

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH BANGUNAN BERTINGKAT
BANYAK MENGGUNAKAN BASEMENT

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas-Tugas
Dan Syarat-Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

RYANDI ARDIANSYAH
2107210031



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ryandi Ardiansyah

NPM : 2107210031

Program Studi : Teknik Sipil

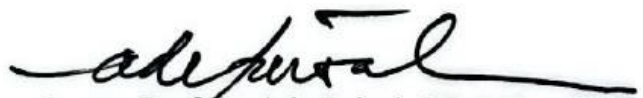
Judul Skripsi : Perencanaan Struktur Bawah Bangunan Bertingkat Banyak
Menggunakan Basement

Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Disetujui Untuk Disampaikan
Kepada Panitia Ujian:

Medan, Agustus 2025
Dosen Pembimbing


Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, ST, MSc, Ph.D.

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ryandi Ardiansyah

NPM : 2107210031

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perencanaan Struktur Bawah Bangunan Bertingkat Banyak
Menggunakan Basement

Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Agustus 2025

Mengetahui dan Menyetujui:

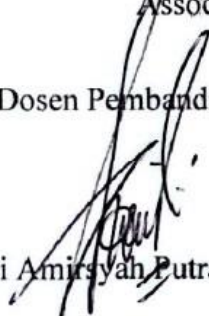
Dosen Pembimbing



Asso. Prof. Ir. Ade Faisal, ST, MSc, Ph.D.

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

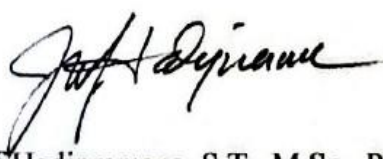


Ir. Tondi Amiryan Putra, S.T., M.T.



Rizki Efrida, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Sipil
Ketua



Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Ryandi Ardiansyah

Tempat, Tanggal Lahir : Karang Gading, 24-07-2002

NPM : 2107210031

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Perencanaan Struktur Bawah Bangunan Bertingkat Banyak Menggunakan Basement.”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan atau keserjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Agustus 2025

Saya yang menyatakan,



RYANDI ARDIANSYAH

ABSTRAK

PERENCANAAN STRUKTUR BAWAH BANGUNAN BERTINGKAT BANYAK MENGGUNAKAN BASEMENT

Ryandi Ardiansyah

2107210031

Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, ST, MSc, Ph.D.

Perencanaan struktur bawah bangunan bertingkat banyak memiliki peranan penting dalam menjamin kekuatan, kestabilan, dan keamanan konstruksi, khususnya pada bangunan tinggi yang dilengkapi basement. Penelitian ini dilakukan pada gedung Rusunawa 16 lantai di Kota Medan yang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Tujuan utama penelitian adalah merencanakan elemen struktur bawah, seperti pondasi, pile cap, dinding penahan tanah, dan balok, dengan kombinasi beban vertikal maupun lateral akibat gempa. Penelitian ini direncanakan dengan model gedung dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Ganda. Pemodelan struktur menggunakan perangkat lunak ETABS versi 18 dengan analisis beban sesuai SNI 1727:2020 dan desain struktur beton berdasarkan SNI 2847:2019. Perencanaan pondasi menggunakan spun pile dengan pile cap sebagai penyebar beban, sementara basement tiga lantai dirancang untuk fungsi ruang parkir sekaligus memberikan kekakuan tambahan terhadap struktur bawah. Hasil perhitungan menunjukkan sebagai contoh dimensi elemen dan kebutuhan tulangan pada balok memenuhi syarat kekuatan, keamanan, dan ketentuan standar nasional. Pada elemen Balok Induk B1-6 (450 x 850), As perlu Sistem Ganda 6100.11 mm², SRPMK 3355.26 mm². Menunjukkan SRPMK menghasilkan desain tulangan yang lebih efisien.

Kata Kunci: Struktur bawah, Basement, SRPMK, ETABS, Pondasi Spun Pile, Beban Gempa, Retaining Wall, SNI.

ABSTRACT

DESIGN OF THE UNDERGROUND STRUCTURE OF A MULTI-STOREY BUILDING USING A BASEMENT

Ryandi Ardiansyah

2107210031

Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, ST, MSc, Ph.D.

The design of substructures in multi-story buildings plays an important role in ensuring structural strength, stability, and safety, particularly for high-rise buildings equipped with basements. This research was conducted on a 16-story Rusunawa building in Medan City, which employs the Special Moment Resisting Frame (SMRF) system in accordance with SNI 1726:2019. The main objective of this study is to design substructure elements such as foundations, pile caps, retaining walls, and beams, under the combination of vertical and lateral loads due to earthquakes. The building was modeled using both the Special Moment Resisting Frame system and the Dual System. Structural modeling was performed using ETABS version 18, with load analysis based on SNI 1727:2020 and reinforced concrete design in accordance with SNI 2847:2019. The foundation system applied spun piles with pile caps as load distributors, while the three-level basement was designed to serve as parking space and provide additional stiffness to the substructure. The calculation results indicate that the dimensions and reinforcement requirements of the beams fulfill the strength, safety, and national standard provisions. For example, the main beam B1-6 (450 × 850 mm) required tensile reinforcement (A_s) of 6,100.11 mm² in the Dual System and 3,355.26 mm² in the SMRF, showing that SMRF produces a more efficient reinforcement design.

Keywords: Substructure, Basement, SMRF, ETABS, Spun Pile Foundation, Earthquake Load, Retaining Wall, SNI.

KATA PENGANTAR

Assalamu'Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillahil'alamin, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perencanaan Struktur Bawah Bangunan Bertingkat Banyak Menggunakan Basement” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan rasa terimakasih yang tulus kepada:

1. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, ST, MSc, Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, nasehat, dukungan serta semangat hingga selesainya Tugas Akhir ini dan selaku Wakil Dekan I Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Joseph Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Ir. Tondi Amirsyah Putra S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Dosen dan Pegawai Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara khususnya Program Studi Teknik Sipil.
7. Kepada kedua orang tua tercinta, Irwansyah dan Nur Lela, dua orang yang sangat berjasa dalam hidup penulis, terimakasih atas doa, kasih sayang, kepercayaan dan segala bentuk yang telah diberikan, sehingga penulis merasa terdukung di segala pilihan dan keputusan yang diambil oleh penulis. Semoga

Allah SWT memberikan keberkahan di dunia maupun di akhirat kelak, karena telah menjadi figur orang tua terbaik bagi penulis.

8. Kepada adik tersayang, Raka Dwi Andika, Satria Tri Bibowo, dan Yasmin Anggita, terimakasih telah menjadi motivasi penulis.
9. Sahabat Penulis, Bryan Dimas Adji Nugroho, terimakasih sudah menjadi partner bertumbuh yang telah memberikan support, waktu yang telah kamu luangkan dalam membantu dan bekerjasama sama sampai terselesainya tugas akhir ini. Persahabatan ini adalah salah satu hal terbaik yang saya miliki.
10. Kepada Bapak Ir. Ar. Syahlan Jukhri Nst, S.T., M.T., IAI., AA. Dan Ibu Sunarti, S.Sos. yang telah saya anggap seperti orang tua penulis, yang telah memberi motivasi penulis.
11. Kepada rekan kerja CV. Arkade Enam Pilar yang sudah saya anggap seperti keluarga, terimakasih atas dukungannya.
12. Channel @8minuteslearn yang telah banyak membantu dalam meberikan ilmu dan tutorial menggunakan software analisis struktur sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
13. Terakhir Terimakasih Kepada diri saya sendiri Ryandi Ardiansyah, Apresiasi sebesar-besarnya karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang sudah dimulai. Terimakasih karena terus berusaha dan tidak menyerah, serta senantiasa menikmati setiap prosesnya yang bisa dibilang tidak mudah. Terimakasih sudah bertahan sejauh ini.

Saya menyadari Bahwa Tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Dikarenakan keterbatasan waktu serta kemampuan yang dimiliki oleh penulis.

Akhir kata saya mengucapkan terimakasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman-teman mahasiswa Teknik Sipil khususnya.

Wassalamu'Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, Agustus 2025



RYANDI ARDIANSYAH

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	I
HALAMAN PENGESAHAN	II
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	III
ABSTRAK	IV
ABSTRACT	V
KATA PENGANTAR	VI
DAFTAR ISI	VIII
DAFTAR TABEL	XII
DAFTAR TABEL LAMPIRAN	XII
DAFTAR GAMBAR	XIV
DAFTAR NOTASI	XV
DAFTAR SINGKATAN	XVII
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Deskripsi Sistem	9
2.3 Penyajian Laporan dan Fungsi Penggambaran	10
2.4 Pedoman Perencanaan	10
2.5 Mutu Bahan	11
2.6 Konsep Perencanaan Gedung	11
2.6.1. Desain Terhadap Beban Lateral	11
2.6.2. Analisis Struktur Terhadap Gempa	11
3.6.3. Elemen-elemen struktural di atas tingkat dasar	13
2.7 Perencanaan Struktur Bangunan	13
2.7.1 Pembebanan	13

2.7.2 Perencanaan Beban	21
2.7.2.1 Kombinasi Beban untuk metode Ultimit	21
2.8 Faktor Reduksi Kekuatan Bahan (Strength Reduction Factors)	23
BAB 3 METODE PENELITIAN	24
3.1 Tinjauan Umum	23
3.2 Pengumpulan Data	25
3.2.1 Data Primer	25
3.2.2. Data Sekunder	25
3.2.3 Data Teknis	26
3.2.4 Data Non Teknis	27
3.2.5 Analisis Perhitungan	28
3.3 Rencana Struktur Bawah (Sub Structure)	28
3.3.1 Penyelidikan Tanah	28
3.3.1.1 Daya Dukung Tanah	29
3.3.1.2 Tegangan Kotak	30
3.3.2 Basement	31
3.3.3 Dinding Penahan Tanah (Retaining wall)	32
3.3.4 Pondasi Dalam	32
3.3.4.1 Pondasi Bore Pile atau Pondasi Rakit	33
3.3.4.2 Pile Cap	35
3.3.4.3 Daya Dukung Pondasi	36
3.3.4.4 Deformasi Lateral Pondasi	36
3.3.5 Kapasitas Geoteknik Pondasi	37
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Tinjauan Umum	38
4.2 Kombinasi Gaya Struktur Basement	38
4.3 Kombinasi Gaya Struktur Pondasi	39
4.4 Simpangan Antar Tingkat	42
4.5 Perencanaan Dimensi Penampang Elemen Struktur Bawah	43
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	103
5.1 Kesimpulan	103
5.2 Saran	104

DAFTAR PUSTAKA	105
LAMPIRAN	107
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	177

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Beban hidup terdistribusi merata minimum, L0 dan beban hidup terpusat minimum (Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020).	16
Tabel 2.2	Beban hidup terdistribusi merata minimum, L0 dan beban hidup terpusat minimum (Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020).	16
Tabel 2.3	Jenis-Jenis Tanah (SNI 1726:2019).	21
Tabel 3.1	Hasil SPT lapangan kedalamn vs SN.	28
Tabel 4.1	Tabel Kombinasi Struktur Bawah <i>Basement</i> .	38
Tabel 4.2	Tabel Kombinasi Struktur Bawah Pondasi.	40
Tabel 4.3	Perbandingan <i>story drift</i> pada struktur gedung menggunakan Sistem ganda dan SRPMK.	42
Tabel 4.4	Gaya Dalam Kolom.	53
Tabel 4.5	Gaya Aksial Kolom.	53
Tabel 4.6	Gaya Dalam Balok.	55
Tabel 4.7	Gaya Aksial Balok.	55
Tabel 4.8	Gaya Dalam Kolom.	57
Tabel 4.9	Gaya Aksial Kolom.	57
Tabel 4.10	Gaya Dalam Balok.	59
Tabel 4.11	Gaya Aksial Balok.	59
Tabel 4.12	Gaya Dalam Balok 850 X 450 mm.	60
Tabel 4.13	Gaya Geser Desain Balok B1-6 450 X 850.	68
Tabel 4.14	Gaya Dalam Balok 850 X 450 mm.	69
Tabel 4.15	Gaya Dalam Balok 700 X 400 mm.	69
Tabel 4.16	Gaya Dalam Balok 850 mm X 450 mm.	70
Tabel 4.17	Gaya Geser Desain Balok B1-6 450 X 850 mm.	78
Tabel 4.18	Gaya Dalam Balok 850 X 450 mm.	78
Tabel 4.19	Gaya Dalam Balok 700 X 400 mm.	79
Tabel 4.20	Analisa Gaya Dalam Dinding Geser.	89
Tabel 4.21	Paremeter Tanah	92
Tabel 4.22	Volume Beton Sistem Ganda dan SRPMK.	102

DAFTAR TABEL LAMPIRAN

Tabel L.1	Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik.	108
Tabel L.2	Nilai perioda alami dan ragam massa struktur Sistem Ganda.	109
Tabel L.3	Nilai perioda alami dan ragam massa struktur SRPMK.	110
Tabel L.4	Massa Struktur.	111
Tabel L.5	Mutu beton desain yang digunakan.	111
Tabel L.6	Mutu tulangan desain yang digunakan.	112
Tabel L.7	Perbandingan nilai V, Vt, dan penyesuaian skala gempa pada Sistem ganda dan SRPMK pada tanah lunak.	113
Tabel L.8	Perbandingan nilai koefisien stabilitas struktur pada Sistem Ganda dan SRPMK.	114
Tabel L.9	ketidakberaturan Horizontal (Sumber: Tabel 10 SNI 1726:2019).	115
Tabel L.10	Kontrol ketidakberaturan torsi pada Sistem Ganda dan SRPMK.	116
Tabel L.11	Kontrol ketidakberaturan sudut dalam pada Sistem Ganda dan SRPMK.	117
Tabel L.12	Kontrol ketidakberaturan diskontinuitas pada Sistem Ganda dan SRPMK.	117
Tabel L.13	ketidakberaturan Vertikal (Sumber: Tabel 11 SNI 1726:2019).	118
Tabel L.14	Kontrol ketidakberaturan tingkat lunak pada Sistem Ganda dan SRPMK.	119
Tabel L.15	Kontrol ketidakberaturan berat(massa) pada Sistem Ganda dan SRPMK.	119
Tabel L.16	Kontrol ketidakberaturan geometri vertikal pada Sistem Ganda dan SRPMK.	120
Tabel L.17	Kontrol ketidakberaturan kuat lateral tingkat pada Sistem Ganda dan SRPMK.	121
Tabel L.18	Syarat Sistem Ganda dan Solusi 25% Gaya Gempa Pada Rangka.	122
Tabel L.19	Pengecekan 25% <i>Shearwall</i> .	124
Tabel L.20	Hasil <i>Shearwall</i> dan Rangka.	125
Tabel L.21	Nilai Diaphragma Sistem Ganda dan SRPMK.	125

Tabel L.22 Perhitungan Spun pile.	126
Tabel L.23 Perhitungan Spun pile.	127
Tabel L.24 Perhitungan Spun pile.	128
Tabel L.25 Gaya dalam.	129
Tabel L.26 Penulangan Pile Cap.	129
Tabel L.27 Penulangan Tie beam.	131
Tabel L.28 Gaya dalam kolom.	133
Tabel L.29 Desain longitudinal kolom.	133
Tabel L.30 Desain transversal kolom.	134
Tabel L.31 Gaya dalam kolom.	136
Tabel L.32 Desain longitudinal kolom.	137
Tabel L.33 Desain transversal kolom.	138
Tabel L.34 Desain lentur balok.	140
Tabel L.35 Desain geser balok.	143
Tabel L.36 Desain torsi balok.	145
Tabel L.37 Desain lentur balok.	147
Tabel L.38 Desain geser balok.	150
Tabel L.39 Desain torsi balok.	152
Tabel L.40 Desain lentur balok.	154
Tabel L.41 Desain geser balok.	156
Tabel L.42 Desain torsi balok.	157
Tabel L.43 Desain pelat lantai.	159
Tabel L.44 Desain dinding geser (<i>Shearwall</i>).	163
Tabel L.45 Desain dinding geser (<i>Shearwall</i>)	164
Tabel L.46 Hasil SPT lapangan kedalamn vs SN.	165
Tabel L.47 Hasil SPT lapangan kedalamn vs SN.	166

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gaya inersia akibat getaran tanah pada benda kaku.	17
Gambar 2. 2 Peta Wilayah Gempa Indonesia (SNI 1726:2019).	18
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.	24
Gambar 3. 2 Denah <i>Basement</i> .	27
Gambar 3. 3 Tegangan kontak akibat beban aksial.	30
Gambar 3. 4 Basement.	31
Gambar 3. 5 Dinding penahan tanah (<i>Retaining wall</i>).	32
Gambar 3. 6 Pondasi bore pile	34
Gambar 3. 7 Struktur bawah untuk pemasangan <i>pile cap</i> .	35
Gambar 3. 8 Bentuk-bentuk dari <i>pile cap</i> .	35
Gambar 4. 1 Desain Rencana dinding Penahan Tanah	91

DAFTAR NOTASI

DL	= (<i>Dead load</i>) Beban mati.
SIDL	= (<i>Superimposed Dead Load</i>) Beban mati tambahan.
LL	= (<i>Live Load</i>) Beban hidup.
Lr	= (<i>Roof Live Load</i>) Beban hidup atap.
R	= (<i>Rain Load</i>) Beban hujan.
W _x	= (<i>Wind Load</i>) Beban angin pada arah sumbu x.
W _y	= (<i>Wind Load</i>) Beban angin pada arah sumbu y.
E _x	= (<i>Earthquake Load</i>) Beban gempa pada arah sumbu x.
E _y	= (<i>Earthquake Load</i>) Beban gempa pada arah sumbu y.
F _c '	= Kuat tekan beton (MPa).
F _y	= Tegangan leleh baja tulangan (MPa).
A _g	= Luas penampang bruto (mm ²).
A _s	= Luas tulangan tarik (mm ²).
A _v	= Luas tulangan geser (mm ²).
A _t	= Luas tulangan puntir (mm ²).
A _l	= Luas tulangan longitudinal (mm ²).
b	= Lebar penampang balok atau kolom (mm).
h	= Tinggi penampang balok atau kolom (mm).
d	= Tinggi efektif penampang (mm).
ρ	= Rasio tulangan.
ρ _{min}	= Rasio tulangan minimum.
ρ _{max}	= Rasio tulangan maksimum.
M _n	= Momen nominal (kNm).
M _u	= Momen ultimate (kNm).
V _u	= Gaya geser ultimate (kN).
T _u	= Momen puntir ultimate (kNm).
R _n	= Kekuatan nominal per satuan luas (MPa).
E _c	= Modulus elastisitas beton (MPa).
E _s	= Modulus elastisitas baja (MPa).
I _g	= Momen inersia penampang bruto (mm ⁴).

EI	= Kekakuan lentur (Nmm^2).
β_d	= Rasio beban mati terhadap beban total.
SDS	= Parameter percepatan spektral desain pada periode pendek.
R	= Faktor modifikasi respons gempa.
Ω	= Faktor kuat lebih sistem struktur.
C_d	= Faktor pembesaran defleksi.
Δ	= Simpangan antar tingkat (mm).
Δ_{ijin}	= Simpangan antar tingkat izin (mm).
q_{ult}	= Daya dukung ultimit tanah (kN/m^2).
q_c	= (<i>Conus Resistance</i>) dari sondir (kg/cm^2).
T_f	= (<i>Total Friction</i>) dari sondir (kg/cm).
N	= Nilai <i>Standard Penetration Test</i> (SPT).
V_s	= Kecepatan rambat gelombang geser tanah (m/s).
S_u	= Kekuatan geser tanah (kPa).
γ	= Berat jenis tanah (kN/m^3).
θ	= Sudut geser tanah (derajat).
C	= Kohesi tanah (kPa).
SF	= (<i>Safety Factor</i>) Faktor keamanan.

DAFTAR SINGKATAN

SRPMK	= Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.
SRPMM	= Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.
SRPMB	= Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa.
ETABS	= <i>Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems</i> (Software analisis struktur).
SNI	= Standar Nasional Indonesia.
KN	= Kilonewton: Satuan gaya.
KN/m	= Kilonewton per meter.
kN/m ²	= Kilonewton per meter persegi.
MPa	= Megapascal.
mm	= Milimeter.
mm ²	= Milimeter persegi.
mm ⁴	= Milimeter pangkat empat.
kg/cm ²	= Kilogram per sentimeter persegi

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rusun merupakan sebuah model tempat tinggal yang hanya mengambil sebagian kecil ruang dari suatu bangunan. Bangunan gedung rusunawa memiliki puluhan bahkan ratusan unit tempat tinggal yang terdiri dari kamar tidur, ruang duduk, toilet, dapur dan sebagainya. Berdasarkan pengertian ini, fungsi utama rusun adalah sebagai pemukiman vertikal dengan kegiatan yang relatif sama dengan pemukiman pada umumnya. Selain itu rusun juga dimaksudkan untuk hunian atau tempat tinggal sebagai solusi dari keterbatasan lahan permukiman di kota-kota besar seperti kota Medan.

Perencanaan Struktur rusun ini di desain berdasarkan peraturan-peraturan yang berlaku. Perencanaan struktur ini dilakukan untuk menghasilkan suatu gedung yang kuat, aman, ekonomis dan standart SNI yang berlaku. Secara umum, struktur bangunan gedung terdiri dari dua bagian yaitu struktur bagian atas berupa plat lantai, balok dan kolom serta struktur bagian bawah berupa pondasi dan sloof. Struktur gedung dirancang untuk memberikan jaminan keselamatan penghuni gedung, maka dari itu gedung yang direncanakan harus memenuhi standart SNI. Salah satu standart yang digunakan untuk perencanaan struktur bangunan tahan gempa adalah SNI-1726:2019.

Ada beberapa sistem struktur yang dapat diterapkan dalam bangunan untuk menahan gempa berdasarkan SNI-1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung. Salah satu sistem struktur yang dapat diterapkan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). Sistem rangka pemikul momen dibagi menjadi tiga jenis yaitu, Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) untuk kategori desain seismik A dan B. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) untuk kategori desain seismik A, B dan C dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk kategori desain seismik A, B, C, D, E, dan F.

Perencanaan gedung rusun ini menggunakan metode SRPMK karena berdasarkan hasil Standart Penetrasi Test (SPT) termasuk dalam kelas situs tanah lunak (SE) dan sesuai dengan peraturan perencanaan beban gempa.

Pemodelan perencanaan struktur akan digunakan menggunakan aplikasi ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems*). Perencanaan gempa dihitung dengan analisa respon spektrum. Perencanaan struktur beton bertulang gedung rusunawa ini menggunakan metode SRPMK karena sesuai dengan kondisi yang termasuk dalam kategori desain seismik.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut ini adalah rumusan masalah pada Tugas Akhir ini:

1. Diperlukan perencanaan untuk mengetahui ukuran penampang elemen pada struktur bangunan bawah.
2. Apakah ukuran-ukuran penampang tersebut memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh SNI yang berlaku?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah Tujuan Penelitian pada Tugas Akhir ini:

1. Untuk mendapatkan perbandingan ukuran penampang elemen-elemen pada struktur bangunan bawah.
2. Untuk perbandingan volume beton dan tulangan apakah hasil rencana elemen dan penulangannya memenuhi standart dan kriteria yang berlaku dari SNI yang ada di Indonesia.

1.4 Batasan Masalah

1. Fungsi Gedung yaitu rusun/hunian dan kategori resiko yaitu II
2. Lokasi perencanaan Gedung Jl. Rawe, Kel. Tangkahan, Kec.Medan Labuhan, Kota Medan.
3. Kriteria desain berdasarkan:
 - a. SNI 2847:2019 Persyaratan beton structural untuk bangunan gedung.
 - b. SNI 1727:2020 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung.

