Tabel 9 SNI 1726:2019

Keterangan:

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

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

T = Periode getar fundamental struktur

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

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

T_L = Peta transisi periode panjang

S_{MS} = Parameter respons spektral percepatan untuk periode pendek

S_{M1} = Parameter respons spektral percepatan untuk periode 1 detik

2.6 Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Karena Indonesia memiliki 6 wilayah gempa, dimana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah. Sedangkan, wilayah gempa 6 adalah wilayah dengan kegempaan paling tinggi. Gedung yang salah teliti ini termasuk ke dalam wilayah gempa 6. Sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan pada wilayah 5 hingga 6.

Sistem struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) adalah sistem struktur yang mana gaya lateral ditahan oleh struktur yang bersifat daktilitas. Daktilitas yaitu kemampuan suatu struktur untuk mengalami simpangan pasca-elastik secara berulang dalam skala besar sehingga dapat berdeformasi dengan tetap mempertahankan kekuatan agar struktur tetap berdiri. SRPMK juga didesain menggunakan sendi plastis untuk dapat menyerap kekuatan gempa. Menurut SNI 2847:2019, SRPMK dirancang untuk memiliki elemen lentur pada balok dan dilengkapi tulangan longitudinal yang berfungsi untuk menahan beban gempa yang disebabkan perluasan beton bertulang.

Adapun syarat pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK):

- Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi $0,1 \cdot A_g \cdot f_c'$.
- Bentang bersih komponen tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.

- c. Perbandingan antara lebar dan tinggi pada balok tidak boleh kurang dari 0,3.
- d. Lebar balok tidak boleh kurang dari 250 mm.

2.7 Ketidakberaturan Horizontal

Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam tabel 13 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam tabel 13 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

Tabel 2.9 Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16	B, C, D,E, dan F D, E, dan F

	terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	11.3.4	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Sumber: Tabel 13 SNI 1726:2019

2.8 Ketidakberaturan Vertikal

Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam tabel 14 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam tabel 14 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut. Terkecuali:

1. Ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 1a, 1b, atau 2 dalam Tabel 14 tidak berlaku jika tidak ada rasio simpangan antar tingkat akibat gaya seismik lateral desain yang nilainya lebih besar dari 130 % rasio simpangan antar tingkat di atasnya. Pengaruh torsi tidak perlu ditinjau pada perhitungan simpangan antar tingkat. Hubungan rasio simpangan antar tingkat untuk dua tingkat teratas struktur bangunan tidak perlu dievaluasi.
2. Ketidakberaturan struktur vertikal tipe 1a, 1b, dan 2 dalam tabel 14 tidak perlu ditinjau pada bangunan satu tingkat dalam semua kategori desain

seismik atau bangunan dua tingkat yang didesain untuk kategori desain seismik B, C, atau D.

Tabel 2.10 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur

Tipe dan penjelasan ketidakberaturan		Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau	Tabel 16	D, E, dan F
3	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat di dekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

Sumber: Tabel 14 SNI 1726:2019

2.9 Perpindahan dan Simpangan Antar Lantai

Menurut peraturan SNI 1726:2019 terbaru tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas maupun di bawah yang ditinjau. Jika desain tegangan desain izin digunakan, maka Δ harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan tanpa reduksi untuk desain tegangan izin. Simpangan pusat massa di tingkat -x (δ_x) mm, harus ditentukan sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Keterangan:

δ_x = faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = simpangan ditingkat -x yang disyaratkan, yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan

Tabel 2.11 Perpindahan Simpang Antar Lantai

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

Sumber: Tabel 20 SNI 1726:2019

2.10 Kombinasi Beban

Kombinasi pembebanan adalah suatu komponen struktur yang diperlukan untuk menghitung beban dan gaya terfaktor dengan kekuatan perlu. Faktor keamanan yang diisyaratkan oleh SNI 2847:2019 sebagai berikut:

$$U = 1,4D$$

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

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

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

$$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$$

$$U = 0,9D + 1,0W$$

$$U = 0,9D + 1,0E$$

Keterangan :

U = Kuat perlu

D = Beban mati

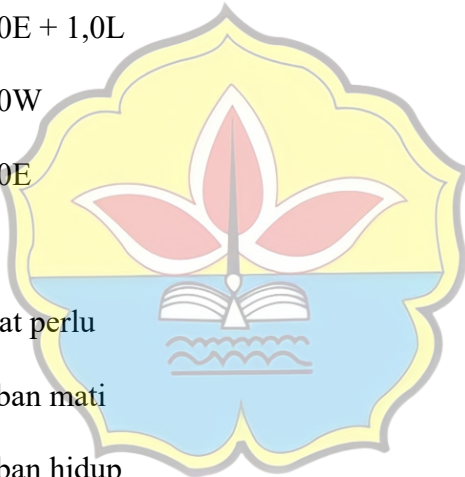
L = Beban hidup

L_r = Beban hidup atap

R = Beban hujan

W = Beban angin

E = Beban gempa



2.11 Kekuatan Desain

Kekuatan desain menurut SNI 2847:2019 adalah hasil dari kekuatan nominal yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ), sehingga kekuatan desain yang disediakan suatu komponen struktur beserta sambungannya dengan komponen

struktur lain dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser dan torsi. Sesuai dengan syarat yang tercantum dalam subpasal 9.3.2 SNI 2847:2019 sebagai berikut :

Tabel 2.12 Faktor Reduksi Kekuatan

Gaya yang bekerja	Faktor Reduksi (ϕ)
Penampang terkendali Tarik	0,9
Penampang terkendali tekan :	
a. Komponen struktur dengan tulangan spiral	0,75
b. Komponen struktur dengan tulangan bertulang lainnya	0,65
Geser dan torsi	0,75
Tumpuan pada beton (kecuali untuk daerah angkur pasca tarik dan model strat dan pengikat)	0,65
Daerah angkur pasca Tarik	0,85
Model strat dan pengikat, strat, pengikat, daerah pertemuan dan daerah tumpuan dalam model	0,75
Penampang lentur komponen pra tarik :	
a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer	0,75
b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran ϕ boleh ditingkatkan secara linier.	0,75 sampai 0,9

Sumber : SNI 2847:2019

2.12 ETABS (*Extended Three Analysis Building System*) 2018

Etabs 2018 merupakan salah satu program aplikasi analisis struktur yang secara spesialis digunakan untuk bangunan – bangunan bertingkat seperti apartemen, rumah sakit, perkantoran, dll. Etabs ini dikembangkan oleh perusahaan software *Computers and Structures, Incorporated (CSI)* yang berlokasi di Barkeley, California, Amerika Serikat. Ini merupakan hasil dari penelitian dan pengembangan riset oleh Dr. Edward L. Wilson pada tahun 1970 di University of California, Amerika Serikat dan perusahaan CSI didirikan pada tahun 1975 oleh Ashraf Habibullah.

Program *ETABS* berfungsi secara khusus untuk menganalisis 5 perencanaan struktur, yaitu analisis frame baja, analisis frame beton, analisis balok komposit, analisis baja rangka batang dan analisis dinding geser. Tentu saja aplikasi *ETABS* ini sangat mudah untuk dipelajari dan dipahami.

2.13 PCA Column

PcaColumn adalah perangkat lunak yang berfungsi untuk mendesain atau menginvestigasi struktur kolom. Setelah melakukan analisa struktur secara manual maupun menggunakan *software*, dan diperoleh gaya – gaya yang bekerja pada kolom, maka langkah selanjutnya adalah melakukan desain tulangan kolom.

Data yang diperlukan untuk dapat melakukan proses running meliputi jumlah serta diameter tulangan yang digunakan, mutu beton dan mutu baja. Proses penggunaannya tergolong sederhana. Cukup dengan memasukkan data – data yang diperlukan, nanti hasil yang didapat sebuah diagram iteraksi yang menunjukkan aman atau tidak aman kolom yang digunakan.

2.14 Penelitian Terdahulu

a. Perhitungan Struktur Gedung 8 Lantai Universitas Muhammadiyah Pontianak

Penelitian ini dilakukan oleh Rida Umayu, Elvira dan Asep Supriyadi (Universitas Tanjungpura, Pontianak). Hal yang melatarbelakangi penelitian ini adalah diakrenakan Kota Pontianak sudah termasuk dalam zona gempa ringan sehingga mengharuskan perencanaan pembangunan gedung di Kota tersebut perlu merencanakan pembangunan gedung untuk memperhitungkan parameter gaya gempa agar dapat mengantisipasi terjadinya gempa. Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk menganalisa gaya geser dasar, output gaya dalam dan penulangan struktur bangunan gedung. Gedung yang direncanakan berjumlah 8 lantai dengan panjang bangunan 21,80 m, lebar 17 m dan tinggi total bangunan 26,20 m. Dari penelitian yang dilakukan, didapatkan hasil dimensi kolom 1 600 × 600 mm, kolom 2 500 × 500 mm dan 400 × 400 mm. Dimensi balok 250 × 400 mm, balok 2 200 × 300 mm, Balok WF 400.200.8.13, Balok WF 250.125.6.9 dan Balok WF 300.150.6,5.9. Struktur bawah gedung menggunakan fondasi dalam dengan tiang pancang *spun pile* diameter 30 cm dan kedalaman 30 m.

b. Perencanaan Struktur Atas Asrama Putri Di Universitas Kadiri

Penelitian ini merencanakan struktur atas pada pembangunan asrama putri 7 lantai dengan luas bangunan 600 m² yang berukuran 30 m × 20 m. Perhitungan yang dilakukan meliputi dimensi rencana, perhitungan pembebanan, perhitungan dengan metode momen ultimit, perhitungan dimensi tulangan. Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan tebal pelat atap 100 mm, pelat lantai 120 mm

dengan tulangan pokok 12 mm dan Sengkang 8 mm. Untuk sloof dan balok digunakan 16 mm tulangan pokok dan 10 mm tulangan sengkang dengan jarak 200 mm. Untuk kolom digunakan tulangan 16 mm dan sengkang 12 mm dengan jarak 200 mm. Distribusi beban untuk lantai atap sebesar 20.640,924 kgm, karena asumsi pembebanan lantai 1 ke 6 adalah sama, yaitu sebesar 23.233,644 kgm. Momen pada perencanaan ini adalah pada pelat terjadi sebesar 17.074,370 kgm, pada balok terjadi sebesar 342.733,875 kgm dan 493.536,780 kgm.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Deskripsi Penelitian

Penyusunan Tugas Akhir ini merencanakan struktur bangunan bertingkat 5 dengan menggunakan konstruksi beton bertulang. Fungsi struktur bangunan yang direncanakan oleh penulis sebagai gedung perkuliahan yang terletak pada salah satu Universitas Negeri di Provinsi Jambi. Selain itu, penulis menggunakan *software* ETABS 2018 dan *Microsoft Excel*. Metode penelitian yang digunakan dalam pengumpulan data adalah data sekunder. Data sekunder merupakan data yang dikumpulkan dari berbagai sumber, seperti buku, jurnal dan SNI yang berlaku.

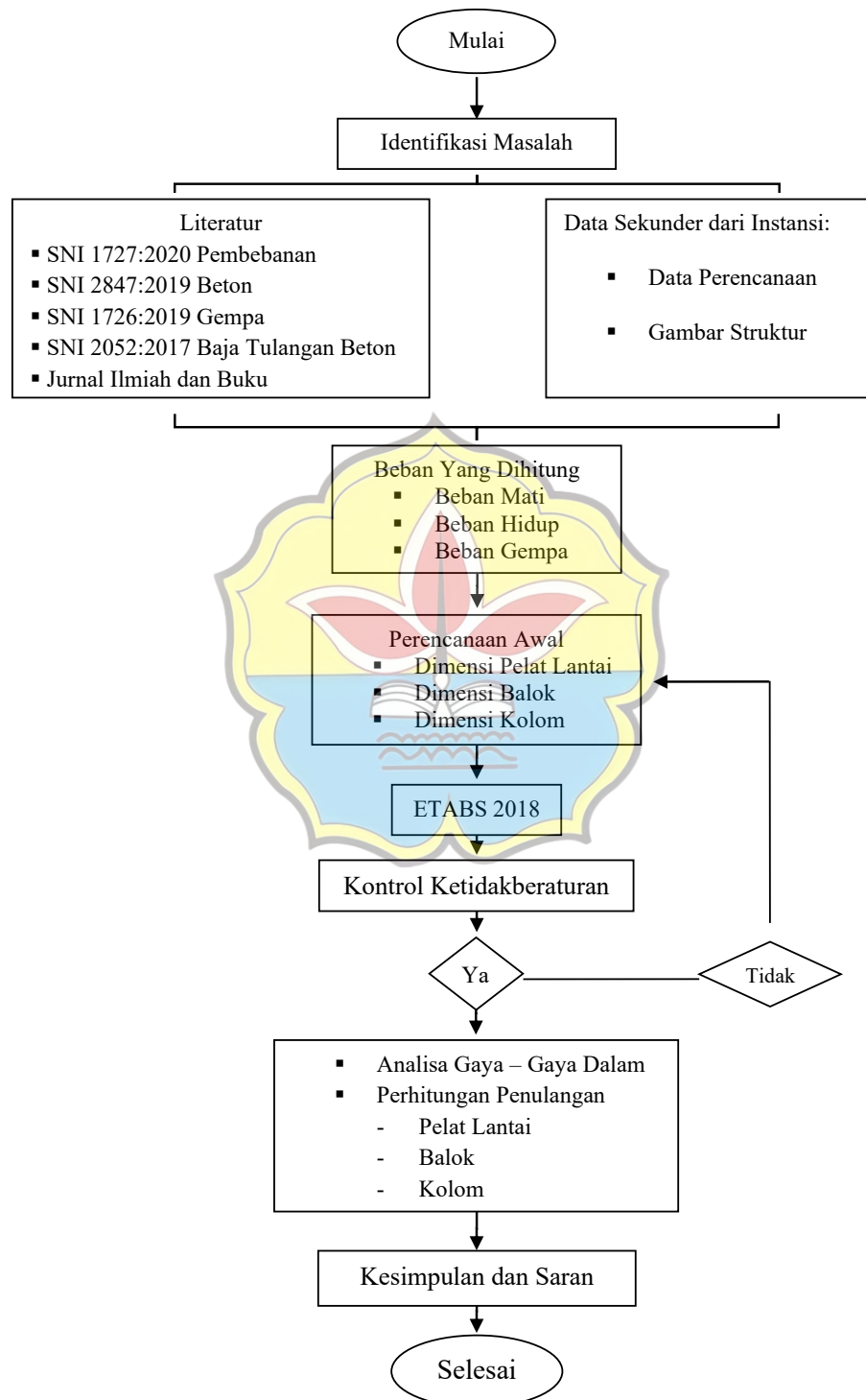
3.2 Metode Analisis

Metode yang digunakan dalam melakukan perhitungan ini, mengacu pada SNI yang dipakai dalam pembuatan Tugas Akhir. Seperti berikut ini:

1. SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk bangunan Gedung dan Struktur Lain, untuk menghitung pembebanan struktur.
2. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, untuk menghitung beban gempa pada struktur bangunan.
3. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Struktural untuk Bangunan Gedung.
4. SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton.

3.3 Bagan Alir

Adapun bagan alir dari penelitian ini, sebagai berikut:



Gambar 3.1 Bagan Alir (Flow Chart)

Sumber : Data Olahan, 2021

3.4 Data Perencanaan

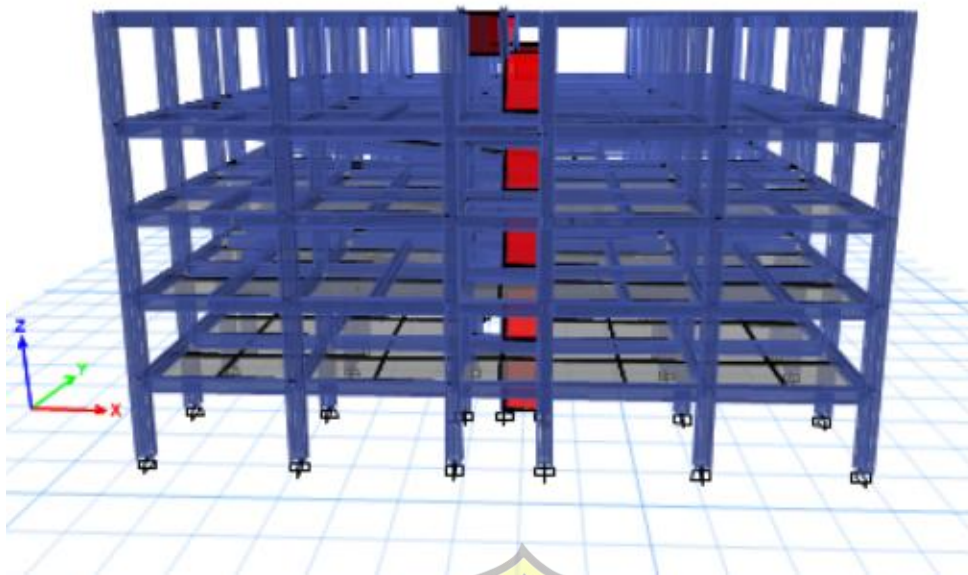
Spesifikasi data perencanaan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data Perencanaan

Nama Bangunan	Pembangunan Gedung Perkuliahan Bertingkat
Fungsi	Fasilitas Pendidikan
Jumlah Lantai	4
Tinggi Lt. 1 s/d lt 3	3,8 m
Tinggi Lt 4	4,5 m
Lebar Bangunan	38 m
Panjang Bangunan	38 m
Tinggi Bangunan	15,9 m
Mutu Material	BJTS Fy: 420 MPa BJTP Fy: 280 Mpa Beton Fc: 30 MPa
Struktur Bangunan	Beton Bertulang

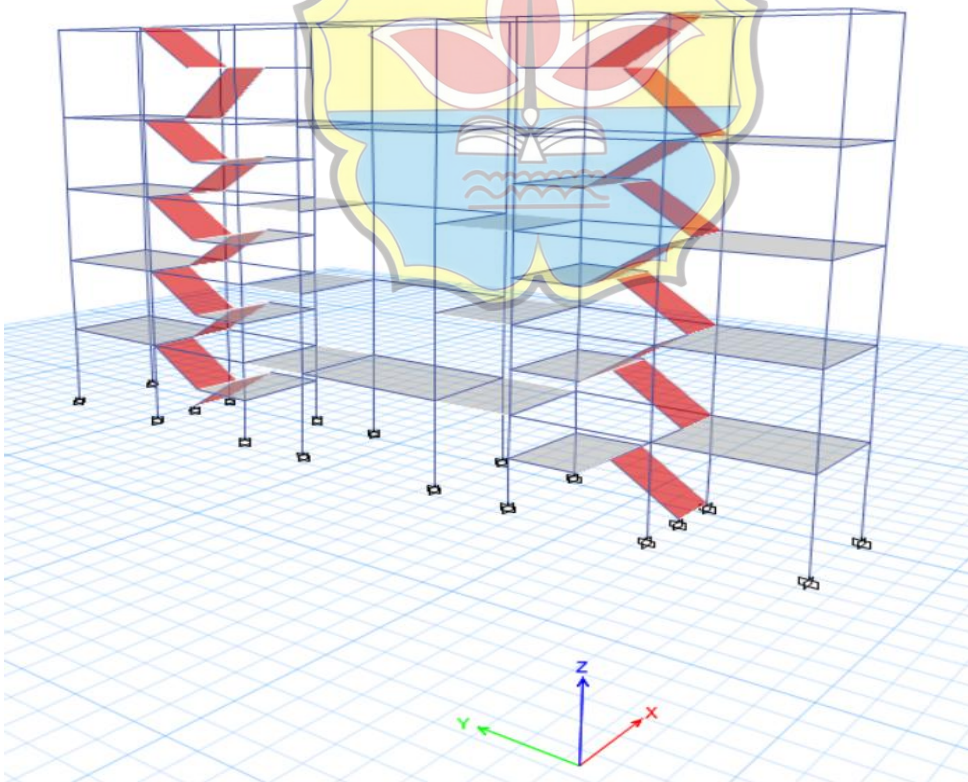
Sumber : Data Olahan, 2021

3.5 Geometri Struktur



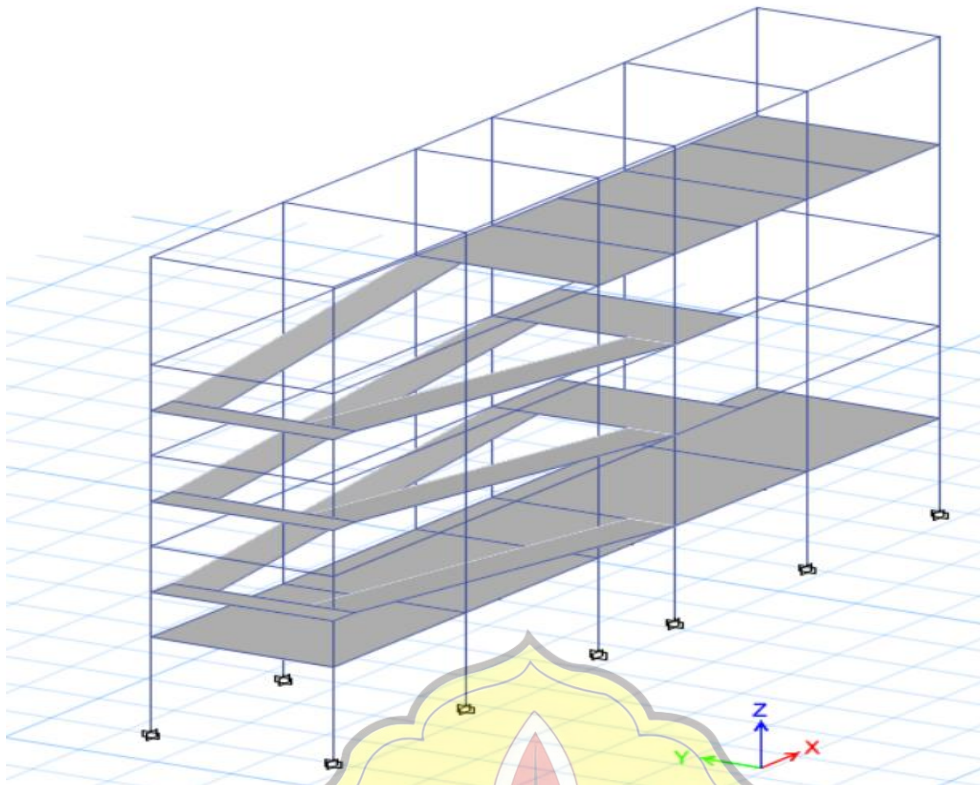
Gambar 3.2 Pemodelan 3D Struktur Bangunan

Sumber : Gambar Rencana, 2021

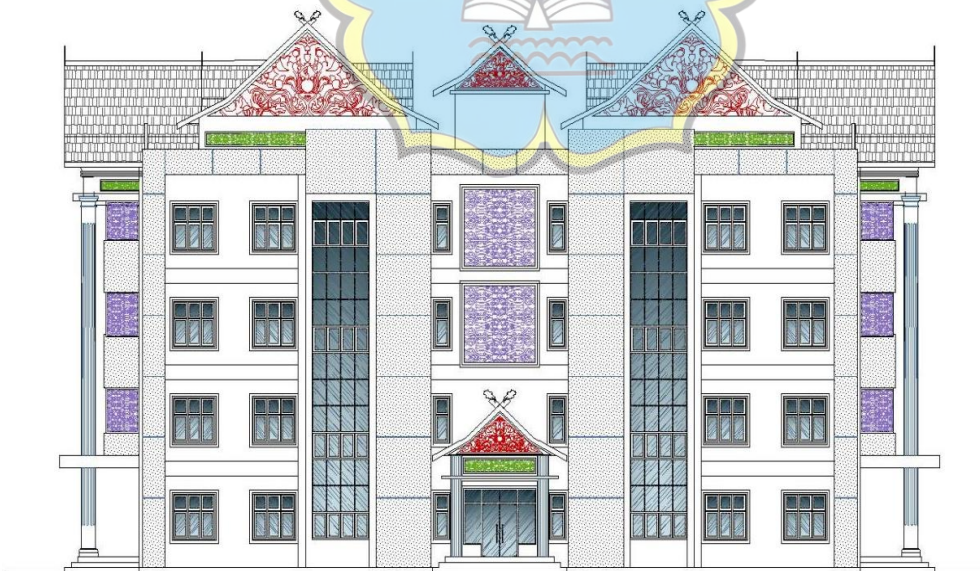


Gambar 3.3 Pemodelan Tangga

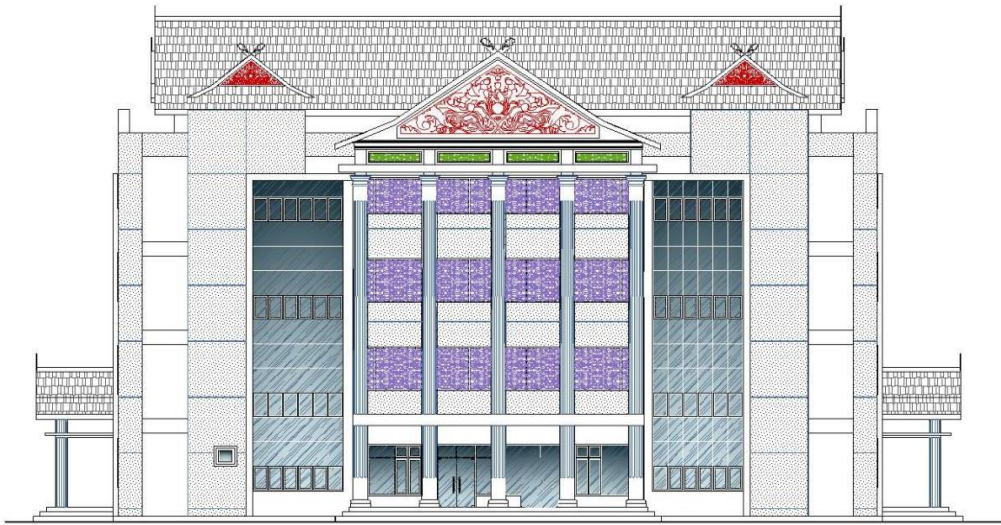
Sumber : Gambar Rencana, 2021



Gambar 3.4 Pemodelan Ramp
Sumber : Gambar Rencana, 2021



Gambar 3.5 Tampak Depan
Sumber : Gambar Rencana, 2021



Gambar 3.6 Tampak Samping Kiri

Sumber : Gambar Rencana, 2021

3.6 Pembebanan Struktur

Beban yang dianalisa oleh penulis pada struktur bangunan yaitu, beban lateral seperti beban gempa, beban hidup struktur dan beban mati struktur.

a. Beban Hidup

Beban hidup pada struktur bangunan yang diteliti oleh penulis merupakan gedung bertingkat 5 yang memiliki fungsi sebagai fasilitas Pendidikan. Pada tabel 4.-3.1 SNI 1727:2020, beban hidup tersebut yaitu $3,83 \text{ kN/m}^2$ dan beban hidup atap yaitu $0,96 \text{ kN/m}^2$.

b. Beban Mati

Berdasarkan SNI 1727:2020 pada pasal 3.1.1, menjelaskan bahwa beban mati ialah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang. Termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung

dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material.

Selain itu, terdapat juga beban mati tambahan. Beban mati tambahan ialah beban mati yang timbul akibat berat dari elemen tambahan yang bersifat permanen. Beban – beban yang terdapat pada elemen struktur sebagai berikut yang diambil berdasarkan PPURG 1987:

Keramik : $0,24 \text{ kN/m}^2$

Spesi : $0,21 \text{ kN/m}^2$

Pasir : 16 kN/m^2

Instalasi MEP : $0,25 \text{ kN/m}^2$

Plafond + Rangka : $0,18 \text{ kN/m}^2$



BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

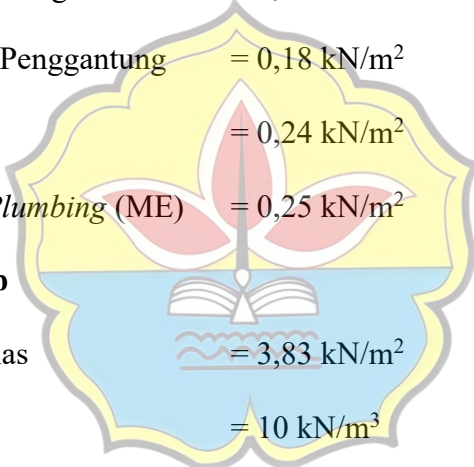
4.1 Beban Yang Diperhitungkan

a. Beban Mati

- Beton bertulang = 24 kN/m³
- Mortar, Spesi = 0,21 kN/m²
- Dinding Pasangan ½ Bata = 2,5 kN/m²
- *Plafond* + Penggantung = 0,18 kN/m²
- Keramik = 0,24 kN/m²
- *Instalasi Plumbing* (ME) = 0,25 kN/m²

b. Beban Hidup

- Ruang Kelas = 3,83 kN/m²
- Air Hujan = 10 kN/m³



4.2 Dimensi Elemen Struktur

1. Balok

Berdasarkan SNI 2847:2019, tinggi minimum balok nonprategang pada tabel

9.3.1.1 dengan kondisi perletakan sederhana adalah sebagai berikut:

$$L = 7000 \text{ mm}$$

- Balok Induk

$$\begin{aligned}
 h_{\min} &= \frac{L}{16} \\
 &= \frac{7000}{16} = 437,5 \text{ mm, dipakai } h = 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$b = \frac{2}{3} \cdot h$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 600 = 400 \text{ mm, dipakai } b = 400 \text{ mm}$$

Jadi, dimensi yang digunakan untuk balok induk 400 mm x 600 mm

- Balok Anak

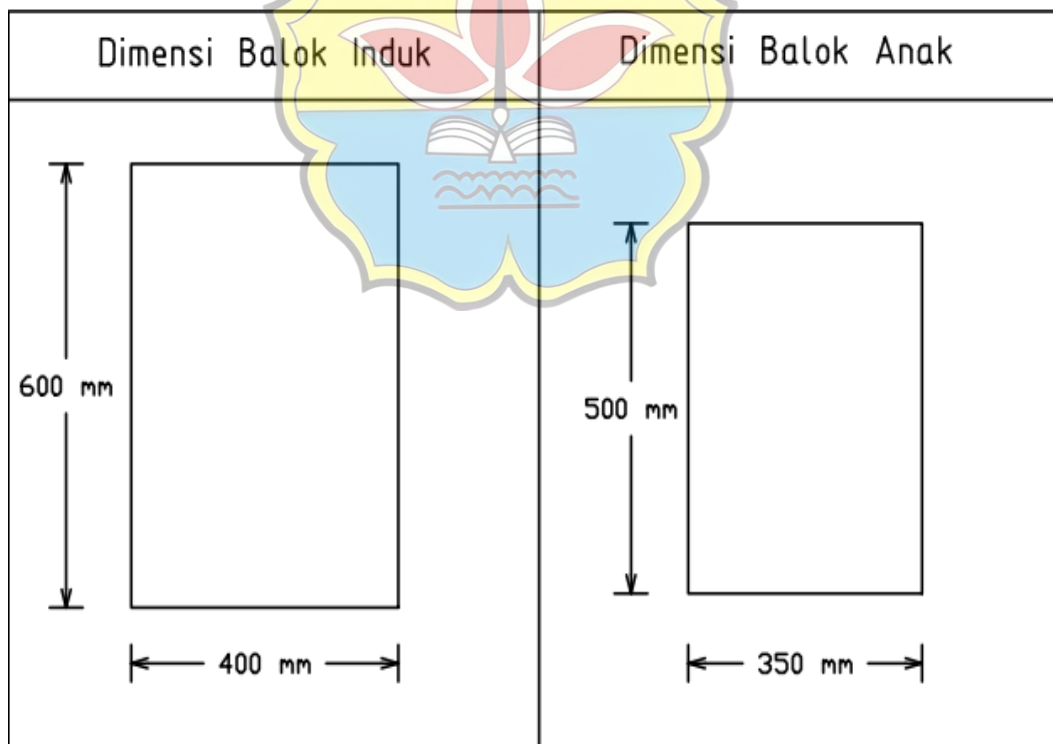
$$h_{\min} = \frac{L}{16}$$

$$= \frac{7000}{16} = 437,5 \text{ mm, dipakai } h = 500 \text{ mm}$$

$$b = \frac{2}{3} \cdot h$$

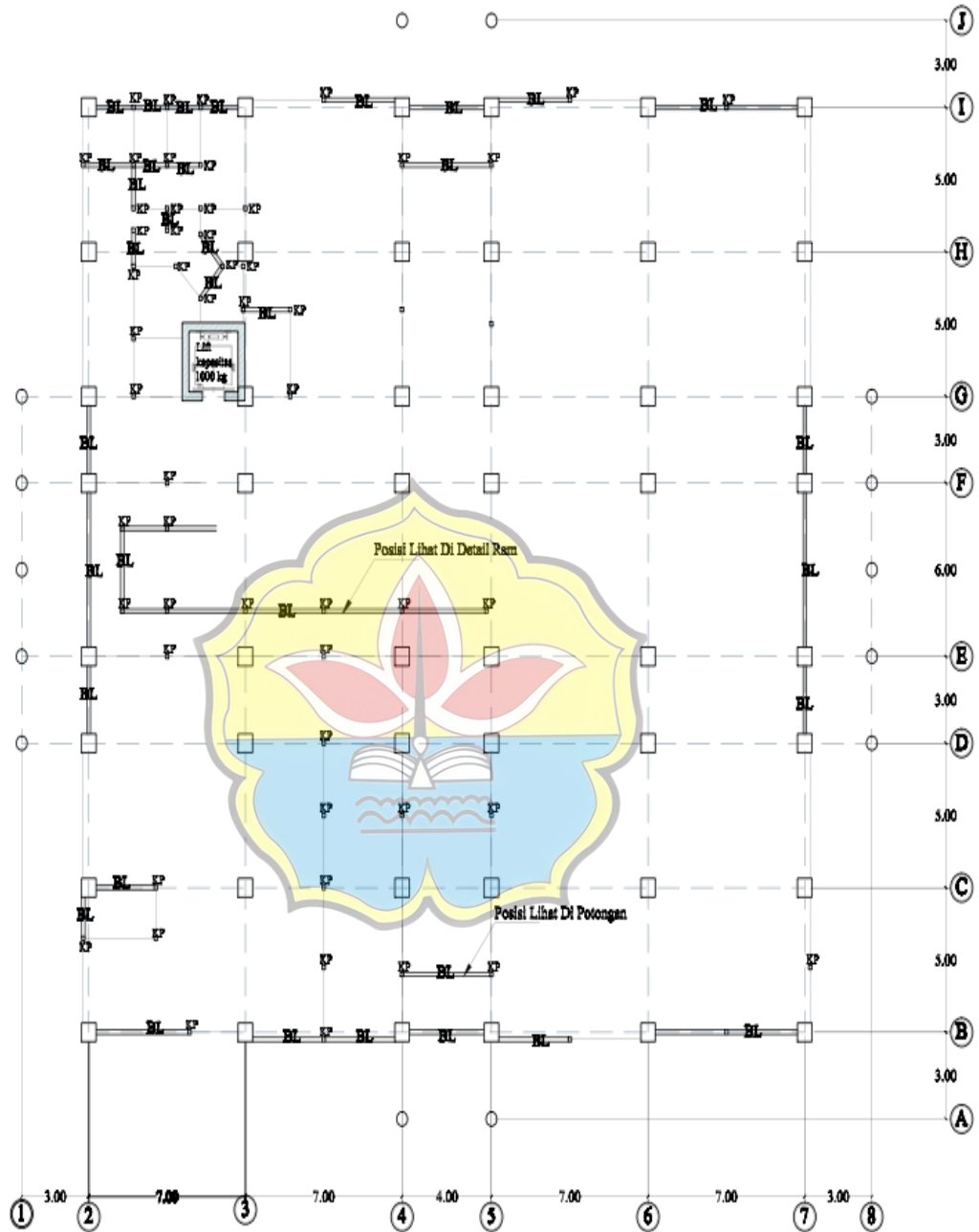
$$= \frac{2}{3} \cdot 500 = 333,333 \text{ mm, dipakai } b = 350 \text{ mm}$$

Jadi, dimensi yang digunakan untuk balok anak 350 mm x 500 mm



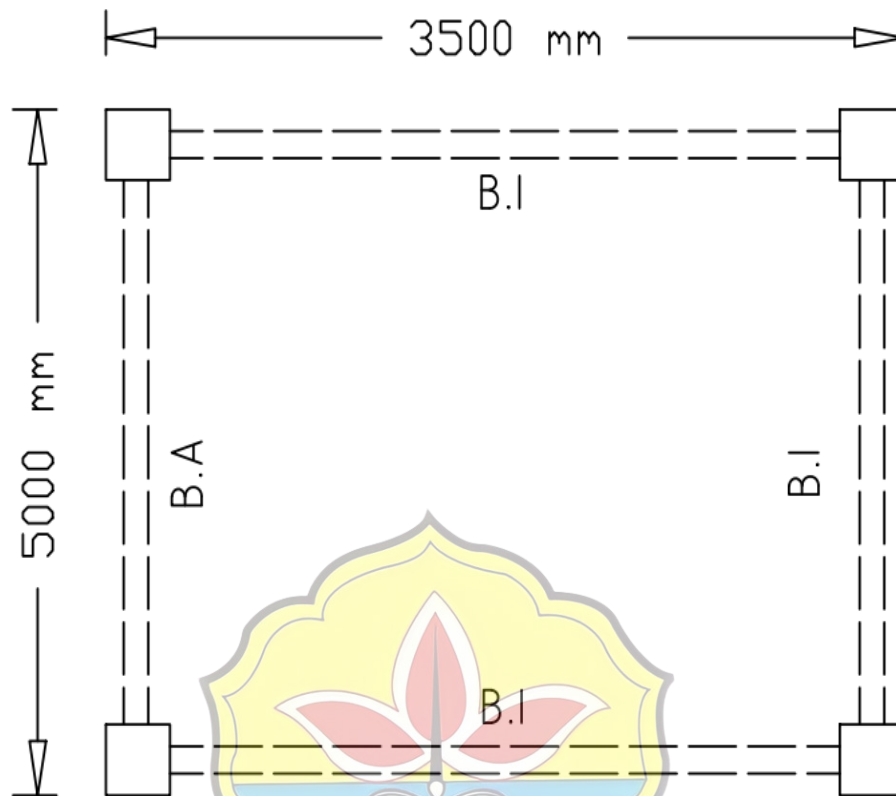
Gambar 4.1 Dimensi Balok
Sumber : Data Olahan, 2022

2. Pelat Lantai



Gambar 4.2 Denah Plat Lantai

Sumber : Gambar Rencana, 2022

❖ **Tebal Pelat Lantai****Gambar 4.3 Plat Lantai***Sumber : Data Olahan, 2022*

Tebal minimum pelat lantai

$$L_1 = 3500 - \left(\frac{1}{2} \cdot 350\right) - \left(\frac{1}{2} \cdot 400\right)$$

$$= 3125 \text{ mm}$$

$$L_2 = 5000 - 2 \left(\frac{1}{2} \cdot 400\right)$$

$$= 4600 \text{ mm}$$

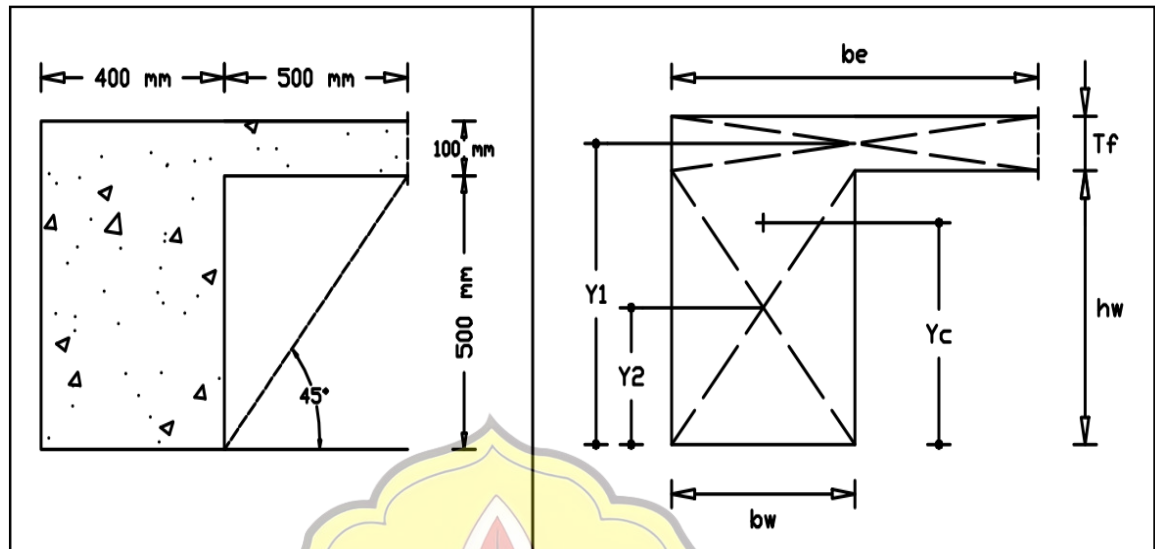
$$h_{\min} = \frac{\text{keliling pelat}}{180} = \frac{(3125 \cdot 2) + (4600 \cdot 2)}{180}$$

$$= 85,833 \text{ mm}$$

Maka h yang dipakai = 100 mm

1) Menghitung Momen Inersia Balok

- Balok *Eksterior* αf1 (Balok Induk)



Gambar 4.4 Balok *Eksterior* (Balok Induk)

