

TUGAS AKHIR

DESAIN GEDUNG BERTINGKAT MENGUNAKAN SISTEM STRUKTUR *FLAT SLAB* (*MULTI STORY BUILDING DESIGN USING FLAT SLAB STRUCTURAL SYSTEM*)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Menempuh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**MUHAMMAD RICKY EL FATAH
18511112**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

DESAIN GEDUNG BERTINGKAT MENGUNAKAN SISTEM STRUKTUR *FLAT SLAB* (*MULTI STORY BUILDING DESIGN USING FLAT SLAB STRUCTURAL SYSTEM*)

Disusun oleh

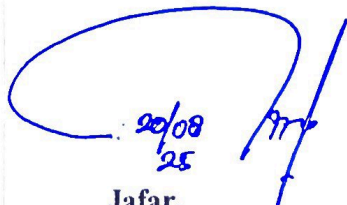
MUHAMMAD RICKY EL FATAH
18511112

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

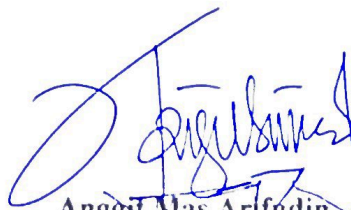
Diuji pada tanggal 14 Agustus 2025

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing


20/08
25
Jafar,
S.T., M.T., MURP.
NIK : 185111305

Penguji I

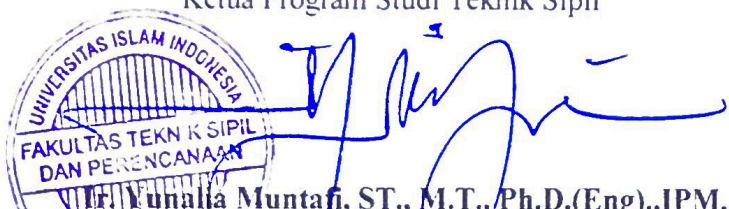

Anggi Mas Arifudin,
S.T., M.T.
NIK : 185111304

Penguji II


Astriana Hardawati,
S.T., M. Eng.
NIK : 165111301

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil


Ir. Yunalia Muntafi, ST., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM.
NIK : 095110101



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, ~~25~~ Agustus 2025
Yang membuat pernyataan,



Muhammad Ricky El Fatah
(18511112)

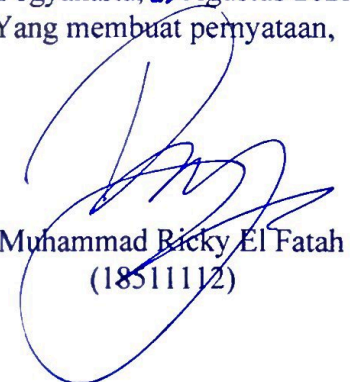
KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Desain Gedung Bertingkat Menggunakan Sistem Struktur Flat Slab*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Jafar, S.T., M.T., MURP. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dari awal penyusunan Tugas Akhir ini hingga dapat terselesaikan.
2. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji 1.
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M. Eng. selaku Dosen Penguji 2.
4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, ST.,M.T.,Ph.D.(Eng).,IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak, ibu dan keluarga penulis yang telah membantu dan berkorban begitu banyak, baik moral maupun materiil hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
6. Bapak Vendie Abma, S.T.,M.T., IPM. selaku Dosen Pembimbing Akademik.

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, ~~25~~ Agustus 2025
Yang membuat pernyataan,



Muhammad Ricky El Fatah
(18511112)

ABSTRAK

Perkembangan pembangunan gedung bertingkat di Indonesia menuntut adanya perencanaan struktur yang efisien dan memenuhi standar keamanan terhadap beban gravitasi maupun beban lateral seperti gempa. Salah satu sistem struktur yang memberikan efisiensi dalam penulangan dan fleksibilitas dalam tata ruang adalah *flat slab*. Dalam penelitian ini dilakukan perencanaan struktur gedung bertingkat empat yang berlokasi di Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan menggunakan sistem struktur *flat slab*. Tujuan dari perancangan ini adalah menghasilkan desain elemen struktur utama yang memenuhi ketentuan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas sesuai dengan standar yang berlaku.

Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data proyek, penentuan pembebanan berdasarkan SNI 1727:2020, analisis gaya gempa menggunakan metode statik ekuivalen sesuai SNI 1726:2019, serta perancangan elemen struktur beton bertulang mengacu pada SNI 2847:2019. Pemodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak *Etabs* dan *SpColumn*. Elemen yang dirancang meliputi pelat dua arah, drop panel, dan kolom, dengan memperhatikan kontrol momen lentur, gaya geser, simpangan antar lantai, dan pengaruh efek P-Delta. Penulangan ditentukan berdasarkan gaya dalam hasil analisis dan kontrol terhadap syarat kekuatan nominal yang dipersyaratkan.

Hasil perancangan menunjukkan bahwa struktur memenuhi seluruh persyaratan kekuatan dan stabilitas. Kolom direncanakan berukuran 600×600 mm dengan tulangan utama 16D25 dan tulangan geser 3D13-100 pada daerah sendi plastis serta 2D13-150 di luar sendi plastis. Drop panel memiliki dimensi $1000 \times 1000 \times 500$ mm dan dipasang tulangan lentur dengan kombinasi D16-70 hingga D16-170, serta tulangan geser 3D16-90. Pelat lantai dua arah dirancang dengan ketebalan 150 mm dan menggunakan tulangan D13-200 hingga D13-300 sesuai posisi dan arah momen. Simpangan antar lantai dan pengaruh P-Delta telah memenuhi kriteria yang diatur dalam SNI 1726:2019. Dengan demikian, bangunan dapat dikategorikan aman terhadap beban gempa dan memenuhi kontrol struktur bangunan.

Kata kunci : *Drop Panel, ETABS, Flat Slab, Gedung Bertingkat, Perancangan Struktur, SNI 2847:2019, Tahan Gempa.*

ABSTRACT

The development of multi-story buildings in Indonesia demands structural planning that is both efficient and compliant with safety standards for gravitational and lateral loads such as earthquakes. One structural system that offers reinforcement efficiency and spatial flexibility is the flat slab system. This final project focuses on the structural design of a four-story building located in the Special Region of Yogyakarta, utilizing the flat slab structural system. The objective of this design is to produce structural element plans that satisfy strength, stiffness, and stability requirements in accordance with applicable standards.

The methodology includes project data collection, load determination based on SNI 1727:2020, seismic analysis using the equivalent static method according to SNI 1726:2019, and the structural element design based on SNI 2847:2019. Structural modeling and analysis are conducted using ETABS and SpColumn software. The elements designed consist of two-way slabs, drop panels, and columns, with attention to flexural moment control, shear force, inter-story drift, and the P-Delta effect. Reinforcement is determined based on internal force analysis and verification against required nominal capacities.

The results of the design show that the structure meets all strength and stability requirements. Columns are designed with dimensions of 600×600 mm, using 16D25 longitudinal bars and 3D13-100 shear reinforcement in plastic hinge regions and 2D13-150 outside these regions. The drop panels measure $1000 \times 1000 \times 500$ mm and are reinforced with flexural bars ranging from D16-70 to D16-170, along with 3D16-90 shear reinforcement. The two-way floor slabs are 150 mm thick, reinforced with D13-200 to D13-300 bars depending on position and moment direction. Inter-story drift and P-Delta effects comply with the criteria stipulated in SNI 1726:2019. Therefore, the structure is considered earthquake-resistant and meets structural performance requirements.

Keywords : Drop Panel, Earthquake-Resistant, ETABS, Flat Slab, Multi-Story Building, SNI 2847:2019, Structural Design.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Umum	4
2.2 Penelitian terdahulu	4
2.3 Keaslian Penelitian	8
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1 Konsep Perancangan	9
3.2 Elemen Struktur Bangunan	9
3.3 Pembebanan	10
3.4 Kombinasi Pembebanan	24
3.5 Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal	26
3.6 Perencanaan Pelat	32

3.6.1 Langkah Analisis Metode Perencanaan Langsung	35
3.6.2 Tulangan Pelat	38
3.7 Perencanaan Drop Panel	42
3.8 Perencanaan Kolom	44
3.8.1 Tulangan Longitudinal	45
3.8.2 Tulangan Geser Transversal	48
3.9 Panjang Penyaluran dan Sambungan Tulangan	51
3.9.1 Panjang Penyaluran	51
3.9.2 Sambungan Tulangan	57
BAB IV METODE PENELITIAN	59
4.1 Objek Perancangan	59
4.2 Data Perancangan	59
4.3 Metode Perancangan	62
BAB V PEMBAHASAN	66
5.1 Data awal	66
5.2 Pembebanan	67
5.3 Kodefikasi Elemen Struktur	74
5.4 Estimasi Dimensi Struktur	76
5.4.1 Estimasi Dimensi Flat slab & Drop Panel	76
5.4.2 Estimasi Kolom	77
5.5 Kombinasi Pembebanan	78
5.6 Analisis Struktur Menggunakan Software Bantu	80
5.6.1 Permodelan Etabs	80
5.6.2 Assign Pembebanan Etabs	87
5.6.3 Analisis spColumn	91
5.7 Kontrol Struktur	94
5.8 Desain Penulangan Pelat & Drop Panel	107
5.8.1 Penulangan Flat slab	107
5.8.2 Penulangan Drop Panel	117
5.8.3 Penulangan Geser Drop Panel	124
5.9 Desain Penulangan Kolom	127

5.9.1 Diagram $\phi\text{Mn}-\phi\text{Pn}$	127
5.9.2 Penulangan Longitudinal	128
5.9.3 Penulangan Transversal	129
5.9.4 Rekapitulasi Penulangan Kolom	132
BAB VI KESIMPULAN	135
6.1 Kesimpulan	135
6.2 Saran	136
DAFTAR PUSTAKA	137
LAMPIRAN	139

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Parameter Gerak Tanah S_s	16
Gambar 3. 2 Parameter Gerak Tanah S_1	16
Gambar 3. 3 koefisien risiko terpetakan periode 0,2 detik (C_{RS})	19
Gambar 3. 4 koefisien risiko terpetakan periode 1 detik (C_{R1})	19
Gambar 3. 5 Peta Transisi Periode Panjang Wilayah Indonesia	20
Gambar 3. 6 Grafik Respons Spektrum Desain	21
Gambar 3. 7 Ketidakberaturan 1a dan 1b	26
Gambar 3. 8 Gambar Ketidakberaturan Sudut Dalam	27
Gambar 3. 9 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	28
Gambar 3.10 Ketidakberaturan Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang	28
Gambar 3. 11 Ketidakberaturan Sistem Nonparalel	29
Gambar 3. 12 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a dan 1b	30
Gambar 3. 13 Ketidakberaturan Berat (Massa)	30
Gambar 3. 14 Ketidakberaturan Geometri Vertikal	31
Gambar 3. 15 Ketidakberaturan Diskontinuitas Bidang	31
Gambar 3. 16 Ketidakberaturan Tingkat Lemah 5a dan 5b	32
Gambar 3. 17 Kegagalan Punching Shear	33
Gambar 3. 18 Flat Slab dengan Drop Panel	33
Gambar 3. 19 Flat Slab dengan Drop Panel dan Capital Column	34
Gambar 3. 20 Lajur Kolom dan Lajur Tengah	36
Gambar 3. 21 Gambar Distribusi Tegangan Regangan Beton Bertulang	38
Gambar 3. 22 Gambar Grafik Nilai Reduksi Kekuatan (ϕ)	39
Gambar 3. 23 As min untuk Pelat Dua Arah Non Prategang	40
Gambar 3. 24 Detail Penyaluran Tulangan pada Pelat Dua Arah Tanpa Balok	41
Gambar 3. 25 Distribusi Asumsi Tegangan pada Kolom	42
Gambar 3. 26 Ilustrasi Penulangan Drop Panel	44

Gambar 3. 27 Diagram Interaksi antara Gaya Aksial dan Momen Lentur	45
Gambar 3. 28 Diagram Tegangan dan Regangan Beton Bertulang pada Kolom	45
Gambar 3. 29 Ilustrasi Tulangan Longitudinal pada Kolom	48
Gambar 3. 30 Ilustrasi Tulangan Transversal pada Kolom	51
Gambar 3. 31 Bond Stress	51
Gambar 3. 32 Ketentuan pada Pasal 25.4.2.2 dan Pasal 25.4.2.3	52
Gambar 3. 33 Faktor Modifikasi Panjang Penyaluran	53
Gambar 3. 34 Faktor Modifikasi untuk Panjang Penyaluran dengan Kait dalam Kondisi Tarik	54
Gambar 3. 35 Geometri Panjang Penyaluran Kait pada Kondisi Tarik	56
Gambar 3. 36 Geometri Kait untuk Senggang	56
Gambar 3. 37 Panjang Sambungan Lewatan dalam Kondisi Tarik	57
Gambar 4. 1 Lokasi Perancangan Gedung	59
Gambar 4. 2 Denah Lantai 1-4	61
Gambar 4. 3 Denah Lantai Atap	61
Gambar 4. 4 Tampak Depan	61
Gambar 4. 5 Tampak Samping	62
Gambar 4. 6 <i>Flowchart</i> Perancangan	65
Gambar 5. 1 Denah Bangunan Gedung	66
Gambar 5. 2 Grafik Respons Spektrum	69
Gambar 5. 3 Parameter Nilai Respons Spektrum	70
Gambar 5. 4 Kodefikasi Pelat Lantai	74
Gambar 5. 5 Kodefikasi Pelat Atap	75
Gambar 5. 6 Kodefikasi Drop Panel	75
Gambar 5. 7 Kodefikasi Kolom	76
Gambar 5. 8 Model initialization	81
Gambar 5. 9 Pengaturan Dimensi Grid	81
Gambar 5. 10 Define Material	82
Gambar 5. 11 Material Property Data	82
Gambar 5. 12 Frame Property Shape Type	83

Gambar 5. 13 Frame Section Property Data	83
Gambar 5. 14 Slab Property Data Pelat	84
Gambar 5. 15 Slab Property Data Drop Panel	84
Gambar 5. 16 Property/Stiffness Modification Factors Kolom	85
Gambar 5. 17 Property/Stiffness Modification Factors Balok	86
Gambar 5. 18 Property/Stiffness Modification Factors Pelat	86
Gambar 5. 19 Komponen Struktur yang Sudah Dimodelkan	87
Gambar 5. 20 Define Load Patterns	88
Gambar 5. 21 Modify Load Pattern untuk Ex	88
Gambar 5. 22 Shell Uniform Load Sets	89
Gambar 5. 23 Load Combination	89
Gambar 5. 24 Shell Assignment	90
Gambar 5. 25 Frame Loads Assignment Distributed	90
Gambar 5. 26 Diaphragm Data	91
Gambar 5. 27 General Komponen Desain	91
Gambar 5. 28 Materials Komponen Desain	91
Gambar 5. 29 Run Option Komponen Desain	92
Gambar 5. 30 Define Section	92
Gambar 5. 31 New txt File	93
Gambar 5. 32 Input Beban ke txt File	93
Gambar 5. 33 Import Beban SpColumn	94
Gambar 5. 34 Gaya Dalam SpColumn	94
Gambar 5. 35 Grafik Simpangan Antar Tingkat	105
Gambar 5. 36 Grafik P-Delta	107
Gambar 5. 37 Ilustrasi Penulangan Pelat Lantai	117
Gambar 5. 38 Area Penampang Kritis Kolom	124
Gambar 5. 39 Ilustrasi Tulangan Geser Drop Panel	127
Gambar 5. 40 Diagram $\phi M_n - \phi P_n$ Kolom	127
Gambar 5. 41 Tulangan Longitudinal Kolom	128
Gambar 5. 42 Ilustrasi Tulangan Longitudinal Kolom	133
Gambar 5. 43 Tulangan Transversal Kolom	134

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu	5
Tabel 3. 1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_0 dan Beban Hidup Terpusat Minimum	11
Tabel 3. 2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung	14
Tabel 3. 3 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)	15
Tabel 3. 4 Tabel Koefisien Situs (F_a) berdasarkan SNI 1726-2019	17
Tabel 3. 5 Tabel Koefisien Situs (F_v) Berdasarkan SNI 2726-2019	17
Tabel 3. 6 Nilai Parameter Pendekatan C_t dan α	22
Tabel 3. 7 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior (mm)	35
Tabel 3. 8 Koefisien Distribusi untuk Bentang Ujung	37
Tabel 3. 9 Momen Negatif Interior M_u di Lajur Kolom	37
Tabel 3. 10 Momen Positif M_u di Lajur Kolom	38
Tabel 3. 11 Kondisi-kondisi Regangan pada Kolom	47
Tabel 3. 12 Tulangan Transversal untuk Kolom	49
Tabel 4. 1 Data Perancangan	60
Tabel 5. 1 Beban Mati Tambahan Pada Pelat Lantai	67
Tabel 5. 2 Beban Mati Tambahan Pada Pelat Atap	68
Tabel 5. 3 Beban Mati Tambahan Oleh Dinding Hebel	68
Tabel 5. 4 Beban Hidup dengan Fungsi Gedung Sekolah	69
Tabel 5. 5 Beban Gravitasi	71
Tabel 5. 6 Massa Bangunan	71
Tabel 5. 7 Massa Bangunan Output Etabs	72
Tabel 5. 8 Kombinasi Pembebanan	80
Tabel 5. 9 Momen Inersia yang Diizinkan untuk Analisis Elastis	85
Tabel 5. 10 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur	95

Tabel 5. 11 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah X	96
Tabel 5. 12 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah Y	96
Tabel 5. 13 Ketidakberaturan Vertikal tipe 1b Arah X	97
Tabel 5. 14 Ketidakberaturan Vertikal tipe 1b Arah Y	97
Tabel 5. 15 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2	98
Tabel 5. 16 Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah x	99
Tabel 5. 17 Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah y	99
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal	99
Tabel 5. 19 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur	100
Tabel 5. 20 Ketidakberaturan Tipe 1a dan 1b Arah x	101
Tabel 5. 21 Ketidakberaturan Tipe 1a dan 1b Arah y	101
Tabel 5. 22 Ketidakberaturan Tipe 2	101
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Ketidakberaturan Horizontal	102
Tabel 5. 24 Prosedur Analisis yang Dizinkan	103
Tabel 5. 25 Simpangan Antar Tingkat	104
Tabel 5. 26 Pengaruh P-Delta Arah X dan Y	106
Tabel 5. 27 Output Gaya Dalam Pelat	107
Tabel 5. 28 Distribusi Momen Mo	109
Tabel 5. 29 Rekapitulasi Penulangan Pelat	117
Tabel 5. 30 Gaya Dalam Drop Panel	118
Tabel 5. 31 Rekapitulasi Penulangan Drop Panel	126
Tabel 5. 32 Rekapitulasi Penulangan Kolom	133

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Denah	140
Lampiran 2 Tampak Depan	141
Lampiran 3 Tampak Samping	142
Lampiran 4 Detail Tulangan Pelat Lantai	143
Lampiran 5 Detail Tulangan Longitudinal Drop Panel	144
Lampiran 6 Detail Penulangan Drop Panel	145
Lampiran 7 Detail Tulangan Transversal Kolom	146
Lampiran 8 Detail Tulangan Longitudinal Kolom	147

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gedung bertingkat berkaitan erat dengan perkembangan dan pertumbuhan populasi yang semakin meningkat serta ketersediaan lahan yang semakin berkurang. Dengan merencanakan gedung bertingkat maka akan menyediakan kebutuhan ruang yang lebih efisien pada ketersediaan lahan yang semakin berkurang. Namun perencanaan gedung bertingkat harus memiliki perencanaan serta perhitungan yang matang agar dapat menciptakan gedung yang ekonomis tetapi tetap mengutamakan mutu serta kekuatan struktur gedung tersebut.

Gedung sekolah memegang peran yang penting dalam dunia pendidikan. Gedung ini menjadi lingkungan bagi generasi yang akan datang dalam menuntut ilmu, serta sebagai bentuk komitmen pemerintah setempat dalam memfasilitasi proses pendidikan formal. Gedung sekolah merupakan bangunan dengan tingkat risiko IV terhadap beban gempa berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 4.1.2. Oleh karena itu perencanaan gedung sekolah harus direncanakan dengan matang untuk mendapatkan bangunan yang bernilai ekonomis serta mempunyai struktur yang kuat.

Pelat diklasifikasikan dalam dua macam yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah. Sistem pelat satu arah yaitu pelat yang hanya ditumpu pada dua sisi yang saling berhadapan, atau ditumpu pada keempat sisinya dengan rasio $L_y/L_x > 2$. Pelat dua arah yaitu pelat yang ditopang pada keempat sisinya dengan perbandingan rasio $L_y/L_x < 2$. *Flat slab* adalah sistem struktur yang termasuk ke dalam pelat dua arah dengan beban yang langsung didistribusikan ke kolom tanpa didukung oleh balok.

Vargheshe (2005) mengatakan kelebihan dari struktur *flat slab* yaitu dapat mereduksi tinggi bangunan, menghemat konstruksi material, serta memudahkan akses dan akomodasi penyaluran mekanikal dan elektrik. Selain itu hasil penelitian dari Yanita dan Purtono (2019) mengenai *value engineering* yang

ditinjau pada perencanaan struktur pelat menggunakan sistem *drop panel flat slab* dengan *beam slab* mendapatkan hasil jika sistem struktur *flat slab* lebih efisien dari segi penghematan biaya. Maka dari itu penulis tertarik untuk merencanakan gedung sekolah dengan merekayasa struktur dengan menggunakan sistem struktur *flat slab*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, didapatkan beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mendesain gedung bertingkat dengan sistem struktur *flat slab* menggunakan *Etabs* dan *SpColumn*?
2. Bagaimana membuat DED struktur yang telah didesain menggunakan sistem struktur *flat slab*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Merencanakan gedung bertingkat menggunakan sistem struktur *flat slab*.
2. Menghasilkan DED penampang beton bertulang setelah didesain menggunakan sistem *flat slab*.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan penelitian yang dilakukan diharapkan dapat berguna bagi mahasiswa maupun dosen teknik sipil sebagai bahan referensi dalam lingkungan perkuliahan, bagi praktisi sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan gedung bertingkat dengan sistem struktur *flat slab*, maupun bagi orang awam untuk menambah wawasan.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun beberapa batasan untuk mempermudah penelitian agar tidak menyimpang dari pembahasan utama yaitu sebagai berikut :

1. Menggunakan data tanah dari laporan penyelidikan geotek trase Planjan-Baron-Tepus. Kelas situs tanah diasumsikan tanah keras, batuan lunak (SC).
2. Gedung direncanakan di Jl. Baron-Wonosari, Ngepung, Kemadang, Kecamatan Tanjungsari, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.
3. Gedung yang akan direncanakan merupakan gedung imajiner.
4. Elemen struktur yang akan direncanakan yaitu elemen struktur atas (kolom dan pelat).
5. Pelat lantai didesain menggunakan sistem struktur *flat slab*.
6. Permodelan struktur menggunakan *software* bantu *Etabs* dan *Spcolumn*.
7. Pembuatan gambar teknis menggunakan *software AutoCad*.
8. Analisis menggunakan 3 pembebanan yaitu beban mati, beban hidup, dan beban gempa.
9. Metode analisis beban gempa menggunakan metode *static response spectrum*.
10. Menggunakan peraturan Standar Nasional Indonesia sebagai acuan dalam perhitungan antara lain SNI 1727:2020 dalam perhitungan pembebanan, SNI 1726:2019 dalam perhitungan gempa, serta SNI 2847:2019 dalam perhitungan beton bertulang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka adalah uraian sistematis berdasarkan hasil dari penelitian atau perancangan dari karya ilmiah terdahulu yang relevan dengan topik penelitian yang diambil. Tinjauan pustaka bukan hanya untuk memberikan gambaran tentang perbedaan rencana penelitian yang sedang dilakukan dengan penelitian terdahulu, namun juga membantu peneliti dalam memahami konsep kerangka kerja, serta menemukan perbedaan dari masing-masing penelitian. Sehingga hal ini tidak hanya menjadi pondasi untuk kerangka berpikir namun juga menjadi pijakan dalam mendapatkan hasil dan kesimpulan yang berkesinambungan dengan penelitian terdahulu.

Dalam proses ini peneliti melakukan pengumpulan, peninjauan, serta penyusunan literatur dari karya ilmiah terdahulu. Hal ini membantu peneliti dalam membangun landasan teori yang kuat untuk penelitian. Dengan melakukan peninjauan terhadap karya ilmiah terdahulu, peneliti dapat mengidentifikasi temuan-temuan penting, metodologi yang digunakan peneliti terdahulu, serta konsep kerangka kerja yang dapat diterapkan dalam penelitian ini.

2.2 Penelitian terdahulu

Berikut dilampirkan beberapa penelitian terdahulu yang berhubungan dengan topik desain *flat slab* sehingga dapat dijadikan acuan serta pertimbangan dalam penulisan penelitian yang sekarang. Penelitian yang diambil yaitu penelitian yang masih relevan dengan masa sekarang, maka dari itu diambil jurnal atau karya ilmiah dengan rentang waktu maksimal 5 tahun dari sekarang. Berikut adalah beberapa penelitian yang dijadikan tinjauan pustaka dari tugas akhir ini.

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian terdahulu					
Jenis	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Tugas Akhir
Peneliti	(Syarif & Djauhari, 2019)	(Burhanudin dkk, 2019)	(Gaina & Kurniati, 2020)	(Hasibuan & Kurniati, 2020)	(Apriyanto dkk,2023)	(El Fatah & Jafar, 2025)
Judul	Respons Struktur Sistem <i>flat slab-drop panel</i> pada gedung bertingkat tidak beraturan terhadap beban gempa dengan analisis respons spektrum	Desain Modifikasi Gedung Fave Hotel Cilacap Menggunakan Metode <i>Flat Slab</i>	Perancangan Ulang Gedung Kampus Fakultas Teknik Universitas PGRI Yogyakarta Dengan Menggunakan Metode Flat Slab dan Drop Panel	Redesain Awana Condotel Menggunakan Metode Flat Slab Berdasarkan SNI 2847-2013	Redesain Struktur Gedung Rumah Sakit Jiwa Menur Surabaya Dengan Menggunakan Sistem Flat Slab	Desain Gedung Bertingkat Menggunakan Sistem Struktur <i>Flat Slab</i>
Lokasi	Pekanbaru	Cilacap	Yogyakarta	Yogyakarta	Surabaya	Yogyakarta
Tujuan	Melakukan evaluasi kinerja struktur dengan analisis respons spektrum yang ditinjau berdasarkan displacement, story drift, dan base shear. Mengidentifikasi level kinerja dari struktur yang menggunakan sistem balok dan flat slab-drop panel. merekomendasikan penggunaan drop panel pada sistem flat slab	Memodifikasi gedung fave hotel yang semula 6 lantai menjadi 10 lantai serta menggunakan sistem flat slab serta shearwall sebagai perkuatan dalam menerima beban pada wilayah gempa tinggi	Mengetahui dimensi dan penulangan pelat, drop panel, serta kolom dari gedung kampus FT universitas PGRI	Mengetahui tingkat keamanan struktur gedung dengan sistem flat slab pada wilayah zona gempa tinggi. Mengetahui dimensi serta penulangan pada komponen-komponen struktur yang diredesain serta lendutan yang terjadi pada plat	Meredisain struktur Gedung Rumah Sakit Jiwa Menur Surabaya menggunakan sistem flat slab yang dilakukan menggunakan SNI 2847-2019	Merencanakan gedung bertingkat menggunakan sistem struktur <i>flat slab</i> serta menghasilkan DED penampang beton bertulang.

Aspek	Penelitian terdahulu					
Jenis	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Tugas Akhir
Peneliti	(Syarif & Djauhari, 2019)	(Burhanudin dkk, 2019)	(Gaina & Kurniati, 2020)	(Hasibuan & Kurniati, 2020)	(Apriyanto dkk,2023)	(El Fatah & Jafar, 2025)
Metode	Menggunakan dua permodelan dengan tipikal denah struktur yang sama yaitu model 1 (kondisi eksisting) dan model 2 (menggunakan sistem flat slab). Mengacu pada SNI 1726-2012, 1727-2013, ATC-40, dan FEMA 356	Pengumpulan data, studi literatur, perhitungan struktur sekunder, preliminary design, pembebanan, permodelan menggunakan SAP2000, analisa struktur, perhitungan struktur utama, perencanaan pondasi, gambar teknik. Mengacu pada SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2013	Menggunakan metode yang sesuai dengan peraturan SNI 1727-2013, dan SNI 03-1721-1989 untuk pembebanan, SNI 1726:2012, SNI 1726:2019 serta peta Gempa Indonesia tahun 2017 untuk beban gempa, serta SNI 2847-2013 untuk perencanaan struktur serta software bantu Etabs 2016	Pengumpulan data, perhitungan struktur sekunder, preliminary design, pembebanan, permodelan struktur dengan Etabs 2016, analisa struktur, perhitungan elemen struktur, analisa struktur dan pembahasan. Mengacu pada peraturan SNI 03-2847-2002, SNI 03-1726-2010, SNI 2847-2013,	Pengumpulan data, studi literatur, preliminary design, pembebanan, permodelan menggunakan software Etabs, perhitungan struktur utama, kontrol desain, kesimpulan perhitungan, gambar teknik. Mengacu pada peraturan , SNI 1726-2019, SNI 2847-2019, SNI 1727-2020	Studi literatur, pengumpulan data, preliminary design, permodelan <i>software</i> bantu <i>etabs</i> dan <i>spcolumn</i> , analisa dan desain elemen struktur, kontrol desain sesuai dengan SNI 1726-2019, SNI 1727-2020, dan SNI 2847-2019, penggambaran DED.

Aspek	Penelitian terdahulu					
Jenis	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Jurnal	Tugas Akhir
Peneliti	(Syarif & Djauhari, 2019)	(Burhanudin dkk, 2019)	(Gaina & Kurniati, 2020)	(Hasibuan & Kurniati, 2020)	(Apriyanto dkk, 2023)	(El Fatah & Jafar, 2025)
Hasil	Menunjukkan hasil pada simpangan perpindahan tingkat model A menghasilkan nilai lebih besar, pada gaya geser model A menghasilkan gaya lebih besar, pada tingkat kekakuan struktur model B menghasilkan nilai lebih besar. Maka berdasarkan hasil analisis model B memiliki respons yang respons yang baik terhadap gaya gempa yang terjadi.	Menghasilkan dimensi tebal pelat 240 mm, tebal drop panel 160 mm dengan lebar 300 cm baik ke arah sumbu x maupun y, dimensi kolom 700 mm x 700 mm, serta ketebalan dinding geser sebesar 400 mm dengan menggunakan komponen batas.	Menghasilkan dimensi tebal pelat lantai sebesar 265 mm, tebal pelat atap 165 mm, tebal drop panel pelat lantai 250 mm, tebal drop panel pelat atap 150 mm dengan 15 tipe beragam menyesuaikan ukuran penampang, serta menggunakan kolom ukuran K1 (1000 x 1000) mm, K2 (800 x 800) mm, K3 (300 x 300) mm. Hasil akhir juga menunjukkan bahwa metode flat slab-drop panel lebih mahal hingga 61,46% dari struktur konvensional.	Menghasilkan dimensi tebal pelat lantai 210 mm, tebal pelat atap 150 mm, tebal drop panel 300 mm dengan ukuran (2000 x 2000) mm. Dimensi kolom K1 (800x800) mm, K2 (400x400) mm. Serta lendutan yang terjadi pada pelat yaitu sebesar 0,17 mm untuk pelat lantai dan 0,30 mm untuk pelat atap. analisa software bantu Etabs menghasilkan struktur gedung dengan periode (T) 1,04 detik.	Mendapatkan hasil output kontrol perilaku struktur dengan Etabs didapatkan periode T 1,125 detik, partisipasi massa struktur tercapai dengan nilai 90% arah X dan Y. Simpangan antar lantai 1-6 memenuhi syarat drift limit 31,731. Gaya geser dasar statik dan dinamik X dan Y bernilai 83,6053. menghasilkan tulangan pelat D16-450, drop panel D13-500 serta tulangan kolom 20 D22, dan tulangan transversal 4D13-100 untuk tumpuan dan 2D13-125 pada lapangan	Mendapatkan hasil kontrol struktur ketidakberaturan vertikal maupun horizontal, simpangan antar lantai, serta pengaruh P-Delta telah memenuhi standar yang berlaku sesuai SNI. Didapatkan dimensi tebal pelat lantai 150mm, tebal drop panel 500mm, serta kolom K1 600x600 mm.

2.3 Keaslian Penelitian

Pada poin sebelumnya telah dijabarkan tinjauan pustaka yang berisi penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian yang diambil. Selanjutnya penelitian yang akan dilakukan oleh penulis merupakan hasil karya sendiri dan bukan merupakan plagiasi. Berikut perbedaan penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu antara lain sebagai berikut:

1. Penelitian yang akan dilakukan berlokasi di Jl. Baron-Wonosari, Ngepung, Kemadang, Kecamatan Tanjungsari, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Fungsi gedung merupakan bangunan sekolah dengan struktur beton bertulang yang memiliki jumlah 4 lantai dan 1 lantai atap.
3. Gedung direncanakan menggunakan sistem struktur *flat slab* dengan mengacu pada peraturan SNI 1727-2020, SNI 1726-2019, serta SNI 2847-2019.
4. Permodelan gedung menggunakan *software* bantu *Etabs* dan *Spcolumn*.

BAB III

LANDASAN TEORI

Pada BAB II sebelumnya telah dibahas mengenai tinjauan pustaka berdasarkan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik tugas akhir yang diambil. Yaitu desain gedung bertingkat dengan metode *flat slab*. Selanjutnya pada BAB III ini akan membahas landasan teori tentang desain gedung dengan metode *flat slab*.

3.1 Konsep Perancangan

Perancangan struktur serta konstruksi bangunan gedung bertingkat adalah proses merancang bangunan gedung bukan hanya pada permasalahan struktur saja, namun berhubungan dengan aspek bangunan lain juga yang dilakukan secara menyeluruh. Perancangan bangunan yang dikatakan berhasil yaitu rancangan bangunan yang dapat memaksimalkan potensi sumber daya sehingga menciptakan bangunan yang kuat, aman, nyaman serta ekonomis (Purnamasari & Rohman, 2019). Bangunan gedung bertingkat tinggi memiliki potensi keruntuhan yang lebih besar akibat beban gempa maupun beban struktur itu sendiri, oleh karena itu perancangan bangunan harus mempertimbangkan kontrol serta standar yang berlaku.

3.2 Elemen Struktur Bangunan

Elemen struktur bangunan adalah komponen struktur yang memiliki fungsi sebagai penerima beban serta gaya baik internal maupun eksternal yang selanjutnya didistribusikan kepada tanah. Gedung yang akan direncanakan terdiri dari elemen struktur atas yaitu kolom, drop panel, dan pelat.

3.3 Pembebanan

Dalam merencanakan struktur bangunan gedung bertingkat perlu memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Berikut merupakan beban-beban yang akan diperhitungkan dalam mendesain gedung sekolah pada tugas akhir ini.

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat sendiri seluruh bangunan gedung tersebut termasuk bahan konstruksi yang digunakan antara lain seperti lantai, atap, plafon, tangga, dinding, *finishing*, serta komponen-komponen arsitektural yang digunakan pada gedung tersebut.

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang didapatkan dari penggunaan dan fungsi bangunan tersebut yang tidak termasuk ke dalam beban konstruksi. Berikut adalah tabel rincian pembebanan beban hidup berdasarkan SNI 1727-2020.

**Tabel 3. 1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, Lo dan Beban
Hidup Terpusat Minimum**

Hunian atau Penggunaan	Merata, Lo Psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga lihat pasal
Apartemen (lihat rumah tinggal)					
Sistem lantai akses					
Ruang kantor	50 (2,4)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2000 (8,9)	
Ruang komputer	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	2000 (8,9)	
Gudang persenjataan & ruang latihan	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Ruang pertemuan					
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lobi	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Panggung pertemuan	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Lantai podium	150 (7,18)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		4.14
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	
Koridor					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain				
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Hunian (lihat rumah tinggal)					
Dudukan mesin elevator (pada area 2 in. x 2 in. [50 mm x 50 mm])	-	-	-	300 (1,33)	
Konstruksi pelat lantai finishing Ringan (pada area 1 in. x 1 in. [25 mm x 25 mm])	-	-	-	200 (0,89)	

Sumber : Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan
Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)

**Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum,
Lo dan Beban Hidup Terpusat Minimum**

Hunian atau Penggunaan	Merata, L _o Psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga lihat pasal
Rumah Tinggal					
Hunian satu dan keluarga					
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa Gudang	10 (0,48)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.1
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		4.12.2
Loteng yang dapat dihuni dan ruang Tidur	30 (1,44)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Semua hunian rumah tinggal lainnya					
Ruang pribadi dan koridornya	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Ruang publik	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		
Koridor ruang publik	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Atap					
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		4.8.1
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	Ya (4.8.3)	-		
Atap vegetatif dan atap lansekap					
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	Ya (4.8.2)	-		
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	Ya (4.8.3)	-		
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya (4.8.3)	-		
Awning dan kanopi					
Atap konstruksi <i>fabric</i> yang didukung oleh struktur rangka kaku Ringan	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-		
Rangka penumpu layer penutup	5 (0,24)	Tidak (4.8.2)	-	200 (0,89)	
	Berdasarkan area tributary dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka				
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	Ya (4.8.2)			4.8.1
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja					
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, Gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi bengkel				2000 (8,9)	
Semua komponen struktur atap utama lainnya		-	-	300 (1,33)	
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		-	-	300 (1,33)	

Sumber : Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)

**Lanjutan Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum,
Lo dan Beban Hidup Terpusat Minimum**

Hunian atau Penggunaan	Merata, L_o Psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat lb (kN)	Juga lihat pasal
Sekolah	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Ruang kelas	80 (3,83)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Koridor diatas lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Koridor lantai pertama	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses				200 (0,89)	
Jalan dipinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	8000 (35,6)	4.15
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	300 (1,33)	4.16
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)					
Ringan	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Berat	250 (11,97)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)		
Toko					
Eceran					
Lantai pertama	100 (4,79)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Lantai diatasnya	75 (3,59)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)	1000 (4,45)	
Grosir, di semua lantai	125 (6,00)	Tidak (4.7.3)	Ya (4.7.3)	1000 (4,45)	
Penghalang kendaraan				Lihat pasal 4.5.3	
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	Ya (4.7.2)	Ya (4.7.2)		
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	Tidak (4.7.5)	Tidak (4.7.5)		

Sumber : Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan
Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)

3. Beban Gempa

Gedung ini akan direncanakan di lokasi yang terletak di Jl. Baron-Wonosari, Ngepung, Kemadang, Kecamatan Tanjungsari, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Di mana daerah ini memiliki potensi gempa yang besar karena terdapat Gunung Merapi yang masih aktif. Oleh karena itu bangunan gedung ini harus didesain sebagai bangunan gedung tahan gempa yang sesuai dengan standar. Berikut adalah parameter dalam menganalisis beban gempa dalam perancangan struktur bangunan gedung dengan mengacu pada SNI 1726-2019.

a. Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Dalam menentukan kategori risiko gempa dapat mengacu pada peraturan SNI 1726-2019 yang dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>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.</p>	III

Sumber : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)

Lanjutan Tabel 3. 2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Sumber : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)

Faktor Keutamaan Gempa (I_e) adalah nominal faktor pengali yang digunakan untuk mengalikan pembesaran gempa sesuai dengan tingkat risiko bangunan tersebut di atas berdasarkan SNI 1726-2019. Berikut merupakan tabel faktor keutamaan gempa (I_e).