- c. SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung dan non gedung.
- d. SNI 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik.
- 4. Jenis tanah dilokasi berdasarkan data situs puskim tanah lunak (SE)
- 5. Mutu beton yang digunakan f'_c 35 Mpa.
- 6. Pemodelan struktur menggunakan software ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems). Versi 18.
- 7. Jumlah lantai bangunan berjumlah 16 lantai termasuk basement 3 lantai.
- 8. Perencanaan fokus pada struktur bawah gedung.
 - a. Pile Cap.
 - b. Tie Beam.
 - c. Kolom Basement.
 - d. Balok Basement.
 - e. Pelat Lantai Basement.
 - f. Dinding Geser (*Shear wall*).
 - g. Dinding Penahan tanah (*Retaining wall*).

1.5 Manfaat Penelitian

- 1. Penulis dapat memahami perencanaan struktur gedung tahan gempa sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019
- 2. Penulis dapat memahami penggambaran teknik yang sesuai dengan perhitungan.
- 3. Mengetahui hal-hal yang harus diperhatikan saat perencanaan sehingga kegagalan struktur dapat dihindari.
- 4. Menentukan perbedaan signifikan antara hasil perencanaan ETABS V18 dengan perhitungan software lain.
- 5. Mahasiswa dapat lebih memahami menggunakan software ETABS.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir atau skripsi ini terdiri dari lima bab yang direncanakan dan diharapkan dapat dijelaskan perihal topik bahasan yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang permasalahan, ruang lingkup pembahasan, tujuan dilakukannya penelitian dan manfaat penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori tentang bangunan struktur bertingkat banyak.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan rencana atau prosedur yang dilakukan penulis memperoleh jawaban yang sesuai dengan kasus permasalahan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil pembahasan analisis desain dan kinerja struktur.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi Kesimpulan sesuai analisis terhadap studi literatur dan berisi saran untuk pengembangan lebih lanjut yang baik dimasa yang akan datang.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Pada penelitian ini menggunakan tinjauan pustaka yang diperoleh dari beberapa jurnal dan penelitian sebelumnya yang membahas dan meneliti tentang analisis struktur bangunan yang lebih mengarah pada perencanaan struktur menggunakan material beton bertulang. Berikut adalah penelitian sejenis yang digunakan sebagai tinjauan pustaka penelitian ini.

1. Menurut Fitrah dan Melinda (2020), melakukan studi komparasi *detailing* tulangan lentur pada beton bertulang menggunakan SRPMK dan SRPMM untuk mencapai kapasitas sebuah gedung tahan gempa. Tujuan dari penelitian ini ialah membandingkan desain dan *detailing* tulangan lentur pada SRPMK dan SRPMM dengan fungsi Gedung perkantoran. Berdasarkan hasil komparasi desain struktur SPRMK dan SPRMM. Terdapat perbedaan jumlah tulangan longitudinal untuk memikul momen positif dan negatif di sepanjang bentang balok, serta jarak tulangan transversal dan jarak pemutusan tulangan.
2. Menurut Imran dan Hendrik (2021), Sistem rangka ruang didalam komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial disebut dengan sistem rangka pemikul momen. Secara garis besar, sistem rangka pemikul momen dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Perbedaan dari ketiga sistem struktur diatas ada pada kemampuannya dalam mengalami deformasi inelastis dan tingkat daktilitas. Selain faktor deformasi inelastis dari ketiga sistem rangka pemikul momen ini juga dapat dibedakan dari perilaku kinerja struktur gedung dalam mengalami daktilitas yang berbeda-beda. Pada SRPMK tingkat daktilitasnya adalah daktil penuh, sedangkan pada SRPMM dan SPRMB tingkat daktilitasnya adalah daktil parsial.

3. Menurut Fadillah dan Musthtofa (2024), struktur gedung kantor dengan metode SRPMB menunjukkan gaya lateral yang relatif lebih besar dibandingkan dengan struktur gedung kantor SRPMM, dengan perbandingan rata-rata sebesar 72,77%. Selanjutnya, baik dalam kondisi statik maupun dinamik, gedung kantor SRPMB juga terbukti memiliki gaya geser dasar yang lebih tinggi dibandingkan dengan SRPMM, dengan perbedaan signifikan mencapai sekitar 66,67% untuk arah X dan Y secara statik, serta sekitar 78% untuk arah X dan 78,85% untuk arah Y secara dinamik. Terkait dengan simpangan lateral per lantai serta simpangan antar lantai, gedung kantor SRPMM jauh lebih besar daripada SRPMB, dengan perbandingan rata-rata masing-masing sekitar 25,23% dan 26,84% untuk arah X dan Y. Terakhir, gedung kantor dengan metode SRPMM memiliki koefisien stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan SRPMB, dengan perbedaan sekitar 15,88% untuk arah X dan 17,59% untuk arah Y.
4. Menurut Batara dkk., (2019), melakukan penelitian tentang Perbandingan Perencanaan Gedung Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan objek penelitian berupa Gedung Grand UMI Tower. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya pengaruh beban gempa yang bekerja pada gedung serta merencanakan Superstruktur pada gedung Grand Tower Universitas Muslim Indonesia dengan perencanaan SRPMK dan SRPMM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh gaya geser dasar gempa yang bekerja pada struktur bangunan pada model I (SRPMK) lebih kecil dibandingkan dengan bangunan model II (SRPMM) yaitu selisih 28,83% pada gempa arah x-x dan 28,77% pada gempa arah y-y. Dari hasil desain penulangan pada model I (SRPMK) jumlah luas tulangan longitudinal elemen balok dan kolom sebesar 121673 mm² dan 183577 mm² sedangkan pada model II (SRPMM) sebesar 118916 mm² dan 183577 mm².
5. Menurut Simatupang (2019), melakukan penelitian yang berjudul “Analisis dan Desain Elemen Struktur Beton Bertulang pada Gedung Yang Memiliki Kolom Miring Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan nilai gaya

dalam berupa momen lentur, momen torsi, gaya geser, dan gaya aksial pada struktur kolom dan balok, nilai displacement serta kebutuhan tulangan yang terpasang di kedua model gedung tersebut. Dari perbandingan hasil analisis dan desain pada kedua model gedung tersebut diperoleh nilai gaya dalam berupa momen lentur, momen torsi, gaya geser, dan gaya aksial pada model gedung yang memiliki kolom miring (Model 2) bernilai lebih besar dibandingkan dengan gedung tanpa kolom miring (Model 1). Jumlah berat kebutuhan tulangan yang terpasang pada gedung Model 2 lebih besar dibandingkan dengan gedung Model 1 sebesar 70,89%. Dimensi balok dan kolom terpasang pada gedung Model 2 lebih besar dibandingkan dengan gedung Model 1. Nilai displacement pada gedung Model 1 dan 2 masih memenuhi syarat sehingga tidak diperlukan penggantian dimensi pada elemen struktur gedung akibat.

6. Menurut Almufid dan Santoso (2021), dalam jurnalnya melakukan penelitian tentang Struktur SRPMK DAN SRPMM Pada Bangunan Tinggi dengan objek penelitian berupa Gedung Apartmen hotel 10 lantai yang berlokasi di Kota Depok. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan suatu perbandingan antara kedua metode SRPM (SRPMM dan SRPMK). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai gaya geser dasar statik dan dinamik pada Struktur SRPMM bernilai lebih besar apabila dibandingkan dengan Struktur SRPMK. Diperoleh hasil bahwa beban gempa yang terjadi pada struktur dengan sistem SRPMM lebih besar dibandingkan struktur dengan sistem SRPMK. Hal ini dikarenakan struktur dengan sistem SRPMM memiliki faktor reduksi yang relatif lebih kecil yaitu sebesar $R = 5$, sedangkan struktur sistem SRPMK memiliki faktor reduksi sebesar $R = 8$. Maka dengan begitu struktur dengan sistem SRPMM memiliki faktor skala yang lebih besar. Pada perencanaan ini, model struktur dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah mendapatkan hasil yang lebih efisien dibandingkan model struktur dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. Pada perencanaan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus menghasilkan struktur yang lebih kaku dibandingkan perencanaan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.

7. Menurut Santosa dan Tama (2022), dalam jurnalnya melakukan penelitian tentang perbandingan displacement, gaya dalam, serta tulangan lentur dan geser kolom antara SRPMB dan SRPMK dengan objek penelitian bangunan pendidikan 7 lantai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui gaya dalam, serta tulangan lentur dan geser kolom antara SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) suatu bangunan beton bertulang berlantai 6 (enam) yang berfungsi sebagai fasilitas pendidikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai displacement lantai 1-7 akibat beban gravitasi pada SRPMB mempunyai nilai yang sama dengan SRPMK. Displacement lantai 1-7 akibat beban gempa pada arah x maupun arah Y pada SRPMB lebih besar dibandingkan SRPMK dengan selisih kelipatan sebesar 2,6667. Output gaya aksial (P), gaya geser (V) dan momen (M) pada SRPMB lebih besar dibandingkan SRPMK.
8. Menurut Ohorella dkk., (2023), dalam jurnalnya melakukan perbandingan respon seismik struktur atas gedung simetris dua arah berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019 dengan menggunakan studi kasus berupa Gedung Kuliah Bersama Politeknik Cilacap. Tujuan penelitian ini adalah untuk meninjau ulang struktur bangunan yang telah jadi untuk dikaji ulang terhadap seberapa besar perubahan respon seismik yang terjadi pada struktur atas bangunan gedung yang meliputi periode, gaya geser dasar, drift ratio, ketidakberaturan, dan efek P-delta jika digunakan beban gempa berdasar SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2019. Setelah melakukan analisis respon seismik dengan analisis dinamik menggunakan respon spektrum maka diperoleh hasil bahwa nilai simpangan antar lantai arah X dan Y berdasarkan SNI 1726:2012 relatif lebih kecil apabila dibandingkan dengan nilai simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726:2019. Pengaruh P-delta arah X dan Y Gedung Kuliah Bersama Politeknik Negeri Cilacap berdasarkan SNI 1726:2012 relatif lebih besar apabila dibandingkan dengan pengaruh P-delta berdasarkan SNI 1726:2019 dan keduanya telah memenuhi syarat pengaruh P-delta.
9. Menurut Solikin dan Balich (2023), Dimensi dan jumlah tulangan balok dan kolom SRPMM dan SRPMK akibat dari adanya perbedaan dari nilai faktor sistem gaya seismik yaitu koefisien modifikasi respon, nilai faktor kuat belah

sistem dan faktor pembesaran defleksi. Nilai SRPMM ialah $R=5$, $\mu = 3$, $C_d = 4,5$ sedangkan nilai SRPMK adalah $R = 8$, $\mu = 3$, $C_d = 5,5$. Oleh karena itu kekakuan struktur SRPMM lebih besar dari struktur SRPMK.

10. Menurut Tajunnisa dkk., (2020), Daktilitas SRPMM memenuhi persyaratan SNI. Sedangkan SRPMK tidak memenuhi. Tidak memenuhinya daktilitas pada struktur SRPMK, diduga karena dimensi struktur yang digunakan pada kedua metode tersebut adalah sama. Seharusnya pada struktur SRPMK dibuat dimensi yang lebih langsung pada metode SRPMK, agar syarat daktilitas memenuhi. Dari hipotesa ini, maka diperlukan studi/penelitian lanjutan untuk membandingkan jika digunakan dimensi struktur yang lebih langsing. Juga dihitung kebutuhan tulangan yang dibutuhkan.

Perencanaan struktur gedung bertingkat harus berpedoman pada syarat-syarat dan ketentuan yang berlaku di negara tempat proyek tersebut dilaksanakan dalam kasus ini proyek dilaksanakan di Indonesia maka harus berpedoman pada Standar Nasional Indonesia mengenai perencanaan gedung dan buku pedoman lain yang dirasa sesuai. Adapun syarat-syarat dan ketentuan tersebut terdapat buku pedoman, antara lain:

- a. SNI 2847:2019 Persyaratan beton structural untuk bangunan gedung.
- b. SNI 1727:2020 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung.
- c. SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung dan non gedung.
- d. SNI 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik.

2.2 Deskripsi Sistem

1. SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus):
 - Dirancang untuk bangunan di zona gempa tinggi.
 - Memiliki tingkat daktilitas penuh, yang berarti mampu menahan deformasi inelastik dengan baik.
 - Menggunakan kolom yang lebih kaku dibandingkan balok, memenuhi syarat "strong column weak beam" untuk menghindari keruntuhan pada balok.

2. SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah):
 - Digunakan di zona gempa sedang.
 - Memiliki daktilitas parsial, sehingga kurang mampu menahan deformasi dibandingkan SRPMK.
 - Dimensi struktur biasanya lebih besar dibandingkan SRPMK, karena harus menahan beban gempa yang lebih besar (Tajunnisa dkk., 2020).
3. SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa):
 - Digunakan di zona gempa rendah.
 - Memiliki tingkat daktilitas yang lebih rendah dibandingkan kedua sistem lainnya.
 - Cocok untuk bangunan dengan risiko gempa yang minimal (Pandaleke dkk., 2019).

2.3 Penyajian Laporan dan Fungsi Penggambaran

Penyajian laporan tugas akhir ini disesuaikan dengan pedoman pembuatan laporan tugas akhir yang diterbitkan oleh jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang terdiri dari sistematika penulisan, penggunaan bahasa dan bentuk laporan. Sedangkan format penggambaran di sesuaikan dengan peraturan dan tata cara menggambar teknik struktur bangunan dengan menggunakan program ETABS dan Autocad 2007.

2.4 Pedoman Perencanaan

Dalam perencanaan, digunakan juga beberapa peraturan. Dalam desain gedung rusun ini digunakan peraturan perencanaan yang terbaru yaitu:

- a. SNI 2847:2019 Persyaratan beton structural untuk bangunan gedung.
- b. SNI 1727:2020 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung.
- c. SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung dan non gedung.

2.5 Mutu Bahan

Gedung direncanakan dengan mutu beton $f_c' = 35$ Mpa untuk struktur Pondasi, Tie beam, Kolom, Balok, Pelat lantai, dan pelat atap. Dengan bahan pendukung menggunakan mutu tulangan 390 Mpa.

2.6 Konsep Perencanaan Gedung

Selain didesain dapat memikul beban vertikal atau beban gravitasi struktur bangunan tinggi juga harus direncanakan tahan terhadap gempa. Untuk itu perencanaan harus memperhitungkan beban lateral (gempa). Tingkat keberaturan bentuk bangunan yang akan direncanakan dapat mempengaruhi metode analisis struktur apa yang akan digunakan. Konsep ini merupakan dasar teori perencanaan dan perhitungan struktur, yang meliputi desain terhadap beban lateral (gempa) dan metode analisis struktur yang digunakan (Walla dkk., 2020).

2.6.1. Desain Terhadap Beban Lateral

Kestabilan Lateral dapat dicapai jika elemen-elemen vertikal dan horizontal struktur didesain sedemikian sehingga untuk dapat memikul beban lateral. Mekanisme dasar untuk menjamin kestabilan lateral diperoleh dengan menggunakan hubungan kaku untuk memperoleh bidang geser kaku yang dapat memikul beban lateral.

Beban gempa adalah beban lateral yang dominan terhadap kestabilan struktur, Dimana efek dinamisnya menjadikan analisisnya lebih kompleks. Penerapan analisis ini dilakukan untuk memastikan bahwa desain elemen-elemen struktur tersebut kuat menahan gaya gempa (Suriani, 2022).

2.6.2. Analisis Struktur Terhadap Gempa

Struktur bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan bawah. Struktur atas adalah bagian struktur gedung yang berada di atas permukaan tanah dan struktur bawah adalah bagian dari struktur bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah yang dapat terdiri dari struktur basement, dan atau struktur pondasi lainnya. (SNI 1726:2019).

a. Persyaratan dasar

Prosedur analisis dan desain seismic yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan gedung dan komponennya seperti yang ditetapkan dalam pasal ini. Struktur bangunan gedung harus memiliki system penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan gerak tanah desain dalam Batasan-batasan kebutuhan deformasi dan kekuatan yang di syaratkan. Gerak tanah desain harus diasumsikan terjadi di sepanjang setiap arah horizontal struktur bangunan gedung.

b. Desain elemen struktur, desain sambungan dan Batasan deformasi.

Komponen/elemen struktur individu termasuk yang bukan merupakan bagian sistem penahan gaya gempa harus disediakan dengan kekuatan yang cukup untuk menahan geser, gaya aksial dan momen yang ditentukan sesuai dengan tata cara ini, dan sambungan-sambungan harus mampu mengembangkan kekuatan komponen/elemen struktur yang disambung. Deformasi struktur tidak boleh melebihi Batasan yang ditetapkan pada saat struktur dikenakan beban gempa.

c. Lintasan beban yang menerus dan keterhubungan.

Lintasan-lintasan beban yang menerus dengan kekakuan dan kekuatan yang memadai harus disediakan untuk mentransfer semua gaya dan titik pembebanan hingga titik akhir penumpuan. Semua bagian struktur antara join pemisah harus terhubung untuk membentuk lintasan menerus ke sistem penahan gaya gempa, dan sambungan harus mampu menyalurkan gaya gempa yang ditimbulkan oleh bagian-bagian yang terhubung.

d. Sambungan ke tumpuan.

Sambungan pengaman untuk menahan gaya horizontal yang bekerja paralel terhadap elemen struktur harus disediakan untuk setiap balok, girder langsung ke elemen tumpuannya atau ke pelat yang di desain bekerja sebagai diafragma itu. Sambungan harus mempunyai kuat desain minimum sebesar 5% dari reaksi beban mati ditambah beban hidup.

e. Desain pondasi.

Pondasi harus di desain untuk menahan gaya yang dihasilkan dan mengakomodasi pergerakan yang disalurkan ke struktur oleh gerak tanah desain.

Sifat dinamis gaya, gerak tanah yang diharapkan, dasar desain untuk kekuatan dan kapasitas disipasi energi struktur dan properti dinamis tanah harus disertakan dalam penentuan kriteria pondasi. Pada gedung dengan basement, taraf penjepitan lateral struktur atas dapat dianggap terjadi pada muka tanah atau lantai dasar.

Struktur bangunan gedung harus di klasifikasikan sebagai beraturan atau tidak beraturan. Struktur yang memenuhi ketentuan di atas ditetapkan sebagai gedung beraturan berdasarkan konfigurasi horizontal dan vertikal bangunan gedung.

2.6.3 Elemen-elemen struktural di atas tingkat dasar

Sesuai dengan Batasan khusus prosedur di bagian ini, elemen-elemen struktur di atas Tingkat dasar harus direncanakan dengan menggunakan persyaratan-persyaratan yang berlaku untuk struktur tanpa isolasi dan gaya-gaya yang diperoleh dari analisis dinamik dibagi dengan faktor RI seperti yang ditentukan 0.

Untuk analisis spektrum respons, geser rencana pada setiap tingkat tidak boleh kurang dari geser lantai yang di hasilkan dari penerapan gaya-gaya yang di hitung menggunakan persamaan (137) dan suatu nilai V_b yang sama dengan geser dasar yang di dapat dari analisis spektrum respons di arah yang di tinjau.

Untuk analisis riwayat respons dari struktur beraturan, nilai V_b tidak boleh diambil kurang dari 80% dari yang di tetapkan menurut 0 dan nilai V_s tidak boleh diambil kurang dari 100% batasan yang di tetapkan dalam 0 (SNI 1726:2019).

2.7 Perencanaan Struktur Bangunan

2.7.1 Pembebanan

Pemisahan antara beban statis dan dinamis merupakan hal yang mendasar dalam tahap analisa pembebanan untuk perencanaan bangunan tinggi. Konsep pemisahan ini dimaksudkan untuk mempermudah dalam pengelompokan hubungannya dengan kombinasi pembebanan (*load combination*) untuk analisa tahap selanjutnya.

1. Beban Statis

Beban statis adalah beban yang bersifat tetap sepanjang masa selama bangunan masih tetap ada, bekerja secara terus-menerus pada struktur. Beban

statis pada umumnya dapat dibagi menjadi beban mati, beban hidup dan beban khusus. Beban khusus adalah beban yang terjadi akibat penurunan pondasi atau efek temperature. Beban statis juga di asosiasikan dengan beban-beban yang secara perlahan-lahan timbul serta mempunyai variabel besaran yang bersifat tetap (*steady states*). Dengan demikian, jika suatu beban mempunyai perubahan intensitas yang berjalan cukup perlahan sedemikian rupa sehingga pengaruh waktu tidak dominan, maka beban tersebut dapat dikelompokkan sebagai beban statis (*static load*). Deformasi dari struktur akibat beban statik akan mencapai puncaknya jika beban ini mencapai nilainya.

a. Beban Mati

Beban mati (*dead load*) adalah berat sendiri dari semua bagian dari suatu bangunan yang bersifat tetap. Beban mati pada struktur bangunan ditentukan oleh berat jenis bangunan. Berat ini terdiri atas berat struktur dan beban lain yang ada pada struktur secara permanen. Beban mati terdiri dari atas berat rangka, dinding, lantai, atap, plumbing.

Menurut pedoman perencanaan pembebanan Indonesia untuk rumah dan gedung tahun 1987 beban mati pada struktur terbagi menjadi 2, yaitu beban mati akibat material konstruksi misalnya: balok, pelat, kolom, dinding geser, kuda-kuda dan lainnya serta beban mati akibat komponen gedung misalnya: bata ringan, penggantung plafond, keramik, kaca, kusen dan lainnya.

Berdasarkan perhitungan beban Rusunawa, beban yang di modelkan akan dihitung secara otomatis oleh program. Program struktur yang digunakan adalah ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis of Building System*) V18.

1. Beban Mati Tambahan

Tabel Tabel 2. 1: Beban mati tambahan.

Jenis Beban	Berat (KN/m ²)
Keramik	0.24
Spesi	0.41

Tabel *lanjutan* 2.1: Beban mati tambahan.

Jenis Beban	Berat (KN/m ²)
Mekanikal Elektrikal	0.19
Penggantung	0.07
Plafond	0.11
Dinding bata 15 cm	2.50

2. Beban mati di lantai

- Beban finishing lantai (spesi + keramik) = 0.65 KN/m²
- Beban plafond + penggantung = 0.18 KN/m²
- Beban instalasi ME = 0.19 KN/m²
- Jumlah beban mati pada pelat lantai = 1.02 KN/m²

3. Beban mati di atap

- Beban plafond + penggantung = 0.18 KN/m²
- Beban instalasi ME = 0.19 KN/m²
- Jumlah beban mati pada pelat atap = 0.37 KN/m²

4. Beban mati di balok

- Beban dinding merata 4 m = 10.00 KN/m

5. Beban mati di kolom

- Beban lift = 15.69 KN

2. Beban Hidup

Beban hidup (*live load*) adalah beban yang terjadi akibat fungsi pemakaian gedung seperti benda-benda pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak dapat diganti.

Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur. Beban yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan (*occupancy loads*) adalah beban hidup.

1. Beban hidup di lantai

- Semua ruang $L_0 = 1.92 \text{ KN/m}^2$

Tabel 2. 2: Beban hidup terdistribusi merata minimum, L0 dan beban hidup terpusat minimum (Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020).

Hunian atau penggunaan	Merata, L_0 psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat Ib (kN)	Juga Lihat Pasal
Rumah tinggal					
Hunian satu dan dua 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 kondornya	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)		

2. Beban hidup di atap

- Atap datar $L_0 = 0.96 \text{ KN/m}^2$

Tabel 2. 3: Beban hidup terdistribusi merata minimum, L0 dan beban hidup terpusat minimum (Tabel 4.3-1 SNI 1727:2020).