Sumber : Data Olahan, 2022

Luas Penampang Balok

$$A1 = 900 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm} = 90000 \text{ mm}^2$$

$$A2 = 400 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm} = 200000 \text{ mm}^2$$

$$Y1 = 500 \text{ mm} + \frac{100}{2} \text{ mm} = 550 \text{ mm}$$

$$Y2 = \frac{500}{2} \text{ mm} = 250 \text{ mm}$$

$$Yc = \frac{(90000 \cdot 550) + (200000 \cdot 250)}{200000 + 90000}$$

$$= 343,103 \text{ mm}$$

$$Y1c = Y1 - Yc$$

$$= 550 \text{ mm} - 343,103 \text{ mm} = 206,897 \text{ mm}$$

$$Y2c = Yc - Y2$$

$$= 343,103 \text{ mm} - 250 \text{ mm} = 93,103 \text{ mm}$$

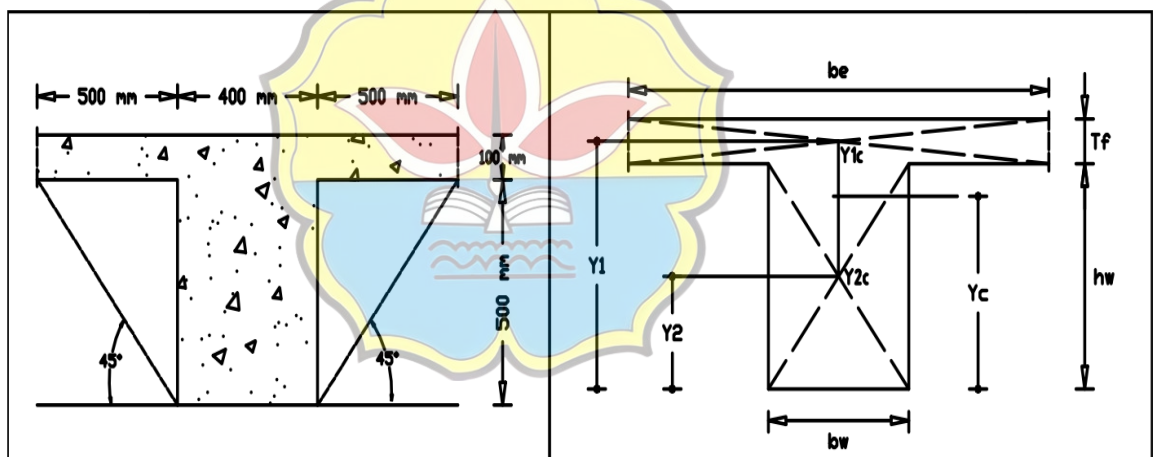
Inersia Balok

$$\begin{aligned} I_{b1} &= \frac{1}{12} \cdot b_e \cdot t_f^3 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 900 \cdot 100^3 = 75000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{b2} &= \frac{1}{12} \cdot b_w \cdot h_w^3 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 500^3 = 4166666667 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{balok}} &= I_{b1} + I_{b2} + A_1 \cdot Y_{1c}^2 + A_2 \cdot Y_{2c}^2 \\ &= 9827873564 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Balok *Interior* $\alpha f2 = \alpha f3$ (Balok Induk)



Gambar 4.5 Balok Interior (Balok Induk)

Sumber : Data Olahan, 2022

Luas Penampang Balok

$$A_1 = 1400 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm} = 140000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 400 \text{ mm} \cdot 500 \text{ mm} = 200000 \text{ mm}^2$$

$$Y_1 = 500 \text{ mm} + \frac{100}{2} \text{ mm} = 550 \text{ mm}$$

$$Y_2 = \frac{500}{2} \text{ mm} = 250 \text{ mm}$$

$$Y_c = \frac{(140000 \cdot 550) + (200000 \cdot 250)}{140000 + 200000} = 373,529 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Y_{1c} &= Y_1 - Y_c \\ &= 550 \text{ mm} - 373,529 \text{ mm} = 176,471 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{2c} &= Y_c - Y_2 \\ &= 373,529 \text{ mm} - 250 \text{ mm} = 123,529 \text{ mm} \end{aligned}$$

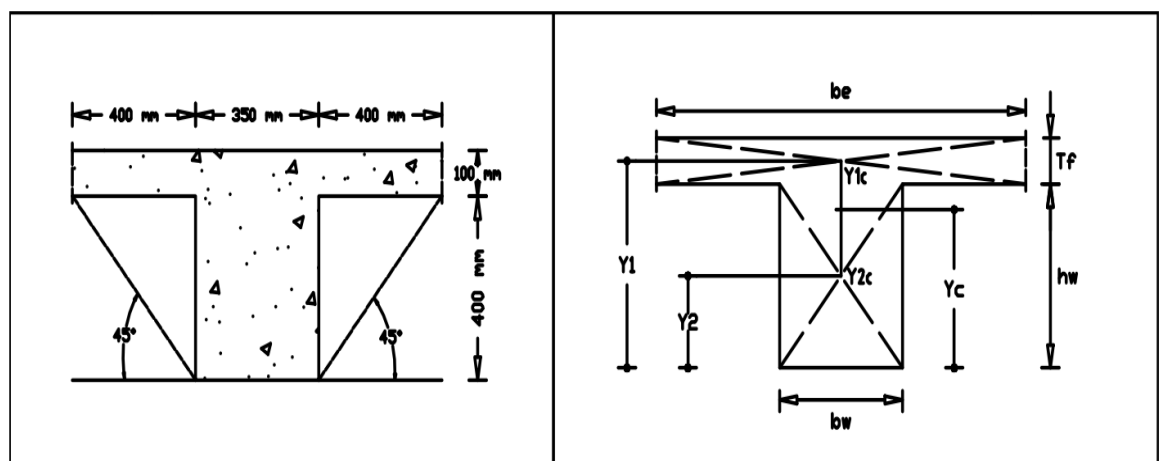
Inersia Balok

$$\begin{aligned} I_{b1} &= \frac{1}{12} \cdot b_e \cdot t_f^3 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 1400 \cdot 100^3 = 116666666,7 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{b2} &= \frac{1}{12} \cdot b_w \cdot h_w^3 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 500^3 = 4166666667 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{balok}} &= I_{b1} + I_{b2} + A_1 \cdot Y_{1c}^2 + A_2 \cdot Y_{2c}^2 \\ &= 11695098039,64 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Balok *Interior* αf4 (Balok Anak)



Gambar 4.6 Balok *Interior* (Balok Anak)

Sumber : Data Olahan, 2022

Luas Penampang Balok

$$A_1 = 1150 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm} = 115000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 350 \text{ mm} \cdot 400 \text{ mm} = 140000 \text{ mm}^2$$

$$Y_1 = 400 \text{ mm} + \frac{100}{2} \text{ mm} = 450 \text{ mm}$$

$$Y_2 = \frac{400}{2} \text{ mm} = 200 \text{ mm}$$

$$Y_c = \frac{(115000 \cdot 450) + (140000 \cdot 200)}{115000 + 140000} = 312,745 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Y_{1c} &= Y_1 - Y_c \\ &= 450 \text{ mm} - 312,745 \text{ mm} = 137,255 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{2c} &= Y_c - Y_2 \\ &= 312,745 \text{ mm} - 200 \text{ mm} = 112,745 \text{ mm} \end{aligned}$$

Inersia Balok

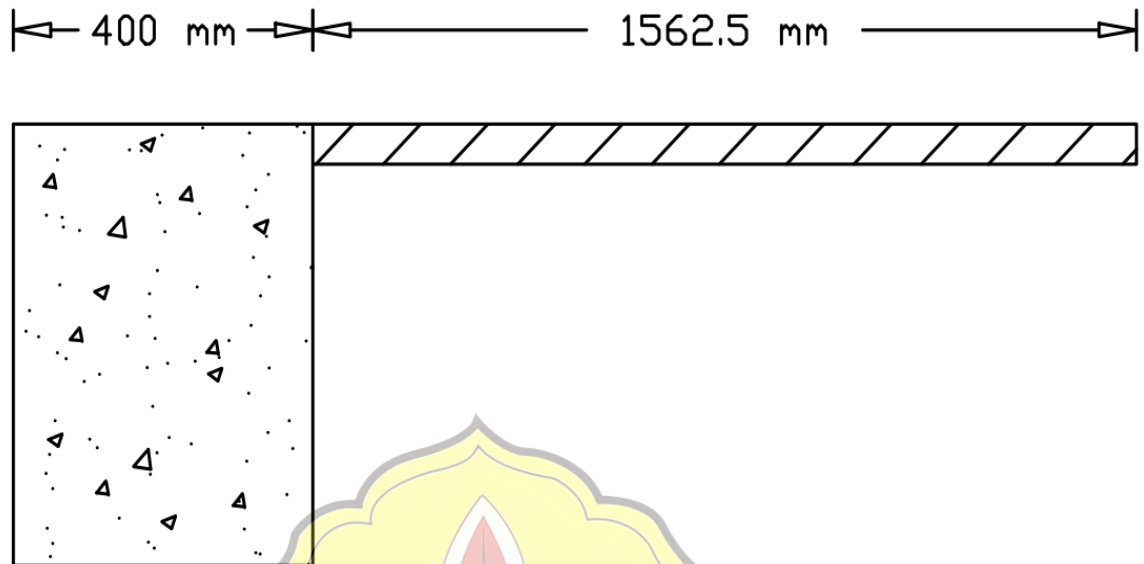
$$\begin{aligned} I_{b1} &= \frac{1}{12} \cdot b_e \cdot t_f^3 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 1150 \cdot 100^3 = 95833333,33 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{b2} &= \frac{1}{12} \cdot b_w \cdot h_w^3 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 350 \cdot 400^3 = 1866666667 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{balok} &= I_{b1} + I_{b2} + A_1 \cdot Y_{1c}^2 + A_2 \cdot Y_{2c}^2 \\ &= 5908578431,705 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

2) Menghitung Inersia Pelat

- Pelat Balok $\alpha f1$ (Balok Induk)



Gambar 4.7 Balok Penampang Pelat *Eksterior* (Balok Induk)

Sumber : Data Olahan, 2022

$$L_n = 3125 \text{ mm}$$

$$\frac{L_n}{2} = \frac{3125}{2}$$

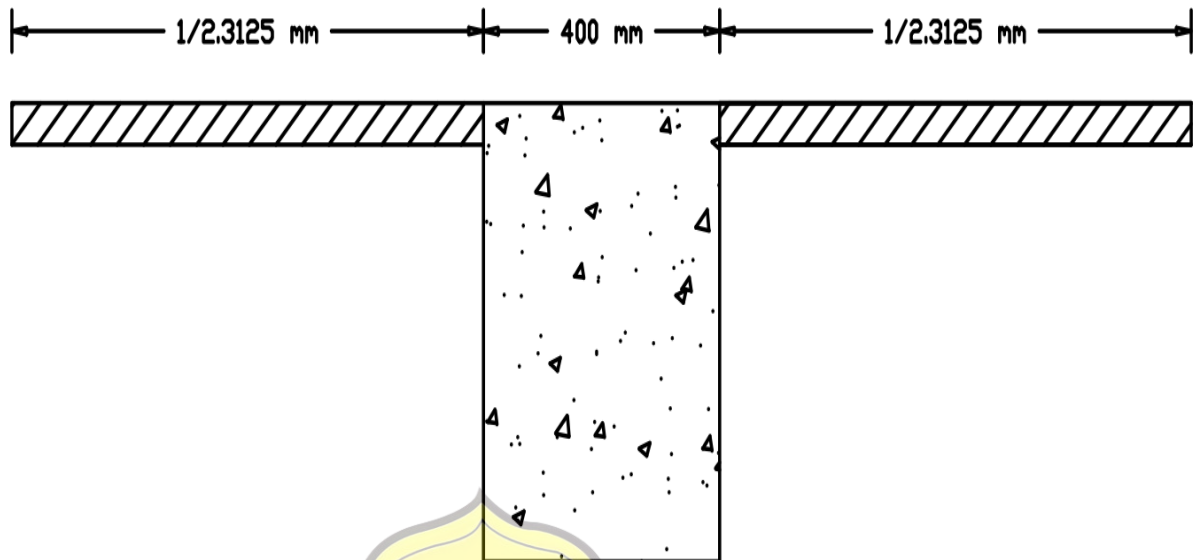
$$= 1562,5 \text{ mm}$$

$$I_{\text{slab}} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot t^3$$

$$= \frac{1}{12} \cdot (1562,5 + 400) \cdot 100^3$$

$$= 163541666,7 \text{ mm}^4$$

- Pelat Balok $\alpha f_2 = \alpha f_3$ (Balok Induk)



Gambar 4.8 Balok Penampang Pelat *Interior* (Balok Induk)

Sumber : Data Olahan, 2022

$$L_n \text{ kiri} = L_n \text{ kanan} = 3125 \text{ mm}$$

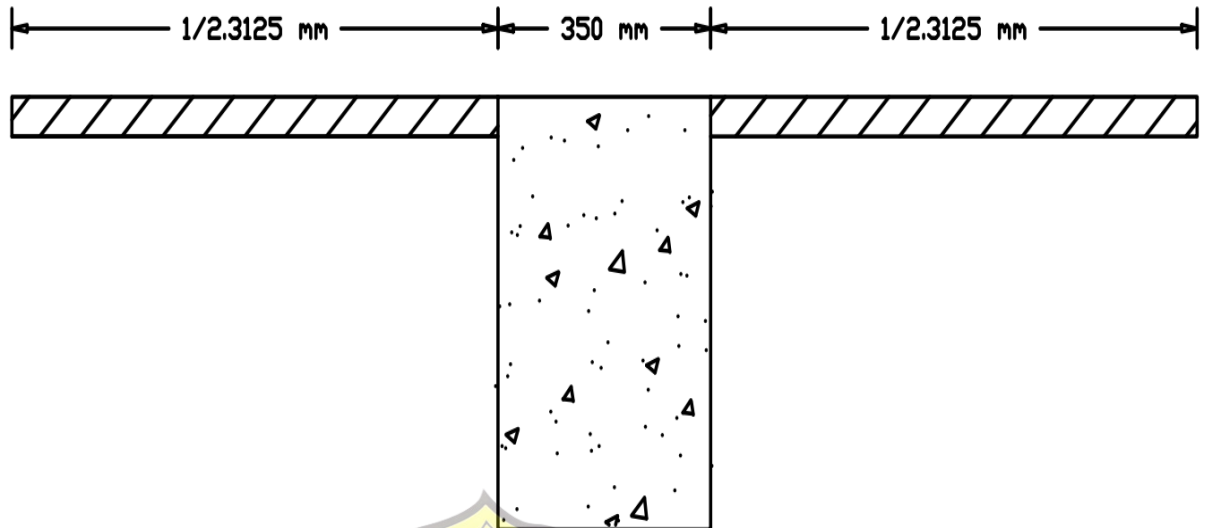
$$\frac{L_n}{2} \text{ kiri} = \frac{L_n}{2} \text{ kanan} = 1562,5 \text{ mm}$$

$$I_{\text{slab}} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot t^3$$

$$= \frac{1}{12} \cdot (1562,5 + 400 + 1562,5) \cdot 100^3$$

$$= 293750000 \text{ mm}^4$$

- Pelat Balok $\alpha f4$ (Balok Anak)



Gambar 4.9 Balok Penampang Pelat Interior (Balok Anak)

Sumber : Data Olahan, 2022

$$L_n \text{ kiri} = L_n \text{ kanan} = 3125 \text{ mm}$$

$$\frac{L_n}{2} \text{ kiri} = \frac{L_n}{2} \text{ kanan} = 1562,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{slab}} &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot t^3 \\ &= \frac{1}{12} \cdot (1562,5 + 350 + 1562,5) \cdot 100^3 \\ &= 289583333,3 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Menghitung rasio kekakuan penampang balok terhadap kekakuan lembar pelat:

$$F_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 4700\sqrt{F_c'} \\ &= 4700\sqrt{30} = 25742 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$F_{yp} = 320 \text{ Mpa}$$

$$L_n = 4600 \text{ mm (} L_n \text{ dipilih yang paling besar)}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{f1} &= \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{slab}}} \\ &= \frac{9827873564}{163541666,7} = 60,094\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{f2} &= \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{slab}}} \\ &= \frac{11695098039,64}{293750000} = 39,813\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{f3} &= \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{slab}}} \\ &= \frac{11695098039,64}{293750000} = 39,813\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{f4} &= \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{slab}}} \\ &= \frac{5908578431,705}{289583333,3} = 20,404\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha_{fm} &= \frac{\alpha_{f1} + \alpha_{f2} + \alpha_{f3} + \alpha_{f4}}{4} \\ &= \frac{60,094 + 39,813 + 39,813 + 20,404}{4} = 40,031\end{aligned}$$

$$\beta = \frac{L_n}{L_{nx}} = \frac{4600}{3125} = 1,472$$

Menurut SNI 2847:2013 subpasal 9.5.3.3 jika α_{fm} besar dari 2,0 maka ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{L_n \left(0,8 + \frac{F_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$$

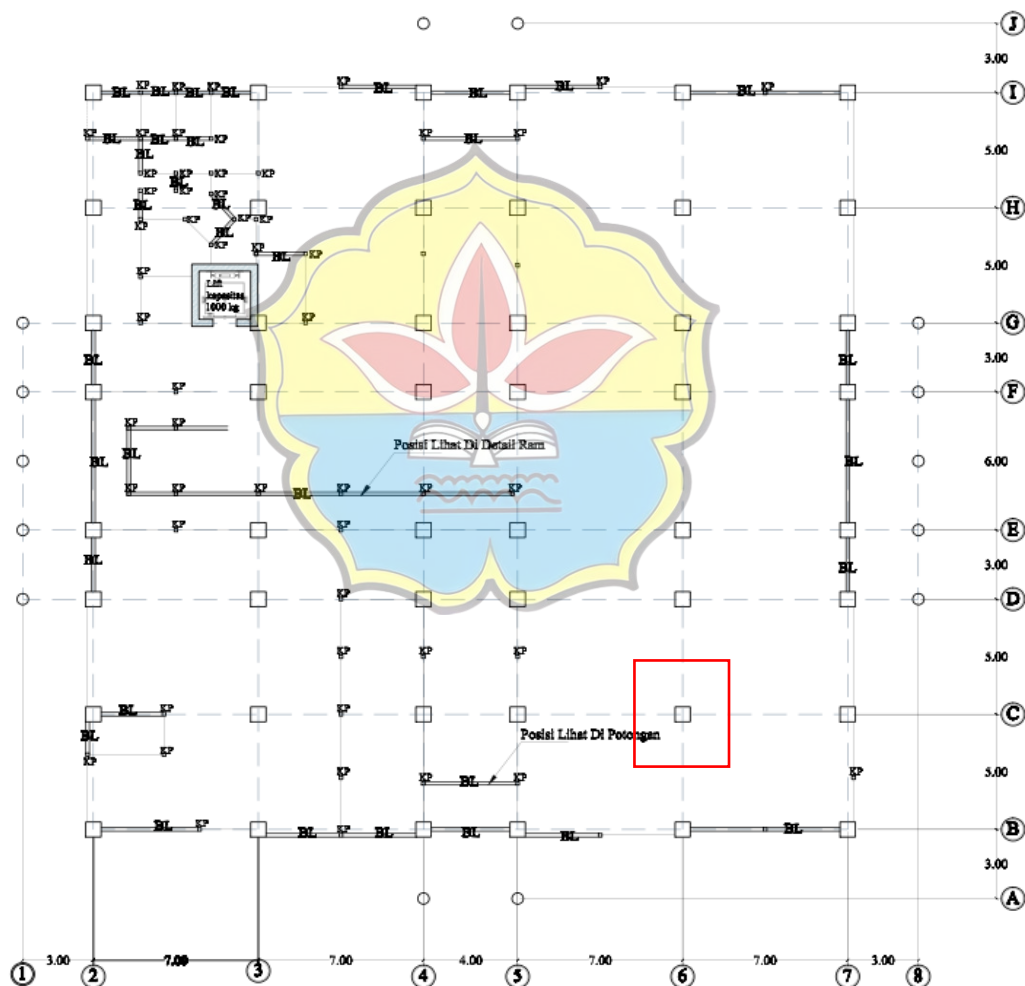
$$= \frac{4600 \left(0,8 + \frac{320}{1400}\right)}{36 + 9.1,472}$$

$$= 96,074 \text{ mm}$$

Maka h yang dipakai adalah 100 mm.

Perhitungan ini mewakili perhitungan pelat 2 arah lainnya.

3. Kolom



Gambar 4.10 Denah Kolom Yang Mewakili Perhitungan

Sumber : Gambar Rencana, 2022

Tabel 4.1 Beban Mati Lantai

Komponen Struktur	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (Satuan)		Berat (kN)
BI 1 arah X	0,4	0,6	3,5	24	kN/m ³	20,160
BI 2 arah X	0,4	0,6	3,5	24	kN/m ³	20,160
BI arah Y	0,4	0,6	2,5	24	kN/m ³	14,400
BI arah Y	0,4	0,6	2,5	24	kN/m ³	14,400
Pelat Atap	7	0,1	5	24	kN/m ³	84,000
Adukan (3 cm)	7	0,03	5	0,21	kN/m ³	0,221
ME (<i>Plumbing</i>)	7		5	0,25	kN/m ²	8,750
Plafond+rangka	7		5	0,18	kN/m ²	6,300
Dinding	7		5	2,5	kN/m ²	87,500
Keramik	7		5	0,24	kN/m ²	8,400
Kolom	0,65	0,65	3,8	24	kN/m ²	38,532
Jumlah						302,823

Sumber : Data Olahan, 2022

Tabel 4.2 Beban Mati Atap

Komponen Struktur	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (Satuan)		Berat (kN)
Pelat atap	7	0,1	5	24	kN/m ³	84,000
BI arah X	0,4	0,6	3,5	24	kN/m ³	20,160
BI arah X	0,4	0,6	3,5	24	kN/m ³	20,160
BI arah Y	0,4	0,6	2,5	24	kN/m ³	14,400
BI arah Y	0,4	0,6	2,5	24	kN/m ³	14,400
ME (<i>Plumbing</i>)	7		5	0,25	kN/m ³	8,750
Plafond+penggantung	7		5	0,18	kN/m ²	6,300
Jumlah						168,170

Sumber : Data Olahan, 2022

Tabel 4.3 Beban Hidup Atap

Komponen Struktur	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (Satuan)		Berat (kN)
Atap Bangunan	7		6	0,96	kN/m ²	40,320
Air Hujan	7		6	10	kN/m ³	420,000
Jumlah						460,320

Sumber : Data Olahan, 2022

Tabel 4.4 Beban Hidup Lantai

Komponen Struktur	Lebar (m)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Berat Jenis (Satuan)	Berat (kN)
Ruang kelas	7		5	3,83 kN/m ²	134,050
Jumlah					134,050

Sumber : Data Olahan, 2022

Beban mati pada 1 lantai = 302,823 kN

Beban mati pada 4 lantai = 1211,292 kN

Beban mati atap = 168,170 kN

Beban hidup atap = 460,320 kN

Beban hidup pada 1 lantai = 134,050 kN

Beban hidup pada 4 lantai = 536,200 kN

Sehingga, beban kombinasi :

DL Total = 1211,292 kN + 168,170 kN = 1379,462 kN

LL Total = 536,200 kN + 460,320 kN = 996,520 kN

$W_u = 1,2DL + 1,6LL$

$= 1,2(1379,462 \text{ kN}) + 1,6(996,520 \text{ kN})$

$= 3249,786 \text{ kN}$

Luas kolom yang dihitung menggunakan SNI 2847:2019 Pasal 9.3.2.2., sebagai berikut :

$$A = \frac{W_u}{0,3 \times f'_c} = \frac{3249,786}{0,3 \times 30000} = 0,385 \text{ m}^2$$

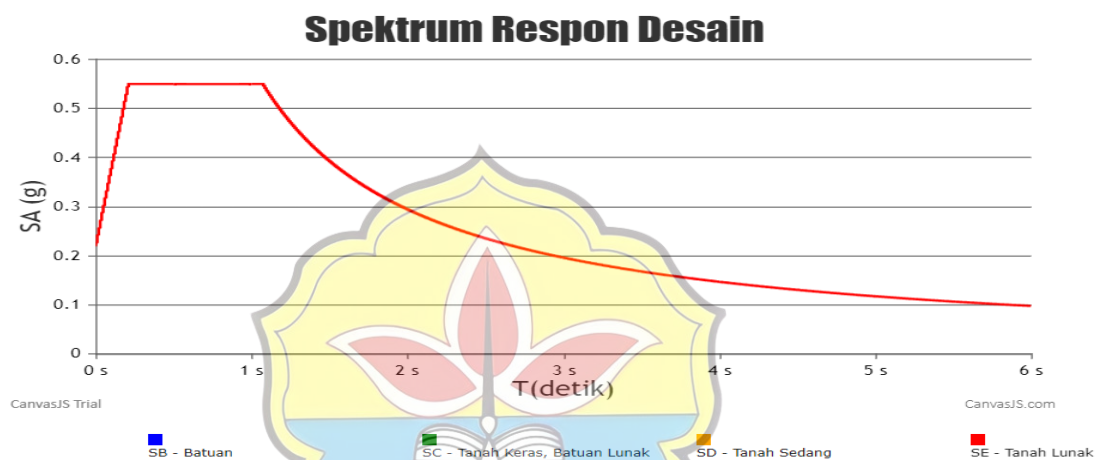
$$S = \sqrt{0,361} = 0,601 \text{ m}$$

Dimensi kolom yang akan digunakan untuk perencanaan ini adalah 60 cm x 60 cm.

4.3 Analisis Beban Gempa

1. Spektral Respon Desain

Penentuan respon spektrum desain, menggunakan titik koordinat Universitas Negeri di Provinsi Jambi yang dilakukan melalui situs Desain Spektra Indonesia. Dikarenakan data tanah yang tidak diketahui, maka tanah di lokasi bangunan tersebut diklasifikasikan sebagai tanah lunak (SE).



Gambar 4.11 Grafik Respon Spektrum Desain

Sumber : RSA 2021, 2022

Kurva spektral respon desain harus dikembangkan berdasarkan ketentuan dibawah ini:.

- Untuk periode $T < T_0$ maka,

$$\begin{aligned} S_a &= SD_S \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \\ &= 0,53 \left(0,4 + 0,6 \frac{0}{0,21} \right) \\ &= 0,212 \end{aligned}$$

- Periode antara T_0 dan T_s , S_a maka,

$$S_a = S_{DS} = 0,53$$

- Periode $T > T_s$, S_a maka,

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

$$= \frac{0,55}{T}$$

Tabel 4.5 Perhitungan Respon Spektrum Gempa

No	Nama Parameter	Nilai
1	PGA	0,1930 g
2	S_s	0,3930 g
3	S_1	0,2830 g
4	F_A	1,7 g
5	F_v	2,4 g
6	S_{MS}	0,668
7	S_{M1}	0,792
8	S_{DS}	0,53 g
9	S_{D1}	0,55 g
0	T_0	0,21 detik
11	T_s	1,04 detik

Sumber : RSA 2021, 2022

2. Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik untuk struktur bangunan Gedung Perkuliahan ini, dapat ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 :

- Jenis pemanfaatan gedung ini adalah gedung perkuliahan, maka berdasarkan tabel 3 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa termasuk dalam kategori resiko IV dan pada tabel 4 faktor keutamaan gempa, I_e adalah 1,50.
- Berdasarkan Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa kategori IV dan $S_{DS} = 0,53$. Maka, menurut tabel 8

Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek adalah D.

- c) Berdasarkan Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa kategori IV dan $S_{D1} = 0,55$. Maka, menurut tabel 9 Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek adalah D.

3. Sistem Pemikul Gaya Seismik

Tabel 4.6 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

C. Sistem rangka pemikul momen									
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	48	30	TI	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	$4\frac{1}{2}$	3	4	TB	TB	10^k	TI^k	TI^k	TI^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	$3\frac{1}{2}$	3	3	TB	TB	TI'	TI'	TI'	TI'
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	$5\frac{1}{2}$	48	48	30	TI	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	$3\frac{1}{2}$	3^o	$3\frac{1}{2}$	10	10	10	10	10	10

Sumber : Tabel 12 SNI 1726:2019

Berdasarkan fungsi gedung sebagai gedung perkuliahan, kategori resiko bangunan gedung dan nongedung adalah IV dan kategori desain seismic adalah D. Maka sistem penahan gaya seismic adalah Rangka Pemikul Momen Khusus dengan koefisien sebagai berikut:

$$R = 8$$

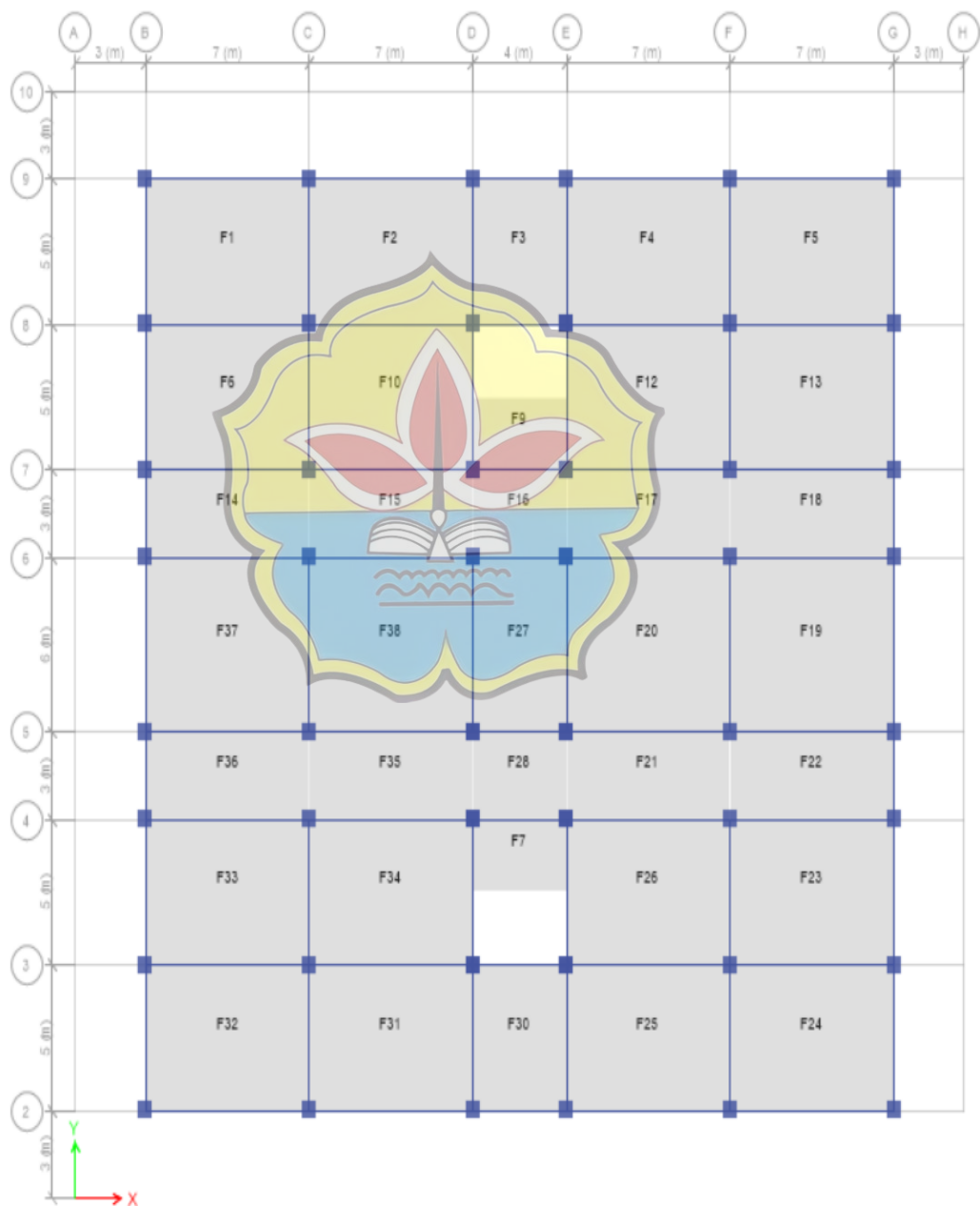
$$C_d = 5,5$$

$$\Omega_0 = 3$$

4.4 Perhitungan Struktur

1. Perhitungan Berat Struktur

Perhitungan berat struktur Gedung Perkuliahan meliputi berat sendiri bangunan.



Gambar 4.12 Denah Pelat Lantai 1

Sumber: Data Olahan, 2022

a. Berat Struktur Lantai 1

- Pembebanan Balok Induk

Tabel 4.7 Pembebanan Balok Induk

Keterangan	Grid	Dimensi			BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)		
balok induk (400 x 600) mm	B	0,4	0,5	27,8	2400	13344,000
	C	0,4	0,5	23	2400	11040,000
	D	0,4	0,5	23	2400	11040,000
	E	0,4	0,5	23	2400	11040,000
	F	0,4	0,5	23	2400	11040,000
	G	0,4	0,5	27,8	2400	13344,000
	9	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	8	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	7	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	6	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	5	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	4	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	3	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	2	0,4	0,5	29	2400	13920,000
Jumlah				379,6		182208,000

Sumber: Data Olahan, 2022

- Pembebanan Kolom

Tabel 4.8 Pembebanan Kolom

Keterangan	Jumlah	Dimensi			BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)		
Kolom (600 x 600) mm	48	3,8	0,6	0,6	2400	157593,6
Total						157593,6

Sumber : Data Olahan, 2022

- **Pembebanan Lantai**

Tabel 4.9 Pembebanan Lantai

Keterangan	Jumlah	Dimensi			BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)	Luas Total Area (m ²)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)			
F1	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F2	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F3	1	0,1	5	4	2400	4800	20
F4	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F5	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F6	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F10	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F12	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F13	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F14	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F15	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F16	1	0,1	3	4	2400	2880	12
F17	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F18	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F37	1	0,1	6	7	2400	10080	42
F38	1	0,1	6	7	2400	10080	42
F27	1	0,1	6	4	2400	5760	24
F20	1	0,1	6	7	2400	10080	42
F19	1	0,1	6	7	2400	10080	42
F36	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F35	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F28	1	0,1	3	4	2400	2880	12
F21	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F22	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F33	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F34	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F26	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F23	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F32	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F31	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F30	1	0,1	5	4	2400	4800	20
F25	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F24	1	0,1	5	7	2400	8400	35
		Total				236160	984

Sumber : Data Olahan, 2022

- **Pembebanan Dinding pada Balok**

Tabel 4.10 Pembebanan Balok

Keterangan	Grid	Tinggi (m)	Panjang (m)	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ²)	Berat (kg)
Dinding pada Balok	B	3,8	27,8	105,64	250	26410
	C	3,8	8,8	33,44	250	8360
	D	3,8	17,6	66,88	250	16720
	E	3,8	17,6	66,88	250	16720
	F	3,8	8,8	33,44	250	8360
	G	3,8	27,8	105,64	250	26410
	9	3,8	29	110,2	250	27550
	7	3,8	25,6	97,28	250	24320
	4	3,8	25,6	97,28	250	24320
	2	3,8	29	110,2	250	27550
Luas Total Balok				826,88	Total	206720

Sumber : Data Olahan, 2022

- **Perhitungan Berat Tambahan Dinding**

Tabel 4.11 Pembebanan Tambahan Dinding

Keterangan	Jumlah	Tinggi (m)	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Spesi Dinding	2	0,03	826,88	21	1041,8688
Berat Total Spesi Dinding					1041,8688
Berat Dinding Terhadap Balok					206720
Berat Total Dinding pada Balok					207761,8688

Sumber : Data Olahan, 2022

- **Perhitungan Beban Tambahan**

Tabel 4.12 Pembebanan Tambahan

Keterangan	Tinggi (m)	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Adukan (3 cm)	0,03	984	21	619,92
ME (<i>Plumbing</i>)		984	25	24600
Plafond+rangka		984	18	17712
Keramik	0,01	984	24	236,16
Total				43168,08

Sumber : Data Olahan, 2022

- Perhitungan Pembebanan pada Tangga

Tabel 4.13 Pembebanan Tangga

Keterangan	Dimensi			Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
	Tinggi (m)	Lebar (m)	Panjang (m)			
Pelat Bordes	0,1	4	2,5	2	2400	48000
Pelat Tangga	0,1	2	3,14	4	2400	6028,8
Total						54028,8

Sumber : Data Olahan, 2022

- Perhitungan Pembebanan pada Ramp

Tabel 4.14 Pembebanan Ramp

Keterangan	Dimensi			Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
	Tinggi (m)	Lebar (m)	Panjang (m)			
Pelat Bordes	0,1	6	2	1	2400	28800
Pelat Ramp	0,1	3	17	2	2400	24480
Total						53280

Sumber : Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Tambahan Tangga

Tabel 4.15 Pembebanan Tambahan Tangga

Keterangan	Tinggi	Luas (m ²)	Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Spesi Tangga	0,03	6,28	4	21	15,8256
Keramik Tangga	1	6,28	4	24	602,88
Spesi Bordes	0,03	10	2	21	12,6
Keramik Bordes	1	10	2	24	480
Total					1111,3056

Sumber : Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Tambahan Ramp

Tabel 4.16 Pembebanan Tambahan Ramp

Keterangan	Tinggi	Luas (m ²)	Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Spesi Ramp	0,03	51	2	21	64,26
Spesi Bordes	0,03	12	1	21	7,56
Keramik Bordes	1	12	1	24	288
Total					359,82

Sumber : Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Hidup

Tabel 4.17 Pembebanan Hidup

Keterangan	Jumlah	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Lantai	1	984	383	376872

Sumber : Data Olahan, 2022

- Total Beban Struktur pada Lantai 1

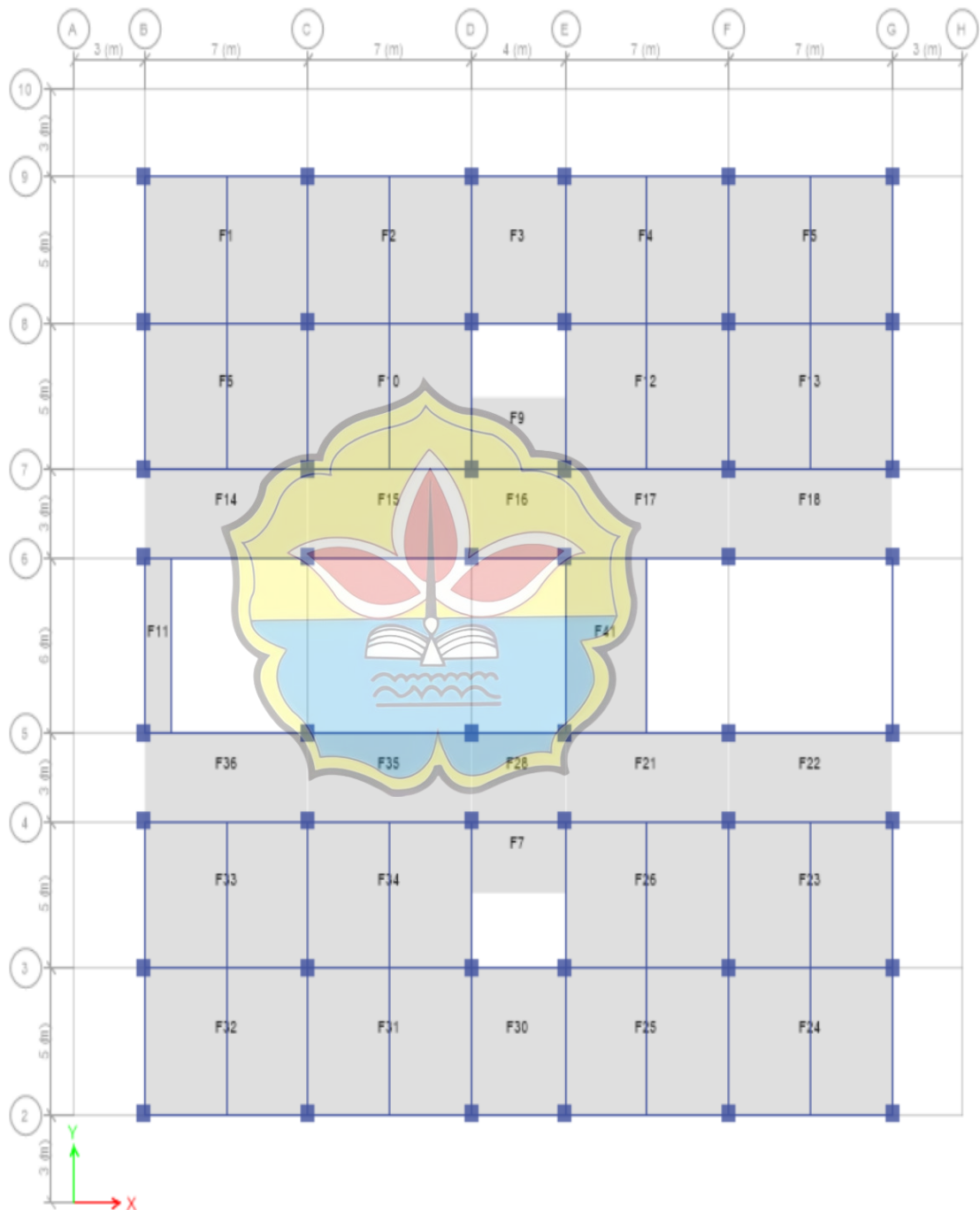
Tabel 4.18 Total Beban Struktur Lantai 1

Beban Mati Struktur	Balok	182208,000
	Kolom	157593,6
	Pelat	236160
Beban Mati Struktur		575961,600
Beban Mati Tambahan	Dinding	207761,8688
	Lantai	43168,08
	Tangga	55140,1056
	Ramp	53639,82
Total Beban Mati Tambahan		359709,8744
Beban Hidup		376872
Total Beban pada Lantai 1		1312543,474