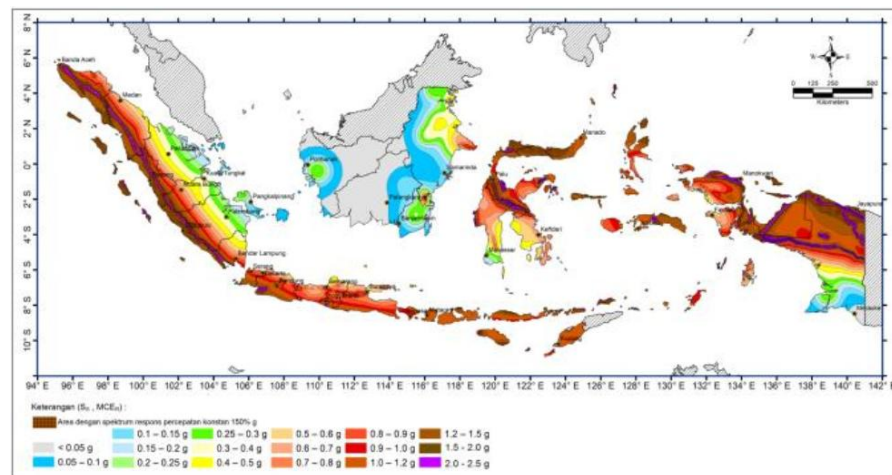
Tabel 3. 3 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

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

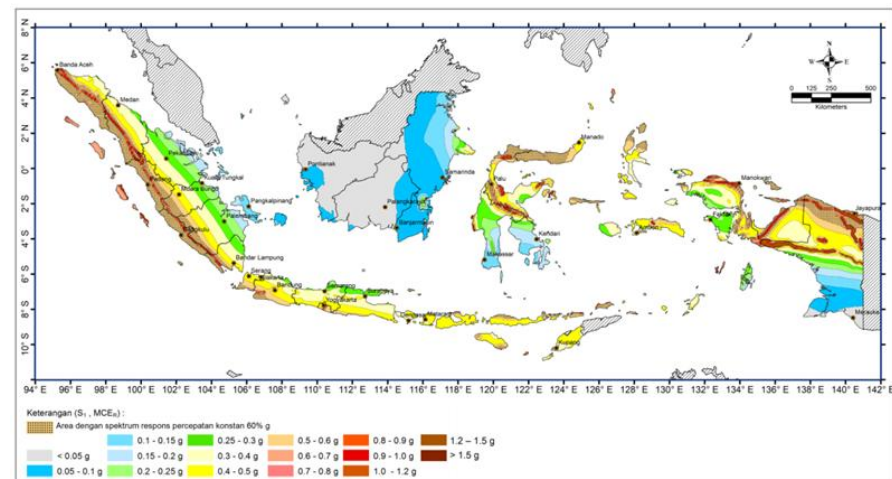
Sumber : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)

b. Parameter Gerak Tanah S_s dan S_1

Parameter S_s adalah percepatan batuan dasar periode pendek 0,2 detik. Sedangkan S_1 adalah percepatan batuan dasar periode 1 detik. Parameter-parameter ini ditentukan berdasarkan lokasi daerah bangunan tersebut direncanakan. Nilai S_s dan S_1 dapat dilihat pada peta gerak tanah seismik pada gambar berikut.



Gambar 3. 1 Parameter Gerak Tanah S_s



Gambar 3. 2 Parameter Gerak Tanah S_1

c. Koefisien Situs F_a dan F_v

Koefisien situs didapatkan dari kelas situs tanah dan parameter gerak tanah gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget MCE_R pada periode $T = 0,2$ detik yaitu (F_a) dan periode $T = 1$ detik yaitu (F_v). Nilai

dari koefisien-koefisien tersebut dapat diperoleh dari tabel koefisien situs (Fa) dan (Fv) berdasarkan SNI 1726-2019 berikut.

Tabel 3. 4 Tabel Koefisien Situs (Fa) berdasarkan SNI 1726-2019

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

Sumber : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)

Tabel 3. 5 Tabel Koefisien Situs (Fv) Berdasarkan SNI 2726-2019

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)

d. Parameter Respons Spektral Maksimum (S_{MS}) & (S_{M1})

Parameter respons spektral maksimum digolongkan menjadi dua yaitu parameter respons spektral maksimum periode pendek dan parameter respons spektral maksimum periode 1 detik.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3.1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (3.2)$$

Keterangan :

S_{MS} = Parameter respons spektral maksimum periode pendek

S_{M1} = Parameter respons spektral maksimum periode 1 detik

S_s = Percepatan batuan dasar periode pendek 0,2 detik

S_1 = Percepatan batuan dasar periode pendek 1 detik

e. Parameter Percepatan Spektral Desain (S_{DS}) & (S_{D1})

Parameter percepatan spektral desain ini dibagi menjadi dua yaitu parameter respons percepatan spektral desain periode pendek dan periode 1 detik. Berikut adalah persamaan dari parameter percepatan spektral desain periode pendek dan periode 1 detik.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (3.4)$$

Keterangan:

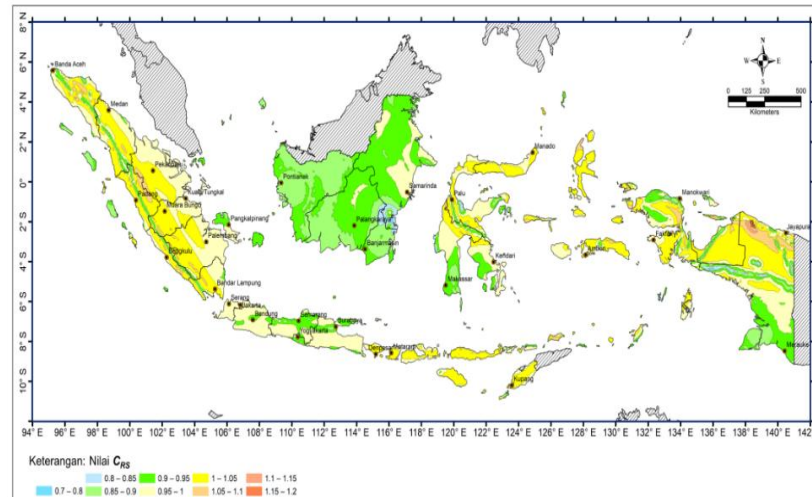
S_{MS} = Parameter respons spektral maksimum pada periode pendek

S_{M1} = Parameter respons spektral maksimum pada periode 1 detik

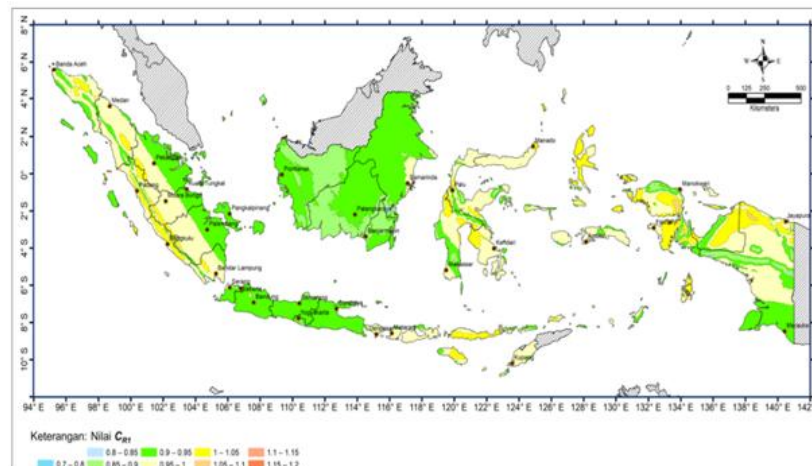
S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

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

- f. Koefisien Risiko Terpetakan Periode $T=0,2$ detik (C_{RS}) dan $T=1$ detik (C_{R1})
 Koefisien risiko terpetakan ditentukan berdasar lokasi gedung yang akan dibangun. Koefisien ini diatur di dalam SNI 1726-2019. Berikut merupakan gambar koefisien risiko terpetakan periode 0,2 detik dan 1 detik.



Gambar 3. 3 koefisien risiko terpetakan periode 0,2 detik (C_{RS})



Gambar 3. 4 koefisien risiko terpetakan periode 1 detik (C_{R1})

- g. Periode Getar Fundamental Struktur 0 detik (T_0) dan 1 detik (T_s)
 Nilai dari periode getar fundamental struktur 0 detik (T_0) dan 1 detik (T_s) dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{SD1}{SDS} \quad (3.5)$$

$$T_s = \frac{SD_1}{SDS} \quad (3.6)$$

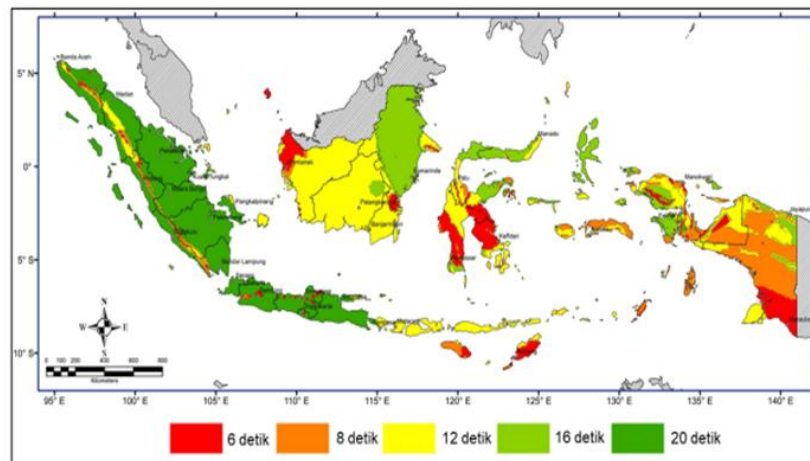
Keterangan :

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

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

h. Transisi Periode Panjang (T_L)

Transisi periode panjang didapatkan dari lokasi gedung akan dibangun. Berikut merupakan peta transisi periode panjang wilayah Indonesia yang diatur dalam SNI 1726-2019.



Gambar 3. 5 Peta Transisi Periode Panjang Wilayah Indonesia

i. Spektrum Respons Desain (S_a)

Nilai spektrum respons desain (S_a) didapatkan dari beberapa kondisi, antara lain sebagai berikut.

1) Nilai periode lebih kecil dari T_0 ($T < T_0$)

$$S_a = S_{DS} \times (0,4 + 0,6 \times \frac{T}{T_0}) \quad (3.7)$$

2) Nilai periode di antara atau sama dengan nilai T_0 dan T_s ($T_0 \leq T \leq T_s$)

$$S_a = S_{DS} \quad (3.8)$$

- 3) Nilai periode lebih besar dari T_s namun lebih kecil dari atau sama dengan T_L ($T_s < T \leq T_L$)

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.9)$$

- 4) Nilai periode lebih besar dari T_L ($T_L < T$)

$$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \quad (3.10)$$

Keterangan :

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

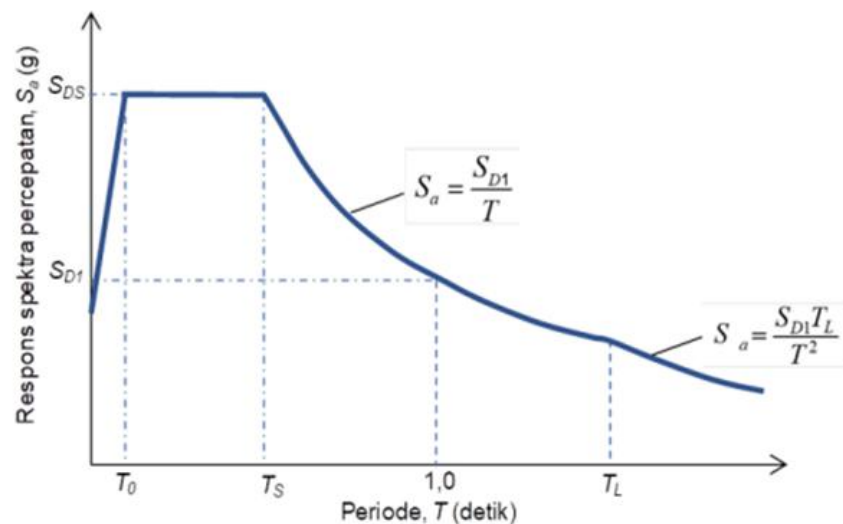
S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T_0 = Periode getar fundamental struktur 0 detik

T_s = Periode getar fundamental struktur 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

Selanjutnya setelah memperoleh hasil dari persamaan-persamaan di atas dapat digambarkan grafik respons spektrum sebagai berikut.



Gambar 3. 6 Grafik Respons Spektrum Desain

Sumber : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)

j. Periode Fundamental Pendekatan (T_a)

Periode Fundamental Pendekatan (T_a) dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$T_a = C_t \times H_n^x \quad (3.11)$$

Keterangan:

T_a = Periode fundamental pendekatan (detik)

H_n = Ketinggian struktur bangunan (meter)

Nilai C_t dan x ditentukan pada Tabel 18 SNI 1726-2019 sebagai berikut.

Tabel 3. 6 Nilai Parameter Pendekatan C_t dan x

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

Sumber : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)

k. Koefisien Respons Seismik (C_s)

Nilai koefisien respons seismik (C_s) dapat dicari dengan persamaan berikut. Persamaan ini diambil dari SNI 1726-2019 halaman 70.

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.12)$$

Untuk $T \leq T_L$

$$C_{s \max} = \frac{SD1}{T \times \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.13)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_{s \max} = \frac{SD1 T_L}{T^2 \times \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.14)$$

$$C_{s \min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.15)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana $S1 \geq 0,6g$

$$C_{s \min} = \frac{0,5 \cdot S1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.16)$$

Keterangan:

SDS = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

$SD1$ = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

I = Faktor keutamaan gempa

C_s = Koefisien respons seismik

$C_{s \max}$ = Koefisien respons seismik maksimum

$C_{s \min}$ = Koefisien respons seismik minimum

$S1$ = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

1. Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Nilai gaya geser dasar seismik (V) dapat dicari dengan persamaan berikut.

Persamaan ini diambil dari SNI 1726-2019 halaman 69.

$$V = C_s \times W \quad (3.17)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

m. Faktor Skala Gempa

Faktor skala gempa atau *response spectrum scale factor* dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$S_f = \frac{g \cdot I_e}{R} \quad (3.18)$$

Keterangan:

S_f = faktor skala gempa

g = gravitasi

I_e = kategori desain seismik

R = koefisien modifikasi respons

3.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan dilakukan dengan mengacu pada SNI 1726 : 2019 dan SNI 1727 : 2020 dengan hanya memperhitungkan beban-beban sebagai berikut.

1. Beban Hidup
2. Beban Mati
3. Beban Gempa

Berikut adalah kombinasi pembebanan yang digunakan dalam analisis.

$$1. \quad 1,4 D \quad (3.19)$$

$$2. \quad 1,2 D + 1,6 L + 0,5 L_r \quad (3.20)$$

$$3. \quad 1,2 D + E_v + E_h + L \quad (3.21)$$

$$4. \quad 0.9 D - E_v + E_h \quad (3.22)$$

Pada kombinasi 3 dan 4 yang memiliki beban gempa, di mana hal tersebut telah diatur pada SNI 1726 : 2019 pada pasal 7.4 yaitu sebagai berikut.

$$E_h = \rho Q_E \quad (3.23)$$

$$E_v = 0,2 S_{DS} D \quad (3.24)$$

Sehingga dari persamaan tersebut disubstitusikan lalu didapatkan kombinasi pembebanan sebagai berikut.

$$1. \quad 1,4 D \quad (3.25)$$

$$2. \quad 1,2 D + 1,6 L + 0,5 L_r \quad (3.26)$$

$$3. \quad (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0 L \pm 1,0 \rho E_X \pm 0,3 \rho E_Y \quad (3.27)$$

$$4. \quad (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0 L \pm 0,3 \rho E_X \pm 1,0 \rho E_Y \quad (3.28)$$

$$5. \quad (0,9 - 0,2 S_{DS})D \pm 1,0 \rho E_X \pm 0,3 \rho E_Y \quad (3.29)$$

$$6. \quad (0,9 - 0,2 S_{DS})D \pm 0,3 \rho E_X \pm 1,0 \rho E_Y \quad (3.30)$$

Keterangan :

D = Beban mati

L = Beban hidup

L_r = Beban hidup atap

ρ = Faktor redundansi

E_v = Pengaruh beban seismik vertikal

E_h = Pengaruh beban seismik horizontal

Q_E = Pengaruh beban gempa

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

E_X = Beban gempa arah x

E_Y = Beban gempa arah y

Pada SNI 1726 : 2019 Pasal 7.3.4.2 nilai faktor redundansi (ρ) untuk kategori desain seismik D sampai F harus sebesar 1,3. Kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi maka ρ diizinkan sebesar 1,0:

1. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan Tabel 15 SNI 1726-2019;
2. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem pemikul gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter pemikul gaya seismik yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar. Jumlah

bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, h_{sx} , untuk konstruksi rangka ringan.

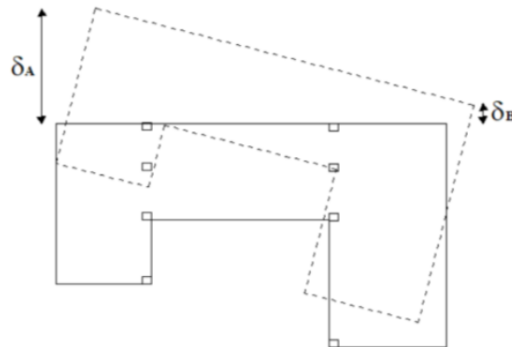
3.5 Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal

Gaya gempa akan menghasilkan pengaruh kinerja struktur yang berbeda jika diaplikasikan pada gedung beraturan dan tidak beraturan dengan intensitas beban yang sama (Purba, 2014). Maka dari itu SNI 1726-2019 Tabel 13 Pasal 7.3.3.4 telah mengklasifikasikan ketidakberaturan menjadi dua jenis yaitu ketidakberaturan horizontal dan vertikal yang kemudian akan terbagi lagi menjadi tipe-tipe ketidakberaturan.

1. Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan horizontal terdiri dari beberapa tipe yaitu sebagai berikut.

a. Ketidakberaturan torsi dan torsi berlebihan (1a dan 1b)



Gambar 3. 7 Ketidakberaturan 1a dan 1b

1) Ketidakberaturan torsi terjadi jika $1,2 \delta_{avg} \leq \delta_{max} \leq 1,4 \delta_{avg}$

2) Ketidakberaturan torsi berlebihan terjadi jika $\delta_{max} > 1,4 \delta_{avg}$

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2 \delta_{avg}} \right)^2 \quad (3.31)$$

Keterangan :

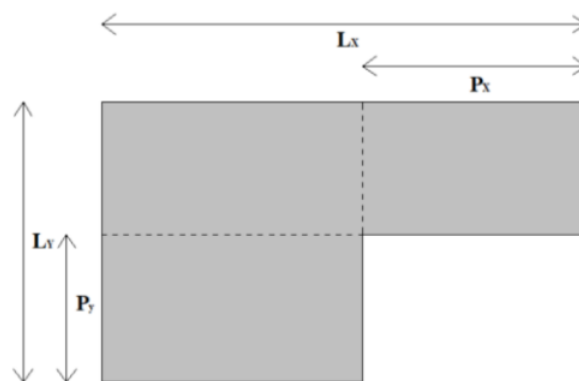
δ_{max} = Perpindahan maksimum pada tingkat x dengan asumsi $A_x = 1$ mm

δ_{avg} = Rata-rata δ_a dan δ_b dengan asumsi $A_x = 1$ mm

Persyaratan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.

b. Ketidakberaturan sudut dalam

Ketidakberaturan sudut dalam diartikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.



Gambar 3. 8 Gambar Ketidakberaturan Sudut Dalam

Dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut.

$$P_x/L_x > 0,15 \quad (3.32)$$

$$P_y/L_y > 0,15 \quad (3.33)$$

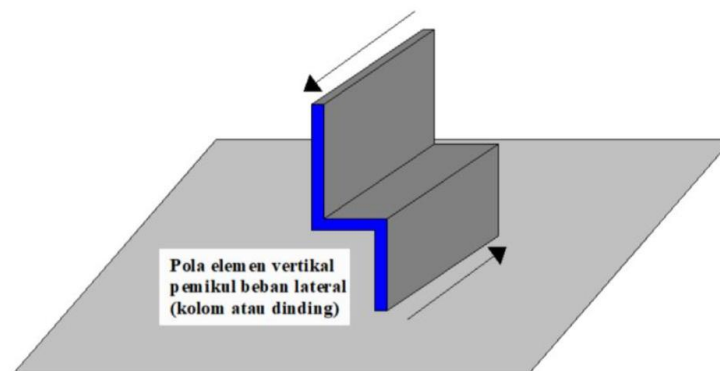
c. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas ada apabila terdapat diafragma atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang memiliki daerah terpotong atau terbuka $> 0,5$ daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan efektif diafragma $> 0,5$ dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya. Gambar ketidakberaturan diskontinuitas diafragma dapat dilihat pada gambar berikut.



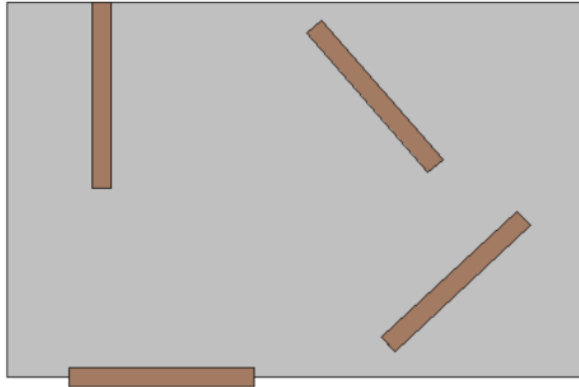
Gambar 3. 9 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

- d. Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang
Ketidakberaturan ini didefinisikan ada apabila terdapat diskontinuitas lintasan tahanan gaya lateral. Hal ini seperti pergeseran elemen vertikal tegak lurus terhadap bidangnya setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral. Ketidakberaturan ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. 10 Ketidakberaturan Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

- e. Ketidakberaturan sistem nonparalel
Ketidakberaturan ini ada apabila elemen vertikal pemikul gaya tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik. Ketidakberaturan ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. 11 Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

2. Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal terdiri dari beberapa tipe yaitu sebagai berikut.

a. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan lunak berlebihan

Ketidakberaturan ini memiliki arti jika ada satu tingkat memiliki kekakuan yang lebih kecil dari tingkat-tingkat di atasnya. Dalam hal ini ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan lunak berlebihan memiliki batasan sebagai berikut.

1a) ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak

Kekakuan suatu tingkat lebih kecil dari 70% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

Hal tersebut dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$K_x < 0,7 K (x + 1) \text{ atau} \quad (3.34)$$

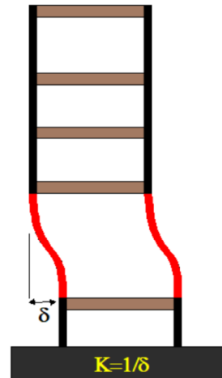
$$K_x < 0,8 [K (x+1) + K(x+2) + K(x+3)]/3 \quad (3.35)$$

1b) ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan

Kekakuan suatu tingkat lebih kecil dari 60% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Hal tersebut dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$K_x < 0,6 K (x + 1) \text{ atau} \quad (3.36)$$

$$K_x < 0,7 [K (x+1) + K(x+2) + K(x+3)]/3 \quad (3.37)$$



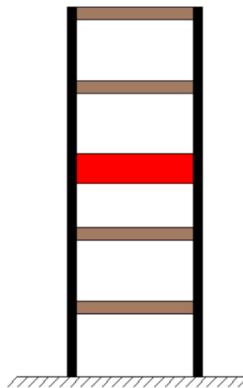
Gambar 3. 12 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a dan 1b

b. Ketidakberaturan berat (Massa)

Ketidakberaturan berat didefinisikan ada apabila massa efektif di suatu tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau. Sehingga dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut.

$$M_x > 1,5 M_{(x+1)} \text{ atau} \quad (3.38)$$

$$M_x > 1,5 M_{(x-1)}$$



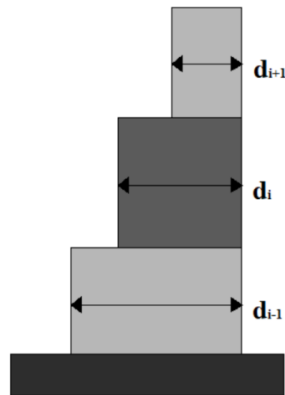
Gambar 3. 13 Ketidakberaturan Berat (Massa)

c. Ketidakberaturan geometri vertikal

Ketidakberaturan geometri vertikal terjadi apabila dimensi horizontal sistem pemikul gaya di suatu tingkat $> 1,3$ dimensi horizontal sistem pemikul gaya pada tingkat di dekatnya.

$$L_x > 1,3 L_{(x+1)} \text{ atau} \quad (3.39)$$

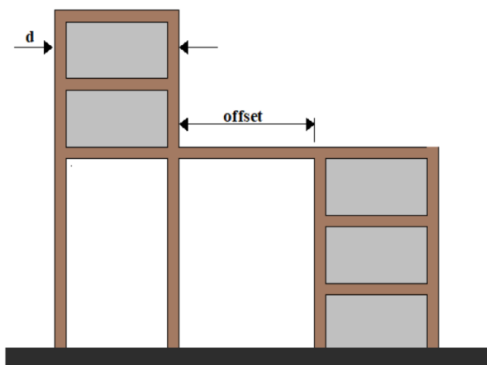
$$L_x > 1,3 L_{(x-1)} \quad (3.40)$$



Gambar 3. 14 Ketidakberaturan Geometri Vertikal

- d. Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral

Ketidakberaturan ini ada apabila terdapat *offset* atau pergeseran elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat bawahnya.



Gambar 3. 15 Ketidakberaturan Diskontinuitas Bidang

- e. Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat dan lemah berlebihan

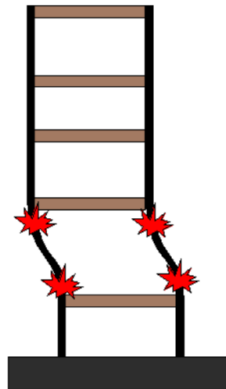
Ketidakberaturan ini memiliki kemiripan dengan ketidakberaturan nomor satu dengan perbedaan peninjauan dari kekakuan tingkat dan kekuatan tingkatnya dari suatu bangunan.

5a) Ketidakberaturan tingkat lemah

Ketidakberaturan ini terjadi jika kekuatan suatu tingkat $< 0,8$ tingkat di atasnya.

5b) Ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan

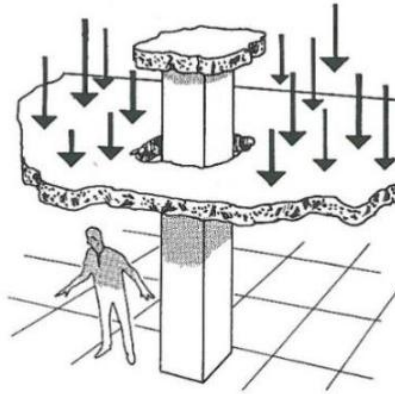
Ketidakberaturan ini terjadi jika kekuatan tingkat $< 0,65$ tingkat di atasnya.



Gambar 3. 16 Ketidakberaturan Tingkat Lemah 5a dan 5b

3.6 Perencanaan Pelat

flat slab merupakan struktur pelat dua arah di mana struktur ini langsung meneruskan beban kepada kolom tanpa melalui balok. Sementara balok-balok tepi atau balok eksterior bisa jadi ada atau tidak. Hal ini memungkinkan struktur mengalami kegagalan yang diakibatkan oleh *punching shear* ketika menerima beban lateral. Hal tersebut dapat mengakibatkan pengurangan daktilitas struktur sehingga dapat menyebabkan keruntuhan getas dari struktur tersebut. Kegagalan *punching shear* dapat dilihat pada gambar berikut.



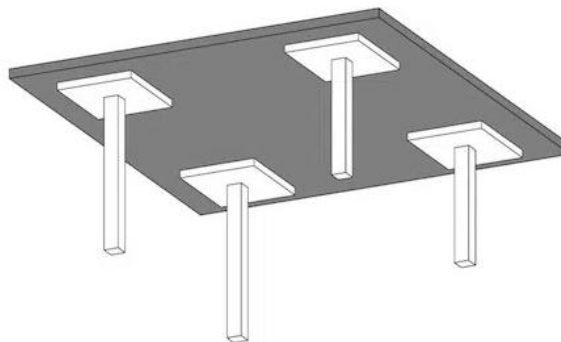
Gambar 3. 17 Kegagalan *Punching Shear*

(Sumber : Mizrael & Muttoni, 2008)

Namun jenis kegagalan ini dapat diantisipasi dengan melakukan penebalan pada daerah kritis pelat di sekitar kolom penumpu. Terdapat dua jenis penebalan pada daerah tersebut yaitu sebagai berikut :

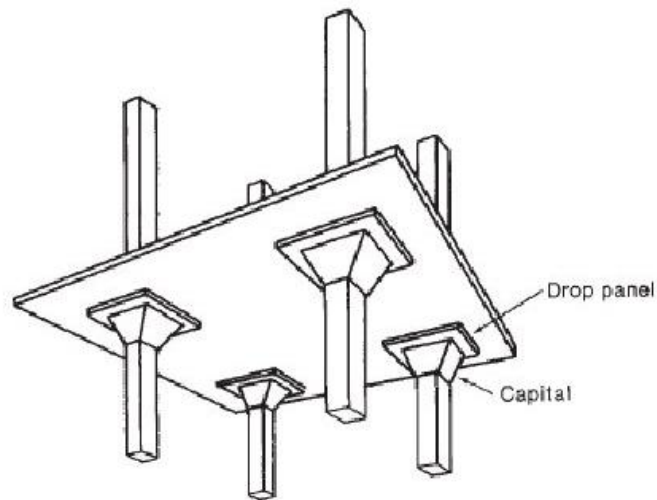
1. *Drop panel* adalah penebalan pelat di area kolom.
2. Kepala kolom (*column capital*) adalah pelebaran kolom pada area pertemuan dengan pelat di atasnya.

Berikut adalah gambar dari *flat slab* dengan *drop panel* dan *flat slab* dengan *drop panel* dan *column capital*.



Gambar 3. 18 *Flat Slab* dengan *Drop Panel*

(Sumber : <https://www.structuralguide.com/flat-slab/>)



Gambar 3. 19 Flat Slab dengan Drop Panel dan Capital Column
(Sumber : Wigh & McGregor, 2011)

Flat slab dapat dianalisis dengan dua jenis metode desain yaitu metode desain langsung (*direct design method*) dan metode portal ekuivalen (*equivalent frame method*). (Burhanudin dkk, 2018) mengatakan bahwa metode desain langsung merupakan metode dengan pendekatan untuk mengevaluasi serta mendistribusikan momen total pada panel pelat dua arah. Metode ini mendapatkan hasil pendekatan momen dan geser dengan memakai koefisien-koefisien yang disederhanakan. Sedangkan (Hasibuan & Kurniati, 2020) mengatakan bahwa metode portal ekuivalen merupakan metode dengan mendistribusikan momen menggunakan kekakuan pada setiap rentang. Pada dasarnya metode ini memerlukan distribusi momen beberapa kali sehingga mendapatkan hasil yang lebih eksak.

Metode desain langsung diatur dalam SNI 2847-2019 pada pasal 8.10, metode ini memiliki beberapa batasan untuk dapat digunakan yang telah diatur dalam pasal 8.10.2 antara lain sebagai berikut.

1. Setidaknya terdapat tiga bentang menerus pada masing-masing arah.
2. Panjang bentang berurutan yang diukur dari pusat ke pusat tumpuan dalam masing-masing arah harus tidak boleh berbeda lebih dari sepertiga bentang terpanjang.

3. Panel berbentuk persegi dengan rasio dimensi terpanjang terhadap terpendek tidak melebihi 2 yang diukur dari pusat ke pusat tumpuan.
4. Posisi kolom diperbolehkan menyimpang dengan maksimal 10% dari bentang, dari arah pergeseran masing-masing sumbu di antara titik pusat kolom yang berurutan.
5. Beban yang diperhitungkan hanya akibat beban gravitasi dan terdistribusi merata di seluruh panel.
6. Beban hidup tak terfaktor maksimal dua kali beban mati tak terfaktor.
7. Panel dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi persamaan berikut untuk balok dalam dua arah tegak lurus.

$$0,2 \leq \frac{\alpha_{f1} \ell_2^2}{\alpha_{f2} \ell_1^2} \leq 5,0 \quad (3.41)$$

Dengan α_{f1} dan α_{f2} dihitung dengan persamaan berikut.

$$\alpha_f = \frac{E_c I_c}{E_s I_s} \quad (3.42)$$

3.6.1 Langkah Analisis Metode Perencanaan Langsung

Mendesain *flat slab* dengan metode perencanaan langsung (*direct design method*) dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut.

1. Menentukan ketebalan minimum pelat dua arah tanpa balok interior
Mengacu pada SNI 2847-2019 pasal 8.3 tabel 8.3.1.1 ketebalan minimum pelat dapat dicari dengan tabel berikut.

Tabel 3. 7 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior (mm)

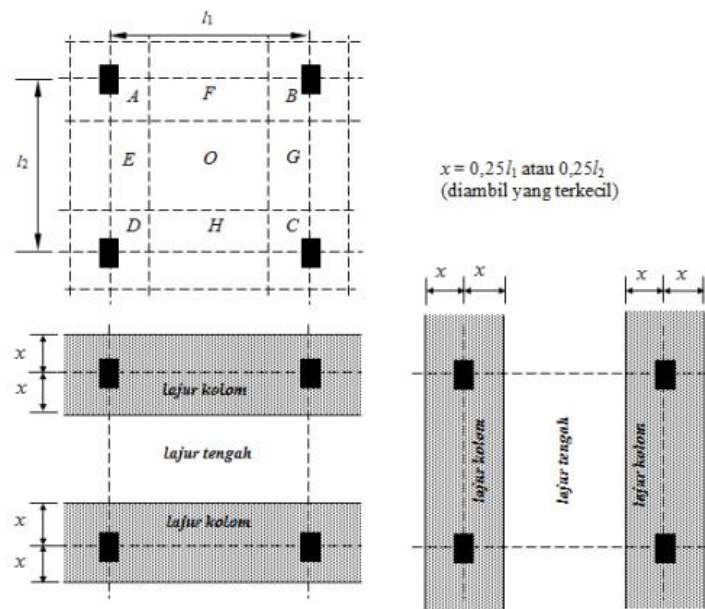
f_y , MPa ^[2]	Tanpa <i>drop panel</i> ^[3]			Dengan <i>drop panel</i> ^[3]		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ^[4]	
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

(Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 8.3.1.1)

Nilai ketebalan minimum pelat dapat dihitung dengan interpolasi linear berdasarkan tabel di atas dengan ketebalan minimum pelat tanpa drop panel tidak boleh lebih kecil dari 125 mm dan ketebalan minimum pelat dengan drop panel tidak boleh lebih kecil dari 100 mm. Dengan l_n adalah bentang bersih pada arah memanjang yang diukur dari muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok.

2. Membagi bagian menjadi lajur kolom dan lajur tengah

Dalam analisis menggunakan metode perencanaan langsung, maka pelat akan dibagi menjadi lajur kolom dan lajur tengah dengan gambar sebagai berikut.



Gambar 3. 20 Lajur Kolom dan Lajur Tengah

Lajur kolom adalah lajur antara sisi sumbu kolom dan kolom dengan nilai terkecil dari 0,25 bentang panjang atau bentang pendek. Sedangkan lajur tengah adalah lajur di antara lajur kolom yang saling bersebelahan. Nilai lajur tengah adalah luasan satu pelat selain lajur kolom.

3. Distribusi momen pada pelat dalam

Mengacu pada SNI 2847-2019 pasal 8.10.4.1 pada bentang pelat dalam, harus dilakukan distribusi momen dengan nilai 65% dari M_0 terhadap momen negatif,

serta 35% dari M_0 terhadap momen positif, dengan M_0 adalah momen statis terfaktor yang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$M_o = \frac{q_u \ell_2 \ell_n^2}{8} \quad (3.43)$$

4. Distribusi momen pada pelat ujung

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 8.10.4.2 pada bentang pelat ujung, M_0 harus didistribusikan sesuai pada tabel koefisien distribusi sebagai berikut.