Hunian atau penggunaan	Merata, L_0 psf (kN/m ²)	Reduksi beban hidup diizinkan? (No. Pasal)	Reduksi beban hidup berlantai banyak diizinkan? (No. Pasal)	Terpusat Ib (kN)	Juga Lihat Pasal
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)	-		

3. Beban Angin

Beban angin (*wind load*) adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

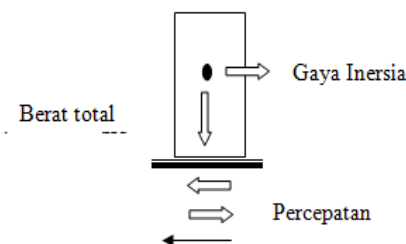
4. Beban Dinamis

Beban dinamis adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya, beban ini tidak bersifat tetap (*unsteady-state*) serta mempunyai karakteristik dan arah yang berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban dinamis ini juga akan berubah-ubah secara cepat. Beban dinamis ini terdiri dari bebangempa dan beban angin.

a. Beban Gempa

Beban Gempa adalah fenomena getaran yang diakibatkan oleh benturan atau pergesekan lempeng tektonik (*plate tectonic*) bumi yang terjadi di daerah patahan (*fault zone*). Gempa yang terjadi di daerah patahan ini pada umumnya merupakan gempa dangkal karena patahan umumnya terjadi pada lapisan ini bumi dengan kedalaman antara 15 sampai 50 km. Gerak tanah gempa rencana harus digunakan untuk menghitung perpindahan rencana total system isolasi dan gaya gaya lateral serta perpindahan pada struktur dengan isolasi.

Pada saat bangunan bergetar akibat adanya gempa, timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan, gaya yang timbul ini disebut Inersia. Besar gaya-gaya tersebut terdistribusi, kekakuan struktur, kekakuan tanah, jenis pondasi, adanya mekanisme redaman pada bangunan dan tentu saja perilaku dan besar getaran itu sendiri.



Gambar 2. 1: Gaya inersia akibat getaran tanah pada benda kaku.

$$\text{Gaya Inersia (FI)} = \left[\frac{w}{g} \right] \times a \quad (3.1)$$

$$\text{Gaya geser penahan Inersia} = (a \times g) \times w \quad (3.2)$$

Dimana:

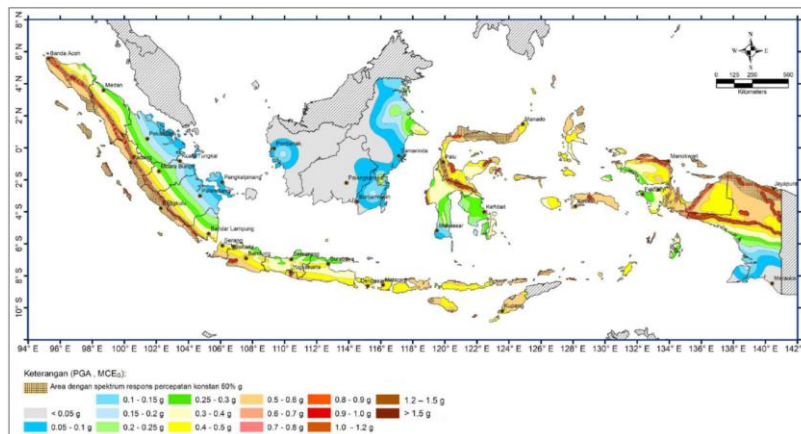
- FI : gaya inersia
V : gaya geser penahan inersia
a : percepatan gempa
g : gravitasi

Gaya geser horizontal akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada perencanaan. Dengan mempertimbang tinggi gedung kurang dari 60 m, maka perhitungan struktur menggunakan metode analisis statis. Koefisien daerah (kd) tergantung pada letak geografis dari bangunan, berarti tergantung pada daerah gempa Dimana bangunan itu berada. Gedung 16 lantai rumah susun ini direncanakan berada di kota medan sehingga berada pada zona gempa 3.

Meskipun konsep di atas pada awalnya telah membentuk dasar-dasar untuk desain terhadap gempa bumi, model di atas hanya merupakan penyederhanaan. Apabila fleksibilitas aktual yang dimiliki struktur di perhitungkan maka diperlukan model yang rumit untuk memprediksikan gaya-gaya eksak yang timbul di dalam struktur sebagai akibat dari percepatan. Suatu aspek penting yang utama dalam meninjau perilaku struktur fleksibel yang mengalami percepatan tanah adalah periode alami getar.

1) Wilayah Gempa dan Spektrum Respons

Besar kecilnya beban gempa yang diterima suatu struktur tergantung pada lokasi dimana struktur bangunan tersebut akan dibangun seperti terlihat pada gambar peta wilayah gempa dibawah ini.



Gambar 2. 2: Peta Wilayah Gempa Indonesia (SNI 1726:2019).

Harga dari faktor respons gempa (C) dapat ditentukan dari diagram spektrum gempa rencana, sesuai dengan wilayah gempa dan kondisi jenis tanahnya untuk waktu getar alami fundamental.

2) Faktor Keutamaan Gedung (I)

Faktor keutamaan adalah suatu koefisien yang diadakan untuk memperpanjang waktu ulang dari kerusakan struktur-struktur gedung yang relatif besar pada gedung itu. Waktu ulang dari kerusakan struktur gedung akibat gempa akan diperpanjang dengan pemakaian suatu faktor keutamaan. Faktor keutamaan I menurut persamaan:

$$I = I_1 \times I_2 \quad (3.3)$$

Dimana, I_1 adalah faktor keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa selama umur gedung. Sedangkan I_2 adalah faktor keutamaan untuk menyesuaikan umur gedung tersebut.

3) Daktilitas Struktur Gedung

Faktor daktilitas struktur gedung μ adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan δ_m dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama δ_y , yaitu:

$$1,0 \leq \mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} \leq \mu_m$$

(3.4)

Pada persamaan ini, $\mu = 1,0$ adalah nilai faktor daktilitas untuk struktur bangunan gedung yang berperilaku elastis penuh, sedangkan μ_m adalah nilai faktor daktilitas maksimum yang dapat dikerahkan oleh sistem struktur bangunan gedung yang bersangkutan.

4) Pembatasan Waktu Getar

Untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar struktur fundamental harus dibatasi. Dalam SNI 03-1726:2019 diberikan batasan sebagai berikut:

$$T < \xi n \quad (3.5)$$

dimana:

T = waktu getar struktur fundamental

n = jumlah Tingkat gedung

ξ = koefisien pembatas

5) Jenis Tanah

Pengaruh gempa rencana di muka tanah harus di tentukan dari hasil analisis perambatan gelombang gempa dari kedalaman batuan dasar ke muka tanah dengan menggunakan gerakan gempa masukan dengan percepatan puncak untuk batuan dasar.

Gelombang gempa merambat melalui batuan dasar di bawah permukaan tanah dari kedalaman batuan dasar ini gelombang gempa merambat ke permukaan tanah sambil mengalami pembesaran atau amplifikasi bergantung pada jenis lapisan tanah yang berada di atas batuan dasar tersebut. Ada tiga kriteria yang dipakai untuk mendefinisikan batuan dasar yaitu:

- a) *Standard penetrasi test* (N)
- b) Kecepatan rambat gelombang geser (V_s)
- c) Kekuatan geser tanah (S_u)

Jenis tanah di tetapkan sebagai tanah keras, taah sedang, dan tanah lunak, apabila untuk lapisan setebal 30 m paling atas dipenuhi syarat-syarat yang terdapat dalam Tabel 2.4.

Tabel 2. 4: Jenis-Jenis Tanah (SNI 1726:2019).

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

Perhitungan nilai hasil test penetrasi rata-rata (N):

$$\bar{N} = \frac{\sum_{t=1}^m t_i}{\sum_{t=1}^m t_i / N_i} \quad (3.6)$$

dimana :

t_i = Tebal lapisan tanah ke-i

N_i = Nilai hasil test penetrasi standar lapisan tanah ke-i

m = Jumlah lapisan tanah yang ada di atas batuan dasar

2.7.1 Perencanaan Beban

2.7.1.1 Kombinasi beban untuk metode ultimit

a. Kombinasi pembebanan dasar

Struktur perlu di perhitungkan terhadap adanya kombinasi pembebanan dari beberapa kasus pembebanan yang mungkin terjadi selama umur rencana. Menurut SNI 1726:2019 komponen struktur dan elemen-elemen pondasi harus di desain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi beban. Pengaruh adany satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan seismik harus ditinjau, tetapi kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan. Lihat 0 untuk definisi khusus mengenai pengaruh beban gempa E.

1. 1,4D

2. $1,2D+1,6L+0,5(L_{ratau}R)$
3. $1,2D+1,6(L_{ratau}R)+(L_{atau} 0,5W)$
4. $1,2D+1,0W+L+0,5(L_{ratau}R)$
5. $0,9D+1,0W$

Pengecualian faktor beban untuk L pada kombinasi 3 dan 4 diizinkan di ambil sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila beban hidup desain tereduksi (L_0) dalam SNI 1727, lebih kecil atau sama dengan $4,78 \text{ KN/m}^2$, kecuali garasi atau ruang pertemuan publik.

Bila beban fluida F bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan dengan nilai faktor beban yang sama dengan faktor beban untuk beban mati D pada kombinasi 1 hingga 4.

Bila beban tanah H bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan sebagai berikut :

1. Bila adanya beban H memperkuat pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh H dengan faktor beban = 1,6.
2. Bila adanya beban H memberi perlawanan terhadap pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh H dengan faktor beban = 0,9 (jika bebannya bersifat permanen) atau dengan faktor beban = 0 (untuk kondisi lainnya).

- b. Kombinasi pembebanan dengan pengaruh regangan sendiri/*self-straining force*

Apabila pengaruh struktural dari T (pengaruh regangan sendiri/*self-straining*) ternyata dapat merugikan performa atau keselamatan struktur, maka T harus di perhitungkan dalam kombinasi beban. Faktor beban untuk T harus ditentukan dengan memperhitungkan ketidakpastian terkait kemungkinan besaran pengaruh dan beban struktur, kemungkinan bahwa pengaruh maksimum dari T akan muncul bersamaan dengan beban lain yang bekerja, dan potensi konsekwensi yang merugikan apabila pengaruh T lebih besar dari pada yang telah di asumsikan. Faktor beban untuk T tidak boleh kurang dari 1,0.

- c. Kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik.

Apabila struktur menerima pengaruh beban seismik, maka kombinasi-kombinasi beban berikut harus diperhitungkan bersama dengan kombinasi beban

dasar di atas. Pengaruh beban seismik yang paling menentukan harus ditinjau, tetapi tidak perlu di perhitungkan secara bersamaan dengan beban angin.

Apabila pengaruh beban seismik yang dimaksud, $E = f(E_v, E_h)$ (pada 0 atau 0) di kombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik yang harus digunakan adalah:

6. $1,2D + E_v + E_h + L$

7. $0,9D - E_v + E_h$

Apabila pengaruh beban seismik dengan kuat lebih yang di tinjau $E_m = f(E_v, E_{mh})$ (pada 0 atau 0) dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik untuk struktur yang harus digunakan adalah:

6. $1,2D + E_v + E_{mh} + L$

7. $0,9D - E_v + E_{mh}$

Pengecualian faktor beban untuk L pada kombinasi beban 6 diizinkan diambil sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila L0 dalam SNI 1727, lebih kecil atau sama dengan $4,78 \text{ KN/m}^2$, kecuali garasi atau ruang pertemuan publik.

Bila beban fluida F bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus di perhitungkan dengan nilai faktor beban yang sama dengan faktor beban untuk beban mati D pada kombinasi 6 dan 7.

Bila beban tanah H bekerja pada struktur, maka keberadaannya harus diperhitungkan sebagai berikut:

Bila adanya beban H memperkuat pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh H dengan faktor beban = 1,6.

Bila adanya beban H memberi perlawanan terhadap pengaruh variabel beban utama, maka perhitungkan pengaruh H dengan faktor beban = 0.9 (jika bebannya bersifat permanen) atau dengan faktor beban = 0 (untuk kondisi lainnya).

2.8 Faktor Reduksi Kekuatan Bahan (*Strength Reduction Factors*)

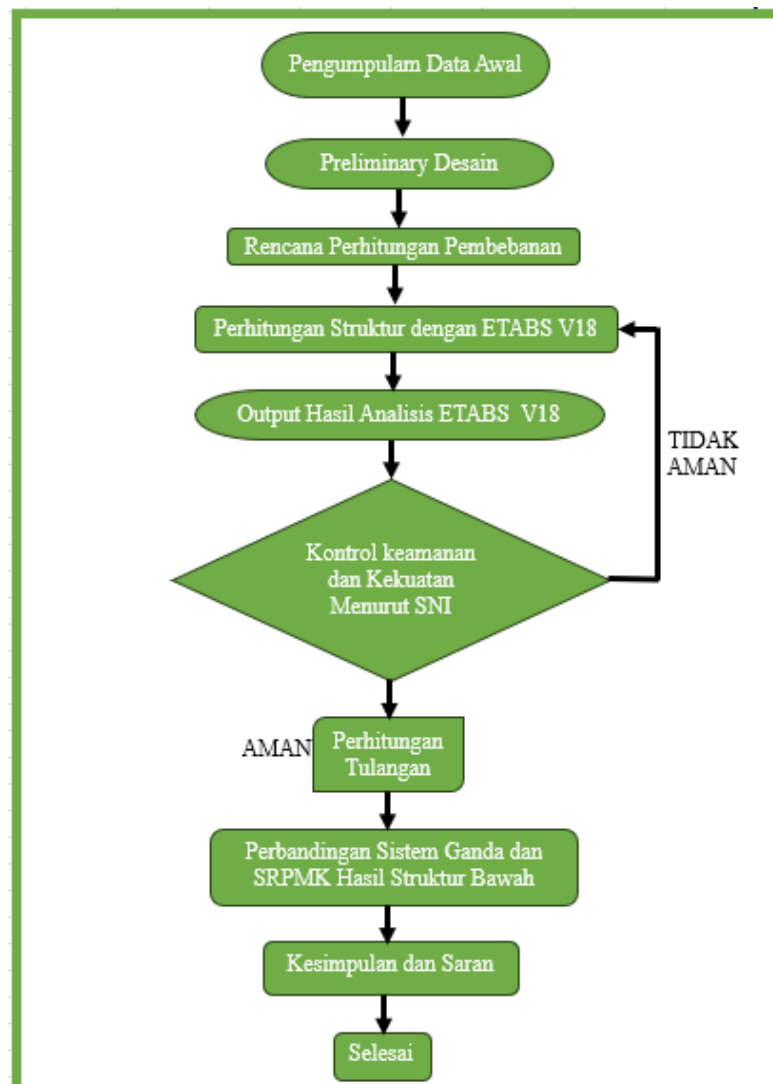
Faktor reduksi kekuatan bahan merupakan suatu bilangan yang bersifat mereduksi kekuatan bahan, dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi paling buruk jika pada pelaksanaan nanti terdapat perbedaan mutu bahan yang ditetapkan sesuai standar bahan yang ditetapkan dalam perencanaan sebelumnya.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Tinjauan Umum

Metodologi dapat didefinisikan sebagai studi sistematis kualitatif atau kuantitatif dengan berbagai metode dengan teknik analisis (Dunn, 1981). Kedua analisis tersebut digunakan untuk saling melengkapi dan saling mengoreksi sejauh mana ketepatan analisisnya. Adapun tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada gambar bagan alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1: Diagram alir penelitian.

3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk merencanakan struktur gedung 16 lantai Gedung Rusun Medan Islamic Centre (MIC), yaitu data primer dan data sekunder.

3.2.1 Data Primer

Data primer adalah data yang didapatkan dari hasil pengamatan dan penelitian secara langsung baik di wilayah proyek yang akan dibangun maupun di sekitar lokasi pembangunan, yang nantinya dipergunakan sebagai sumber dalam perancangan struktur. Data-data tersebut yaitu:

- a. Gambar kerja proyek.
- b. Data tanah.
- c. Data bangunan.

3.2.2. Data Sekunder

Data yang dijadikan bahan acuan dalam penyusunan laporan tugas akhir, dimana data tersebut diperoleh dari instansi tertentu yang digunakan langsung sebagai sumber dalam perancangan pembangunan Gedung Rusun Medan Islamic Centre (MIC).

Secara garis besar data yang dibutuhkan dalam perancangan dan perhitungan struktur utama gedung ini adalah:

1. Deskripsi umum bangunan.

Deskripsi umum bangunan meliputi fungsi bangunan dan lokasi bangunan tersebut didirikan. Fungsi bangunan berkaitan dengan perencanaan pembebanan, sedangkan lokasi bangunan digunakan untuk mengetahui keadaan tanah dan lokasi bangunan yang akan di dirikan sehingga bisa direncanakan struktur bangunan bawah yang akan dipakai.

2. Denah dan sistem struktur bangunan.

Yang dimaksud sitem struktur bangunan meliputi rencana struktur yang akan direncanakanseperti atap, portal dan lain sebagainya yang berfungsi sebagai perhitungan perencanaan lebih lanjut. Sedangkan rencana denah tersebut di atas merupakan studi awal yang berkaitan dengan perencanaan

posisi dan kondisi bangunan, seperti dinding, letak lift, letak tangga dan lain sebagainya.

3. Wilayah gempa bangunan sekitar.

Untuk merencanakan suatu gedung bangunan dibutuhkan ketelitian dalam perhitungan pembebanan yang ditimbulkan akibat gempa. Olehkarena itu perlu diketahui wilayah gempa dari struktur yang akan dibangun. Menurut data yang ada struktur gedung rusun yang akan di bangun masuk ke dalam wilayah zona 3.

4. Data tanah berdasarkan penyelidikan tanah.

Data tanah berfungsi untuk merencanakan struktur bawah gedung yang akan digunakan (pondasi). Data tanah tersebut meliputi:

a. Sondir

Untuk mengetahui kedalaman tanah keras di lokasi tersebut berdasarkan nilai *conusresistance* (q_c).

b. *Soil test*

Digunakan untuk mengetahui nilai berat jenis tanah (γ).

c. *Direct shear test*

Data *Direct shear test* digunakan untuk mengetahui nilai kohesi tanah (c) dan untuk mengetahui sudut geser tanah (Θ).

3.2.3 Data Teknis

1. Struktur Utama

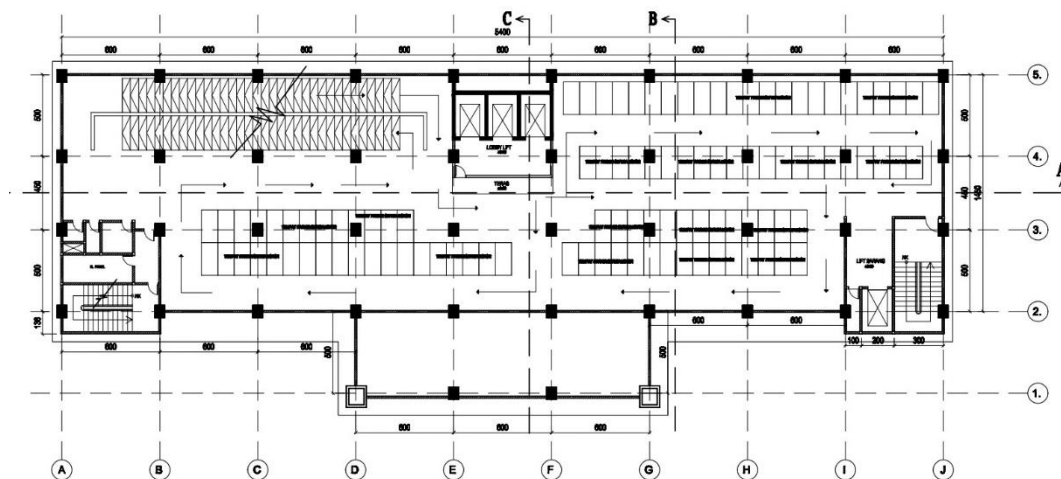
Pelat	: f'_c 35 Mpa.
Balok	: f'_c 35 Mpa.
Kolom	: f'_c 35 Mpa.
Pile Cap	: f'_c 35 Mpa.
Tie Beam	: f'_c 35 Mpa.
Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>)	: f'_c 35 Mpa.
Dinding Penahan Tanah (<i>Retaining Wall</i>)	: f'_c 35 Mpa.
Tulangan : $f_y = 390$ Mpa	(Tulangan sengkang)
$f_y = 390$ Mpa	(Tulangan pokok)

3.2.4 Data Non Teknis

Data non teknis adalah data yang berfungsi sebagai penunjang dan perencanaan, seperti kondisi dan letak lokasi proyek.

1. Data Proyek

- Nama proyek : Perencanaan Struktur Gedung Rusun Medan Islamic Centre.
- Fungsi bangunan : Hunian.
- Jumlah lantai : 16 lantai (termasuk *basement* 3 lantai).
- Lokasi : Jl. Rawe III, Martubung, Kec. Medan Labuhan Kota Medan.
- Struktur bangunan: Konstruksi Rangka Bertulang.
- Struktur atap : Konstruksi Beton (Dak) dan Atap Spandek.
- Bahan bangunan : Struktur Beton.
- Luas Bangunan : $54 \text{ m} \times 19.5 \text{ m} = 1.053 \text{ m}^2$.
- Kategori risiko bangunan : II (sumber: SNI 1726:2019).
- Faktor keutamaan Gempa : 1 (sumber: SNI 1726:2019).
- Jenis Tanah : Lunak.



Gambar 3. 2: Denah *Basement*.

3.2.5 Analisis Perhitungan

Analisis dan perhitungannya beserta acuannya dalam perencanaan struktur gedung Rusun Medan Islamic Centre ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan pondasi.

Jenis pondasi yang digunakan di hitung berdasarkan beban yang akan diterima dan keadaan tanah dilokasi proyek serta memperhatikan faktor non struktural seperti kondisi sosial lingkungan.

- a. Analisis dan penentuan parameter bawah.
- b. Pemilihan jenis pondasi.
- c. Analisis beban yang bekerja pada pondasi.
- d. Estimasi dimensi pondasi.
- e. Perhitungan daya dukung pondasi.
- f. Desain pondasi.

3.3 Rencana Struktur Bawah (*Sub Structure*)

3.3.1 Penyelidikan Tanah

Untuk perencanaan struktur Rusun di Martubung Kec.Medan Labuhan Kota Medan dilakukan penyelidikan tanah yang meliputi pekerjaan Booring data NSPT dan sondir sebanyak 6 titik.

Tabel 3. 1: Hasil SPT lapangan kedalamn vs SN.

Kedalaman (m)	BH-1	BH-2	BH-3	BH-4	BH-5	BH-6
	SN	SN	SN	SN	SN	SN
2.00-2.45	4	3	2	2	2	2
4.00-4.45	2	3	2	2	2	3
6.00-6.45	2	2	3	3	4	3
8.00-8.45	4	2	22	4	4	4
10.00-10.45	15	8	35	39	15	17
12.00-12.45	18	20	29	48	17	28
14.00-14.45	22	36	24	43	≥50	25
16.00-16.45	30	≥50	25	22	21	44

Tabel lanjutan 3.1: Hasil SPT lapangan kedalamn vs SN.

Kedalaman (m)	BH-1 SN	BH-2 SN	BH-3 SN	BH-4 SN	BH-5 SN	BH-6 SN
18.00-18.45	62	≥50	28	≥50	30	≥50
20.00-20.45	44	≥50	31	≥50	15	≥50
22.00-22.45	48	≥50	21	≥50	14	≥50
24.00-24.45	≥50	15	27	≥50	12	≥50
26.00-26.45	≥50	10	20	≥50	15	12
28.00-28.45	≥50	11	22	39	18	13
30.00-30.45	30	13	18	16	16	14
32.00-32.45	25	12	19	13	13	14
34.00-34.45	12	15	12	14	14	15
36.00-36.45	15	14	13	13	15	15
38.00-38.45	14	13	14	12	14	19
40.00-40.45	12	12	15	11	15	20
42.00-42.45			15		≥50	
44.00-44.45			32		≥50	
46.00-46.45			≥50		≥50	
48.00-48.45			≥50			
50.00-50.45			≥50			

3.3.1.1 Daya dukung tanah

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban gedung dari segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadi keruntuhan geser.

Daya dukung batas (*Ultimate Bearing Capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah, biasanya diberi simbol q_{ult} . Besarnya daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung dibagi dengan angka keamanan.