Sumber : Data Olahan, 2022

b. Berat Struktur Lantai 2

- Pembebanan Balok



Gambar 4.13 Denah Pelat Lantai 2

Sumber: Data Olahan, 2022

Tabel 4.19 Pembebanan Balok Induk

Keterangan	Grid	Dimensi			BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)		
balok induk (400 x 600) mm	B	0,4	0,5	23	2400	11040,000
	C	0,4	0,5	17,6	2400	8448,000
	D	0,4	0,5	17,6	2400	8448,000
	E	0,4	0,5	23	2400	11040,000
	F	0,4	0,5	17,6	2400	8448,000
	G	0,4	0,5	23	2400	11040,000
	9	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	8	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	7	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	6	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	5	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	4	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	3	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	2	0,4	0,5	29	2400	13920,000
Jumlah				353,8		169824,000

Sumber: Data Olahan, 2022

Tabel 4.20 Pembebanan Balok Anak

Keterangan	Grid	Dimensi			BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)		
balok Anak (350 x 500) mm	B1	0,35	0,5	17,6	2400	7392
	C1	0,35	0,5	17,6	2400	7392
	E1	0,35	0,5	22,8	2400	9576
	F1	0,35	0,5	17,6	2400	7392
	Jumlah			75,6		31752
Berat Total Balok						201576,000

Sumber: Data Olahan, 2022

- **Pembebanan Kolom**

Tabel 4.21 Pembebanan Kolom

Keterangan	Jumlah	Dimensi			BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)		
Kolom (600 x 600) mm	48	3,8	0,6	0,6	2400	157593,6
Total						157593,6

Sumber: Data Olahan, 2022

- **Pembebanan Pelat Lantai**

Tabel 4.22 Pembebanan Lantai

Keterangan	Jumlah	Dimensi			BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)	Luas Total Area (m ²)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)			
F1	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F2	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F3	1	0,1	5	4	2400	4800	20
F4	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F5	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F6	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F10	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F12	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F13	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F14	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F15	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F16	1	0,1	3	4	2400	2880	12
F17	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F18	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F41	1	0,1	6	3,5	2400	5040	21

F36	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F35	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F28	1	0,1	3	4	2400	2880	12
F21	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F22	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F33	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F34	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F26	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F23	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F32	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F31	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F30	1	0,1	5	4	2400	4800	20
F25	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F24	1	0,1	5	7	2400	8400	35
Total						195120	813

Sumber: Data Olahan, 2022

- Pembebanan Dinding pada Balok

Tabel 4.23 Pembebanan Dinding

Keterangan	Grid	Tinggi (m)	Panjang (m)	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (kg)
Dinding pada Balok	B	3,8	23	87,4	250	21850
	C	3,8	13,2	50,16	250	12540
	D	3,8	17,6	66,88	250	16720
	E	3,8	17,6	66,88	250	16720
	G	3,8	23	87,4	250	21850
	9	3,8	29	110,2	250	27550
	7	3,8	25,6	97,28	250	24320
	4	3,8	25,6	97,28	250	24320
	2	3,8	29	110,2	250	27550
Luas Total Balok				773,68	Total	193420

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Berat Tambahan Dinding

Tabel 4.24 Pembebanan Tambahan Dinding

Keterangan	Jumlah	Tinggi (m)	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Spesi Dinding	2	0,03	826,88	21	1041,8688
Berat Total Spesi Dinding					1041,8688
Berat Dinding Terhadap Balok					206720
Berat Total Dinding pada Balok					207761,8688

Sumber : Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Tambahan

Tabel 4.25 Pembebanan Tambahan

Keterangan	Tinggi (m)	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Adukan (3 cm)	0,03	813	21	512,19
ME (<i>Plumbing</i>)		813	25	20325
Plafond+rangka		813	18	14634
Keramik	0,01	813	24	195,12
Total				35666,31

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Pembebanan pada Tangga

Tabel 4.26 Pembebanan Tangga

Keterangan	Dimensi			Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
	Tinggi (m)	Lebar (m)	Panjang (m)			
Pelat Bordes	0,1	4	2,5	2	2400	48000
Pelat Tangga	0,1	2	3,14	4	2400	6028,8
Total						54028,8

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Pembebanan pada Ramp

Tabel 4.27 Pembebanan Ramp

Keterangan	Dimensi			Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
	Tinggi (m)	Lebar (m)	Panjang (m)			
Pelat Bordes	0,1	6	2	1	2400	28800
Pelat Ramp	0,1	3	17	2	2400	24480
Total						53280

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Tambahan Tangga

Tabel 4.28 Pembebanan Tambahan Tangga

Keterangan	Tinggi	Luas (m ²)	Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Spesi Tangga	0,03	6,28	4	21	15,8256
Keramik Tangga	1	6,28	4	24	602,88
Spesi Bordes	0,03	10	2	21	12,6
Keramik Bordes	1	10	2	24	480
Total					1111,3056

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Tambahan Ramp

Tabel 4.29 Pembebanan Tambahan Ramp

Keterangan	Tinggi	Luas (m ²)	Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Spesi Ramp	0,03	51	2	21	64,26
Spesi Bordes	0,03	12	1	21	7,56
Keramik Bordes	1	12	1	24	288
Total					359,82

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Hidup

Tabel 4.30 Pembebanan Hidup

Keterangan	Jumlah	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Lantai	1	813	383	311379

Sumber: Data Olahan, 2022

- Total Beban Struktur pada Lantai 2

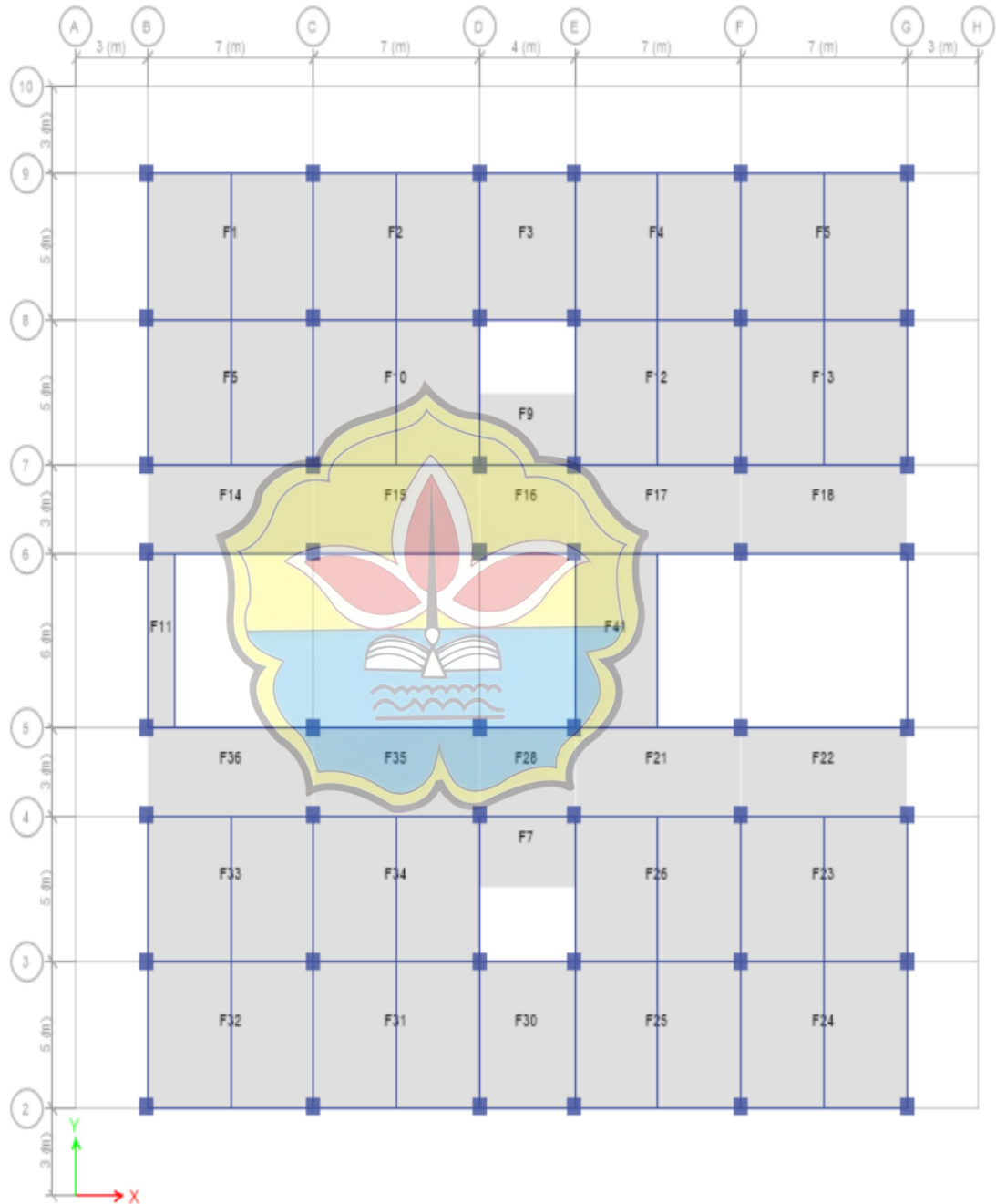
Tabel 4.31 Total Beban Struktur Lantai 2

Keterangan	Beban	Berat (Kg)
Beban Mati Struktur	Balok	201576,000
	Kolom	157593,6
	Pelat	195120
	Beban Mati Struktur	554289,600
Beban Mati Tambahan	Dinding	194394,8368
	Lantai	35666,31
	Tangga	55140,1056
	Ramp	53639,82
	Total Beban Mati Tambahan	338841,0724
	Beban Hidup	311379
	Total Beban pada Lantai 2	1204509,672

Sumber: Data Olahan, 2022

c. Berat Struktur Lantai 3

- Pembebanan Balok



Gambar 4.14 Denah Pelat Lantai 3

Sumber: Data Olahan, 2022

Tabel 4.32 Pembebanan Balok Induk

Keterangan	Grid	Dimensi			BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)		
balok induk (400 x 600) mm	B	0,4	0,5	23	2400	11040,000
	C	0,4	0,5	17,6	2400	8448,000
	D	0,4	0,5	17,6	2400	8448,000
	E	0,4	0,5	23	2400	11040,000
	F	0,4	0,5	17,6	2400	8448,000
	G	0,4	0,5	23	2400	11040,000
	9	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	8	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	7	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	6	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	5	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	4	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	3	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	2	0,4	0,5	29	2400	13920,000
Jumlah				353,8		169824,000

Sumber: Data Olahan, 2022

Tabel 4.33 Pembebanan Balok Anak

Keterangan	Grid	Dimensi			BJ (Kg/m³)	Berat (Kg)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)		
balok Anak (350 x 500) mm	B1	0,35	0,5	17,6	2400	7392
	C1	0,35	0,5	17,6	2400	7392
	E1	0,35	0,5	22,8	2400	9576
	F1	0,35	0,5	17,6	2400	7392
		Jumlah		75,6		31752
Berat Total Balok						201576,000

Sumber: Data Olahan, 2022

- **Pembebanan Kolom**

Tabel 4.34 Pembebanan Kolom

Keterangan	Jumlah	Dimensi		Bentang Bersih (m)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
		Lebar (m)	Tinggi (m)			
Kolom (600 x 600) mm	48	3,8	0,6	0,6	2400	157593,6
Total						157593,6

Sumber: Data Olahan, 2022

- **Pembebanan Pelat Lantai**

Tabel 4.35 Pembebanan Lantai

Keterangan	Jumlah	Dimensi			BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)	Luas Total Area (m ²)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)			
F1	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F2	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F3	1	0,1	5	4	2400	4800	20
F4	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F5	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F6	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F10	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F12	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F13	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F14	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F15	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F16	1	0,1	3	4	2400	2880	12
F17	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F41	1	0,1	3	3,5	2400	2520	10,5
F36	1	0,1	3	7	2400	5040	21

F35	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F28	1	0,1	3	4	2400	2880	12
F21	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F22	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F33	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F34	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F26	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F23	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F32	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F31	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F30	1	0,1	5	4	2401	4802	20
F25	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F24	1	0,1	5	7	2400	8400	35
Total						187562	781,5

Sumber: Data Olahan, 2022

- Pembebanan Dinding pada Balok

Tabel 4.36 Pembebanan Dinding

Keterangan	Grid	Tinggi (m)	Panjang (m)	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (kg)
Dinding pada Balok	B	3,8	23	87,4	250	21850
	C	3,8	17,6	66,88	250	16720
	D	3,8	17,6	66,88	250	16720
	E	3,8	17,6	66,88	250	16720
	F	3,8	17,6	66,88	250	16720
	G	3,8	23	87,4	250	21850
	9	3,8	29	110,2	250	27550
	7	3,8	25,6	97,28	250	24320
	4	3,8	25,6	97,28	250	24320
	2	3,8	29	110,2	250	27550
Luas Total Balok				857,28	Total	214320

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Berat Tambahan Dinding

Tabel 4.37 Pembebanan Tambahan Dinding

Keterangan	Jumlah	Tinggi (m)	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Spesi Dinding	2	0,03	857,28	21	1080,1728
Berat Total Spesi Dinding					1080,1728
Berat Dinding Terhadap Balok					214320
Berat Total Dinding pada Balok					215400,1728

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Tambahan

Tabel 4.38 Pembebanan Tambahan

Keterangan	Tinggi (m)	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Adukan (3 cm)	0,03	813	21	512,19
ME (<i>Plumbing</i>)		813	25	20325
Plafond+rangka		813	18	14634
Keramik	0,01	813	24	195,12
Total				35666,31

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Pembebanan pada Tangga

Tabel 4.39 Pembebanan Tangga

Keterangan	Dimensi			Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
	Tinggi (m)	Lebar (m)	Panjang (m)			
Pelat Bordes	0,1	4	2,5	2	2400	48000
Pelat Tangga	0,1	2	3,14	4	2400	6028,8
Total						54028,8

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Pembebanan pada Ramp

Tabel 4.40 Pembebanan Ramp

Keterangan	Dimensi			Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
	Tinggi (m)	Lebar (m)	Panjang (m)			
Pelat Bordes	0,1	6	2	1	2400	28800
Pelat Ramp	0,1	3	17	2	2400	24480
Total						53280

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Tambahan Tangga

Tabel 4.41 Pembebanan Tambahan Tangga

Keterangan	Tinggi	Luas (m ²)	Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Spesi Tangga	0,03	6,28	4	21	15,8256
Keramik Tangga	1	6,28	4	24	602,88
Spesi Bordes	0,03	10	2	21	12,6
Keramik Bordes	1	10	2	24	480
Total					1111,3056

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Tambahan Ramp

Tabel 4.42 Pembebanan Tambahan Ramp

Keterangan	Tinggi	Luas (m ²)	Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Spesi Ramp	0,03	51	2	21	64,26
Spesi Bordes	0,03	12	1	21	7,56
Keramik Bordes	1	12	1	24	288
Total					359,82

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Hidup

Tabel 4.43 Pembebanan Hidup

Keterangan	Jumlah	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Lantai	1	781,5	383	299314,5

Sumber: Data Olahan, 2022

- Total Beban Struktur pada Lantai 3

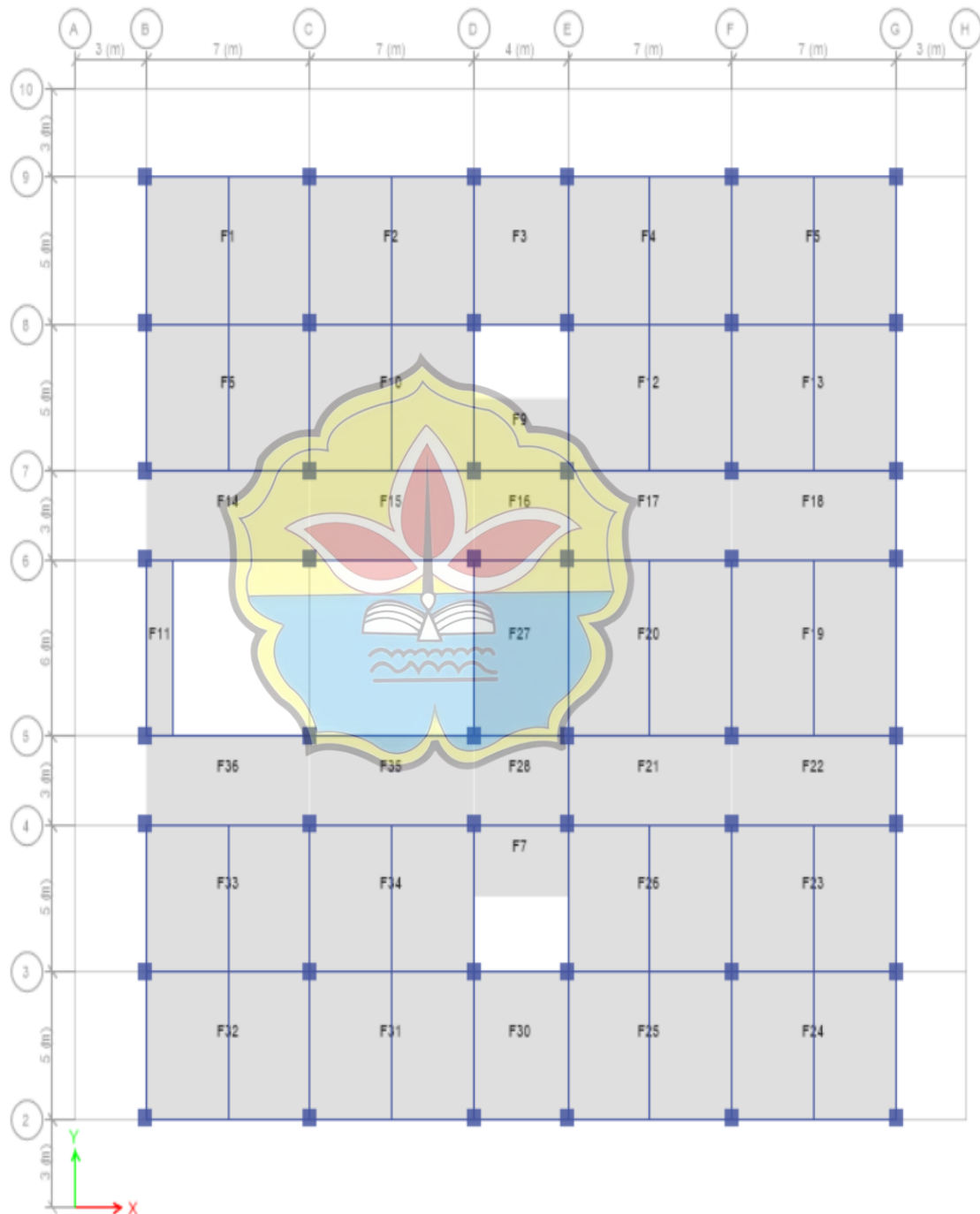
Tabel 4.44 Total Beban Struktur Lantai 3

Keterangan	Beban	Berat (Kg)
Beban Mati Struktur	Balok	201576,000
	Kolom	157593,6
	Pelat	187562
Beban Mati Struktur		546731,600
Beban Mati Tambahan	Dinding	215400,1728
	Lantai	35666,31
	Tangga	55140,1056
	Ramp	53639,82
Total Beban Mati Tambahan		359846,4084
Beban Hidup		299314,5
Total Beban pada Lantai 3		1205892,508

Sumber: Data Olahan, 2022

d. Berat Struktur Lantai 4

- Pembebanan Balok



Gambar 4.15 Denah Pelat Lantai 4

Sumber: Data Olahan, 2022

Tabel 4.45 Pembebanan Balok Induk

Keterangan	Grid	Dimensi			BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)		
balok induk (400 x 600) mm	B	0,4	0,5	23	2400	11040,000
	C	0,4	0,5	17,6	2400	8448,000
	D	0,4	0,5	23	2400	11040,000
	E	0,4	0,5	27,8	2400	13344,000
	F	0,4	0,5	23	2400	11040,000
	G	0,4	0,5	27,8	2400	13344,000
	9	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	8	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	7	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	6	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	5	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	4	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	3	0,4	0,5	29	2400	13920,000
	2	0,4	0,5	29	2400	13920,000
		Jumlah		374,2		179616,000

Sumber: Data Olahan, 2022

Tabel 4.46 Pembebanan Balok Anak

Keterangan	Grid	Dimensi			BJ (Kg/m³)	Berat (Kg)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)		
balok Anak (350 x 500) mm	B1	0,35	0,5	17,6	2400	7392
	C1	0,35	0,5	17,6	2400	7392
	E1	0,35	0,5	22,8	2400	9576
	F1	0,35	0,5	22,8	2400	9576
		Jumlah		80,8		33936
Berat Total Balok						213552,000

Sumber: Data Olahan, 2022

- **Pembebanan Kolom**

Tabel 4.47 Pembebanan Kolom

Keterangan	Jumlah	Dimensi			BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
		Tinggi (m)	Panjang (m)	Lebar (m)		
Kolom (600 x 600) mm	48	3,8	0,6	0,6	2400	157593,6
Total						157593,6

Sumber: Data Olahan, 2022

- **Pembebanan Pelat Lantai**

Tabel 4.48 Pembebanan Lantai

Keterangan	Jumlah	Dimensi			BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)	Luas Total Area (m ²)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)			
F1	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F2	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F3	1	0,1	5	4	2400	4800	20
F4	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F5	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F6	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F10	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F12	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F13	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F14	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F15	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F16	1	0,1	3	4	2400	2880	12
F17	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F18	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F27	1	0,1	6	4	2400	5760	24
F20	1	0,1	6	7	2400	10080	42

F19	1	0,1	6	7	2401	10084,2	42
F36	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F35	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F28	1	0,1	3	4	2401	2881,2	12
F21	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F22	1	0,1	3	7	2400	5040	21
F33	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F34	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F26	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F23	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F32	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F31	1	0,1	5	7	2401	8403,5	35
F30	1	0,1	5	4	2400	4800	20
F25	1	0,1	5	7	2400	8400	35
F24	1	0,1	5	7	2400	8400	35
Total						199208,9	900

Sumber: Data Olahan, 2022

- Pembebanan Dinding pada Balok

Tabel 4.49 Pembebanan Dinding

Keterangan	Grid	Tinggi (m)	Panjang (m)	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (kg)
Dinding pada Balok	B	3,8	23	87,4	250	21850
	C	3,8	13,2	50,16	250	12540
	D	3,8	17,6	66,88	250	16720
	E	3,8	27,8	105,64	250	26410
	G	3,8	27,8	105,64	250	26410
	9	3,8	29	110,2	250	27550
	8	3,8	6,4	24,32	250	6080
	3	3,8	12,8	48,64	250	12160
	2	3,8	29	110,2	250	27550
Luas Total Balok				709,08	Total	177270

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Berat Tambahan Dinding

Tabel 4.50 Pembebanan Tambahan Dinding

Keterangan	Jumlah	Tinggi (m)	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Spesi Dinding	2	0,03	709,08	21	893,4408
Berat Total Spesi Dinding					893,4408
Berat Dinding Terhadap Balok					177270
Berat Total Dinding pada Balok					178163,4408

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Tambahan

Tabel 4.51 Pembebanan Tambahan

Keterangan	Tinggi (m)	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Adukan (3 cm)	0,03	900	21	567
ME (<i>Plumbing</i>)		900	25	22500
Plafond+rangka		900	18	16200
Keramik	0,01	900	24	216
Total				39483

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Pembebanan pada Tangga

Tabel 4.52 Pembebanan Tangga

Keterangan	Dimensi			Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
	Tinggi (m)	Lebar (m)	Panjang (m)			
Pelat Bordes	0,1	4	2,5	2	2400	48000
Pelat Tangga	0,1	2	3,14	4	2400	6028,8
Total						54028,8

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Pembebanan pada Ramp

Tabel 4.53 Pembebanan Ramp

Keterangan	Dimensi			Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
	Tinggi (m)	Lebar (m)	Panjang (m)			
Pelat Bordes	0,1	6	2	1	2400	28800
Pelat Ramp	0,1	3	17	2	2400	24480
Total						53280

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Tambahan Tangga

Tabel 4.54 Pembebanan Tambahan Tangga

Keterangan	Tinggi	Luas (m ²)	Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Spesi Tangga	0,03	6,28	4	21	15,8256
Keramik Tangga	1	6,28	4	24	602,88
Spesi Bordes	0,03	10	2	21	12,6
Keramik Bordes	1	10	2	24	480
Total					1111,3056

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Tambahan Ramp

Tabel 4.55 Pembebanan Tambahan Ramp

Keterangan	Tinggi	Luas (m ²)	Jumlah	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Spesi Ramp	0,03	51	2	21	64,26
Spesi Bordes	0,03	12	1	21	7,56
Keramik Bordes	1	12	1	24	288
Total					359,82

Sumber: Data Olahan, 2022

- Perhitungan Beban Hidup

Tabel 4.56 Pembebanan Hidup

Keterangan	Jumlah	Luas (m ²)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
Lantai	1	900	383	344700

Sumber: Data Olahan, 2022

- Total Beban Struktur pada Lantai 4

Tabel 4.57 Total Beban Struktur pada Lantai 4

Keterangan	Beban	Berat (Kg)
Beban Mati Struktur	Balok	213552,000
	Kolom	157593,6
	Pelat	199208,9
	Beban Mati Struktur	570354,500
Beban Mati Tambahan	Dinding	178163,4408
	Lantai	39483
	Tangga	55140,1056
	Ramp	53639,82
	Total Beban Mati Tambahan	326426,3664
	Beban Hidup	344700
	Total Beban pada Lantai 4	1241480,866

Sumber : Data Olahan, 2022

e. Berat Lantai 5 (Atap)

- Pembebanan Balok

Tabel 4.58 Pembebanan Balok Induk

Keterangan	Grid	Dimensi			BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
		Lebar (m)	Tinggi (m)	Bentang Bersih (m)		
balok induk (400 x 600) mm	B	0,4	0,5	27,8	2400	13344,000
	C	0,4	0,5	27,8	2400	13344,000
	D	0,4	0,5	27,8	2400	13344,000

E	0,4	0,5	27,8	2400	13344,000
F	0,4	0,5	27,8	2400	13344,000
G	0,4	0,5	27,8	2400	13344,000
9	0,4	0,5	29	2400	13920,000
8	0,4	0,5	29	2400	13920,000
7	0,4	0,5	29	2400	13920,000
6	0,4	0,5	29	2400	13920,000
5	0,4	0,5	29	2400	13920,000
4	0,4	0,5	29	2400	13920,000
3	0,4	0,5	29	2400	13920,000
2	0,4	0,5	29	2400	13920,000
Jumlah			398,8		191424,000

Sumber: Data Olahan, 2022

- Pembebanan Kolom

Tabel 4.59 Pembebanan Kolom

Keterangan	Dimensi			Bentang Bersih (m)	BJ (Kg/m ³)	Berat (Kg)
	Jumlah	Lebar (m)	Tinggi (m)			
Kolom (600 x 600) mm	48	4,5	0,6	0,6	2400	186624
Total						186624

Sumber: Data Olahan, 2022

- Beban Terpusat pada Atap

Tabel 4.60 Pembebanan Terpusat pada Atap

Panjang (m)	Lebar (m)	Berat Jenis (Kg/m ³)	Berat Atap (kg)	BJ Air Hujan (Kg/m ³)	Tebal Pelat (m)	Berat
32	32	96	113049,6	1000	0,1	102400
Berat Total Beban Terpusat Pada Lantai Atap						215449,6

Sumber: Data Olahan, 2022

- **Total Beban Struktur pada Lantai 5 (Atap)**

Tabel 4.61 Total Beban Struktur pada Lantai 5

Keterangan	Beban	Berat (Kg)
Beban Mati Struktur	Balok	191424,000
	Kolom	186624
Beban Mati Struktur		378048,000
Beban Hidup Atap		215449,6
Total Beban pada Lantai 5 (Atap)		593497,600

Sumber: Data Olahan, 2022

f. Rekapitulasi Pembebanan Struktur

Tabel 4.62 Rekapitulasi Pembebanan Struktur

Beban Pada Lantai (Kg)				
Lantai	Beban Mati Struktur	Beban Mati Tambahan	Beban Hidup	Beban Hidup Atap
Lantai 1	575961,6	359709,8744	376872	-
Lantai 2	554289,6	338841,0724	311379	-
Lantai 3	546731,6	359846,4084	299314,5	-
Lantai 4	570354,5	326426,3664	344700	-
Lantai 5 (Atap)	378048	593497,6	-	215449,6
Berat Total Keseluruhan (kg)	2625385,3	1384823,722	1332265,5	215449,6
Berat Total Keseluruhan (kN)	26253,853	13848,23722	13322,655	2154,496
Berat Total Keseluruhan	5557924,122			

Sumber: Data Olahan, 2022

g. Pemeriksaan Pembebanan

Tabel 4.63 Pemeriksaan Pembebanan

BEBAN	PERHITUNGAN	PERHITUNGAN	SELISIH	HASIL
	ETABS kN	MANUAL kN		
Beban Mati (Dead)	28055,598	26253,853	1801,745	0,069
Beban Mati Tambahan	14530,071	13848,237	681,834	4,924
Beban Hidup (Live)	13443,300	13322,655	120,645	0,906
Beban Hidup Atap (Roof Live)	2154,480	2154,496	-0,016	-0,001
JUMLAH	58183,448	55579,241	2604,207	4,686

Sumber: Data Olahan, 2022

2. Kombinasi Beban

Tabel 4.64 Kombinasi beban

NO	KOMBINASI BEBAN
1	1,4D
2	1,2D + 1,6L + 0,5Lr
3	1,2D + 1,6Lr + 1L
4	1,3D + 1,3Ex + 0,4Ey + 1L
5	1,3D - 1,3Ex + 0,4Ey + 1L
6	1,3D + 1,3Ex - 0,4Ey + 1L
7	1,3D - 1,3Ex - 0,4Ey + 1L
8	1,3D + 0,4Ex + 1,3Ey + 1L

9	$1,3D - 0,4Ex + 1,3Ey + 1L$
10	$1,3D + 0,4Ex - 1,3Ey + 1L$
11	$1,3D - 0,4Ex - 1,3Ey + 1L$
12	$0,8D + 1,3Ex + 0,4Ey$
13	$0,8D - 1,3Ex + 0,4Ey$
14	$0,8D + 1,3Ex - 0,4Ey$
15	$0,8D - 1,3Ex - 0,4Ey$
16	$0,8D + 0,4Ex + 1,3Ey$
17	$0,8D - 0,4Ex + 1,3Ey$
18	$0,8D + 0,4Ex - 1,3Ey$
19	$0,8D - 0,4Ex - 1,3Ey$

Sumber : Data Olahan, 2022

3. Hasil Analisis MPMR (*Modal Participation Mass Ratio*)

Sesuai tabel yang terlampir di bawah ini, partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 99%, ini telah memenuhi ketentuan analisa ragam yang sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1 yaitu ragam terkombinasi. Untuk mendapatkan hasil MPMR ini dilakukan sampai 40 modal cases.

Tabel 4.65 Rekapitulasi Hasil MPMR

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ
Modal	1	0,81	2,27E-06	0,5739	0	2,27E-06	0,5739	0
Modal	2	0,8	7,51E-06	0,2334	0	9,78E-06	0,8073	0
Modal	3	0,667	0,8213	0	0	0,8213	0,8073	0
Modal	4	0,245	5,90E-06	0,0601	0	0,8213	0,8674	0
Modal	5	0,239	6,00E-06	0,0565	0	0,8213	0,924	0
Modal	6	0,216	0,11	5,28E-07	0	0,9313	0,924	0
Modal	7	0,152	0,0001	0,0015	0	0,9314	0,9255	0

Tabel 4.65 Rekapitulasi Hasil MPMR

Modal	8	0,141	0,0001	0,0104	0	0,9314	0,9359	0
Modal	9	0,14	0,0004	0,0012	0	0,9319	0,9371	0
Modal	10	0,138	0	0,0138	0	0,9319	0,9509	0
Modal	11	0,136	5,98E-07	0,0017	0	0,9319	0,9526	0
Modal	12	0,133	0,0002	0,0008	0	0,9321	0,9534	0
Modal	13	0,13	0,0322	0	0	0,9643	0,9534	0
Modal	14	0,129	0,0003	0,0008	0	0,9646	0,9542	0
Modal	15	0,123	2,22E-06	0,0157	0	0,9646	0,9698	0
Modal	16	0,118	0	0,0002	0	0,9646	0,97	0
Modal	17	0,111	0,0053	0	0	0,9699	0,97	0
Modal	18	0,101	3,48E-05	2,18E-05	0	0,9699	0,9701	0
Modal	19	0,097	1,52E-05	0,0001	0	0,9699	0,9701	0
Modal	20	0,093	0,0009	0	0	0,9708	0,9701	0
Modal	21	0,091	0,0001	0,0001	0	0,9709	0,9702	0
Modal	22	0,09	3,3E-06	0,0204	0	0,9709	0,9906	0
Modal	23	0,087	0,0188	1,8E-06	0	0,9896	0,9906	0
Modal	24	0,086	0,0001	9,2E-06	0	0,9898	0,9906	0
Modal	25	0,086	0,0002	1,2E-05	0	0,99	0,9906	0
Modal	26	0,082	0,0004	1,9E-06	0	0,9904	0,9907	0
Modal	27	0,073	6,9E-06	0	0	0,9904	0,9907	0
Modal	28	0,072	1,2E-06	0,0004	0	0,9905	0,9911	0
Modal	29	0,07	2E-05	1,1E-05	0	0,9905	0,9911	0
Modal	30	0,067	0,0001	0,0008	0	0,9906	0,9918	0
Modal	31	0,067	2,5E-05	0,0069	0	0,9906	0,9988	0
Modal	32	0,066	0,0001	3,4E-06	0	0,9907	0,9988	0
Modal	33	0,065	0,0076	4,9E-06	0	0,9983	0,9988	0
Modal	34	0,061	0	1,2E-05	0	0,9983	0,9988	0
Modal	35	0,058	0,0001	0	0	0,9984	0,9988	0
Modal	36	0,058	0,0001	2,7E-06	0	0,9984	0,9988	0
Modal	37	0,054	3,7E-05	0	0	0,9985	0,9988	0
Modal	38	0,051	1,3E-06	3E-05	0	0,9985	0,9988	0
Modal	39	0,047	9,8E-07	0,0001	0	0,9985	0,9989	0
Modal	40	0,046	0	0	0	0,9985	0,9989	0

Sumber : Data Olahan, 2022

4. Faktor Skala

Menurut peraturan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1 faktor skala atau gaya geser, hasil analisis ragam respons spektrum harus mencapai 100%. Apabila hasil yang didapat kurang dari 100% maka faktor skala tersebut harus dikalikan dengan $\frac{V}{V_t}$.

Faktor skala awal:

Diketahui:

$$g \text{ (Gravitasi)} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$I_e \text{ (Faktor Keutamaan Gempa)} = 1,5$$

$$R \text{ (Beban Hujan)} = 8$$

$$S_{DS} \text{ (Percepatan Spektral Peiode Pendek)} = 0,53$$

$$S_{D1} \text{ (Percepatan Spektral Peiode 1 detik)} = 0,55$$

$$T_x = 0,787$$

$$T_y = 0,787$$

$$SF \text{ (Faktore Keamanan)} = g \times \frac{I_e}{R} = 9,81 \times \frac{1,5}{8}$$

$$= 1,839 \text{ m/s}^2 = 1839,375 \text{ mm/s}^2$$

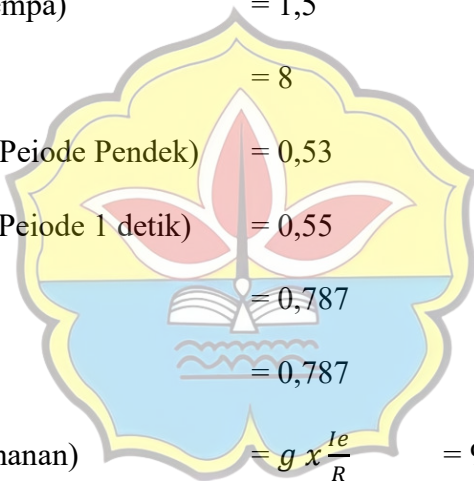
$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{I_e}{R}\right)}$$

$$= \frac{0,53}{\left(\frac{1,5}{8}\right)} = 0,994$$

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

$$= 0,044 \times 0,53 \times 1,5$$

$$= 0,0350$$



$$\begin{aligned}
 C_{s\text{Max}} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{T_e}{R}\right)} \\
 &= \frac{0,55}{0,787\left(\frac{1,5}{8}\right)} = 0,1311 \text{ (Arah X)} \\
 &= \frac{0,55}{0,787\left(\frac{1,5}{8}\right)} = 0,1311 \text{ (Arah Y)}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.66 Hasil Perhitungan Faktor Skala

Story	W	Cs	Vi		v	Vi/V		Cek	
			Arah X	Arah Y		Arah X	Arah Y		
lantai 1	41783,5	0,099	4152,236	4152,236	4152,235	4152,235	1,00	1,00	OKE
lantai 2	41783,5	0,099	4152,236	4152,236	4152,235	4152,235	1,00	1,00	OKE
lantai 3	41783,5	0,099	4152,236	4152,236	4152,235	4152,235	1,00	1,00	OKE
lantai 4	41783,5	0,099	4152,236	4152,236	4152,235	4152,235	1,00	1,00	OKE
lantai 5	41783,5	0,099	4152,236	4152,236	4152,235	4152,235	1,00	1,00	OKE

Sumber : Data Olahan, 2022

Dapat dilihat dari tabel di atas, hasil analisis faktor skala atau gaya geser pada struktur bangunan tersebut telah memenuhi syarat yang tercantum pada SNI 1726:2019, yaitu sebesar 100%.

5. Simpangan Antar Lantai (Drift)

Simpangan antar lantai struktur bangunan tidak boleh melebihi batas simpangan yang diizinkan (Δ_a/ρ), dengan KDS bangunan yaitu D. Sesuai dengan SNI 1726:2019 tabel 20 untuk gedung dengan Kategori Desain Seismik D, simpangan antar tingkat izin (Δ_a) yaitu sebesar 0,010. h_{sx} adalah tinggi tingkat, faktor redundansi (ρ) = 1. Berikut adalah hasil perhitungan simpangan antar lantai:

h : 3800 mm

Δ_a : 0,010

ρ : 1

$$\Delta_{\max} : \Delta / \rho = 0,010 / 1 = 0,010$$

$$C_d : 5,5$$

$$I_e : 1,5$$

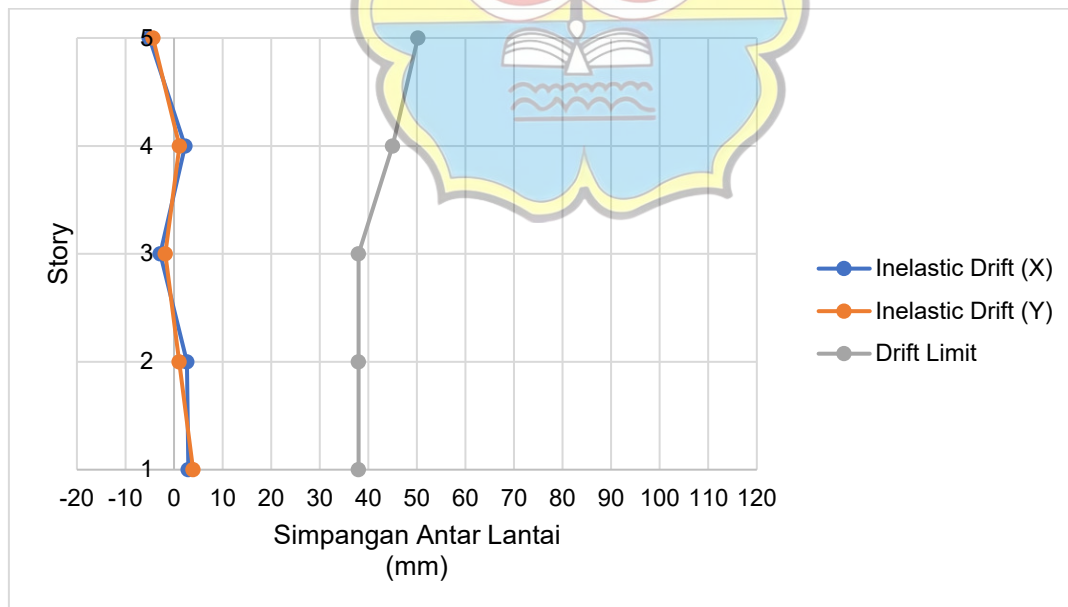
$$\Delta_x : \delta \times C_d / I_e = 0,804 \times 5,5 / 1,5 = 2,948 \text{ mm}$$

$$\Delta_y : \delta \times C_d / I_e = 1,071 \times 5,5 / 1,5 = 3,927 \text{ mm}$$

Tabel 4.67 Hasil *Drift* Struktur

Story	<i>Displacement</i>		<i>Elastic Drift</i>		<i>h</i>	<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift Limit</i>	<i>Cek</i>
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	
5	0	0	-1,381	-1,182	5020	-5,064	-4,334	50,200	OK
4	1,381	1,182	0,624	0,312	4500	2,288	1,144	45,000	OK
3	0,757	0,87	-0,772	-0,489	3800	-2,831	-1,793	38,000	OK
2	1,529	1,359	0,725	0,288	3800	2,658	1,056	38,000	OK
1	0,804	1,071	0,804	1,071	3800	2,948	3,927	38,000	OK

Sumber : Data Olahan, 2022



Gambar 4.16 Grafik Hasil *drift* pada Struktur

Sumber: Data Olahan, 2022

Berdasarkan tabel dan grafik di atas, hasil perhitungan simpangan antar lantai tidak melebihi batas simpangan yang diizinkan. Maka, struktur bangunan ini aman.

6. Pengaruh P Delta

Pengaruh P-Delta tidak perlu diperhitungkan jika koefisien stabilitasnya (θ) sama atau kurang dari 1. Koefisien stabilitas (θ) dikatakan stabil apabila $(\theta) < (\theta)_{\max}$.