Tabel 3. 8 Koefisien Distribusi untuk Bentang Ujung

	Tepi eksterior tak ter- kekang	Pelat dengan balok antara semua tumpuan	Pelat tanpa balok antara tumpuan interior		Tepi eksterior ter- kekang penuh
			Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
Negatif interior	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65
Positif	0,63	0,57	0,52	0,50	0,35
Negatif eksterior	0	0,16	0,26	0,30	0,65

(Sumber SNI 2847-2019 tabel 8.10.4.2)

5. Distribusi momen ke lajur kolom dan lajur tengah

Momen terfaktor (M_0) yang telah dibahas, sebagian harus didistribusikan ke kedua buah lajur kolom dan ke kedua lajur tengah pada panel pelat yang berdekatan.

a) Lajur kolom harus menahan bagian dari momen negatif interior

Tabel 3. 9 Momen Negatif Interior Mu di Lajur Kolom

$a_n \ell_2 / \ell_1$	ℓ_2 / ℓ_1		
	0,5	1,0	2,0
0	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

- b) Lajur kolom harus menahan bagian dari momen positif interior

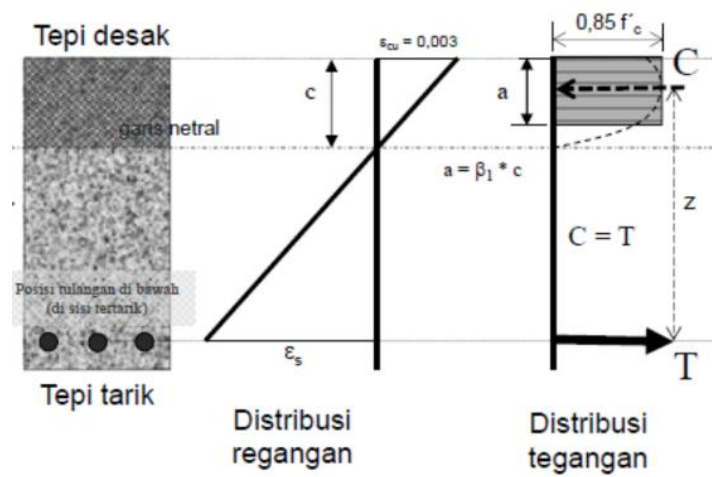
Tabel 3. 10 Momen Positif Mu di Lajur Kolom

$\alpha_1 \ell_2 / \ell_1$	ℓ_2 / ℓ_1		
	0,5	1,0	2,0
0	0,60	0,60	0,60
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

3.6.2 Tulangan Pelat

1. Diagram tegangan regangan beton

Setelah didapatkan momen dari hasil analisis struktur, maka penulangan pelat dapat didesain. Sebelum masuk ke dalam perhitungan penulangan, harus paham akan konsep diagram tegangan-regangan beton bertulang terlebih dahulu. Berikut adalah diagram tegangan-regangan beton bertulang.



Gambar 3. 21 Gambar Distribusi Tegangan Regangan Beton Bertulang

Gambar tersebut menjelaskan diagram tegangan-regangan beton bertulang. Di mana nilai T_s dan C_c nilainya sama, dalam kata lain nilai tersebut dikatakan seimbang. Nilai T_s dan C_c yaitu sebagai berikut.

$$T_s = A_s \times F_y \quad (3.44)$$

$$C_c = 0.85 \times F'_c \times a \times B \quad (3.45)$$

Keterangan :

T_s : Gaya tarik baja tulangan (N)

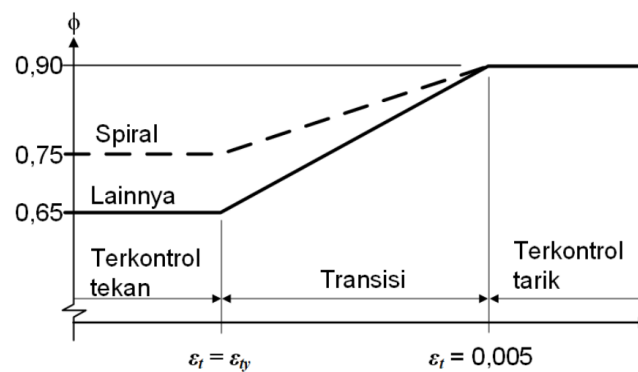
C_c : Gaya desak beton (N)

A_s : Luas tulangan (mm^2)

- F_y : Mutu kuat tarik baja (MPa)
 F'_c : Mutu kuat tekan beton (MPa)
 a : Blok tekan beton (mm)
 B : Lebar penampang (mm)

2. Grafik nilai reduksi kekuatan

Setelah memahami konsep tegangan-regangan beton bertulang selanjutnya kita harus memahami grafik nilai reduksi kekuatan. Nilai ini diatur dalam SNI 2847-2019 Pasal 21.2.2 yang bergantung pada nilai regangan $\epsilon_t = f_y/E_s$.



Gambar 3. 22 Gambar Grafik Nilai Reduksi Kekuatan (ϕ)
 (Sumber SNI 2847-2019 Pasal 21.2.2)

Grafik tersebut berfungsi sebagai alat kontrol agar kekuatan desain beton bertulang memiliki kekuatan yang lebih besar dari kekuatan yang dibutuhkan. Desain beton bertulang direncanakan pada kondisi tarik dengan tujuan agar beton bertulang tersebut bersifat daktail sehingga keruntuhan yang terjadi tidak bersifat tiba-tiba atau getas.

3. Perhitungan tulangan

Berikut merupakan langkah-langkah dalam mendesain tulangan pelat.

- a) Input nilai S dengan syarat.

$$S_{1 \text{ Max}} = 2h \text{ pada penampang kritis} / 3h \text{ pada penampang lainnya}$$

$$S_{2 \text{ Max}} = 450 \text{ mm}$$

- b) Jumlah tulangan (n) pada setiap $b = 1000\text{mm}$.

$$n = \frac{1000}{s} \quad (3.46)$$

- c) Luas tulangan pasang (A_s pasang).

$$A_{s \text{ pasang}} = n \times A_{db} \quad (3.47)$$

$$A_{s \text{ min}} (f_y < 420 \text{ MPa}) = 0.002 A_g \quad (3.48)$$

$$A_{s \text{ min}} (f_y \geq 420 \text{ MPa}) = 0.0014 A_g \quad (3.49)$$

d) Tinggi blok tekan (a).

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times B} \quad (3.50)$$

e) Momen nominal (M_n).

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2) \quad (3.51)$$

Struktur dapat dikatakan aman jika memenuhi $\Phi \times M_n \geq M_u$.

Keterangan :

Φ : Nilai reduksi kekuatan

M_n : Momen nominal rencana (N-mm)

M_u : Momen ultimit hasil analisis struktur (N-mm)

A_{db} : Luas satu buah tulangan (mm^2)

d : Tinggi efektif (mm)

Langkah-langkah di atas dilakukan pada tulangan atas dan tulangan bawah serta tulangan lapangan maupun tulangan tumpuan berdasarkan momen ultimit masing-masing kondisi. Terdapat beberapa batasan dalam mendesain penulangan yaitu sebagai berikut:

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

$A_{s \text{ minimum}}$ diatur pada SNI 2847-2019 Pasal 8.6.1.1 dengan nilai sebagai berikut.

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

Gambar 3. 23 $A_{s \text{ min}}$ untuk Pelat Dua Arah Non Prategang
(Sumber SNI 2847-2019 Tabel 8.6.1.1)

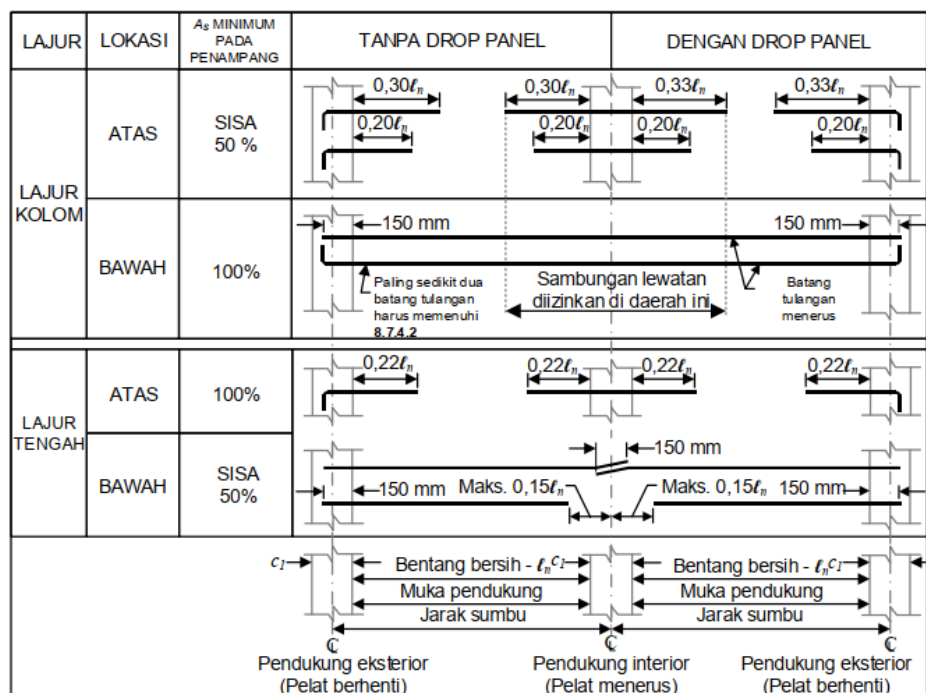
A_g adalah A_{gross} dengan nilai $B \times h$. Nilai B pada pelat biasa diambil 1 meter.

b) Jarak tulangan maksimum (S_{maks})

Untuk pelat solid non prategang spasi maksimum yang diperbolehkan dalam SNI 2847-2019 Pasal 8.7.2.2 yaitu sebesar $2h$ dan 450 mm pada penampang kritis, dan yang terkecil dari $3h$ dan 450 mm pada penampang lainnya. Pasal 24.4.3.3 spasi tulangan susut dan suhu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari $5h$ dan 450mm.

4. Detail penyaluran tulangan

Mengacu pada SNI 2847-2019 gambar 8.7.4.1.3.a panjang penyaluran detail tulangan untuk pelat dua arah tanpa balok dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. 24 Detail Penyaluran Tulangan pada Pelat Dua Arah Tanpa Balok
(Sumber SNI 2847-2019 Pasal 8.7.4.1.3)

3.7 Perencanaan Drop Panel

Drop panel merupakan struktur yang berfungsi untuk menahan kegagalan yang diakibatkan oleh *punching shear* ketika menerima beban lateral. Drop panel merupakan penebalan pada daerah kritis pelat di sekitar kolom penumpu. Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 8.2.4 perencanaan drop panel diatur sebagai berikut.

1. Dimensi Drop Panel

- a. Menjorok di bawah slab paling sedikit seperempat tebal slab di sebelahnya

$$H_{\text{drop panel}} \geq 1/4 h_{\text{pelat}} \quad (3.52)$$

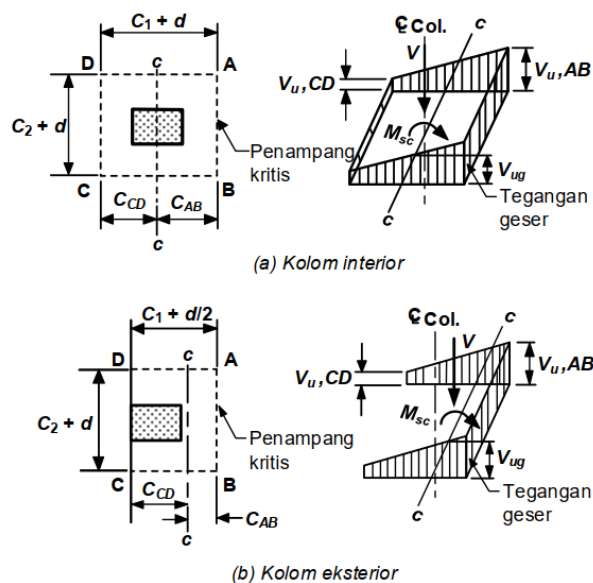
- b. Panjang drop panel menerus setiap arah dari garis pusat tumpuan dengan jarak lebih besar sama dengan seperenam panjang bentang dari pusat ke pusat tumpuan dalam arah yang ditinjau.

$$L_{\text{drop panel}} \geq 1/6 L_x \quad (3.53)$$

$$L_{\text{drop panel}} \geq 1/6 L_y \quad (3.54)$$

2. Tulangan Geser Drop Panel

Pada SNI 2847-2019 Gambar R8.4.2.3 menjelaskan distribusi asumsi tegangan pada kolom.



Gambar 3. 25 Distribusi Asumsi Tegangan pada Kolom
(Sumber SNI 2847-2019 Gambar R8.4.2.3)

- a. Perhitungan luas penampang beton untuk kolom interior dan kolom eksterior yang menahan transfer geser :

- Kolom interior

$$A_g = (c_1 + d) \times (c_2 + d) \quad (3.55)$$

- Kolom eksterior

$$A_g = (c_1 + d/2) \times (c_2 + d) \quad (3.56)$$

- b. Inersia penampang pada sumbu pusat. Bagian dari penampang kritis diasumsikan dengan momen polar inersia berdasarkan SNI 2847-2019 pasal R8.4.4.2.2 sebagai berikut :

- Kolom interior

$$J_c = \frac{d (c_1 + d)^3}{6} + \frac{d^3 (c_1 + d)}{6} + \frac{d (c_2 + d)(c_1 + d)^2}{6} \quad (3.57)$$

- Kolom eksterior

$$J_c = \frac{d (c_1 + \frac{d}{2})^3}{6} + \frac{2d}{3} (C_{ab}^3 + C_{cd}^3) + (C_2 + d)(d)(c_{ab})^2 \quad (3.58)$$

- c. Faktor untuk momen yang tak seimbang disalurkan oleh geser pada sambungan pelat – kolom :

$$\gamma_v = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{(c_1 + d)}{(c_2 + d)}}} \quad (3.59)$$

- d. Gaya geser terfaktor sebagai berikut :

$$V_{uAB} = \frac{V_u}{A_g} + \frac{\gamma_v \times M_u \times C_{AB}}{J_c} \quad (3.60)$$

$$V_{uCD} = \frac{V_u}{A_g} + \frac{\gamma_v \times M_u \times C_{CD}}{J_c} \quad (3.61)$$

- e. Cek terhadap ϕV_c . Jika $V_u > \phi V_c$ maka dibutuhkan tulangan geser.

$$\phi V_c = \phi \frac{1}{6} \sqrt{f'c} b d \quad (3.62)$$

- f. Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser ϕV_s Perlu.

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c \quad (3.63)$$

g. Jarak S tulangan dengan syarat $S < d/2$

$$S = \frac{A_v f_y d}{\phi V_s} \quad (3.57)$$

Keterangan :

A_g = Luas penampang (mm^2)

J_c = Inersia penampang pada sumbu pusat (mm^4)

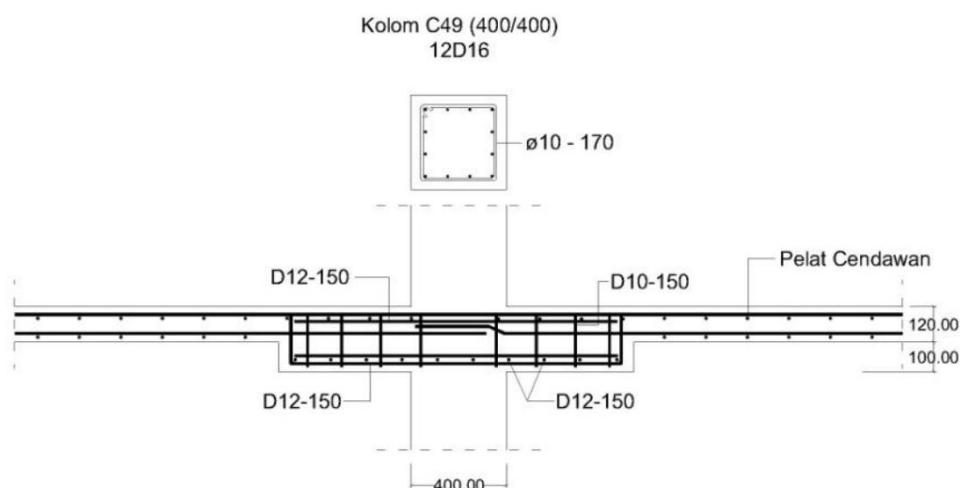
γ_v = Faktor untuk momen yang tak seimbang disalurkan oleh geser di sambungan pelat-kolom

V_u = Gaya geser terfaktor penampang (MPa)

V_c = Kekuatan geser nominal beton (N)

V_s = kekuatan geser nominal yang diberikan oleh penulangan geser (N)

S = Spasi pusat ke pusat tulangan (mm)



Gambar 3. 26 Ilustrasi Penulangan Drop Panel

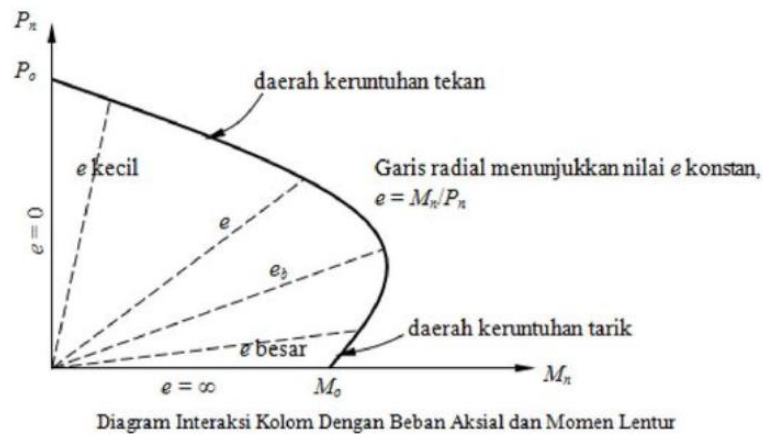
(Sumber: Agia dkk, 2016)

3.8 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan komponen struktur vertikal yang berfungsi untuk meneruskan beban transversal ke pondasi dan pada akhirnya akan ditahan oleh tanah. Pada kolom terjadi interaksi antara gaya aksial (P_n) dan momen lentur (M_n). Selain itu, pada kolom juga terdapat reaksi aksial geser (V_n). Oleh karena itu perencanaan kolom perlu perhitungan tulangan longitudinal dan tulangan transversal.

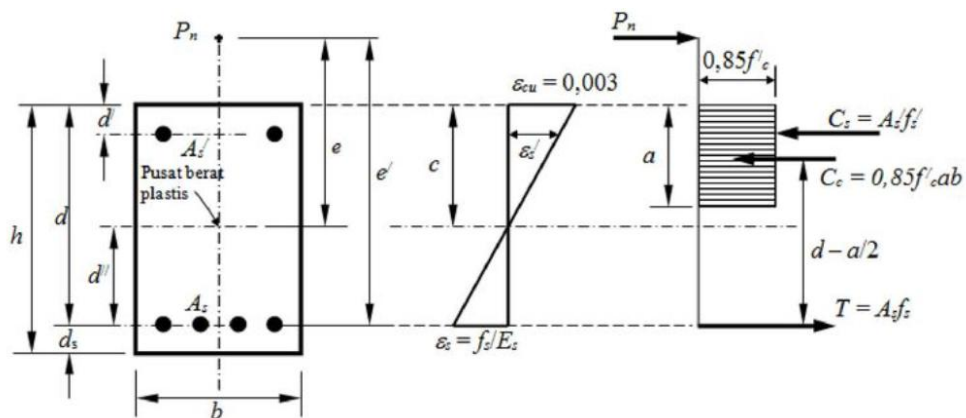
3.8.1 Tulangan Longitudinal

Dalam merencanakan sebuah kolom perlu menggambarkan terlebih dahulu diagram kombinasi antara gaya aksial dan momen terfaktor.



Gambar 3. 27 Diagram Interaksi antara Gaya Aksial dan Momen Lentur

Diagram tersebut terbentuk dari adanya eksentrisitas, $e = M_n/P_n$. di mana hal ini dapat dijelaskan melalui diagram tegangan dan regangan beton bertulang kolom sebagai berikut.



Gambar 3. 28 Diagram Tegangan dan Regangan Beton Bertulang pada Kolom

Dari gambar diagram interaksi tegangan dan regangan beton berulang pada kolom tersebut dapat diketahui bahwa $\sum H = 0$. Sehingga nilai P_n dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$\sum H = 0 \quad (3.64)$$

$$P_n - C_c - C_s + T = 0 \quad (3.65)$$

$$P_n = C_c + C_s - T \quad (3.66)$$

Dengan nilai :

$$C_c = 0,85 f'_c a b \quad (3.67)$$

$$C_s = A_s' (f_s' - 0,85 f'_c) \quad (3.68)$$

$$T = A_s f_s \quad (3.69)$$

Dalam diagram interaksi antara gaya aksial dan momen lentur (M_n - P_n) terdapat beberapa kondisi yaitu dari kondisi aksial murni ($e=0$), kondisi desak ($e < e_b$), kondisi balance ($e = e_b$), kondisi tarik ($e > e_b$), hingga kondisi lentur murni ($e = \infty$). Kondisi-kondisi tersebut dapat dilihat pada tabel 3.11 berikut.

Tabel 3. 11 Kondisi-kondisi Regangan pada Kolom

Kondisi	Garis netral	Eks (e)	Tul Tekan (fs')	Tul. Tarik (fs)	Kuat Desak (Pn)	Kuat Lentur (Mn)	ϕ
Konsentris	C=0	e~0	fy	fy	$P_{nmax} = 0,8.0,85f_c'.(A_g - A_{st}) + A_{st}.f_y$	0	0,65
Patah desak	C>Cb	e<eb	$\frac{600(c - d')}{c} \leq f_y$	$\frac{600(d - c)}{c}$	$P_n = C_c + A_s'f_y - A_s.F_s \leq P_{nmax}$	$M_n = C_c(1/2H - 1/2a) + C_s.(1/2H - d') + T_s(d - 1/2H)$	0,65
Balance	C=Cb	e=eb	$\frac{600(c - d')}{c} \leq f_y$	$\frac{600(d - c)}{c} \leq f_y$	$P_n = C_c + A_s'f_y - A_s.f_y$	$M_n = C_c(1/2H - 1/2a) + C_s.(1/2H - d') + T_s(d - 1/2H)$	0,65
Patah tarik	C<Cb	e>eb	$\frac{600(c - d')}{c}$	$\frac{600(d - c)}{c} \leq f_y$	$P_n = C_c + A_s'f_s - A_s.f_y$	$M_n = C_c(1/2H - 1/2a) + C_s.(1/2H - d') + T_s(d - 1/2H)$	0,65-0,9
Lentur Murni	C<Cb	e= ∞	$\frac{600(c - d')}{c}$	$\frac{600(d - c)}{c} \leq f_y$	0	$M_n = C_c(1/2H - 1/2a) + C_s.(1/2H - d') + T_s(d - 1/2H)$	0,9

(Sumber SNI 2847-2019)

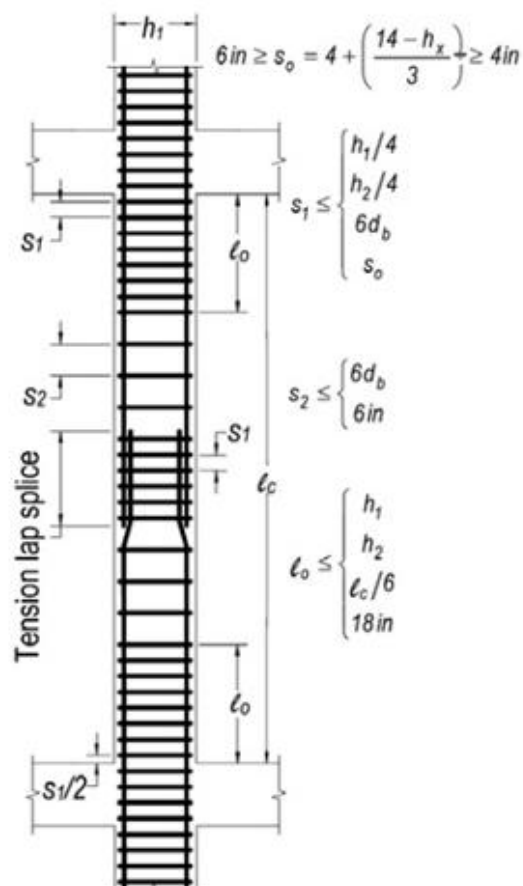
Pada setiap kombinasi beban terfaktor yang ditetapkan, kekuatan desain pada penampang harus memenuhi hal sebagai berikut.

$$\phi P_n \geq P_u \quad \rightarrow \text{pasal 22.4}$$

$$\phi M_n \geq M_u \quad \rightarrow \text{pasal 22.4}$$

$$\phi V_n \geq V_u \quad \rightarrow \text{pasal 22.5}$$

Dengan nilai ϕ ditentukan seperti pada gambar 3.23. Ilustrasi penulangan longitudinal dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. 29 Ilustrasi Tulangan Longitudinal pada Kolom

(Sumber: <https://hastomiaf.wordpress.com/>)

3.8.2 Tulangan Geser Transversal

Setelah pembuatan diagram M_n - P_n selanjutnya dilakukan desain penulangan geser kolom dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Tulangan transversal sebagai *confinement*.

Nilai Ash perlu diambil dari persamaan berikut.

Tabel 3. 12 Tulangan Transversal untuk Kolom

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

(Sumber SNI 2847-2019 Tabel 18.7.5.4)

Persyaratan sendi plastis. L_o diambil nilai terbesar dari nilai-nilai di bawah ini.

- 1/6 bentang bersih
- 450 mm
- $L_o = h$ kolom

Syarat jarak spasi pada daerah sendi plastis merujuk pada pasal 18.7.5.3 yaitu sebagai berikut :

- Seperempat dimensi terkecil penampang kolom
- Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- Nilai S_o yang tidak boleh melebihi 150mm dan tidak kurang dari 100mm.

Dengan nilai S_o sebagai berikut.

$$d) \quad S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (3.70)$$

Syarat jarak spasi pada daerah di luar sendi plastis adalah terkecil dari 6D longitudinal atau 150mm.

2. Tulangan transversal sebagai penahan gaya geser pada kolom

$$V_e = \frac{M_{prbawah} + M_{pr atas}}{l_n} \quad (3.71)$$

Keterangan :

V_e : Gaya geser (N)

M_{pr} : Kekuatan komponen lentur struktur (N-mm)

l_n : Panjang kolom (mm)

Menghitung nilai geser pada kolom.

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.72)$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \times \lambda \times \sqrt{F_c'} \times b_w \times d \quad (3.73)$$

Nilai V_c dianggap 0 jika memenuhi persamaan berikut :

$$50\% V_e > V_u \quad (3.74)$$

$$\frac{A_g f_c'}{10} > P_u \quad (3.75)$$

Nilai dari kekuatan geser nominal tulangan geser didapatkan dari persamaan berikut.

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s} \quad (3.76)$$

Keterangan :

V_c : tegangan kekuatan geser dua arah nominal beton (MPa)

V_n : kekuatan geser nominal (N)

V_s : kekuatan geser nominal yang diberikan oleh penulangan geser (N)

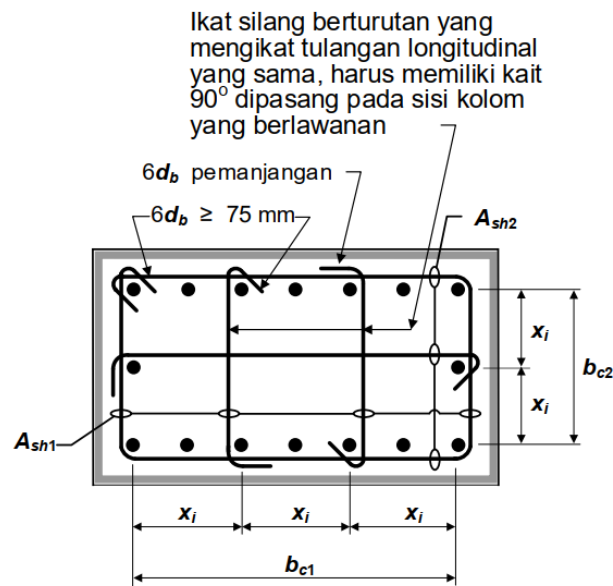
S : spasi pusat ke pusat tulangan (mm)

A_v : luas tulangan geser dalam spasi s (mm²)

A_g : luas bruto tulangan geser (mm²)

N_u : gaya aksial terfaktor (N)

Jika nilai $\phi V_n \geq V_u$ maka struktur sudah dapat dikatakan aman. Ilustrasi penulangan transversal kolom dapat dilihat pada Gambar 3.31 berikut.

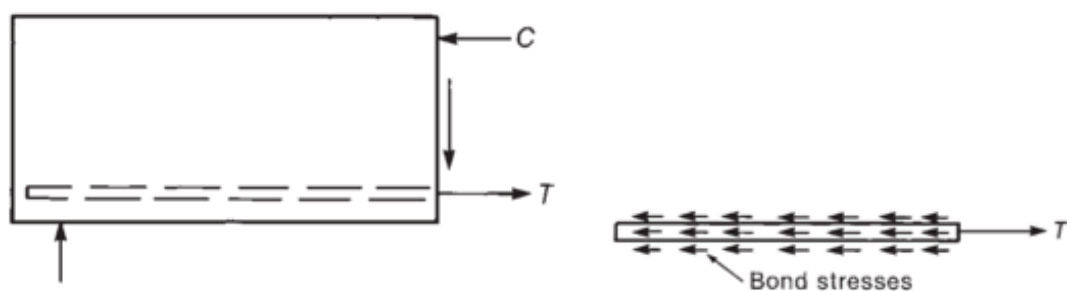


Gambar 3. 30 Ilustrasi Tulangan Transversal pada Kolom
(Sumber: SNI 2847-2019)

3.9 Panjang Penyaluran dan Sambungan Tulangan

3.9.1 Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran adalah panjang penanaman yang diperlukan untuk mencapai tegangan luluh. Baja tulangan harus tertanam dalam jarak panjang tertentu di dalam beton agar dapat menyalurkan gaya sepenuhnya. Hal ini dipengaruhi oleh *bond stress*. Berikut merupakan gambar dari *bond stress*.



Gambar 3. 31 Bond Stress

Terdapat beberapa tipe panjang penyaluran. Berikut adalah tipe-tipe panjang penyaluran baja tulangan.

1. Panjang penyaluran pada kondisi tarik
 - a. Panjang penyaluran kondisi tarik, (l_d)

Panjang penyaluran (ℓ_d) diatur pada SNI 2847-2019 Pasal 25.4.2.1 dengan mengambil nilai terbesar dari ketentuan berikut ini.

- 1) Panjang penyaluran yang dihitung sesuai dengan 25.4.2.2 atau 25.4.2.3 dengan faktor modifikasi yang berlaku pada 25.4.2.4
- 2) 300 mm

Nilai-nilai pada pasal 25.4.2.2 dan 25.4.2.3 dapat dilihat pada ketentuan berikut.

Tabel 25.4.2.2 – Panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik		
Spasi dan selimut	Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir	Batang D22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang atau kawat yang disalurkan atau disambung lewatkan tidak kurang dari d_b , selimut beton paling sedikit d_b , dan sengkang atau sengkang ikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari standar minimum atau spasi bersih batang atau kawat yang disalurkan atau disambung lewatkan paling sedikit $2d_b$ dan selimut beton paling sedikit d_b	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lainnya	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$

$$\ell_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \quad (25.4.2.3a)$$

Dimana nilai $(c_b + K_{tr})/d_b$ tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5 dan

$$K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{sn} \quad (25.4.2.3b)$$

Dimana n adalah jumlah batang atau kawat yang disalurkan atau disambungkan lewatkan di sepanjang bidang pembelahan. Diizinkan untuk menggunakan $K_{tr} = 0$ sebagai penyederhanaan desain walaupun terdapat tulangan transversal.

Gambar 3. 32 Ketentuan pada Pasal 25.4.2.2 dan Pasal 25.4.2.3

Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik dapat dilihat pada pasal 25.4.2.4 berikut.

Faktor modifikasi	Kondisi	Faktor
Beton ringan λ	Beton ringan	0,75
	Beton ringan, bila f_{ct} ditentukan	Sesuai dengan 19.2.4.3
	Beton normal	1,0
Epoksi Ψ_e	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan selimut bersih kurang dari $3d_b$ atau spasi kurang dari $6d_b$	1,5
	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan kondisi lainnya	1,2
	Tulangan tanpa pelapis atau pelapis seng (galvanis)	1,0
Ukuran Ψ_s	Batang D22 dan yang lebih besar	1,0
	Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir	0,8
Posisi pengecoran ^[1] Ψ_t	Lebih dari 30 mm beton segar diletakkan di bawah tulangan horizontal	1,3
	lainnya	1,0

^[1] Hasil dari $\Psi_t \Psi_s$ tidak boleh melebihi 1,7

Gambar 3. 33 Faktor Modifikasi Panjang Penyaluran

b. Panjang penyaluran kondisi tarik dengan kait, (l_{dh})

Panjang penyaluran kondisi tarik dengan kait diatur dalam SNI 2847-2019 Pasal 25.4.3.1 dengan mengambil nilai terbesar dari ketentuan berikut.

1) $(\frac{0,24 f_y \Psi_e \Psi_c \Psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}})d_b$ dengan $\Psi_e \Psi_c \Psi_r$ dan λ mengacu pada 25.4.3.2

2) 8 d_b

3) 150 mm

Berikut adalah ketentuan pada 25.4.3.2

Faktor Modifikasi	Kondisi	Nilai faktor
Bobot beton λ	Beton ringan	0,75
	Beton normal	1,0
Epoksi ψ_e	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi	1,2
	Tulangan tanpa pelapis atau pelapis seng (galvanis)	1,0
Selimut ψ_c	Untuk batang D36 dan yang lebih kecil dengan tebal selimut samping (normal terhadap bidang kait) ≥ 65 mm dan untuk kait 90 derajat dengan tebal selimut pada perpanjangan batang di luar kait ≥ 50 mm	0,7
	Lainnya	1,0
Tulangan pengekan ^[2] ψ_r	Untuk kait 90 derajat batang D36 dan yang lebih kecil 1. dilingkupi sepanjang ℓ_{dh} sengkang ikat atau sengkang ^[1] yang tegak lurus terhadap ℓ_{dh} pada $s \leq 3d_b$, atau 2. dilingkupi sepanjang perpanjangan tulangan melewati kait termasuk bengkokan dengan sengkang ikat atau sengkang ^[1] yang tegak lurus terhadap ℓ_{ext} pada $s \leq 3d_b$	0,8
	Untuk kait 180 derajat D36 dan yang lebih kecil dilingkupi sepanjang ℓ_{dh} dengan sengkang ikat atau sengkang ^[1] yang tegak lurus terhadap ℓ_{dh} pada $s \leq 3d_b$	
	Lainnya	1,0

Gambar 3. 34 Faktor Modifikasi untuk Panjang Penyaluran dengan Kait dalam Kondisi Tarik

c. Panjang penyaluran kondisi tarik dengan kepala, (ℓ_{dt})

Panjang penyaluran dengan kepala diatur pada SNI 2847-2019 Pasal 25.4.4.

Penggunaan kepala tulangan untuk penyaluran batang ulir pada kondisi tarik diizinkan jika memenuhi poin-poin berikut.

1) Batang harus sesuai 20.2.1.3. Pasal 20.2.1.3 berisi tulangan ulir harus sesuai poin a), b), c), d), dan e) berikut.

- a) ASTM A615 M – Baja karbon
- b) ASTM A706 M – Baja alloy rendah
- c) ASTM A996 M – Baja as dan baja rel; tulangan dari baja rel harus bertipe R
- d) ASTM A966 M – Baja nirkarat (*stainless*)
- e) ASTM A1035 M – Baja karbon kromium rendah

2) $F_y \text{ batang} \leq 420 \text{ MPa}$

3) Ukuran batang tidak melebihi D36

4) Luas tumpu netto kepala tulangan A_{brg} paling sedikit $4A_b$

5) Harus beton normal

6) Selimut bersih tulangan paling sedikit $2d_b$

7) Spasi bersih antar tulangan paling sedikit $4d_b$

Panjang penyaluran tarik berkepala dalam kondisi tarik (l_{dt}) bernilai terbesar dari poin-poin berikut ini.

a) $(\frac{0,19 f_y \Psi_e}{\sqrt{f'_c}})d_b$, dengan nilai Ψ_e diberikan pada 25.4.4.3 dan nilai f'_c tidak melebihi 40 MPa (3.77)

b) $8 d_b$

c) 150 mm

2. Panjang penyaluran pada kondisi tekan, (l_{dc})

Panjang penyaluran pada kondisi tekan harus yang terbesar dari poin-poin berikut ini.

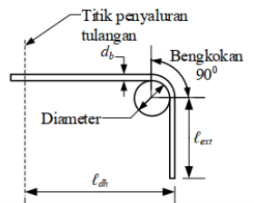
a) $(\frac{0,24 f_y \Psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}})d_b$ (3.78)

b) $0,043 f_y \Psi_r d_b$ (3.79)

c) 200 mm

3. Geometri kait panjang penyaluran tulangan (l_{ext})

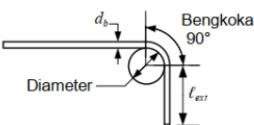
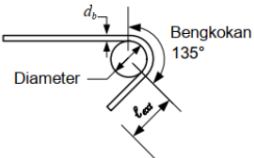
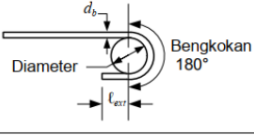
Panjang penyaluran kait untuk penyaluran batang ulir pada kondisi tarik diatur pada SNI 2847-2019 Tabel 25.3.1 sebagai berikut.

Tabel 25.3.1 – Geometri kait standar untuk penyaluran batang ulir pada kondisi Tarik				
Tipe kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus ^[1] ℓ_{ext} , mm	Tipe kait standar
Kait 90 derajat	D10 hingga D 25	$6d_b$	$12d_b$	
	D29 hingga D 36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		
Kait 180 derajat	D10 hingga D25	$6d_b$	terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D29 hingga D36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		

^[1] Kait standar untuk batang ulir pada kondisi tarik termasuk diameter sisi dalam bengkokan tertentu dan panjang perpanjangan lurus. Diizinkan untuk menggunakan perpanjangan lurus yang lebih besar pada ujung kaitnya. Penambahan perpanjangan lurus tidak diperkenankan untuk meningkatkan kapasitas pengangkutan pada kait.

Gambar 3. 35 Geometri Panjang Penyaluran Kait pada Kondisi Tarik

Geometri kait standar untuk sengkang, ikat silang , dan sengkang pengeang juga diatur dalam SNI 2847-2019 Tabel 25.3.2 sebagai berikut.

Tabel 25.3.2 – Diameter sisi dalam bengkokan minimum dan geometri kait standar untuk sengkang, ikat silang, dan sengkang pengeang				
Tipe Kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus ^[1] ℓ_{ext} , mm	Tipe kait standar
Kait 90 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$	
Kait 135 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		
Kait 180 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		

^[1] Kait standar untuk sengkang, ikat silang, dan sengkang pengeang termasuk diameter sisi dalam bengkokan tertentu dan panjang perpanjangan lurus. Diizinkan untuk menggunakan perpanjangan lurus yang lebih besar pada ujung kaitnya. Penambahan perpanjangan lurus tidak diperkenankan untuk meningkatkan kapasitas pengangkutan pada kait.