3.3.1.2 Tegangan kontak

Tegangan kontak yang bekerja di bawah pondasi akibat beban struktur di atasnya (*upper structure*) diberi nama tegangan kontak (*contact pressure*). Menghitung tegangan kontak memakai persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{Q}{A} \pm \frac{M_x \cdot x}{I_y} \pm \frac{M_y \cdot y}{I_x} \quad (3.7)$$

Dari persamaan (3.7) apabila yang bekerja adalah beban aksial saja dan tepat pada titik beratnya maka persamaan (3.7) menjadi persamaan (3.8), yaitu:

$$\sigma = \frac{Q}{A} \quad (3.8)$$

Dimana :

σ = tegangan kontak (kg/cm²).

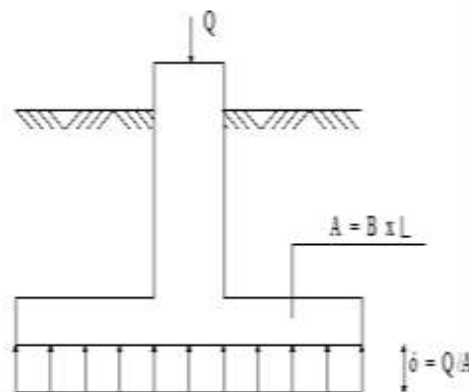
Q = beban aksial total (ton).

A = luas bidang pondasi (m²).

M_x, M_y = momen total sejajar respektif terhadap sumbu x dan sumbu y (tm).

X, y = jarak dari titik berat pondasi ke titik dimana tegangan Kontak di hitung sepanjang respektif sumbu x dan sumbu y (m).

I_x, I_y = momen inersia respektif terhadap sumbu x dan y (m⁴).



Gambar 3. 3: Tegangan kontak akibat beban aksial.

Pengertian tegangan kontak ini akan sangat berguna terutama didalam penentuan faktor keamanan (S.F/Safety Factor).

Secara umum faktor keamanan didefinisikan sebagai berikut:

$$S.f = \frac{\text{kapasitas}}{\text{beban}} = \frac{\text{kapasitas daya dukung}}{\text{tegangan kontak}} \quad (3.9)$$

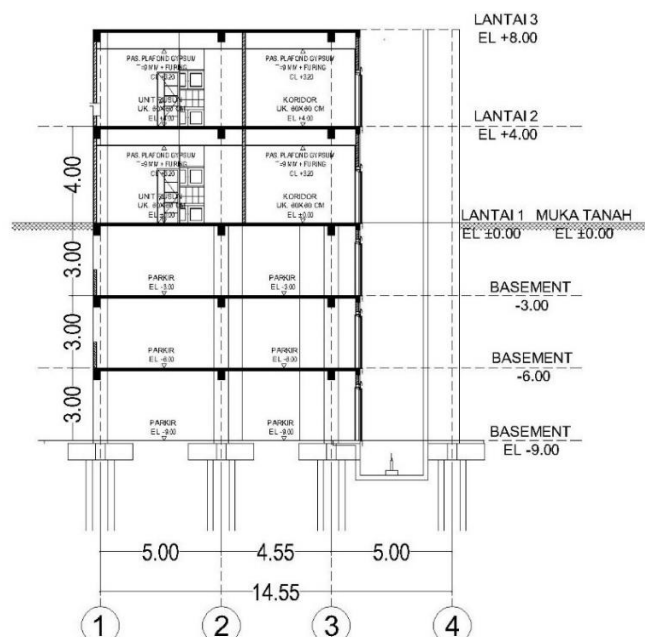
Hubungan antara keduanya dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan dimana:

1. S.F = 1, artinya tegangan kontak sama dengan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*).
2. S.F > 1, artinya tegangan kontak lebih besar dari mobilisasi kapasitas daya dukung. Lapis tanah dapat menerima beban.
3. S.F < 1, artinya tegangan kontak lebih besar dari mobilisasi kapasitas daya dukung. Lapis tanah tidak dapat menerima beban.

3.3.2 Basement

Basement merupakan struktur bawah tanah atau umum yang banyak digunakan pada pembangunan gedung-gedung bertingkat guna memenuhi kebutuhan tempat parkir dari sebuah bangunan gedung.

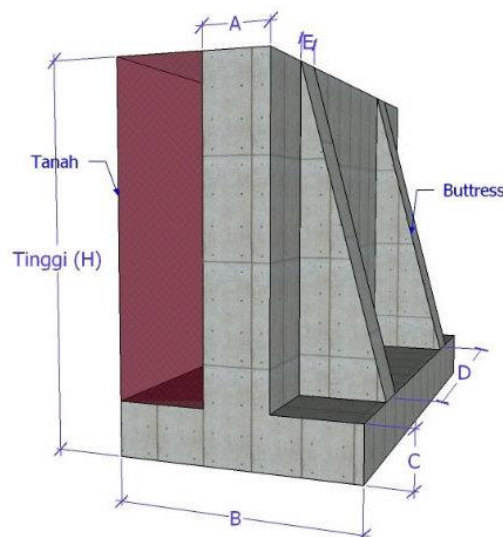
Sebagaimana Pernyataan Mistra (2012) bahwa konstruksi basement memerlukan keahlian khusus dalam proses pembuatan desain maupun dalam tahapan pelaksanaan pekerjaan konstruksinya.



Gambar 3. 4: Basement.

3.3.3 Dinding Penahan Tanah (*Retaining wall*)

Dinding penahan tanah (*retaining wall*) dapat dikatakan aman apabila dinding penahan tersebut telah diperhitungkan faktor keamanannya, baik terhadap bahaya pergeseran, penggulingan, penurunan daya dukung tanah, dan patahan. Pada dinding penahan, perhitungan stabilitas merupakan salah satu aspek yang tidak boleh diabaikan maupun dikesampingkan, karena stabilitas dinding penahan sangat mempengaruhi usia desain dinding penahan itu sendiri. Pembangunan dinding penahan tanah haruslah berdasarkan perhitungan kestabilan dan faktor keselamatan karena kesalahan yang terjadi dalam pembangunan dinding penahan tanah dapat berakibat fatal. Tujuan pembangunan dinding penahan tanah ini pada basement adalah untuk mengurangi tekanan tanah disekelilingnya (Kumbari dkk., 2020).



Gambar 3. 5: Dinding penahan tanah (*Retaining wall*).

3.3.4 Pondasi Dalam

Pondasi dalam biasanya digunakan untuk bangunan yang berdiri di lokasi permukaan tanah tertentu. Selain itu pondasi dalam juga dipasang dengan kedalaman lebih dari 3 meter ke dalam lapisan tanah. Penggunaan jenis pondasi bangunan ini juga diterapkan untuk bangunan yang memiliki ukuran lebar. Jenis-jenis pondasi dalam yaitu sebagai berikut:

a. Pondasi Tiang Pancang.

Pondasi tiang pancang merupakan salah satu jenis pondasi bangunan yang masuk dalam kategori pondasi dalam. Saat ini pondasi ini digunakan sebagai pondasi untuk pembangunan bangunan dalam skala kecil maupun besar. Pondasi tiang pancang dikenal sebagai pondasi yang memiliki daya tahan yang lama. Karena kerangka dari pondasi ini dapat menghindari karat hingga pelapukan yang terjadi di dalam tanah.

b. Pondasi Bore Pile.

Pondasi bore pile merupakan sebuah pondasi yang memiliki bentuk layaknya sebuah tabung panjang yang kemudian ditancapkan ke dalam tanah. Biasanya jenis pondasi bangunan ini difungsikan untuk menjaga kestabilan bangunan bertingkat maupun bangunan yang berlokasi di area sekitar lereng.

c. Pondasi Piers.

Pondasi piers ini digunakan untuk meneruskan beban berat dari struktur bangunan. Biasanya pondasi ini dipasang dengan cara menggali tanah dengan kedalaman yang sudah ditentukan, barulah kemudian pondasi ini ditancapkan ke dalam tanah yang sudah digali sebelumnya. Biasanya pondasi ini dibuat dari bahan beton precast, yang nantinya balok beton diafragma akan mengikuti ukuran dari tinggi pondasi yang sudah diperhitungkan.

d. Pondasi Sumuran.

Pondasi sumuran menggunakan dua kombinasi prinsip pembuatan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang pancang. Dinamakan pondasi sumuran karena pembangunan dilakukan dengan cara membuat beberapa sumur sesuai dengan tipe konstruksi bangunan. Untuk membuat pondasi sumuran semakin kokoh diisi dengan tiang beton sebagai penahan utamanya.

3.3.4.1 Pondasi Bore Pile atau Pondasi Rakit

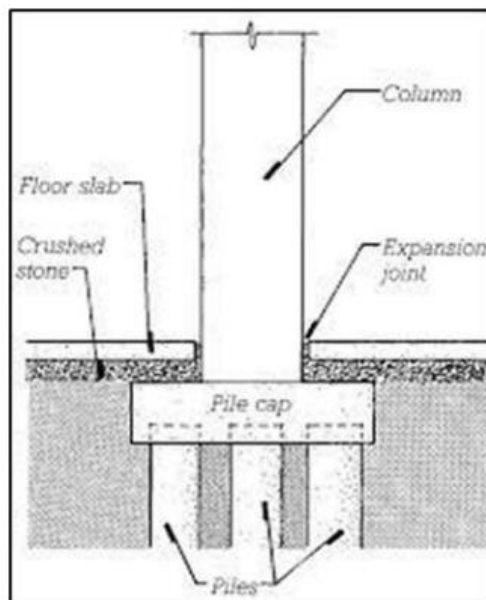
Pada sebuah bangunan terdapat struktur utama yang sangat penting yang bernama pondasi. Pondasi *bore pile* digunakan bila letak tanah keras terdapat pada posisi yang cukup dalam sehingga pemilihan pondasi langsung tidak ekonomis untuk digunakan. Pada kondisi tanah keras yang tidak terlalu dalam dapat

Dari perbedaan itu pemilihan pondasi pada perencanaan gedung menjadi sangat penting karena pemilihan alternatif jenis pondasi yang sesuai akan memperlancar proses pekerjaan gedung tersebut. Oleh karena itu diperlukan perencanaan dengan beberapa alternatif perencanaan pondasi, yaitu dengan menggunakan metode konvensional. Perhitungan struktur pondasi yang sesuai akan membuat perencanaan pondasi menjadi lebih efektif dari segi dimensi, kekuatan dan akan berpengaruh terhadap biaya nantinya (Intara dkk., 2022).

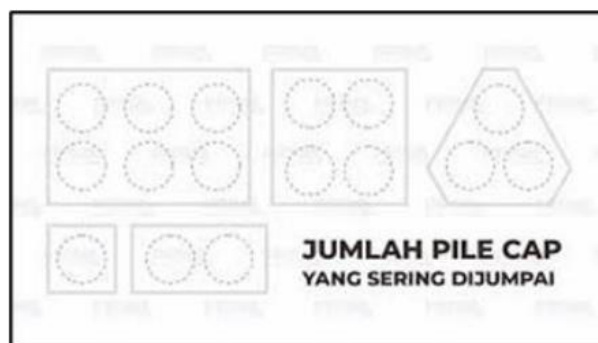


3.3.4.2 Pile Cap

Menurut Penelitian Hadi, dkk. (2023) *Pile cap* adalah salah satu dari bagian pekerjaan struktur yang ada pada suatu bangunan. *Pile cap* sendiri menjadi bagian terpenting yang harus dilalui ketika ingin membangun sebuah bangunan yang harusnya tidak bisa dilewati. *Pile cap* memiliki fungsi sebagai penopang beban dari kolom, yang akan didistribusikan lebih lanjut ke tiang pancang atau tiang bor. *Pile cap* juga memiliki peran penting dalam menentukan lokasi kolom pada titik pusat pondasi. Hal ini bertujuan agar sesuai dengan penempatannya. Bahkan pile cap memiliki fungsi lain seperti untuk menahan pergeseran dari beban.



Gambar 3. 7: Struktur bawah untuk pemasangan *pile cap*.



Gambar 3. 8: Bentuk-bentuk dari *pile cap*.

3.3.4.3 Daya Dukung Pondasi

Daya dukung izin tanah, dimana pondasi tersebut akan dibangun, akibat beban kerja harus diambil yang terkecil dari:

- a. kapasitas ultimit tanah dengan faktor keamanan yang cukup terhadap kemungkinan terjadinya keruntuhan atau,
- b. suatu nilai yang memberikan deformasi pondasi akibat beban yang bekerja masih dalam batas-batas yang diizinkan oleh bangunan tersebut, atau bangunan di sekitarnya.

Untuk struktur yang didukung oleh lebih dari satu pondasi, metode penentuan daya dukung yang digunakan harus sama. Untuk tanah yang tidak mengalami degradasi kekuatan pada saat pembebanan seismik, parameter kekuatan untuk kondisi pembebanan statik harus digunakan dalam menghitung daya dukung pondasi. Untuk tanah kohesif yang sensitif atau tanah nonkohesif yang jenuh air, potensi degradasi kekuatan tanah akibat seismik harus diperhitungkan. Daya dukung pondasi harus ditentukan menggunakan prosedur yang terdapat dalam SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik yang berlaku, dan harus berdasarkan nilai rerata yang representatif.

Pengaruh kelompok tiang dari tanah pada tahanan lateral tiang harus diperhitungkan bila jarak antar pusat-ke-pusat tiang dalam arah gaya lateral kurang dari delapan diameter atau lebar tiang. Pengaruh kelompok tiang terhadap daya dukung vertikal harus disertakan bila jarak antar pusat-ke-pusat tiang kurang dari tiga kali diameter atau lebar tiang (SNI 1726:2019).

3.3.4.4 Deformasi Lateral Pondasi

Pondasi tiang harus didesain untuk memikul beban-beban vertikal berdasarkan kombinasi beban, dan dikombinasikan dengan momen dan gaya geser akibat deformasi lateral elemen pondasi tiang sebagai respons dari beban-beban inersia lateral. Daya dukung aksial pondasi tiang dan tahanan lateral tanah harus direduksi untuk memasukkan pengaruh likuifaksi. Pondasi tiang harus memenuhi persyaratan desain dan pendetailan dalam 0 hingga 0. Evaluasi perpindahan lateral Pondasi tiang akibat gempa ataupun likuifaksi perlu dilakukan untuk memenuhi persyaratan kinerja bangunan yang diharapkan.

Jika laporan investigasi geoteknik mengindikasikan bahwa pergerakan tanah permanen akibat serakan lateral akan terjadi pada saat gerakan tanah MCEG, desain Pondasi tiang harus berdasarkan analisis detail yang memasukkan deformasi lateral yang diperkirakan dan perilaku nonlinier Pondasi tiang. Jika perilaku nonlinier Pondasi tiang terjadi akibat dari pergerakan tanah permanen dari serakan lateral, deformasi tiang tidak boleh mengakibatkan hilangnya kemampuan Pondasi tiang untuk menahan beban-beban gravitasi, atau kekuatan lateral tiang yang rusak tidak boleh kurang dari 67 % kekuatan nominal tanpa kerusakan (SNI 1726:2019).

3.3.5 Kapasitas Geoteknik Pondasi

Kombinasi beban dalam yang menyertakan beban gempa, E , diizinkan untuk menyertakan reduksi penggulingan pondasi. Daya dukung izin pondasi harus ditentukan berdasarkan tegangan izin material geoteknik yang ditentukan dalam investigasi geoteknik (SNI 1726:2019).

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Bab 4 ini akan membahas tentang hasil analisis oleh program analisis struktur bawah serta akan di periksa berdasarkan peraturan yang telah ditentukan oleh SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 2847:2019 dan SNI 8460:2017. Pada bab ini akan membandingkan hasil dari analisis struktur dan dimensi struktur bawah beton bertulang.

4.2 Kombinasi gaya Struktur Basement

Pengaruh adanya satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan seismic harus ditinjau, tetapi kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan. Lihat 0 untuk definisi khusus mengenai pengaruh beban gempa E .

Tabel 4. 1: Tabel Kombinasi Struktur Bawah *Basement*.

Nomor		DL	SIDL	LL	Lr	R	Wx	Wy	Ex	Ey
1.	1.1	1.4	1.4							
2.	2.1	1.2	1.2	1.6	0.5					
	2.2	1.2	1.2	1.6		0.5				
3.	3.1	1.2	1.2	1	1.6					
	3.2	1.2	1.2		1.6		0.5			
	3.3	1.2	1.2		1.6			0.5		
	3.4	1.2	1.2		1.6		0.375	0.375		
	3.5	1.2	1.2	1		1.6				
	3.6	1.2	1.2			1.6	0.5			
	3.7	1.2	1.2			1.6		0.5		
	3.8	1.2	1.2			1.6	0.375	0.375		
4.	4.1	1.2	1.2	1	0.5		1			
	4.2	1.2	1.2	1	0.5			1		

Tabel lanjutan 4.1: Tabel Kombinasi Struktur Bawah *Basement*.

Nomor		DL	SIDL	LL	Lr	R	Wx	Wy	Ex	Ey
4.	4.3	1.2	1.2	1	0.5		0.75	0.75		
	4.4	1.2	1.2	1		0.5	1			
	4.5	1.2	1.2	1		0.5		1		
	4.6	1.2	1.2	1		0.5	0.75	0.75		
5.	5.1	0.9	0.9				1			
	5.2	0.9	0.9					1		
	5.3	0.9	0.9				0.75	0.75		
6.	6.1	1.3269	1.3269	1					1.3	0.39
	6.2	1.3269	1.3269	1					1.3	-0.39
	6.3	1.3269	1.3269	1					-1.3	0.39
	6.4	1.3269	1.3269	1					-1.3	-0.39
	6.5	1.3269	1.3269	1					0.39	1.3
	6.6	1.3269	1.3269	1					-0.39	1.3
	6.7	1.3269	1.3269	1					0.39	-1.3
	6.8	1.3269	1.3269	1					-0.39	-1.3
7.	7.1	0.7731	0.7731						1.3	0.39
	7.2	0.7731	0.7731						1.3	-0.39
	7.3	0.7731	0.7731						-1.3	0.39
	7.4	0.7731	0.7731						-1.3	-0.39
	7.5	0.7731	0.7731						0.39	1.3
	7.6	0.7731	0.7731						-0.39	1.3
	7.7	0.7731	0.7731						0.39	-1.3
	7.8	0.7731	0.7731						-0.39	-1.3

4.3 Kombinasi gaya Struktur Pondasi

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen pondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai di bawah.

Tabel 4. 2: Tabel Kombinasi Struktur Bawah Pondasi.

Nomor		DL	SIDL	LL	Lr	R	Wx	Wy	Ex	Ey
1.	1.1	1	1							
2.	2.1	1	1	1						
3.	3.1	1	1		1					
	3.2	1	1			1				
4.	4.1	1	1	0.75	0.75					
	4.2	1	1	0.75		0.75				
5.	5.1	1	1				0.6			
	5.2	1	1					0.6		
	5.3	1	1				0.45	0.45		
6.	6.1	1	1	0.75	0.75		0.45			
	6.2	1	1	0.75	0.75			0.45		
	6.3	1	1	0.75	0.75		0.3375	0.3375		
	6.4	1	1	0.75		0.75	0.45			
	6.5	1	1	0.75		0.75		0.45		
	6.6	1	1	0.75		0.75	0.3375	0.3375		
7.	7.1	0.6	0.6				0.6			
	7.2	0.6	0.6					0.6		
	7.3	0.6	0.6				0.45	0.45		
8.	8.1	1.089	1.089						0.2730	0.9100
	8.2	1.089	1.089						0.2730	-0.9100
	8.3	1.089	1.089						-0.2730	0.9100
	8.4	1.089	1.089						-0.2730	-0.9100
	8.5	1.089	1.089						0.9100	0.2730
	8.6	1.089	1.089						-0.9100	0.2730
	8.7	1.089	1.089						0.9100	-0.2730
	8.8	1.089	1.089						-0.9100	-0.2730
9.	9.1	1.067	1.067	0.75					0.2048	0.6825
	9.2	1.067	1.067	0.75					0.2048	-0.6825
	9.3	1.067	1.067	0.75					-0.2048	0.6825
	9.4	1.067	1.067	0.75					-0.2048	-0.6825

Tabel lanjutan 4.2: Tabel Kombinasi Struktur Bawah Pondasi.

Nomor		DL	SIDL	LL	Lr	R	Wx	Wy	Ex	Ey
9.	9.5	1.067	1.067	0.75					0.6825	0.2048
	9.6	1.067	1.067	0.75					-0.6825	0.2048
	9.7	1.067	1.067	0.75					0.6825	-0.2048
	9.8	1.067	1.067	0.75					-0.6825	-0.2048
10.	10.1	0.511	0.511						0.2730	0.9100
	10.2	0.511	0.511						0.2730	-0.9100
	10.3	0.511	0.511						-0.2730	0.9100
	10.4	0.511	0.511						-0.2730	-0.9100
	10.5	0.511	0.511						0.9100	0.2730
	10.6	0.511	0.511						-0.9100	0.2730
	10.7	0.511	0.511						0.9100	-0.2730
	10.8	0.511	0.511						-0.9100	-0.2730
11.	11.1	1.089	1.089						0.5250	1.7500
	11.2	1.089	1.089						0.5250	-1.7500
	11.3	1.089	1.089						-0.5250	1.7500
	11.4	1.089	1.089						-0.5250	-1.7500
	11.5	1.089	1.089						1.7500	0.5250
	11.6	1.089	1.089						-1.7500	0.5250
	11.7	1.089	1.089						1.7500	-0.5250
	11.8	1.089	1.089						-1.7500	-0.5250
12.	12.1	1.067	1.067	0.75					0.3938	1.3125
	12.2	1.067	1.067	0.75					0.3938	-1.3125
	12.3	1.067	1.067	0.75					-0.3938	1.3125
	12.4	1.067	1.067	0.75					-0.3938	-1.3125
	12.5	1.067	1.067	0.75					1.3125	0.3938
	12.6	1.067	1.067	0.75					-1.3125	0.3938
	12.7	1.067	1.067	0.75					1.3125	-0.3938
	12.8	1.067	1.067	0.75					-1.3125	-0.3938
13.	13.1	0.511	0.511						0.5250	1.7500
	13.2	0.511	0.511						0.5250	-1.7500

Tabel lanjutan 4.2: Tabel Kombinasi Struktur Bawah Pondasi.

Nomor	DL	SIDL	LL	Lr	R	Wx	Wy	Ex	Ey
13.	13.3	0.511	0.511					-0.5250	1.7500
	13.4	0.511	0.511					-0.5250	-1.7500
	13.5	0.511	0.511					1.7500	0.5250
	13.6	0.511	0.511					-1.7500	0.5250
	13.7	0.511	0.511					1.7500	-0.5250
	13.8	0.511	0.511					-1.7500	-0.5250

4.4 Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat (Δ) merupakan selisih nilai defleksi pada pusat massa gedung antara lantai teratas dan lantai dibawahnya. Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6 simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_{ijin}). Untuk detail perhitungan *story drift* dapat dilihat pada tabel dibawah. Berikut ini Tabel 4.8 menunjukkan hasil nilai perpindahan dan simpangan antar tingkat maksimum pada setiap lantai dengan tinggi tiap lantai adalah 3 meter, 4 meter, 4,3 meter, dan 5 meter.

Tabel 4. 3: Perbandingan *story drift* pada struktur gedung menggunakan Sistem ganda dan SRPMK.