Pada perhitungan P-Delta, faktor keutamaan gempa yang digunakan yaitu 1,5 dan β adalah rasio kebutuhan geser yang diizinkan yaitu 1.

$$I_e = 1,5$$

$$C_d = 5,5$$

$$\beta = 1$$

$$h = 3800 \text{ mm}$$

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d}$$

$$= \frac{0,5}{1 \times 5,5}$$

$$= 0,0909$$

$$\Delta_{\text{arah x}} = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

$$= \frac{5,5 \times 0,804}{1,5}$$

$$= 2,948$$

$$\theta_{\text{arah x}} = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

$$= \frac{54227,673 \times 2,948 \times 1,5}{4111,72 \times 3800 \times 5,5} = 0,0028$$

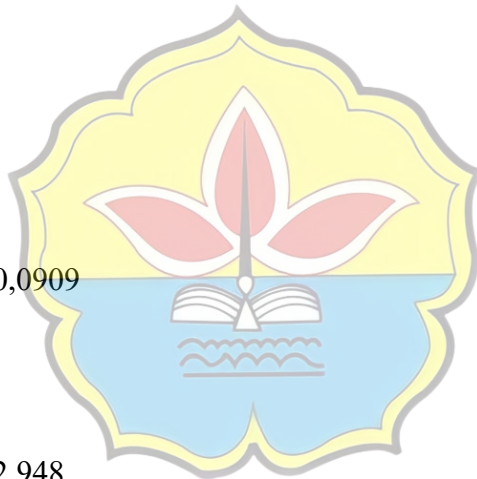
$$\Delta_{\text{arah y}} = \frac{C_d \delta_{ye}}{I_e}$$

$$= \frac{5,5 \times 1,071}{1,5}$$

$$= 3,927$$

$$\theta_{\text{arah y}} = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sy} C_d}$$

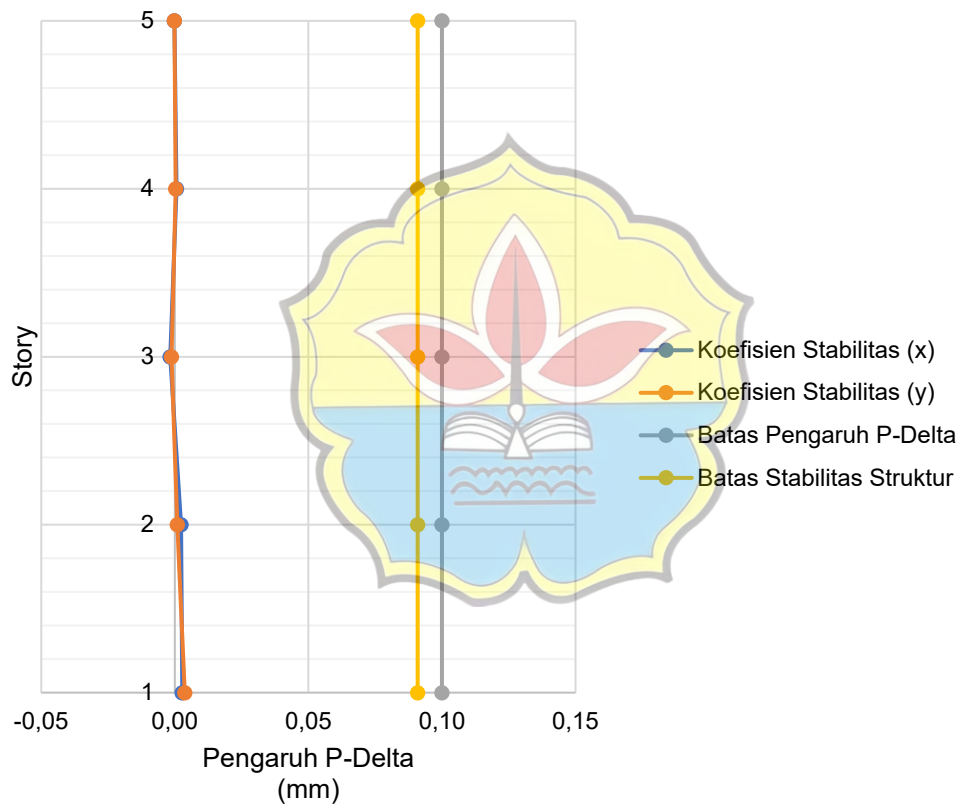
$$= \frac{54227,673 \times 3,927 \times 1,5}{4100,434 \times 3800 \times 5,5} = 0,0037$$



Tabel 4.68 Pengaruh P-Delta

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_X	Δ_Y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
5	-	-	1665,7811	2632,762	2727,001	5020	0,0002	0,0001	0,1	0,0909	OK
4	5,064	4,334	15114,289	3032,093	2808,097	4500	0,0007	0,0004	0,1	0,0909	OK
3	-	-	27868,762	3300,784	2904,825	3800	0,0017	0,0012	0,1	0,0909	OK
2	2,831	1,793	40433,331	3336,924	3130,198	3800	0,0023	0,0010	0,1	0,0909	OK
1	2,658	1,056	54227,673	4111,72	4100,434	3800	0,0028	0,0037	0,1	0,0909	OK

Sumber : Data Olahan, 2022



Gambar 4.17 Grafik Pengaruh P-Delta pada Struktur

Sumber: Data Olahan, 2022

Dari hasil perhitungan P-Delta di atas, telah didapatkan grafik yang dapat bahwa θ pada struktur bangunan tidak melebihi θ_{max} . Maka dapat disimpulkan P-

Delta tidak perlu diperhitungkan dikarenakan struktur bangunan gedung tersebut masih aman dan stabil.

7. Ketidakberaturan Horizontal

- a. Ketidakberaturan torsi dihitung untuk mengetahui struktur bangunan tersebut memiliki ketidakberaturan torsi atau tidak. Ketidakberaturan torsi model 1a ada apabila $1,2 \delta_{avg} \leq \delta_{max} \leq \delta_{avg}$ dan ketidakberaturan torsi model 1b jika $\delta_{max} > 1,4 \delta_{avg}$. Berikut adalah hasil perhitungan ketidakberaturan torsi:

Tabel 4.69 Hasil Perhitungan Ketidakberaturan Torsi

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
5	1,264	H.1a	1,234	H.1a
4	1,121	OK	1,051	OK
3	1,066	OK	1,042	OK
2	1,074	OK	1,053	OK
1	1,031	OK	1,031	OK

Sumber: Data Olahan, 2022

Berdasarkan hasil perhitungan ketidakberaturan torsi di atas. Dapat disimpulkan bahwa, struktur bangunan gedung tersebut tidak memiliki ketidakberaturan torsi.

- b. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakberaturan sudut dalam ini ada apabila, dimensi denah stuktur dari lokasi sudut dalam $> 15\%$ dimensi denah struktur dalam. Hasil dari perhitungan ketidakberaturan sudut dalam yang telah diteliti adalah sebagai berikut:

Tabel 4.70 Hasil Perhitungan Ketidakberaturan Sudut Dalam

Lx	32	m
Px	7	m
Ly	32	m
Py	3	m
Lx/Px	1,0000	
Ly/Py	0,4286	
Cek	H.2	

Sumber: Data Olahan, 2022

c. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma ini ada apabila, terdapat bukaan yang lebih besar dari 50% atau terjadi perubahan kekakuan pada diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat di atasnya.

$$\frac{A_{Bukaan}}{A_{Total}} = \frac{191}{1024} = 19\% < 50\%$$

Maka dapat disimpulkan dari hasil perhitungan di atas, struktur bangunan yang diteliti tidak memiliki ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.

d. Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang ada apabila, struktur bangunan memiliki kolom yang tidak menerus pada arah vertikal dari bawah ke atas. Pada struktur gedung perkuliahan ini, memiliki ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang. Dikarenakan terdapat elemen vertikal yaitu kolom dari bawah ke atas.

e. Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Ketidakberaturan sistem nonparalel ada apabila, elemen vertikal pemikul gaya lateral seperti kolom tidak paralel terhadap sumbu ortogonal x dan y.

Sedangkan pada struktur bangunan ini, elemen vertikal yaitu kolom berada tegak lurus pada sumbu ortogonal. Maka struktur bangunan ini tidak memiliki ketidakberaturan sistem nonparalel.

8. Ketidakberaturan Vertikal

a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak model 1a ini ada apabila, terdapat kekakuan lateral suatu tingkat struktur $< 70\%$ kekakuan lateral di atasnya atau kekakuan rata - rata 3 tingkat di atasnya $< 80\%$. Sedangkan, ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak model 1b ada apabila terdapat kekakuan lateral suatu tingkat struktur $< 60\%$ kekakuan lateral di atasnya atau kekakuan rata - rata 3 tingkat di atasnya $< 70\%$. Berikut ini hasil perhitungan:

Tabel 4.71 Hasil Perhitungan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan kN/m	Cek	Kekakuan kN/m	Cek
5	646608,413		2781,5366	
4	2106860,092	OK	2811,0042	OK
3	1664340,982	OK	2907,5404	OK
2	2632966,85	OK	3037,9689	OK
1	2272640,191	OK	4126,5402	OK

Sumber: Data Olahan, 2022

Dapat dilihat dari tabel perhitungan di atas, disimpulkan bahwa pada struktur bangunan ini tidak memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak.

b. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakberaturan berat (massa) ada apabila, suatu tingkat pada struktur lebih besar 150% berat efektif tingkat di atas dan di bawahnya.

Tabel 4.72 Hasil Pengecekan Ketidakberaturan Berat (Massa)

Lantai	Massa kg	Cek
5	287657,66	OK
4	1033325,98	V.2
3	987339,05	OK
2	963120,79	OK
1	985355,83	V.2

Sumber: Data Olahan, 2022

Diatas merupakan tabel pengecekan ketidakberaturan berat (massa) dan dapat dilihat pada lantai 4 dan lantai 1 terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 2 atau ketidakberaturan berat (massa). Maka dapat disimpulkan, pada struktur bangunan ini memiliki ketidakberaturan berat (massa).

c. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Ketidakberaturan geometri vertikal ini ada apabila, dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik seperti kolom lebih dari 130% dimensi yang terdapat di atas atau di bawahnya. Sementara itu pada struktur bangunan ini, tidak terdapat ketidakberaturan geometri vertikal. Dikarenakan dimensi kolom dari bawah sampai atas seragam.

d. Ketidakberaturan Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal

Pada struktur bangunan ini tidak terdapat ketidakberaturan diskontinuitas elemen penahan gaya lateral. Karena tidak ada pergeseran yang terjadi pada bidang elemen pemikul gaya lateral.

e. Ketidakberaturan Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Ketidakberaturan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat ini terbagi menjadi 2 yaitu model 5a dan 5b. Untuk 5a dinyatakan ada apabila kekuatan lateral pada suatu tingkat $< 80\%$ dari tingkat di atasnya. Sedangkan 5b ada apabila kekuatan lateral pada suatu tingkat $< 65\%$ dari tingkat di atasnya.

Tabel 4.73 Pengecekan Ketidakberaturan Ketidakberaturan Kuat Lateral

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan kN	Cek	Kekuatan kN	Cek
5	2631,5063		2699,8597	
4	3033,6638	OK	2798,046	OK
3	3300,608	OK	2884,1591	OK
2	3336,2386	OK	3123,6871	OK
1	4111,4695	OK	4075,0159	OK

Sumber: Data Olahan, 2022

Setelah melakukan pengecekan, dapat dilihat pada tabel di atas. Struktur bangunan ini tidak memiliki Ketidakberaturan Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat.

4.5 Perhitungan Penulangan

1. Penulangan Pelat Lantai

Pelat yang akan ditinjau adalah perwakilan dari setiap lantai. Seperti lantai 1, lantai 2, lantai 3 dan lantai 4.

Mutu bahan yang digunakan:

$$F_c' = 30 \text{ Mpa} < 28 \text{ Mpa (SNI 2847:2019)}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \geq 0,65 \\ &= 0,85 - 0,05 \left(\frac{30 - 28}{7} \right) \geq 0,65 \\ &= 0,84 \geq 0,65 \dots \text{Ok!} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{F_c'} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,960 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

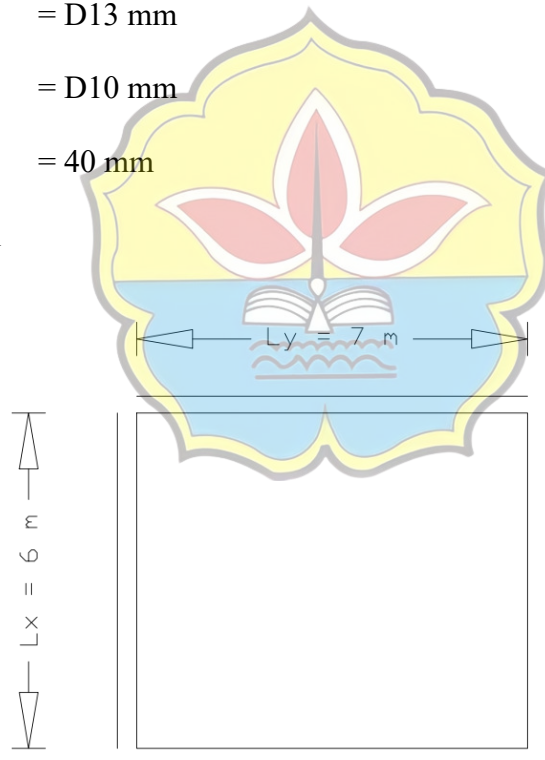
$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tulangan Pokok} = D13 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan Susut} = D10 \text{ mm}$$

$$C_c \text{ (Selimut Beton)} = 40 \text{ mm}$$

a. Plat Lantai 1



Gambar 4.18 Koefisien Momen untuk Pelat Terjepit keempat Sisi

Sumber: Data Olahan, 2022

$$L_x = 6 \text{ m}$$

$$L_y = 7 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } \frac{Ly}{Lx} = \frac{7}{6} = 1,17 \approx 1,2 < 2 \text{ (plat 2 arah)}$$

Sesuai tabel koefisien momen (x) berdasarkan kondisi plat yang dianggap terjepit elastis (PBI NI 2-1971):

$$\text{Untuk } M_{lx} = -M_{tx} \Rightarrow x = 46$$

$$\text{Untuk } M_{ly} = M_{ty} \Rightarrow x = 38$$

$$W_u = 10,568 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga momen plat:

$$M = 0,001 \cdot x \cdot W_u \cdot Lx^2$$

$$\begin{aligned} M_{lx} = -M_{tx} &= 0,001 \times 46 \times 10,568 \text{ kN/m}^2 \times 6^2 \text{ m} \\ &= 17,501 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$M = 0,001 \cdot M_{ly} \cdot W_u \cdot Ly^2$$

$$\begin{aligned} M_{ly} = M_{ty} &= 0,001 \times 38 \times 10,568 \text{ kN/m}^2 \times 7^2 \text{ m} \\ &= 19,678 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Perhitungan Penulangan

$$30 \text{ Mpa} > 28 \text{ Mpa}$$

$$\text{Maka, } \beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \left(\frac{F_c' - 28}{7} \right) \geq 0,65$$

$$= 0,84 \geq 0,65 \dots \text{Oke!!}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033 \quad \text{atau} \quad \frac{\sqrt{F_c'}}{4 \cdot f_y} = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 420} = 0,003$$

Maka, $\rho_{\min}$ adalah 0,0033

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \cdot F_c'}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,030 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0300 = 0,022$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_{c'}} = \frac{420}{0,85 \cdot 30} = 16,471$$

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

$$cc = 20 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai $\emptyset 12$

$$\begin{aligned} d &= h - cc - \frac{1}{2} \emptyset 12 \\ &= 100 - 20 - 6 = 74 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perencanaan Tulangan $M_{lx} = -M_{tx}$

$$M_{lx} = -M_{tx} = 17,501 \text{ kN}$$

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{17,501}{0,9} = 19,446 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n \text{ Perlu}}{b \cdot d^2} = \frac{19,446 \times 10^6}{1000 \cdot 74^2} = 3,551 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,471} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,471 \cdot 3,551}{420}} \right) = 0,0091 \end{aligned}$$

Rasio tulangan baja harus memenuhi $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$. Maka, diperoleh dari perhitungan diatas $0,003 < 0,0091 < 0,022$, nilai ρ yang dipakai adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,0091$

$$\begin{aligned} A_{S\text{perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0091 \cdot 1000 \cdot 74 = 673,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan pokok diameter 12 mm, maka luas 1 buah tulangan pokok (A_s) adalah:

$$A_{S\text{Tulangan}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D12^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2$$

$$= 113,04 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan:

$$S_{\max} = 3h = 3 \cdot 100 = 300 \text{ mm}$$

$$S = \frac{A_{STulangan} \cdot b}{A_{Sperlu}}$$

$$= \frac{113,04 \cdot 1000}{673,4}$$

$$= 167,865 \text{ mm} \approx 160 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan pokok $\emptyset 12 - 160 \text{ mm}$

$$A_{Spakai} = \frac{A_{STulangan} \cdot b}{S}$$

$$= \frac{113,04 \cdot 1000}{160} = 706,5 \text{ mm}^2 > A_{Sperlu} = 673,4 \text{ mm}^2 \dots \text{Oke!!}$$

$$a = \frac{A_{Spakai} \cdot F_y}{0,85 \cdot F_c' \cdot b}$$

$$= \frac{706,5 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000} = 11,636 \text{ mm}$$

Momen nominal (M_n):

$$M_n = A_{Spakai} \cdot F_y \cdot (d - \frac{1}{2} a)$$

$$= 706,5 \cdot 420 \cdot (74 - \frac{1}{2} \cdot 11,636)$$

$$= 20231644,86 \text{ Nmm}$$

$$= 20,232 \text{ kNm} > M_{nperlu} = 19,446 \text{ kNm} \dots \text{Oke!!}$$

Tulangan susut:

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

$$A_{sst} = \frac{0,0018 \cdot 420}{F_y} \cdot b \cdot h$$

$$= \frac{0,0018 \cdot 420}{420} \cdot 1000 \cdot 100 = 180 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan susut diameter 10 mm, maka luas 1 buah tulangan susut (Asst) adalah:

$$\begin{aligned} A_{STulangan} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D10^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan:

Spasi tulangan susut dan suhu tidak boleh melebihi 5 kali tebal slab dan atau 450 mm.

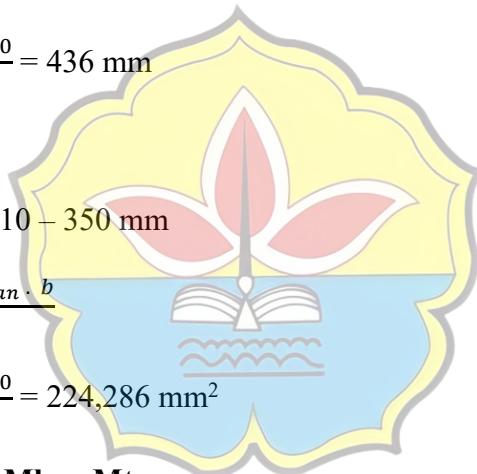
$$S_{\max} = 5h = 5 \cdot 100 = 500$$

$$\begin{aligned} S_{sst} &= \frac{A_{STulangan} \cdot b}{A_{SPerlu}} \\ &= \frac{78,5 \cdot 1000}{180} = 436 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 350$$

Dipakai tulangan susut $\emptyset 10 - 350 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{Ssst} &= \frac{A_{STulangan} \cdot b}{S} \\ &= \frac{78,5 \cdot 1000}{350} = 224,286 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Perencanaan Tulangan Mly = Mty

$$M_{ly} = M_{ty} = 19,678 \text{ kN}$$

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi} = \frac{19,678}{0,9} = 21,864 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n \text{ Perlu}}{b \cdot d^2} = \frac{21,864 \times 10^6}{1000 \cdot 74^2} = 3,993 \text{ Mpa}$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,471} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,471 \cdot 3,993}{420}} \right) = 0,0104$$

Rasio tulangan baja harus memenuhi $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$. Maka, diperoleh dari perhitungan diatas $0,003 < 0,0104 < 0,022$, nilai ρ yang dipakai adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,0104$

$$\begin{aligned} A_{\text{Sperlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0104 \cdot 1000 \cdot 74 \\ &= 769,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

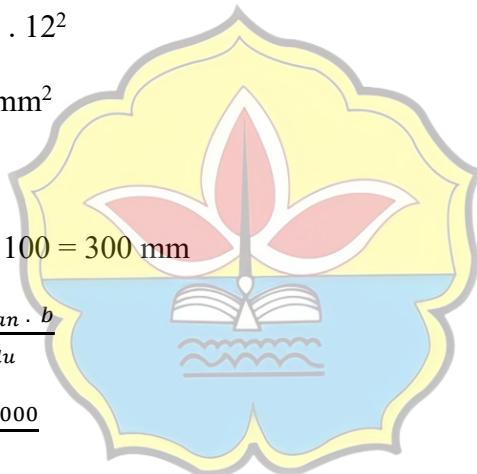
Digunakan tulangan pokok diameter 12 mm, maka luas 1 buah tulangan pokok (A_s) adalah:

$$\begin{aligned} A_{\text{STulangan}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 12^2 \\ &= 113,04 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan:

$$S_{\max} = 3h = 3 \cdot 100 = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_{\text{STulangan}} \cdot b}{A_{\text{Sperlu}}} \\ &= \frac{113,04 \cdot 1000}{769,6} \\ &= 146,881 \text{ mm} \approx 160 \text{ mm} \end{aligned}$$



Dipakai tulangan pokok $\emptyset 12 - 160 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{\text{Spakai}} &= \frac{A_{\text{STulangan}} \cdot b}{S} \\ &= \frac{113,04 \cdot 1000}{160} = 706,5 \text{ mm}^2 > A_{\text{Sperlu}} = 769,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_{\text{Spakai}} \cdot F_y}{0,85 \cdot F_c' \cdot b} \\ &= \frac{706,5 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000} \\ &= 11,636 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen nominal (M_n):

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_{s_{pakai}} \cdot F_y \cdot (d - \frac{1}{2} a) \\
 &= 769,6 \cdot 420 \cdot (74 - \frac{1}{2} \cdot 11,636) \\
 &= 22811788,10 \text{ Nmm} \\
 &= 22,812 \text{ kNm} > M_{n_{perlu}} = 19,446 \text{ kNm} \dots \text{Oke!!}
 \end{aligned}$$

Tulangan susut:

$$\begin{aligned}
 D &= 10 \text{ mm} \\
 A_{sst} &= \frac{0,0018 \cdot 420}{F_y} \cdot b \cdot h \\
 &= \frac{0,0018 \cdot 420}{420} \cdot 1000 \cdot 100 \\
 &= 180 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan susut diameter 10 mm, maka luas 1 buah tulangan susut

(A_{sst}) adalah:

$$\begin{aligned}
 A_{STulangan} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^{10^2} \\
 &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 78,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan:

Spasi tulangan susut dan suhu tidak boleh melebihi 5 kali tebal slab dan atau 450 mm.

$$S_{\max} = 5h = 5 \cdot 100 = 500$$

$$\begin{aligned}
 S_{sst} &= \frac{A_{STulangan} \cdot b}{A_{S_{perlu}}} \\
 &= \frac{78,5 \cdot 1000}{180}
 \end{aligned}$$

$$= 436 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 350$$

Dipakai tulangan susut $\emptyset 10 - 350$ mm

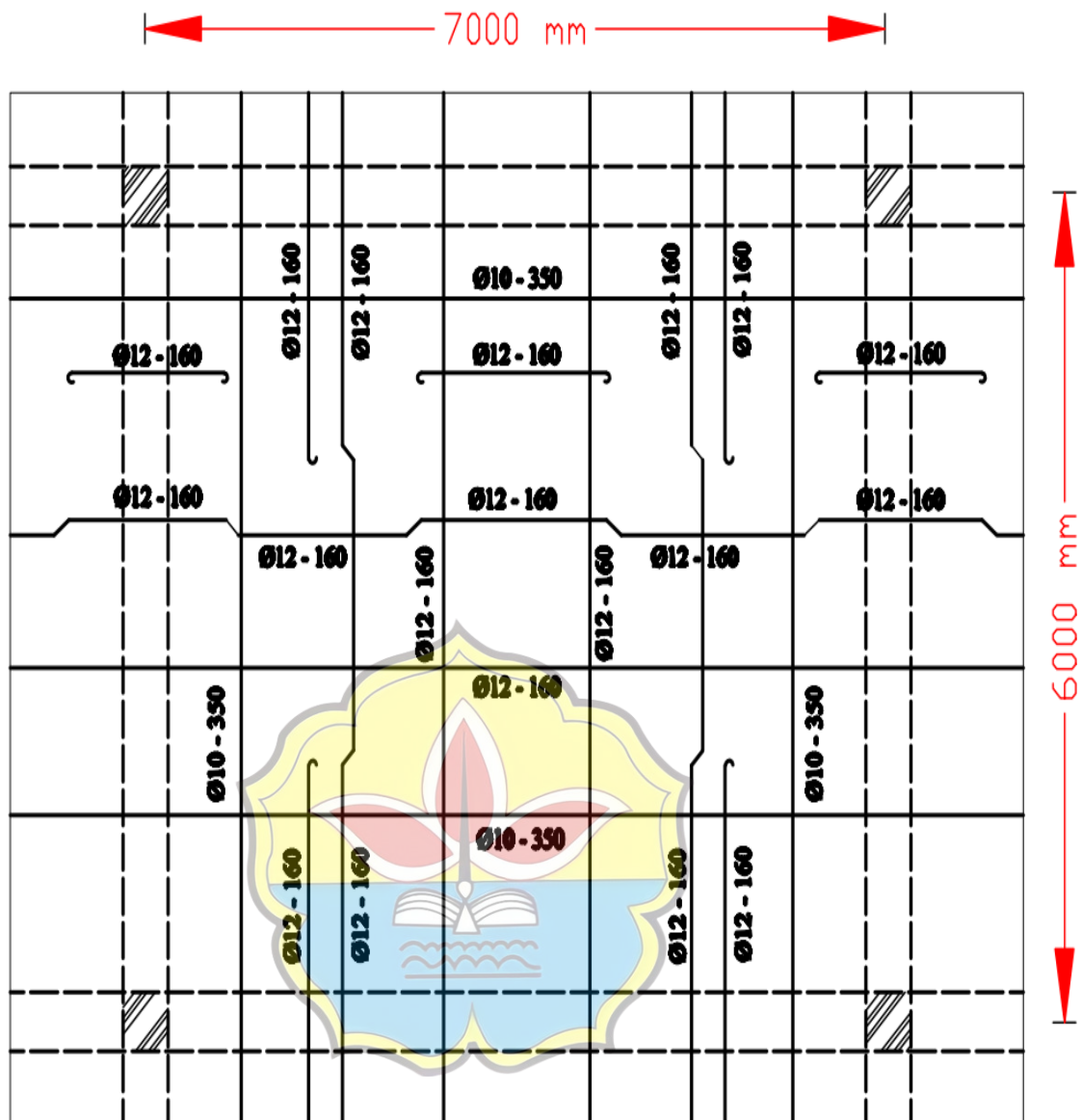
$$A_{Sst} = \frac{A_{Stulangan} \cdot b}{S}$$

$$= \frac{78,5 \cdot 1000}{350} = 224,286 \text{ mm}^2$$

Tabel 4.74 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai 1

		M lapangan x	M tumpuan x	M lapangan y	M tumpuan y
Mu	kNm	17,501	17,501	19,678	19,678
Mn perlu	kNm	19,446	19,446	21,864	21,864
m		16,471	16,471	16,471	16,471
h	mm	100	100	100	100
d	mm	74	74	74	74
Rn	Mpa	3,551	3,551	3,993	3,993
ρ min		0,0033	0,0033	0,0033	0,0033
ρ_b		0,03	0,03	0,03	0,03
ρ max		0,022	0,022	0,022	0,022
ρ perlu		0,0091	0,0091	0,0104	0,0104
ρ pakai		0,0091	0,0091	0,0104	0,0104
As perlu	mm ²	673,4	673,4	769,6	769,6
S	mm	160	160	160	160
As pakai	mm ²	706,5	706,5	706,5	706,5
a	mm ²	11,636	11,636	11,636	11,636
Mn	kNm	20,232	20,232	22,812	22,812
Asst perlu	mm ²	180	180	180	180
S	mm	400	400	400	400
Asst pakai	mm ²	224,286	224,286	224,286	224,286
Tul. Pokok		$\emptyset 12 - 160$	$\emptyset 12 - 160$	$\emptyset 12 - 160$	$\emptyset 12 - 160$
Tul. Susut		$\emptyset 10 - 350$	$\emptyset 10 - 350$	$\emptyset 10 - 350$	$\emptyset 10 - 350$

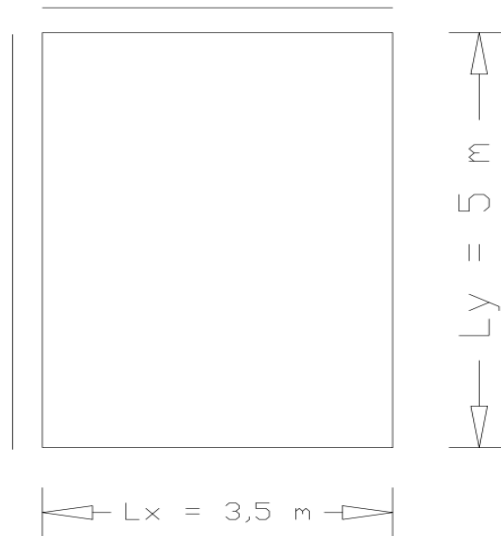
Sumber: Data Olahan, 2022



Gambar 4.19 Penulangan Pelat Lantai 1

Sumber: Data Olahan, 2022

b. Plat Lantai 2



Gambar 4.20 Koefisien Momen untuk Pelat Terjepit kedua Sisi

Sumber: Data Olahan, 2022

$$L_x = 3,5 \text{ m}$$

$$L_y = 5 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } \frac{L_y}{L_x} = \frac{5}{3,5} = 1,43 < 2 \text{ (plat 2 arah)}$$

Sesuai tabel koefisien momen berdasarkan kondisi plat yang dianggap terjepit elastis (PBI NI 2-1971):

$$\text{Untuk } M_{lx} = -M_{tx} \Rightarrow x = 71$$

$$\text{Untuk } M_{ly} = -M_{ty} \Rightarrow x = 51$$

$$W_u = 10,568 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga momen plat:

$$M = 0,001 \cdot M_{lx} \cdot W_u \cdot L_x^2$$

$$M_{lx} = -M_{tx} = 0,001 \times 71 \times 10,568 \text{ kN/m}^2 \times 3,5^2 \text{ m}$$

$$= 9,191 \text{ kNm}$$

$$M = 0,001 \cdot Mly \cdot Wu \cdot Ly^2$$

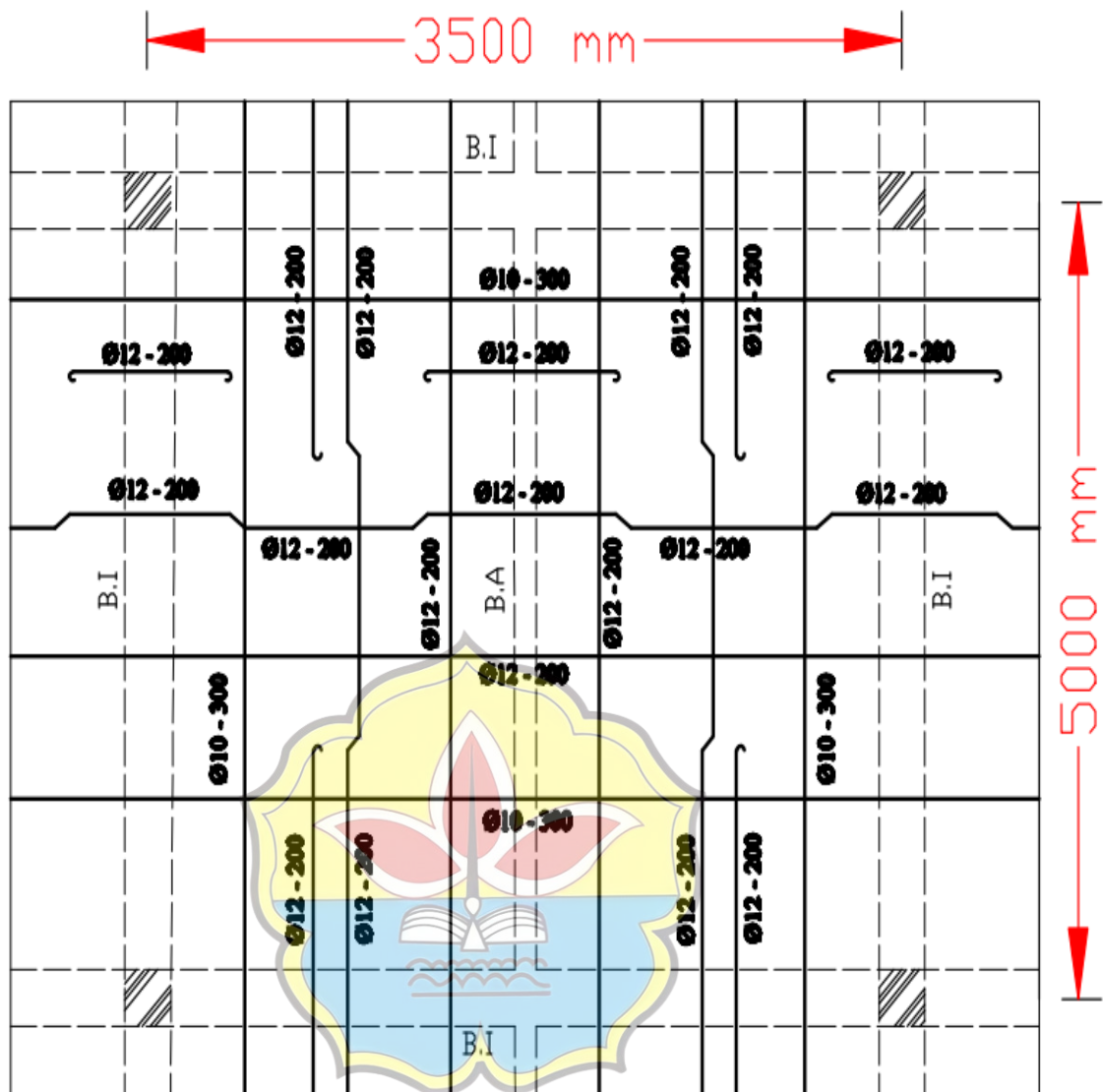
$$Mly = Mty = 0,001 \times 51 \times 10,568 \text{ kN/m}^2 \times 5^2 \text{ m}$$

$$= 13,474 \text{ kNm}$$

Tabel 4.75 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai 2

		M lapangan x	M tumpuan x	M lapangan y	M tumpuan y
Mu	kNm	9,191	9,191	13,474	13,474
Mn perlu	kNm	10,212	10,212	14,971	14,971
m		16,471	16,471	16,471	16,471
h	mm	100	100	100	100
d	mm	74	74	74	74
Rn	Mpa	1,865	1,865	2,734	2,734
ρ min		0,0033	0,0033	0,0033	0,0033
ρ b		0,03	0,03	0,03	0,03
ρ max		0,022	0,022	0,022	0,022
ρ perlu		0,0046	0,0046	0,0069	0,0069
ρ pakai		0,0046	0,0046	0,0069	0,0069
As perlu	mm ²	340,4	340,4	510,6	510,6
S	mm	200	200	200	200
As pakai	mm ²	565,2	565,2	565,2	565,2
a	mm	9,309	9,309	9,309	9,309
Mn	kNm	16,461	16,461	16,461	16,461
Asst perlu	mm ²	180	180	180	180
S	mm	300	300	300	300
Asst pakai	mm ²	261,6	261,6	261,6	261,6
Tul. Pokok		Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200	Ø12 - 200
Tul. Susut		Ø10 - 300	Ø10 - 300	Ø10 - 300	Ø10 - 300

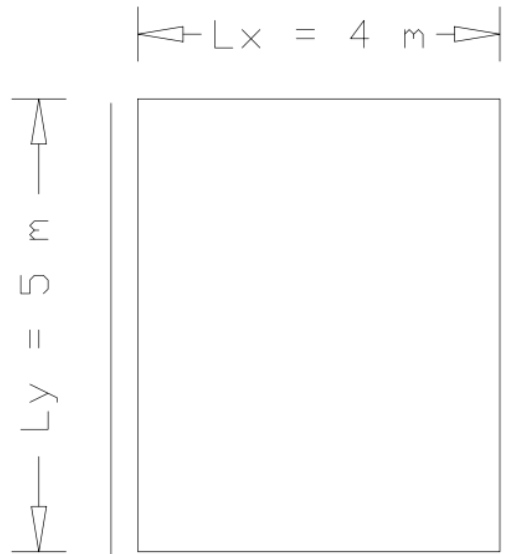
Sumber: Data Olahan, 2022



Gambar 4.21 Penulangan Pelat Lantai 2

Sumber: Data Olahan, 2022

c. Plat Lantai 3



Gambar 4.22 Koefisien Momen untuk Pelat Terjepit kedua Sisi

Sumber: Data Olahan, 2022

$$L_x = 4 \text{ m}$$

$$L_y = 5 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } \frac{L_y}{L_x} = \frac{5}{4} = 1,3 < 2 \text{ (plat 2 arah)}$$

Sesuai tabel koefisien momen berdasarkan kondisi plat yang dianggap terjepit elastis (PBI NI 2-1971):

$$\text{Untuk } M_{lx} = -M_{tx} \Rightarrow x = 41$$

$$\text{Untuk } M_{ly} = -M_{ty} \Rightarrow x = 67$$

$$W_u = 10,568 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga momen plat:

$$M = 0,001 \cdot M_{lx} \cdot W_u \cdot L_x^2$$

$$M_{lx} = -M_{tx} = 0,001 \times 41 \times 10,568 \text{ kN/m}^2 \times 4^2 \text{ m}$$

$$= 6,933 \text{ kNm}$$

$$M = 0,001 \cdot Mly \cdot Wu \cdot Ly^2$$

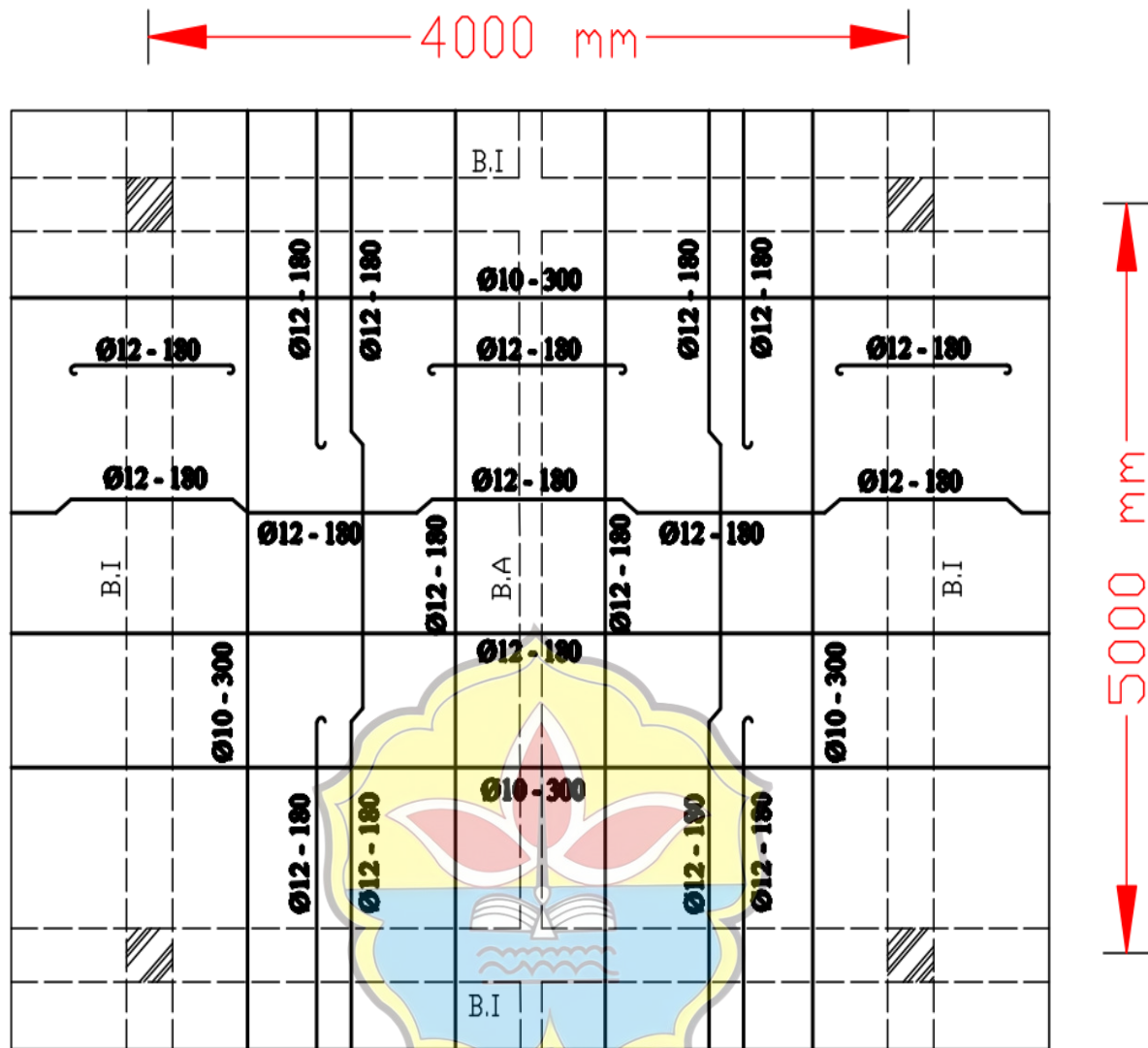
$$Mly = Mty = 0,001 \times 67 \times 10,568 \text{ kN/m}^2 \times 5^2 \text{ m}$$

$$= 17,701 \text{ kNm}$$

Tabel 4.76 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai 3

		M lapangan x	M tumpuan x	M lapangan y	M tumpuan y
Mu	kNm	6,933	6,933	17,701	17,701
Mn perlu	kNm	7,703	7,703	19,668	19,668
m		16,471	16,471	16,471	16,471
h	mm	100	100	100	100
d	mm	74	74	74	74
Rn	Mpa	1,407	1,407	3,592	3,592
ρ min		0,0033	0,0033	0,0033	0,0033
ρ b		0,03	0,03	0,03	0,03
ρ max		0,022	0,022	0,022	0,022
ρ perlu		0,0034	0,0034	0,0065	0,0065
ρ pakai		0,0034	0,0034	0,0065	0,0065
As perlu	mm ²	251,6	251,6	481	481
S	mm	180	180	160	160
As pakai	mm ²	628	628	706,5	706,5
a	mm ²	10,343	10,343	11,636	11,636
Mn	kNm	18,154	18,154	20,232	20,232
Asst perlu	mm ²	180	180	180	180
S	mm	300	300	300	300
Asst pakai	mm ²	261,6	261,6	261,6	261,6
Tul. Pokok		Ø12 - 180	Ø12 - 180	Ø12 - 160	Ø12 - 160
Tul. Susut		Ø10 - 300	Ø10 - 300	Ø10 - 300	Ø10 - 300