Gambar 3. 36 Geometri Kait untuk Sengkang

3.9.2 Sambungan Tulangan

Sambungan tulangan adalah penyambungan antar tulangan satu dan tulangan lainnya dengan jarak tertentu. Sambungan tulangan sebaiknya tidak diletakkan pada daerah yang terjadi momen lentur maksimum. Selain itu sambungan tulangan sebaiknya tidak ditempatkan pada satu lokasi yang sama karena akan memperlemah penampang beton.

Penumpukan sambungan tulangan pada satu lokasi yang sama juga akan menyebabkan terjadinya penumpukan tulangan, sehingga menyebabkan kesulitan pada saat pelaksanaan penuangan adukan beton ke dalam cetakan bekisting. Berikut merupakan macam sambungan tulangan.

1. Sambungan tulangan pada kondisi tarik, (l_{st})

Sambungan tulangan pada kondisi tarik diatur dalam SNI 2847-2019 Pasal R25.5.2.1 di mana nilai l_{st} dalam kondisi tarik harus disesuaikan dengan tabel 25.5.2.1 dengan nilai l_d sesuai dengan 25.4.2.1(a). Berikut adalah nilai dari tabel 25.5.2.1.

$A_{s,t} / A_{s,p}^{[1]}$ sepanjang sambungan lewatan	Maksimum persentase dari A_s lewatan dalam panjang lewatan yang diperlukan	Tipe sambungan lewatan	l_{st}	
$\geq 2,0$	50	kelas A	terbesar dari	$1,0 l_d$ dan 300 mm
	100	kelas B	terbesar dari	$1,3 l_d$ dan 300 mm
$< 2,0$	semua kelas	kelas B	terbesar dari	$1,3 l_d$ dan 300 mm

^[1] Rasio luas tulangan yang terpasang ($A_{s,t}$) terhadap luas tulangan yang diperlukan ($A_{s,p}$) sesuai analisis pada lokasi sambungan lewatan.

Gambar 3. 37 Panjang Sambungan Lewatan dalam Kondisi Tarik

Sambungan lewatan tidak diizinkan untuk tulangan yang melebihi D36, kecuali kondisi yang diatur pada 25.5.5.3.

2. Sambungan tulangan pada kondisi tekan, (l_{sc})

Panjang sambungan lewatan pada kondisi tekan diatur dalam SNI 2847-2019 Pasal 25.5.5.

a) Pada pasal 25.5.5.1 dijelaskan bahwa panjang sambungan lewatan pada batang ulir D36 atau yang lebih kecil harus dihitung sesuai dengan poin-poin berikut.

- 1) Untuk $f_y \leq 420$ MPa : nilai l_{sc} harus yang terbesar dari **$0,071f_y db$** dan **300 mm**.
- 2) Untuk $f_y > 420$ MPa : nilai l_{sc} harus yang terbesar dari **$(0,13f_y - 24)db$** dan **300 mm**.

Untuk **$f'_c < 21$ MPa**, maka sambungan lewatan ditambahkan sepertiganya.

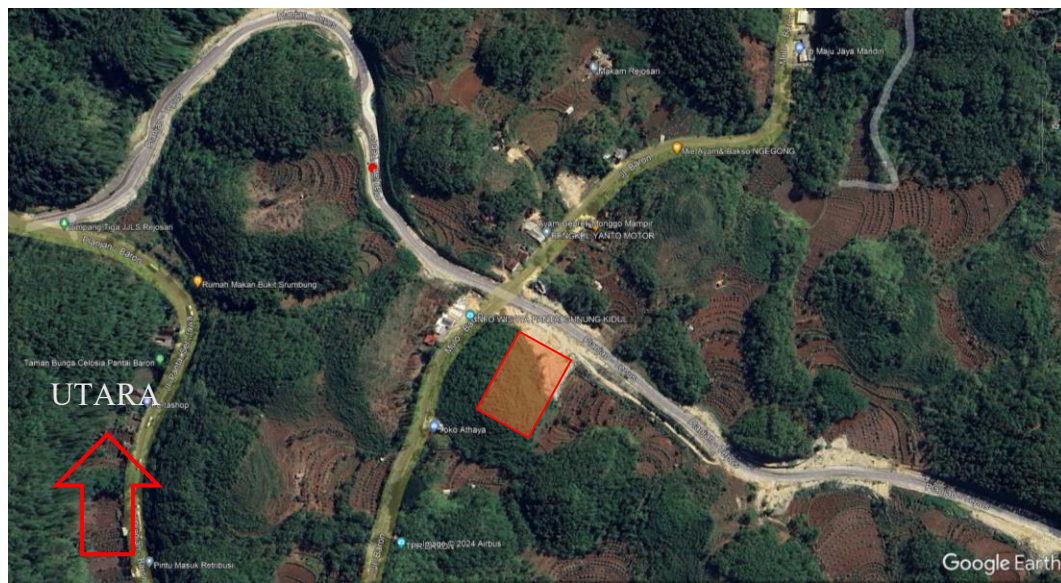
- b) Pasal 25.5.5.2 menjelaskan bahwa sambungan lewatan tekan tidak diperbolehkan digunakan untuk diameter yang lebih besar dari D36, kecuali diizinkan dalam 25.5.5.3.
- c) Pasal 25.5.5.3 menjelaskan bahwa sambungan lewatan tekan untuk batang D43 atau D57 hingga D36 atau batang yang lebih kecil dari itu diizinkan sesuai dengan 25.5.5.4

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Objek Perancangan

Gedung yang akan direncanakan merupakan bangunan imajiner yang memiliki fungsi bangunan sebagai sekolah. Pada Tugas Akhir ini bangunan gedung akan direncanakan menggunakan sistem struktur *flat slab*. Bangunan ini berlokasi di Jl. Baron-Wonosari, Ngepung, Kemadang, Kecamatan Tanjungsari, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi perancangan gedung dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 1 Lokasi Perancangan Gedung
(Sumber : Google Earth, 2024)

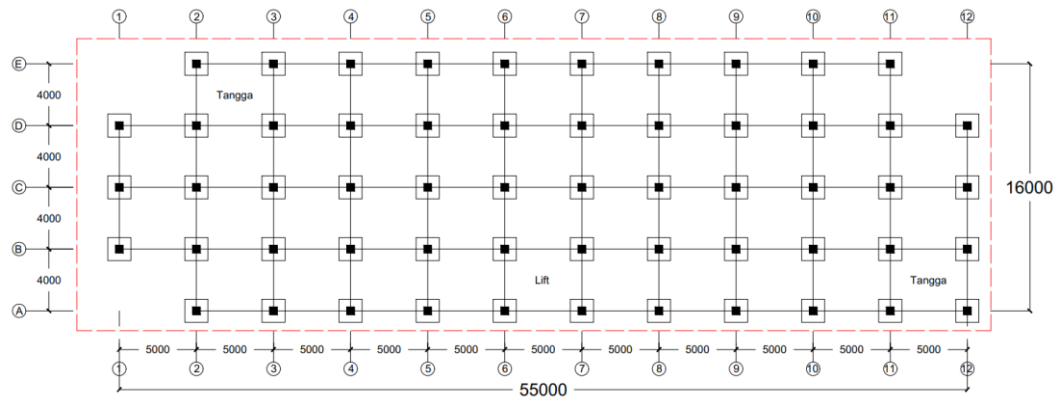
4.2 Data Perancangan

Gedung yang akan direncanakan memiliki lahan seluas 1174m². Gedung ini memiliki 4 lantai serta 1 lantai atap. Data gedung yang akan direncanakan dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

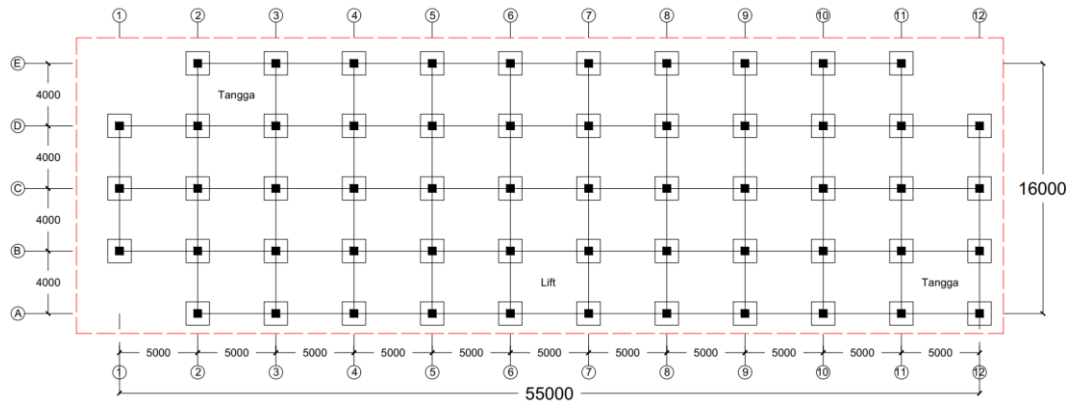
Tabel 4. 1 Data Perancangan

No.	Uraian	Keterangan
1.	Fungsi bangunan	Gedung sekolah
2.	Lokasi perancangan	Jl. Baron-Wonosari, Ngepung, Kemadang, Kecamatan Tanjungsari, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta
3.	Jumlah tingkat	4 lantai + 1 lantai atap
4.	Tinggi total bangunan	16 meter (4 meter per lantai)
5.	Jenis material konstruksi	Beton bertulang
6.	Berat volume beton	2400 Kg/m ³
7.	Mutu beton (f'c)	25 MPa
8.	Tegangan leleh baja (fy)	420 MPa
9.	Kategori bangunan	Sistem rangka pemikul momen khusus
10.	Faktor keutamaan gempa (Ie)	1,50
11.	Faktor modifikasi respons (R)	8
12.	Faktor kuat lebih sistem (Ω_0)	3
13.	Faktor pembesaran defleksi (C_d)	5,5
14.	Kategori desain seismik (KDS)	D

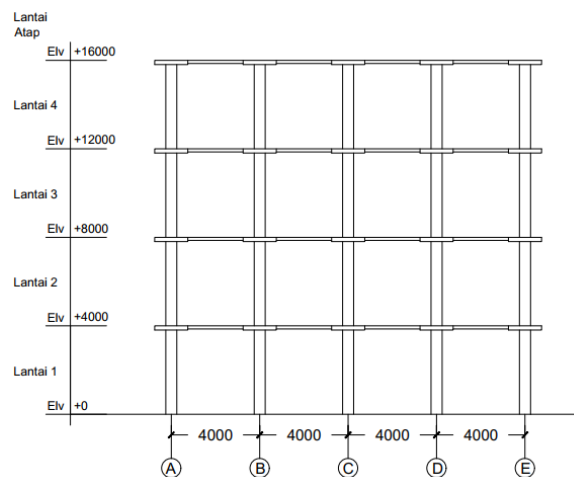
Berikut merupakan rencana denah pada perancangan gedung sekolah menggunakan sistem struktur *flat slab*. Denah hingga tampak perancangan dapat dilihat pada gambar berikut.



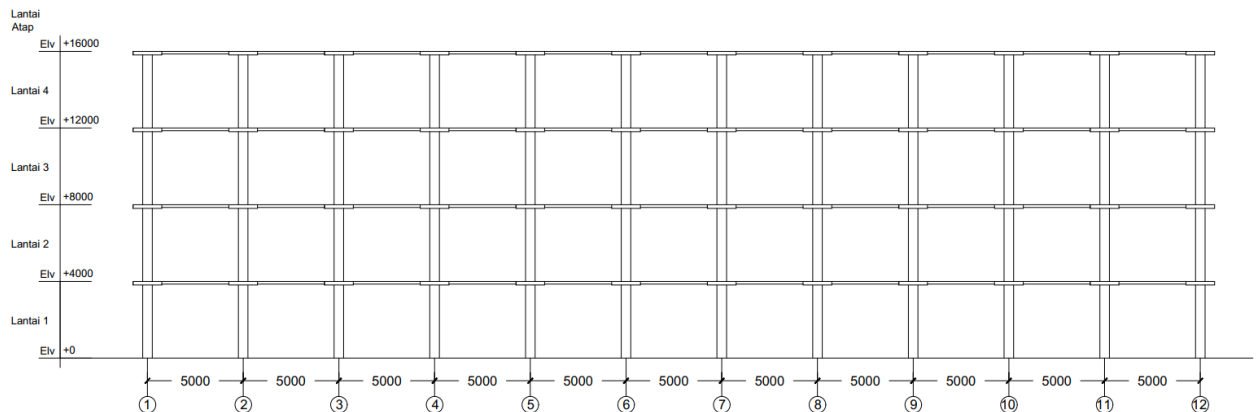
Gambar 4. 2 Denah Lantai 1-4



Gambar 4. 3 Denah Lantai Atap



Gambar 4. 4 Tampak Depan



Gambar 4. 5 Tampak Samping

4.3 Metode Perancangan

Metode perancangan adalah langkah-langkah urutan dalam melakukan perancangan gedung yang dimaksud. Metode perancangan dibuat agar dalam mengerjakan tugas akhir ini dapat terarah dan sesuai jalur perancangan. Adapun metode perancangan dalam merancang gedung tersebut dapat dilihat pada langkah-langkah berikut ini.

1. Studi literatur

Literatur yang digunakan dalam perancangan ulang ini adalah sebagai berikut:

- a) SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.
- b) SNI 1727-2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.
- c) SNI 2847-2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan.

2. Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan berupa data umum. Hal ini mencakup data tanah serta lokasi pada bangunan yang akan dirancang.

3. *Preliminary design*

Preliminary design merupakan salah satu tahapan analisis untuk memperkirakan dimensi awal pada elemen struktur. Elemen struktur yang ditinjau adalah pelat, *drop panel*, dan kolom. Selanjutnya akan dilakukan

perhitungan pada *software* bantu untuk mendapatkan gaya-gaya dalam pada struktur tersebut.

4. Permodelan *software* bantu

Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan pada tahap ini.

- a) Struktur dimodelkan sesuai dengan dimensi yang didapatkan pada *preliminary design*.
- b) Struktur akan diberi pembebanan, yaitu beban mati, beban hidup, serta beban gempa.
- c) Struktur yang sudah diberi pembebanan akan dilakukan *running analysis*

5. Analisa & desain elemen struktur

Setelah mendapatkan gaya-gaya dalam pada struktur, akan dilakukan analisis dan perhitungan untuk mendapatkan hasil desain yang sesuai dengan syarat.

6. Kontrol desain

Kontrol desain diatur dalam SNI 2847-2019 dengan tujuan agar struktur yang direncanakan memiliki kekuatan yang lebih besar daripada kebutuhan ultimitnya.

$$\phi P_n \geq P_u \rightarrow \text{pasal 22.4}$$

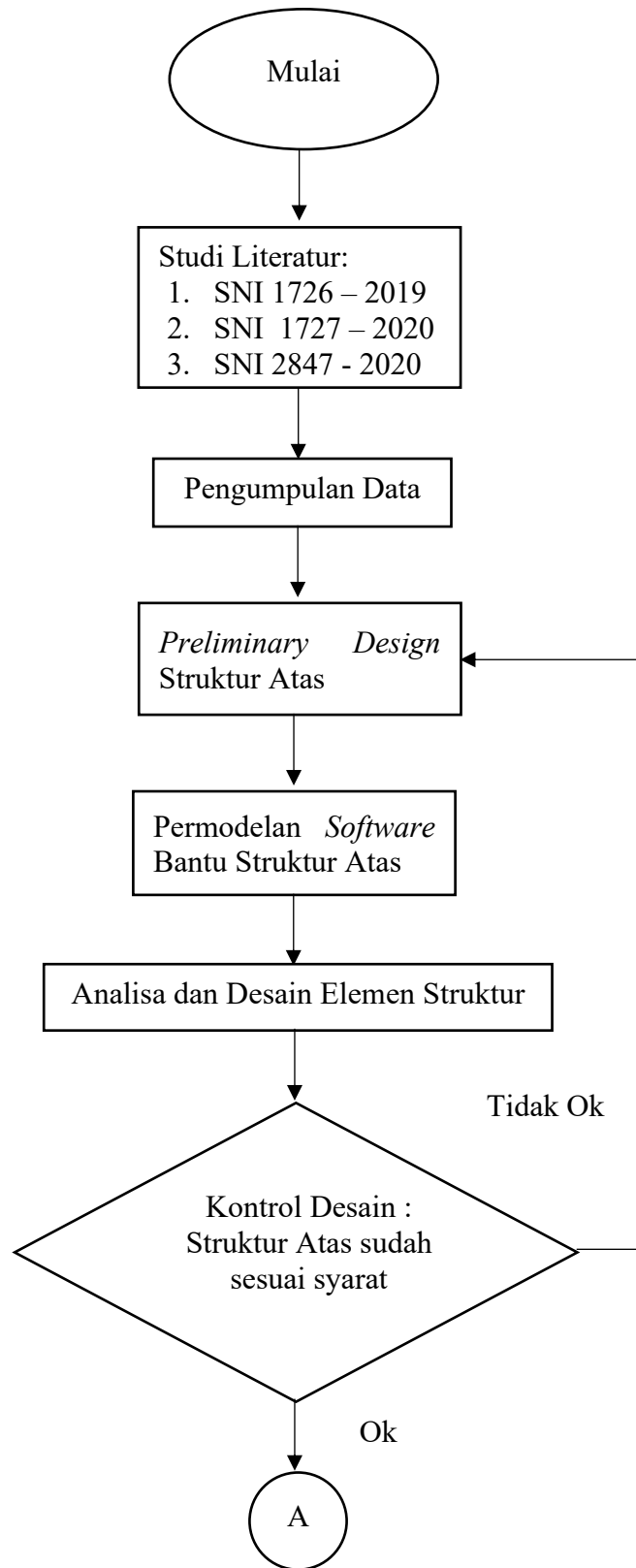
$$\phi M_n \geq M_u \rightarrow \text{pasal 22.4}$$

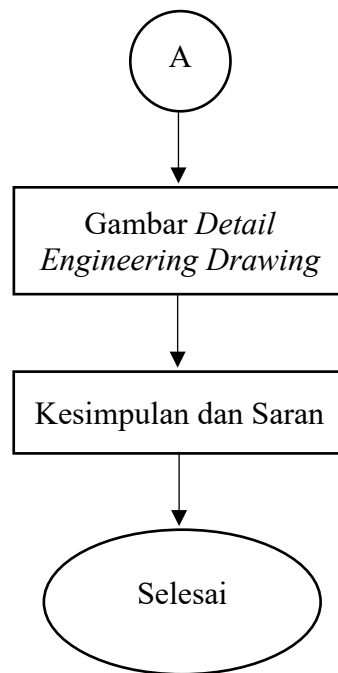
$$\phi V_n \geq V_u \rightarrow \text{pasal 22.5}$$

7. Gambar *detail engineering drawing*

Setelah struktur yang didesain telah memenuhi syarat, maka pada tahap ini akan dilengkapi dengan gambar yang sesuai dengan perencanaan dan perhitungan yang telah dilakukan.

Berikut merupakan bagan alur *flowchart* dari metode perancangan tugas akhir ini.





Gambar 4. 6 *Flowchart* Perancangan

BAB V

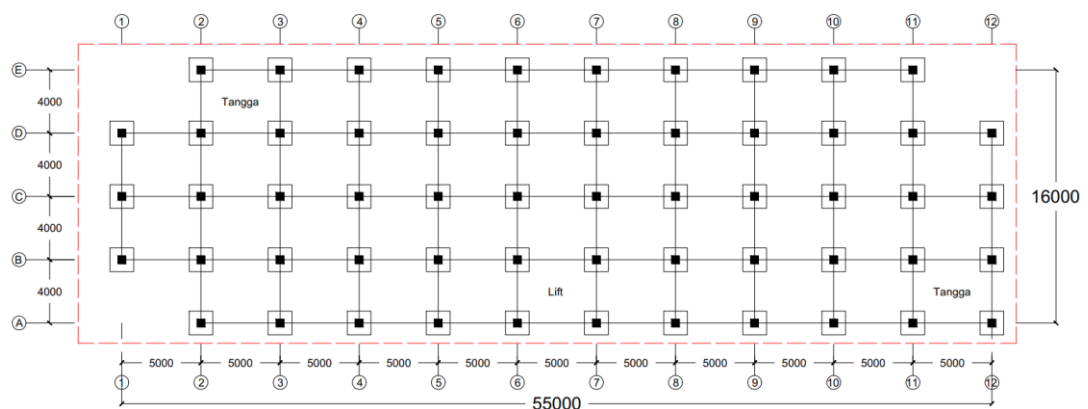
PEMBAHASAN

5.1 Data awal

Data awal perencanaan meliputi data-data sebagai berikut.

Fungsi bangunan	: Gedung sekolah
Jumlah tingkat	: 4 lantai + 1 lantai atap
Tinggi bangunan	: 16 meter
Panjang bangunan	: 55 m
Lebar bangunan	: 16 m
Mutu beton ($F'c$)	: 25 MPa
Mutu baja (F_y)	: 420 MPa
Luas Bangunan	: 820 m ²

Bangunan akan dirancang dengan asumsi dinding pasangan bata dipasang pada setiap ruang kecuali pada koridor gedung. Bangunan memiliki lantai keramik, plafon langit-langit, plumbing dan elektrik. Bangunan akan dirancang di daerah Kabupaten Gunung Kidul dengan kondisi tanah keras, batuan lunak (SC). Denah bangunan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. 1 Denah Bangunan Gedung

5.2 Pembebanan

Pada gedung bertingkat penting untuk menghitung beban rencana agar struktur dapat mendistribusikan beban dengan baik ke tanah. Pembebanan merujuk pada berbagai jenis beban. Pada tugas akhir ini beban yang akan diperhitungkan mencakup beban-beban sebagai berikut.

1. Beban mati

Beban mati adalah beban tetap dan permanen dari elemen-elemen struktur gedung seperti pelat lantai, pelat atap, dinding, serta material yang menempel pada gedung tersebut. Beban ini tidak berubah seiring waktu. Berat sendiri elemen struktural sudah terhitung secara otomatis pada software bantu *Etabs* dengan keterangan *dead load*. Selain berat sendiri elemen struktural terdapat pula beban mati tambahan yang didapatkan dari material-material yang menempel pada bangunan dengan keterangan *super dead load*. Berikut merupakan beban mati tambahan dari gedung yang akan dirancang dengan nilai berat masing-masing material mengacu pada SNI 1727-2020.

a) Pembebanan oleh pelat lantai

Tabel 5. 1 Beban Mati Tambahan Pada Pelat Lantai

No.	Jenis Beban Material	Berat	Satuan	Tebal (m)	Berat (kN/m ²)
1	Partisi				0,72
2	Keramik	17	kg/m ²		0,167
3	Mortar spesi 3cm	2100	kg/m ³	0,03	0,618
4	Pasir 5cm	1600	kg/m ³	0,05	0,785
5	Plumbing & elektrik				0,300
6	Plafond	9	kg/m ²		0,088
7	Rangka Plafond	5	kg/m ²		0,049
Total SIDL 1					2,727
Total SIDL 2					2,007

Menurut SNI 1727-2020 Pasal 4.3.2 untuk beban hidup $\geq 3,83$ kN/m², beban partisi tidak perlu diperhitungkan. Oleh sebab itu dalam tabel di atas dimasukkan nilai SIDL 1 termasuk beban partisi, dan SIDL 2 tidak

termasuk beban partisi. Digunakan SIDL 1 dengan nilai yang lebih konservatif.

b) Pembebanan oleh pelat atap

Tabel 5. 2 Beban Mati Tambahan Pada Pelat Atap

No.	Jenis Beban Material	Berat	Satuan	Tebal (m)	Berat (kN/m ²)
1	Mortar spesi 3cm	2100	kg/m ³	0,03	0,618
2	<i>Waterproof</i> 2cm	2100	kg/m ³	0,02	0,412
3	Plumbing & elektrik				0,300
4	Plafond	9	kg/m ²		0,088
5	Rangka Plafond	5	kg/m ²		0,049
Total					1,467

c) Pembebanan oleh dinding

Perhitungan pembebanan oleh dinding mengacu pada SNI 1727-2020 Tabel C3.1-1 beban mati desain minimum dengan perhitungan sebagai berikut.

Tabel 5. 3 Beban Mati Tambahan Oleh Dinding Hebel

Jenis Beban Material	Berat Volume	Satuan	Sisi	Berat (kN/m ²)
Hebel				0,935
Plester	0,24	kN/m ²	2	0,48
Total				1,415

Dengan tinggi antar lantai yaitu 4m serta tinggi drop panel 0,05m maka beban mati tambahan oleh dinding hebel yaitu berat dinding hebel dikali dengan tinggi lantai dikurangi drop panel $1,415 \text{ kN/m}^2 \times 3,95\text{m} = 5,589 \text{ kN/m}$. Lalu dimasukkan dalam program bantu *Etabs* dengan *assign* → *frame loads* → *distributed*.

2. Beban hidup

Beban hidup merupakan beban dari penggunaan dan fungsi bangunan gedung. Beban hidup berasal dari aktivitas pengguna dan penghuni gedung, dan tidak termasuk beban konstruksi maupun beban lingkungan seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup diatur

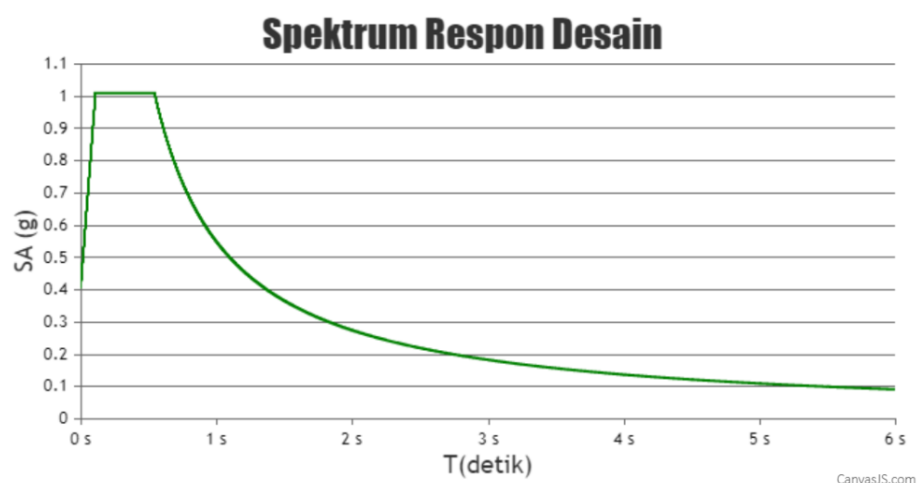
dalam SNI 1727-2020. Berikut adalah nilai beban hidup untuk fungsi gedung sekolah.

Tabel 5. 4 Beban Hidup dengan Fungsi Gedung Sekolah

No.	Jenis	Berat (kN/m ²)
1	Ruang Kelas	1,92
2	Pelat Atap	0,96
3	Koridor Lantai 1	4,79
4	Koridor Lantai di atasnya	3,83
5	Tangga	4,79

3. Beban gempa

Beban gempa direncanakan menggunakan statik respons spektrum dengan mengacu pada SNI 1726-2019. Gedung akan direncanakan di daerah Kabupaten Gunung Kidul dengan kondisi tanah keras, batuan lunak (SC). Data gempa dapat didapatkan pada web <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Berikut grafik respons spektrum yang didapatkan dari web tersebut.



Gambar 5. 2 Grafik Respons Spektrum

Pada web tersebut juga didapat parameter nilai dalam perhitungan beban gempa sebagai berikut.

Results: Tabel dibawah ini merupakan Parameter untuk membuat Grafik Desain Spektra Indonesia:

Kelas: SC - Tanah Keras, Batuan Lunak

Rentang T(s): Value: 6

PGA MCEG: 0.5444 (g) bedrock

SS MCEr: 1.2593 (g) bedrock

S1 MCEr: 0.5742 (g) bedrock

TL: 20 Detik

T0(detik)	Ts(detik)	Sds(g)	Sd1(g)
0.11	0.54	1.01	0.55

Save

Gambar 5. 3 Parameter Nilai Respons Spektrum

Setelah didapatkan data-data diatas, dilakukan perhitungan masa bangunan sebagai berikut. Berat volume beton normal adalah 2400 kg/m^3 .

Contoh perhitungan disimulasikan pada kolom K1.

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= B \times H \times L \\ &= 0,6 \times 0,6 \times 4 \\ &= 1,44 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa} &= V \times BV \times n \\ &= 1,44 \text{ m}^3 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 57 \\ &= 196992 \text{ kg} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan beban gravitasi sesuai fungsi ruangnya dengan cara mengalikan luas total fungsi ruang dengan beban mati tambahan (SIDL).

Tabel 5. 5 Beban Gravitasi

Kode	Keterangan	Luas total (m ²)	Q _{SIDL} (kN/m ²)	M (kg)
1	Lobi dan koridor lantai pertama	240	2.007	49099.449
2	Koridor di atas lantai pertama	240	2.007	49099.449
4	Ruang Kelas	580	2.727	161225.810
5	Pelat Tangga	32,249	3.571	11738.650
6	Pelat Bordes	12	1.570	1920
7	Atap	820	1.467	122656.452

Tabel 5. 6 Massa Bangunan

[illegible]

Hasil dari *mass summary by story* dari *etabs* mendapatkan nilai yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 7 Massa Bangunan Output Etabs

Tingkat	Massa bangunan (kg)
1	588631,74
2	889150,06
3	904812,05
4	904812,05
Total	3287405,9

Terdapat selisih 4,07% dengan perhitungan masa bangunan manual, nilai tersebut masih di bawah 5 %, sehingga tidak terjadi selisih yang cukup besar. Digunakan nilai massa bangunan output dari *etabs* dengan total 3287405,9 kg. Beban gempa dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut.

a. Data percepatan gempa

$$\begin{aligned}
 \text{Spektral percepatan periode pendek, } S_s &= 1,2593 \text{ g} \\
 \text{Spektral percepatan periode 1 detik, } S_1 &= 0,5742 \text{ g} \\
 \text{Koefisien situs, } F_a &= 1,2 \\
 \text{Koefisien situs, } F_v &= 1,4258 \\
 \text{Percepatan desain periode pendek, } S_{ds} &= \frac{2}{3} \times F_a \times S_s \\
 &= \frac{2}{3} \times 1,2 \times 1,2593 \\
 &= 1,007 \text{ g} \\
 \text{Percepatan desain periode 1 detik, } S_{d1} &= \frac{2}{3} \times F_v \times S_1 \\
 &= \frac{2}{3} \times 1,4258 \times 0,5742 \\
 &= 0,546 \text{ g} \\
 T_o &= 0,2 \times S_{d1} / S_{ds} \\
 &= 0,2 \times 0,546 / 1,007 \\
 &= 0,1084 \text{ detik} \\
 T_s &= S_{d1} / S_{ds} \\
 &= 0,546 / 1,007
 \end{aligned}$$

	= 0,5418 detik
Tl	= 16 detik
b. Data parameter gempa	
Kategori risiko bangunan	= IV
Faktor keutamaan gempa, I_e	= 1,5
Kategori Desain Seismik	= D
Koefisien Modifikasi Respons, R	= 8
Faktor Pembesaran Defleksi, C_d	= 5,5
Faktor Kuat Lebih Sistem, Ω_0	= 3
c. Periode struktur	
Periode Fundamental Pendekatan, T_a	$= C_t \times h^x$ $= 0,0466 \times 160,9$ $= 0,565 \text{ detik}$
Periode Maksimum, T_{max}	$= C_u \times T_a$ $= 1,4 \times 0,565$ $= 0,791 \text{ detik}$
Periode Etabs arah x, T_{cx}	= 0,943 detik
Periode Etabs arah y, T_{cy}	= 0,917 detik
Periode yang dipakai, T_x dan T_y	= 0,791 detik (T_{max})
d. Gaya seismik efektif	
Koefisien Respons Seismik, C_s	$= \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}}$ $= \frac{1.001}{\frac{8}{1.5}}$ $= 0,189$
Batas Atas, $C_{s \max}$	$= \frac{SDS}{T \frac{R}{I_e}}$ $= \frac{1.001}{0.791 \frac{8}{1.5}}$ $= 0,1294$
Batas Bawah, $C_{s \min}$	$= 0,044 \times SDS \times I_e$ $= 0,044 \times 1,001 \times 1,5$ $= 0,0665$

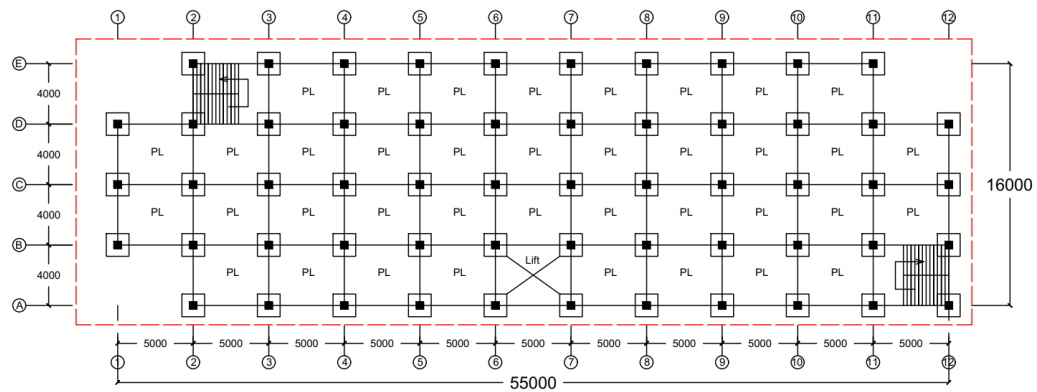
$$\begin{aligned}
 \text{Cs pakai} &= 0,1294 \text{ (Cs max)} \\
 \text{Nilai gaya geser statik (Vx dan Vy)} &= \text{Cs pakai} \times W \\
 &= 0,1294 \times 32238 \\
 &= 4169,301 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5.3 Kodefikasi Elemen Struktur

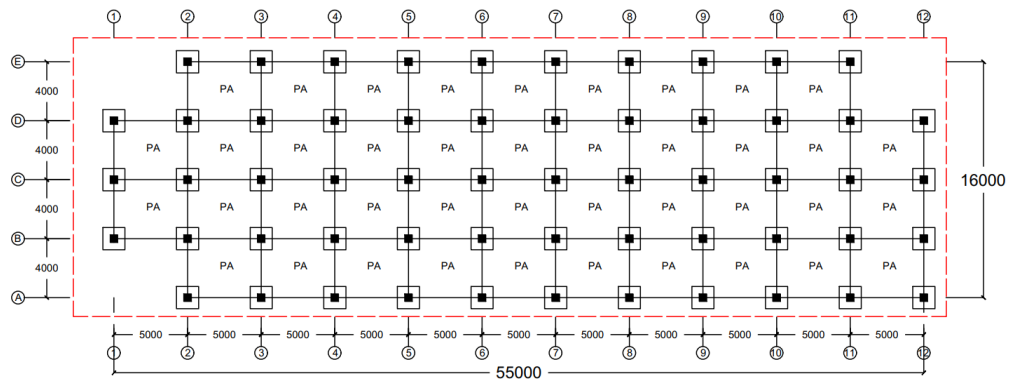
Dalam sebuah gedung bertingkat memiliki berbagai elemen struktur yang beragam, oleh karena itu dibutuhkan kodefikasi elemen struktur. Kodefikasi elemen struktur adalah pengklasifikasian dan pengkodean berbagai elemen struktur dalam sebuah bangunan guna mempermudah identifikasi, dan pengelolaan informasi terkait elemen struktur tersebut. Berikut adalah kodefikasi elemen struktur yang digunakan dalam tugas akhir ini.

1. Kodefikasi Pelat & Drop Panel

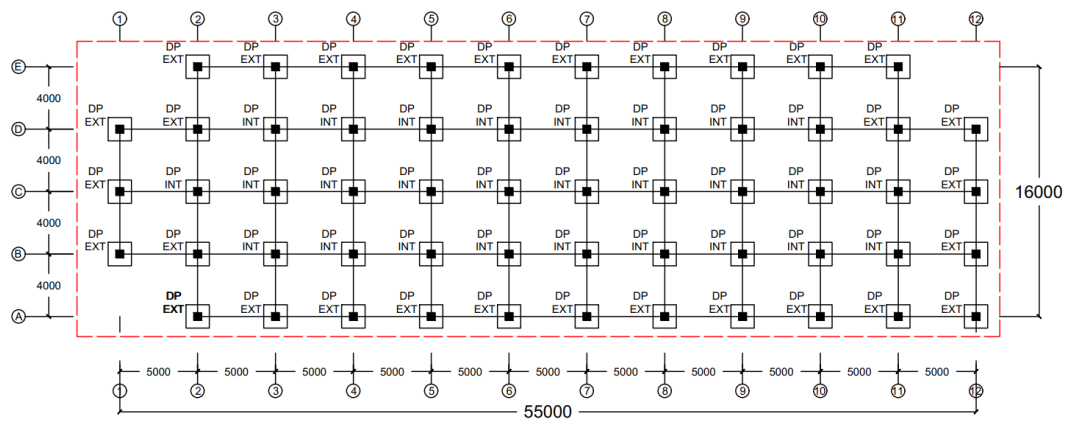
Struktur pelat dibedakan menjadi pelat lantai dan pelat atap. Pada tugas akhir ini pelat yang digunakan merupakan pelat datar atau *flat slab*. Sedangkan untuk elemen *drop panel* dibedakan menjadi *drop panel* interior dan *drop panel* eksterior. Kodefikasi pelat & *drop panel* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. 4 Kodefikasi Pelat Lantai



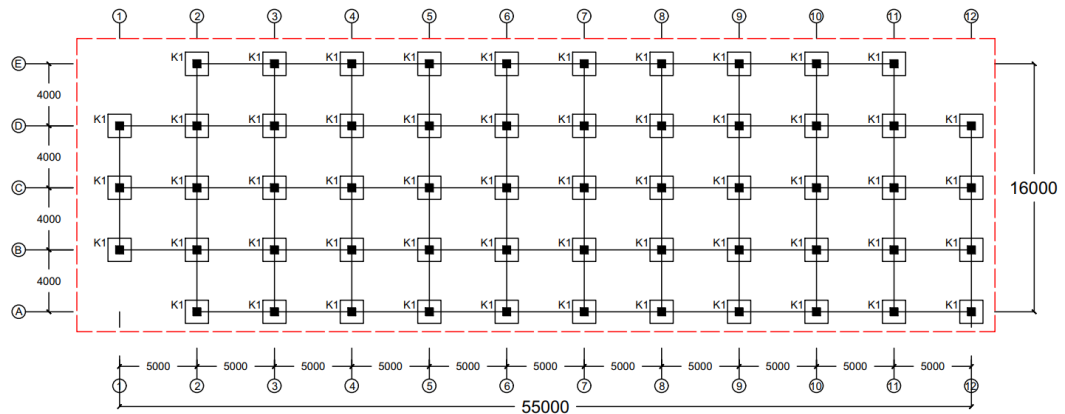
Gambar 5. 5 Kodefikasi Pelat Atap



Gambar 5. 6 Kodefikasi Drop Panel

2. Kodefikasi Kolom

Pada bangunan yang akan direncanakan memiliki kolom yang identik satu sama lain sehingga kodefikasi kolom yang digunakan adalah kolom K1. Gambar kodefikasi kolom dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. 7 Kodefikasi Kolom

5.4 Estimasi Dimensi Struktur

5.4.1 Estimasi Dimensi *Flat slab & Drop Panel*

1. Estimasi Dimensi *Flat Slab*

Ketebalan minimum *flat slab* diatur pada SNI 2847-2019 Pasal 8.3 untuk panel interior dengan *drop panel* dengan mutu baja 420 MPa dipakai rumus $ln/36$. Dengan nilai ln adalah bentang bersih pada arah memanjang yang diukur dari muka ke muka tumpuan pelat tanpa balok. Ketebalan pelat dengan *drop panel* tidak boleh lebih kecil dari 100 mm.

$$\begin{aligned} H_{\min} &= \frac{ln}{36} \\ &= \frac{4500}{36} \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan tebal minimum flat slab adalah 125 mm. Maka diambil ketebalan 150 mm.