Story	Elevasi	Ssitem Ganda		SRPMK	
		Δ_x	Δ_y	Δ_x	Δ_y
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Lt. 3	9	24.690	30.657	23.584	26.664
Lt. 2	6	16.055	19.151	16.896	18.827
Lt. 1	3	5.319	6.078	6.006	6.622

4.5 Perencanaan Dimensi Penampang Elemen Struktur Bawah

Untuk mempermudah pelaksanaan dan biaya bekisting, sedapat mungkin ukuran kolom disamakan atau variasinya dibuat minimal dengan mutu beton dan jumlah tulangan yang diturunkan pada lantai yang lebih tinggi. Berikut Perencanaan struktur bawah:

1. Perencanaan Spun Pile

a. Spesifikasi Spun Pile

Panjang : 12 m
Mutu beton tiang : 33 MPa
Berat beton bertulang : 24 KN/m³
Diameter spun pile : 600 mm
Jumlah Spun Pile : 110 buah.

b. Data Tanah dan Daya Dukung Tanah

No	Titik	Kedalaman (m)	Qc (kg/cm ²)	Tf (kg/cm)	D Pancang (cm)	Daya dukung (ton)
1.	S1	19.00	212	942	60	235.20
2.	S2	16.40	226	712	60	239.72
3.	S3	16.40	221	682	60	233.88
4.	S4	15.40	224	672	60	236.33
5.	S5	14.80	223	556	60	231.02
6.	S6	15.40	227	628	60	237.50
					Nilai Terkecil	231.02

2. Perencanaan Pile Cap

a. Pile Cap Sistem Ganda

Data perencanaan untuk pile Cap tipe:

- Dimensi Pile Cap : 4.8 m x 2.4 m x 1.3 m
- Jumlah tiang pancang : 2 buah
- Mutu beton (f_c') : 35 MPa
- Mutu baja tulangan (f_y) : 390 MPa

- Dimater tulangan utama : 25 mm
- Diameter kolom : 100 x 100 cm
- Selimut beton (p) : 50 mm
- Beban aksial kolom : 12074.851 KN
- Ø : 0.8
- h : 1300 mm

$$\begin{aligned}
 dx &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \cdot \varnothing_{\text{tul lentur}} \\
 &= 1300 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - \frac{1}{2} 25 \text{ mm} \\
 &= 1237.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= h - \text{decking} - \varnothing_{\text{tul lentur}} - \frac{1}{2} \cdot \varnothing_{\text{tul lentur}} \\
 &= 1300 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - 25 - \frac{1}{2} 25 \text{ mm} \\
 &= 1262.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Pembebanan yang terjadi pada *pile cap* adalah:

$$\begin{aligned}
 q_u &= \text{berat } \textit{pile cap} \\
 &= 4.8 \text{ m} \cdot 2.4 \text{ m} \cdot 1.3 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 35942.4 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Momen yang terjadi pada *pile cap* adalah:

$$M_u = 190.124 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0037$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0.85 \beta_1 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0.85 \cdot 0.85 \cdot 35}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) \\
 &= 0.043
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{maks}} &= 0.75 \cdot \rho_b \\
 &= 0.75 \cdot 0.043 \\
 &= 0.032
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c} \\
 &= \frac{390}{0.85 \cdot 35} \\
 &= 13.110
 \end{aligned}$$

- Penulangan *pile cap* arah X

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{190.124}{0.8} = 237.655 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{237.655}{1800 \text{ mm} \cdot (1237.5 \text{ mm})^2} = 0.00000008 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{13.110} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13.110 \cdot 0.00000008}{390}} \right] \\ &= 0.01231 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$$

$$0.0037 < 0.01231 < 0.032 \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$\text{maka, } \rho_{\text{perlu}} = 0.032$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0.032 \cdot 2400 \text{ mm} \cdot 1237.5 \text{ mm} \\ &= 95.040 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$S_{\text{maks}} \leq 2 h$$

$$S_{\text{maks}} \leq 2 \cdot 1.300 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \leq 2.600 \text{ mm}$$

- Penulangan *pile cap* arah Y

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{1061}{0.8} = 1326.25 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{1326.25}{1800 \text{ mm} \cdot (1237.5 \text{ mm})^2} = 0.00000048 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{13.110} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13.110 \cdot 0.00000048}{390}} \right] \\ &= 0.01231 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$$

$$0.0037 < 0.01231 < 0.032 \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$\text{maka, } \rho_{\text{perlu}} = 0.032$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{perlu}} &= p_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\
 &= 0.032 \cdot 2400 \text{ mm} \cdot 1237.5 \text{ mm} \\
 &= 95.040 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$S_{\text{maks}} \leq 2 h$$

$$S_{\text{maks}} \leq 2 \cdot 1.300 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \leq 2.600 \text{ mm}$$

b. *Pile Cap* SRPMK

Data perencanaan untuk pile Cap tipe:

- Dimensi Pile Cap : 4.8 m x 2.4 m x 1.3 m
- Jumlah tiang pancang : 2 buah
- Mutu beton (f_c') : 35 MPa
- Mutu baja tulangan (f_y) : 390 MPa
- Dimater tulangan utama : 25 mm
- Diameter kolom : 100 x 100 cm
- Selimut beton (p) : 50 mm
- Beban aksial kolom : 2675.986 KN
- $\emptyset$: 0.8
- h : 1300 mm

$$\begin{aligned}
 dx &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \cdot \emptyset_{\text{tul lentur}} \\
 &= 1300 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - \frac{1}{2} 25 \text{ mm} \\
 &= 1237.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{tul lentur}} - \frac{1}{2} \cdot \emptyset_{\text{tul lentur}} \\
 &= 1300 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - 25 - \frac{1}{2} 25 \text{ mm} \\
 &= 1262.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Pembebanan yang terjadi pada *pile cap* adalah:

$$\begin{aligned}
 q_u &= \text{berat } \textit{pile cap} \\
 &= 4.8 \text{ m} \cdot 2.4 \text{ m} \cdot 1.3 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 35942.4 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Momen yang terjadi pada *pile cap* adalah:

$$M_u = 190.124 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0037$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= \frac{0.85 \beta_1 f_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0.85 \cdot 0.85 \cdot 35}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) \\ &= 0.043\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{maks}} &= 0.75 \cdot \rho_b \\ &= 0.75 \cdot 0.043 \\ &= 0.032\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c} \\ &= \frac{390}{0.85 \cdot 35} \\ &= 13.110\end{aligned}$$

- Penulangan *pile cap* arah X

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{190.124}{0.8} = 237.655 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{237.655}{1800 \text{ mm} \cdot (1237.5 \text{ mm})^2} = 0.00000008 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{13.110} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13.110 \cdot 0.00000008}{390}} \right] \\ &= 0.01231\end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$$

$$0.0037 < 0.01231 < 0.032 \text{ (tidak memenuhi)}$$

maka, $\rho_{\text{perlu}} = 0.032$

$$\begin{aligned}A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0.032 \cdot 2400 \text{ mm} \cdot 1237.5 \text{ mm} \\ &= 95.040 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$S_{\text{maks}} \leq 2 \text{ h}$$

$$S_{\text{maks}} \leq 2 \cdot 1.300 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \leq 2.600 \text{ mm}$$

- Penulangan *pile cap* arah Y

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{1061}{0.8} = 1326.25 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{1326.25}{1800 \text{ mm} \cdot (1237.5 \text{ mm})^2} = 0.00000048 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{13.110} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13.110 \cdot 0.00000048}{390}} \right] \\ &= 0.01231 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}}$$

$$0.0037 < 0.01231 < 0.032 \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$\text{maka, } \rho_{\text{perlu}} = 0.032$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0.032 \cdot 2400 \text{ mm} \cdot 1237.5 \text{ mm} \\ &= 95.040 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan :

$$S_{\text{maks}} \leq 2 h$$

$$S_{\text{maks}} \leq 2 \cdot 1.300 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \leq 2.600 \text{ mm}$$

3. Perencanaan dimensi Tie Beam

a. Data Perencanaan *Tie Beam* Sistem Ganda

1. Data Perencanaan:

$$\text{Panjang Tie Beam (L)} = 2600 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar Tie Beam (b)} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Tie Beam (h)} = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut beton (ts)} = 50 \text{ mm}$$

$$F_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$F_y = 390 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif d adalah: } d &= h - ts - 13 - \frac{1}{2} \cdot 22 \\ &= 400 - 50 - 13 - 11 = 326 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pu kolom} &= 3985.369 \text{ KN} \\ \text{Dimensi tie beam} &= 250 \times 400 = 100.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Tulangan Pokok *tie beam*

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \frac{0.1 \times SDS \times PU}{\phi \times f_y} = \frac{0.1 \times 0.63 \times 3985.369 \times 10^3}{0.16 \times 390} = 4023.69 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{min}}} = \frac{\sqrt{f_c} \times b \times d}{4 \times f_y} = \frac{\sqrt{35} \times 250 \times 326}{4 \times 390} = 309.08 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{min}}} = \frac{1.4 \times b \times d}{f_y} = \frac{1.4 \times 250 \times 326}{390} = 292.57 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{maks}}} &= 0.75 \times \frac{\beta \times b \times d \times f_{c'}}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0.75 \times \frac{0.85 \times 250 \times 326 \times 35}{390} \times \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 2825.91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} > A_{S_{\text{min}}} \rightarrow 650 \text{ mm}^2 > 292.57 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan tarik} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{\text{tulangan}}}} = \frac{650}{0.25 \times \pi \times 22^2} = 1.709$$

$$0.1 \times SDS \times PU < \phi \times AS \times f_y$$

$$245.737 \times 10^3 \text{ N} < 0.9 \times (4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2) \times 390$$

$$245.737 \times 10^3 \text{ N} < 169884 \times 10^3 \text{ N (AMAN)}$$

3. Perhitungan Tulanga Sengkag *tie beam*

Tie beam tidak direncanakan terhadap geser, sehingga tulangan geser yang diperlukan adalah tulangan geser minimum yang besarnya adalah nilai terkecil dari:

$$1. S < (3 \times A_v \times f_y) / b$$

$$2. S < 0.5 \times d$$

$$3. S < 0.25 \times d$$

$$4. S < 600 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times 0.25 \times 3.14 \times 13^2 \\ &= 265.33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan spasi :

$$1. S < (3 \times 265.33 \times 390) / 250 = 1241.74 \text{ mm}$$

$$2. S < 0.5 \times 326 = 163 \text{ mm}$$

$$3. S < 0.25 \times 326 = 81.5 \text{ mm}$$

4. $S < 600 \text{ mm}$

Sehingga tie beam digunakan tulangan pokok untuk daerah tumpuan adalah 2P16-150 mm, untuk daerah lapangan 2P16-200 mm.

b. Data Perencanaan Tie Beam SRPMK

1. Data Perencanaan

Panjang Tie Beam (L) = 2600 mm

Lebar Tie Beam (b) = 250 mm

Tinggi Tie Beam (h) = 400 mm

Tebal selimut beton (ts) = 50 mm

F_c' = 35 MPa

F_y = 390 MPa

Tinggi efektif d adalah: $d = h - ts - 13 - \frac{1}{2} \cdot 22$
 $= 400 - 50 - 13 - 11 = 326 \text{ mm}$

Pu kolom = 3985.369 KN

Dimensi tie beam = $250 \times 400 = 100.000 \text{ mm}^2$

2. Perhitungan Tulangan Pokok *tie beam*

$$A_{S\text{perlu}} = \frac{0.1 \times SDS \times PU}{\phi \times f_y} = \frac{0.1 \times 0.63 \times 3985.369 \times 10^3}{0.16 \times 390} = 4023.69 \text{ mm}^2$$

$$A_{S\text{min}} = \frac{\sqrt{f_c'} \times b \times d}{4 \times f_y} = \frac{\sqrt{35} \times 250 \times 326}{4 \times 390} = 309.08 \text{ mm}^2$$

$$A_{S\text{min}} = \frac{1.4 \times b \times d}{f_y} = \frac{1.4 \times 250 \times 326}{390} = 292.57 \text{ mm}^2$$

$$A_{S\text{maks}} = 0.75 \times \frac{\beta \times b \times d \times f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0.75 \times \frac{0.85 \times 250 \times 326 \times 35}{390} \times \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 2825.91 \text{ mm}^2$$

$$A_{S\text{perlu}} > A_{S\text{min}} \rightarrow 650 \text{ mm}^2 > 292.57 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan tarik} = \frac{A_{S\text{perlu}}}{A_{S\text{tulangan}}} = \frac{650}{0.25 \times \pi \times 22^2} = 1.709$$

$$0.2 \times SDS \times PU < \phi \times AS \times f_y$$

$$245.737 \times 10^3 \text{ N} < 0.9 \times (4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2) \times 390$$

$$245.737 \times 10^3 \text{ N} < 169884 \times 10^3 \text{ N (AMAN)}$$

3. Perhitungan Tulangan Sengkang *tie beam*

Tie beam tidak direncanakan terhadap geser, sehingga tulangan geser yang diperlukan adalah tulangan geser minimum yang besarnya adalah nilai terkecil dari:

5. $S < (3 \times A_v \times f_y)/b$

6. $S < 0.5 \times d$

7. $S < 0.25 \times d$

8. $S < 600 \text{ mm}$

$$A_v = 2 \times 0.25 \times 3.14 \times 13^2 \\ = 265.33 \text{ mm}^2$$

Perhitungan spasi :

5. $S < (3 \times 265.33 \times 390)/250 = 1241.74 \text{ mm}$

6. $S < 0.5 \times 326 = 163 \text{ mm}$

7. $S < 0.25 \times 326 = 81.5 \text{ mm}$

8. $S < 600 \text{ mm}$

Sehingga *tie beam* digunakan tulangan pokok untuk daerah tumpuan adalah 2P16-150 mm, untuk daerah lapangan 2P16-200 mm.

4. Perencanaan dimensi Kolom Basement

Berikut ini akan dibahas perhitungan penulangan kolom, sebagai contoh perhitungan diambil kolom struktur As C-4 pada lantai 1. Perhitungan berikut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, output dan diagram gaya dalam dari analisis ETABS, ketentuan perhitungan dan syarat-syarat penulangan kolom dalam metode Sistem Ganda, sampai dengan hasil akhir gambar penampang kolom adalah sebagai berikut :

4.1. Perhitungan Kolom Sistem Ganda

1. Kolom Lantai 1 sampai Lantai 3 K1 1000 x 1000 mm

Tinggi Kolom = 3000 mm

Mutu beton (f_c') = 35 Mpa

Panjang sisi kolom (h) = 1000 mm

Tebal selimut beton (p) = 50 mm

Mutu tulangan (F_y) = 390 Mpa

Modulus elastisitas beton (E_c) = $4700 \sqrt{f'c}$

Modulus elastisitas baja (E_s) = 200000 MPa

Diameter tulangan longitudinal = S22 = 22 mm

Diameter tulangan sengkang = S10 = 10 mm

Kolom (*frame*) → gaya dalam (Output ETABS)

P_u = 24197.71 KN

$M_u x$ = 3402.94 KNm

$M_u y$ = 747.96 KNm

Menghitung luas penampang kolom

$$A_g = 1000^2 = 1000.000 \text{ mm}^2$$

Modulus elastisitas beton

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} \rightarrow 4700 \sqrt{35} = 27805.57 \text{ Mpa}$$

Modulus elastisitas tulangan

$$E_s = 200000$$

$$\beta_d \text{ kolom} = \frac{1.4D}{(1.2D+1.6L)} = \frac{31.536}{28.656} = 1.101$$

$$\beta_d \text{ balok} = \frac{1.4D}{(1.2D+1.6L)} = \frac{19.201}{17.928} = 1.071$$

Momen Inersia Kolom

$$I_g \text{ kolom} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1000^4 = 8.33 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

Momen Inersia Balok

$$I_g \text{ kolom} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 450 \cdot 850^3 = 2.31 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

Modulus Elastisitas Kolom

$$EI = \frac{0.4 \cdot E_c \cdot I_g \text{ kolom}}{1 + \beta_d} = \frac{0.4 \cdot 27805.57 \cdot 8.33 \cdot 10^{10}}{1 + 1.101} = 4.410 \times 10^{14} \text{ N.}$$

Modulus Elastisitas Balok

$$EI = \frac{0.2 \cdot E_c \cdot I_g \text{ balok}}{1 + \beta_d} = \frac{0.2 \cdot 27805.57 \cdot 2.31 \cdot 10^{10}}{1 + 1.071} = 4.21 \times 10^{13}$$

Kekakuan ujung bawah kolom

$$\text{a. Ujung bawah} = \frac{\sum \left(\frac{EI \text{ kolom}}{lu} \right)}{\sum \left(\frac{EI \text{ balok}}{lc} \right)} = \frac{\left(\frac{4.410 \times 10^{14}}{3000} \right)}{\left(\frac{4.21 \times 10^{13}}{1000} \right)} = 3.492$$

Kekakuan ujung bawah kolom

$$b. \text{ Ujung atas} = \frac{\sum \left(\frac{EI_{kolom}}{lu} \right)}{\sum \left(\frac{EI_{balok}}{lc} \right)} = \frac{\left(\frac{4.410 \times 10^{14}}{3000} \right)}{\left(\frac{4.21 \times 10^{13}}{1000} \right)} = 3.492$$

c. Gaya Dalam

Tabel 4. 4: Gaya Dalam Kolom.

Ti	Pu	Mux	Muy	fMnx	fMny	Phi	fMn/M u
	kN	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m		
1	-2074.85	221.41	93.08	1216.6 7	326.5	0.9	23.063
2	24197.7 1	-81.45	-21.62	-3929.4	-1042.9	0.65	48.242
3	5439.67	3402.94	720.2	3289.2 7	696.14	0.87	2.18
4	18291.2 3	1619.91	-620.61	-4775.6	-1829.6	0.78 6	2.948
5	8777.18	385.02	747.96	1313.1 5	2551	0.65	7.342
6	18428.6 2	-374.87	-747.31	-2249.5	-4484.4	0.78 1	6.001

d. Gaya Aksial

Tabel 4. 5: Gaya Aksial Kolom.

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	12074.851	221.408	93.077
P min	-24197.710	-81.452	-21.618
M2 Max	5439.673	3402.938	720.202
M2 Min	-18291.235	-1619.914	-620.607
M3 Max	8777.182	385.019	747.959
M3 Min	-18428.623	-374.866	-747.307

2. Kolom Lantai 1 sampai Lantai 3 K3 600 x 600 mm

Tinggi Kolom = 3000 mm

Mutu beton (f_c') = 35 Mpa

Panjang sisi kolom (h) = 600 mm

Tebal selimut beton (p) = 50 mm

Mutu tulangan (F_y) = 390 Mpa

Modulus elastisitas beton (E_c) = $4700 \sqrt{f_c'}$

Modulus elastisitas baja (E_s) = 200000 MPa

Diameter tulangan longitudinal = S22 = 22 mm

Diameter tulangan sengkang = S10 = 10 mm

Kolom (*frame*) → gaya dalam (Output ETABS)

P_u = 3659.67 KN

$M_u x$ = 497.37 KNm

$M_u y$ = 382.85 KNm

Menghitung luas penampang kolom

$$A_g = 600^2 = 360.000 \text{ mm}^2$$

Modulus elastisitas beton

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \rightarrow 4700 \sqrt{35} = 27805.57 \text{ Mpa}$$

Modulus elastisitas tulangan

$$E_s = 200000$$

$$\beta_d \text{ kolom} = \frac{1.4D}{(1.2D+1.6L)} = \frac{31.536}{28.656} = 1.101$$

$$\beta_d \text{ balok} = \frac{1.4D}{(1.2D+1.6L)} = \frac{19.201}{17.928} = 1.071$$

Momen Inersia Kolom

$$I_g \text{ kolom} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 600^4 = 1.08 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

Momen Inersia Balok

$$I_g \text{ balok} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 450 \cdot 850^3 = 2.31 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

Modulus Elastisitas Kolom

$$EI = \frac{0.4 \cdot E_c \cdot I_g \text{ kolom}}{1 + \beta_d} = \frac{0.4 \cdot 27805.57 \cdot 1.08 \cdot 10^{10}}{1 + 1.101} = 5.72 \times 10^{15} \text{ N.}$$

Modulus Elastisitas Balok

$$EI = \frac{0.2 \cdot Ec \cdot I_g \text{ balok}}{1 + \beta d} = \frac{0.2 \cdot 27805.57 \cdot 2.31 \cdot 10^{10}}{1 + 1.071} = 4.21 \times 10^{13}$$

Kekakuan ujung bawah kolom

$$a. \text{ Ujung bawah} = \frac{\sum \left(\frac{EI \text{ kolom}}{lu} \right)}{\sum \left(\frac{EI \text{ balok}}{lc} \right)} = \frac{\left(\frac{5.72 \times 10^{15}}{3000} \right)}{\left(\frac{4.21 \times 10^{13}}{600} \right)} = 27.18$$

Kekakuan ujung bawah kolom

$$b. \text{ Ujung atas} = \frac{\sum \left(\frac{EI \text{ kolom}}{lu} \right)}{\sum \left(\frac{EI \text{ balok}}{lc} \right)} = \frac{\left(\frac{5.72 \times 5}{3000} \right)}{\left(\frac{4.21 \times 10^{13}}{600} \right)} = 27.18$$

c. Gaya Dalam Balok

Tabel 4. 6: Gaya Dalam Balok.

No	Pu	Mux	Muy	fMnx	fMny	Phi	fMn/Mu
	kN	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m		
1	-859.07	20.31	36.15	110.8	197.18	0.9	23.063
2	3659.67	-383.84	-89.39	-626.1	-145.8	0.65	48.242
3	445.91	497.37	113.61	501.05	114.45	0.9	2.18
4	1196.83	-555.58	-20.83	-661.4	-24.79	0.9	2.948
5	870.85	167.44	382.85	239.73	1221.2	0.9	7.342
6	2154.71	-0.53	-383.1	-1.12	-813.55	0.9	6.001

d. Gaya Aksial Balok

Tabel 4. 7: Gaya Aksial Balok.

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	859.0725	20.3132	36.1515
P min	-3659.6733	-383.8425	-89.3851
M2 Max	-445.9092	497.3694	113.607
M2 Min	-1196.8272	-555.5756	20.8257
M3 Max	-870.8486	167.4422	382.852
M3 Min	-2154.7069	-0.5259	-383.0842

4.2. Perhitungan Kolom SRPMK

1. Kolom Lantai 1 sampai Lantai 3 K1 1000 x 1000 mm

$$\text{Tinggi Kolom} = 3000 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu beton (fc')} = 35 \text{ Mpa}$$

$$\text{Panjang sisi kolom (h)} = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut beton (p)} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu tulangan (Fy)} = 390 \text{ Mpa}$$

$$\text{Modulus elastisitas beton (Ec)} = 4700 \sqrt{f'c'}$$

$$\text{Modulus elastisitas baja (Es)} = 200000 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter tulangan longitudinal} = S22 = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan sengkang} = S10 = 10 \text{ mm}$$

Kolom (*frame*) → gaya dalam (Output ETABS)

$$P_u = 9263.99 \text{ KN}$$

$$M_u x = 7267.18 \text{ KNm}$$

$$M_u y = 1643.6 \text{ KNm}$$

Menghitung luas penampang kolom

$$A_g = 1000^2 = 1000.000 \text{ mm}^2$$

Modulus elastisitas beton

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c'} \rightarrow 4700 \sqrt{35} = 27805.57 \text{ Mpa}$$

Modulus elastisitas tulangan

$$E_s = 200000$$

$$\beta_d \text{ kolom} = \frac{1.4D}{(1.2D+1.6L)} = \frac{31.536}{28.656} = 1.101$$

$$\beta_d \text{ balok} = \frac{1.4D}{(1.2D+1.6L)} = \frac{19.201}{17.928} = 1.071$$

Momen Inersia Kolom

$$I_g \text{ kolom} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 1000^4 = 8.33 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

Momen Inersia Balok

$$I_g \text{ balok} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 450 \cdot 850^3 = 2.31 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

Modulus Elastisitas Kolom

$$EI = \frac{0.4 \cdot E_c \cdot I_g \text{ kolom}}{1 + \beta_d} = \frac{0.4 \cdot 27805.57 \cdot 8.33 \cdot 10^{10}}{1 + 1.101} = 4.410 \times 10^{14} \text{ N.}$$

Modulus Elastisitas Balok

$$EI = \frac{0.2 \cdot E_c \cdot I_g \text{ balok}}{1 + \beta_d} = \frac{0.2 \cdot 27805.57 \cdot 2.31 \cdot 10^{10}}{1 + 1.071} = 4.21 \times 10^{13}$$

Kekakuan ujung bawah kolom

$$a. \text{ Ujung bawah} = \frac{\sum \left(\frac{EI \text{ kolom}}{l_u} \right)}{\sum \left(\frac{EI \text{ balok}}{l_c} \right)} = \frac{\left(\frac{4.410 \times 10^{14}}{3000} \right)}{\left(\frac{4.21 \times 10^{13}}{1000} \right)} = 3.492$$

Kekakuan ujung bawah kolom

$$b. \text{ Ujung atas} = \frac{\sum \left(\frac{EI \text{ kolom}}{l_u} \right)}{\sum \left(\frac{EI \text{ balok}}{l_c} \right)} = \frac{\left(\frac{4.410 \times 10^{14}}{3000} \right)}{\left(\frac{4.21 \times 10^{13}}{1000} \right)} = 3.492$$

c. Gaya Dalam

Tabel 4. 8: Gaya Dalam Kolom.