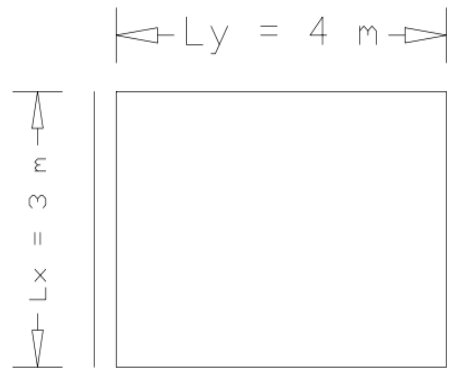
Sumber: Data Olahan, 2022



Gambar 4.23 Penulangan Pelat Lantai 3

Sumber: Data Olahan, 2022

d. Plat Lantai 4



Gambar 4.24 Koefisien Momen untuk Pelat Terjepit ketiga Sisi

Sumber: Data Olahan, 2022

$$L_x = 3 \text{ m}$$

$$L_y = 4 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } \frac{L_y}{L_x} = \frac{4}{3} = 1,3 < 2 \text{ (plat 2 arah)}$$

Sesuai tabel koefisien momen berdasarkan kondisi plat yang dianggap terjepit elastis (PBI NI 2-1971):

$$\text{Untuk } M_{lx} = -M_{tx} \Rightarrow x = 59$$

$$\text{Untuk } M_{ly} = -M_{ty} \Rightarrow x = 50$$

$$W_u = 10,568 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga momen plat:

$$M = 0,001 \cdot M_{lx} \cdot W_u \cdot L_x^2$$

$$M_{lx} = -M_{tx} = 0,001 \times 59 \times 10,568 \text{ kN/m}^2 \times 3^2 \text{ m} = 5,612 \text{ kNm}$$

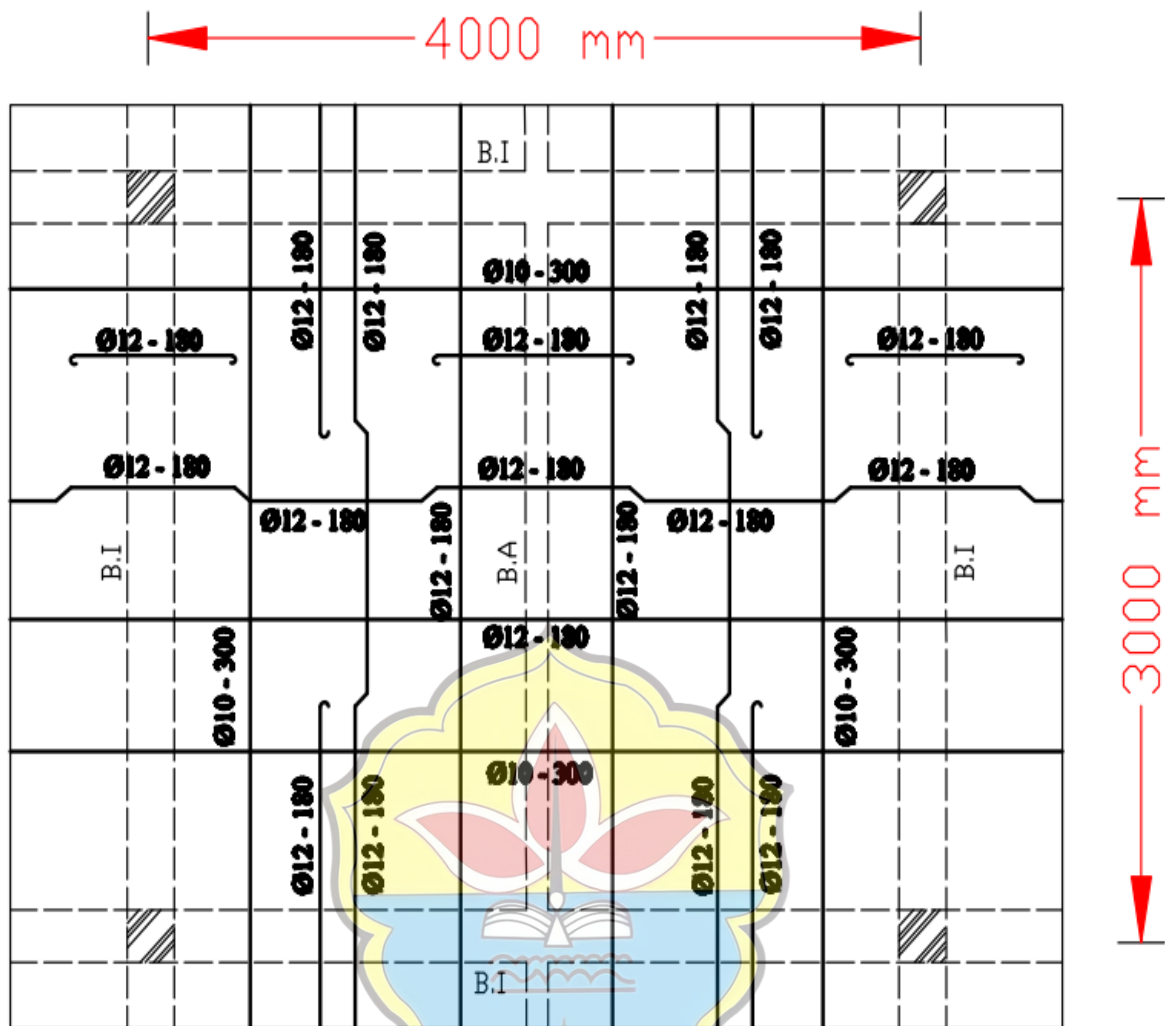
$$M = 0,001 \cdot M_{ly} \cdot W_u \cdot L_y^2$$

$$M_{ly} = M_{ty} = 0,001 \times 50 \times 10,568 \text{ kN/m}^2 \times 4^2 \text{ m} = 8,454 \text{ kNm}$$

Tabel 4.77 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai 4

		M lapangan x	M tumpuan x	M lapangan y	M tumpuan y
Mu	kNm	5,612	5,612	8,454	8,454
Mn perlu	kNm	6,235	6,235	9,393	9,393
m		16,471	16,471	16,471	16,471
h	mm	100	100	100	100
d	mm	74	74	74	74
Rn	Mpa	1,139	1,139	1,715	1,715
ρ min		0,0033	0,0033	0,0033	0,0033
ρ_b		0,03	0,03	0,03	0,03
ρ max		0,022	0,022	0,022	0,022
ρ perlu		0,0028	0,0028	0,0042	0,0042
ρ pakai		0,0028	0,0028	0,0042	0,0042
As perlu	mm ²	207,2	207,2	310,8	310,8
S	mm	180	180	180	180
As pakai	mm ²	628	628	706,5	706,5
a	mm	10,343	10,343	10,343	10,343
Mn	kNm	18,154	18,154	18,154	18,154
Asst perlu	mm ²	180	180	180	180
S	mm	300	300	400	400
Asst pakai	mm ²	261,6	261,6	261,6	261,6
Tul. Pokok		Ø12 - 180	Ø12 - 180	Ø12 - 180	Ø12 - 180
Tul. Susut		Ø10 - 300	Ø10 - 300	Ø10 - 300	Ø10 - 300

Sumber: Data Olahan, 2022



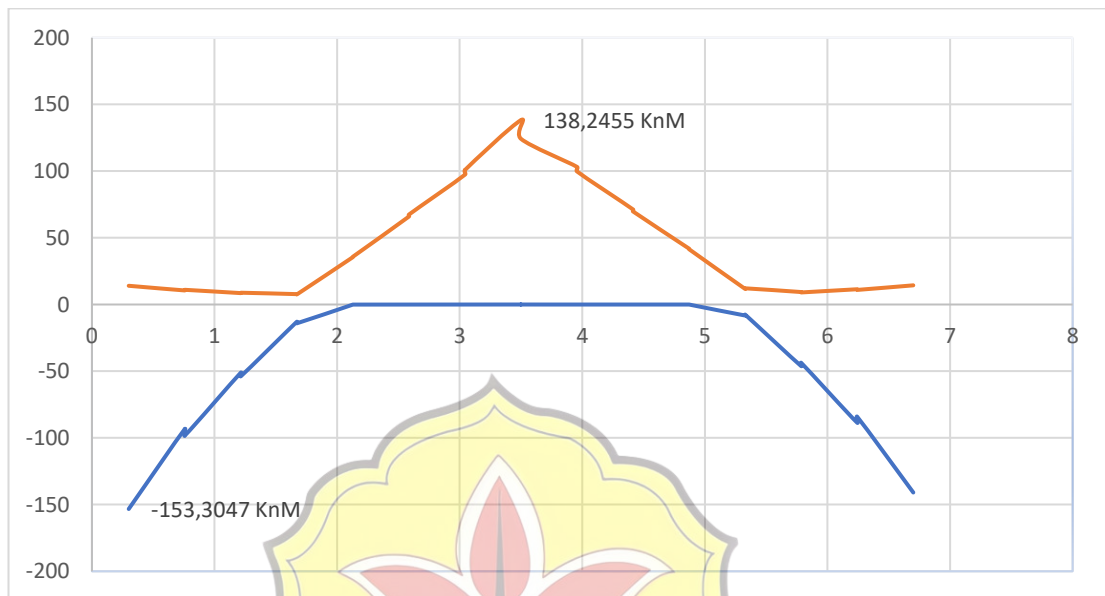
Gambar 4.25 Penulangan Pelat Lantai 4

Sumber: Data Olahan, 2022

2. Penulangan Balok

- Balok Induk

Dari program ETABS didapatkan nilai *Envelope moment*, akibat semua kombinasi beban terfaktor sebagai berikut:



Gambar 4.26 Diagram *Envelope Moment*

Sumber: Data Olahan, 2022

a) Lantai 1

- $M_u^+ = 138,246 \text{ kNm}$
- $M_u^- = 153,305 \text{ kNm}$

• Data Perencanaan Balok:

- $b = 400 \text{ mm}$
- $h = 600 \text{ mm}$
- $cc = 40$
- $f_c' = 30 \text{ Mpa}$
- $\varepsilon_c = 0,003$

- $\epsilon_y = f_y/E_s$
 $= 420/200.000 = 0,0021$
- $\beta_1 = 0,84$
- $d = 0,8 \cdot h$
 $= 0,8 \cdot 600$
 $= 480 \text{ mm}$
- Tulangan Pokok D19

Desain Tulangan Momen Positif

$$M_u = 138,246 \text{ kNm}$$

$$c_b = d \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \right)$$

$$= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right)$$

$$= 282,535 \text{ mm}$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b$$

$$= 0,84 \cdot 282,535 = 237,176 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,75 \cdot a_b$$

$$= 0,75 \cdot 237,176 = 177,882 \text{ mm}$$

$$\phi M_{nbal} = \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot (d - \frac{a_{\max}}{2}))$$

$$= 0,9 (0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 (480 - \frac{177,882}{2}))$$

$$= 638583416,471 \text{ Nmm}$$

$$= 638,583 \text{ kNm}$$

$$M_u < \phi M_{nbal}$$

138,246 kNm < 638,583 kNm ... **Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)**

$$\begin{aligned}
 R_u &= \frac{Mu}{\phi b \cdot d^2} \\
 &= \frac{138,246 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2} \\
 &= 1,667 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \left(\frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\
 &= 0,030
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,030 \\
 &= 0,023
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,667}{0,85 \cdot 30}} \right) = 0,004
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c'}}{f_y} \\
 &= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,004 \geq \rho_{\min} = 0,003 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,004 \leq \rho_{\max} = 0,023 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,004$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,004 \cdot 400 \cdot 480 = 768 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan pokok D19:

$$A_{\text{tulangan}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 = 283,385 \text{ mm}^2$$

$$N = \frac{A_s}{A_{Tulangan}}$$

$$= \frac{788,610}{283,385} = 2,783 \approx 3$$

Tulangan lapangan yang dipakai adalah 3D19 ($A_s = 850,155 \text{ mm}^2$)

Desain Tulangan Momen Negatif

$$M_u = 153,305 \text{ kNm}$$

$$C_b = d \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \right)$$

$$= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right)$$

$$= 282,535 \text{ mm}$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b$$

$$= 0,84 \cdot 282,535$$

$$= 237,176 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,75 \cdot a_b$$

$$= 0,75 \cdot 237,176$$

$$= 177,882 \text{ mm}$$

$$\phi M_{nbal} = \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot (d - \frac{a_{\max}}{2}))$$

$$= 0,9 (0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 (480 - \frac{177,882}{2}))$$

$$= 638583416,471 \text{ Nmm}$$

$$= 638,583 \text{ kNm}$$

$$M_u < \phi M_{nbal}$$

$153,305 \text{ kNm} < 638,583 \text{ kNm} \dots \text{Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)}$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi b \cdot d^2}$$

$$= \frac{153,305 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2}$$

$$= 1,848 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,030 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,030 \\ &= 0,023 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,848}{0,85 \cdot 30}} \right) = 0,005 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,005 \geq \rho_{\min} = 0,003 \dots \text{ (Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,005 \leq \rho_{\max} = 0,023 \dots \text{ (Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,005$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,005 \cdot 400 \cdot 480 = 960 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

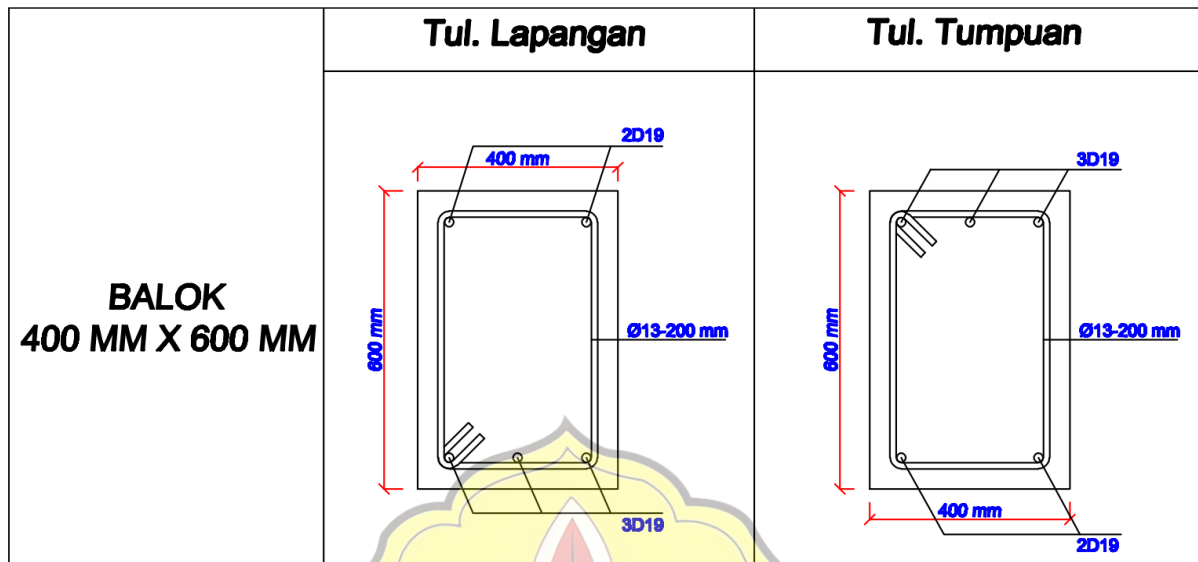
Dipakai tulangan pokok D19:

$$\begin{aligned} A_{\text{tulangan}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 = 283,385 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$N = \frac{A_s}{A_{Tulangan}}$$

$$= \frac{788,610}{283,385} = 3,098 \approx 3$$

Tulangan tumpuan yang dipakai adalah 3D19 ($A_s = 850,155 \text{ mm}^2$)



Gambar 4.27 Penulangan Balok Lantai 1

Sumber: Data Olahan, 2022

Desain Tulangan Torsi dan Tulangan Geser

$$T_u = 13,752 \text{ kNm (dari tabel element force)}$$

$$V_u = 135,547 \text{ kN (dari tabel element force)}$$

$$d = 480 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\lambda = 1$$

$$A_{cp} = b \cdot h$$

$$= 400 \cdot 600 = 240000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \cdot (b + h) \\
 &= 2 \cdot (400 + 600) \\
 &= 2000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{th} &= 0,083 \sqrt{f'c'} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\
 &= 0,083 \sqrt{30} \left(\frac{240000^2}{2000} \right) = 13092760,01 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi T_{th} &= 0,75(13092760,01) \\
 &= 9819570,011 \text{ Nmm} = 9,820 \text{ kNmm}
 \end{aligned}$$

Hitung besaran torsi yang boleh diabaikan:

$$\begin{aligned}
 T_u &> \phi T_{th} \\
 13,752 \text{ kNm} &> 9,820 \text{ kNmm} \dots \text{Ya!!}
 \end{aligned}$$

Maka torsi tak dapat diabaikan:

$$\emptyset = 45^\circ$$

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
 &= \frac{13,752}{0,75} = 18,336 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= b - (2 \times (cc + \frac{1}{2} \cdot D_s)) \\
 &= 400 - (2 \times (40 + \frac{1}{2} \cdot 13)) \\
 &= 307 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= h - (2 \times (cc + \frac{1}{2} \cdot Ds)) \\
 &= 600 - (2 \times (40 + \frac{1}{2} \cdot 13)) \\
 &= 527 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= X_1 \cdot Y_1 \\
 &= 307 \text{ mm} \times 527 \text{ mm} \\
 &= 161789 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\
 &= 0,85 \cdot 161789 \text{ mm}^2 = 137520,65 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 (X_1 + Y_1) \\
 &= 2 (307 + 527) = 1668 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2019 subpasal 22.7.6.1.2 jika struktur non-prategang maka nilai $\emptyset$ ditetapkan 45°.

Hitung kebutuhan tulangan torsi:

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot \emptyset} = \frac{18,336}{2 \cdot 137520,65 \cdot 420 \cdot 1} = 0,159 \text{ mm}$$

Hitung kebutuhan tulangan geser:

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = 0,17 \cdot 1 \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 480 = 178776,643 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 178776,643 = 134082,482 \text{ N}$$

$$V_n \text{ perlu} = \frac{Vu}{\phi} = \frac{135547,1}{0,75} = 180729,467 \text{ N}$$

$$Vu > 0,5\phi V_c = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 134082,482$$

$$135547,1 > 67041,24 \dots \text{Butuh tulangan geser!!}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{Vu}{\phi} - V_c = \frac{135547,1}{0,75} - 178776,643 = 1952,82 \text{ N}$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs \text{ perlu}}{f_y \cdot d} = \frac{1952,82}{420 \cdot 480} = 0,010 \text{ mm}$$

Terbesar dari:

$$\begin{aligned} \frac{Av_{min}}{s} &= 0,062\sqrt{f'c'} \frac{b}{f_y} \quad \text{dan} \quad 0,35 \frac{b}{f_y} \\ &= 0,062\sqrt{30} \frac{400}{420} = 0,323 \quad \text{dan} \quad 0,35 \frac{400}{420} = 0,333 \end{aligned}$$

$$A.tul = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D13^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 = 132,665 \text{ mm}^2$$

$$\frac{Av_{min}}{s} = \frac{A.tul}{s}$$

$$0,333 = \frac{132,665}{s}$$

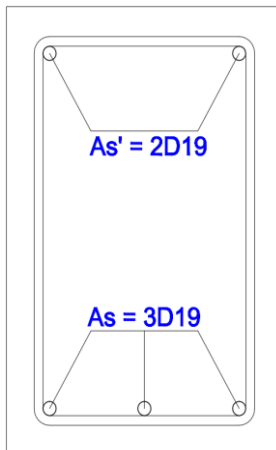
$$S = \frac{132,665}{0,333} = 398,393 \text{ mm}$$

$$S_{max} = \frac{d}{2} = \frac{480}{2} = 240 \text{ mm}$$

$$S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan geser D13 – 200 mm

Kapasitas Momen Penampang Positif

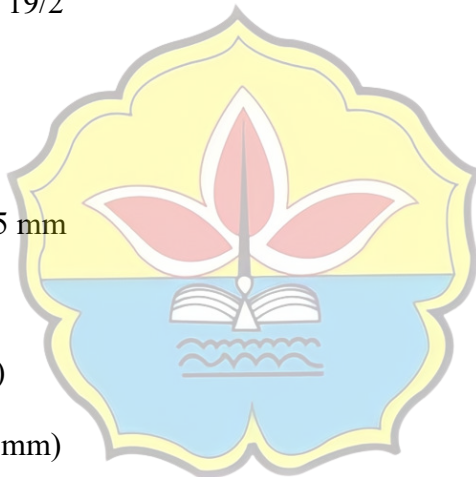


$$\begin{aligned}
 - d &= h - cc - ds - \frac{1}{2} db \\
 &= 600 - 40 - 13 - 19/2 \\
 &= 537,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - d' &= h - d \\
 &= 600 \text{ mm} - 537,5 \text{ mm} \\
 &= 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$- As' = 2D19 (567 \text{ mm})$$

$$- As = 3D19 (850,155 \text{ mm})$$



Asumsi case 1 :

$$a = \frac{As \cdot f_y - As' (f_y - 0,85 \cdot f_c')}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{850,155 \cdot 420 - 567 (420 - 0,85 \cdot 30)}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 13,077 \text{ mm}$$

Cek tulangan leleh atau tidak :

- Tulangan Tekan

$$\frac{d'}{a} < \frac{1}{\beta_1} \left(1 + \frac{f_y}{600}\right) = \frac{62,5}{13,077} < \frac{1}{0,84} \left(1 + \frac{420}{600}\right) = 4,779 < 2,024 \text{ (Tulangan Tekan Tidak}$$

Leleh)

- Tulangan Tarik

$$\frac{d}{a} > \frac{1}{\beta_1} \left(1 + \frac{fy}{600}\right) = \frac{537,5}{13,077} > \frac{1}{0,84} \left(1 + \frac{420}{600}\right) = 41,103 > 2,024 \text{ (Tulangan Tarik)}$$

Leleh)

Asumsi 1 salah, maka penampang masuk kategori case 2 sehingga nilai a dan c dihitung ulang.

$$\begin{aligned} &= (0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot b) c^2 - (A_s \cdot f_y - 600 \cdot A_s' + 0,85 \cdot f_c' \cdot A_s') c - 600 \cdot A_s' \cdot d' = 0 \\ &= (0,85 \times 30 \times 0,84 \times 400) c^2 - (850,155 \times 420 - 600 \times 567 + 0,85 \times 30 \times 567) c - \\ &600 \times 567 \times 62,5 = 0 \end{aligned}$$

$$= 8568 c^2 - 31323,600 c - 21262500 = 0$$

$$c_1 = 51,677 \text{ mm}$$

$$c_2 = -48,021 \text{ mm}$$

Sehingga c yang dipakai adalah $c_1 = 51,677 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$= 0,84 \cdot 51,677$$

$$= 43,409 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 0,003 = \left(\frac{51,677 - 62,5}{51,677}\right) 0,003 = -0,001$$

$$f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s = -0,001 \cdot 200000 = 200 \text{ Mpa}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 30 \cdot 43,409 \cdot 400 = 442771,8 \text{ N}$$

$$C_s' = A_s' (f_s' - 0,85 \cdot f_c') = 567 (200 - 0,85 \cdot 30) = 98941,5 \text{ N}$$

$$M_n = C_c' \left(d - \frac{a}{2}\right) + C_s' (d - d')$$

$$= 442771,8 \left(537,5 - \frac{43,409}{2}\right) + 98941,5 (537,5 - 62,5)$$

$$= 275376914,5 \text{ N.mm} = 275,377 \text{ kN.m}$$



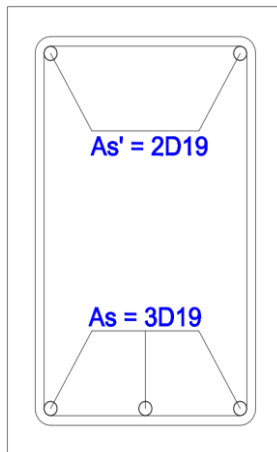
$$\phi M_n = 0,9 \cdot 275,377$$

$$= 247,839 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$247,839 \text{ kN.m} > 138,246 \text{ kN.m (Terpenuhi)}$$

Kapasitas Momen Penampang Negatif



$$- d = h - c - d_s - \frac{1}{2} d_b$$

$$= 600 - 40 - 13 - 19/2$$

$$= 537,5 \text{ mm}$$

$$- d' = h - d$$

$$= 600 \text{ mm} - 537,5 \text{ mm}$$

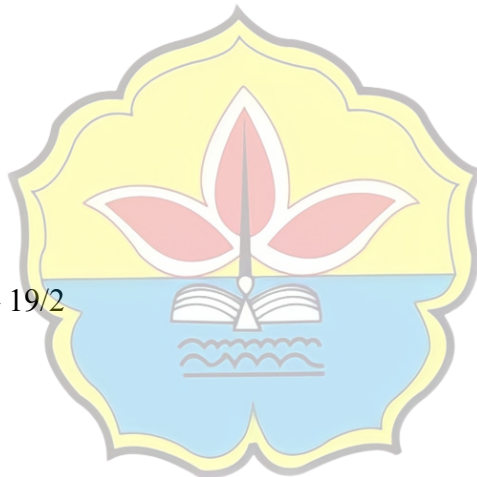
$$= 62,5 \text{ mm}$$

$$- A_s = 3D19 (850,155 \text{ mm})$$

$$- A_s' = 2D19 (567 \text{ mm})$$

Asumsi case 1 :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c')}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{850,155 \cdot 420 - 567 (420 - 0,85 \cdot 30)}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 13,077 \text{ mm}$$



Cek tulangan leleh atau tidak :

- Tulangan Tekan

$$\frac{d'}{a} < \frac{1}{\beta_1} \left(1 + \frac{fy}{600}\right) = \frac{62,5}{13,077} < \frac{1}{0,84} \left(1 + \frac{420}{600}\right) = 4,779 < 2,024 \text{ (Tulangan Tekan Tidak Leleh)}$$

- Tulangan Tarik

$$\frac{d}{a} > \frac{1}{\beta_1} \left(1 + \frac{fy}{600}\right) = \frac{537,5}{13,077} > \frac{1}{0,84} \left(1 + \frac{420}{600}\right) = 41,103 > 2,024 \text{ (Tulangan Tarik Leleh)}$$

Asumsi 1 salah, maka penampang masuk kategori case 2 sehingga nilai a dan c dihitung ulang.

$$\begin{aligned} &= (0,85 \cdot fc' \cdot \beta_1 \cdot b) c^2 - (As \cdot fy - 600 \cdot As' + 0,85 \cdot fc' \cdot As') c - 600 \cdot As' \cdot d' = 0 \\ &= (0,85 \times 30 \times 0,84 \times 400) c^2 - (850,155 \times 420 - 600 \times 567 + 0,85 \times 30 \times 567) c - \\ &600 \times 567 \times 62,5 = 0 \\ &= 8568 c^2 - 31323,600 c - 21262500 = 0 \\ c_1 &= 51,677 \text{ mm} \\ c_2 &= -48,021 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga c yang dipakai adalah $c_1 = 51,677 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} a &= \beta_1 \cdot c \\ &= 0,84 \cdot 51,677 \\ &= 43,409 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\epsilon_{s'} = \left(\frac{c-d'}{c}\right) 0,003 = \left(\frac{43,409-62,5}{43,409}\right) 0,003 = 0,001$$

$$f_{s'} = \epsilon_{s'} \cdot E_s = 0,001 \cdot 200000 = 200 \text{ Mpa}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot fc' \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 30 \cdot 43,409 \cdot 400 = 442771,8 \text{ N}$$

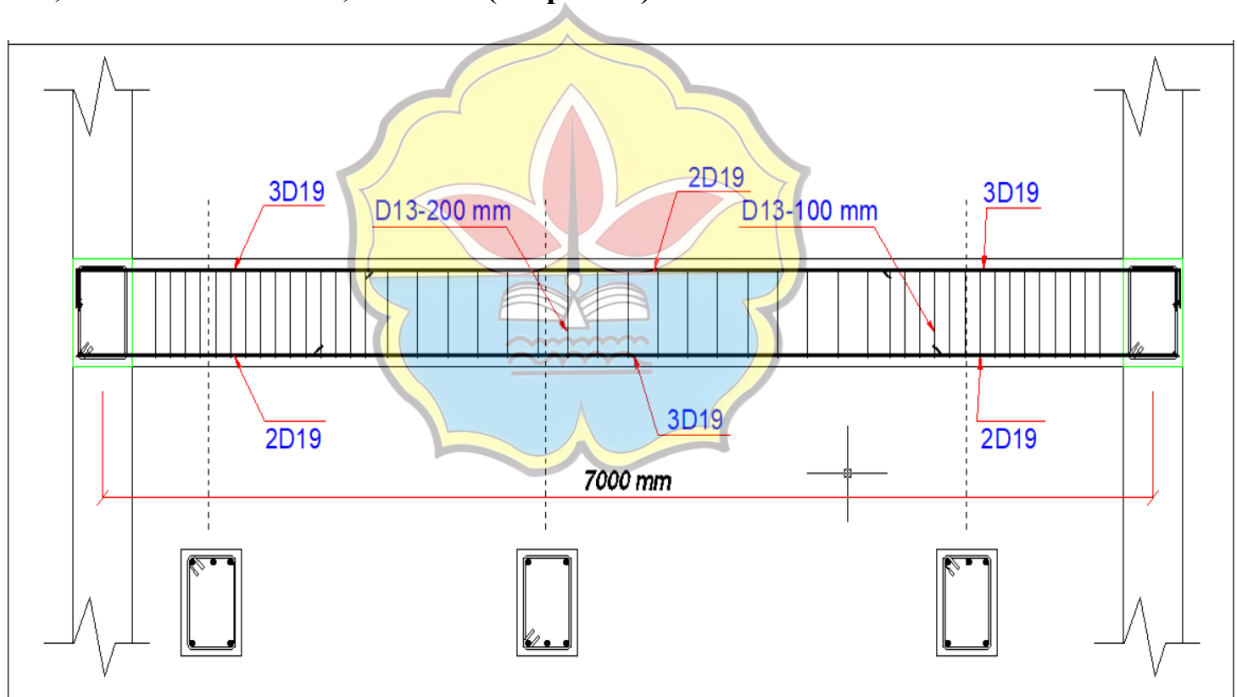
$$C_s' = A_s' (f_s' - 0,85 \cdot f_c') = 567 (200 - 0,85 \cdot 30) = 98941,5 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c' \left(d - \frac{a}{2}\right) + C_s' (d - d') \\ &= 442771,8 \left(537,5 - \frac{43,409}{2}\right) + 98941,5 (537,5 - 62,5) \\ &= 275376914,5 \text{ N.mm} \\ &= 275,377 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \cdot 275,377 \\ &= 247,839 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n < M_u$$

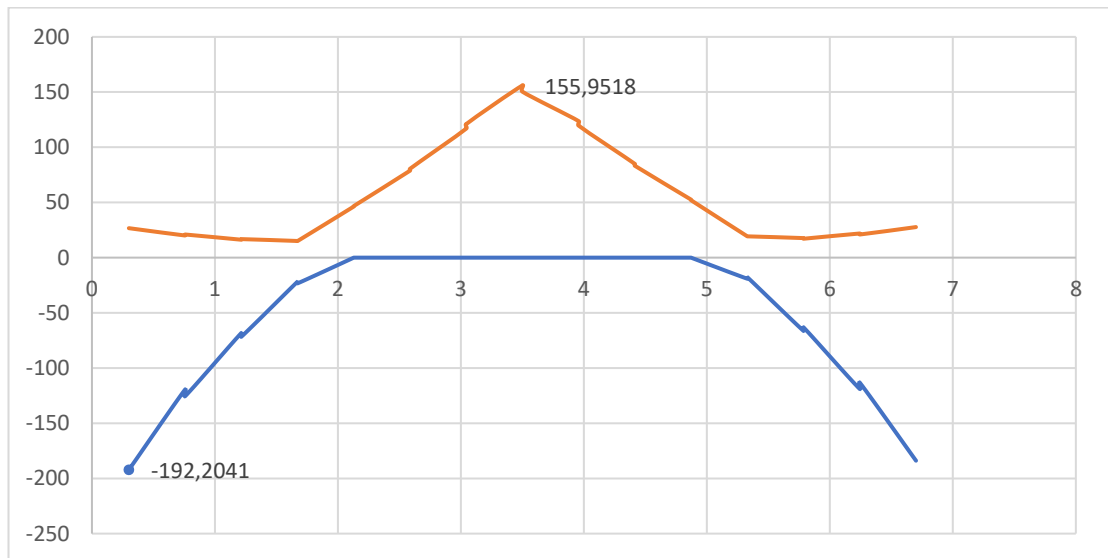
$$247,839 \text{ kN.m} < 153,305 \text{ kN.m (Terpenuhi)}$$



Gambar 4.28 Detail Penampang Balok Lantai 1

Sumber: Data Olahan, 2022

b) Lantai 2



Gambar 4.29 Diagram Momen Max & Min

Sumber: Data Olahan, 2022

- $M_u^+ = 155,952 \text{ kNm}$

- $M_u^- = 192,204 \text{ kNm}$

- Data Perencanaan Balok:

- $b = 400 \text{ mm}$

- $h = 600 \text{ mm}$

- $c_c = 40$

- $f_c' = 30 \text{ Mpa}$

- $\epsilon_c = 0,003$

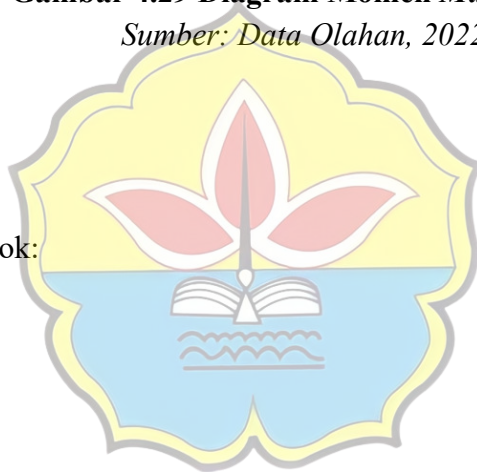
- $\epsilon_y = f_y/E_s$

$$= 420/200.000 = 0,0021$$

- $\beta_1 = 0,84$

- $d = 0,8 \cdot h$

$$= 0,8 \cdot 600 = 480 \text{ mm}$$



- Tulangan Pokok D19

Desain Tulangan Momen Positif

$$M_u = 155,952 \text{ kNm}$$

$$C_b = d \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \right)$$

$$= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right) = 282,535 \text{ mm}$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b$$

$$= 0,84 \cdot 282,535$$

$$= 237,176 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,75 \cdot a_b$$

$$= 0,75 \cdot 237,176$$

$$= 177,882 \text{ mm}$$

$$\phi M_{nbal} = \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot (d - \frac{a_{\max}}{2}))$$

$$= 0,9 (0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 (480 - \frac{177,882}{2}))$$

$$= 638583416,471 \text{ Nmm} = 638,583 \text{ kNm}$$

$$M_u < \phi M_{nbal}$$

155,952 kNm < 638,583 kNm ... **Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)**

$$R_u = \frac{M_u}{\phi_b \cdot d^2}$$

$$= \frac{155,952 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2} = 1,880 \text{ Mpa}$$

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

$$= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,030$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,030 \\ &= 0,023\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot F_{c'f}}{F_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot F_{c'f}}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,880}{0,85 \cdot 30}} \right) = 0,005\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{F_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{F_{c'f}}}{F_y} \\ &= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,005 \geq \rho_{\min} = 0,003 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,005 \leq \rho_{\max} = 0,023 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,005$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,005 \cdot 400 \cdot 480 \\ &= 893,787 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipakai tulangan pokok D19:

$$\begin{aligned}A_{\text{tulangan}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 \\ &= 283,385 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N &= \frac{A_s}{A_{\text{Tulangan}}} \\ &= \frac{893,787}{283,385} \\ &= 3,154 \approx 3\end{aligned}$$

Tulangan lapangan yang dipakai adalah 3D19 ($A_s = 850,155 \text{ mm}^2$)

Desain Tulangan Momen Negatif

$$M_u = 192,204 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} C_b &= d \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_y} \right) \\ &= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right) \\ &= 282,535 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_b &= \beta_1 \cdot c_b \\ &= 0,84 \cdot 282,535 \\ &= 237,176 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{\max} &= 0,75 \cdot a_b \\ &= 0,75 \cdot 237,176 \\ &= 177,882 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{nbal} &= \phi \left(0,85 \cdot F_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot \left(d - \frac{a_{\max}}{2} \right) \right) \\ &= 0,9 \left(0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 \cdot \left(480 - \frac{177,882}{2} \right) \right) \\ &= 638583416,471 \text{ Nmm} = 638,583 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_u < \phi M_{nbal}$$

192,204 kNm < 638,583 kNm ... **Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)**

$$\begin{aligned} R_u &= \frac{M_u}{\phi_b \cdot d^2} \\ &= \frac{192,204 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2} \\ &= 2,317 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \cdot F_c'}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,030$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,030 = 0,023 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_{c'}}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot f_{c'}}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,317}{0,85 \cdot 30}} \right) = 0,006 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_{c'}}}{f_y} \\ &= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,006 \geq \rho_{\min} = 0,003 \dots \text{(Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,006 \leq \rho_{\max} = 0,023 \dots \text{(Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,006$

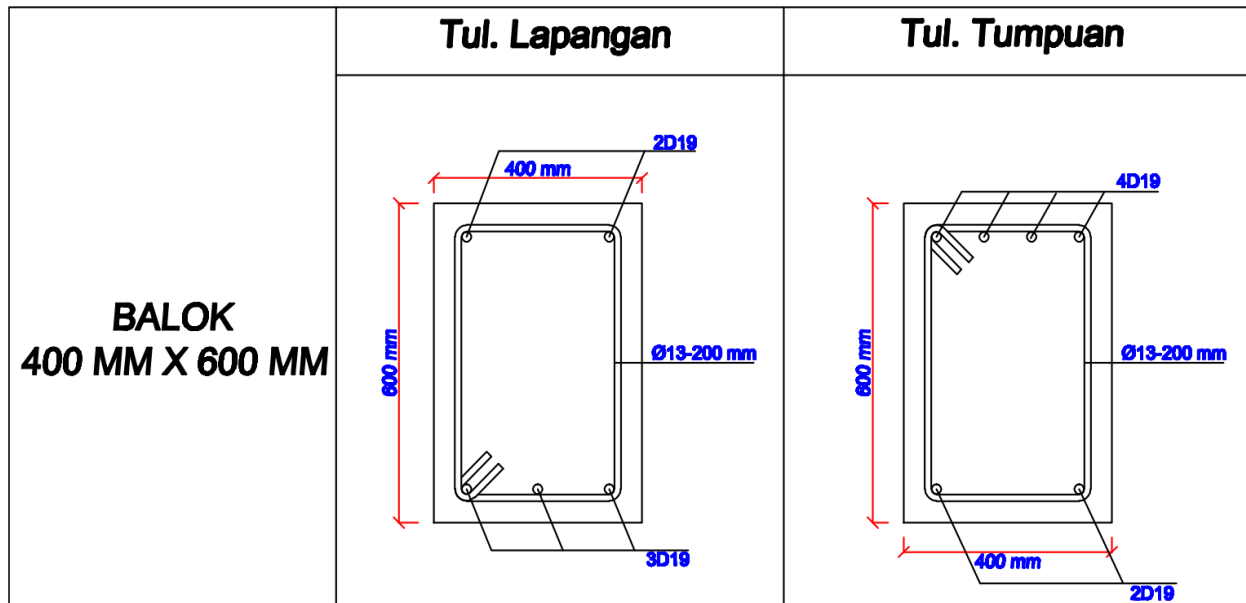
$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,006 \cdot 400 \cdot 480 \\ &= 1112,402 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan pokok D19

$$\begin{aligned} A_{\text{tulangan}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 \\ &= 283,385 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= \frac{A_s}{A_{\text{Tulangan}}} \\ &= \frac{1112,402}{283,385} = 3,925 \approx 4 \end{aligned}$$

Tulangan tumpuan yang dipakai adalah 4D19 ($A_s = 1113,54 \text{ mm}^2$)



Gambar 4.30 Penulangan Balok Lantai 2

Sumber: Data Olahan, 2022

Desain Tulangan Torsi dan Tulangan Geser

$$T_u = 37,103 \text{ kNm}$$

$$V_u = 163,943 \text{ kN}$$

$$d = 480 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\lambda = 1$$

$$A_{cp} = b \cdot h$$

$$= 400 \text{ mm} \cdot 600 \text{ mm}$$

$$= 240000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \cdot (b + h)$$

$$= 2 \cdot (400 + 600)$$

$$= 2000 \text{ mm}$$

$$T_{th} = 0,083 \sqrt{Fc'} \frac{Acp^2}{Pcp}$$

$$= 0,083 \sqrt{30} \left(\frac{240000^2}{2000} \right) = 13092760,01 \text{ Nmm}$$

$$\phi T_{th} = 0,75(13092760,01) = 9819570,011 \text{ Nmm} = 9,820 \text{ kNmm}$$

Hitung besaran torsi yang boleh diabaikan:

$$T_u > \phi T_{th}$$

$$37,103 \text{ kNm} > 9,820 \text{ kNmm} \dots \text{Ya!!}$$

Maka torsi tak dapat diabaikan:

$$\emptyset = 45^\circ$$

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{37,103}{0,75} = 49,471 \text{ kNm}$$

$$X_1 = b - (2 \times (cc + \frac{1}{2} \cdot Ds))$$

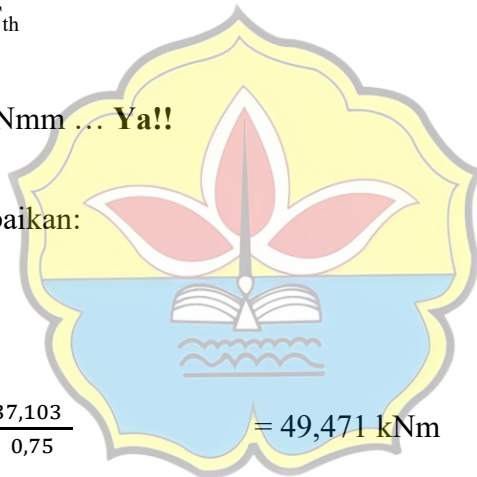
$$= 400 - (2 \times (40 + \frac{1}{2} \cdot 13))$$

$$= 307 \text{ mm}$$

$$Y_1 = h - (2 \times (cc + \frac{1}{2} \cdot Ds))$$

$$= 600 - (2 \times (40 + \frac{1}{2} \cdot 13))$$

$$= 527 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= X_1 \cdot Y_1 \\
 &= 307 \text{ mm} \times 527 \text{ mm} \\
 &= 161789 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\
 &= 0,85 \cdot 161789 \text{ mm}^2 \\
 &= 137520,65 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$P_h = 2 (X_1 + Y_1) = 2 (307 + 527) = 1668 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847:2019 subpasal 22.7.6.1.2 jika struktur non-prategang maka nilai $\emptyset$ ditetapkan 45°.