2. Estimasi Dimensi *Drop Panel*

Dimensi drop panel diatur dalam SNI 2847-2019 Pasal 8.2.4 dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} H_{\text{drop panel}} &\geq \frac{h_{\text{pelat}}}{4} \\ &\geq \frac{150}{4} \\ &\geq 37,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas H minimum *drop panel* didapatkan nilai 37,5 mm. Maka diambil nilai H *drop panel* 500 mm dengan pertimbangan pada pengecekan simpangan antar lantai.

$$\begin{aligned}
 L \text{ drop panel arah x} &\geq \frac{1}{6} Lx \\
 &\geq \frac{1}{6} \times 5000 \\
 &\geq 833.333 \text{ mm} \\
 L \text{ drop panel arah y} &\geq \frac{1}{6} Ly \\
 &\geq \frac{1}{6} \times 4000 \\
 &\geq 666,667 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai L minimum *drop panel*. Maka diambil nilai L *drop panel* $Lx = Ly = 1000 \text{ mm}$.

5.4.2 Estimasi Kolom

Dimensi kolom ditentukan berdasarkan kuat tekan beton serta beban yang ditopangnya. Beban yang diperhitungkan yaitu menggunakan kombinasi sederhana yaitu 1,2 DL + 1,6 LL. Berikut adalah perhitungan dari kombinasi pembebanan yang dipakai.

Luasan pelat yang ditinjau $A = 20 \text{ m}^2$

Perhitungan P_u pelat lantai ($P_u \text{ PL}$)

$$\begin{aligned}
 Q_d &= 3,531 + 2,727 \\
 &= 6,259 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_l &= 4,79 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_u &= 1,2 Q_d + 1,6 Q_l \\
 &= 1,2 \times 6,259 + 1,6 \times 4,79 \\
 &= 15,174 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u \text{ PL} &= Q_u \times A \\
 &= 15,174 \times 20 \\
 &= 303,48 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan P_u pelat atap ($P_u \text{ PA}$)

$$Q_d = 4,999 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_l = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 Q_d + 1,6 Q_l \\ &= 1,2 \times 4,999 + 1,6 \times 0,96 \\ &= 7,535 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u \text{ PA} &= Q_u \times A \\ &= 7,535 \times 20 \\ &= 150,70 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u \text{ kumulatif} &= \text{Jumlah lantai} \times P_u \\ &= 3 \times P_u \text{ PL} + 1 \times P_u \text{ PA} \\ &= 3 \times 303,48 + 1 \times 7,535 \\ &= 1061,151 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= \frac{P_u}{0,8 \phi (0,85 f'_c)} \\ &= \frac{1061,151}{0,8 \times 0,65 \times (0,85 \times 25)} \\ &= 96031,732 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B = H &= \sqrt{A_g} \\ &= \sqrt{96031,732} \\ &= 309,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat diambil bahwa dimensi kolom minimum adalah 309,89 mm. Serta dimensi minimum yang telah diatur dalam SNI 2847- 2019 adalah 300 mm. Sehingga dimensi kolom yang dipakai adalah 600 x 600 mm sebagai pertimbangan dalam pengecekan simpangan antar lantai.

5.5 Kombinasi Pembebanan

Perhitungan kombinasi pembebanan mengacu pada SNI 1726-2019 dan SNI 1727-2020. Pada tugas akhir ini hanya memperhitungkan beban mati, beban hidup, serta beban gempa. Berikut adalah kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perhitungan.

1. Perhitungan Kombinasi Pembebanan yang digunakan yaitu sebagai berikut.
 - a. Kombinasi 1 : 1,4 D

Tabel 5. 8 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi		DL	SIDL	LL	L_r	E_x	E_y
1	1.1	1,4	1,4				
2	2.1	1,2	1,2	1,6	0,5		
3	3.1	1,2	1,2	1	1,6		
6	6.1	1,401	1,401	1		1,3	0,39
	6.2	1,401	1,401	1		1,3	-0,39
	6.3	1,401	1,401	1		-1,3	0,39
	6.4	1,401	1,401	1		-1,3	-0,39
	6.5	1,401	1,401	1		0,39	1,3
	6.6	1,401	1,401	1		-0,39	1,3
	6.7	1,401	1,401	1		0,39	-1,3
	6.8	1,401	1,401	1		-0,39	-1,3
7	7.1	0,699	0,699			1,3	0,39
	7.2	0,699	0,699			1,3	-0,39
	7.3	0,699	0,699			-1,3	0,39
	7.4	0,699	0,699			-1,3	-0,39
	7.5	0,699	0,699			0,39	1,3
	7.6	0,699	0,699			-0,39	1,3
	7.7	0,699	0,699			0,39	-1,3
	7.8	0,699	0,699			-0,39	-1,3

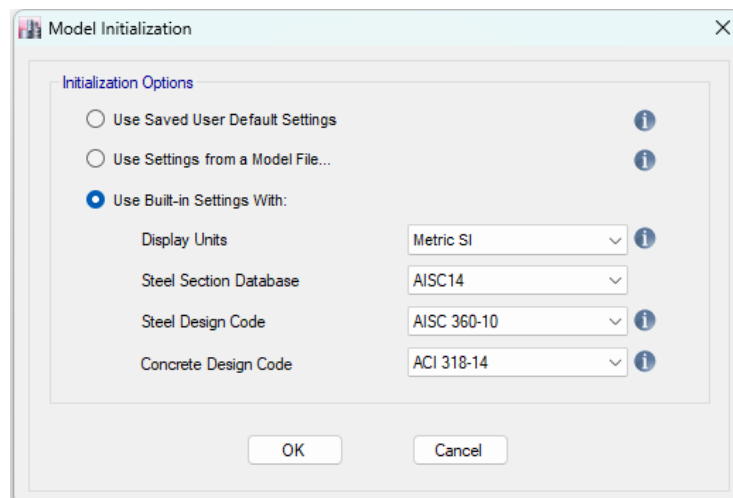
5.6 Analisis Struktur Menggunakan *Software* Bantu

Pada tahap ini struktur akan dimodelkan menggunakan *software* bantu *Etabs* untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja pada gedung. Sehingga dapat dilakukan analisa perhitungan lebih lanjut. Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan analisis struktur menggunakan *software* bantu.

5.6.1 Permodelan *Etabs*

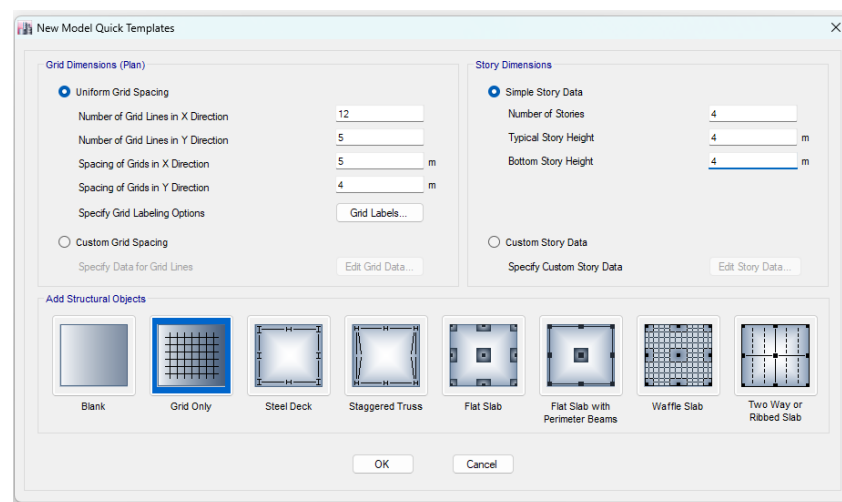
1. Permodelan grid

- a. Membuka *software* bantu → *new model* → pilih *use built in setting* → pilih *Metric SI*.



Gambar 5. 8 Model initialization

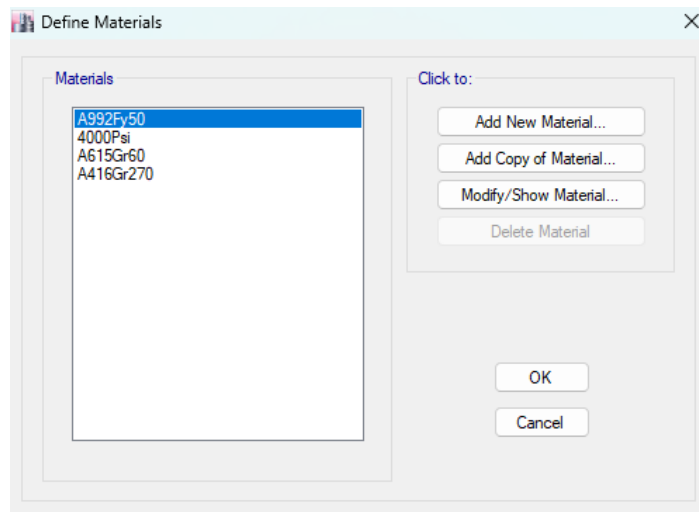
b. Masukkan dimensi *grid* sesuai dengan denah rencana.



Gambar 5. 9 Pengaturan Dimensi Grid

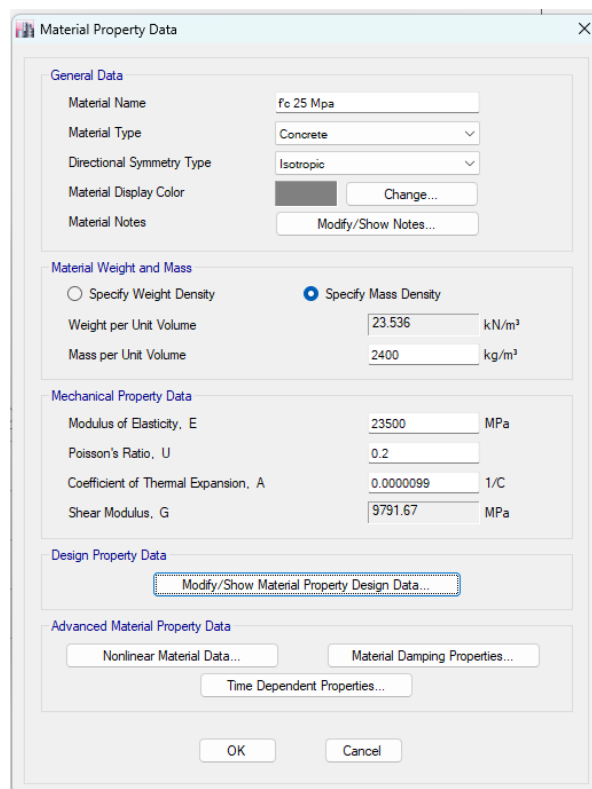
2. Mendefinisikan material yang akan digunakan

a. *Define* → *Material properties* → *add new material*



Gambar 5. 10 Define Material

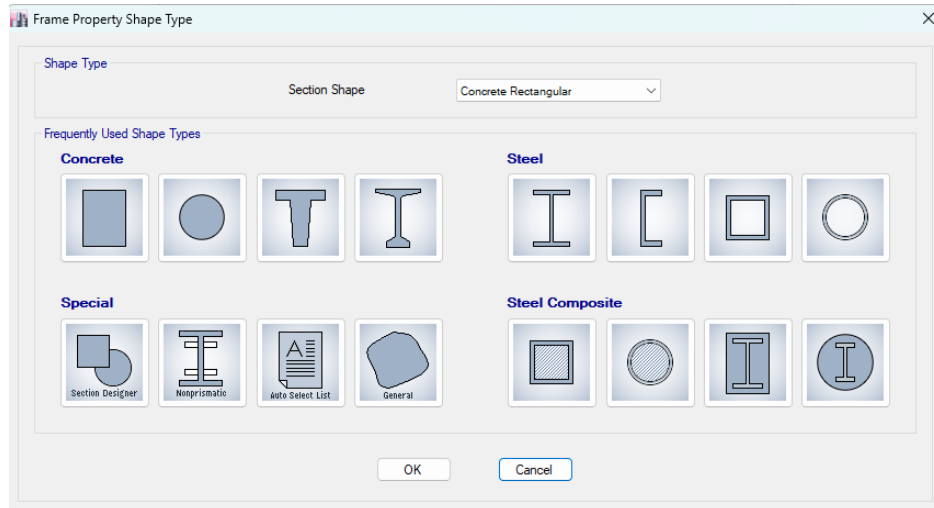
- b. Pilih material *concrete* → isi data sesuai mutu material dengan nilai berat volume = 2400 kg/m³, serta nilai modulus elastisitas = $4700\sqrt{f'_c}$.



Gambar 5. 11 Material Property Data

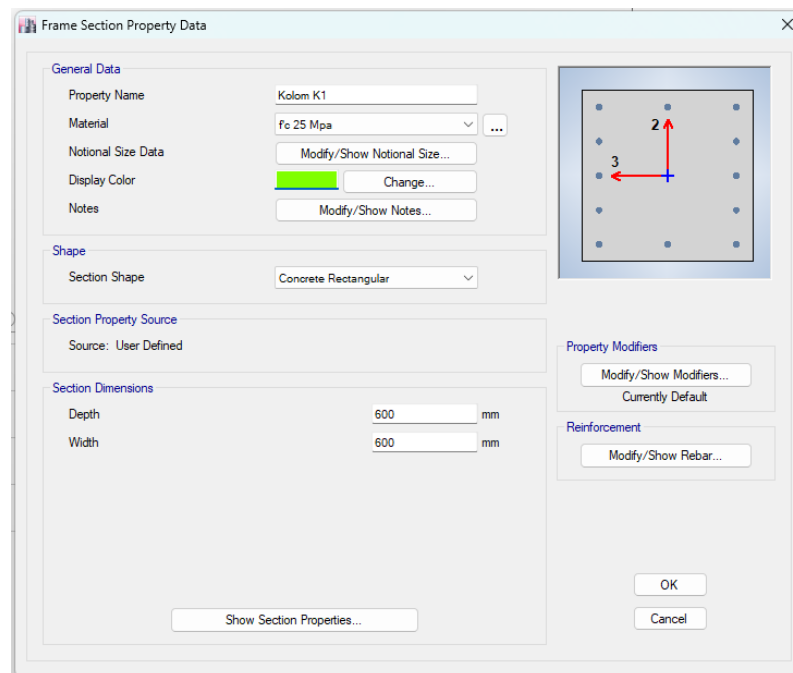
3. Mendefinisikan penampang

- a. Untuk penampang kolom : *Define* → *frame properties* → *add new properties* → pilih *concrete rectangular*



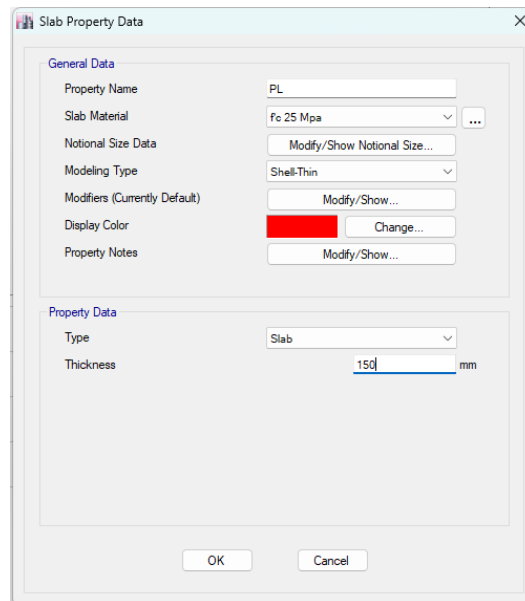
Gambar 5. 12 *Frame Property Shape Type*

- b. Sesuaikan penampang dengan mutu dan dimensi yang dipakai



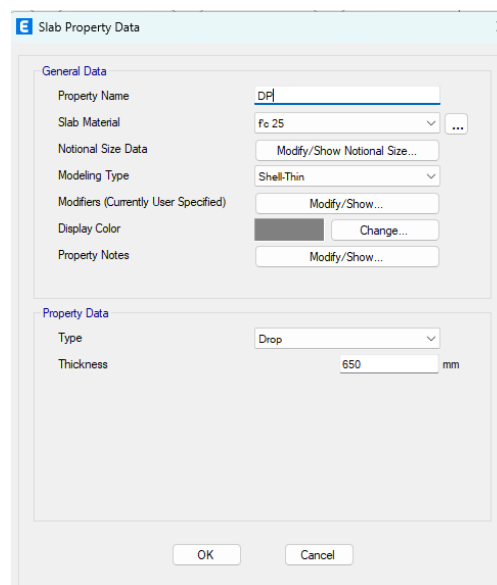
Gambar 5. 13 *Frame Section Property Data*

- c. Untuk penampang pelat : *Define* → *Section properties* → *Slab section* → *add new properties* → *slab*. Lalu isi data sesuai dengan mutu dan dimensi pelat.



Gambar 5. 14 Slab Property Data Pelat

- d. Untuk penampang drop panel : *Define* → *Section properties* → *Slab section* → *add new properties* → *drop panel* . Lalu isi data sesuai dengan mutu dan dimensi *drop panel*.



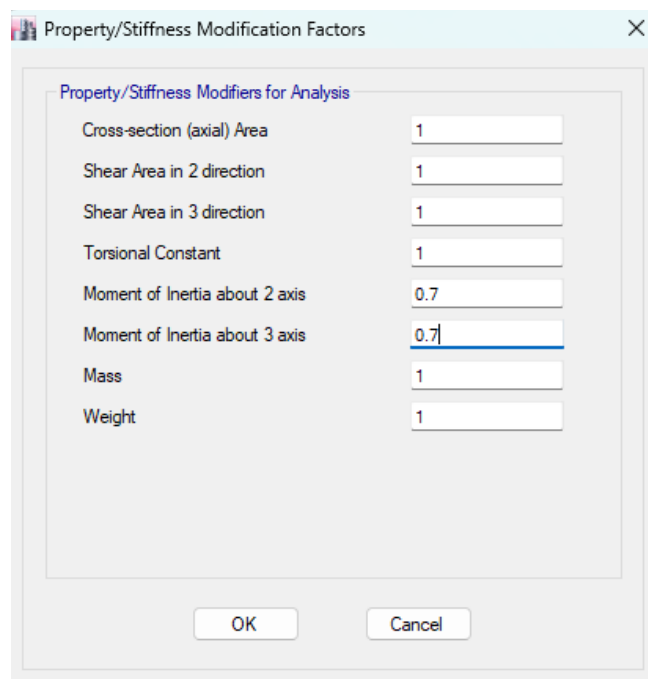
Gambar 5. 15 Slab Property Data Drop Panel

4. Sesuaikan momen inersia pada masing-masing elemen sesuai ketentuan pada SNI 2847-2019 Pasal 6.6.3.1.1 sebagai berikut.

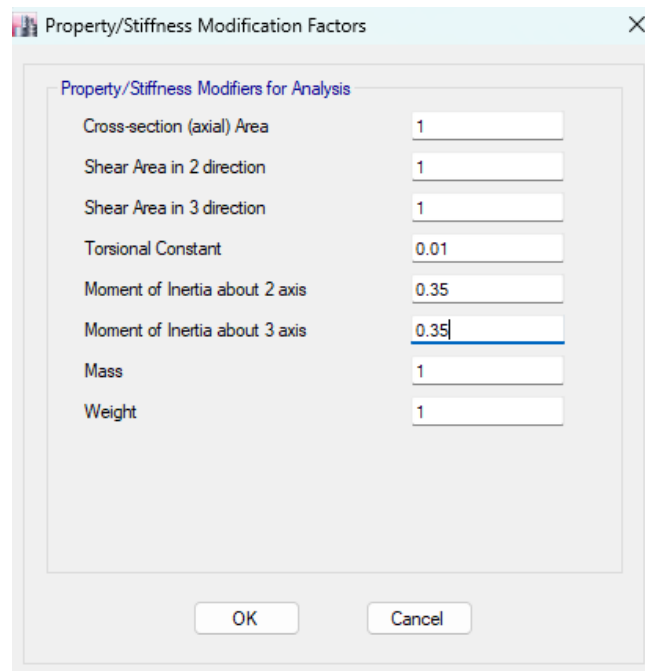
Tabel 5. 9 Momen Inersia yang Diizinkan untuk Analisis Elastis

Bagian dan kondisi		Momen inersia	Luas penampang
Kolom		$0,70 I_g$	$1,0 A_g$
Dinding	Tidak retak	$0,70 I_g$	
	Retak	$0,35 I_g$	
Balok		$0,35 I_g$	
Pelat datar dan slab datar		$0,25 I_g$	

- a. Penampang kolom : *define* → *section properties* → *frame section* → Kolom K1 → *modify* → *modify/show modifiers*

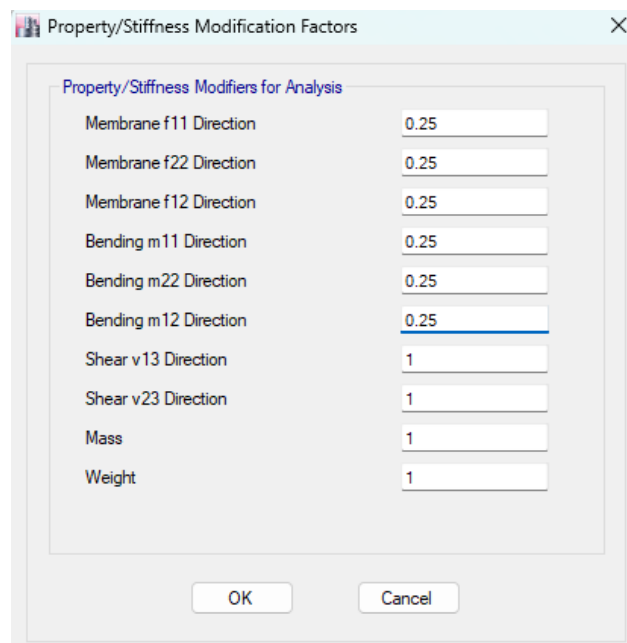
Gambar 5. 16 *Property/Stiffness Modification Factors* Kolom

- b. Penampang Balok : *define* → *section properties* → *frame section* → Balok → *modify* → *modify/show modifiers*



Gambar 5. 17 *Property/Stiffness Modification Factors* Balok

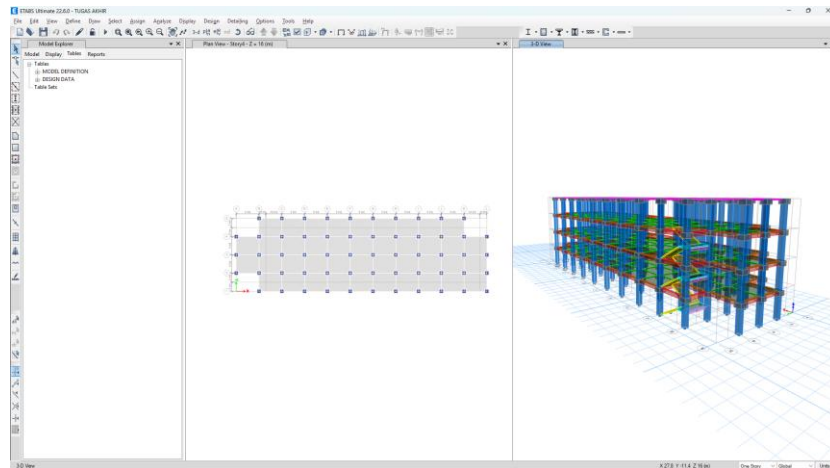
- c. Penampang Pelat: define → section properties → slab section → Pelat → modify → modify/show modifiers



Gambar 5. 18 *Property/Stiffness Modification Factors* Pelat

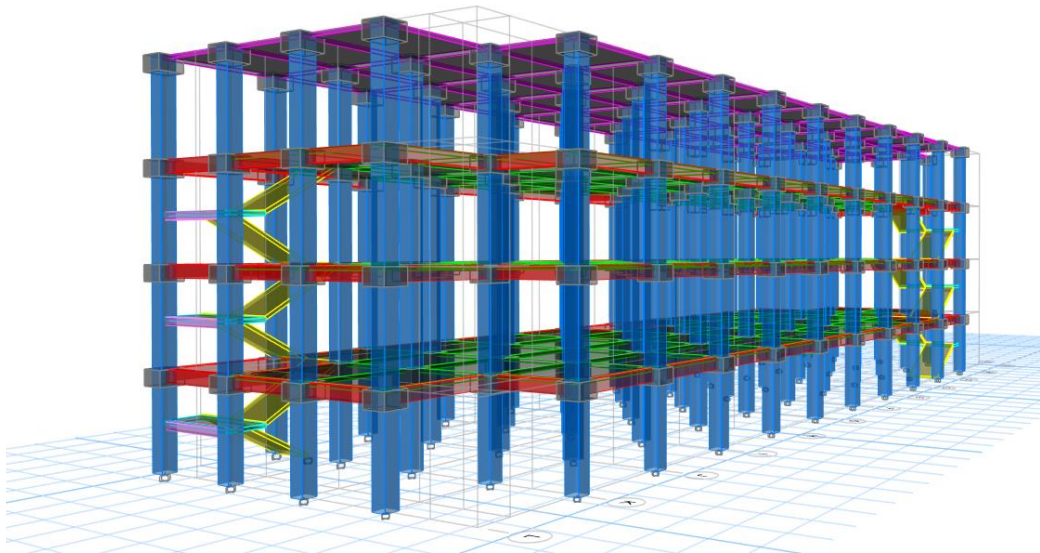
5. Menggambar komponen struktur

Setelah mendefinisikan material serta komponen struktur yang dipakai, dilanjutkan dengan menggambar komponen struktur sesuai dengan denah perancangan yang sudah ditentukan.



Gambar 5. 19 Komponen Struktur yang Sudah Dimodelkan

Berikut adalah gambar detail 3D komponen struktur yang sudah dimodelkan.



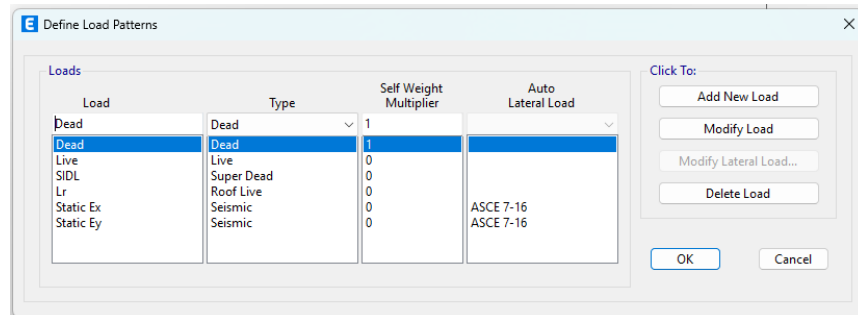
Gambar 5. 20 Detail 3D Komponen Struktur

5.6.2 Assign Pembebanan *Etabs*

1. Mendefinisikan beban

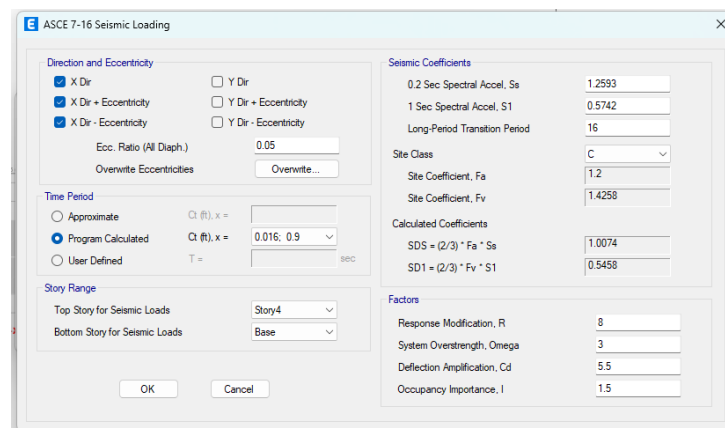
Sebelum melakukan assign beban perlu dilakukan pendefinisian beban tersebut yang terdiri dari beban mati tambahan, beban hidup, beban hidup atap, serta

gempa statik baik arah x maupun arah y. Hal ini dilakukan dengan cara *define* → *load pattern* → *add new load*.



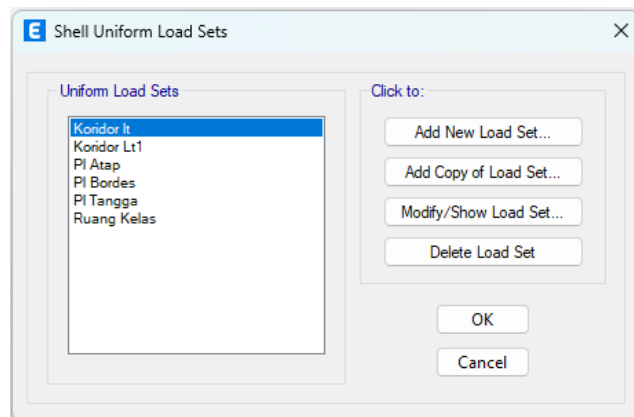
Gambar 5. 21 Define Load Patterns

Beban gempa didefinisikan sesuai dengan panduan SNI 1726-2019. Pada *etabs* menggunakan acuan ASCE 7-16 dengan memasukkan data parameter gempa sebagai berikut.



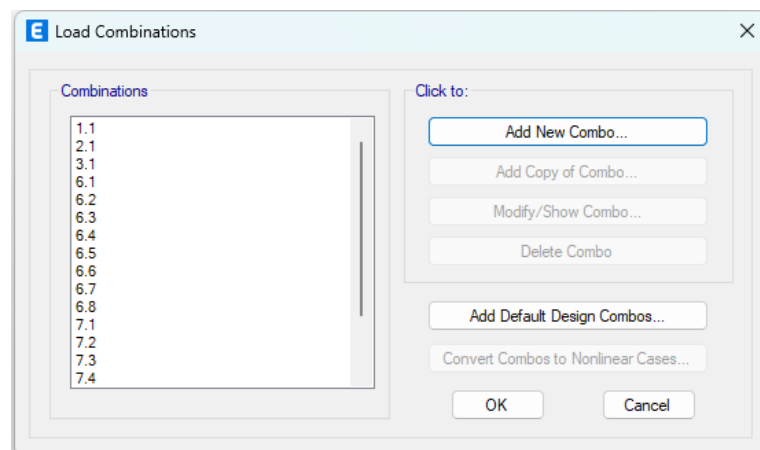
Gambar 5. 22 Modify Load Pattern untuk Ex

2. Mendefinisikan *shell uniform load sets* sesuai dengan fungsi ruang dengan cara *define* → *shell uniform load sets* → *add new load set* → masukkan beban gravitasi sesuai fungsi ruangan.



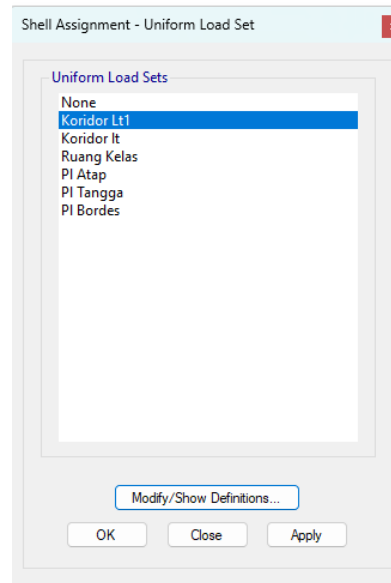
Gambar 5. 23 Shell Uniform Load Sets

3. Kombinasi pembebanan : *define* → *load combination* → *add new combination* → masukkan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1726-2019 → Ok.



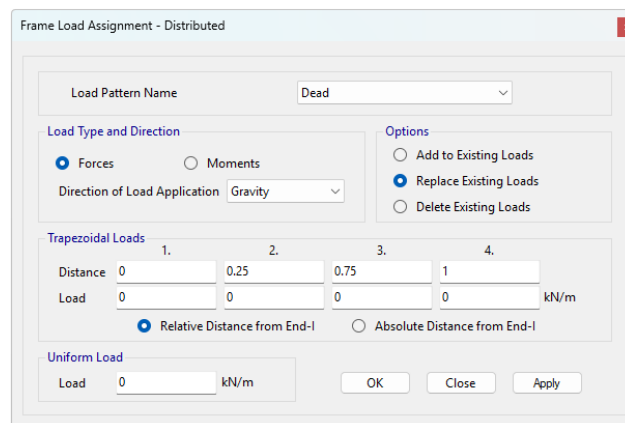
Gambar 5. 24 Load Combination

4. *Assign* beban
- a. *Shell uniform load sets* : *select* bagian pelat sesuai dengan fungsi ruang → *assign* → *shell loads* → *shell uniform load sets* → sesuaikan dengan fungsi ruang yang akan diberikan beban → *apply*.



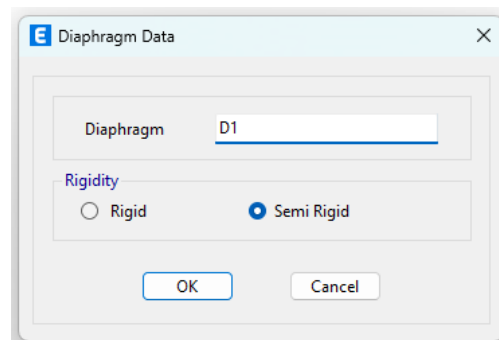
Gambar 5. 25 Shell Assignment

- b. Beban dinding perimeter : *select* rangka yang akan diberikan beban dinding
 → *frame loads* → *distributed* → masukkan beban dalam satuan kN/m → *apply*.



Gambar 5. 26 Frame Loads Assignment Distributed

- c. *Assign* diafragma : *select* komponen struktur → *assign* → *shell* → *diaphragms*
 → *modify* → *semi rigid*.



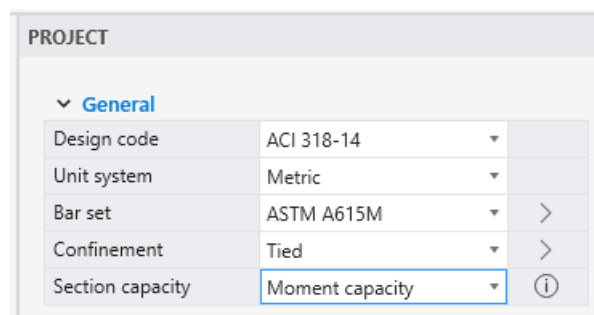
Gambar 5. 27 Diaphargm Data

5.6.3 Analisis *spColumn*

Penggunaan *software spColumn* digunakan untuk menganalisis komponen struktur kolom. *Software* ini dapat membantu untuk memunculkan gaya dalam yang bekerja pada kolom. Berikut adalah langkah-langkah untuk menggunakan *software spColumn*.

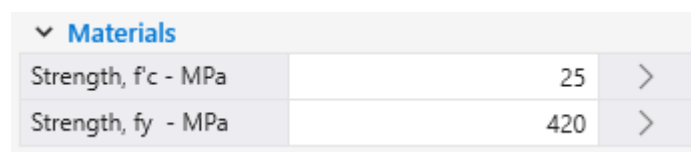
1. Mendefinisikan komponen desain

- a. *New project* → menggunakan *design code* sesuai SNI 2847-2019 yaitu ACI 318-14 → Mengubah *unit system* menjadi *metric* → Mengubah *bar set* menjadi ASTM A615M → Mengubah *confinement* menjadi *tied* → Mengubah *section capacity* menjadi *moment capacity*.



Gambar 5. 28 General Komponen Desain

- b. Mengubah material sesuai dengan rencana desain → mengubah *strength, f'c* menjadi 25 MPa → mengubah *strength, fy* menjadi 420 MPa.



Gambar 5. 29 Materials Komponen Desain

- c. Mengubah komponen *run option* → *run option, investigation* → *run axis, biaxial* → *consider slenderness, no*.

Run Options		
Run Option	Investigation	>
Run Axis	Biaxial	>
Consider Slenderness	No	>

Gambar 5. 30 Run Option Komponen Desain

2. Mendefinisikan *section* penampang

Pada tahap ini sesuaikan dimensi, jumlah tulangan longitudinal, diameter tulangan longitudinal, serta tulangan transversalnya sesuai dengan rencana desain.

SECTION

Rect. Cir. To Irr. Irregular ...

Size

Width	600	mm
Depth	600	mm

Bar Arrangement

Type	All Sides Equal
Layout	Rectangular

Reinforcement

No. of bars	16
Bar size	#25
Clear cover	40 mm

Cover Type

Clear cover to	Transverse bars
----------------	-----------------

#10 Trans. bars with #16 Long. bars or smaller.

#13 Trans. bars with larger Long. bars.