No	Pu	Mux	Muy	fMnx	fMny	Phi	fMn/Mu
	kN	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m		
1	-2676	68.39	8.56	1289.88	66.35	0.9	23.063
2	9264	-1775.7	-551.81	-2819.14	-876.1	0.65	48.242
3	1329	2015.27	511.61	2159.37	548.19	0.9	2.18
4	6122.2	-2058.9	-421.05	-3281.05	-671	0.81	2.948
5	5106.8	5106.77	1643.6	933.98	3064.1	0.85	7.342
6	7267.2	7267.18	-1653	-1173.88	-2803	0.7	6.001

d. Gaya Aksial

Tabel 4. 9: Gaya Aksial Kolom.

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	2675.986	68.395	8.5642
P min	-9263.9852	-1775.7042	-551.8101
M2 Max	-1329.0417	2015.2712	511.6053
M2 Min	-6122.1498	-2058.8716	-421.0454
M3 Max	-5106.765	500.9947	1643.5958
M3 Min	-7267.1839	-692.1778	-1652.996

2. Kolom Lantai 1 sampai Lantai 3 K3 600 x 600 mm

Tinggi Kolom = 3000 mm

Mutu beton (f_c') = 35 Mpa

Panjang sisi kolom (h) = 1000 mm

Tebal selimut beton (p) = 50 mm

Mutu tulangan (F_y) = 390 Mpa

Modulus elastisitas beton (E_c) = $4700 \sqrt{f_c'}$

Modulus elastisitas baja (E_s) = 200000 MPa

Diameter tulangan longitudinal = S22 = 22 mm

Diameter tulangan sengkang = S10 = 10 mm

Kolom (*frame*) → gaya dalam (Output ETABS)

P_u = 3092.92 KN

$M_u x$ = 793.66 KNm

$M_u y$ = 642.88 KNm

Menghitung luas penampang kolom

$A_g = 600^2 = 360.000 \text{ mm}^2$

Modulus elastisitas beton

$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \rightarrow 4700 \sqrt{35} = 27805.57 \text{ Mpa}$

Modulus elastisitas tulangan

$E_s = 200000$

$\beta_d \text{ kolom} = \frac{1.4D}{(1.2D+1.6L)} = \frac{31.536}{28.656} = 1.101$

$\beta_d \text{ balok} = \frac{1.4D}{(1.2D+1.6L)} = \frac{19.201}{17.928} = 1.071$

Momen Inersia Kolom

$I_g \text{ kolom} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 600^4 = 1.08 \times 10^{10} \text{ mm}^4$

Momen Inersia Balok

$I_g \text{ kolom} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 450 \cdot 850^3 = 2.31 \times 10^{10} \text{ mm}^4$

Modulus Elastisitas Kolom

$EI = \frac{0.4 \cdot E_c \cdot I_g \text{ kolom}}{1 + \beta_d} = \frac{0.4 \cdot 27805.57 \cdot 1.08 \cdot 10^{10}}{1 + 1.101} = 5.72 \times 10^{15} \text{ N.}$

Modulus Elastisitas Balok

$$EI = \frac{0.2 \cdot Ec \cdot I_g \text{ balok}}{1 + \beta d} = \frac{0.2 \cdot 27805.57 \cdot 2.31 \cdot 10^{10}}{1 + 1.071} = 4.21 \times 10^{13}$$

Kekakuan ujung bawah kolom

$$a. \text{ Ujung bawah} = \frac{\sum \left(\frac{EI \text{ kolom}}{lu} \right)}{\sum \left(\frac{EI \text{ balok}}{lc} \right)} = \frac{\left(\frac{5.72 \times 10^{15}}{3000} \right)}{\left(\frac{4.21 \times 10^{13}}{600} \right)} = 27.18$$

Kekakuan ujung bawah kolom

$$b. \text{ Ujung atas} = \frac{\sum \left(\frac{EI \text{ kolom}}{lu} \right)}{\sum \left(\frac{EI \text{ balok}}{lc} \right)} = \frac{\left(\frac{5.72 \times 10^{15}}{3000} \right)}{\left(\frac{4.21 \times 10^{13}}{600} \right)} = 27.18$$

c. Gaya Dalam Balok

Tabel 4. 10: Gaya Dalam Balok.

No	Pu	Mux	Muy	fMnx	fMny	Phi	fMn/Mu
	kN	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m		
1	-412.22	115.46	23.42	1286.67	82.48	0.95	23.06
2	3092.92	-570.5	-185.54	-613.31	-199.46	0.65	48.24
3	1203.38	793.66	218.36	671.96	184.88	0.888	2.18
4	1773.69	-816.28	-68.9	-776.62	-65.55	0.869	2.948
5	1870.37	55.87	642.88	67.41	775.64	0.84	7.342
6	2556.4	-272.47	-647.76	-242.95	-577.58	0.65	6.001

d. Gaya Aksial Balok

Tabel 4. 11: Gaya Aksial Balok.

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	412.2161	115.4626	23.419
P min	-3092.9189	-570.4968	-185.5378
M2 Max	-1203.3796	793.6595	218.3606
M2 Min	-1773.6913	-816.2844	-68.8953
M3 Max	-1870.3699	55.8692	642.8775
M3 Min	-2556.3999	-272.4704	-647.7565

5. Perencanaan dimensi Balok Basement

Perhitungan penulangan balok menggunakan Sistem Ganda dan SRPMK ditinjau berdasarkan momen, geser, dan punter terbesar. Perhitungan serta hasil penulangan balok sebagai berikut:

➤ Rencana Desain Balok Sistem Ganda

a. Balok Induk B1-6 meter 850 X 450 mm

1. Data perencanaan balok

Dimensi balok	= 850 X 450 mm
Panjang balok (L)	= 6000 mm
Lebar balok (b)	= 450 mm
Tinggi Balok (h)	= 850 mm
Tebal penutup beton (p)	= 50 mm (SNI 2847:2019)
Mutu beton (f'c)	= 35 MPa
Mutu baja (Fy)	= 390 Mpa (Tulangan pokok)
Diameter tulangan pokok	= S22
Mutu baja (Fy)	= 390 MPa (Tulangan sengkang)
Diameter tulangan sengkang	= S10
Faktor reduksi lentur	= 0.9 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Faktor reduksi geser	= 0.75 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Faktor reduksi puntir	= 0.75 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Tinggi efektif (d)	= h-decking-Øsengkang-1/2 Øtulangan = 850-50-10-(1/2 x 22) = 779 mm

Tabel 4. 12: Gaya Dalam Balok 850 X 450 mm.

Torsi (KN.m)	Momen (KN.m)		Geser (KN) (1.2 DL+1.0 LL)
	Tumpuan	Lapangan	
165.7311	1471.3428	494.6386	188.5254

2. Persyaratan Gaya Geometri Balok.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.3.3.1 mengenai ketentuan perhitungan balok dengan menggunakan metode Sistem Ganda sebagai berikut:

a. $P_u < 0.1 \times A_g \times f_c'$

$$P_u < 0.1 \times (850 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}) \times (35 \text{ N/mm}^2)$$

$$P_u < 1.338.750 \quad (\text{memenuhi})$$

b. $L_n \geq 4d$

$$(6000 \text{ mm} - 450 \text{ mm}) \geq 4 \times 779 \text{ mm}$$

$$5.550 \geq 3.116 \quad (\text{memenuhi})$$

c. $b \geq 0.3 h$

$$450 \text{ mm} \geq 0.3 \times 850$$

$$450 \text{ mm} \geq 255 \quad (\text{memenuhi})$$

d. $250 \text{ mm} < b < + 2 \times \left(\frac{3}{4} h\right)$

$$250 \text{ mm} < 450 \text{ mm} < 700 + 2 \times \left(\frac{3}{4} 850\right)$$

$$250 \text{ mm} < 450 \text{ mm} < 1.975 \quad (\text{memenuhi})$$

3. Perhitungan Tulangan Torsi

Perencanaan penulangan torsi mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 22.7 menurut pasal 22.7.4.1, pengaruh torsi boleh diabaikan apabila momen torsi terfaktor kurang dari:

$$T_u < \phi \cdot 0.083 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$$

Dimana:

$$A_{cp} = \text{luas penampang}$$

$$P_{cp} = \text{keliling penampang}$$

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

$$\phi = 0.75$$

dari hasil analisis menggunakan program bantu Etabs V18, di dapatkan nilai maksimum torsi pada balok BI-1 450 X 850 sebagai berikut:

$$T_u = 165.7311 \text{ KN.m}$$

Kontrol kebutuhan torsi

$$A_{cp} = b \times h = 450 \times 850 = 382.500 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (450 + 850) = 2600 \text{ mm}$$

Maka,

$$165.7311 \text{ KN.m} > 0.75 \times 0.083 \times 1 \times \sqrt{35} \times \left(\frac{382.500^2}{2.600} \right)$$

$$165.7311 \text{ KN.m} > 20.847 \text{ KN.m (Perlu Tuangan Torsi)}$$

Penulangan torsi sengkang

X_o = lebar as ke as tulangan sengkang

= lebar balok - 2 x (selimut beton + diameter tulangan sengkang/2)

$$= 450 - 2 \times (50 + 10/2) = 340 \text{ mm}$$

Y_o = tinggi as ke as tulangan sengkang

= lebar balok - 2 x (selimut beton + diameter tulangan sengkang/2)

$$= 850 - 2 \times (50 + 10/2) = 740 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X_o \times Y_o = 340 \times 740 = 251,600 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 251,600 = 213.860 \text{ mm}^2$$

$$Ph = 2 \times (X_o + Y_o) = 2 \times (340 + 740) = 2,160 \text{ mm}^2$$

Menentukan kebutuhan tulangan sengkang :

$$\frac{At}{s} = \frac{Tn}{2 \times A_o \times f_y \times \tan \theta} = \frac{165.7311 / 0,75}{2 \times 213.860 \times 390 \times \tan 45} = 0.001 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(Per meter maka s = 1000 mm)

$$A_t = 0.001 \times 1000 = 1 \text{ mm}^2$$

Maka, luas tulangan sengkang yang diperlukan :

$$A_{total} = A_v + 2A_t$$

$$= (2 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 10^2) + (2 \times 1)$$

$$= 159 \text{ mm}^2$$

Digunakan sengkang S10

$$S = \frac{A_v \times 1000}{A_{total}} = \frac{159 \times 1000}{159} = 1000$$

Menentukan kebutuhan tulangan longitudinal

$$Al = \left(\frac{At}{s} \right) Ph \left(\frac{f_y}{F_y} \right) = 0.001 \times 2.160 \times \left(\frac{390}{390} \right) \times 1 = 0.002 \text{ mm}^2$$

Periksa terhadap Al_{min}

$$\begin{aligned} Al_{min} &= \frac{0.42 \sqrt{f_c'} \times acp}{f_y} - \left(\frac{at}{s} \right) Ph \left(\frac{f_y}{f_y} \right) \\ &= \frac{0.42 \sqrt{35} \times 382.500}{390} - 0.001 \times 2.160 \times \left(\frac{390}{390} \right) \\ &= 2436.97 - 0,002 = 2436.968 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga diambil $Al = 2.160 \text{ mm}^2$

Luas tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok.

$$\frac{Al}{4} = \frac{2.160}{4} = 0.54 \text{ mm}^2$$

Penulangan pada tulangan longitudinal:

Pada sisi atas = diasumsikan $\frac{1}{4}$ pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = diasumsikan $\frac{1}{4}$ pada tulangan tekan balok

Maka, sisi atas dan bawah balok masing – masing mendapatkan tambahan luasan puntir sebesar 0.54 mm^2 .

Penulangan torsi pada tulangan badan

Pada sisi samping kanan dan kiri disalurkan $\frac{1}{2}$ pada kedua sisinya.

Maka, sisi samping kanan dan kiri pada badan dipasang tulangan puntir sebesar = $(2 \times 0,54) = 1,08 \text{ mm}^2$.

Jumlah tulangan puntir pada badan atau sisi Tengah

$$n = \frac{1,08}{0.25 \times 3.14 \times 22^2} = 0.003$$

4. Perhitungan Penulangan

Rasio Tulangan

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

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{390} = 0,004$$

Perhitungan Tulangan Balok Pada Daerah Tumpuan

a. Penulangan Tumpuan Atas

$$M_n = 1471.3428 \times 10^6 / 0.9 = 1634825333.33$$

$$R_n = \frac{Mu}{b \times d^2} = \frac{1634825333.33}{450 \times 779} = 5.987$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0.85 \times 35}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 5.987}{0.85 \times 35}}\right) = 0.0174$$

Syarat : $\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$

$0.004 < 0.0174 < 0.025$ menggunakan ρ_{perlu}

$$A_s = \rho \times b \times d = 0.0174 \times 450 \times 779 = 6099.57 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu} = A_s + \frac{Al}{4} = 6099.57 + 0.54 = 6100.11 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As} = \frac{6100.11}{0.25 \times \pi \times 22^2} = 16.01$$

Digunakan 16S22 buah ($As = 6082.08 \text{ mm}^2$)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Satu Lapis

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{bw - 2 \cdot \text{decking} - 2 \cdot \emptyset \text{ sengkang} - n \cdot \emptyset \text{ tul utama}}{n-1} \\ &= \frac{450 - (2 \times 50) - (2 \cdot 10) - (16 \times 22)}{16-1} = 19.93 \text{ mm} \end{aligned}$$

Keseimbangan Gaya Internal

$$C_c = 0.85 \times f'_c \times a \times b$$

$$T_s = A_s \times f_y \text{ Sehingga } C_c = T_s$$

$$0.85 \times f'_c \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$a = \frac{A_s \text{ terpasang} \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} = \frac{6082.08 \times 390}{0.85 \times 35 \times 450} = 158.4 \text{ mm}$$

Kapasitas Momen (ϕ MN)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \text{ terpasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 6082.08 \times 390 \left(779 - \frac{158.4}{2} \right) = 1659933437.76 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat } \mu < \phi \text{ MN}$$

$$272.0237 \text{ KN.m} \leq 0.9 \times 1659933437.76 \text{ KN.m}$$

$$272.0237 \text{ KN.m} \leq 1493940093.984 \text{ KN.m (OK)}$$

Kontrol Kesesuaian Penggunaan Nilai Faktor Reduksi Kekuatan

$$c = a / \beta_1 = 158.4 / 0.85 = 186.36 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= 0.003 \times \left(\frac{d-c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{779-186.36}{186.36} \right) = 0.0095 > 0.005 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

b. Penulangan Tumpuan Bawah

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= (0.5 \times A_s \text{ perlu tump atas}) + \frac{Al}{4} \\ &= (0.5 \times 6100.11) + 0.54 \\ &= 3050.595 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{As} = \frac{3050.595}{0.25 \times \pi \times 22^2} = 8.03$$

Digunakan 8S22 ($As = 3041.04$)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$S_{max} = \frac{bw - 2 \cdot \text{decking} - 2 \cdot \emptyset \text{ sengkang} - n \cdot \emptyset \text{ tul utama}}{n-1} > 25 \text{ mm}$$

$$= \frac{450 - (2 \times 50) - (2 \times 210) - (8 \times 22)}{8-1} = 35.15 > 25 \text{ mm (OK)}$$

Perhitungan Tulangan Balok Pada Daerah Lapangan

a. Penulangan lapangan bawah

$$M_n = 494.6386 \times 10^6 / 0.9 = 549598444.4$$

$$R_n = \frac{M_u}{b \times d^2} = \frac{549598444.4}{450 \times 779^2} = 2.013 \text{ MPa}$$

$$P_{perlu} = \frac{0.85 \times 35}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2.013}{0.85 \times 35}}\right) = 0.0054$$

$$\text{Syarat : } \rho_{perlu} \leq \rho_{min} \leq \rho_{max}$$

$$0.0054 < 0.004 < 0.025 \text{ menggunakan } \rho_{min}$$

$$A_s = \rho \times b \times d = 0.004 \times 450 \times 779 = 1402.2 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan perlu ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_l}{4} = 1402.2 + 0.54 = 1402.74 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_s} = \frac{1402.74}{0.25 \times 3.14 \times 22^2} = 3.692$$

Digunakan 4S22 ($A_s = 1520.52 \text{ mm}^2$)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$S_{max} = \frac{bw - 2 \cdot \text{decking} - 2 \cdot \emptyset \text{ sengkang} - n \cdot \emptyset \text{ tul utama}}{n-1} > 25 \text{ mm}$$

$$= \frac{450 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4-1} = 80.6 > 25 \text{ mm (OK)}$$

Keseimbangan Gaya Internal

$$C_c = 0.85 \times f'_c \times a \times b$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$\text{Sehingga } C_c = T_s$$

$$0.85 \times f'_c \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$a = \frac{A_s \text{ terpasang} \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} = \frac{1520,52 \times 390}{0.85 \times 35 \times 450} = 43.5 \text{ mm}$$

Kapasitas momen (ϕM_n)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \text{ terpasang} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 1520.52 \times 390 \times \left(779 - \frac{43,5}{2}\right) \\ &= 449051370.3 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

Syarat $M_u < \phi M_n$

$$56.9882 \text{ KN.m} \leq 0.9 \times 449051370.3 \text{ KN.m}$$

$$56.9882 \text{ KN.m} \leq 404146233.27 \text{ KN.m} \quad (\text{OK})$$

Kontrol Kesesuaian Penggunaan Nilai Faktor Reduksi Kekuatan

$$c = a / \beta_1 = 43.5 / 0.85 = 51.18 \text{ mm}$$

$$d = 779 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= 0.003 \times \left(\frac{d-c}{c}\right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{779-51.18}{51.18}\right) \\ &= 0.043 > 0.005 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

b. Penulangan lapangan atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= (0.5 \times A_s \text{ perlu lapangan bawah}) \\ &= (0.5 \times 1402.74) + 0.54 = 701.91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s} = \frac{701.91}{0.25 \times 3.14 \times 22^2} = 1.85$$

Digunakan 2S22 ($A_s = 760.26 \text{ mm}^2$)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{bw - 2 \cdot \text{decking} - 2 \cdot \emptyset \text{ sengkang} - n \cdot \emptyset \text{ tul utama}}{n-1} > 25 \text{ mm} \\ &= \frac{450 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2-1} = 286 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

5. Perhitungan Tulangan Geser pada Balok

Sebagaimana diatur pada SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5 gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian berlawanan dianggap bekerja bersama-sama pada muka kolom dan komponen struktur tersebut dibebani penuh dengan beban gravitasi terfaktor.

Momen M_{pr} dihitung dari tulangan terpasang dengan tegangan 1.25 f_y dan faktor reduksi $\phi = 1$

a. Hitungan momen ujung (M_{pr})

Perhitungan M_{pr} balok dilakukan dengan mengasumsikan sendi plastis terbentuk di ujung – ujung balok dengan tegangan tulangan lentur mencapai 1.25 f_y .

1. Momen ujung Negatif tumpuan kiri

$$a_{pr_1} = \frac{1.25 \times A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} = \frac{1.25 \times 6082.08 \times 390}{0.85 \times 35 \times 450} = 150.61 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr_1} &= 1.25 \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a_{pr_1}}{2}\right) \\ &= 1.25 \times 6082.08 \times 390 \times \left(779 - \frac{150.61}{2}\right) \\ &= 2086465526.73 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

2. Momen Ujung positif tumpuan kiri

$$a_{pr_2} = \frac{1.25 \times A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} = \frac{1.25 \times 1520.52 \times 390}{0.85 \times 35 \times 450} = 37.66 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr_2} &= 1.25 \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a_{pr_2}}{2}\right) \\ &= 1.25 \times 1520.52 \times 390 \times \left(779 - \frac{37.66}{2}\right) \\ &= 563478673.095 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

3. Momen ujung negatif tumpuan kanan

$$\begin{aligned} M_{pr_3} &= M_{pr_1} \\ &= 2086465526.73 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

4. Momen Ujung positif tumpuan kanan

$$\begin{aligned} M_{pr_4} &= M_{pr_2} \\ &= 563478673.095 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

b. Hitungan gaya geser akibat M_{pr}

$$V_g = 188.5254 \text{ KN (dari kombinasi 1.2 DL + 1.0 LL)}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{gempa Kiri}} &= \frac{M_{pr2} + M_{pr3}}{L_n} = \frac{563478673.095 + 2086465526.73}{8} \\
 &= 331243024.978 \\
 V_{e \text{ kiri}} &= V_{\text{gempa kiri}} + V_g \\
 &= 331243024.978 + 188.5254 = 331243213.5034 \text{ KN} \\
 V_{e \text{ kanan}} &= V_{\text{gempa kiri}} - V_g \\
 &= 331243024.978 - 188.5254 = 331242836.4526 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 13: Gaya Geser Desain Balok B1-6 450 X 850.

Arah Gempa	V gempa (KN)	Ve Tump. Kiri (KN)	Ve Tump. Kanan (KN)
Kiri	188.5254	331243213.5034	331242836.4526
Kanan	188.5254	331242836.4526	331243213.5034

b. Balok Induk B1-5 meter 850 X 450 mm

Dimensi balok	= 850 X 450 mm
Panjang balok (L)	= 5000 mm
Lebar balok (b)	= 450 mm
Tinggi Balok (h)	= 850 mm
Tebal penutup beton (p)	= 50 mm (SNI 2847:2019)
Mutu beton (f'c)	= 35 MPa
Mutu baja (Fy)	= 390 MPa (Tulangan pokok)
Diameter tulangan pokok	= S22
Mutu baja (Fy)	= 390 MPa (Tulangan sengkang)
Diameter tulangan sengkang	= Ø10
Faktor reduksi lentur	= 0,9 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Faktor reduksi geser	= 0,75 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Faktor reduksi puntir	= 0,75 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Tinggi efektif (d)	= h-decking-Øsengkang-1/2 Øtulangan
	= 850-50-10-(1/2 X 22)
	= 779 mm

Tabel 4. 14: Gaya Dalam Balok 850 X 450 mm.

Torsi (KN.m)	Momen (KN.m)		Geser (KN) (1,2 DL+1.0 LL)
	Tumpuan	Lapangan	
152.3467	957.4914	564.7599	188.5254

c. Balok Anak B2-6 meter 700 X 400 mm

Dimensi balok	= 700 X 400 mm
Panjang balok (L)	= 6000 mm
Lebar balok (b)	= 400 mm
Tinggi Balok (hg)	= 700 mm
Tebal penutup beton (p)	= 50 mm (SNI 2847:2019)
Mutu beton (f'c)	= 35 MPa
Mutu baja (Fy)	= 390 MPa (Tulangan pokok)
Diameter tulangan pokok	= S22
Mutu baja (Fy)	= 390 MPa (Tulangan sengkang)
Diameter tulangan sengkang	= Ø10
Faktor reduksi lentur	= 0.9 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Faktor reduksi geser	= 0.75 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Faktor reduksi puntir	= 0.75 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Tinggi efektif (d)	= h-decking-Øsengkang-1/2 Øtulangan = 700-50-10-(1/2 X 22) = 629 mm

Tabel 4. 15: Gaya Dalam Balok 700 X 400 mm.