Hitung kebutuhan tulangan torsi:

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot \emptyset} = \frac{49,471 \times 10^6}{2 \cdot 137520,65 \cdot 420 \cdot 1} \\
 &= 0,428 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hitung kebutuhan tulangan geser:

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,17 \cdot 1 \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 480 = 178776,643 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 178776,643 = 134082,482 \text{ N}$$

$$V_n \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{163942,8}{0,75} = 218590,4 \text{ N}$$

$$V_u > 0,5\phi V_c = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 134082,482$$

$$163942,8 > 67041,24 \dots \text{Butuh tulangan geser!!}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{163942,8}{0,75} - 178776,643 = 39813,757 \text{ N}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s \text{ perlu}}{F_y \cdot d} = \frac{39813,757}{420 \cdot 480} = 0,197 \text{ mm}$$

Terbesar dari:

$$\frac{A_{vmin}}{s} = 0,062\sqrt{f'c'} \frac{b}{F_y} \quad \text{dan} \quad 0,35 \frac{b}{f_y}$$

$$= 0,062\sqrt{30} \frac{400}{420} = 0,323 \quad \text{dan} \quad 0,35 \times \frac{400}{420} = 0,333$$

$$A_{tul} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D13^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2$$

$$= 132,665 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{vmin}}{s} = \frac{A_{tul}}{s}$$

$$0,333 = \frac{132,665}{s}$$

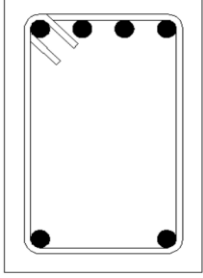
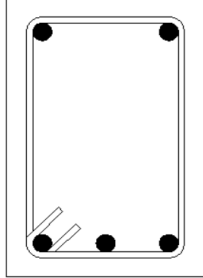
$$S = \frac{132,665}{0,333} = 398,393 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = \frac{d}{2} = \frac{480}{2} = 240 \text{ mm}$$

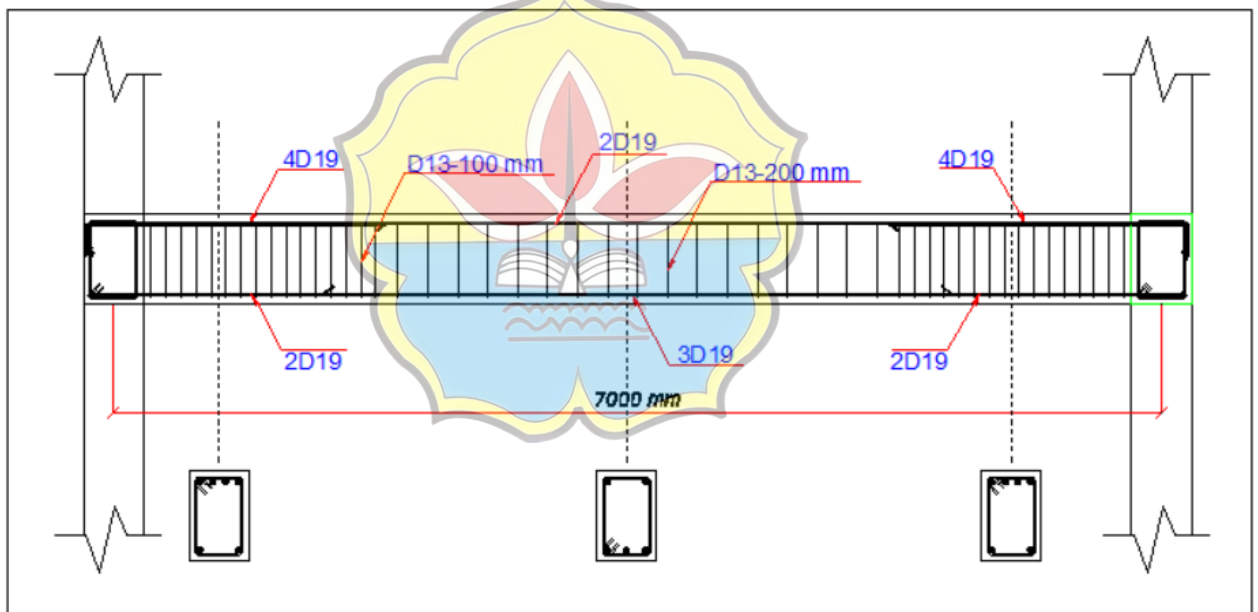
$$S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan geser D13 – 200 mm

Tabel 4.88 Hasil Perhitungan Kapasitas Momen Lantai 2

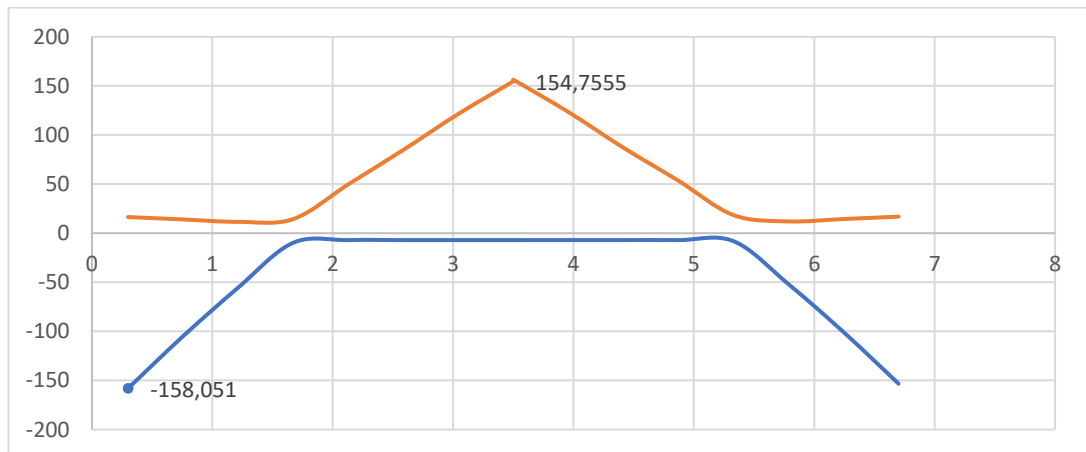
Dimensi Balok	Tulangan	Tumpuan	Lapangan	$\phi M_n > M_u$
400 x 600 mm	Tulangan Atas	4D19	2D19	Terpenuhi
	Tulangan Bawah	2D19	3D19	
	Tulangan Sengkang	D13-200 mm	D13-200 mm	
	Gambar Penulangan			

Sumber: Data Olahan, 2023

**Gambar 4.31 Detail Penampang Balok Lantai 2**

Sumber: Data Olahan, 2022

c) Lantai 3

Gambar 4.32 Diagram *Envelope Moment**Sumber: Data Olahan, 2022*

- $M_u^+ = 156,286 \text{ kNm}$

- $M_u^- = 158,051 \text{ kNm}$

- Data Perencanaan Balok:

- $b = 400 \text{ mm}$

- $h = 600 \text{ mm}$

- $cc = 40$

- $f_c' = 30 \text{ Mpa}$

- $\epsilon_c = 0,003$

- $\epsilon_y = f_y/E_s$

$$= 420/200.000 = 0,0021$$

- $\beta_1 = 0,84$

- $d = 0,8 \cdot h$

$$= 0,8 \cdot 600$$

$$= 480 \text{ mm}$$

- Tulangan Pokok D19



Desain Tulangan Momen Positif

$$M_u = 156,286 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} C_b &= d \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_y} \right) \\ &= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right) \\ &= 282,535 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_b &= \beta_1 \cdot c_b \\ &= 0,84 \cdot 282,535 \\ &= 237,176 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{\max} &= 0,75 \cdot a_b \\ &= 0,75 \cdot 237,176 \\ &= 177,882 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{nbal} &= \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot (d - \frac{a_{\max}}{2})) \\ &= 0,9 (0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 (480 - \frac{177,882}{2})) \\ &= 638583416,471 \text{ Nmm} = 638,583 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_u < \phi M_{nbal}$$

156,286 kNm < 638,583 kNm ... **Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)**

$$\begin{aligned} R_u &= \frac{M_u}{\phi_b \cdot d^2} \\ &= \frac{156,286 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2} = 1,884 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,030 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,030 \\ &= 0,023\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot F_{c'f}}{F_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot F_{c'f}}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,884}{0,85 \cdot 30}} \right) = 0,005\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_{c'f}}}{f_y} \\ &= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,005 \geq \rho_{\min} = 0,003 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,005 \leq \rho_{\max} = 0,023 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,005$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,005 \cdot 400 \cdot 480 \\ &= 960 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipakai tulangan pokok D19:

$$\begin{aligned}A_{\text{tulangan}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 \\ &= 283,385 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N &= \frac{A_s}{A_{\text{Tulangan}}} \\ &= \frac{960}{283,385} \\ &= 3,388 \approx 3\end{aligned}$$

Tulangan lapangan yang dipakai adalah 3D19 ($A_s = 850,155 \text{ mm}^2$)

Desain Tulangan Momen Negatif

$$M_u^- = 158,051 \text{ kNm}$$

$$c_b = d \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \right)$$

$$= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right) = 282,535 \text{ mm}$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b$$

$$= 0,84 \cdot 282,535$$

$$= 237,176 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,75 \cdot a_b$$

$$= 0,75 \cdot 237,176$$

$$= 177,882 \text{ mm}$$

$$\phi M_{nbal} = \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot (d - \frac{a_{\max}}{2}))$$

$$= 0,9 (0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 (480 - \frac{177,882}{2}))$$

$$= 638583416,471 \text{ Nmm} = 638,583 \text{ kNm}$$

$$M_u < \phi M_{nbal}$$

158,051 kNm < 638,583 kNm ... **Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)**

$$R_u = \frac{M_u}{\phi_b \cdot d^2}$$

$$= \frac{158,051 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2}$$

$$= 1,906 \text{ MPa}$$

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

$$= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,030$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,030 \\ &= 0,023\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot F_{c'}}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot f_{c'}}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,906}{0,85 \cdot 30}} \right) = 0,005\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{F_{c'}}}{f_y} \\ &= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,005 \geq \rho_{\min} = 0,003 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,005 \leq \rho_{\max} = 0,023 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,005$

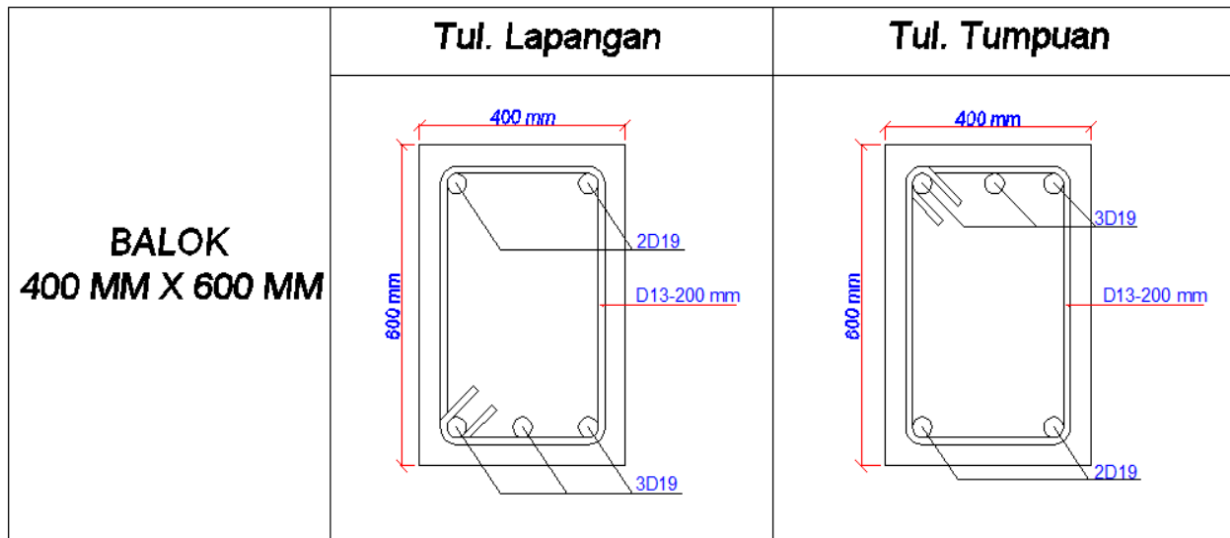
$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,005 \cdot 400 \cdot 480 = 960 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipakai tulangan pokok D19:

$$\begin{aligned}A_{\text{tulangan}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 \\ &= 283,385 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N &= \frac{A_s}{A_{\text{Tulangan}}} \\ &= \frac{960}{283,385} \\ &= 3,388 \approx 3\end{aligned}$$

Tulangan tumpuan yang dipakai adalah 3D19 ($A_s = 850,155 \text{ mm}^2$)



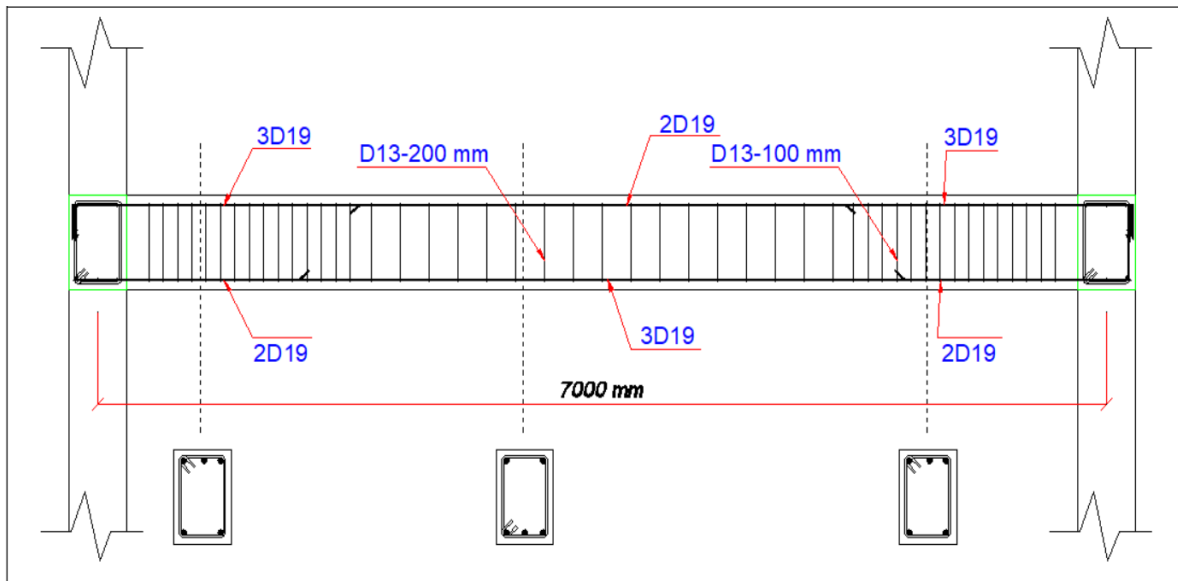
Gambar 4.33 Penulangan Balok Lantai 3

Sumber: Data Olahan, 2022

Tabel 4.89 Hasil Perhitungan Kapasitas Momen Lantai 3

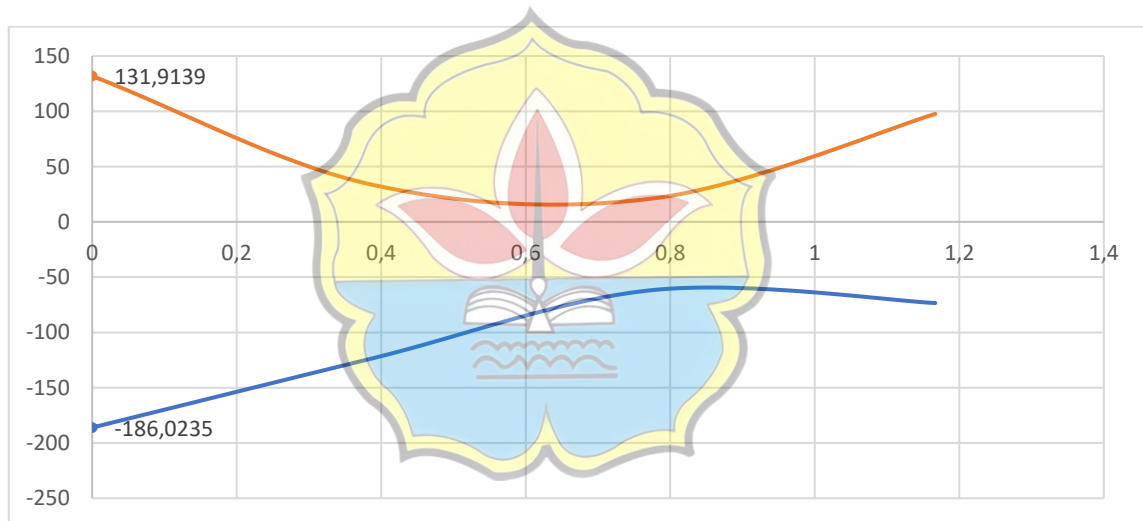
Dimensi Balok	Tulangan	Lapangan	Tumpuan	$\phi M_n > M_u$
400 x 600 mm	Tulangan Atas	2D19	3D19	Terpenuhi
	Tulangan Bawah	3D19	2D19	
	Tulangan Sengkang	D13-200 mm	D13-200 mm	
	Gambar Penulangan			

Sumber: Data Olahan, 2023



Gambar 4.34 Detail Penulangan Balok Lantai 3

Sumber: Data Olahan, 2022



Gambar 4.35 Diagram Envelope Moment

Sumber: Data Olahan, 2022

Desain Tulangan Momen Positif

$$M_u = 131,914 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} C_b &= d \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \right) \\ &= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right) \\ &= 282,535 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ab &= \beta_1 \cdot cb \\
 &= 0,84 \cdot 282,535 \\
 &= 237,176 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_{\max} &= 0,75 \cdot ab \\
 &= 0,75 \cdot 237,176 \\
 &= 177,882 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_{nbal} &= \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot (d - \frac{a_{\max}}{2})) \\
 &= 0,9 (0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 (480 - \frac{177,882}{2})) \\
 &= 638583416,471 \text{ Nmm} = 638,583 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$M_u < \phi M_{nbal}$$

$$131,914 \text{ kNm} < 638,583 \text{ kNm} \dots \text{Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)}$$

$$\begin{aligned}
 R_u &= \frac{M_u}{\phi b \cdot d^2} \\
 &= \frac{131,914 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2} = 1,590 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \left(\frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,030
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,030 \\
 &= 0,023
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,590}{0,85 \cdot 30}} \right) = 0,004
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_{c'}}}{f_y}$$

$$= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,004 \quad \geq \rho_{\min} = 0,003 \quad \dots \quad \textbf{(Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,004 \quad \leq \rho_{\max} = 0,023 \quad \dots \quad \textbf{(Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,004$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,004 \cdot 400 \cdot 480$$

$$= 768 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan pokok D19:

$$A_{\text{tulangan}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

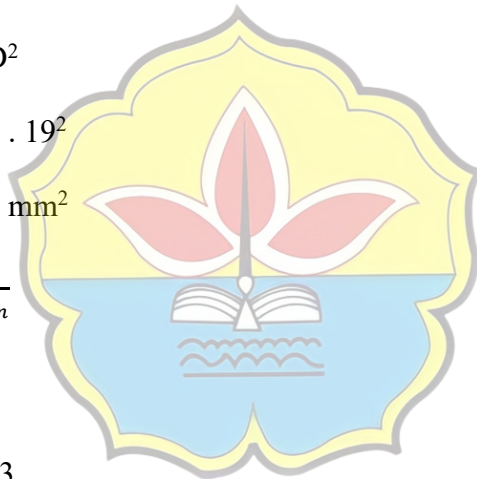
$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2$$

$$= 283,385 \text{ mm}^2$$

$$N = \frac{A_s}{A_{\text{tulangan}}}$$

$$= \frac{768}{283,385}$$

$$= 2,710 \approx 3$$



Tulangan lapangan yang dipakai adalah 3D19 ($A_s = 850,155 \text{ mm}^2$)

Desain Tulangan Momen Negatif

$$M_u = 186,024 \text{ kNm}$$

$$C_b = d \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \right)$$

$$= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right) = 282,535 \text{ mm}$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b$$

$$= 0,84 \cdot 282,535 = 237,176 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 a_{\max} &= 0,75 \cdot ab \\
 &= 0,75 \cdot 237,176 \\
 &= 177,882 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_{nbal} &= \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot (d - \frac{a_{\max}}{2})) \\
 &= 0,9 (0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 (480 - \frac{177,882}{2})) \\
 &= 638583416,471 \text{ Nmm} \\
 &= 638,583 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$M_u < \phi M_{nbal}$$

186,024 kNm < 638,583 kNm ... **Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)**

$$\begin{aligned}
 R_u &= \frac{M_u}{\phi b \cdot d^2} \\
 &= \frac{186,024 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2} \\
 &= 2,243 \text{ MPa} \\
 \rho_b &= \left(\frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,030
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,030 \\
 &= 0,023
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,317}{0,85 \cdot 30}} \right) = 0,006
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_{c'}}}{f_y}$$

$$= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,006 \geq \rho_{\min} = 0,003 \quad \dots \quad \text{(Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,006 \leq \rho_{\max} = 0,023 \quad \dots \quad \text{(Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,006$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,006 \cdot 400 \cdot 480$$

$$= 1133,54 \text{ mm}^2$$

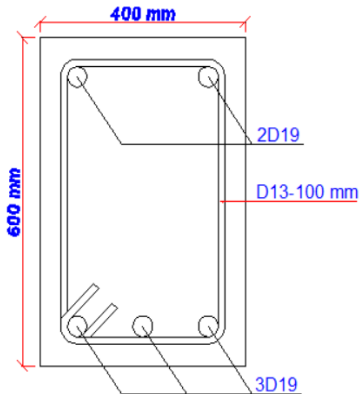
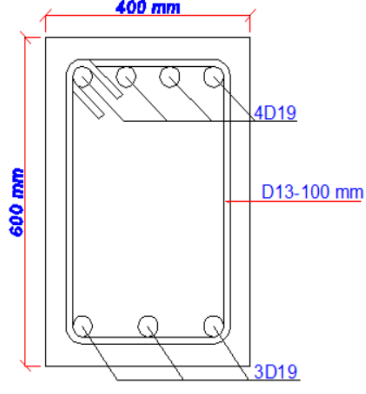
Dipakai tulangan pokok D19:

$$A_{\text{tulangan}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 = 283,385 \text{ mm}^2$$

$$N = \frac{A_s}{A_{\text{Tulangan}}}$$

$$= \frac{1112,402}{283,385} = 3,925 \approx 4$$

Tulangan tumpuan yang dipakai adalah 4D19 ($A_s = 1113,54 \text{ mm}^2$)

	Tul. Lapangan	Tul. Tumpuan
BALOK 400 MM X 600 MM		

Gambar 4.36 Penulangan Balok Lantai 3

Sumber: Data Olahan, 2022

Desain Tulangan Torsi dan Tulangan Geser

$$T_u = 37,567 \text{ kNm}$$

$$V_u = 162,797 \text{ kN}$$

$$d = 480 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\lambda = 1$$

$$A_{cp} = b \cdot h$$

$$= 400 \text{ mm} \cdot 600 \text{ mm} = 240000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \cdot (b + h)$$

$$= 2 \cdot (400 + 600)$$

$$= 2000 \text{ mm}$$

$$T_{th} = 0,083 \sqrt{f_c'} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

$$= 0,083 \sqrt{30} \left(\frac{240000^2}{2000} \right)$$

$$= 13092760,01 \text{ Nmm}$$

$$\phi T_{th} = 0,75(13092760,01)$$

$$= 9819570,011 \text{ Nmm} = 9,820 \text{ kNmm}$$

Hitung besaran torsi yang boleh diabaikan:

$$T_u > \phi T_{th}$$

$$37,567 \text{ kNm} > 9,820 \text{ kNm} \dots \text{Ya!!}$$

Maka torsi tak dapat diabaikan:

$$\emptyset = 45^\circ$$

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{37,567}{0,75} = 50,1 \text{ kNm}$$

$$X_1 = b - (2 \times (cc + \frac{1}{2} \cdot D_s))$$

$$= 400 - (2 \times (40 + \frac{1}{2} \cdot 13))$$

$$= 307 \text{ mm}$$

$$Y_1 = h - (2 \times (cc + \frac{1}{2} \cdot D_s))$$

$$= 600 - (2 \times (40 + \frac{1}{2} \cdot 13))$$

$$= 527 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X_1 \cdot Y_1$$

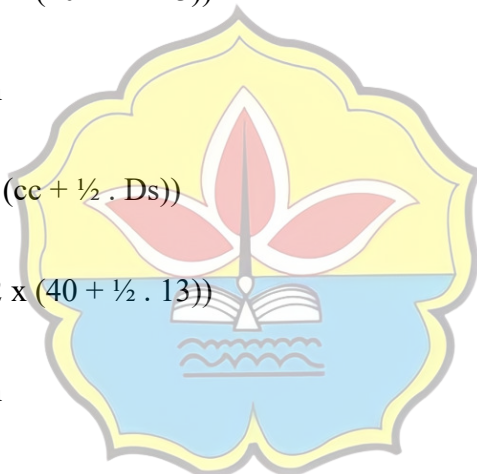
$$= 307 \text{ mm} \times 527 \text{ mm}$$

$$= 161789 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \cdot A_{oh}$$

$$= 0,85 \cdot 161789 \text{ mm}^2$$

$$= 137520,65 \text{ mm}^2$$



$$\begin{aligned}
 Ph &= 2 (X_1 + Y_1) \\
 &= 2 (307 + 527) \\
 &= 1668 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2019 subpasal 22.7.6.1.2 jika struktur non-prategang maka nilai $\emptyset$ ditetapkan 45° .

Hitung kebutuhan tulangan torsi:

$$\begin{aligned}
 \frac{At}{s} &= \frac{Tn}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot \emptyset} \\
 &= \frac{50,1 \times 10^6}{2 \cdot 137520,65 \cdot 420 \cdot 1} \\
 &= 0,434 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hitung kebutuhan tulangan geser:

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,17 \cdot 1 \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 480 \\
 &= 178776,643 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 178776,643 = 134082,482 \text{ N}$$

$$V_n \text{ perlu} = \frac{Vu}{\phi} = \frac{162797,3}{0,75} = 217063,067 \text{ N}$$

$$V_u > 0,5 \phi V_c = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 134082,482$$

$$162797,3 > 67041,24 \dots \text{Butuh tulangan geser!!}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{Vu}{\phi} - V_c = \frac{162797,3}{0,75} - 178776,643 = 38286,424 \text{ N}$$

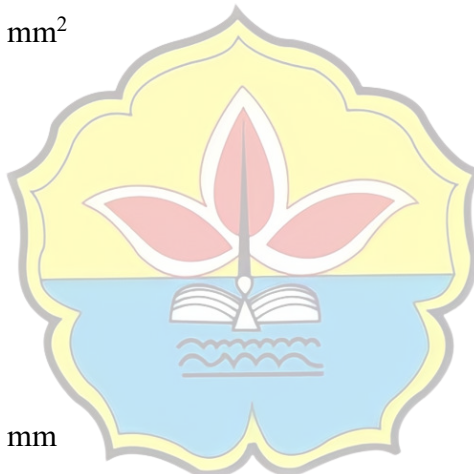
$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs \text{ perlu}}{f_y \cdot d} = \frac{38286,424}{420 \cdot 480} = 0,190 \text{ mm}$$

Terbesar dari:

$$\begin{aligned} \frac{Avmin}{s} &= 0,062\sqrt{f'c'} \frac{b}{f_y} & \text{dan} & \quad 0,35 \frac{b}{f_y} \\ &= 0,062\sqrt{30} \frac{400}{420} = 0,323 & \text{dan} & \quad 0,35 \times \frac{400}{420} = 0,333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A.tul &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D13^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \\ &= 132,665 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{Avmin}{s} &= \frac{A.tul}{s} \\ 0,333 &= \frac{132,665}{s} \\ S &= \frac{132,665}{0,333} \\ &= 398,393 \text{ mm} \end{aligned}$$

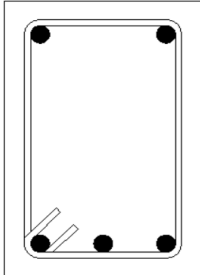
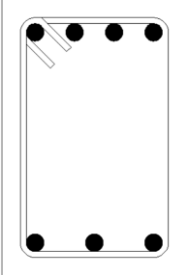


$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{d}{2} = \frac{480}{2} \\ &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

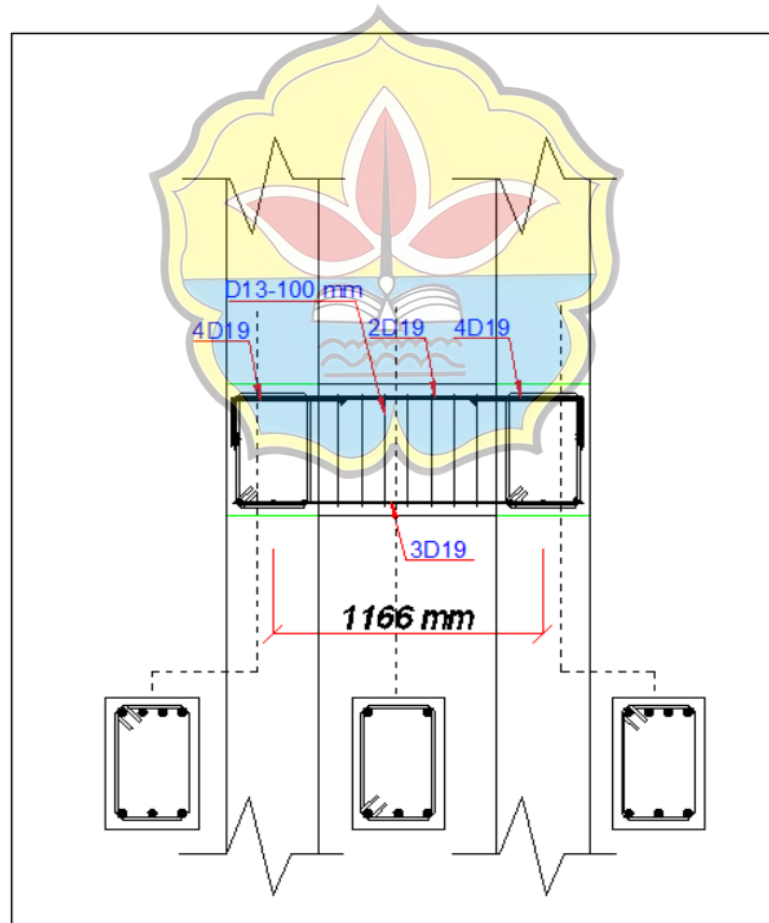
$$S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan geser D13 – 200 mm

Tabel 4.90 Hasil Perhitungan Kapasitas Momen Lantai 3

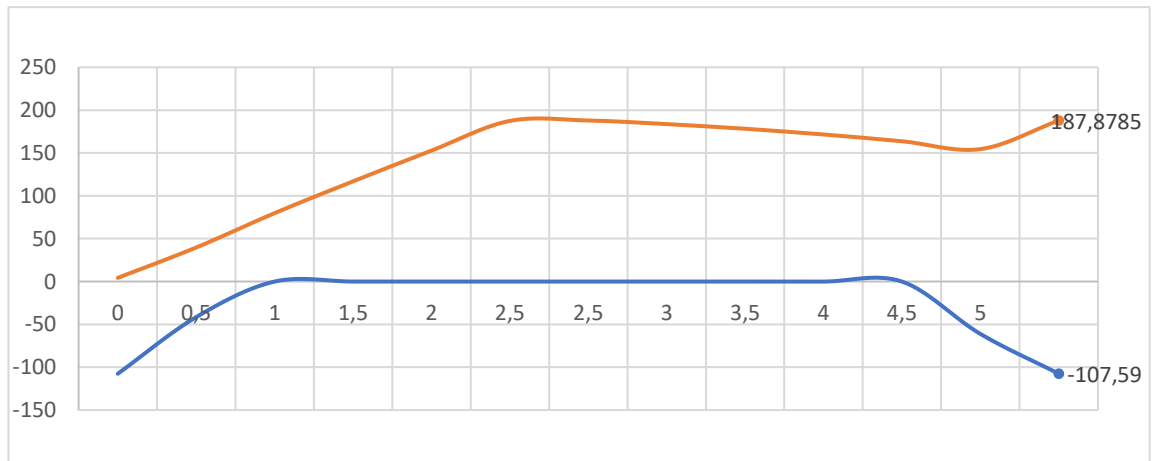
Dimensi Balok	Tulangan	Lapangan	Tumpuan	$\phi Mn > Mu$
400 x 600 mm	Tulangan Atas	2D19	4D19	Terpenuhi
	Tulangan Bawah	3D19	3D19	
	Tulangan Sengkang	D13-100 mm	D13-100 mm	
	Gambar Penulangan			

Sumber: Data Olahan, 2023

**Gambar 4.37 Detail Penampang Balok Lantai 3**

Sumber: Data Olahan, 2022

d) Lantai 4



Gambar 4.38 Diagram *Envelope Moment*

Sumber: Data Olahan, 2022

- $M_u^+ = 187,879 \text{ kNm}$

- $M_u^- = 107,59 \text{ kNm}$

• Data Perencanaan Balok:

- $b = 400 \text{ mm}$

- $h = 600 \text{ mm}$

- $c_c = 40$

- $f_c' = 30 \text{ MPa}$

- $\epsilon_c = 0,003$

- $\epsilon_y = f_y/E_s$

$$= 420/200.000 = 0,0021$$

- $\beta_1 = 0,84$

- $d = 0,8 \cdot h$

$$= 0,8 \cdot 600$$

$$= 480 \text{ mm}$$

- Tulangan Pokok D19



Desain Tulangan Momen Positif

$$M_u = 187,879 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} C_b &= d \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_y} \right) \\ &= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right) \\ &= 282,535 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_b &= \beta_1 \cdot c_b \\ &= 0,84 \cdot 282,535 \\ &= 237,176 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{\max} &= 0,75 \cdot a_b \\ &= 0,75 \cdot 237,176 \\ &= 177,882 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{nbal} &= \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot (d - \frac{a_{\max}}{2})) \\ &= 0,9 (0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 (480 - \frac{177,882}{2})) \\ &= 638583416,471 \text{ Nmm} = 638,583 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_u < \phi M_{nbal}$$

187,879 kNm < 638,583 kNm ... **Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)**

$$\begin{aligned} R_u &= \frac{M_u}{\phi_b \cdot d^2} \\ &= \frac{187,879 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2} = 2,265 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,030 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,030 = 0,023$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_{c'}}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot f_{c'}}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,265}{0,85 \cdot 30}} \right) = 0,006\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_{c'}}}{f_y} \\ &= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,006 \geq \rho_{\min} = 0,003 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,006 \leq \rho_{\max} = 0,023 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,006$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,006 \cdot 400 \cdot 480 = 1152 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan pokok D19:

$$\begin{aligned}A_{\text{tulangan}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 = 283,385 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N &= \frac{A_s}{A_{\text{Tulangan}}} \\ &= \frac{1152}{283,385} = 4,065 \approx 4\end{aligned}$$

Tulangan lapangan yang dipakai adalah 4D19 ($A_s = 1133,540 \text{ mm}^2$)

Desain Tulangan Momen Negatif

$$M_u = 107,59 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}C_b &= d \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \right) \\ &= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right) \\ &= 282,535 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$ab = \beta_1 \cdot cb = 0,84 \cdot 282,535 = 237,176 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,75 \cdot ab = 0,75 \cdot 237,176 = 177,882 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{nbal} &= \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot (d - \frac{a_{\max}}{2})) \\ &= 0,9 (0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 (480 - \frac{177,882}{2})) \\ &= 638583416,471 \text{ Nmm} = 638,583 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_u < \phi M_{nbal}$$

$$107,59 \text{ kNm} < 638,583 \text{ kNm} \dots \text{Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)}$$

$$\begin{aligned} R_u &= \frac{M_u}{\phi_b \cdot d^2} \\ &= \frac{107,59 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2} \\ &= 1,297 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,030 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,030 \\ &= 0,023 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,297}{0,85 \cdot 30}} \right) \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_{c'}}}{f_y}$$

$$= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,003 \quad \geq \rho_{\min} = 0,003 \quad \dots \quad \text{(Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,003 \quad \leq \rho_{\max} = 0,023 \quad \dots \quad \text{(Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,003$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,003 \cdot 400 \cdot 480 = 576 \text{ mm}^2$$

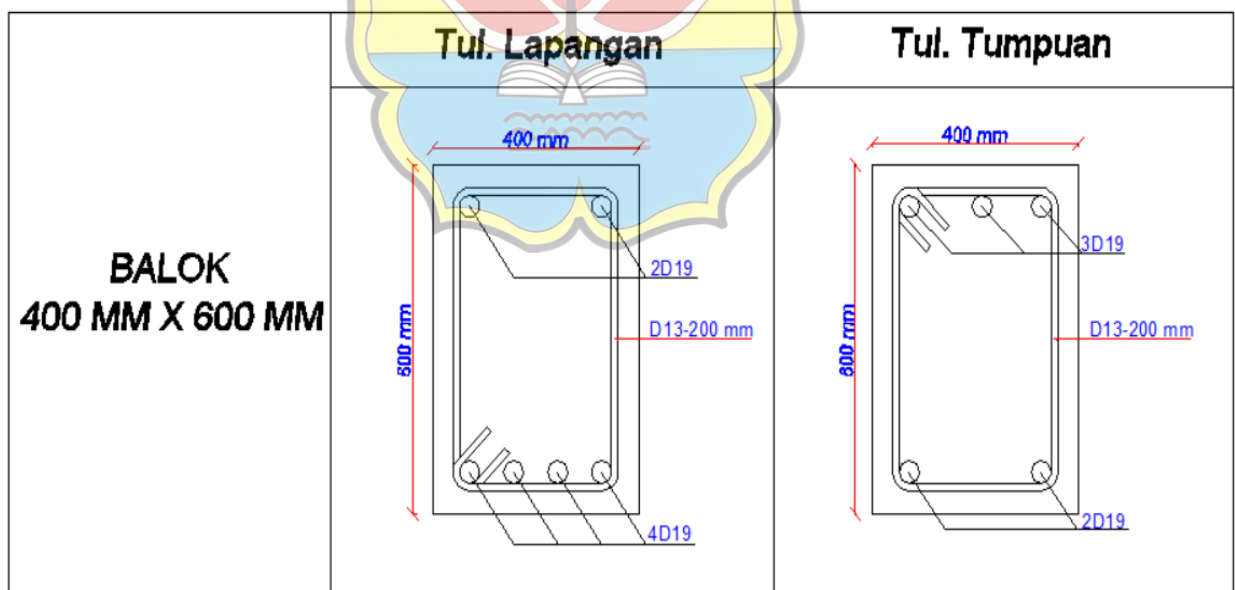
Dipakai tulangan pokok D19:

$$A_{\text{tulangan}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 = 283,385 \text{ mm}^2$$

$$N = \frac{A_s}{A_{\text{Tulangan}}}$$

$$= \frac{576}{283,385} = 2,033 \approx 3$$

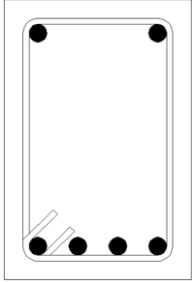
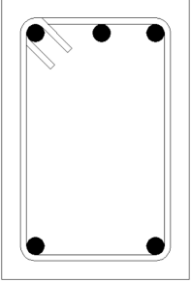
Tulangan tumpuan yang dipakai adalah 3D19 ($A_s = 850,155 \text{ mm}^2$)