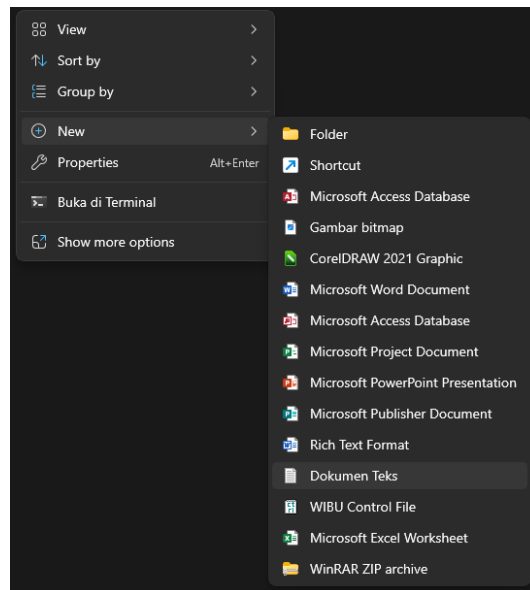
Gambar 5. 31 Define Section

3. Input beban

Input beban dapat dilakukan dengan cara manual maupun cara otomatis. Cara otomatis dapat dilakukan dengan *import* beban dalam format txt.

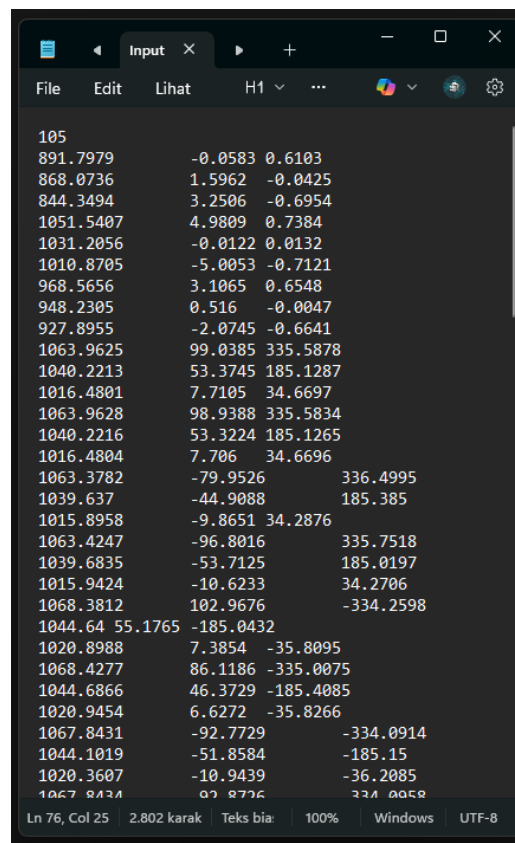
- a. Mengubah beban menjadi format txt

Membuat file text baru pada folder *spColumn*



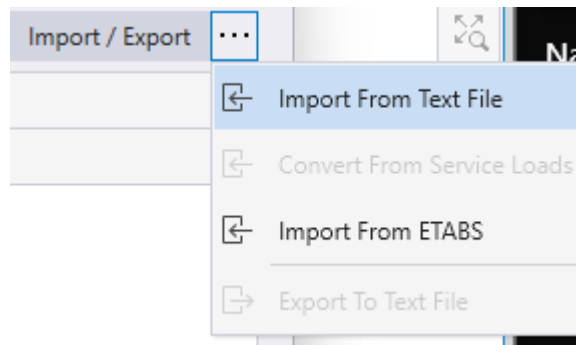
Gambar 5. 32 New txt File

Copy beban yang akan dianalisa dengan format sebagai berikut.



Gambar 5. 33 Input Beban ke txt File

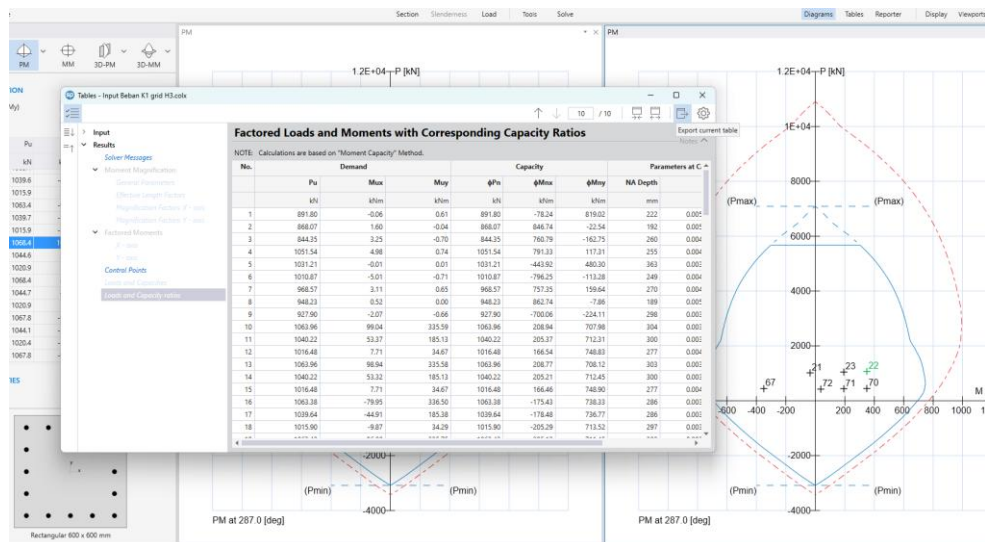
b. *Import* beban ke dalam *spColumn*



Gambar 5. 34 Import Beban *SpColumn*

4. Mendapatkan gaya dalam

Setelah melakukan input beban ke dalam *spColumn*, klik *solve*. Untuk analisis yang lebih lanjut dapat melakukan *export* file ke dalam *excel*.



Gambar 5. 35 Gaya Dalam *SpColumn*

5.7 Kontrol Struktur

Pada tahap ini akan dilakukan kontrol persyaratan bangunan dengan mengacu pada SNI 1726-2019. Berikut adalah kontrol persyaratan bangunan yang akan ditinjau sesuai dengan SNI 1726-2019.

1. Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal diatur dalam SNI 1726-2019 pada pasal 7.3.3.4. Hal ini dijelaskan pada tabel 14 sebagai berikut.

Tabel 5. 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.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	0 0 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 0 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

a. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak tipe 1a dan 1b

Ketidakberaturan tipe ini dipengaruhi oleh kekakuan tingkat lunak pada masing-masing lantainya. Berikut adalah tabel ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b.

Tabel 5. 11 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah X

Lantai	Z	F_x	Akumulatif	K	Cek		Cek	
	mm	kN	V_x (kN)	kN/mm	70% K_i + 1 lt	Status	80% Avg + 3 lt	Status
4	16000	1	1	68232.776	0.000	Regular	0.000	Regular
3	12000	1	2	143548.371	47762.943	Regular	54586.221	Regular
2	8000	1	3	222159.869	100483.860	Regular	84712.459	Regular
1	4000	1	4	266801.760	155511.908	Regular	115717.604	Regular

Tabel 5. 12 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a Arah Y

Lantai	Z	F_y	Akumulatif	K	Cek		Cek	
	mm	kN	V_y (kN)	kN/mm	70% K_i	Status	80% Avg + 3 lt	Status
4	16000	1	1	76309	0.000	Regular	0.000	Regular
3	12000	1	2	168180	53416.633	Regular	61047.581	Regular
2	8000	1	3	262745	117726.277	Regular	97795.948	Regular
1	4000	1	4	310877	183921.670	Regular	135262.697	Regular

Tabel 5. 13 Ketidakberaturan Vertikal tipe 1b Arah X

Lantai	Z	F_x	Akumulatif	K	Cek		Cek	
	mm	kN	V_x (kN)	kN/mm	60% Ki + 1 lt	Status	70% Avg + 3 lt	Status
4	16000	1	1	68232.776	0.000	Regular	0.000	Regular
3	12000	1	2	143548.371	40939.666	Regular	47762.943	Regular
2	8000	1	3	222159.869	86129.023	Regular	74123.401	Regular
1	4000	1	4	266801.760	133295.921	Regular	101252.904	Regular

Tabel 5. 14 Ketidakberaturan Vertikal tipe 1b Arah Y

Lantai	Z	F_y	Akumulatif	K	Cek		Cek	
	mm	kN	V_y (kN)	kN/mm	60% Ki	Status	70% Avg + 3 lt	Status
4	16000	1	1	76309	0.000	Regular	0.000	Regular
3	12000	1	2	168180	45785.686	Regular	53416.633	Regular
2	8000	1	3	262745	100908.237	Regular	85571.455	Regular
1	4000	1	4	310877	157647.146	Regular	135262.697	Regular

b. Ketidakberaturan berat (massa)

Ketidakberaturan vertikal tipe 2 ini dipengaruhi oleh massa bangunan. Tabel ketidakberaturan tipe ini dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 5. 15 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2

Lantai	W(kg)	150% $W_i + 1It$	Status
4	588631.74	0	Regular
3	889150.06	882947.61	Regular
2	904812.05	1333725.09	Regular
1	904812.05	1357218.075	Regular
Total	3287405.9		

c. Ketidakberaturan geometri vertikal

Ketidakberaturan geometri vertikal dipengaruhi oleh dimensi horizontal pemikul gaya seismik. Dalam hal ini yang dimaksud adalah komponen struktur kolom dan dinding geser (*shear wall*). Pada tugas akhir ini hanya menggunakan kolom tanpa *shear wall* dengan dimensi horizontal yang identik. Sehingga tidak terdapat ketidakberaturan tipe ini.

d. Ketidakberaturan diskontinuitas arah bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral

Ketidakberaturan tipe ini terjadi jika terdapat kolom atau *shear wall* yang tidak menerus dari atas sampai bawah dengan batasan 130%. Pada tugas akhir ini tidak terdapat ketidakberaturan tipe ini karena elemen vertikal pemikul gaya lateral, dalam hal ini adalah kolom menerus dari atas sampai bawah.

e. Ketidakberaturan tingkat lemah diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat tipe 5a dan 5b

Ketidakberaturan vertikal ini dipengaruhi oleh faktor kekuatan yang dibedakan oleh syarat atau batasannya. Dalam hal ini kekuatan diasumsikan berbanding lurus dengan gaya (V_x dan V_y) yang bekerja tiap lantai. Tabel ketidakberaturan tipe 5a dan 5b dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 16 Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah x

Lantai	Arah X				
	Kekuatan kN	80% xi +1	65% xi +1	Cek 5a	Cek 5b
4	1090.646	0.000	0.000		
3	2265.911	872.517	708.920	Regular	Regular
2	3037.355	1812.728	1472.842	Regular	Regular
1	3390.757	2429.884	1974.281	Regular	Regular

Tabel 5. 17 Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah y

Lantai	Arah Y				
	Kekuatan kN	80% xi +1	65% xi +1	Cek 5a	Cek 5b
4	1090.646	0.000	0.000		
3	2265.911	872.517	708.920	Regular	Regular
2	3037.355	1812.728	1472.842	Regular	Regular
1	3390.757	2429.884	1974.281	Regular	Regular

Adapun hasil rekapitulasi ketidakberaturan vertikal dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal

No.	Tipe	Status
1	1a dan 1b	Regular
2	2	Regular
3	3	Regular
4	4	Regular
5	5a dan 5b	Regular

2. Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan horizontal dijelaskan pada tabel 13 SNI 1726-2019 sebagai berikut.

Tabel 5. 19 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

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

a. Ketidakberaturan torsi tipe 1a dan 1b

Ketidakberaturan tipe ini dipengaruhi oleh simpangan antar tingkat yang dibatasi oleh nilai 1,2 untuk tipe 1a dan 1,4 untuk tipe 1b.

Tabel 5. 20 Ketidakberaturan Tipe 1a dan 1b Arah x

Lantai	Arah X				
	$\Delta_{\max}$	Δ_{avg}	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek 1a syarat 1,2	Cek 1b syarat 1,4
4	31.96	31.757	1.006	Regular	Regular
3	31.938	31.648	1.009	Regular	Regular
2	27.492	27.223	1.01	Regular	Regular
1	12.991	12.737	1.02	Regular	Regular

Tabel 5. 21 Ketidakberaturan Tipe 1a dan 1b Arah y

Lantai	Arah Y				
	$\Delta_{\max}$	Δ_{avg}	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	Cek 1a syarat 1,2	Cek 1b syarat 1,4
4	28.402	27.279	1.041	Regular	Regular
3	27.264	25.827	1.056	Regular	Regular
2	23.245	22.193	1.047	Regular	Regular
1	11.479	10.932	1.05	Regular	Regular

b. Ketidakberaturan sudut dalam

Ketidakberaturan sudut dalam dipengaruhi oleh bentuk denah baik arah x dan arah y. Ketidakberaturan tipe ini dibatasi 15% rasio pada arah sumbu yang ditinjau. Berikut adalah tabel ketidakberaturan sudut dalam.

Tabel 5. 22 Ketidakberaturan Tipe 2

Lx	55	m
Px	5	m
Ly	16	m
Py	4	m
Px/Lx	9.09%	
Py/Ly	25.00%	
Cek	H.2	

c. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Ketidakberaturan ini dipengaruhi oleh luas daerah yang terpotong atau terbuka (void) pada pelat yang ditinjau. Ketidakberaturan tipe ini dibatasi nilai maksimal void adalah 50%.

$$\text{Luas total (A total)} = 820 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas bukaan (A void)} = 60 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Presentase} &= \frac{A \text{ total} - A \text{ void}}{A \text{ total}} \\ &= \frac{820 - 60}{820} \\ &= 7\% \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa struktur regular.

d. Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang

Ketidakberaturan tipe 4 terjadi jika terdapat pergeseran tegak lurus terhadap bidang. Dikarenakan dalam pada struktur gedung simetris dan tegak lurus, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa struktur regular.

e. Ketidakberaturan sistem non paralel

Ketidakberaturan ini terjadi jika pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik. Dapat disimpulkan bahwa struktur gedung tidak memiliki ketidakberaturan tipe ini.

Adapun hasil rekapitulasi ketidakberaturan vertikal dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 23 Rekapitulasi Ketidakberaturan Horizontal

No.	Tipe	Status
1	1a dan 1b	Regular
2	2	Iregular H.2
3	3	Regular
4	4	Regular
5	5	Regular

Pada struktur gedung tersebut terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 2 yaitu ketidakberaturan sudut dalam. Di mana hal ini telah diatur dalam SNI 1726-2019 tabel 16. Berikut adalah tabel yang dimaksud.

Tabel 5. 24 Prosedur Analisis yang Dizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0	Analisis spektrum respons ragam pasal 0	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 0
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_z$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

CATATAN I: Diizinkan, TI: Tidak Diizinkan

Dari tabel tersebut maka struktur yang akan direncanakan diizinkan menggunakan analisis gaya lateral ekuivalen.

3. Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat adalah perbedaan perpindahan lateral antar lantai yang berurutan yang diakibatkan oleh beban gempa. Hal ini diatur dalam SNI 1726-2020. Berikut adalah kontrol struktur simpangan antar tingkat.

$$\text{Faktor pembesaran defleksi (Cd)} = 5,5$$

$$\text{Faktor keutamaan gempa (Ie)} = 1,5$$

$$\text{Story drift inelastik } (\Delta) = \delta * Cd / Ie$$

$$\text{Simpangan antar tingkat izin } (\Delta_a) = 0,02 h$$

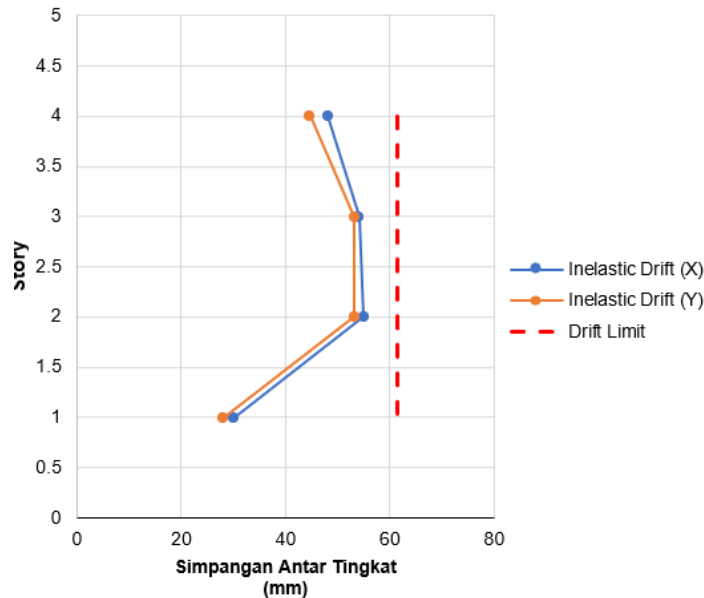
$$\text{Faktor redundansi } (\rho) = 1,3$$

$$\begin{aligned} \text{Story drift inelastik izin } (\Delta_{\max}) &= \Delta / \rho \\ &= 0,02/1,3 \\ &= 0,0154 h \end{aligned}$$

Tabel 5. 25 Simpangan Antar Tingkat

<i>Story</i>	<i>Displacement</i>		<i>Elastic Drift</i>		<i>h</i>	<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift Limit</i>	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
4	51.149	48.881	13.152	12.181	4000	48.224	44.664	61.538	OK
3	37.997	36.700	14.761	14.509	4000	54.124	53.200	61.538	OK
2	23.236	22.191	15.006	14.513	4000	55.022	53.214	61.538	OK
1	8.230	7.678	8.230	7.678	4000	30.177	28.153	61.538	OK

Dari hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa seluruh simpangan antar lantai masih berada di bawah batas maksimum yang diizinkan. Berikut adalah grafik dari kontrol struktur simpangan antar tingkat.



Gambar 5. 36 Grafik Simpangan Antar Tingkat

4. Pengaruh P-Delta

Efek pengaruh P-Delta menggambarkan pengaruh gaya aksial vertikal terhadap perpindahan lateral / simpangan antar tingkat (Δ), yang menyebabkan momen tambahan pada struktur akibat ketidakstabilan geometri. Pengaruh ini boleh diabaikan jika koefisien stabilitas θ memenuhi syarat berikut .

$$\theta = \frac{Px \Delta Ie}{Vx h_{sx} Cd} \leq 0,1$$

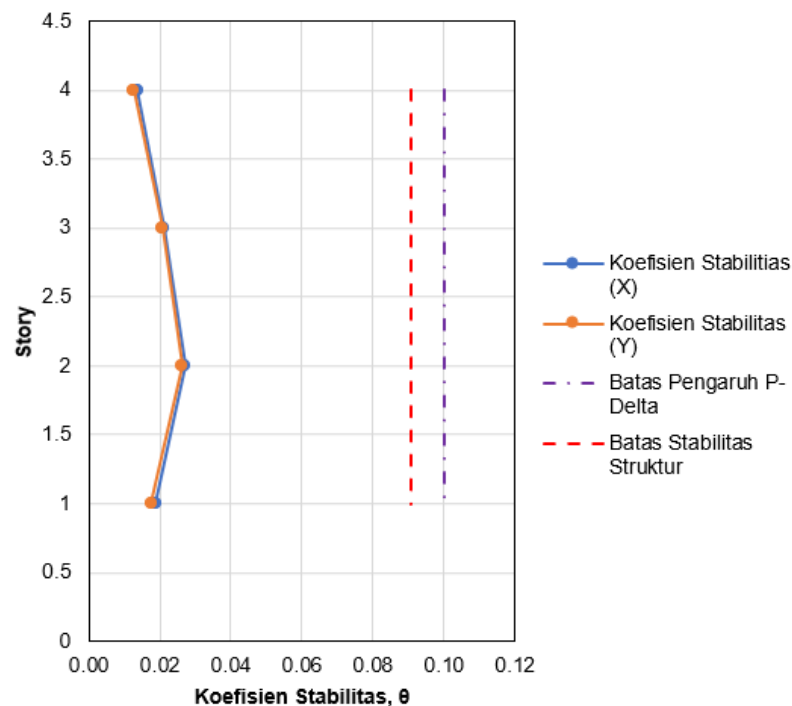
Agar struktur tetap stabil, nilai koefisien stabilitas θ tidak boleh melebihi θ_{max} dengan rumus berikut dengan maksimal nilai θ_{max} adalah 0,25.

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

Berikut adalah tabel dari pengecekan kontrol struktur pengaruh P-Delta.

Tabel 5. 26 Pengaruh P-Delta Arah X dan Y

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h	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)						
4	48.224	44.664	5593.79	1347.02	1347.02	4000	0.0137	0.0126	0.1	0.0909	OK
3	54.124	53.200	16077.38	2810.44	2810.44	4000	0.0211	0.0208	0.1	0.0909	OK
2	55.022	53.214	27080.11	3746.30	3746.30	4000	0.0271	0.0262	0.1	0.0909	OK
1	30.177	28.153	38082.84	4169.30	4169.30	4000	0.0188	0.0175	0.1	0.0909	OK



Gambar 5. 37 Grafik P-Delta

Pengecekan di atas menunjukkan bahwa pengaruh efek P-Delta pada struktur tergolong kecil sehingga struktur dinyatakan memenuhi syarat sesuai SNI 1726-2019.

5.8 Desain Penulangan Pelat & Drop Panel

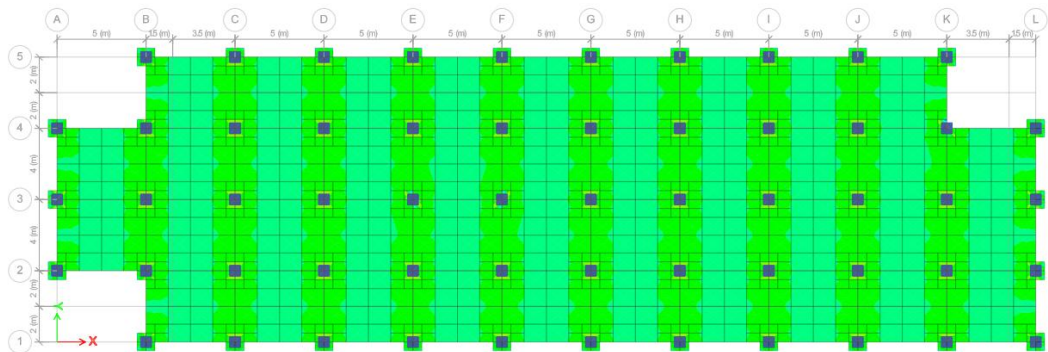
5.8.1 Penulangan *Flat slab*

Setelah dilakukan analisis perhitungan melalui software bantu didapatkan momen-momen yang bekerja di komponen struktur pelat lantai sebagai bahan acuan penulangan pelat lantai sebagai berikut.

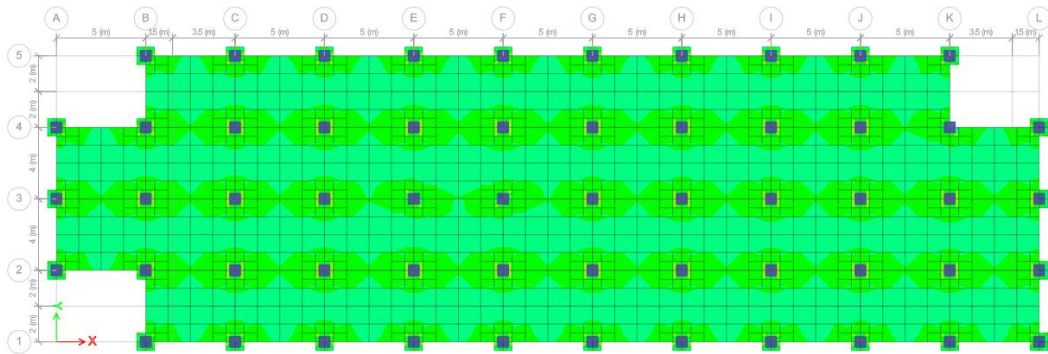
Tabel 5. 27 Output Gaya Dalam Pelat

No.	Jenis Output	Nilai	Satuan
1	M11 max	13.651	kNm
2	M11 min	-34.854	kNm
3	M22 max	13.754	kNm
4	M22 min	-35.585	kNm

Berikut adalah distribusi momen M11 dan M22 pada pelat lantai.



Gambar 5. 38 Distribusi Momen M11



Gambar 5. 39 Distribusi Momen M22

Sebagai bahan pertimbangan, diperhitungkan pula momen M_o sesuai SNI 2847-2019 pasal 8.10.4.1. Diambil perhitungan pelat pada bagian koridor di atas lantai pertama.

$$L1 = 5 \text{ m}$$

$$L2 = 4 \text{ m}$$

$$L_n = 3,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ D}l + 1,6 \text{ L}l \\ &= 1,2 (3,532 + 2,007) + 1,6 (3,830) \\ &= 12,774 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_o &= \frac{Q_u l_2 l_n^2}{8} \\ &= \frac{12,774 \times 4 \times 3,4^2}{8} \\ &= 73,835 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI, M_o harus didistribusikan sesuai dengan koefisien pada lajur kolom maupun lajur tengah dengan nilai sebagai berikut.

Tabel 5. 28 Distribusi Momen M_o

No.		Momen Negatif kNm		Momen Positif kNm	
		-0,65	M_o	+0,65	M_o
1	Momen Pelat				
2	Lajur Kolom	0,75(-0,65)	-4,9 M_o	0,6(0,35)	0,21 M_o
3	Lajur Tengah	0,25(-0,65)	-0,16 M_o	0,4(0,35)	0,14 M_o

Berdasarkan koefisien distribusi tersebut didapatkan nilai momen untuk masing-masing kondisi adalah sebagai berikut.

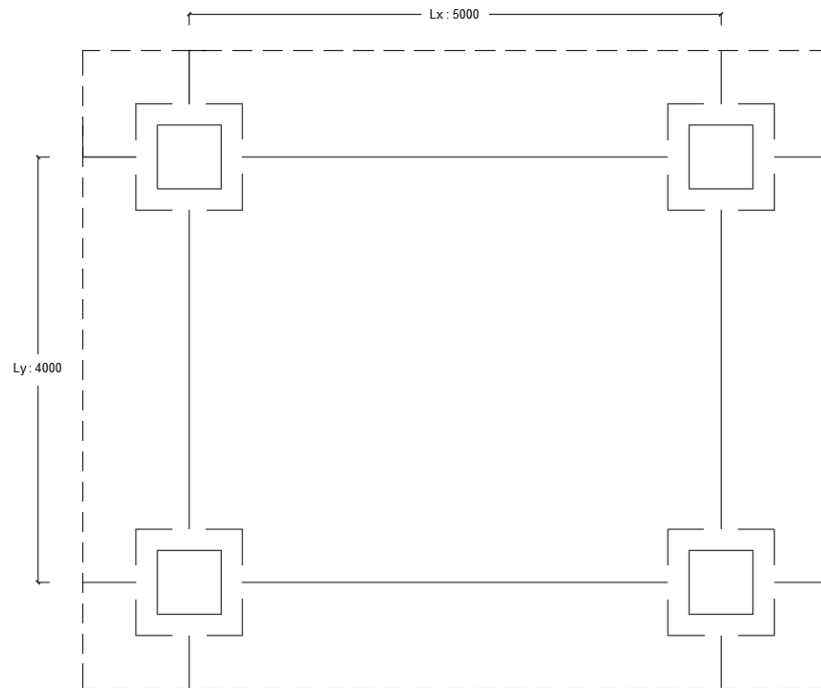
$$\begin{aligned}
 M\text{- lajur kolom} &= -4,9 \times M_o \\
 &= -4,9 \times 73,835 \\
 &= -35,995 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M\text{+ lajur kolom} &= 0,21 \times M_o \\
 &= 0,21 \times 73,835 \\
 &= 15,505 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

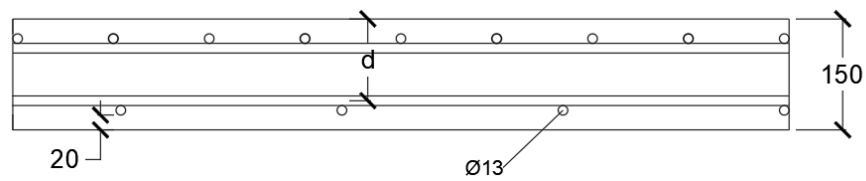
$$\begin{aligned}
 M\text{- lajur tengah} &= -0,16 \times M_o \\
 &= -0,16 \times 73,835 \\
 &= -11,998 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M\text{+ lajur tengah} &= 0,14 \times M_o \\
 &= 0,14 \times 73,835 \\
 &= 10,337 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

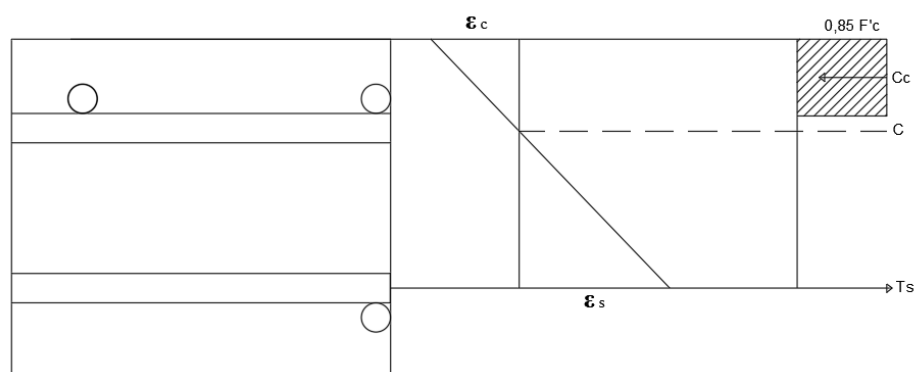
Dikarenakan nilai yang cukup identik untuk momen output dari *etabs* dan perhitungan momen terfaktor M_o , maka digunakan nilai momen hasil output dari *etabs*. Berikut adalah gambar tampak atas L_x dan L_y , ilustrasi penampang tulangan pada pelat lantai, serta diagram regangan dan tegangan beton bertulang.



Gambar 5. 40 Tampak Atas Lx dan Ly



Gambar 5. 41 Ilustrasi Penampang Tulangan Pelat



Gambar 5. 42 Diagram Tegangan Regangan Beton Bertulang

Berikut adalah perhitungan penulangan pelat *flat slab*.

1. Penulangan pelat

Data umum

$$f'_c = 25$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c}$$

$$= 4700 \times \sqrt{25}$$

$$= 23500 \text{ MPa}$$

$$E_y = 200000 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \times ((f'_c - 28)/7)$$

$$= 0,871$$

$$\beta \text{ pakai} = 0,85$$

$$D \text{ pokok} = 13 \text{ mm}$$

$$L_y = 4000$$

$$L_x = 5000$$

$$H \text{ pelat} = 150 \text{ mm}$$

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

$$d = H - s_b - d_b - d_b/2$$

$$= 150 - 20 - 13 - 13/2$$

$$= 110,5 \text{ mm}$$

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

$$\text{Spasi maksimum} = 2h \text{ dan } 450$$

$$= 2 \times 150 \text{ dan } 450$$

$$= 300 \text{ mm dan } 450 \text{ mm}$$

Diambil spasi maksimum 300mm

a. Penulangan tumpuan atas sumbu x

$$M_{11 \text{ min}} = -34,854 \text{ kNm}$$

$$\text{Diambil spasi} = 120 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = b/s$$

$$= 1000 / 120$$

$$= 8 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak bersih tulangan} &= s-d_b \\
 &= 120 - 13 \\
 &= 107 \text{ mm} > 25 \text{ mm (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min1}} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g \\
 &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 \\
 &= 270 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min2}} &= 0,0014 \times A_g \\
 &= 0,0014 \times 1000 \times 150 \\
 &= 210 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n \times 0,25 \times \pi \times d_b^2 \\
 &= 8 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \\
 &= 1106,102 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ min}} \text{ (Ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi blok tekan (a)} &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1106,102 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 21,862 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas lentur (Mn)} &= A_s \times F_y \times (d-d_b-a/2) \\
 &= 1106,102 \times 420 \times (110,5-13-21,862/2) \\
 &= 40,217 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lokasi garis netral (c)} &= a/\beta \\
 &= 21,862 / 0,85 \\
 &= 25,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Regangan tulangan tarik (}\epsilon_s\text{)} &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{110,5-25,72}{25,72} \times 0,003 \\
 &= 0,01
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor reduksi (}\phi\text{)} &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\
 &= 0,9
 \end{aligned}$$

$$\text{Momen ultimit (Mu)} = 34,854 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\text{Kapabilitas lentur tereduksi } (\phi M_n) &= 0,9 \times 40,217 \\ &= 36,195 \text{ kNm} > M_u \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

b. Penulangan lapangan bawah sumbu x

$$M_{11} \text{ max} = 13,651 \text{ kNm}$$

$$\text{Diambil spasi} = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan } (n) &= b/s \\ &= 1000 / 300 \\ &= 3 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih tulangan} &= s - d_b \\ &= 300 - 13 \\ &= 287 \text{ mm} > 25 \text{ mm (ok)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min1}} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 \\ &= 270 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min2}} &= 0,0014 \times A_g \\ &= 0,0014 \times 1000 \times 150 \\ &= 210 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ pasang}} &= n \times 0,25 \times \pi \times d_b^2 \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \\ &= 442,441 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ min}} \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi blok tekan } (a) &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{442,441 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 8,745 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kapabilitas lentur } (M_n) &= A_s \times F_y \times (d - d_b - a/2) \\ &= 442,441 \times 420 \times (110,5 - 13 - 8,745/2) \\ &= 17,305 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lokasi garis netral } (c) &= a/\beta \\ &= 8,745 / 0,85 \\ &= 10,288 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Regangan tulangan tarik } (\epsilon_s) &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{110,5-10,288}{10,288} \times 0,003 \\
 &= 0,029
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor reduksi } (\phi) &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\
 &= 0,9
 \end{aligned}$$

$$\text{Momen ultimit } (M_u) = 13,651 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas lentur tereduksi } (\phi M_n) &= 0,9 \times 17,305 \\
 &= 13,575 \text{ kNm} > M_u \text{ (Ok)}
 \end{aligned}$$

c. Penulangan tumpuan atas sumbu y

$$M_{22 \text{ min}} = -35,585 \text{ kNm}$$

$$\text{Diambil spasi} = 130 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan } (n) &= b/s \\
 &= 1000 / 130 \\
 &= 8 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak bersih tulangan} &= s - db \\
 &= 130 - 13 \\
 &= 117 \text{ mm} > 25 \text{ mm (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min1}} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g \\
 &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 \\
 &= 270 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min2}} &= 0,0014 \times A_g \\
 &= 0,0014 \times 1000 \times 150 \\
 &= 210 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n \times 0,25 \times \pi \times db^2 \\
 &= 8 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \\
 &= 1021,018 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ min}} \text{ (Ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi blok tekan } (a) &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1021,018 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000}
 \end{aligned}$$

$$= 20,18 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas lentur (Mn)} &= A_s \times F_y \times (d - d_b - a/2) \\ &= 1021,018 \times 420 \times (110,5 - 13 - 20,18/2) \\ &= 43,059 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lokasi garis netral (c)} &= a/\beta \\ &= 20,18 / 0,85 \\ &= 23,741 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan tarik } (\epsilon_s) &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{110,5 - 23,741}{23,741} \times 0,003 \\ &= 0,01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor reduksi } (\phi) &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\ &= 0,9 \end{aligned}$$

$$\text{Momen ultimit (Mu)} = 35,585 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas lentur tereduksi } (\phi \text{ Mn}) &= 0,9 \times 43,059 \\ &= 38,753 \text{ kNm} > \text{Mu (Ok)} \end{aligned}$$

d. Penulangan lapangan bawah sumbu y

$$\text{M22 max} = 13,754 \text{ kNm}$$

$$\text{Diambil spasi} = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan (n)} &= b/s \\ &= 1000 / 300 \\ &= 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih tulangan} &= s - d_b \\ &= 300 - 13 \\ &= 287 \text{ mm} > 25 \text{ mm (ok)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min1} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 \\ &= 270 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min2} &= 0,0014 \times A_g \\ &= 0,0014 \times 1000 \times 150 \end{aligned}$$

$$= 210 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times 0,25 \times \pi \times db^2 \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \\ &= 442,441 \text{ mm}^2 > \text{As min (Ok)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok tekan (a)} &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} \\ &= \frac{442,441 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 8,745 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas lentur (Mn)} &= As \times Fy \times (d - db - a/2) \\ &= 442,441 \times 420 \times (110,5 - 13 - 8,745 / 2) \\ &= 40,217 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lokasi garis netral (c)} &= a/\beta \\ &= 8,745 / 0,85 \\ &= 10,288 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan tulangan tarik (}\epsilon_s\text{)} &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{110,5 - 10,288}{10,288} \times 0,003 \\ &= 0,029 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor reduksi (}\phi\text{)} &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\ &= 0,9 \end{aligned}$$

$$\text{Momen ultimit (Mu)} = 13,754 \text{ kNm}$$

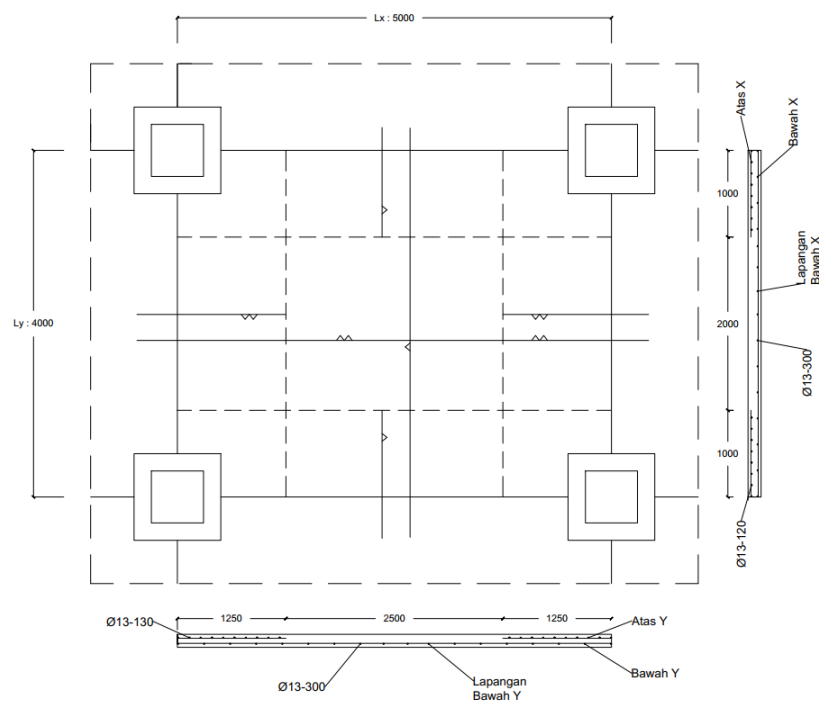
$$\begin{aligned} \text{Kapasitas lentur tereduksi (}\phi \text{ Mn)} &= 0,9 \times 19,721 \\ &= 17,749 \text{ kNm} > \text{Mu (Ok)} \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi penulangan pelat lantai dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 29 Rekapitulasi Penulangan Pelat

No.	Jenis	Tulangan
1	Tumpuan atas X	D13-120
2	Lapangan bawah arah X	D13-300
3	Tumpuan atas Y	D13-130
4	Lapangan bawah arah Y	D13-300

Berikut adalah gambar ilustrasi penulangan pada pelat lantai.