Torsi (KN.m)	Momen Lnetur (KN.m)		Momen Geser (KN.m)	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
165.7311	957.4914	564.7599	557.3428	494.6386

➤ Rencana Desain Balok 1-850 X 450 SRPMK

a. Balok Induk B1-6 meter 850 X 450 mm

1. Data perencanaan balok

Dimensi balok	= 850 X 450 mm
Panjang balok (L)	= 6000 mm
Lebar balok (b)	= 450 mm
Tinggi Balok (h)	= 850 mm
Tebal penutup beton (p)	= 50 mm (SNI 2847:2019)
Mutu beton (f'c)	= 35 MPa
Mutu baja (Fy)	= 390 Mpa (Tulangan pokok)
Diameter tulangan pokok	= S22
Mutu baja (Fy)	= 390 MPa (Tulangan sengkang)
Diameter tulangan sengkang	= S10
Faktor reduksi lentur	= 0,9 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Faktor reduksi geser	= 0,75 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Faktor reduksi puntir	= 0,75 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Tinggi efektif (d)	= h-decking-Øsengkang-1/2 Øtulangan = 850-50-10-(1/2 x 22) = 779 mm

Tabel 4. 16: Gaya Dalam Balok 850 mm X 450 mm.

Torsi (KN.m)	Momen (KN.m)		Geser (KN) (1,2 DL+1.0 LL)
	Tumpuan	Lapangan	
86.3253	850.0765	537.881	144.4725

2. Persyaratan Gaya Geometri Balok.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.3.3.1 mengenai ketentuan perhitungan balok dengan menggunakan metode Sistem Ganda sebagai berikut:

e. $P_u < 0,1 \times A_g \times f'_c$

$$P_u < 0,1 \times (850 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}) \times (35 \text{ N/mm}^2)$$

$$P_u < 1.338.750 \quad (\text{memenuhi})$$

f. $L_n \geq 4d$

$$(6000 \text{ mm} - 450 \text{ mm}) \geq 4 \times 779 \text{ mm}$$

$$5.550 \geq 3.116 \quad (\text{memenuhi})$$

g. $b \geq 0.3 h$

$$450 \text{ mm} \geq 0,3 \times 850$$

$$450 \text{ mm} \geq 255 \quad (\text{memenuhi})$$

h. $250 \text{ mm} < b < + 2 \times \left(\frac{3}{4} h\right)$

$$250 \text{ mm} < 450 \text{ mm} < 700 + 2 \times \left(\frac{3}{4} 850\right)$$

$$250 \text{ mm} < 450 \text{ mm} < 1.975 \quad (\text{memenuhi})$$

3. Perhitungan Tulangan Torsi

Perencanaan penulangan torsi mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 22.7 menurut pasal 22.7.4.1, pengaruh torsi boleh diabaikan apabila momen torsi terfaktor kurang dari:

$$T_u < \phi 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$$

Dimana:

A_{cp} = luas penampang

P_{cp} = keliling penampang

λ = 1 (beton normal)

ϕ = 0,75

dari hasil analisis menggunakan program bantu Etabs V18, di dapatkan nilai maksimum torsi pada balok BI-1 450 X 850 sebagai berikut:

$$T_u = 86.3253 \text{ KN.m}$$

Kontrol kebutuhan torsi

$$A_{cp} = b \times h = 450 \times 850 = 382,500 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h) = 2 \times (450 + 850) = 2600 \text{ mm}$$

Maka,

$$86.3253 \text{ KN.m} > 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{35} \times \left(\frac{382,500^2}{2.600}\right)$$

$$86.3253 \text{ KN.m} > 20.847 \text{ KN.m (Perlu Tulangan Torsi)}$$

Penulangan torsi sengkang

X_o = lebar as ke as tulangan sengkang

$$= \text{lebar balok} - 2 \times (\text{selimut beton} + \text{diameter tulangan sengkang}/2)$$

$$= 450 - 2 \times (50 + 10/2) = 340 \text{ mm}$$

Yo = tinggi as ke as tulangan sengkang

$$= \text{tinggi balok} - 2 \times (\text{selimut beton} + \text{diameter tulangan sengkang}/2)$$

$$= 850 - 2 \times (50 + 10/2) = 740 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = X_o \times Y_o = 340 \times 740 = 251,600 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh} = 0,85 \times 251,600 = 213.860 \text{ mm}^2$$

$$Ph = 2 \times (X_o + Y_o) = 2 \times (340 + 740) = 2,160 \text{ mm}^2$$

Menentukan kebutuhan tulangan sengkang :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times f_y \times \tan \theta} = \frac{86.3253 / 0,75}{2 \times 213,860 \times 390 \times \tan 45} = 0.692 \text{ mm}^2/\text{m}$$

(Per meter maka s = 1000 mm)

$$A_t = 0.692 \times 1000 = 692 \text{ mm}^2$$

Maka, luas tulangan sengkang yang diperlukan :

$$A_{total} = A_v + 2A_t$$

$$= (2 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 10^2) + (2 \times 692)$$

$$= 1.541 \text{ mm}^2$$

Digunakan sengkang S10

$$S = \frac{A_v \times 1000}{A_{total}} = \frac{1.541 \times 1000}{1.541} = 1000 \text{ mm}$$

Menentukan kebutuhan tulangan longitudinal

$$Al = \left(\frac{A_t}{s} \right) Ph \left(\frac{F_y}{F_y} \right) = 0.692 \times 2,160 \times \left(\frac{390}{390} \right) \times 1 = 1.494 \text{ mm}^2$$

Periksa terhadap Al_{min}

$$Al_{min} = \frac{0.42 \sqrt{f_c'} \times acp}{f_y} - \left(\frac{at}{s} \right) Ph \left(\frac{fy}{fy} \right)$$

$$= \frac{0.42 \sqrt{35} \times 382,500}{390} - 0.692 \times 2,160 \times \left(\frac{390}{390} \right)$$

$$= 2.4371 - 1.4947 = 0.95 \text{ mm}^2$$

Sehingga diambil $Al = 2,160 \text{ mm}^2$

Luas tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok.

$$\frac{Al}{4} = \frac{2,160}{4} = 0,54 \text{ mm}^2$$

Penulangan pada tulangan longitudinal:

Pada sisi atas = diasumsikan $\frac{1}{4}$ pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = diasumsikan $\frac{1}{4}$ pada tulangan tekan balok

Maka, sisi atas dan bawah balok masing – masing mendapatkan tambahan luasan puntir sebesar 0.54 mm^2 .

Penulangan torsi pada tulangan badan

Pada sisi samping kanan dan kiri disalurkan $\frac{1}{2}$ pada kedua sisinya.

Maka, sisi samping kanan dan kiri pada badan dipasang tulangan puntir sebesar $= (2 \times 0,54) = 1.08 \text{ mm}^2$.

Jumlah tulangan puntir pada badan atau sisi Tengah

$$n = \frac{1,08}{0,25 \times 3,14 \times 22^2} = 0.0030$$

4. Perhitungan Penulangan

Rasio Tulangan

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

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{390} = 0,004$$

Perhitungan Tulangan Balok Pada Daerah Tumpuan

a. Penulangan Tumpuan Atas

$$M_n = 850.0765 \times 10^6 / 0.9 = 944529444.4$$

$$R_n = \frac{Mu}{b \times d^2} = \frac{944529444.4}{450 \times 779^2} = 3.461$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times 35}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3.461}{0,85 \times 35}} \right) = 0.00957$$

Syarat : $\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$

$0,004 < 0,00957 < 0,025$ menggunakan ρ_{perlu}

$$A_s = \rho \times b \times d = 0.00957 \times 450 \times 779 = 3354.76 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_l}{4} = 3354.76 + 0,5 = 3355.26 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_s} = \frac{3355.26}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 8.83$$

Digunakan 9S22 buah ($A_s = 1229.33 \text{ mm}^2$)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Satu Lapis

$$S_{\max} = \frac{bw - 2 \cdot \text{decking} - 2 \cdot \emptyset \text{ sengkang} - n \cdot \emptyset \text{ tul utama}}{n - 1}$$

$$= \frac{450 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (9 \times 22)}{9 - 1} = 16.5 \text{ mm}$$

Kesetimbangan Gaya Internal

$$C_c = 0.85 \times f'_c \times a \times b$$

$$T_s = A_s \times f_y \text{ Sehingga } C_c = T_s$$

$$0.85 \times f'_c \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$a = \frac{A_s \text{ terpasang} \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} = \frac{1229.33 \times 390}{0.85 \times 35 \times 450} = 35.83 \text{ mm}$$

Kapasitas Momen (ϕ MN)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \text{ terpasang} \times f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 1229.33 \times 390 \left(779 - \frac{35.83}{2}\right) = 364893603 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

$$\text{Syarat Mu} < \phi \text{ MN}$$

$$272,0237 \text{ KN.m} \leq 0.9 \times 364893603 \text{ KN.m}$$

$$272,0237 \text{ KN.m} \leq 328404242.7 \text{ KN.m (OK)}$$

Kontrol Kesesuaian Penggunaan Nilai Faktor Reduksi Kekuatan

$$C = a / \beta_1 = 35.83 / 0.85 = 42.153 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= 0.003 \times \left(\frac{d - c}{c}\right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{779 - 42.153}{42.153}\right) = 0.053 > 0.005 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

b. Penulangan Tumpuan Bawah

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= (0.5 \times A_s \text{ perlu tump atas}) + \frac{Al}{4} \\ &= (0.5 \times 3355.26) + 0.54 \\ &= 1678.17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s} = \frac{1678.17}{0.25 \times \pi \times 22^2} = 4.41$$

Digunakan 5S22 ($A_s = 696 \text{ mm}^2$)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{bw - 2 \cdot \text{decking} - 2 \cdot \emptyset \text{ sengkang} - n \cdot \emptyset \text{ tul utama}}{n - 1} > 25 \text{ mm} \\ &= \frac{450 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 22)}{5 - 1} = 55 > 25 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Balok Pada Daerah Lapangan

a. Penulangan lapangan bawah

$$M_n = 537.881 \times 10^6 / 0.9 = 63350.43$$

$$R_n = \frac{M_u}{b \times d^2} = \frac{63350.43}{450 \times 779^2} = 0.00027 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0.85 \times 35}{390} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0.00027}{0.85 \times 35}}\right) = 0.00076$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\text{min}} \leq \rho_{\text{max}}$$

$$0.00076 < 0.004 < 0.025 \text{ menggunakan } \rho_{\text{min}}$$

$$A_s = \rho \times b \times d = 0.004 \times 450 \times 779 = 1402.2 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan perlu ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_l}{4} = 1402.2 + 0.54 = 1402.74 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_s} = \frac{1402.74}{0.25 \times 3.14 \times 22^2} = 3.692$$

Digunakan 4S22 ($A_s = 562.67 \text{ mm}^2$)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &= \frac{b_w - 2 \cdot \text{decking} - 2 \cdot \emptyset \text{ sengkang} - n \cdot \emptyset \text{ tul utama}}{n-1} \cdot 25 \text{ mm} \\ &= \frac{450 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4-1} = 80.6 > 25 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

Kesetimbangan Gaya Internal

$$C_c = 0.85 \times f'_c \times a \times b$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$\text{Sehingga } C_c = T_s$$

$$0.85 \times f'_c \times a \times b = A_s \times f_y$$

$$a = \frac{A_s \text{ terpasang} \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} = \frac{562.67 \times 390}{0.85 \times 35 \times 450} = 16.41 \text{ mm}$$

Kapasitas momen (ϕM_n)

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \text{ terpasang} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 562.67 \times 390 \times \left(779 - \frac{16.14}{2}\right) \\ &= 169173881.4 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

Syarat $M_u < \phi M_n$

$$56.9882 \text{ KN.m} \leq 0.9 \times 169173881.4 \text{ KN.m}$$

$$56.9882 \text{ KN.m} \leq 152256493.3 \text{ KN.m} \quad (\text{OK})$$

Kontrol Kesesuaian Penggunaan Nilai Faktor Reduksi Kekuatan

$$c = a / \beta_1 = 16.41 / 0.85 = 19.32 \text{ mm}$$

$$d = 779 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= 0.003 \times \left(\frac{d-c}{c} \right) \\ &= 0.003 \times \left(\frac{779-19.32}{19.32} \right) \\ &= 0.13 > 0.005 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

b. Penulangan lapangan atas

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= (0.5 \times A_s \text{ perlu lapangan bawah}) \\ &= (0.5 \times 1402.74) + 0.54 = 701.91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s} = \frac{701.91}{0.25 \times 3.14 \times 22^2} = 1.85$$

Digunakan 2S22 ($A_s = 760.26 \text{ mm}^2$)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{bw - 2 \cdot \text{decking} - 2 \cdot \emptyset \text{ sengkang} - n \cdot \emptyset \text{ tul utama}}{n-1} > 25 \text{ mm} \\ &= \frac{450 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2-1} = 286 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

5. Perhitungan Tulangan Geser pada Balok

Sebagaimana diatur pada SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5 gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian berlawanan dianggap bekerja bersama-sama pada muka kolom dan komponen struktur tersebut dibebani penuh dengan beban gravitasi terfaktor.

Momen M_{pr} dihitung dari tulangan terpasang dengan tegangan $1.25 f_y$ dan faktor reduksi $\phi = 1$

a. Hitungan momen ujung (Mpr)

Perhitungan Mpr balok dilakukan dengan mengasumsikan sendi plastis terbentuk di ujung – ujung balok dengan tegangan tulangan lentur mencapai $1.25 f_y$.

1. Momen ujung Negatif tumpuan kiri

$$a_{pr_1} = \frac{1.25 \times A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} = \frac{1.25 \times 1229.33 \times 390}{0.85 \times 35 \times 450} = 44.78 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr_1} &= 1.25 \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a_{pr_1}}{2}\right) \\ &= 1.25 \times 1229.33 \times 390 \times \left(779 - \frac{44.78}{2}\right) \\ &= 453435143.5 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

2. Momen Ujung positif tumpuan kiri

$$a_{pr_2} = \frac{1.25 \times A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} = \frac{1.25 \times 562.67 \times 390}{0.85 \times 35 \times 450} = 20.51 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr_2} &= 1.25 \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a_{pr_2}}{2}\right) \\ &= 1.25 \times 562.67 \times 390 \times \left(779 - \frac{20.51}{2}\right) \\ &= 210868002.7 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

3. Momen ujung negatif tumpuan kanan

$$\begin{aligned} M_{pr_3} &= M_{pr_1} \\ &= 453435143.5 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

4. Momen Ujung positif tumpuan kanan

$$\begin{aligned} M_{pr_4} &= M_{pr_2} \\ &= 210868002.7 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

6. Hitungan gaya geser akibat Mpr

$$V_g = 144.4725 \text{ KN (dari kombinasi 1.2 DL + 1.0 LL)}$$

$$\begin{aligned} V_{gempa \text{ Kiri}} &= \frac{M_{pr2} + M_{pr_3}}{L_n} = \frac{210868002.7 + 453435143.5}{8} \\ &= 83037893.28 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e \text{ kiri}} &= V_{gempa \text{ kiri}} + V_g \\ &= 83037893.28 + 144.4725 = 83038037.75 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e \text{ kanan}} &= V_{gempa \text{ kiri}} - V_g \\ &= 83037893.28 - 144.4725 = 83037748.81 \text{ KN} \end{aligned}$$

Tabel 4. 17: Gaya Geser Desain Balok B1-6 450 X 850 mm.

Arah Gempa	V gempa (KN)	Ve Tump. Kiri (KN)	Ve Tump. Kanan (KN)
Kiri	144.4725	83038037.75	83037748.81
Kanan	144.4725	83037748.81	83038037.75

b. Balok Induk B1-5 meter 850 X 450 mm

Dimensi balok	= 850 X 450 mm
Panjang balok (L)	= 5000 mm
Lebar balok (b)	= 450 mm
Tinggi Balok (h)	= 850 mm
Tebal penutup beton (p)	= 50 mm (SNI 2847:2019)
Mutu beton (f'c)	= 35 MPa
Mutu baja (Fy)	= 390 MPa (Tulangan pokok)
Diameter tulangan pokok	= S22
Mutu baja (Fy)	= 390 MPa (Tulangan sengkang)
Diameter tulangan sengkang	= Ø10
Faktor reduksi lentur	= 0.9 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Faktor reduksi geser	= 0.75 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Faktor reduksi puntir	= 0.75 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Tinggi efektif (d)	= h-decking-Øsengkang-1/2 Øtulangan = 850-50-10-(1/2 X 22) = 779 mm

Tabel 4. 18: Gaya Dalam Balok 850 X 450 mm.

Torsi (KN.m)	Momen (KN.m)		Geser (KN) (1,2 DL+1.0 LL)
	Tumpuan	Lapangan	
172.6078	1168.194	1061.8775	183.764

c. Balok Anak B2-6 meter 700 X 400 mm

Dimensi balok	= 700 X 400 mm
Panjang balok (L)	= 400 mm
Lebar balok (b)	= 400 mm
Tinggi Balok (hg)	= 700 mm
Tebal penutup beton (p)	= 50 mm (SNI 2847:2019)
Mutu beton (f'c)	= 35 MPa
Mutu baja (Fy)	= 390 MPa (Tulangan pokok)
Diameter tulangan pokok	= S22
Mutu baja (Fy)	= 390 MPa (Tulangan sengkang)
Diameter tulangan sengkang	= Ø10
Faktor reduksi lentur	= 0,9 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Faktor reduksi geser	= 0,75 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Faktor reduksi puntir	= 0,75 (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1)
Tinggi efektif (d)	= h-decking-Øsengkang-1/2 Øtulangan = 700-50-10-(1/2 X 22) = 629 mm

Tabel 4. 19: Gaya Dalam Balok 700 X 400 mm.

Torsi (KN.m)	Momen Lentur (KN.m)		Momen Geser (KN.m)	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
12.1386	141.5189	127.4128	113.6425	536.6386

6. Perencanaan dimensi Pelat Lantai

6.1 Pelat Lantai Sistem Ganda

Pelat lantai merupakan suatu konstruksi yang menumpu langsung pada balok dan atau dinding geser. Pelat lantai dirancang dapat menahan beban mati dan beban hidup secara bersamaan sesuai kombinasi pembebanan yang bekerja di atasnya.

Pada sistem perencanaan pelat direncanakan sama dari lantai 1-15 dengan tumpuan berupa jepit ataupun bebas. Sistem penulangan direncanakan sama pada tiap-tiap lantai.

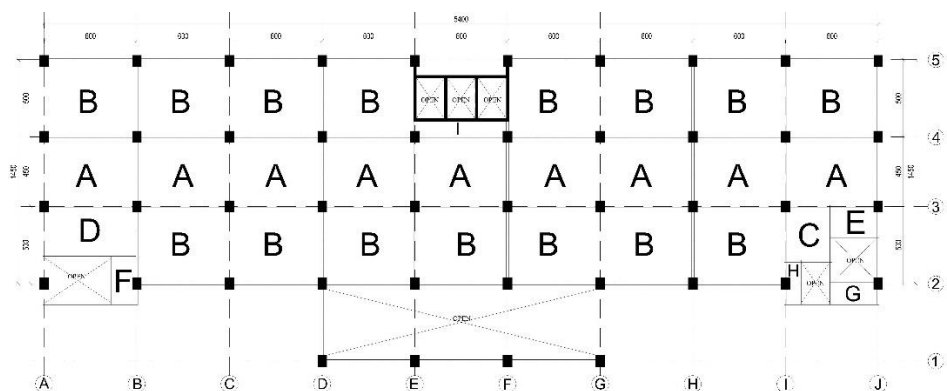
Data perencanaan penulangan pelat lantai Sistem Ganda:

- Mutu beton (f_c') = 35 MPa
- Mutu baja tulangan = 390 MPa
- Tebal pelat lantai = 15 cm = 150 mm
- Tebal selimut beton = 20 mm

6.1.1. Pedoman perhitungan Pelat Lantai

Dalam perencanaan pelat lantai, pedoman yang dipakai adalah:

- SNI 1727:2020. Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.
- SNI 2847:2019. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan.
- SNI 2052:2017. Baja tulangan beton.



Gambar 4.1: Denah Pelat Lantai.

6.1.2. Perhitungan pelat Lantai

a. Data Teknis Pelat Lantai Rencana

1. Material Beton:

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Berat per unit volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

(SNI 1727:2020, Tabel C3.1-2)

$$\text{Modulus elastisitas} = 27.805,2 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} = 4700\sqrt{35} = 27.805,2 \text{ MPa}$$

(SNI-03-2847:2019, pasal 19.2.2.1, hal 456)

2. Material Tulangan:

$$\text{BJTP 280 dengan } f_u = 390 \text{ MPa}$$

$$f_y = 390 \text{ MPa}$$

$$\text{Berat per unit volume} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

(SNI 1727:2020, Tabel C3.1-2)

$$\text{Modulus elastisitas} = 200000 \text{ MPa}$$

(SNI-03-2847:2019, pasal 20.2.2.2, hal 469)

b. Menentukan Syarat-syarat Batas dan Bentang Pelat Lantai

Penulangan Pelat model I-2

1. Pelat $L_x = 600 \text{ cm}$, $L_y = 450 \text{ cm}$ dengan Kode A
2. Pelat $L_x = 600 \text{ cm}$, $L_y = 500 \text{ cm}$ dengan Kode B
3. Pelat $L_x = 300 \text{ cm}$, $L_y = 350 \text{ cm}$ dengan Kode C
4. Pelat $L_x = 600 \text{ cm}$, $L_y = 330 \text{ cm}$ dengan Kode D
5. Pelat $L_x = 300 \text{ cm}$, $L_y = 200 \text{ cm}$ dengan Kode E
6. Pelat $L_x = 160 \text{ cm}$, $L_y = 300 \text{ cm}$ dengan Kode F
7. Pelat $L_x = 300 \text{ cm}$, $L_y = 130 \text{ cm}$ dengan Kode G
8. Pelat $L_x = 100 \text{ cm}$, $L_y = 275 \text{ cm}$ dengan Kode H
9. Pelat $L_x = 600 \text{ cm}$, $L_y = 100 \text{ cm}$ dengan Kode I

Keterangan: Sisi Bentang Pendek (L_x)

Sisi Bentang Panjang (L_y)

$$\beta A = \frac{Lx}{Ly} = \frac{600}{450} = 1.33 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta B = \frac{Lx}{Ly} = \frac{600}{500} = 1.2 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta C = \frac{Lx}{Ly} = \frac{300}{350} = 0.86 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta D = \frac{Lx}{Ly} = \frac{600}{330} = 1.81 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta E = \frac{Lx}{Ly} = \frac{300}{200} = 1.5 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta F = \frac{Lx}{Ly} = \frac{160}{300} = 0.53 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta G = \frac{Lx}{Ly} = \frac{300}{130} = 2.31 > 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta H = \frac{Lx}{Ly} = \frac{100}{275} = 0.36 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta I = \frac{Lx}{Ly} = \frac{600}{100} = 600 > 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

c. Data Beban yang bekerja Pada Pelat

1. Beban Mati

- a. Berat jenis beton bertulang = 2400 kg/m³
- b. Berat jenis baja = 7850 kg/m³
- c. Berat jenis lapisan lantai = 1800 kg/m³
- d. Penutup lantai ubin = 24 kg/m²
- e. Tebal lapisan lantai = 3 cm
- f. Berat plafond dan penggantung = 18 kg/m

(SNI 1727:2020, Tabel C3.1-1)