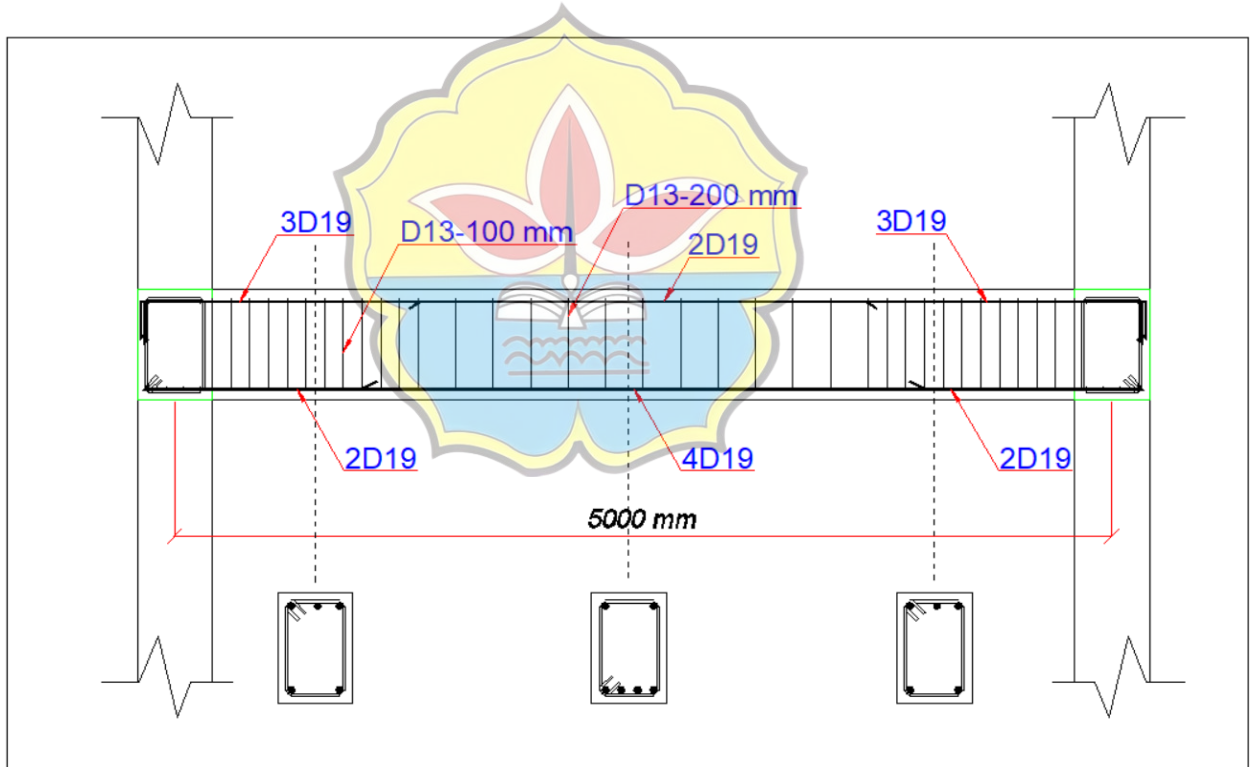
Gambar 4.39 Penulangan Balok Lantai 4

Sumber: Data Olahan, 2022

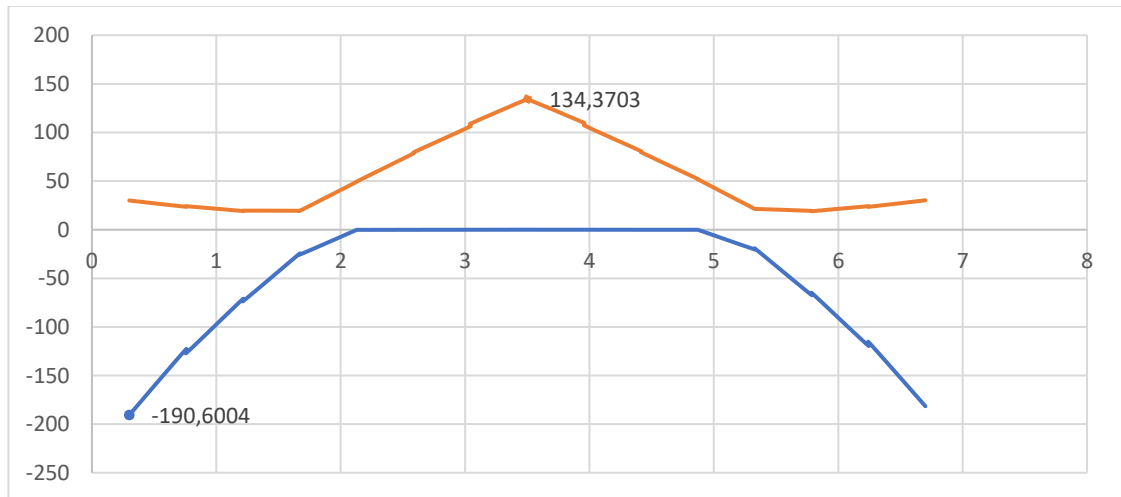
Tabel 4.91 Hasil Perhitungan Kapasitas Momen Lantai 4

Dimensi Balok	Tulangan	Lapangan	Tumpuan	$\phi Mn > Mu$
400 x 600 mm	Tulangan Atas	2D19	3D19	Terpenuhi
	Tulangan Bawah	4D19	2D19	
	Tulangan Sengkang	D13-200 mm	D13-200 mm	
	Gambar Penulangan			

Sumber: Data Olahan, 2023

**Gambar 4.40 Detail Penulangan Balok Lantai 4**

Sumber: Data Olahan, 2022



Gambar 4.41 Diagram *Envelope Moment*

Sumber: Data Olahan, 2022

Desain Tulangan Momen Positif

$$M_u = 134,370 \text{ kNm}$$

$$C_b = d \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \right)$$

$$= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right)$$

$$= 282,535 \text{ mm}$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b$$

$$= 0,84 \cdot 282,535$$

$$= 237,176 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,75 \cdot a_b$$

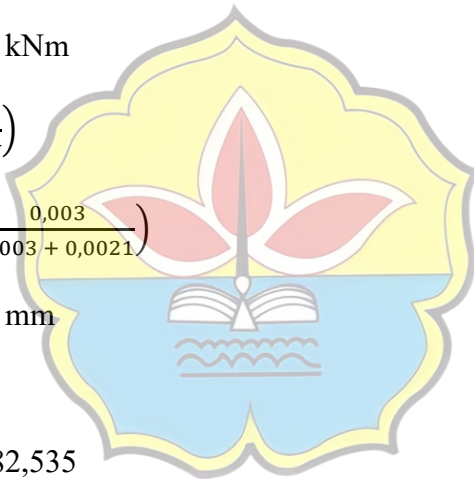
$$= 0,75 \cdot 237,176$$

$$= 177,882 \text{ mm}$$

$$\phi M_{nbal} = \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot (d - \frac{a_{\max}}{2}))$$

$$= 0,9 (0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 (480 - \frac{177,882}{2}))$$

$$= 638583416,471 \text{ Nmm} = 638,583 \text{ kNm}$$



$$M_u < \phi M_{nbal}$$

134,370 kNm < 638,583 kNm ... **Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)**

$$\begin{aligned} R_u &= \frac{M_u}{\phi_b \cdot d^2} \\ &= \frac{134,370 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2} = 1,620 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,030 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,030 = 0,023 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,620}{0,85 \cdot 30}} \right) = 0,004 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,004 \geq \rho_{\min} = 0,003 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,004 \leq \rho_{\max} = 0,023 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,006$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,004 \cdot 400 \cdot 480 = 768 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan pokok D19:

$$\begin{aligned} A_{\text{tulangan}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 = 283,385 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$N = \frac{A_s}{A_{Tulangan}}$$

$$= \frac{768}{283,385} = 2,710 \approx 3$$

Tulangan lapangan yang dipakai adalah 3D19 ($A_s = 850,155 \text{ mm}^2$)

Desain Tulangan Momen Negatif

$$M_u = 190,6 \text{ kNm}$$

$$C_b = d \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \right)$$

$$= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right)$$

$$= 282,535 \text{ mm}$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b$$

$$= 0,84 \cdot 282,535$$

$$= 237,176 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 0,75 \cdot a_b$$

$$= 0,75 \cdot 237,176$$

$$= 177,882 \text{ mm}$$

$$\phi M_{nbal} = \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot (d - \frac{a_{\max}}{2}))$$

$$= 0,9 (0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 (480 - \frac{177,882}{2}))$$

$$= 638583416,471 \text{ Nmm} = 638,583 \text{ kNm}$$

$$M_u < \phi M_{nbal}$$

190,6 kNm < 638,583 kNm ... **Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)**

$$R_u = \frac{M_u}{\phi_b \cdot d^2}$$

$$= \frac{190,6 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2} = 2,298 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \left(\frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,030\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,030 \\ &= 0,023\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,298}{0,85 \cdot 30}} \right) = 0,006\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,006 \geq \rho_{\min} = 0,003 \dots \text{(Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,006 \leq \rho_{\max} = 0,023 \dots \text{(Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,006$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,006 \cdot 400 \cdot 480 \\ &= 1152 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipakai tulangan pokok D19:

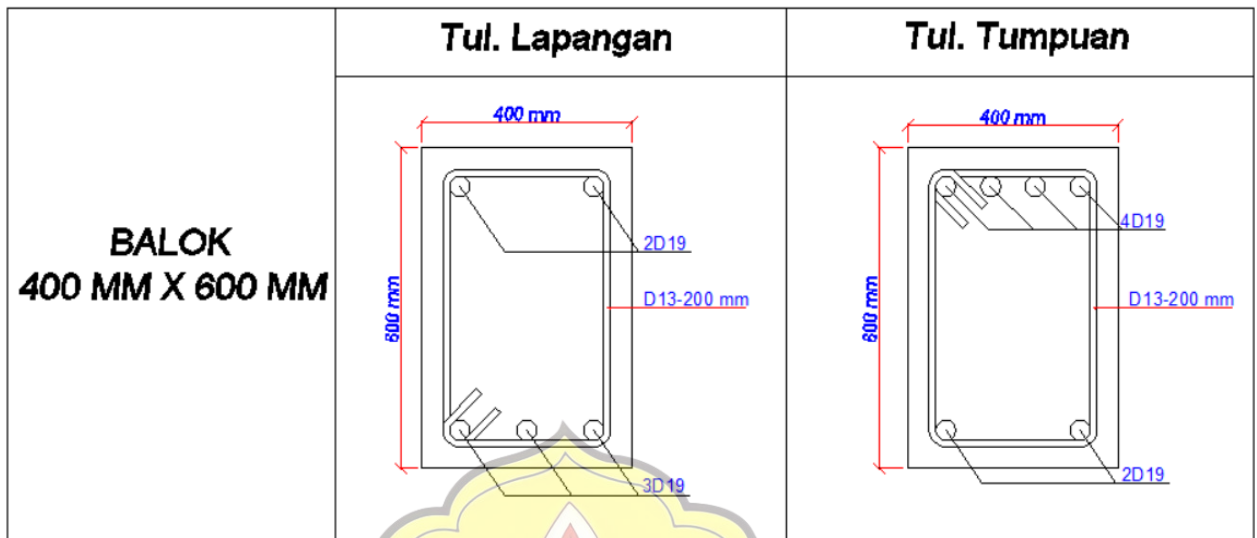
$$\begin{aligned}A_{\text{tulangan}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 \\ &= 283,385 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$N = \frac{A_s}{A_{\text{Tulangan}}}$$

$$= \frac{1112,402}{283,385}$$

$$= 3,925 \approx 4$$

Tulangan tumpuan yang dipakai adalah 4D19 ($A_s = 1133,540 \text{ mm}^2$)



Gambar 4.42 Penulangan Balok Lantai 4

Sumber: Data Olahan, 2022

Desain Tulangan Torsi dan Tulangan Geser

$$T_u = 35,470 \text{ kNm}$$

$$V_u = 153,244 \text{ kN}$$

$$d = 480 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\lambda = 1$$

$$A_{cp} = b \cdot h$$

$$= 400 \text{ mm} \cdot 600 \text{ mm}$$

$$= 240000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \cdot (b + h) \\
 &= 2 \cdot (400 + 600) \\
 &= 2000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{th} &= 0,083 \sqrt{f'c'} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\
 &= 0,083 \sqrt{30} \left(\frac{240000^2}{2000} \right) = 13092760,01 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\phi T_{th} = 0,75(13092760,01) = 9819570,011 \text{ Nmm} = 9,820 \text{ kNmm}$$

Hitung besaran torsi yang boleh diabaikan:

$$T_u > \phi T_{th}$$

$$35,470 \text{ kNm} > 9,820 \text{ kNmm} \dots \text{Ya!!}$$

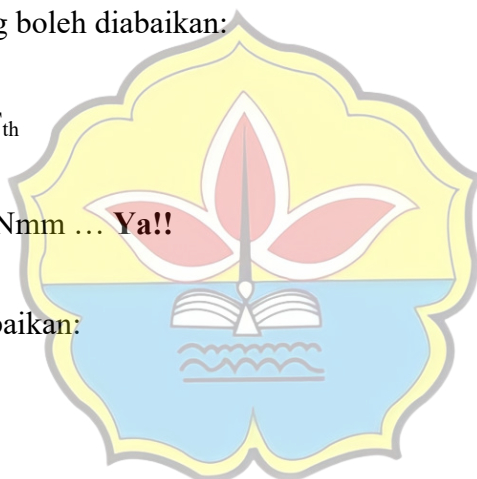
Maka torsi tak dapat diabaikan:

$$\emptyset = 45^\circ$$

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{35,470}{0,75} = 47,294 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= b - (2 \times (cc + \frac{1}{2} \cdot D_s)) \\
 &= 400 - (2 \times (40 + \frac{1}{2} \cdot 13)) \\
 &= 307 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= h - (2 \times (cc + \frac{1}{2} \cdot D_s)) \\
 &= 600 - (2 \times (40 + \frac{1}{2} \cdot 13)) \\
 &= 527 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= X_1 \cdot Y_1 \\
 &= 307 \text{ mm} \times 527 \text{ mm} \\
 &= 161789 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\
 &= 0,85 \cdot 161789 \text{ mm}^2 \\
 &= 137520,65 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 (X_1 + Y_1) \\
 &= 2 (307 + 527) = 1668 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2019 subpasal 22.7.6.1.2 jika struktur non-prategang maka nilai $\emptyset$ ditetapkan 45°.

Hitung kebutuhan tulangan torsi:

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot \emptyset} = \frac{47,294 \times 10^6}{2 \cdot 137520,65 \cdot 420 \cdot 1} = 0,409 \text{ mm}$$

Hitung kebutuhan tulangan geser:

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = 0,17 \cdot 1 \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 480 = 178776,643 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 178776,643 = 134082,482 \text{ N}$$

$$V_n \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{153243,7}{0,75} = 204324,933 \text{ N}$$

$$V_u > 0,5 \phi V_c = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 134082,482$$

$$153243,7 > 67041,24 \dots \text{Butuh tulangan geser!!}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{153243,7}{0,75} - 178776,643 = 25548,291 \text{ N}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s \text{ perlu}}{f_y \cdot d}$$

$$= \frac{25548,291}{420 \cdot 480}$$

$$= 0,127 \text{ mm}$$

Terbesar dari:

$$\frac{A_{vmin}}{s} = 0,062\sqrt{f'c} \frac{b}{f_y} \quad \text{dan} \quad 0,35 \frac{b}{f_y}$$

$$= 0,062\sqrt{30} \frac{400}{420} = 0,323 \quad \text{dan} \quad 0,35 \times \frac{400}{420} = 0,333$$

$$A_{tul} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D13^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2$$

$$= 132,665 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{vmin}}{s} = \frac{A_{tul}}{s}$$

$$0,333 = \frac{132,665}{s}$$

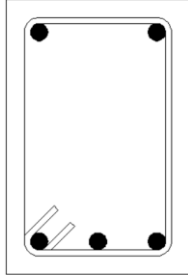
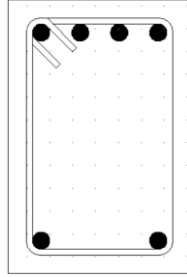
$$s = \frac{132,665}{0,333} = 398,393 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \frac{d}{2} = \frac{480}{2} = 240 \text{ mm}$$

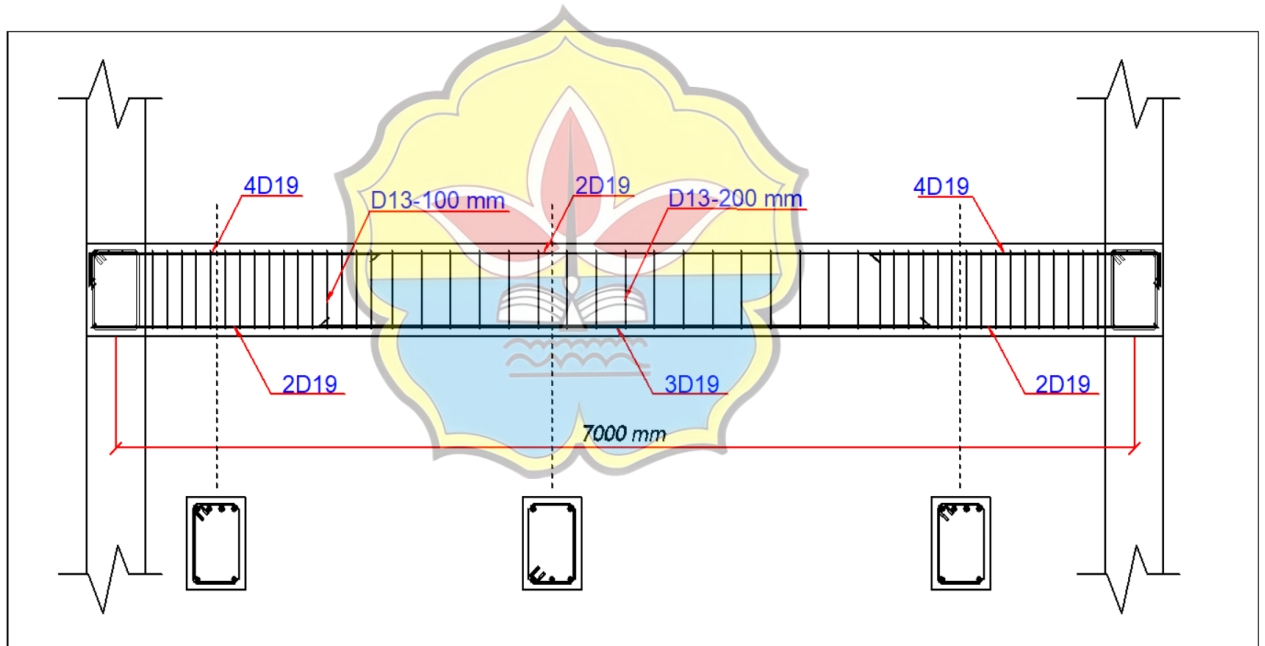
$$s \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan geser D13 – 200 mm

Tabel 4.92 Hasil Perhitungan Kapasitas Momen Lantai 4

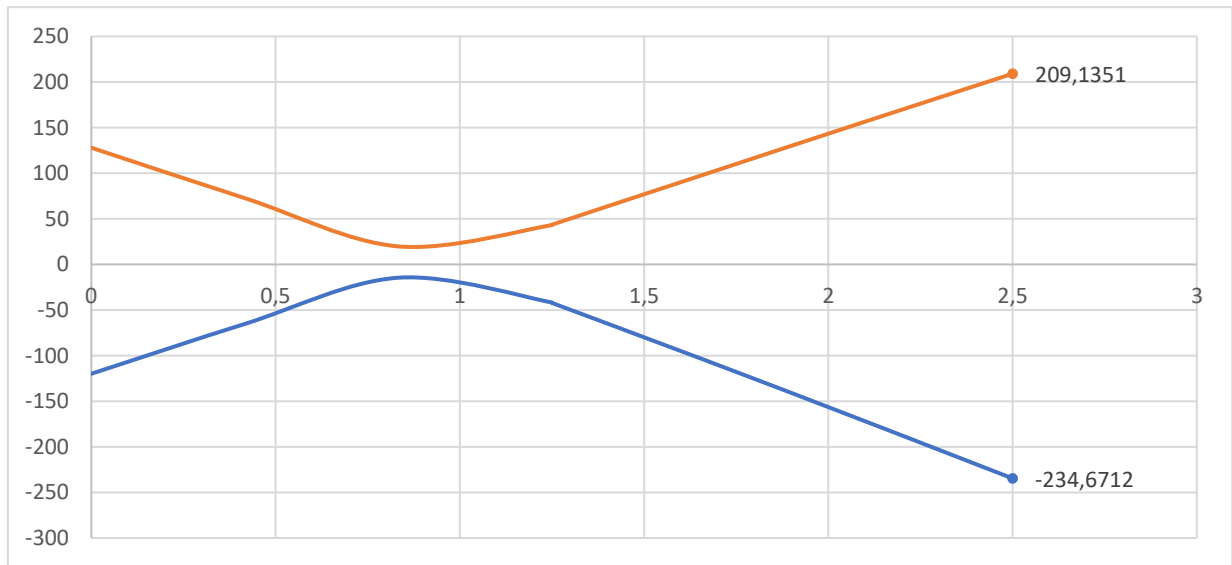
Dimensi Balok	Tulangan	Lapangan	Tumpuan	$\phi M_n > M_u$
400 x 600 mm	Tulangan Atas	2D19	4D19	Terpenuhi
	Tulangan Bawah	3D19	2D19	
	Tulangan Sengkang	D13-200 mm	D13-200 mm	
	Gambar Penulangan			

Sumber: Data Olahan, 2023

**Gambar 4.43 Detail Penampang Balok Lantai 4**

Sumber: Data Olahan, 2022

e) Lantai 5/Atap

Gambar 4.44 Diagram *Envelope Moment*

Sumber: Data Olahan, 2022

- $M_u^+ = 209,135 \text{ kNm}$

- $M_u^- = 234,671 \text{ kNm}$

- Data Perencanaan Balok:

- $b = 400 \text{ mm}$

- $h = 600 \text{ mm}$

- $c_c = 40$

- $f_c' = 30 \text{ MPa}$

- $\epsilon_c = 0,003$

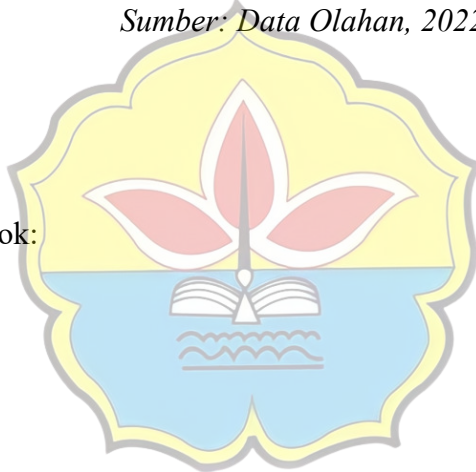
- $\epsilon_y = f_y/E_s$

$$= 420/200.000 = 0,0021$$

- $\beta_1 = 0,84$

- $d = 0,8 \cdot h$

$$= 0,8 \cdot 600 = 480 \text{ mm}$$



- Tulangan Pokok D19

Desain Tulangan Momen Positif

$$M_u = 209,135 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} C_b &= d \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_y} \right) \\ &= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right) \\ &= 282,535 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_b &= \beta_1 \cdot c_b \\ &= 0,84 \cdot 282,535 \\ &= 237,176 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{\max} &= 0,75 \cdot a_b \\ &= 0,75 \cdot 237,176 \\ &= 177,882 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{nbal} &= \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot (d - \frac{a_{\max}}{2})) \\ &= 0,9 (0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 (480 - \frac{177,882}{2})) \\ &= 638583416,471 \text{ Nmm} = 638,583 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_u < \phi M_{nbal}$$

209,135 kNm < 638,583 kNm ... **Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)**

$$\begin{aligned} R_u &= \frac{M_u}{\phi_b \cdot d^2} \\ &= \frac{209,135 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2} = 2,521 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \cdot f_y}{f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,030$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,030 \\ &= 0,023 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_{c'}}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot f_{c'}}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,521}{0,85 \cdot 30}} \right) = 0,006 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_{c'}}}{f_y} \\ &= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,006 \geq \rho_{\min} = 0,003 \dots \text{(Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,006 \leq \rho_{\max} = 0,023 \dots \text{(Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,006$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,006 \cdot 400 \cdot 480 \\ &= 1152 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan pokok D19:

$$\begin{aligned} A_{\text{tulangan}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 \\ &= 283,385 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= \frac{A_s}{A_{\text{Tulangan}}} \\ &= \frac{1152}{283,385} \\ &= 4,065 \approx 4 \end{aligned}$$

Tulangan lapangan yang dipakai adalah 4D19 ($A_s = 1133,540 \text{ mm}^2$)

Desain Tulangan Momen Negatif

$$M_u = 234,671 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} C_b &= d \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_y} \right) \\ &= 480 \cdot \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \right) = 282,535 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_b &= \beta_1 \cdot c_b \\ &= 0,84 \cdot 282,535 \\ &= 237,176 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{\max} &= 0,75 \cdot a_b \\ &= 0,75 \cdot 237,176 \\ &= 177,882 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{nbal} &= \phi (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_{\max} \cdot (d - \frac{a_{\max}}{2})) \\ &= 0,9 (0,85 \cdot 30 \cdot 400 \cdot 177,882 (480 - \frac{177,882}{2})) \\ &= 638583416,471 \text{ Nmm} = 638,583 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_u < \phi M_{nbal}$$

$234,671 \text{ kNm} < 638,583 \text{ kNm} \dots \text{Ya!! (Bertulangan Tarik Saja)}$

$$\begin{aligned} R_u &= \frac{M_u}{\phi_b \cdot d^2} \\ &= \frac{234,671 \times 10^6}{0,9 \cdot 400 \cdot 480^2} \\ &= 2,829 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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

$$= \left(\frac{0,85 \cdot 30}{420} \right) \cdot 0,84 \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) = 0,030$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,030 \\ &= 0,023 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \cdot f_{c'}}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_u}{0,85 \cdot f_{c'}}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2,829}{0,85 \cdot 30}} \right) = 0,007 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau} \quad \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_{c'}}}{f_y} \\ &= 0,003 \quad \text{atau} \quad 0,003 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,007 \geq \rho_{\min} = 0,003 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,007 \leq \rho_{\max} = 0,023 \dots \textbf{(Terpenuhi)}$$

maka, ρ yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,007$

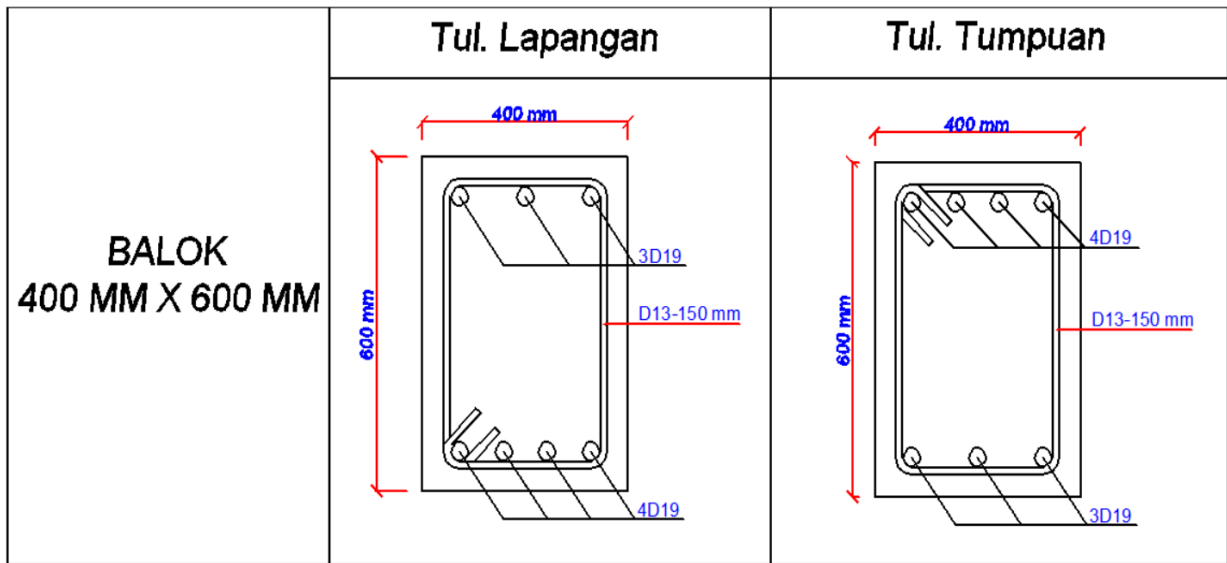
$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,006 \cdot 400 \cdot 480 \\ &= 1344 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan pokok D19:

$$\begin{aligned} A_{\text{tulangan}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 \\ &= 283,385 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= \frac{A_s}{A_{\text{Tulangan}}} \\ &= \frac{1344}{283,385} = 4,743 \approx 4 \end{aligned}$$

Tulangan tumpuan yang dipakai adalah 4D19 ($A_s = 1113,54 \text{ mm}^2$)



Gambar 4.45 Penulangan Balok Lantai 5

Sumber: Data Olahan, 2022

Desain Tulangan Torsi dan Tulangan Geser

$$T_u = 12,567 \text{ kNm}$$

$$V_u = 157,796 \text{ kN}$$

$$d = 480 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\lambda = 1$$

$$A_{cp} = b \cdot h$$

$$= 400 \text{ mm} \cdot 600 \text{ mm}$$

$$= 240000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \cdot (b + h)$$

$$= 2 \cdot (400 + 600) = 2000 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}
 T_{th} &= 0,083 \sqrt{f'c'} \frac{Acp^2}{Pcp} \\
 &= 0,083 \sqrt{30} \left(\frac{240000^2}{2000} \right) \\
 &= 13092760,01 \text{ Nmm} \\
 \phi T_{th} &= 0,75(13092760,01) \\
 &= 9819570,011 \text{ Nmm} \\
 &= 9,820 \text{ kNmm}
 \end{aligned}$$

Hitung besaran torsi yang boleh diabaikan:

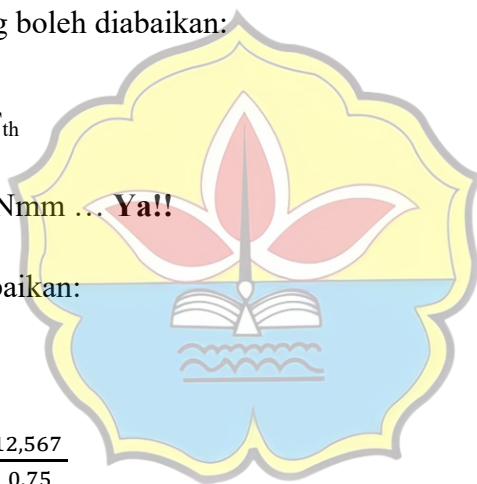
$$\begin{aligned}
 T_u &> \phi T_{th} \\
 12,567 \text{ kNm} &> 9,820 \text{ kNmm} \dots \text{Ya!!}
 \end{aligned}$$

Maka torsi tak dapat diabaikan:

$$\begin{aligned}
 \emptyset &= 45^\circ \\
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} = \frac{12,567}{0,75} \\
 &= 16,756 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= b - (2 \times (cc + \frac{1}{2} \cdot Ds)) \\
 &= 400 - (2 \times (40 + \frac{1}{2} \cdot 13)) \\
 &= 307 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= h - (2 \times (cc + \frac{1}{2} \cdot Ds)) \\
 &= 600 - (2 \times (40 + \frac{1}{2} \cdot 13)) \\
 &= 527 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= X_1 \cdot Y_1 \\
 &= 307 \text{ mm} \times 527 \text{ mm} \\
 &= 161789 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,85 \cdot A_{oh} \\
 &= 0,85 \cdot 161789 \text{ mm}^2 \\
 &= 137520,65 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 (X_1 + Y_1) \\
 &= 2 (307 + 527) \\
 &= 1668 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2019 subpasal 22.7.6.1.2 jika struktur non-prategang maka nilai θ ditetapkan 45° .

Hitung kebutuhan tulangan torsi:

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta} \\
 &= \frac{16,756 \times 10^6}{2 \cdot 137520,65 \cdot 420 \cdot 1} = 0,145 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hitung kebutuhan tulangan geser:

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = 0,17 \cdot 1 \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 480 = 178776,643 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 178776,643 = 134082,482 \text{ N}$$

$$V_n \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{157796}{0,75} = 210394,667 \text{ N}$$

$$V_u > 0,5 \phi V_c = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 134082,482$$

$$157796 > 67041,24 \dots \text{ Butuh tulangan geser!!}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{157796}{0,75} - 178776,643 = 31618,024 \text{ N}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s \text{ perlu}}{f_y \cdot d} = \frac{31618,024}{420 \cdot 480} = 0,157 \text{ mm}$$

Terbesar dari:

$$\begin{aligned} \frac{A_{vmin}}{s} &= 0,062 \sqrt{f'c'} \frac{b}{f_y} & \text{dan} & \quad 0,35 \frac{b}{f_y} \\ &= 0,062 \sqrt{30} \frac{400}{420} = 0,323 & \text{dan} & \quad 0,35 \times \frac{400}{420} = 0,333 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{tul} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \\ &= 132,665 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

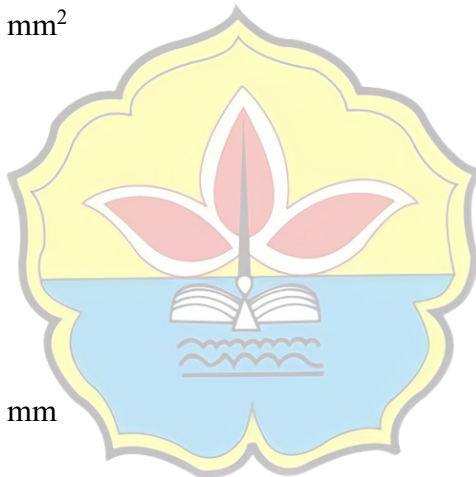
$$\begin{aligned} \frac{A_{vmin}}{s} &= \frac{A_{tul}}{s} \\ 0,333 &= \frac{132,665}{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{132,665}{0,333} \\ &= 398,393 \text{ mm} \end{aligned}$$

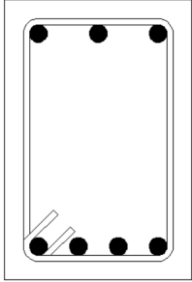
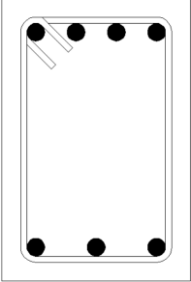
$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{d}{2} = \frac{480}{2} \\ &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

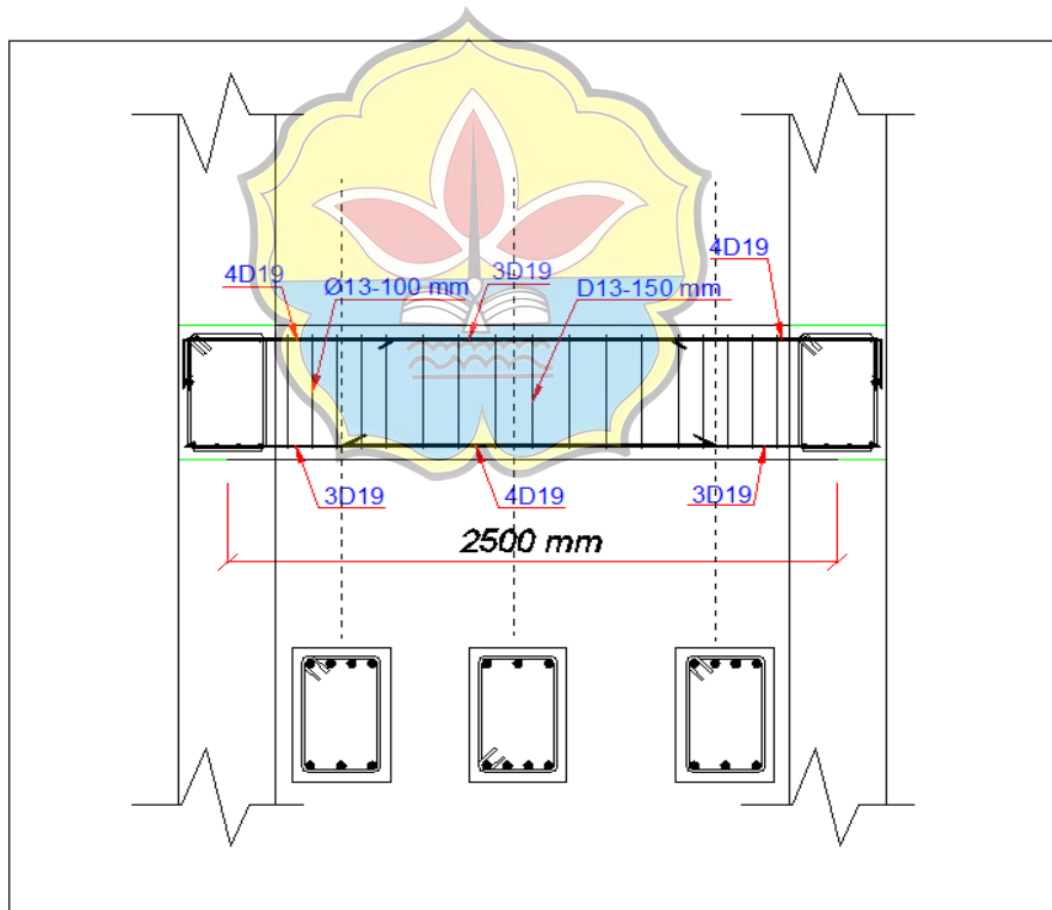
Digunakan tulangan geser D13 – 150 mm



Tabel 4.93 Hasil Perhitungan Kapasitas Momen Lantai 5

Dimensi Balok	Tulangan	Lapangan	Tumpuan	$\phi M_n > M_u$
400 x 600 mm	Tulangan Atas	3D19	4D19	Terpenuhi
	Tulangan Bawah	4D19	3D19	
	Tulangan Sengkang	D13-150 mm	D13-150 mm	
	Gambar Penulangan			

Sumber: Data Olahan, 2023

**Gambar 4.46 Detail Penampang Balok Lantai 5/Atap**

Sumber: Data Olahan, 2022

3. Penulangan Kolom

Data – data kolom sebagai berikut:

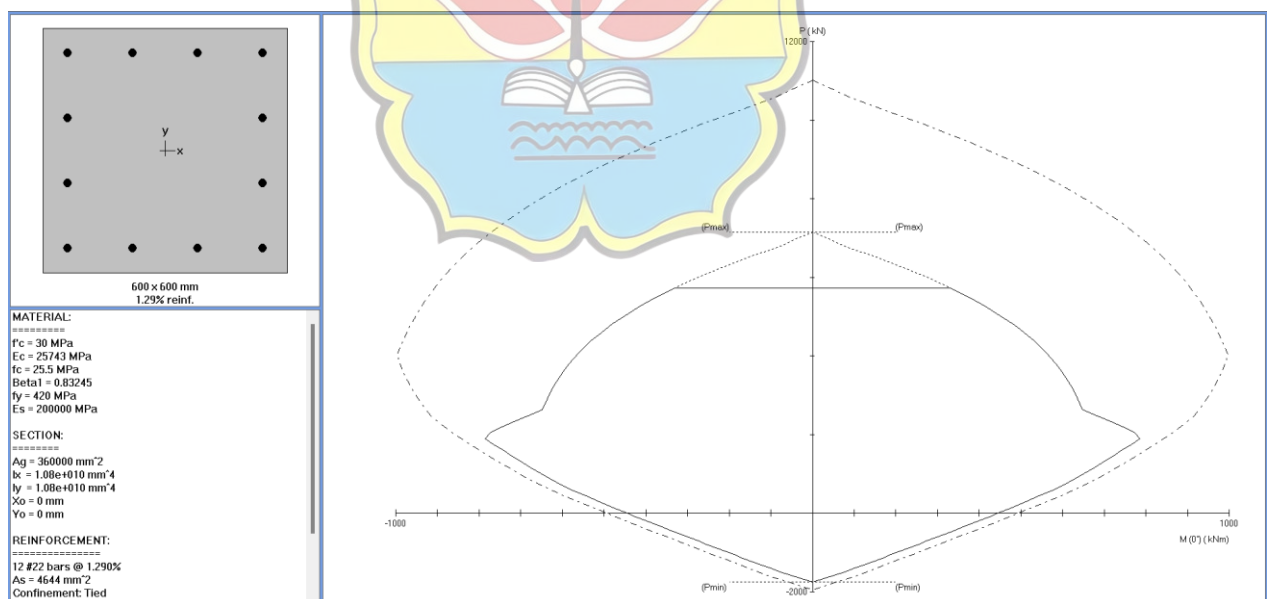
- $L = 4300 \text{ mm}$ $h = 600 \text{ mm}$
- $b = 600 \text{ mm}$ $cc = 40 \text{ mm}$

Dari program aplikasi ETABS didapatkan beban axial, momen dan geser yang paling terbesar:

- $P_u = 161,332 \text{ kN}$ - $V_u = 269,1951 \text{ kN}$
- $M_u = 329,204 \text{ kN}$

1. Perhitungan Tulangan

Perencanaan kolom menggunakan bantuan aplikasi *software SpColumn*. Dengan memasukkan data – data di atas dan ukuran rencana pada kolom dengan dimensi $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$. Maka hasil yang didapat adalah seperti gambar berikut.