Gambar 5. 43 Ilustrasi Penulangan Pelat Lantai

5.8.2 Penulangan *Drop Panel*

Pada komponen struktur *drop panel* didapatkan nilai-nilai gaya dalam dari *etabs* sebagai berikut.

Tabel 5. 30 Gaya Dalam Drop Panel

No.	Jenis output	Nilai	Satuan
1	M11 MAX	194.602	kNm
2	M11 MIN	-448.788	kNm
3	M22 MAX	165.956	kNm
4	M22 MIN	-372.266	kNm

Dari nilai-nilai gaya dalam tersebut dapat dilakukan perhitungan tulangan sebagai berikut.

1. Tulangan lentur *drop panel*

Data umum

$$f'_c = 25$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c}$$

$$= 4700 \times \sqrt{25}$$

$$= 23500 \text{ MPa}$$

$$E_y = 200000 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \times ((f'_c - 28)/7)$$

$$= 0,871$$

$$\beta \text{ pakai} = 0,85$$

$$D \text{ pokok} = 16 \text{ mm}$$

$$L_y = 4000$$

$$L_x = 5000$$

$$H_{\text{drop panel}} = 650 \text{ mm}$$

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

$$d = H - H_{\text{pelat}} - s_b - d_b - d_b/2$$

$$= 650 - 150 - 20 - 16 - 16/2$$

$$= 456 \text{ mm}$$

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

$$\text{Spasi maksimum} = 2h \text{ dan } 450$$

$$= 2 \times 500 \text{ dan } 450$$

$$= 1000 \text{ mm dan } 450 \text{ mm}$$

Diambil spasi maksimum 450 mm

a. Penulangan tumpuan atas sumbu x

$$M_{11 \text{ min}} = -448,788 \text{ kNm}$$

$$\text{Diambil spasi} = 70 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan (n)} &= b/s \\ &= 1000 / 70 \\ &= 14 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak bersih tulangan} &= s-d_b \\ &= 70 - 16 \\ &= 54 \text{ mm} > 25 \text{ mm (ok)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min1}} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 500 \\ &= 900 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min2}} &= 0,0014 \times A_g \\ &= 0,0014 \times 1000 \times 500 \\ &= 700 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times 0,25 \times \pi \times d_b^2 \\ &= 14 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 2872,313 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ min (Ok)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi blok tekan (a)} &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{2872,313 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 56,770 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas lentur (Mn)} &= A_s \times F_y \times (d-d_b-a/2) \\ &= 2872,313 \times 420 \times (456-16-56,770/2) \\ &= 515,862 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lokasi garis netral (c)} &= a/\beta \\ &= 56,770 / 0,85 \\ &= 66,789 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Regangan tulangan tarik } (\epsilon_s) = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{456 - 66,789}{66,789} \times 0,003$$

$$= 0,017$$

$$\text{Faktor reduksi } (\phi) = 0,65 \leq 0,65 + \frac{\varepsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$= 0,9$$

$$\text{Momen ultimit (Mu)} = 448,788 \text{ kNm}$$

$$\text{Kapasitas lentur tereduksi } (\phi M_n) = 0,9 \times 515,862$$

$$= 464,276 \text{ kNm} > M_u \text{ (Ok)}$$

b. Penulangan lapangan bawah sumbu x

$$M_{11 \text{ min}} = 194,602 \text{ kNm}$$

$$\text{Diambil spasi} = 170 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = b/s$$

$$= 1000 / 170$$

$$= 6 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak bersih tulangan} = s - d_b$$

$$= 170 - 16$$

$$= 154 \text{ mm} > 25 \text{ mm (ok)}$$

$$A_{s \text{ min1}} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 500$$

$$= 900 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min2}} = 0,0014 \times A_g$$

$$= 0,0014 \times 1000 \times 500$$

$$= 700 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} = n \times 0,25 \times \pi \times d_b^2$$

$$= 6 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 1182,717 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ min}} \text{ (Ok)}$$

$$\text{Tinggi blok tekan (a)} = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{1182,717 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000}$$

$$= 23,376 \text{ mm}$$

$$\text{Kapasitas lentur (Mn)} = A_s \times F_y \times (d - d_b - a/2)$$

$$= 1182,717 \times 420 \times (456-16-23,376 / 2)$$

$$= 220,708 \text{ kNm}$$

$$\text{Lokasi garis netral (c)} = a/\beta$$

$$= 23,376 / 0,85$$

$$= 27,501 \text{ mm}$$

$$\text{Regangan tulangan tarik } (\epsilon_s) = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{456-27,501}{27,501} \times 0,003$$

$$= 0,047$$

$$\text{Faktor reduksi } (\phi) = 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$= 0,9$$

$$\text{Momen ultimit (Mu)} = 194,602 \text{ kNm}$$

$$\text{Kapabilitas lentur tereduksi } (\phi M_n) = 0,9 \times 220,708$$

$$= 198,637 \text{ kNm} > \text{Mu (Ok)}$$

c. Penulangan tumpuan atas sumbu y

$$M_{22 \text{ min}} = -372,226 \text{ kNm}$$

$$\text{Diambil spasi} = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = b/s$$

$$= 1000 / 80$$

$$= 13 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak bersih tulangan} = s - d_b$$

$$= 80 - 16$$

$$= 64 \text{ mm} > 25 \text{ mm (ok)}$$

$$A_s \text{ min1} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 500$$

$$= 900 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min2} = 0,0014 \times A_g$$

$$= 0,0014 \times 1000 \times 500$$

$$= 700 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pasang} = n \times 0,25 \times \pi \times d_b^2$$

$$= 13 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 2513,274 \text{ mm}^2 > A_s \text{ min (Ok)}$$

$$\text{Tinggi blok tekan (a)} = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{2513,274 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000}$$

$$= 49,674 \text{ mm}$$

$$\text{Kapabilitas lentur (Mn)} = A_s \times F_y \times (d - d_b - a/2)$$

$$= 2513,274 \times 420 \times (456 - 16 - 49,674/2)$$

$$= 438,426 \text{ kNm}$$

$$\text{Lokasi garis netral (c)} = a/\beta$$

$$= 49,674 / 0,85$$

$$= 58,44 \text{ mm}$$

$$\text{Regangan tulangan tarik (}\epsilon_s\text{)} = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{456-58,44}{58,44} \times 0,003$$

$$= 0,02$$

$$\text{Faktor reduksi (}\phi\text{)} = 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9$$

$$= 0,9$$

$$\text{Momen ultimit (Mu)} = 372,266 \text{ kNm}$$

$$\text{Kapabilitas lentur tereduksi (}\phi \text{ Mn)} = 0,9 \times 438,426$$

$$= 394,412 \text{ kNm} > \text{Mu (Ok)}$$

d. Penulangan lapangan bawah sumbu y

$$M_{22} \text{ max} = 165,956 \text{ kNm}$$

$$\text{Diambil spasi} = 170 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = b/s$$

$$= 1000 / 170$$

$$= 6 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak bersih tulangan} = s - d_b$$

$$= 170 - 16$$

$$= 154 \text{ mm} > 25 \text{ mm (ok)}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \min 1} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g \\
 &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 500 \\
 &= 900 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \min 2} &= 0,0014 \times A_g \\
 &= 0,0014 \times 1000 \times 500 \\
 &= 700 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n \times 0,25 \times \pi \times d_b^2 \\
 &= 6 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 1182,717 \text{ mm}^2 > A_{s \min} \text{ (Ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi blok tekan (a)} &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1182,717 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\
 &= 23,376 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kapabilitas lentur (Mn)} &= A_s \times F_y \times (d - d_b - a/2) \\
 &= 1182,717 \times 420 \times (456 - 16 - 23,376 / 2) \\
 &= 212,76 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lokasi garis netral (c)} &= a/\beta \\
 &= 23,376 / 0,85 \\
 &= 27,501 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Regangan tulangan tarik (}\epsilon_s\text{)} &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{456 - 27,501}{27,501} \times 0,003 \\
 &= 0,047
 \end{aligned}$$

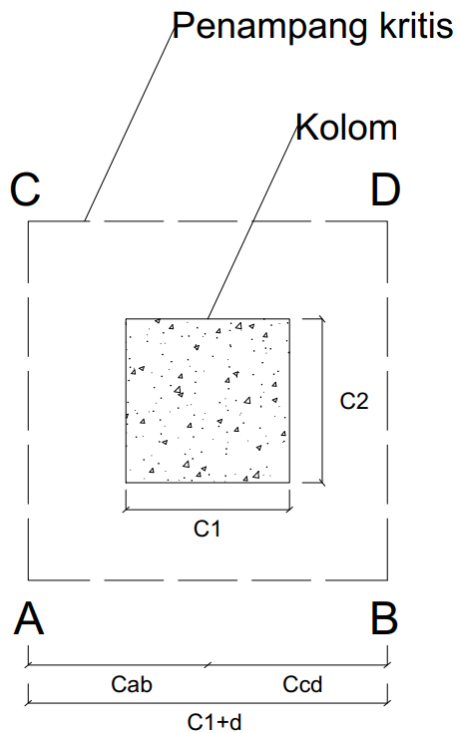
$$\begin{aligned}
 \text{Faktor reduksi (}\phi\text{)} &= 0,65 \leq 0,65 + \frac{\epsilon_s - 0,002}{0,003} \times 0,25 \leq 0,9 \\
 &= 0,9
 \end{aligned}$$

$$\text{Momen ultimit (Mu)} = 165,956 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kapabilitas lentur tereduksi (}\phi \text{ Mn)} &= 0,9 \times 212,76 \\
 &= 191,484 \text{ kNm} > M_u \text{ (Ok)}
 \end{aligned}$$

5.8.3 Penulangan Geser Drop Panel

Berdasarkan analisa yang sudah dilakukan pada *software etabs* didapatkan nilai gaya geser ultimit (V_u) pada drop panel sebesar 1346,884 kN. Nilai tersebut lebih besar dari ΦV_c maka perlu direncanakan tulangan geser pada drop panel sebagai berikut.



Gambar 5. 44 Area Penampang Kritis Kolom

$$V_u = 1346,884 \text{ kN}$$

$$M_u = 448,788 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} d &= H - H_{\text{pelat}} - S_{b_{\text{lentur}}} - d_{b_{\text{lentur}}} - d_{b_{\text{lentur}}}/2 - S_{b_{\text{geser}}} - d_{b_{\text{geser}}}/2 \\ &= 650 - 150 - 20 - 16 - 16/2 - 20 - 16/2 \\ &= 428 \text{ mm} \\ &= 0,428 \text{ m} \end{aligned}$$

$$C_1 = C_2 = 0,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} C_{AB} + C_{BD} &= C_1 + d \\ &= 0,6 + 0,428 \\ &= 1,028 \text{ m} \end{aligned}$$

$$C_{AB} = C_{CD} = 0,514 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A_G &= 2d (C_1 + C_2 + 2d) \\ &= 2 \times 0,428 \times (0,6 + 0,6 + 2 \times 0,428) \\ &= 1,760 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_c &= \frac{d(C_1+d)^3}{6} + \frac{(C_1+d)d^3}{6} + \frac{d(C_1+d)(C_2+d)^3}{2} \\ &= \frac{0,428(0,6+0,428)^3}{6} + \frac{(0,6+0,428)0,428^3}{6} + \frac{0,428(0,6+0,428)(0,6+0,428)^3}{2} \\ &= 0,232 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_V &= 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{C_1+d}{C_2+d}}} \\ &= 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{0,6+0,428}{0,6+0,428}}} \\ &= 0,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{uAB} &= \frac{Vu}{Ag} + \frac{Yv Mu Cab}{Jc} \\ &= \frac{1346,884}{1,760} + \frac{0,4 \times 448,788 \times 0,514}{0,232} \\ &= 1162,194 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi V_c &= \phi \frac{1}{6} \sqrt{f'c} b d \\ &= 0,75 \times \frac{1}{6} \sqrt{25} \times 1000 \times 0,428 \\ &= 290,700 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi V_s \text{ perlu} &= V_u - \Phi V_c \\ &= 1129,074 - 290,700 \\ &= 871,494 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat S} &= S < d/2 = S < 428/2 = S < 214 \text{ mm} \\ &= S < 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Misal dipakai tulangan 3D16-90

$$\begin{aligned} A_v \text{ pakai} &= n \times 0,25 \times \pi \times d^2 \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 603,186 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= A_v \times f_y \times d/s \\
 &= 603,186 \times 420 \times 428/90 \\
 &= 1204763 \text{ N} \\
 &= 1204,763 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

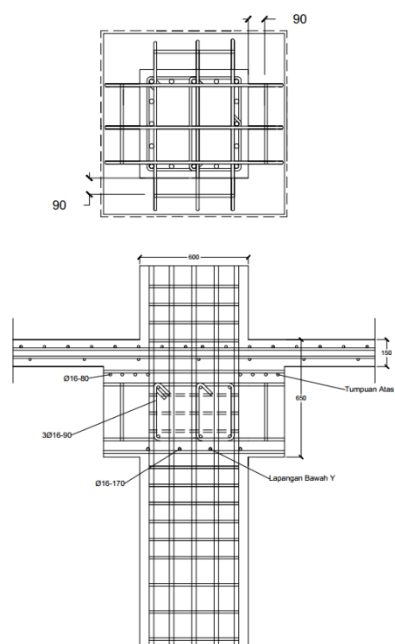
$$\begin{aligned}
 \Phi V_s \text{ pakai} &= \phi \times V_s \\
 &= 0,75 \times 1204,763 \\
 &= 903,572 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai $\Phi V_s \text{ pakai} > \Phi V_s \text{ perlu}$. Maka kebutuhan tulangan geser sudah memenuhi kapasitas geser yang diperlukan. Oleh karena itu tulangan geser pada *drop panel* dipakai tulangan geser 3D16-90. Adapun rekapitulasi tulangan drop panel dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 31 Rekapitulasi Penulangan Drop Panel

No.	Jenis	Tulangan
1	Tumpuan atas X	D16-70
2	Lapangan bawah arah X	D16-170
3	Tumpuan atas Y	D16-80
4	Lapangan bawah arah Y	D16-170
5	Tulangan geser	3D16-90

Berikut adalah gambar ilustrasi tulangan geser pada drop panel.



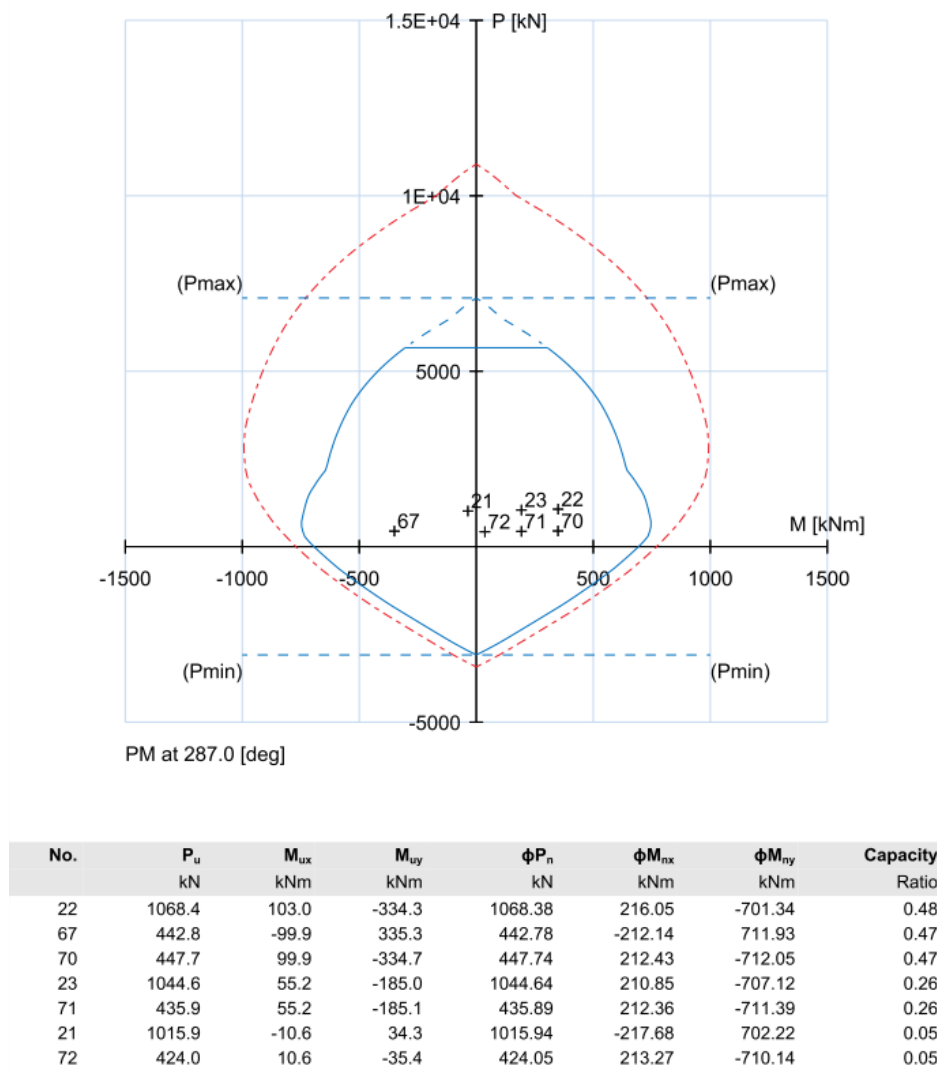
Gambar 5. 45 Ilustrasi Tulangan Geser Drop Panel

5.9 Desain Penulangan Kolom

Dari hasil analisis yang telah dilakukan pada *software etabs* didapatkan nilai gaya dalam yang dipikul oleh kolom akibat dari kombinasi pembebanan yang sudah direncanakan.

5.9.1 Diagram $\phi M_n - \phi P_n$

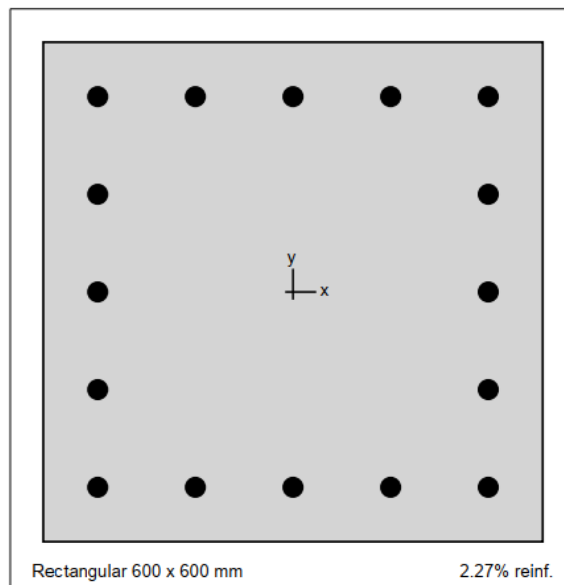
Berikut adalah diagram antara ϕM_n dan ϕP_n dari output *software spColumn*, dimana semua beban akibat beban aksial, momen arah x, dan y sudah berada dalam diagram tersebut.



Gambar 5. 46 Diagram $\phi M_n - \phi P_n$ Kolom

5.9.2 Penulangan Longitudinal

Kolom hanya didesain menggunakan satu tipe kolom K1. Desain penulangan longitudinal menggunakan software bantu *spColumn*. Dari output software bantu tersebut dapat digunakan tulangan longitudinal 16D25. Maka dapat dilakukan kontrol struktur sesuai dengan SNI 2847-2019.



Gambar 5. 47 Tulangan Longitudinal Kolom K1

Batasan rasio tulangan struktur yang diizinkan dalam SNI 2847-2019 yaitu 1% - 6%. Berikut adalah perhitungan rasio tulangan pada kolom.

$$\rho = \frac{As}{b \times h} = \frac{16 (0,25 \times \pi \times 25^2)}{600 \times 600} = 2,27\%$$

Sehingga persyaratan rasio tulangan longitudinal kolom sudah terpenuhi. Selanjutnya yaitu pengecekan beban aksial kolom nominal maksimum. Menurut SNI 2847-2019 pasal 22.4.2.2 beban aksial kolom nominal tidak boleh melebihi P_n max.

$$\phi P_{n,max} = 0,8 \times \phi \times [0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}]$$

$$\phi P_{n,max} = 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 25 \times (360000 - 7857,143) + 420 \times 7857,143]$$

$$\phi P_{n,max} = 5957627 \text{ N} = 5957,627 \text{ kN}$$

$$P_u = 1348,492 \text{ kN}$$

$$\phi P_{n,max} > P_u \text{ (Ok)}$$

Nilai P_n kolom tersebut adalah 1348,492. Di mana nilai ini tidak melebihi batas maksimal yang telah disyaratkan SNI, sehingga pada pengecekan ini kolom tersebut sudah memenuhi syarat.

5.9.3 Penulangan Transversal

Desain penulangan transversal terdiri dari tulangan transversal sebagai *confinement* dan tulangan transversal sebagai penahan gaya geser.

1. Sebagai *confinemet*

Luas tulangan transversal yang dibutuhkan diatur dalam SNI 2847-2019 tabel 18.7.5.4 dengan mengambil nilai terbesar dari nilai-nilai berikut.

$$A_{sh} / s_1 = 0,3 \times (b_c \times f_c) / f_{yr} \times [(A_g / A_{ch}) - 1]$$

$$A_{sh} / s_1 = 0,3 \times (520 \times 25) / 420 \times [(360000 / 270400) - 1]$$

$$A_{sh} / s_1 = 0,3 \times 13000 / 420 \times [1,3308 - 1]$$

$$A_{sh} / s_1 = 0,3 \times 30,952 \times 0,3308$$

$$A_{sh} / s_1 \approx 3,07 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Atau

$$A_{sh} / s_2 = 0,09 \times (b_c \times f_c) / f_{yr}$$

$$A_{sh} / s_2 = 0,09 \times (520 \times 25) / 420$$

$$A_{sh} / s_2 = 0,09 \times 13000 / 420$$

$$A_{sh} / s_2 = 0,09 \times 30,952$$

$$A_{sh} / s_2 \approx 2,79 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Persyaratan sendi plastis, nilai L_o diambil dari nilai terbesar dari nilai-nilai di bawah ini.

$$\begin{aligned} \text{a. } L_n / 6 &= 3500 / 6 \\ &= 583,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{b. } h \text{ kolom} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{c. } 450 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$$

Maka nilai L_o diambil 600 mm

Syarat jarak tulangan transversal pada sendi plastis dan di luar sendi plastis

a. Syarat jarak tulangan sendi plastis

- 1) $b/4 = 600/4 = 150 \text{ mm}$
- 2) $6 d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
- 3) $S_o = 100 \leq 100 + (350 - h_x)/3 \leq 150$
 $= 100 \leq 100 + (350 - 247,5)/3 \leq 150$
 $= 100 \leq 134,167 \leq 150$

Maka nilai jarak tulangan maksimal pada sendi plastis adalah 134,167 mm.

b. Syarat jarak tulangan di luar sendi plastis

- 1) $6 d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
- 2) 150 mm

Maka nilai jarak tulangan maksimal di luar sendi plastis adalah 150 mm.

Misal digunakan tulangan 3D-100 pada daerah sendi plastis maka didapatkan nilai sebagai berikut.

$$\frac{Ash}{s} = \frac{3 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{100} = \frac{398,197}{100} = 3,982 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{Ash}{s} > \frac{Ash}{s} 1 > \frac{Ash}{s} 2$$

$$3,982 \text{ mm}^2/\text{mm} > 3,07 \text{ mm}^2/\text{mm} > 2,79 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (Ok)}$$

Sehingga dari kontrol persyaratan tersebut digunakan tulangan 3D13-100 pada daerah tumpuan / sendi plastis. Nilai tersebut sudah memenuhi $Ash/s1$ maupun $Ash/s2$.

2. Sebagai penahan gaya geser

a. Penahan gaya geser daerah sendi plastis

Gaya geser yang dipakai untuk mendesain tulangan transversal penahan gaya geser diambil nilai terbesar dari V_u *Etabs* dan V_u rencana sesuai SNI untuk daerah sendi plastis. Nilai M_{pr} kolom diambil dari *spColumn* dengan $F_{pr} 1,25 F_y$.

$$\begin{aligned} V_u \text{ desain} &= \frac{M_{pr} \text{ atas} + M_{pr} \text{ bawah}}{L_n} \\ &= \frac{2 \times 831,177}{3500} \\ &= 475263 \text{ N} \\ &= 475,263 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_2 \text{ Etabs} = 248,245 \text{ kN}$$

$$V_3 \text{ Etabs} = 208,543 \text{ kN}$$

Dipakai nilai terbesar dari tiga nilai di atas yaitu 475263 N.

Kapasitas geser didapatkan dengan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \sqrt{f'_c} b d \\ &= 0,17 \left(1 + \frac{2,1}{14 \times 360000} \right) \sqrt{25} \times 600 \times 534,5 \\ &= 272595 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{475263}{0,75} - 272595 \\ &= 361090 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ perlu} &= \frac{V_s}{F_{yv} \times d} \\ &= \frac{361090}{420 \times 534,5} \\ &= 1,608 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} &= 0,062 \sqrt{f'_c} b / F_{yv} \\ &= 0,062 \sqrt{25} \times 600 / 420 \\ &= 0,4429 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} &= 0,35 b / f_{yv} \\ &= 0,35 \times 600 / 420 \\ &= 0,5 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Nilai $\frac{A_{sh}}{s}$ pada perhitungan tulangan transversal sebagai *confinement* di daerah tumpuan sudah memenuhi syarat untuk perhitungan penahan gaya geser dengan nilai 3,982 mm²/mm. Maka digunakan tulangan 3D13-100.

$$\frac{A_{sh}}{s} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ perlu} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min2} > \frac{A_{sh}}{s} \text{ min1} \text{ (Ok)}$$

b. Penahan gaya geser di luar sendi plastis

Gaya geser yang dipakai untuk mendesain tulangan transversal penahan gaya geser di luar sendi plastis diambil nilai terbesar dari $V_u \text{ Etab}$. Dengan nilai V_u terbesar yaitu 248,245 kN.

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{Nu}{14 Ag} \right) \sqrt{F'c} b d \\
 &= 0,17 \left(1 + \frac{2,1}{14 \times 360000} \right) \sqrt{25} \times 600 \times 534,5 \\
 &= 272595 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ perlu} &= \frac{Vu}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{248245}{0,75} - 272595 \\
 &= 58398 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{Ash}{s} \text{ perlu} &= \frac{Vs}{Fyv \times d} \\
 &= \frac{58398}{420 \times 534,5} \\
 &= 0,2601 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{Ash}{s} \text{ min1} &= 0,062 \sqrt{f'c} b / Fyv \\
 &= 0,062 \sqrt{25} \times 600 / 420 \\
 &= 0,4429 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{Ash}{s} \text{ min2} &= 0,35 b / fyv \\
 &= 0,35 \times 600 / 420 \\
 &= 0,5 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Misal digunakan tulangan 2D-150 di luar sendi plastis maka didapatkan nilai sebagai berikut.

$$\frac{Ash}{s} = \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{150} = \frac{264,465}{150} = 1,769 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{Ash}{s} > \frac{Ash}{s} \text{ min2} > \frac{Ash}{s} \text{ min1} > \frac{Ash}{s} \text{ perlu (Ok)}$$

$$1,769 \text{ mm}^2/\text{mm} > 0,5 \text{ mm}^2/\text{mm} > 0,4429 \text{ mm}^2/\text{mm} > 0,2601 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (Ok)}$$

Sehingga dari kontrol persyaratan tersebut dapat digunakan tulangan 2D13-150 di luar sendi plastis.

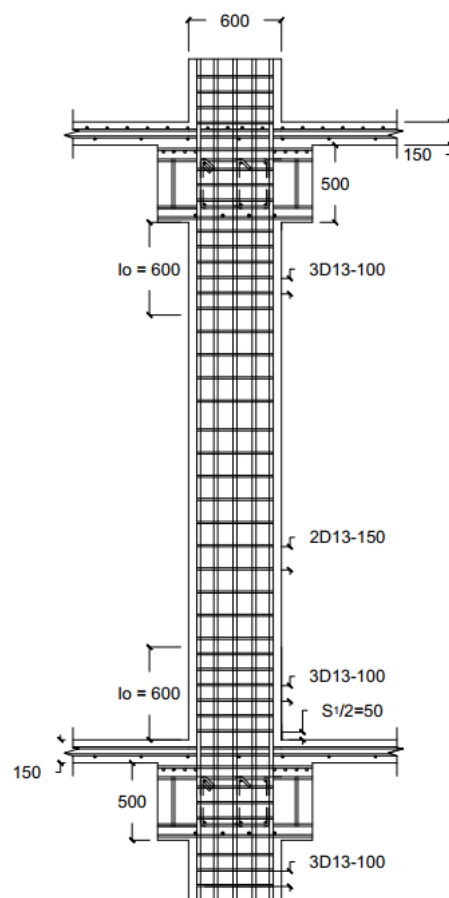
5.9.4 Rekapitulasi Penulangan Kolom

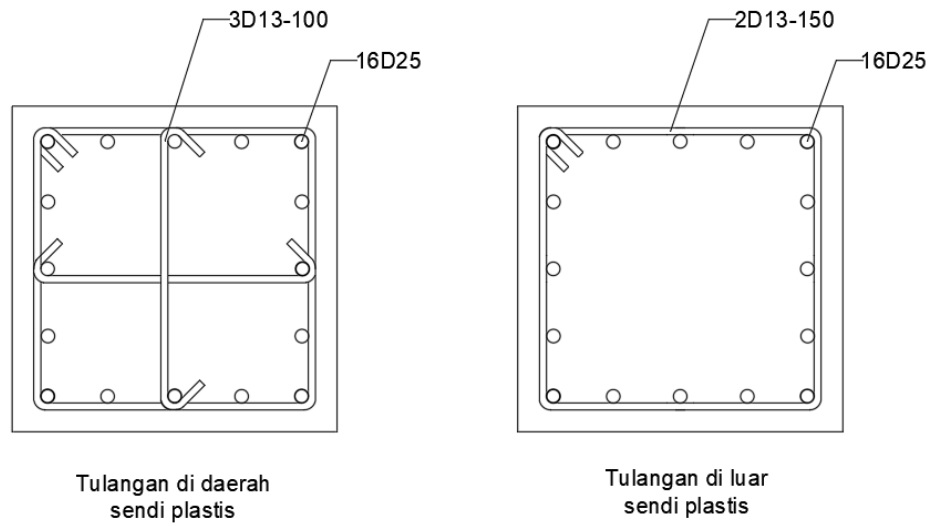
Berdasarkan pengecekan serta perhitungan tulangan untuk komponen struktur kolom baik tulangan longitudinal maupun tulangan transversal didapatkan rekapitulasi penulangan sebagai berikut.

Tabel 5. 32 Rekapitulasi Penulangan Kolom K1

Kesimpulan	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	16D25
Tulangan Transversal/Senggang Tumpuan	
Sumbu Lemah	3D13-100
Sumbu Kuat	3D13-100
Tulangan Transversal/Senggang Lapangan	
Sumbu Lemah	2D13-150
Sumbu Kuat	2D13-150

Adapun gambar ilustrasi penulangan kolom dapat dilihat pada gambar berikut.

**Gambar 5. 48 Ilustrasi Tulangan Longitudinal Kolom K1**



Gambar 5. 49 Tulangan Transversal Kolom K1

BAB VI

KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan dan analisis struktur pada gedung bertingkat dengan sistem struktur flat slab yang sudah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Desain struktur telah mengacu pada SNI 1727-2020 untuk penentuan beban minimum, SNI 2847-2019 untuk beton bertulang, dan SNI 1726-2019 untuk analisis gempa statik, serta telah memenuhi seluruh persyaratan kekuatan dan stabilitas struktur.
2. Desain struktur bangunan
 - a. Perencanaan pelat

Pelat lantai dua arah direncanakan dengan tulangan D13-200 untuk tumpuan atas arah X, D13-300 untuk lapangan bawah arah X, D13-130 untuk tumpuan atas arah Y, dan D13-300 untuk lapangan bawah arah Y. Tulangan minimum digunakan D13-300 untuk kedua arah.
 - b. Perencanaan drop panel

Drop panel direncanakan dengan tulangan D16-70 untuk tumpuan atas arah X, D16-170 untuk lapangan bawah arah X, D16-80 untuk tumpuan atas arah Y, dan D16-170 untuk lapangan bawah arah Y. Tulangan minimum digunakan D16-200 untuk kedua arah, serta tulangan geser menggunakan 3D16-150.
 - c. Perencanaan kolom

Kolom direncanakan berdimensi 600 x 600 mm dengan tulangan longitudinal 16D25, serta menggunakan tulangan geser 3D13-100 pada daerah sendi plastis dan 2D13-150 di luar sendi plastis.

6.2 Saran

Penulisan tugas akhir ini masih belum sempurna karena masih terdapat beberapa kekurangan di dalamnya. Saran penulis untuk penulisan tugas akhir selanjutnya adalah :

1. Pada proyek nyata disarankan menggunakan analisis gempa secara dinamik untuk hasil yang lebih representatif terkhusus untuk bangunan bertingkat lebih dari 4 lantai.
2. Penentuan data awal perencanaan harus lebih teliti lagi agar tidak terjadi kesalahan pada tahap berikutnya.
3. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan perbandingan antara sistem flat slab dan sistem kolom, balok, pelat konvensional.
4. Penelitian ini dapat disempurnakan dengan merencanakan struktur bawahnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agia, V. R., Solikin, M. & Asroni, A., 2016. Efisiensi Penggunaan Plat Cendawan Terhadap Plat Konvensional Pada Gedung Pascasarjana UMS. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, p. 378.
- Apriyanto, A. F. et al., 2023. Redisain Struktur Gedung Rumah Sakit Jiwa Menur Surabaya Dengan Menggunakan Sistem Flat Slab. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan XI 2023*, Volume 23, p. 1.
- Burhanuddin, D., Wahyuni, E. & Djoko Irawan, 2018. Desain Modifikasi Gedung Fave Hotel Cilacap. *JURNAL TEKNIK ITS*, Volume 7, p. D134.
- Gaina, A. U. L. & Kurniati, D., 2020. Perancangan Ulang Gedung Kampus Fakultas Teknik Universitas PGRI Yogyakarta Dengan Menggunakan Metode Flat Slab dan Drop Panel. *Jurnal Karkasa*, Volume 6, p. 1.
- Hasibuan, S. & Kurniati, D., 2020. Redesain Awana Condotel Menggunakan Metode Flat Slab Berdasarkan SNI 2847-2013. *TEKNIK*, p. 92.
- Hastomi, 2013. *Hastomi/Civil Engineer/Blog*. [Online] Available at: <https://hastomiaf.wordpress.com/> [Diakses Januari 2024].
- Mirzael, Y. & M. A., 2008. Tests on the post punching behaviour of reinforced concrete flat slabs.
- Nasional, B. S., 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan*. SNI 2847-2019 penyunt. Jakarta: s.n.
- Prasad, 2024. *Structural Guide*. [Online] Available at: <https://www.structuralguide.com/flat-slab/> [Diakses Januari 2024].

- Purnama, A.P et al. 2017. Modifikasi Perencanaan Gedung Amaris Hotel Madiun Dengan Menggunakan Metode Flat Slab Dan Shear Wall. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Syarif, H. A. & Djauhari, Z., 2019. Respons Struktur Sistem flat slab-drop panel pada gedung bertingkat tidak beraturan terhadap beban gempa dengan analisis respons spektrum. *Aplikasi Teknologi (APTEK)*, Volume 11, p. 97.
- Varghese, P., 2005. *Advanced Reinforced Concrete Design*. New Delhi: Prentice-hall of India.
- Wight, J. K. & MacGregor, J. G., 2012. *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. 6 penyunt. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Wiratmoko, B. A., Winarto, S. & Cahyo SP, Y., 2019. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Gedung Ketahanan Pangan Nganjuk. *JURMATEKS*, Volume 2, pp. 2621-7686.
- Yanita, R. & Purtono, D., 2019. Value Engineering Pada Perencanaan Struktur Pelat Antara Sistem Drop Panel Flat-Slab Terhadap Beam-Slab. *TECHNOPEX-2019 Institut Teknologi Indonesia*, p. 214.

LAMPIRAN



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025

TUGAS AKHIR

DESAIN GEDUNG BERTINGKAT
MENGGUNAKAN SISTEM
STRUKTUR *FLAT SLAB*

NAMA

MUHAMMAD RICKY EL FATAH

NIM

18511112

JUDUL GAMBAR

DENAH

TELAH DIPERIKSA OLEH

DOSEN

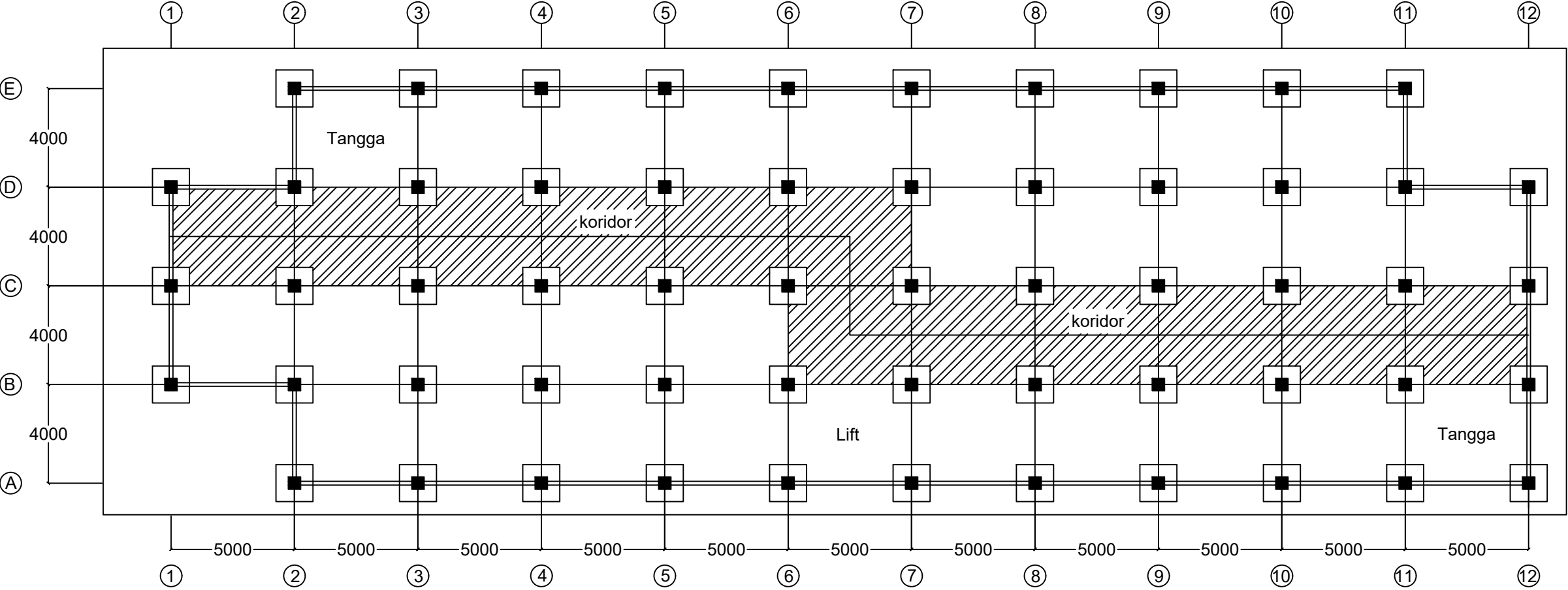
JAFAR, S.T., M.T.,MURP.

KETERANGAN

MUTU BETON (f'_c) = 25 MPa
MUTU BAJA ULIR (f_y) = 420 MPa

SKALA

1 : 200



Lantai
Atap

Elv +16000

Lantai 4

Elv +12000

Lantai 3

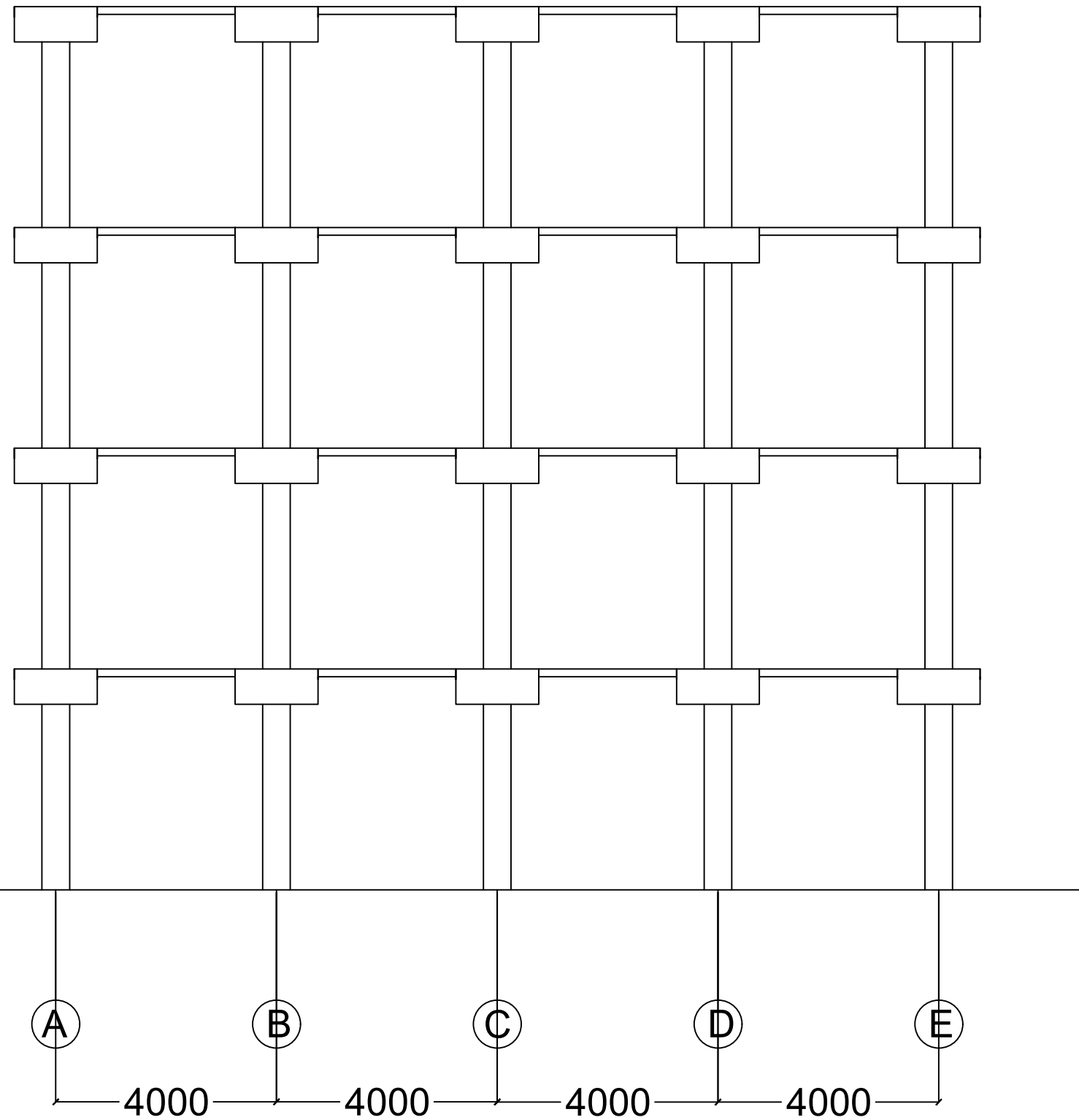
Elv +8000

Lantai 2

Elv +4000

Lantai 1

Elv +0



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025

TUGAS AKHIR

DESAIN GEDUNG BERTINGKAT
MENGGUNAKAN SISTEM
STRUKTUR *FLAT SLAB*

NAMA

MUHAMMAD RICKY EL FATAH

NIM

18511112

JUDUL GAMBAR

TAMPAK DEPAN

TELAH DIPERIKSA OLEH

DOSEN

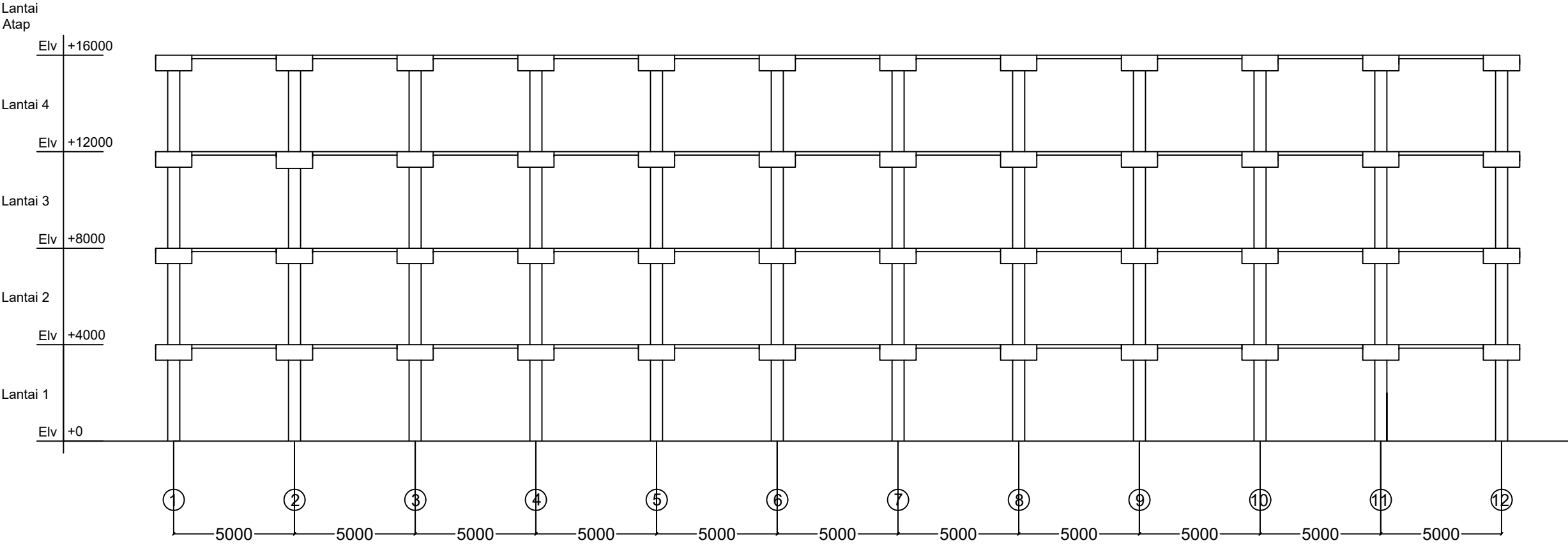
JAFAR, S.T., M.T.,MURP.

KETERANGAN

MUTU BETON (f_c) = 25 MPa
MUTU BAJA ULIR (f_y) = 420 MPa

SKALA

1 : 100



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025

TUGAS AKHIR

DESAIN GEDUNG BERTINGKAT
MENGUNAKAN SISTEM
STRUKTUR *FLAT SLAB*

NAMA

MUHAMMAD RICKY EL FATAH

NIM

18511112

JUDUL GAMBAR

TAMPAK SAMPING

TELAH DIPERIKSA OLEH

DOSEN

JAFAR, S.T., M.T.,MURP.

KETERANGAN

MUTU BETON (f'_c) = 25 MPa
MUTU BAJA ULIR (f_y) = 420 MPa

SKALA

1 : 200



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025

TUGAS AKHIR

DESAIN GEDUNG BERTINGKAT
MENGGUNAKAN SISTEM
STRUKTUR *FLAT SLAB*

NAMA

MUHAMMAD RICKY EL FATAH

NIM

18511112

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN
PELAT LANTAI

TELAH DIPERIKSA OLEH

DOSEN

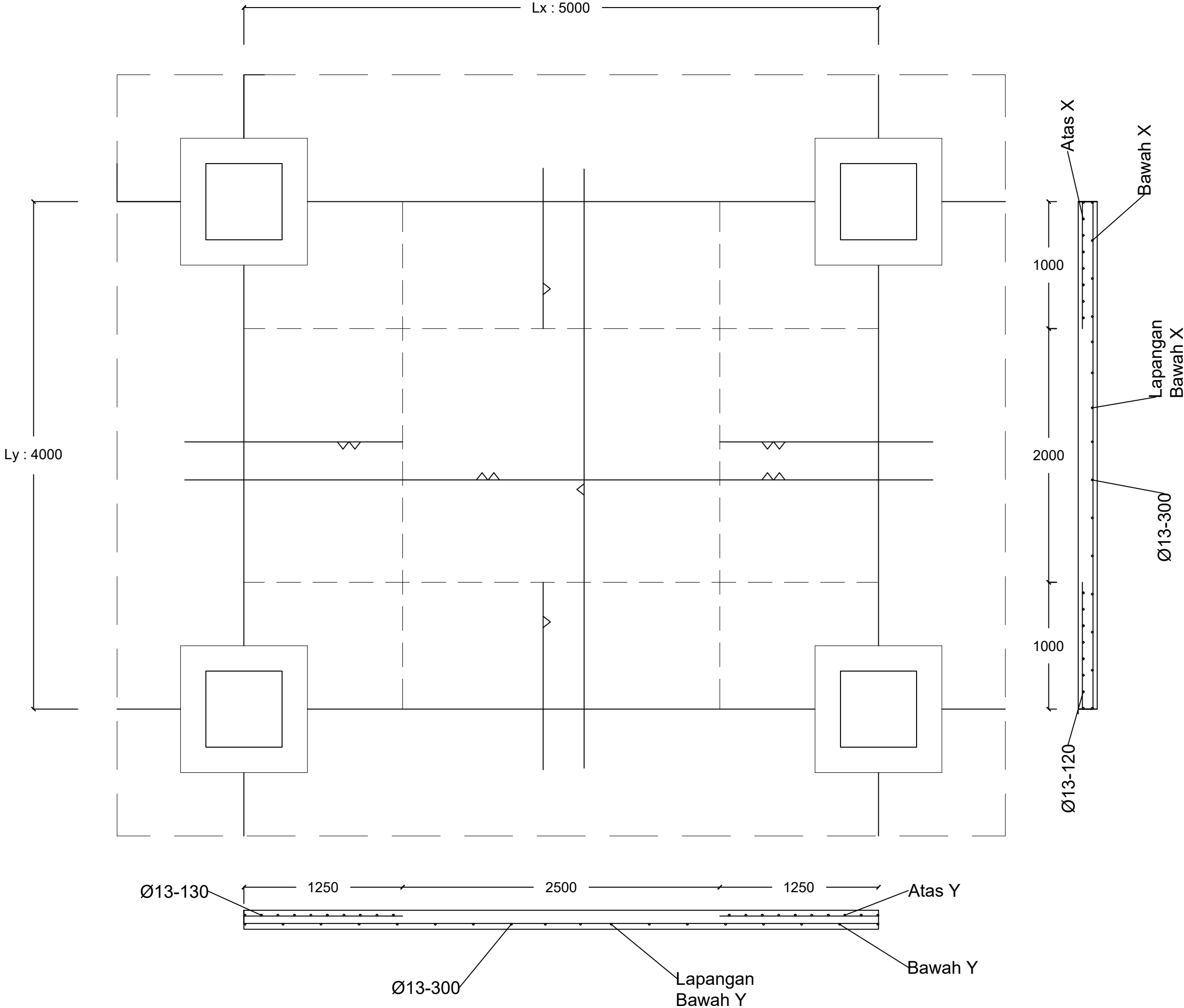
JAFAR, S.T., M.T.,MURP.

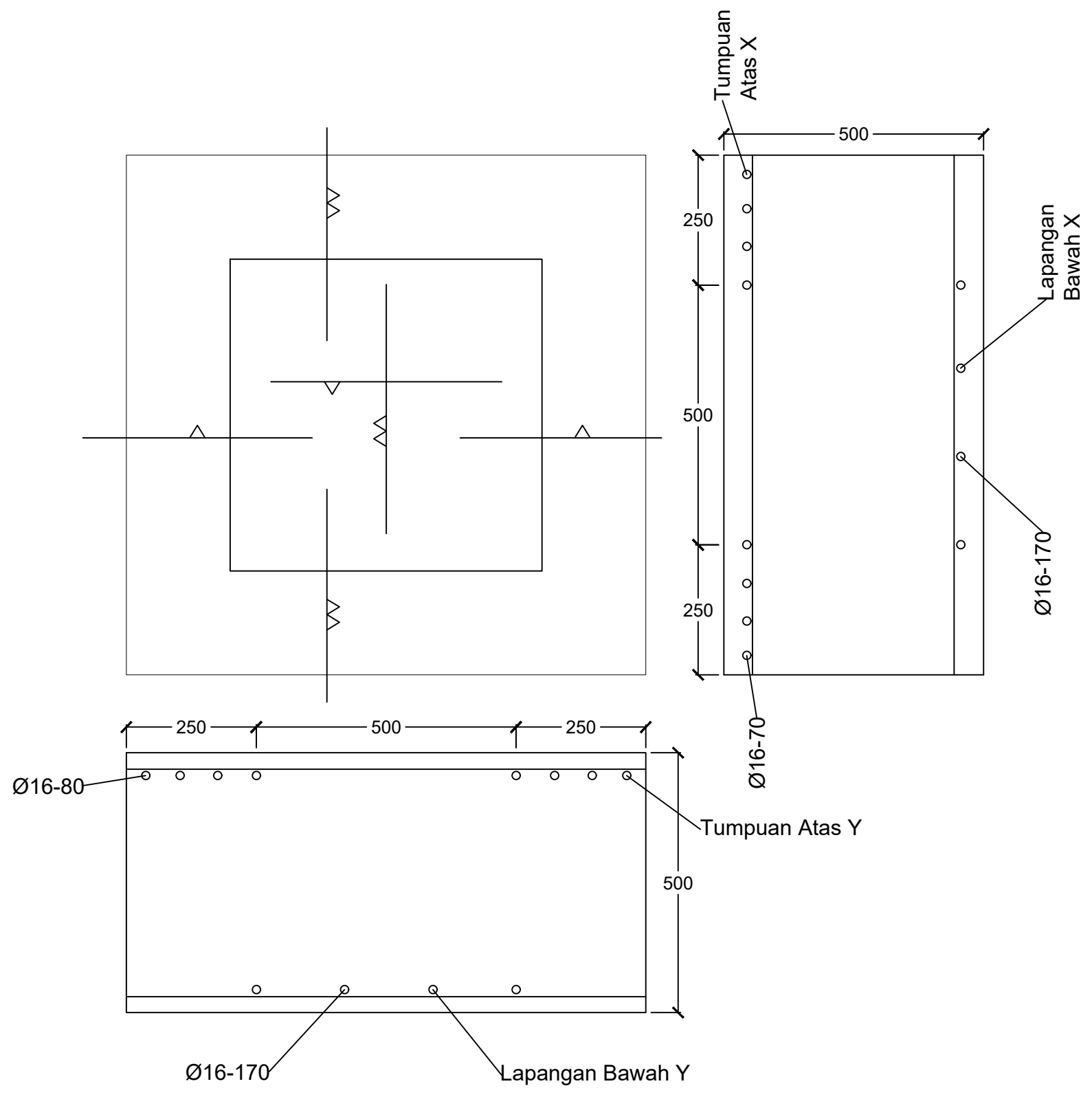
KETERANGAN

MUTU BETON (f_c) = 25 MPa
MUTU BAJA ULIR (f_y) = 420 MPa

SKALA

1 : 30





PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025

TUGAS AKHIR
DESAIN GEDUNG BERTINGKAT
MENGUNAKAN SISTEM STRUKTUR
FLAT SLAB

NAMA
MUHAMMAD RICKY EL FATAH

NIM
18511112

JUDUL GAMBAR
DETAIL TULANGAN
LONGITUDINAL DROP PANEL

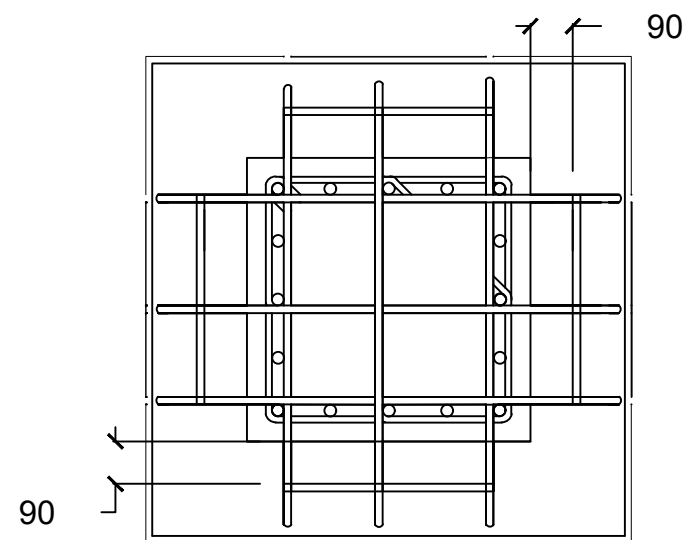
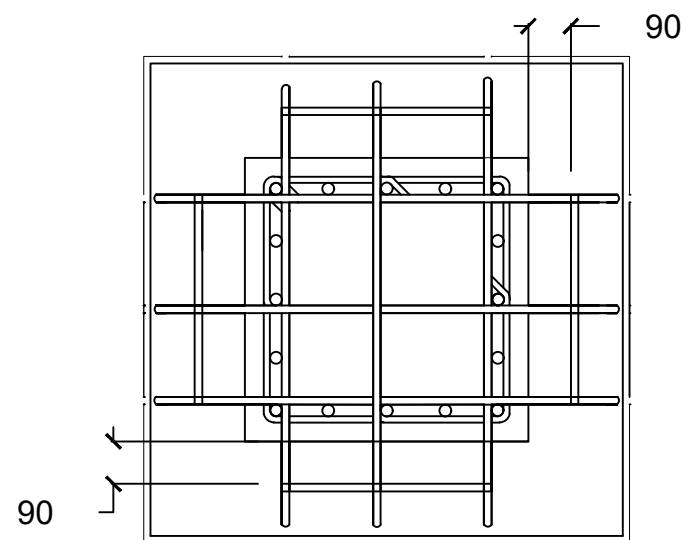
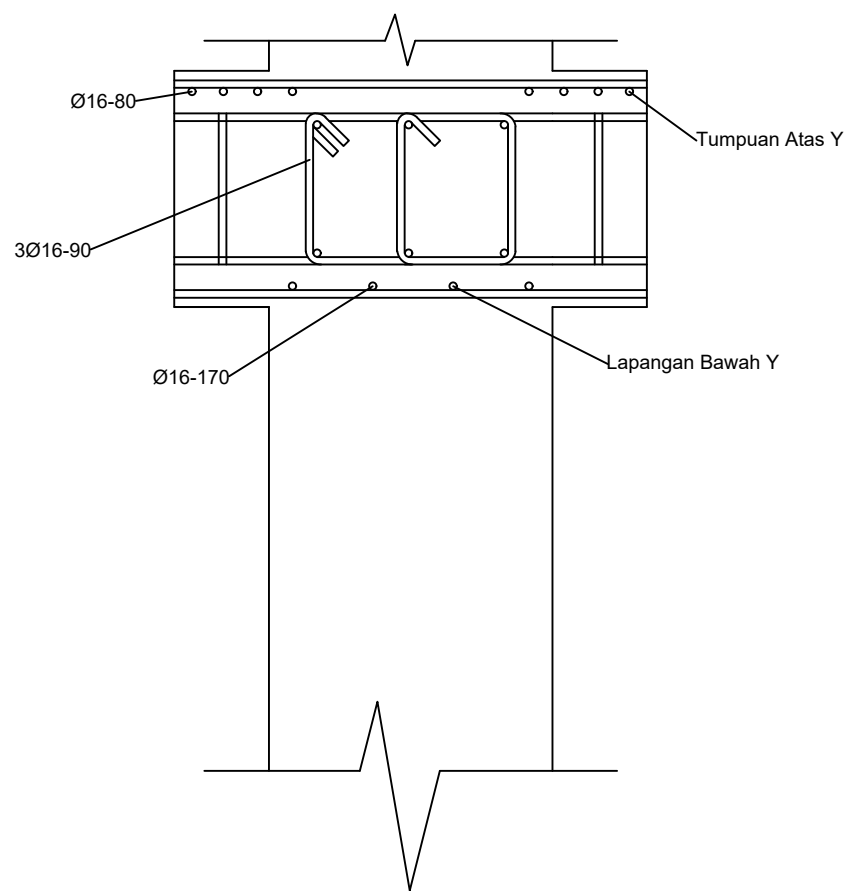
TELAH DIPERIKSA OLEH
DOSEN

JAFAR, S.T., M.T.,MURP.

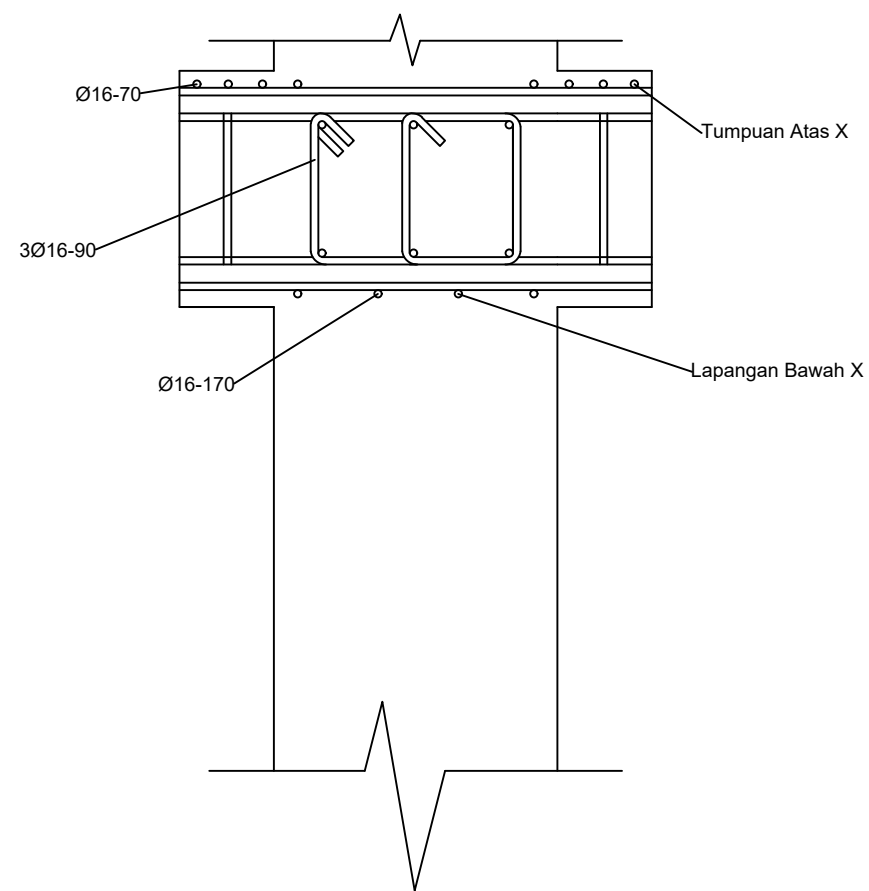
KETERANGAN
MUTU BETON (f'c) = 25 MPa
MUTU BAJA ULIR (fy) = 420 MPa

SKALA

1 : 10



Potongan Melintang X



Potongan Melintang Y



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025

TUGAS AKHIR

DESAIN GEDUNG BERTINGKAT
MENGUNAKAN SISTEM
STRUKTUR *FLAT SLAB*

NAMA

MUHAMMAD RICKY EL FATAH

NIM

18511112

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN
TRANSVERSAL DROP PANEL

TELAH DIPERIKSA OLEH

DOSEN

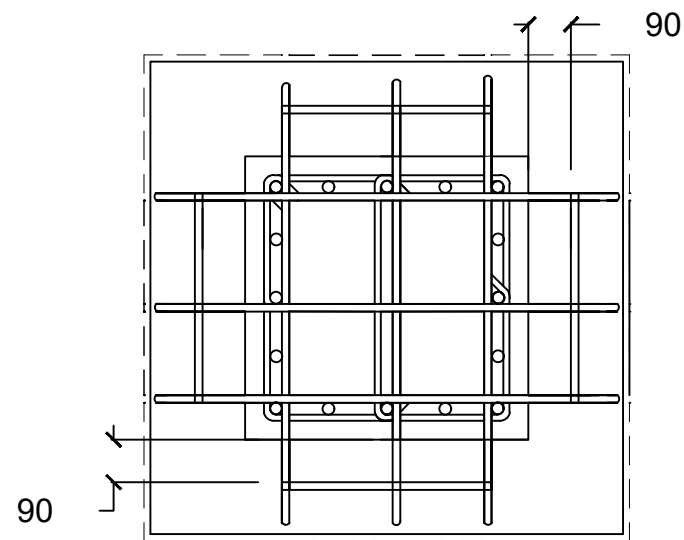
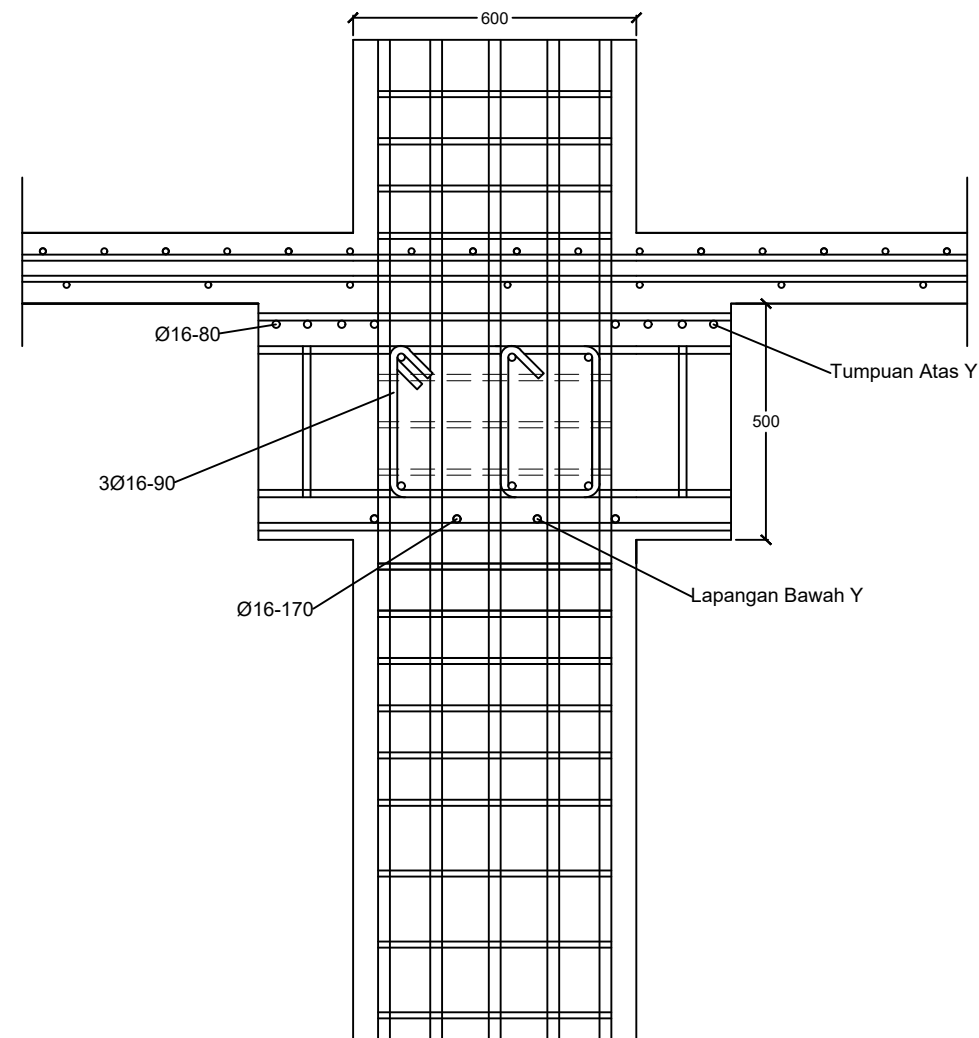
JAFAR, S.T., M.T.,MURP.

KETERANGAN

MUTU BETON (f_c) = 25 MPa
MUTU BAJA ULIR (f_y) = 420 MPa

SKALA

1 : 16



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025

TUGAS AKHIR

DESAIN GEDUNG BERTINGKAT
MENGUNAKAN SISTEM
STRUKTUR *FLAT SLAB*

NAMA

MUHAMMAD RICKY EL FATAH

NIM

18511112

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN
DROP PANEL

TELAH DIPERIKSA OLEH

DOSEN

JAFAR, S.T., M.T.,MURP.

KETERANGAN

MUTU BETON (f_c) = 25 MPa
MUTU BAJA ULIR (f_y) = 420 MPa

SKALA

1 : 16



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025

TUGAS AKHIR

DESAIN GEDUNG BERTINGKAT
MENGGUNAKAN SISTEM
STRUKTUR *FLAT SLAB*

NAMA

MUHAMMAD RICKY EL FATAH

NIM

18511112

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN
TRNASVERSAL KOLOM

TELAH DIPERIKSA OLEH

DOSEN

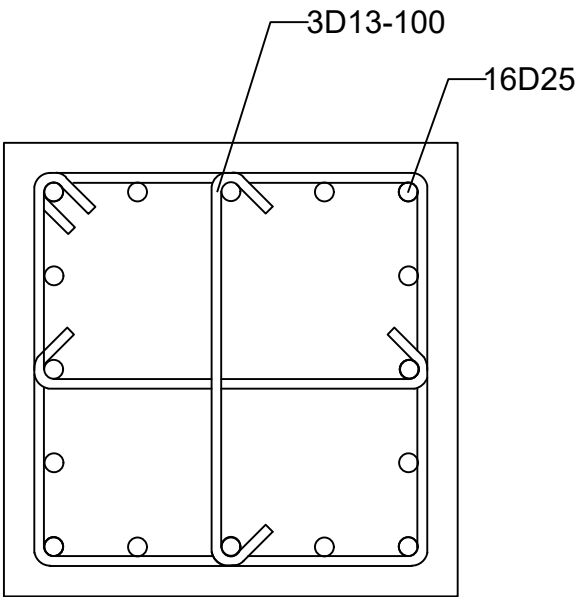
JAFAR, S.T., M.T.,MURP.

KETERANGAN

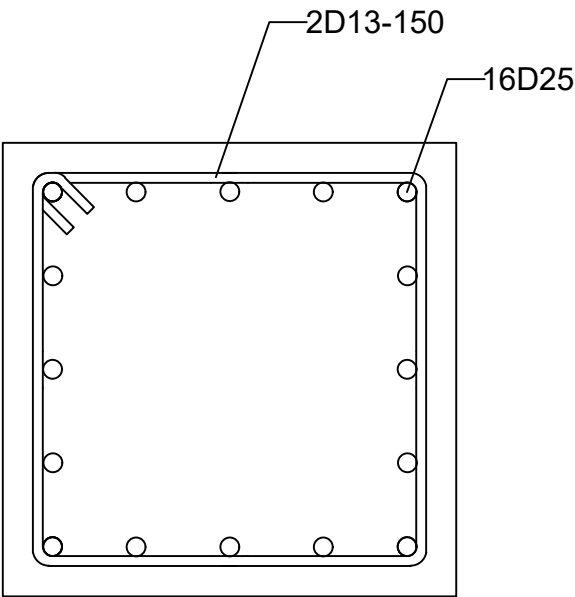
MUTU BETON (f_c) = 25 MPa
MUTU BAJA ULIR (f_y) = 420 MPa

SKALA

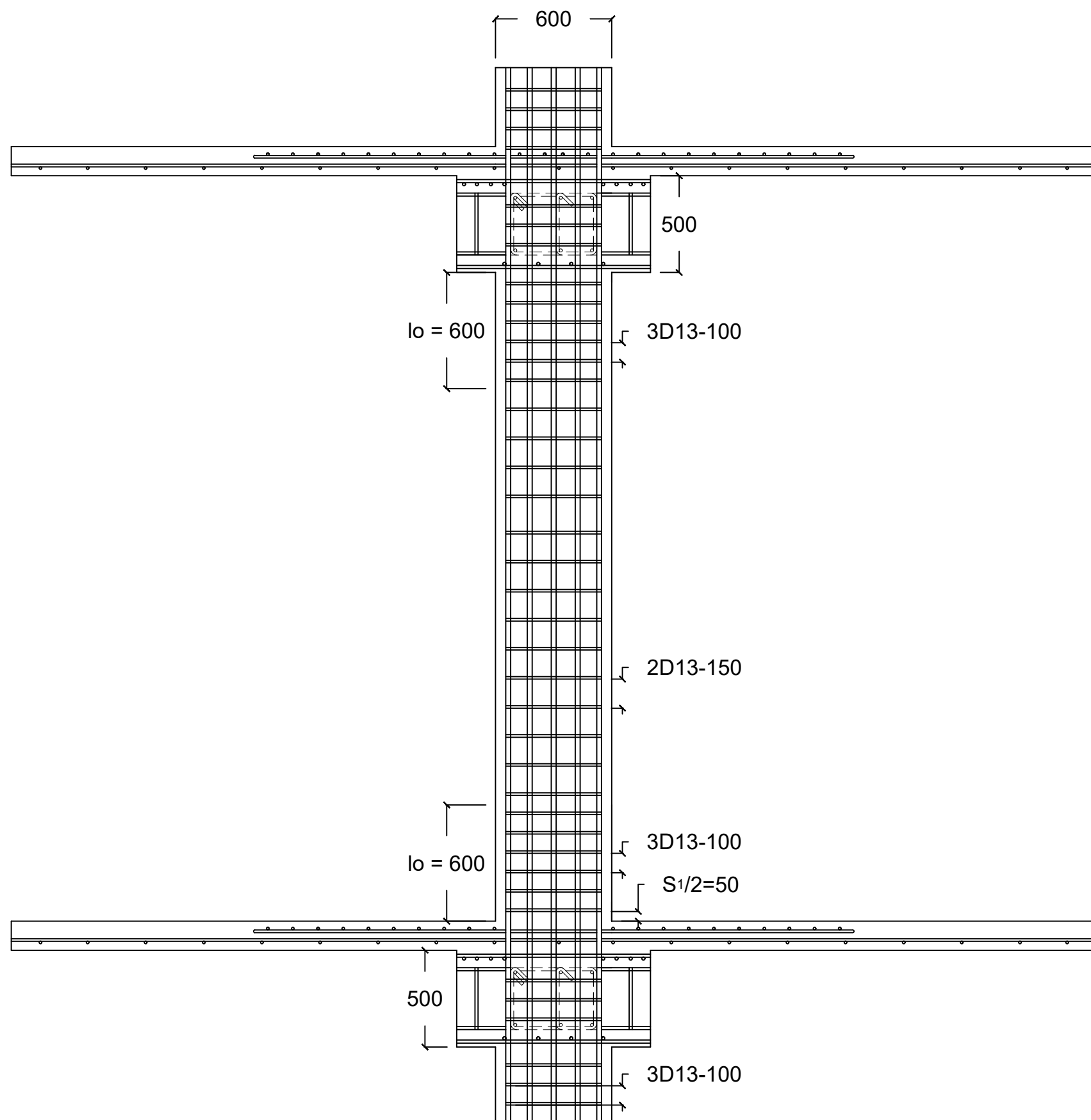
1 : 16



Tulangan di daerah
sendi plastis



Tulangan di luar
sendi plastis



PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025

TUGAS AKHIR

DESAIN GEDUNG BERTINGKAT
MENGUNAKAN SISTEM
STRUKTUR *FLAT SLAB*

NAMA

MUHAMMAD RICKY EL FATAH

NIM

18511112

JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN
LONGITUDINAL KOLOM

TELAH DIPERIKSA OLEH

DOSEN

JAFAR, S.T., M.T.,MURP.

KETERANGAN

MUTU BETON (f_c) = 25 MPa
MUTU BAJA ULIR (f_y) = 420 MPa

SKALA

1 : 25