Gambar 4.47 Hasil *SpColumn* Diagram Iteraksi Kolom

Sumber: Data Olahan, 2022

Dapat dilihat dari hasil perhitungan dimensi kolom diatas adalah $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ dengan tulangan 12 D22 dengan rasio 1,29%.

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities

No	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		
1	-161.33	63.79	188.25	132.50	391.01	2.077	151	645	0.00999	0.900
2	2267.88	1.34	-2.23	295.72	-493.80	221.119	421	746	0.00232	0.669
3	30.52	329.20	111.50	429.65	145.53	1.305	166	650	0.00891	0.900
4	1538.52	-325.45	-85.72	-646.39	-170.25	1.986	280	668	0.00420	0.831
5	36.23	92.84	315.36	128.35	435.99	1.383	157	638	0.00928	0.900
6	973.29	6.77	-327.38	13.28	-642.48	1.963	150	549	0.00811	0.900

Gambar 4.48 Hasil Input Beban pada SpColumn*Sumber: Data Olahan, 2022*

Dari tabel diatas diperoleh nilai:

- Mux = 329,20 kNm
- ϕM_{nx} = 429,65 kNm
- As Perlu = 4644 mm²

Dipakai tulangan D22

$$A.Tul = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 22^2 = 380 \text{ mm}^2$$

$$N = \frac{As \text{ perlu}}{A.Tul} = \frac{4644}{380} = 12,221 \approx 12 \text{ buah}$$

Tulangan yang dipakai pada kolom adalah 12D22 (As = 4652 mm²)

2. Tulangan Geser

$$V_u = 269,1951 \text{ kN} = 269195 \text{ N}$$

$$\emptyset = 0,75$$

$$\begin{aligned} d &= h - cc - ds - D/2 \\ &= 600 - 40 - 13 - 22/2 \\ &= 536 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'} \cdot b \cdot d \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 600 \cdot 536 = 299450,877 \text{ N} = 299,451 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_u > \phi V_c$$

$$273006 \text{ N} > 0,75 \cdot 299450,877 \text{ N} = 224588,158 \text{ N} \dots \text{Ya!!}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{269195}{0,75} - 299450,877$$

$$= 59475,790 \text{ N} = 59,476 \text{ kN}$$

Pada perhitungan tulangan geser ini, dicoba menggunakan sengkang D13.

$$A_v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot 2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 13^2 \cdot 2 = 265,330 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{265,330 \cdot 420 \cdot 536}{64557,123} = 925,244 \text{ mm}$$

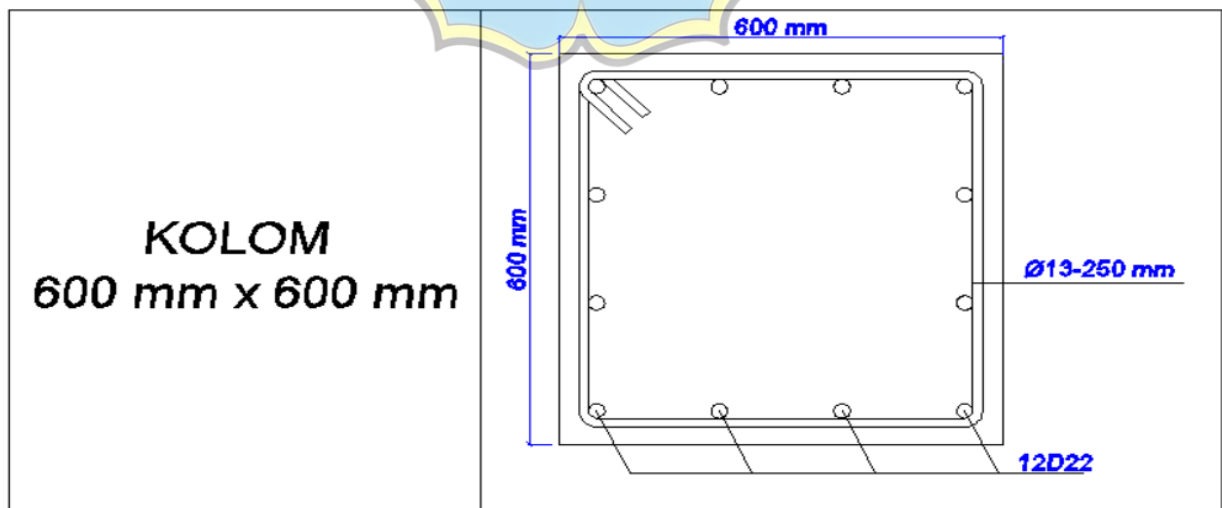
$$V_s < 0,33 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

$$64557,123 \text{ N} < 0,33 \cdot \sqrt{30} \cdot 600 \cdot 536 = 581286,996 \text{ N} \dots \text{Ya!!}$$

Maka s maks adalah nilai terkecil d/2 atau 600 mm

$$d/2 = \frac{536}{2} = 268 \text{ mm}$$

S maks adalah 268 mm dan S yang digunakan adalah 250 mm.



Gambar 4.49 Detail Penampang Kolom

Sumber: Data Olahan, 2022

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat dirangkum berdasarkan hasil analisa perencanaan sebagai berikut:

1. Pada perhitungan beban struktur yang dilakukan secara manual dan menggunakan *ETABS* hasilnya tidak jauh berbeda, dapat dilihat pada persentase perbandingannya tidak melebihi 5%.
2. Simpangan antar lantai (*drift*) dan P-Delta tidak melebihi batas limit yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan, struktur bangunan terbilang kaku dan aman.
3. Berdasarkan hasil analisis MPMR yang dilakukan, dengan jumlah 40 ragam didapatkan pada arah X dan Y telah mencapai 99% dan arah pergerakan pada mode 1 yaitu translasi.
4. Pada gedung struktur yang diteliti terdapat ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal yang telah sesuai dengan penerapan kategori desain seismik D.
5. Sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan, berikut rekapitulasi dimensi elemen struktur yang didapat:
 - Balok induk : 400 mm × 600 mm;
 - Balok anak : 350 mm × 500 mm;
 - Kolom : 600 mm × 600 mm.
6. Pelat terdiri dari pelat lantai dan pelat atap. Tebal pada plat tersebut sama yaitu 100 mm dan merupakan pelat 2 arah.
7. Rekapitulasi penulangan pada masing-masing elemen struktur:
 - Pelat lantai 1 menggunakan tulangan pokok Ø12-160 mm dan tulangan susut Ø10- 350 mm;
 - Pelat lantai 2 menggunakan tulangan pokok Ø12 – 200 dan tulangan susut Ø10 – 300;

- Pelat lantai 3 dan 4 sama yaitu menggunakan tulangan pokok $\varnothing 12$ - 180 dan tulangan susut $\varnothing 10$ - 300;
- Balok Lantai 1 menggunakan tulangan lapangan dan tulangan tumpuan sama yaitu 3D19 dan tulangan geser D10-200 mm;
- Balok Lantai 2 menggunakan tulangan lapangan 3D19 dan tulangan tumpuan yaitu 4D19 dan tulangan geser D10-200 mm;
- Balok Lantai 3 menggunakan tulangan lapangan 3D19 dan tulangan tumpuan yaitu 3D19 dan tulangan geser D10-200 mm;
- Balok Lantai 4 menggunakan tulangan lapangan 4D19 dan tulangan tumpuan yaitu 3D19 dan tulangan geser D10-200 mm;
- Balok Lantai 5/Atap menggunakan tulangan lapangan 4D19 dan tulangan tumpuan yaitu 4D19 dan tulangan geser D10-150 mm;
- Kolom menggunakan tulangan pokok 12D22 dan tulangan geser $\varnothing 13$ -250 mm.

5.2 Saran

Berikut beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan aplikasi berbeda seperti SAP 2000.
2. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan perhitungan yang lebih beragam seperti perhitungan pondasi, tangga, rangka atap dan sebagainya.
3. Dalam perhitungan yang menggunakan *software* sebaiknya dilakukan beberapa kali *cross check* untuk mengurangi kesalahan yang dapat terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, Ali, 2010. *Balok dan Beton Bertulang (Edisi I)*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- Asroni, Ali, 2010. *Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang (Edisi I)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). Penetapan Standar Nasional Indonesia 1727 : 2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur. *Badan Standarisasi Nasional 1727:2020*, 8, 1–336.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). Baja Tulangan Beton. *Badan Standarisasi Nasional*, 15.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG)*. Direktorat Yayasan Penerbit PU, 1987.
- Liando, F. J., Dapas, S. O., & Wallah, S.E. (2020). Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Kuliah 5 Lantai. *Jurnal Sipil Statik*, 8(4), 471-482. <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/29894>
- Nasional, B. S. (2019). *Standar Nasional Indonesia 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. 8, 653–659.
- Oza Pubawa, R., Ridwan, A., & Cahyo, Y. (2013). Perencanaan Struktur Atas Asrama Putri Di Universitas Kediri. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 1(2), 182 – 191. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.vli2.376>

Pamungkas, A, dan Erny Harianti. *Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Yogyakarta: Andi.

Pamungkas, A. 2021. *Contoh Laporan Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Sistem rangka Pemikul Momen Khusus (SRMPK) Sesuai SNI 1727:2020, SNI-1726:2019, SNI-2847:2019*. Yogyakarta: CV. Budi Utama.

Setiawan, Erik., D. Mungok, Krisna dan Setia Budi, Gatot. “Studi Penggunaan Balok Anak Pada Struktur Pelat Beton Bertulang”.

Umay, R., & Supriyadi, A. (2019). PERHITUNGAN STRUKTUR GEDUNG 8 LANTAI UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONTIANAK
Abstrak. *Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*.





REKAP PENILAIAN SIDANG UJIAN TUGAS AKHIR
PRODI TEKNIK SIPIL

FORM 7
Prodi Teknik
Sipil

UJIAN TUGAS AKHIR MAHASISWA TEKNIK SIPIL

NAMA : Ibnu Abi Hurairah

NPM : 1700822201087

TARI/TGL : Jum'at/17 Maret 2023

WAKTU : 14.00 s/ selesai

JUDUL TA : Kajian Struktur Bangunan Atas Gedung Perkuliahan

PENGUJI DAN PENILAIAN			Keterangan	
			Bukti Dokumen	
No.	Nama Dosen Penguji	Jabatan	Nilai	Tanda Tangan
1.	Dr.Ir.H.Amsori M.Das, M.Eng	Ketua Sidang	80	
2.	Ria Zulfiati, ST, MT	Sekretaris Sidang	80	
3.	Dr.Ir.H. Fakhru Rozi Yamali, ME	Penguji I	80	
4.	Ir. Wari dony, ST, MT	Penguji II	80	
5.	Suhendra, ST, MT	Penguji III	80	
		Jumlah	400	
		Nilai rata-rata	80	

1. Nilai rata-rata Ujian Proposal = 80 (A) Nilai diisi Prodi sebelum sidang dimulai.
2. Nilai rata-rata Ujian TA = 80 (A)
3. Nilai akhir sidang Sarjana = $(\text{Nilai rata}^2 \text{ sidang Sarjana}) \times 70\% + (\text{Nilai rata}^2 \text{ Seminar Proposal}) \times 30\%$
 $= (\text{.....} \underline{56} \text{.....}) + (\text{.....} \underline{24} \text{.....}) = \underline{80} (\underline{A})$ (Nilai Ujian Sidang)
4. Dinyatakan : * (~~Lulus~~ / ~~Tidak Lulus~~ / ~~Lulus Bersyarat~~) dengan judul sesuaikan dengan Berita Acara Seminar Proposal TA.

Diketahui,
Ka.Prodi Teknik Sipil

Elvira Handayani, ST., MT.

Jambi, Kamis/16 Maret 2023
Ketua Sidang,

Dr.Ir.H.Amsori M.Das, M.Eng

Note : * (coret yang tidak perlu



YAYASAN PENDIDIKAN JAMBI

UNIVERSITAS BATANGHARI

Kampus Jl. Slamet Riyadi, Broni, Jambi

Telp/Faks 0741-60673

"LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR"

Nama : Ibnu Abi Hurairah
NPM : 1700822201087
Judul : Kajian Struktur Bangunan Atas Gedung Perkuliahan Fakultas
Peternakan Universitas Jambi
Dosen Pembimbing I : Suhendra, S.T, M.T
Dosen Pembimbing II : Ria Zulfiati, S.T, M.T

No.	Tanggal	Uraian/Instruksi	Paraf
		- judul TA yg benar, apa? - Perbaiki Daftar Isi - revisi: skripsi nomor unit - Perbaiki ~~daftar~~ halaman 2 yg ditanda (Siliput ujungnya) & yg terdapat di dalam	
		Mana Benar Atam Capta Perbaiki surat Ujian!	
		Perbaiki skripsi Berkas ke DP 2 Berkas skripsi!	

Dosen Pembimbing I

Jambi,

2024

Dosen Pembimbing II

Suhendra, S.T, M.T

Ria Zulfiati, S.T, M.T



YAYASAN PENDIDIKAN JAMBI

UNIVERSITAS BATANGHARI

Kampus Jl. Slamet Riyadi, Broni, Jambi

Telp/Faks 0741-60673

"LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR"

Nama : Ibnu Abi Hurairah
NPM : 1700822201087
Judul : Kajian Struktur Bangunan Atas Gedung Perkuliahan Fakultas
Peternakan Universitas Jambi
Dosen Pembimbing I : Suhendra, S.T, M.T
Dosen Pembimbing II : Ria Zulfiati, S.T, M.T

No.	Tanggal	Uraian/Instruksi	Paraf
		Centangkan kehidul belakang ga yg akan pda bagian ke di penutup !	
		Perbaiki jilid	

Dosen Pembimbing I


Suhendra, S.T, M.T

Jambi, 2024
Dosen Pembimbing II


Ria Zulfiati, S.T, M.T



YAYASAN PENDIDIKAN JAMBI

UNIVERSITAS BATANGHARI

Kampus Jl. Slamet Riyadi, Broni, Jambi

Telp/Faks 0741-60673

"LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR"

Nama : Ibnu Abi Hurairah
NPM : 1700822201087
Judul : Kajian Struktur Bangunan Atas Gedung Perkuliahan
Dosen Pembimbing I : Suhendra, S.T, M.T
Dosen Pembimbing II : Ria Zulfiati, S.T, M.T

No.	Tanggal	Uraian/Instruksi	Paraf
	9.3.22	Revisi proposal alori lengkapi TΔ	
	16.6.22	- perbaiki skema plat an - kaji & kaji gambar - skema gambar & kaji revisi	
	15.7.22	- Masukkan jenis beton & kawat Pembesian yg akan dibuat di Bab III. - kaji & kaji input & output - lanjutkan!	
	2.8.22	ak. but buat struktur - mode 1 apa boleh buat Ux / Uy yg dimana? → kaji & kaji	
	3.8.22	ak. pembesian.	

Dosen Pembimbing I

Suhendra, S.T, M.T

Jambi,

2022

Dosen Pembimbing II

Ria Zulfiati, S.T, M.T



YAYASAN PENDIDIKAN JAMBI

UNIVERSITAS BATANGHARI

Kampus Jl. Slamet Riyadi, Broni, Jambi

Telp/Faks 0741-60673

"LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR"

Nama : Ibnu Abi Hurairah
NPM : 1700822201087
Judul : Kajian Struktur Bangunan Atas Gedung Perkuliahan
Dosen Pembimbing I : Suhendra, S.T, M.T
Dosen Pembimbing II : Ria Zulfiati, S.T, M.T

No.	Tanggal	Uraian/Instruksi	Paraf
	10.10.22	- perbaiki sesuai arahan - lanjutkan ke DP 2	
	8-11-2022	- Perbaiki sesuai arahan - lanjutkan	
	10-11-2022	- Perbaiki dan penyusunan laporan penelitian TA selesai → DP 2 - lanjutkan konsultasi ke DP I	
	15.2.23	Selesai, dan lanjutkan	

Dosen Pembimbing I

Suhendra, S.T, M.T

Jambi,

2022

Dosen Pembimbing II

Ria Zulfiati, S.T, M.T



Universitas Batanghari

FAKULTAS TEKNIK

Jalan Letkol Slamet Riyadi Broni - Jambi 36122 Telp./Fax. (0741) 668280 Website www.unbari.ac.id

SURAT KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI JAMBI
NOMOR : 040 TAHUN 2023
TENTANG
PERPANJANGAN TERAKHIR
PENUNJUKKAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR
MAHASISWA PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM STRATA SATU (S-1)
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI

DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI :

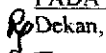
Usulan Ketua Program Studi Teknik Sipil Tentang Dosen Pembimbing Tugas Akhir

- Bahwa untuk melengkapi syarat-syarat yang diperlukan guna menyelesaikan studi Strata Satu (S-1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Unbari perlu diselenggarakan Tugas Akhir Mahasiswa
 - Bahwa mahasiswa yang namanya tercantum pada lampiran keputusan ini telah memenuhi syarat dan berhak untuk melaksanakan Tugas Akhir
 - Bahwa Staf Pengajar yang namanya tercantum pada lampiran keputusan ini dianggap mampu dan memenuhi syarat untuk ditunjuk sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Batanghari
 - Bahwa untuk pelaksanaan Tugas Akhir Mahasiswa dimaksud perlu dibuat Keputusan Dekan
- Undang Undang Nomor 12 Tahun 2012 Tentang Pendidikan Nasional
 - Undang Undang Nomor 14 Tahun 2005 Tentang Guru dan Dosen
 - Peraturan Pemerintah Nomor 04 Tahun 2014 Tentang Pendidikan Tinggi
 - Peraturan Akademik Universitas Batanghari Tahun 2018
 - Surat Keputusan Rektor Nomor 27 Tahun 2022 tentang Perpanjangan masa Tugas Pejabat pada Jabatan Wakil Rektor I, Dekan, Kepala Unit Kerja di Lingkungan Universitas Batanghari

MEMUTUSKAN

- Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Program Strata Satu (S-1) yang nama dan NPM nya tercantum pada kolom (2) untuk melaksanakan Tugas Akhir dengan Judul seperti pada kolom (3) Lampiran Keputusan ini dan berhak untuk mendapat bimbingan Tugas Akhir.
- Menunjuk Staf Pengajar yang namanya tercantum pada kolom (4) menjadi Dosen Pembimbing I dan kolom (5) menjadi Dosen Pembimbing II mahasiswa dalam melaksanakan Tugas Akhir.
- Dosen Pembimbing bertugas memberi petunjuk dan arahan kepada mahasiswa dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
- Dosen pembimbing bertanggung jawab kepada Dekan melalui Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Unbari.
- Program Studi agar menyelenggarakan seminar proposal Tugas Akhir bersangkutan agar judul, tujuan, ruang lingkup, dan metode penelitian Tugas Akhir mahasiswa benar dari kaidah-kaidah ilmiah.
- Masa berlaku Surat Keputusan ini adalah 6 (enam) bulan dan setelahnya dapat diperpanjang maksimal dua (2) kali atau diganti dengan pembimbing lain.
- Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dan apabila dikemudian hari terdapat kekeliruan akan diadakan perbaikan sebagaimana mestinya.

DITETAPKAN DI : JAMBI
PADA TANGGAL : 24 FEBRUARI 2023

Rektor,


Dr. Ir. H. Fakhru Rozi Yamali, ME

Salinan kepada :-
Universitas Batanghari
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Unbari
Pembimbing yang bersangkutan
Yang bersangkutan

LAMPIRAN : SK DEKAN NOMOR : 040 TAHUN 2023 TENTANG PERPANJANGAN TERAKHIR PENUNJUKKAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR MAHASISWA PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM STRATA SATU (S-1) FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI

NO	NAMA NPM	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING I	DOSEN PEMBIMBING II
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1.	IBNU ABI HURAIRAH 1700822201087	"KAJIAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS GEDUNG PERKULIAHAN FAKULTAS PETERNAKAN UNIVERSITAS JAMBI"	SUHENDRA, ST, MT	RIA ZULFIATI, ST, MT

DITETAPKAN DI JAMBI
PADA TANGGAL 24 FEBRUARI 2023
Dekan.



Dr. Ir. H. Fakhrul Rozi Yanali, ME



Universitas Batanghari
FAKULTAS TEKNIK
BIDANG PEMERIKSAAN PLAGIASI

Jalan Letkol Slamet Riyadi Broni - Jambi 36122 Telp./Fax. (0741) 668280 Website www.unbari.ac.id

SURAT HASIL CEK SIMILARITY

Yang bertanda tangan di bawah ini Ketua Bidang Pemeriksaan Plagiat Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi, Dengan ini menerangkan hasil cek Similarity Tugas Akhir Mahasiswa.

: **IBNU ABI HURAIRAH**

: 1700822201087

Studi

: Teknik Sipil

as

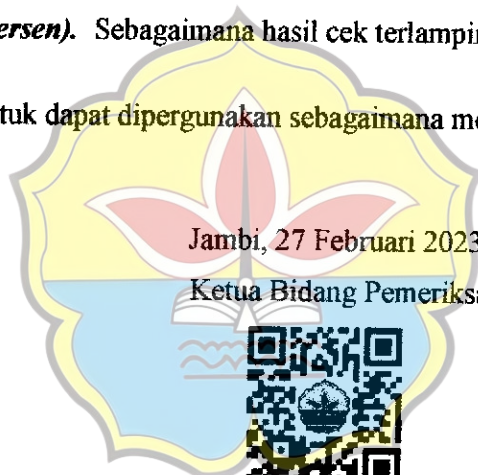
: Teknik

Setelah dilakukan pengecekan *similarity by turnitin* maka diperoleh hasil akhir yang didapatkan mencapai **37% (Tiga Puluh Tujuh Persen)**. Sebagaimana hasil cek terlampir.

Demikian, surat keterangan ini diberikan untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

for Turnitin,

riyono, S. Kom



Jambi, 27 Februari 2023

Ketua Bidang Pemeriksaan,

Hj. Venny Yusiana, ST, M. Kom

[illegible]

1 - 150

ARSITEKTUR

DI SETUJUL OLEH

PEJABAT PEMBUAT KOMITMEN (PPK)
PEL UNIVERSITAS JAMBI

M. M. S. P. I. S. E.

NIP. 1970100501121001

121 PIRKES.A.01.01

TIM TEKNIS

FRANSISCA OF. SUTUMURANG, S.T.
NIP. 1985050501121001

KEGIATAN

PEMBUATAN DED
GEDUNG PERKULIAHAN
FAKULTAS PETERNAHAN
UNIVERSITAS JAMBI
TAHUN ANGGARAN 2020

LOKASI

KAMPUS UNIVERSITAS JAMBI - MENDALO

KONSULTAN PERENCANA

CV. ENWISA KONSULTAN

Desain

Desain

Desain

Desain

Desain

Desain

Desain

Desain

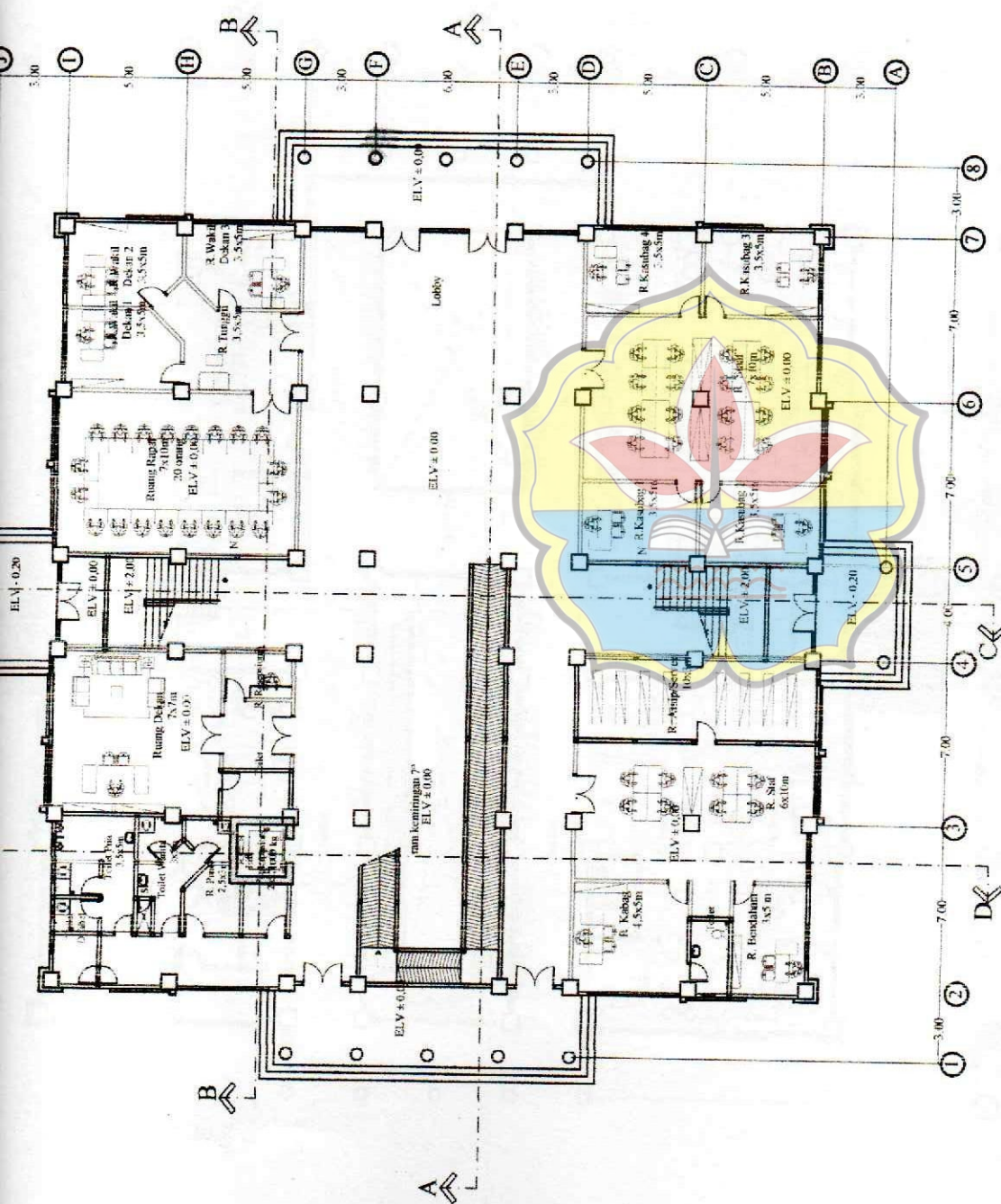
DENAH LANTAI 1

Skala

1 : 200

A3

07 150
MET. COURT - 2020



ARHITEKTUR

DI BERTUTUL OLAKA
PEJABAT PEMBIAI, KONTRAKTOR (PPK)
PBI UNIVERSITAS JAMBI

M. HAPIS, S.E.
NIP.197910062001121001
DI PERALISA OLAKA
TM TENNIS

FRANSISKO P. SITUMIRANG, S.T.
NIP.1980040210011005
KORLATAN

PEMBUATAN DED
GEDUNG PERKULIAHAN
FAKULTAS PETERNAHAN
UNIVERSITAS JAMBI
TAHUN ANGGARAN 2020

LOKASI
KAMPUS UNIVERSITAS JAMBI - MENDALO
KORLATAN PERENCANA

CV. ELMWSA KONSULTAN

PROJEKSI

PROJEKSI

PROJEKSI

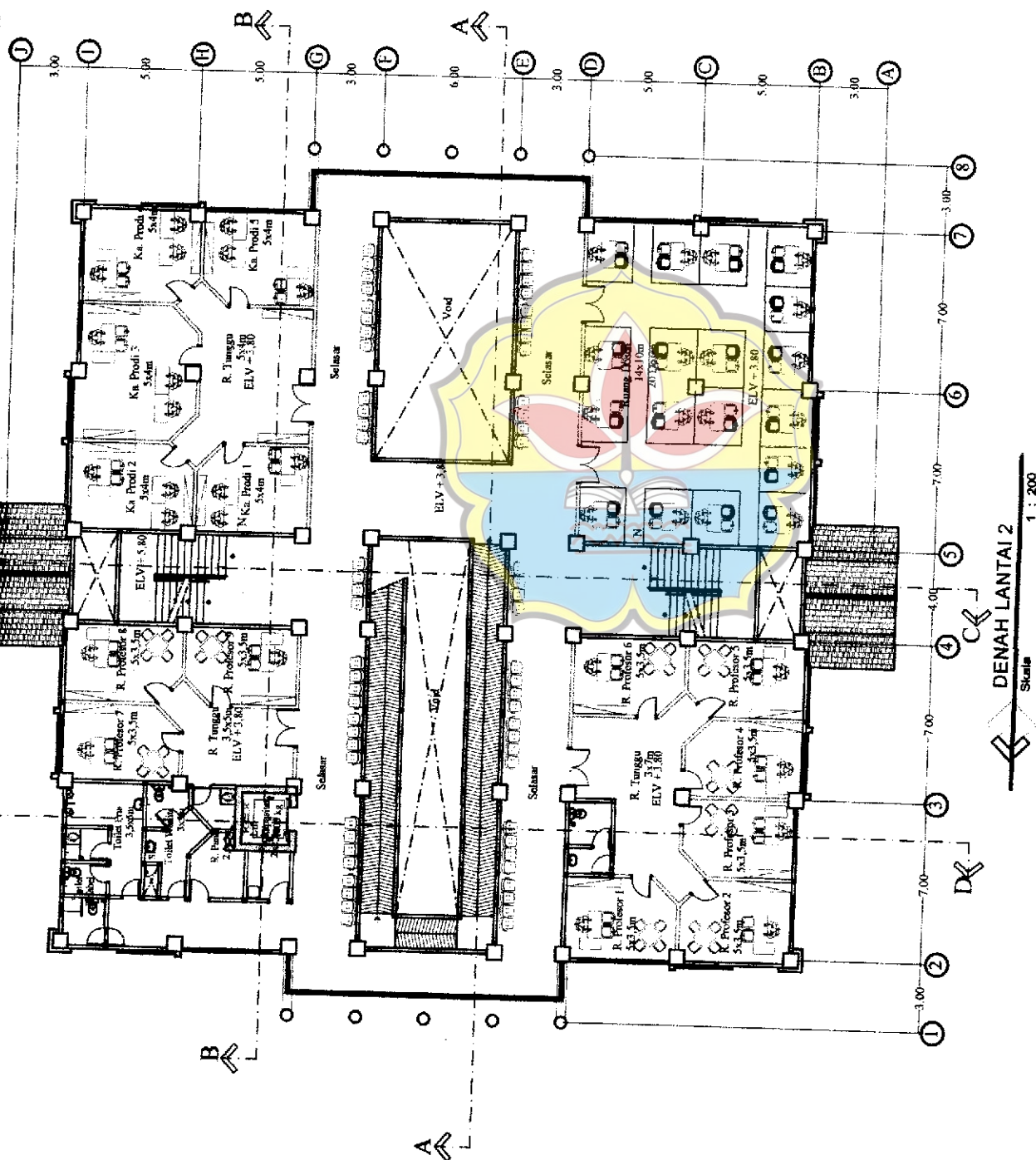
PROJEKSI

PROJEKSI

PROJEKSI

PROJEKSI

REVISI	NO	REVISI	NO
1	01	2	02
3	03	4	04
5	05	6	06
7	07	8	08
9	09	10	10
11	11	12	12
13	13	14	14
15	15	16	16
17	17	18	18
19	19	20	20
21	21	22	22
23	23	24	24
25	25	26	26
27	27	28	28
29	29	30	30
31	31	32	32
33	33	34	34
35	35	36	36
37	37	38	38
39	39	40	40
41	41	42	42
43	43	44	44
45	45	46	46
47	47	48	48
49	49	50	50
51	51	52	52
53	53	54	54
55	55	56	56
57	57	58	58
59	59	60	60
61	61	62	62
63	63	64	64
65	65	66	66
67	67	68	68
69	69	70	70
71	71	72	72
73	73	74	74
75	75	76	76
77	77	78	78
79	79	80	80
81	81	82	82
83	83	84	84
85	85	86	86
87	87	88	88
89	89	90	90
91	91	92	92
93	93	94	94
95	95	96	96
97	97	98	98
99	99	100	100



Scale 1 : 200

DENAH LANTAI 2

2018/04/04

masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

bel 3 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
bangunan dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadinya 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
bangunan 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
bangunan dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadinya 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	III
bangunan dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi 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 bangunan dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak terbatas untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau alat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	IV

Tabel 3 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (lanjutan)

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

Tabel 4 – Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

4.2 Kombinasi beban terfaktor dan beban layan

4.2.1 Lingkup penerapan

Struktur bangunan gedung dan nongedung harus didesain menggunakan kombinasi pembebanan berdasarkan 0 atau 0. Sistem fondasi, baik untuk bangunan gedung dan nongedung, tidak boleh gagal terlebih dahulu daripada struktur yang ditumpunya, sehingga kombinasi pembebanan yang mempertimbangkan faktor kuat lebih harus diaplikasikan dalam desain sistem fondasi.

4.2.2 Kombinasi beban untuk metode ultimit

4.2.2.1 Kombinasi pembebanan dasar

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai di bawah. Pengaruh adanya satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan seismik harus ditinjau, tetapi kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan. Lihat 0 untuk definisi khusus mengenai pengaruh beban gempa E .

5.1 Klasifikasi situs

Pasal ini memberikan penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan

Tabel 5 dan 0, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam

Tabel 5. Dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/izin keahlian dengan menyiapkan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi geotekniknya. Jika sifat tanah yang memadai tidak tersedia untuk penentuan kelas situs, maka kelas situs *SE* harus digunakan sesuai dengan persyaratan 0, kecuali otoritas yang berwenang atau data geoteknik menunjukkan situs termasuk dalam kelas situs lainnya. Penetapan kelas situs *SA* dan kelas situs *SB* tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar.

5.2 Analisis respons situs untuk tanah kelas situs *SF*

Analisis respons situs menurut 0 harus dilakukan untuk tanah kelas situs *SF*, jika tidak, pengecualian terhadap 0 terpenuhi.

5.3 Definisi kelas situs

Tipe kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan definisi dari Tabel 5 dan pasal-pasal berikut.

Tabel 5 – Klasifikasi situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
<i>SA</i> (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
<i>SB</i> (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
<i>SC</i> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
<i>SD</i> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
<i>SE</i> (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 niralis, $\bar{s}_u < 25$ kPa		
<i>SF</i> (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)		

kelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs-nya, maka kelas situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs lainnya.

Jika penyelidikan tanah yang dilakukan sesuai dengan pasal 0 menunjukkan adanya kondisi batuan yang konsisten dengan kelas situs SB, tetapi tidak dilakukan pengukuran kecepatan gelombang geser situs-spesifik, maka koefisien situs F_a , F_v , dan F_{PGA} harus diambil sebesar 1,0.

6.2 Koefisien-koefisien situs dan parameter-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (7)$$

$$S_{M1} = F_v S_l \quad (8)$$

Keterangan:

- S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek;
 S_l = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Dengan koefisien situs F_a dan F_v , mengikuti Tabel 6 dan Tabel 7. Jika kelas situs SE digunakan sebagai kelas situs berdasarkan 0, maka nilai F_a tidak boleh kurang dari 1,2. Jika digunakan prosedur desain sesuai dengan pasal 0, maka nilai F_a harus ditentukan sesuai 0 serta nilai F_v , S_{MS} , dan S_{M1} tidak perlu ditentukan.

Tabel 6 – Koefisien situs, F_a

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

CATATAN:

- (a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 0

Tabel 7 – Koefisien situs, F_v

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

CATATAN:

- (a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 0

6.3 Parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (9)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (10)$$

Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan sesuai pasal 8, maka nilai S_{DS} harus ditentukan sesuai 0 dan nilai S_{D1} tidak perlu ditentukan.

6.4 Spektrum respons desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 3 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (11)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ;

3. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (12)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (13)$$

Keterangan:

- S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek;
 S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;
 T = periode getar fundamental struktur.

Tabel 8 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

Tabel 9 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

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

6.6 Persyaratan desain untuk kategori desain seismik A

Bangunan gedung dan nongedung dengan kategori desain seismik A hanya perlu memenuhi ketentuan-ketentuan di bawah ini. Elemen nonstruktural dalam kategori desain seismik A dibebaskan dari ketentuan-ketentuan desain seismik.

6.6.1 Persyaratan beban seismik

Beban seismik yang disyaratkan dalam 0 hingga 0 di bawah ini harus dikombinasikan dengan beban mati dan beban hidup sesuai 0 untuk kombinasi beban ultimit dan 0 untuk kombinasi beban layan.

6.6.2 Sambungan untuk lintasan beban seismik

Semua bagian elemen struktur di antara join harus saling disambungkan sehingga membentuk sistem pemikul gaya lateral dengan lintasan beban yang menerus. Sambungan harus mampu menyalurkan gaya-gaya lateral yang terjadi pada bagian-bagian yang disambung. Setiap bagian struktur yang lebih kecil harus disatukan ke bagian struktur sisanya dengan menggunakan elemen-elemen struktur yang memiliki kekuatan untuk menahan gaya minimum sebesar 5 % dari berat bagian struktur yang lebih kecil tersebut.

6.6.3 Gaya lateral

Setiap struktur harus dianalisis untuk pengaruh gaya lateral statik yang diaplikasikan secara independen di kedua arah ortogonal. Pada setiap arah yang ditinjau, gaya lateral statik harus diaplikasikan secara simultan di tiap lantai. Untuk tujuan analisis, gaya lateral di tiap lantai dihitung sebagai berikut:

Tabel 12 – Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik (lanjutan)

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{a,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

7.11.2.2.6 Sistem pengangkuran dibebani eksentris

Jika elemen sistem pengangkuran dinding dibebani eksentris atau tidak tegak lurus pada dinding, sistem tersebut harus didesain untuk menahan semua komponen gaya yang ditimbulkan oleh eksentrisitas.

7.11.2.2.7 Dinding dengan pilaster

Jika pilaster ada pada dinding, gaya pengangkuran di pilaster harus dihitung dengan meninjau beban tambahan yang disalurkan dari panel dinding ke pilaster. Tetapi, gaya pengangkuran minimum di lantai atau atap tidak boleh direduksi.

7.12 Simpangan antar tingkat dan deformasi

7.12.1 Batasan simpangan antar tingkat

Simpangan antar tingkat desain (Δ) seperti ditentukan dalam 0, atau 0, tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari Tabel 20 untuk semua tingkat.

Tabel 20 – Simpangan antar tingkat izin, $\Delta_a^{a,b}$

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

CATATAN

^a h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat-x.

^b Untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar tingkat izin harus sesuai dengan persyaratan 0

^c Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam 0 tidak diabaikan.

^d Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

7.12.1.1 Rangka pemikul momen pada struktur yang didesain untuk kategori desain seismik D sampai F

Untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang didesain untuk kategori desain seismik D, E, atau F, simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi Δ_a/ρ untuk semua tingkat. ρ harus ditentukan sesuai dengan 0.

7.12.2 Defleksi diafragma

STANDAR

PENJELASAN

22.7.6.1

prategang (b):

$$a) T_n = \frac{2A_o A_t f_{yt}}{s} \cot \theta \quad (22.7.6.1a)$$

$$b) T_n = \frac{2A_o A_t f_y}{P_h} \cot \theta \quad (22.7.6.1b)$$

Bila A_o ditentukan dengan analisis, θ tidak boleh diambil kurang dari 30 derajat atau lebih dari 60 derajat; A_t adalah luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi; A_t adalah luas tulangan longitudinal torsi; dan p_h adalah keliling garis tengah terluar sengkang tertutup.

θ , dengan asumsi beton tidak menahan tarik dan tulangan leleh. Setelah retak torsi terbentuk, sebagian besar torsi ditahan oleh sengkang tertutup, tulangan longitudinal, dan diagonal tekan. Lapisan beton diluar sengkang tidak efektif. Untuk alasan ini A_o , luas bruto yang dilingkupi lintasan aliran geser di sekeliling perimeter tabung, didefinisikan setelah retak sebagai A_{oh} , luasan yang dilingkupi oleh garis pusat tulangan torsi transversal tertutup yang terletak paling luar.

Aliran geser q pada dinding tabung, seperti yang dibahas pada R22.7, dapat diselesaikan ke dalam gaya geser V_i sampai V_i yang bekerja pada masing-masing sisi tabung atau rangka batang ruang, seperti ditunjukkan pada Gambar R22.7.6.1a.

Seperti ditunjukkan Gambar R22.7.6.1b, pada dinding tabung tertentu, aliran geser V_i ditahan oleh komponen beton tekan diagonal, $D_i = V_i / \sin \theta$. Gaya tarik aksial

$N_i = V_i (\cot \theta)$ adalah dibutuhkan tulangan longitudinal untuk melengkapi resolusi V_i .

Karena aliran geser yang disebabkan oleh torsi bersifat konstan pada semua titik di sekeliling perimeter tabung, maka resultan D_i dan N_i bekerja di tengah sisi i . Akibatnya, sebagian N_i dapat diasumsikan ditahan oleh bagian atas dan bawah kord (*chord*) seperti yang ditunjukkan. Tulangan longitudinal dengan kekuatan $A_t f_y$ dibutuhkan untuk menahan keseluruhan gaya N_i $\sum N_i$ yang bekerja pada semua dinding tabung.

Dalam penurunan Pers. (22.7.6.1b), gaya tarik aksial dijumlahkan pada semua sisi A_o . Sisi-sisi ini membentuk panjang keliling P_o kira-kira sama dengan panjang garis tengah di sudut-sudut tabung. Untuk memudahkan perhitungan, P_o diganti dengan keliling sengkang tertutup P_h .