2. Beban Hidup

- a. Bangunan Rusun = 250 kg/m²

(SNI 1727:2020, Tabel 4.3-1)

d. Pembebanan pada pelat

1. Beban Mati (W_D)

- a. Berat pelat lantai = 2400 x 0.15 = 360 kg/m²
- b. Berat space lantai = 0.03 x 1800 = 54 kg/m²
- c. Penutup lantai = 24 kg/m²
- d. Berat plafond = 18 kg/m²

e. Total pembebanan $= 456 \text{ kg/m}^2$

2. Beban Hidup (W_L)

a. Beban hidup $= 250 \text{ kg/m}^2$

3. Kombinasi Pembebanan

$$W_u = 1.2 W_D + 1.6 W_L$$

$$= 1.2 (456) + 1.6 (250) = 947,2 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 9.30 \text{ kg/m}^2$$

e. Perhitungan Penluangan Pelat

1. Tebal Pelat (h) $= 15 \text{ cm} \rightarrow 150 \text{ mm}$

2. F_c' $= 35 \text{ MPa} \rightarrow 350 \text{ kg/m}^2$

3. F_y $= 390 \text{ MPa} \rightarrow 3900 \text{ kg/m}^2$

4. Tebal selimut beton $= p = 20 \text{ mm}$

5. $\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{290} = 0.006$

6. Diameter Tulangan arah X $= S10 \rightarrow 10 \text{ mm}$

Tinggi efektif arah x

$$\begin{aligned} dx &= h - p - \frac{1}{2}dx \\ &= 150 - 20 - \frac{1}{2}10 \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

7. Diameter Tulangan arah Y $= S10 \rightarrow 10 \text{ mm}$

Tinggi efektif arah y

$$\begin{aligned} dx &= h - p - D_y - \frac{1}{2}dx \\ &= 150 - 20 - 10 - \frac{1}{2}10 \\ &= 115 \text{ mm} \end{aligned}$$

f. Gaya dalam pelat lantai

- M Max akibat M11 Max $= 8.506 \text{ KN/m}$

- M Min akibat M11 Min $= -14.954 \text{ KN/m}$

- M Max akibat M22 Max $= 6.57 \text{ KN/m}$

- M Min akibat M22 Min $= -11.916 \text{ KN}$

g. Lendutan pada pelat lantai

1. Lendutan Arah Sumbu 1

- M11 Max akibat DL = 1.847 KN/m
- M11 Min akibat DL = -3.331 KN/m
- M11 MAX akibat SIDL = 0.99 KN/m
- M11 Min akibat SIDL = -1.741 KN/m
- M11 Max akibat LL = 3.162 KN/m
- M11 Min akibat LL = -5.538 KN/m

2. Lendutan Arah Sumbu 2

- M22 Max akibat DL = 1.49 KN/m
- M22 Min akibat DL = -2.725 KN/m
- M22 Max akibat SIDL = 0.76 KN/m
- M22 Min akibat SIDL = -1.373 KN/m
- M22 Max akibat LL = 2.427 KN/m
- M22 Min akibat LL = -4.368 KN/m

6.2 Pelat Lantai SRPMK

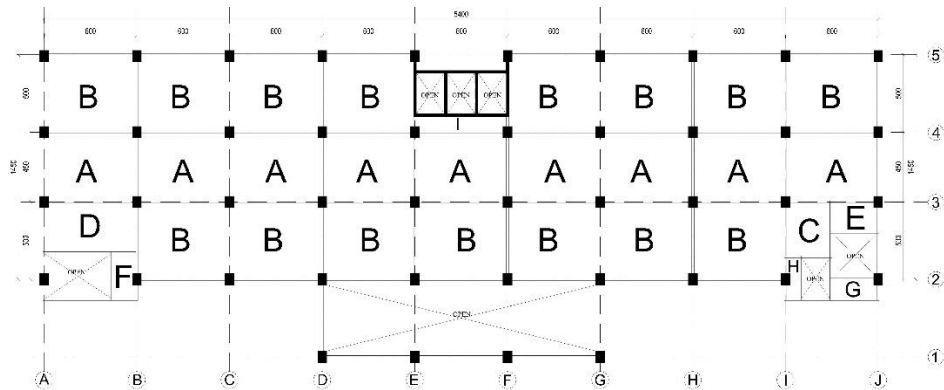
Data perencanaan penulangan pelat lantai SRPMK:

- a. Mutu beton (f_c') = 35 MPa
- b. Mutu baja tulangan = 390 MPa
- c. Tebal pelat lantai = 15 cm = 150 mm
- d. Tebal selimut beton = 20 mm

6.2.1. Pedoman perhitungan Pelat Lantai

Dalam perencanaan pelat lantai, pedoman yang dipakai adalah:

- a. SNI 1727:2020. Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.
- b. SNI 2847:2019. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan.
- c. SNI 2052:2017. Baja tulangan beton.



Gambar 4.2: Denah Pelat Lantai.

6.2.2. Perhitungan pelat Lantai

a. Data Teknis Pelat Lantai Rencana

1. Material Beton:

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Berat per unit volume} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

(SNI 1727:2020, Tabel C3.1-2)

$$\text{Modulus elastisitas} = 27.805,2 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{35} = 27.805,2 \text{ MPa}$$

(SNI-03-2847:2019, pasal 19.2.2.1, hal 456)

2. Material Tulangan:

$$\text{BJTP 280 dengan } f_u = 390 \text{ MPa}$$

$$f_y = 390 \text{ MPa}$$

$$\text{Berat per unit volume} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

(SNI 1727:2020, Tabel C3.1-2)

$$\text{Modulus elastisitas} = 200000 \text{ MPa}$$

(SNI-03-2847:2019, pasal 20.2.2.2, hal 469)

b. Menentukan Syarat-syarat Batas dan Bentang Pelat Lantai

Penulangan Pelat model I-2

1. Pelat $L_x = 600 \text{ cm}$, $L_y = 450 \text{ cm}$ dengan Kode A

2. Pelat $L_x = 600$ cm, $L_y = 500$ cm dengan Kode B
3. Pelat $L_x = 300$ cm, $L_y = 350$ cm dengan Kode C
4. Pelat $L_x = 600$ cm, $L_y = 330$ cm dengan Kode D
5. Pelat $L_x = 300$ cm, $L_y = 200$ cm dengan Kode E
6. Pelat $L_x = 160$ cm, $L_y = 300$ cm dengan Kode F
7. Pelat $L_x = 300$ cm, $L_y = 130$ cm dengan Kode G
8. Pelat $L_x = 100$ cm, $L_y = 275$ cm dengan Kode H
9. Pelat $L_x = 600$ cm, $L_y = 100$ cm dengan Kode I

Keterangan: Sisi Bentang Pendek (L_x)

Sisi Bentang Panjang (L_y)

$$\beta A = \frac{L_x}{L_y} = \frac{600}{450} = 1.33 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta B = \frac{L_x}{L_y} = \frac{600}{500} = 1.2 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta C = \frac{L_x}{L_y} = \frac{300}{350} = 0.86 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta D = \frac{L_x}{L_y} = \frac{600}{330} = 1.81 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta E = \frac{L_x}{L_y} = \frac{300}{200} = 1.5 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta F = \frac{L_x}{L_y} = \frac{160}{300} = 0.53 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta G = \frac{L_x}{L_y} = \frac{300}{130} = 2.31 > 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta H = \frac{L_x}{L_y} = \frac{100}{275} = 0.36 < 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

$$\beta I = \frac{L_x}{L_y} = \frac{600}{100} = 600 > 2 \rightarrow \text{menggunkan pelat lantai dua arah}$$

c. Data Beban yang bekerja Pada Pelat

1. Beban Mati

- a. Berat jenis beton bertulang = 2400 kg/m^3
- b. Berat jenis baja = 7850 kg/m^3
- c. Berat jenis lapisan lantai = 1800 kg/m^3
- d. Penutup lantai ubin = 24 kg/m^2
- e. Tebal lapisan lantai = 3 cm
- f. Berat plafond dan penggantung = 18 kg/m

(SNI 1727:2020, Tabel C3.1-1)

2. Beban Hidup

- a. Bangunan Rusun $= 250 \text{ kg/m}^2$
(SNI 1727:2020, Tabel 4.3-1)

d. Pembebanan pada pelat

1. Beban Mati (W_D)

- a. Berat pelat lantai $= 2400 \times 0.15 = 360 \text{ kg/m}^2$
b. Berat space lantai $= 0.03 \times 1800 = 54 \text{ kg/m}^2$
c. Penutup lantai $= 24 \text{ kg/m}^2$
d. Berat plafond $= 18 \text{ kg/m}^2$
e. Total pembebanan $= 456 \text{ kg/m}^2$

2. Beban Hidup (W_L)

- a. Beban hidup $= 250 \text{ kg/m}^2$

3. Kombinasi Pembebanan

$$W_u = 1.2 W_D + 1.6 W_L$$
$$= 1.2 (456) + 1.6 (250) = 947,2 \text{ kg/m}^2 \rightarrow 9.30 \text{ kg/m}^2$$

e. Perhitungan Penluangan Pelat

1. Tebal Pelat (h) $= 15 \text{ cm} \rightarrow 150 \text{ mm}$
2. F_c' $= 35 \text{ MPa} \rightarrow 350 \text{ kg/m}^2$
3. F_y $= 390 \text{ MPa} \rightarrow 3900 \text{ kg/m}^2$
4. Tebal selimut beton $= p = 20 \text{ mm}$
5. $\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{290} = 0.006$
6. Diameter Tulangan arah X $= S10 \rightarrow 10 \text{ mm}$

Tinggi evektif arah x

$$d_x = h - p - \frac{1}{2}d_x$$
$$= 150 - 20 - \frac{1}{2}10$$
$$= 125 \text{ mm}$$

7. Diameter Tulangan arah Y $= S10 \rightarrow 10 \text{ mm}$

Tinggi evektif arah y

$$d_x = h - p - D_y - \frac{1}{2}d_x$$
$$= 150 - 20 - 10 - \frac{1}{2}10$$
$$= 115 \text{ mm}$$

- f. Gaya dalam pelat lantai
- M Max akibat M11 Max = 8.506 KN/m
 - M Min akibat M11 Min = -14.954 KN/m
 - M Max akibat M22 Max = 6.57 KN/m
 - M Min akibat M22 Min = -11.916 KN/m

g. Lendutan pada pelat lantai

1. Lendutan Arah Sumbu 1

- M11 Max akibat DL = 1.847 KN/m
- M11 Min akibat DL = -3.331 KN/m
- M11 MAX akibat SIDL = 0.99 KN/m
- M11 Min akibat SIDL = -1.741 KN/m
- M11 Max akibat LL = 3.162 KN/m
- M11 Min akibat LL = -5.538 KN/m

2. Lendutan Arah Sumbu 2

- M22 Max akibat DL = 1.49 KN/m
- M22 Min akibat DL = -2.725 KN/m
- M22 Max akibat SIDL = 0.76 KN/m
- M22 Min akibat SIDL = -1.373 KN/m
- M22 Max akibat LL = 2.427 KN/m
- M22 Min akibat LL = -4.368 KN/m

7. Perencanaan dimensi Dinding Geser (*Shearwall*)

7.1 Analisis dan Desain Penulangan Dinding Geser

Struktur dinding geser pada direncanakan dengan menggunakan material beton bertulang dengan mutu beton $f'_c = 35$ Mpa dan mutu tulangan $f_y = 390$ Mpa.

Tabel 4. 20: Analisa Gaya Dalam Dinding Geser.

Tebal (cm)	S11(+) Kg/cm ²	S11(-) Kg/cm ²	S22(+) Kg/cm ²	S22(-) Kg/cm ²
25	46.59	46.4	69.87	71.07

- a. Tegangan aksial tarik ditahan sepenuhnya oleh tulangan

$$A_s = \frac{p}{\phi x f_y} \text{ dimana } \phi \text{ tarik} = 0.8$$

Tulangan Arah S11

$$\begin{aligned} A_s \text{ S11(+)} &= 46.59 \text{ kg/cm}^2 \times (25 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}) / (0.8 \times 4000 \text{ kg/cm}^2) \\ &= 0.3641 \text{ cm}^2/\text{cm} = 3641 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D13-150 (AS = 885 mm²)

Tulangan Arah S22

$$\begin{aligned} A_s \text{ S22(+)} &= 69.87 \text{ kg/cm}^2 \times (25 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}) / (0.8 \times 4000 \text{ kg/cm}^2) \\ &= 0.5458 \text{ cm}^2/\text{cm} = 5458 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D13-150 (AS = 885 mm²)

- b. Tegangan aksial tekan ditahan oleh kuat tekan nominal beton dan sisanya didukung oleh tulangan

$$A_s = \frac{(p - (\phi \times f'_c)) \times (Ac)}{\phi x f_y} \text{ dimana } \phi \text{ tekan} = 0.6$$

Tulangan Arah S11

$$A_s \text{ S11(-)} < 0.6 \times f'_c$$

$$46.4 \text{ kg/cm}^2 < 0.6 \times 350 \text{ kg/cm}^2 = 210 \text{ kg/cm}^2$$

Beton dianggap masih kuat menahan tegangan tekan arah S11 maka dipasang tulangan praktis sebagai berikut:

Tulangan Arah S11

$$\begin{aligned} A_s \text{ S11(-)} &= 46.4 \text{ kg/cm}^2 \times (25 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}) / (0.8 \times 4000 \text{ kg/cm}^2) \\ &= 0.3625 \text{ cm}^2/\text{cm} = 3625 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D13-150 (AS = 885 mm²)

Tulangan Arah S22:

$$A_s \text{ S22(-)} < 0.6 \times f'_c$$

$$71.07 \text{ kg/cm}^2 < 0.6 \times 350 \text{ kg/cm}^2 = 210 \text{ kg/cm}^2$$

Beton dianggap masih kuat menahan tegangan tekan arah S22 maka dipasang tulangan praktis sebagai berikut:

Tulangan Arah S22

$$\begin{aligned} \text{As-S22(-)} &= 71.07 \text{ kg/cm}^2 \times (25 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}) / (0.8 \times 4000 \text{ kg/cm}^2) \\ &= 0.5553 \text{ cm}^2/\text{cm} = 5553 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan D13-150 (AS = 885 mm²)

8. Desain Dinding Penahan Tanah (*Retaining wall*)

Dinding penahan tanah pada proyek ini berfungsi sebagai dinding *basement* yang menahan tekanan tanah lateral dan beban lain di sekelilingnya. Perencanaan ini bertujuan untuk mendapatkan struktur dinding yang aman terhadap guling, geser, dan keruntuhan kapasitas dukung tanah, serta merancang penulangan beton yang memadai sesuai SNI 2847:2019. Dinding ini direncanakan setinggi 3 lantai *basement* dengan total kedalaman 9 meter dari muka tanah.

a. Teori Rankine

Tekanan lateral aktif adalah gaya tekan yang diberikan oleh massa tanah ke arah horizontal pada struktur penahan tanah (seperti dinding penahan), ketika tanah mengalami kondisi lepas (tanah "meluncur" karena dinding menjauh dari tanah). Berikut adalah rumus untuk tekanan lateral aktif dan tekanan lateral pasif:

$$E_a = \frac{1}{2} H^2 \times \gamma \times K_a - 2 \times c \times \sqrt{K_a} \times H$$

Dimana:

E_a = Total gaya tekanan aktif (kN/m)

γ = Berat isi tanah (kN/m³)

H = Tinggi dinding penahan tanah (m)

K_a = Koefisien tekanan tanah aktif

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$E_p = \frac{1}{2} H^2 \times \gamma \times K_p + 2 \times c \times \sqrt{K_p} \times H$$

Dimana:

E_p = Total gaya tekanan aktif (kN/m)

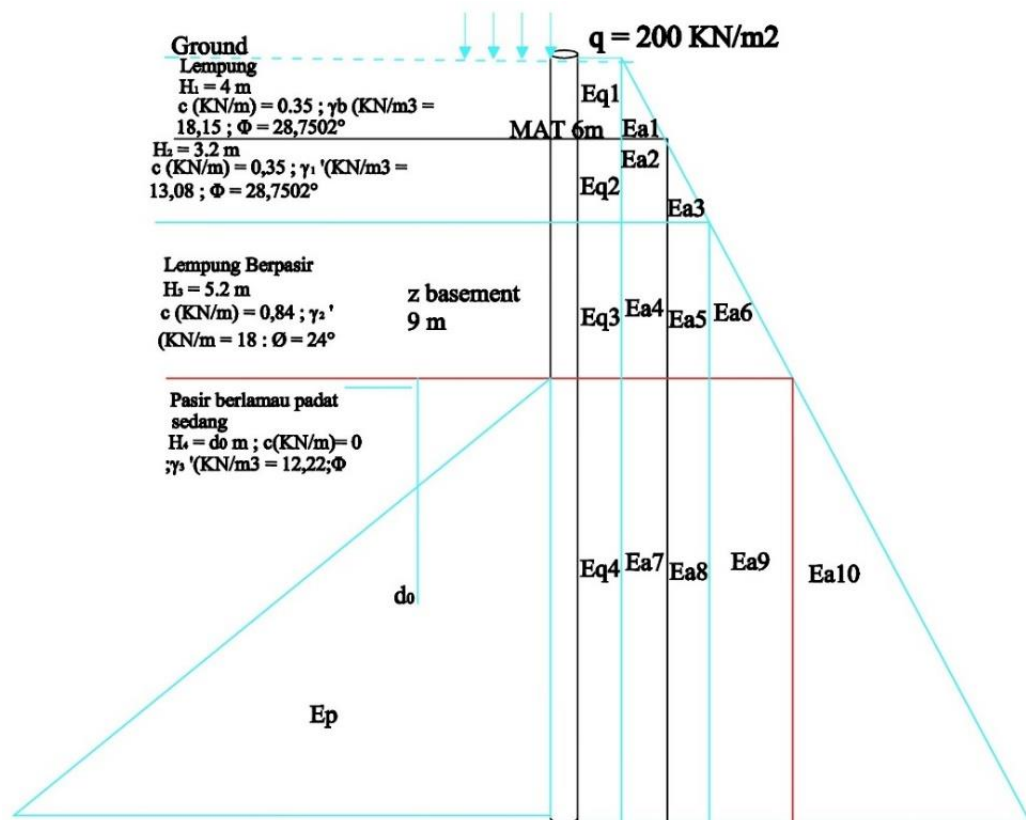
γ = Berat isi tanah (kN/m²)

H = Tinggi dinding penahan tanah (m)

K_p = Koefisien tekanan tanah pasif

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

Untuk mengelola tekanan tanah akibat galian dalam, Gambar 4.3 menampilkan desain DPT. Desain ini penting untuk menstabilkan tanah di sekitar struktur Gedung.



Gambar 4. 1: Desain Rencana dinding Penahan Tanah

Untuk memahami karakteristik tanah di lokasi proyek, Tabel 4.16 menyajikan parameter tanah hasil uji laboratorium berdasarkan gambar 4.1. Data ini digunakan sebagai dasar perhitungan dan desain teknis.

Tabel 4. 21: Parameter Tanah

Notasi	Nilai	Satuan
$q=$	200	kN/m ²
$\varphi_1=$	28,7502	°
$\varphi_2=$	20	°
$\varphi_3=$	28,7	°
H1=	4	m
H2=	3,2	m
H3=	5,2	m
H4=	d0	m

Berdasarkan teori Rankine dan parameter tanah yang telah diperoleh, Koefisien tanah aktif dan koefisien tanah aktif dapat dihitung dengan mempertimbangkan sudut geser dalam tanah (ϕ), yang kemudian akan digunakan dalam perhitungan gaya lateral, berikut adalah perhitungan nilai koefisien tekanan tanah aktif (K_a) dan koefisien tekanan tanah pasif (K_p).

Perhitungan koefisien tanah aktif:

$$\begin{aligned}
 K_{a1} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_1}{2} \right) \\
 &= \tan^2 \left(45 - \frac{28,7502}{2} \right) \\
 &= 0,352
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_{a2} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_2}{2} \right) \\
 &= \tan^2 \left(45 - \frac{20}{2} \right) \\
 &= 0,490
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_{a3} &= \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_3}{2} \right) \\
 &= \tan^2 \left(45 - \frac{28,7}{2} \right) \\
 &= 0,351
 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien tanah pasif:

$$K_p = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_3}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45 - \frac{28,7}{2} \right)$$

$$= 0,351$$

b. Tekanan Akibat Beban *Surcharge*

Beban *surcharge* adalah beban timbunan yang diletakkan di atas tanah lunak. Beban ini dapat menyebabkan penurunan tanah. Beban *surcharge* ini merepresentasikan tekanan tambahan yang diaplikasikan pada permukaan tanah di belakang dinding, yang kemudian akan diubah menjadi tekanan lateral menggunakan metode rankine.

Berdasarkan gambarr 4.3, diketahui nilai $q = 200 \text{ kN/m}^2$

Gaya 1-2

$$E_{q1} = q \times H_1 \times K_{a1}$$

$$= 200 \times 4 \times 0,352$$

$$= 281,6$$

$$E_{q2} = q \times H_2 \times K_{a1}$$

$$= 200 \times 3,2 \times 0,352$$

$$= 225,28$$

Lengan 1-2

$$L_{1-2} = \left(\left(\frac{1}{2} \times 5,4 \right) + 4,6 + d_0 \right)$$

$$= 7,3 + d_0$$

Momen 1-2

$$1728,2 + 281,6 d_0$$

$$1382,54 + 225,28 d_0$$

Gaya 3

$$E_{q3} = q \times H_3 \times K_{a2}$$

$$= 200 \times 5,2 \times 0,490$$

$$= 509,6$$

Lengan 3

$$L_3 = \left(\left(\frac{1}{2} \times 4,6 \right) + d_0 \right)$$

$$2,3 + d_0$$

Momen 3

$$1037,46 + 509,6 d_0$$

Gaya 4

$$\begin{aligned} E_{q4} &= q \times H_4 \times K_{a3} \\ &= 200 \times 4,6 \times 0,351 \\ &= 322,92 d_0 \end{aligned}$$

Lengan 4

$$L_4 = \left(\frac{1}{2} \times d_0 \right)$$

$$0,6 d_0$$

Momen 4

$$34,28 d_0^2$$

c. Tekanan Lateral Aktif

Setelah menentukan koefisien tanah aktif, perhitungan tekanan lateral aktif dapat dilakukan. Pada bagian ini akan menguraikan bagaimana gaya lateral yang bekerja pada Dinding Penahan Tanah (DPT) dihitung pada berbagai kedalaman.

Diketahui:

$$K_{a1} = 0,352$$

$$K_{a2} = 0,490$$

$$K_{a3} = 0,351$$

$$\varphi_1 = 28,7502^\circ$$

$$\varphi_2 = 20^\circ$$

$$\varphi_3 = 28,7^\circ$$

$$H_1 = 4 \text{ m}$$

$$H_2 = 3,2 \text{ m}$$

$$H_3 = 5,2 \text{ m}$$

$$H_4 = d_0 \text{ m}$$

$$\gamma_b = 18,17 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_1' = 12,05 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_2' = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_3' = 11,19 \text{ kN/m}^3$$

$$c_1 = 0,38 \text{ kN/m}^2$$

$$c_2 = 0,86 \text{ kN/m}^2$$

Gaya 1:

$$\begin{aligned} E_{a1} &= \frac{1}{2} \times H_1^2 \times \gamma_b \times K_{a1} - 2 \times c_1 \times \sqrt{K_{a1}} \times H_1 \\ &= \frac{1}{2} \times 4^2 \times 18,17 \times 0,352 - 2 \times 0,38 \times \sqrt{0,352} \times 4 \\ &= 49,37 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 1:

$$\begin{aligned} L_1 &= \left(\left(\frac{1}{3} \times 5,4 \right) + 4,6 + d_0 \right) \\ &= 6,4 + d_0 \end{aligned}$$

Momen 1:

$$175,55 + 49,37 d_0$$

Gaya 2:

$$\begin{aligned} E_{a2} &= H_2 \times H_1 \times \gamma_b \times K_{a1} - 2 \times c_1 \times \sqrt{K_{a1}} \times H_2 \\ &= 3,2 \times 4 \times 18,17 \times 0,352 - 2 \times 0,38 \times \sqrt{0,352} \times 3,2 \\ &= 80,43 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 2:

$$\begin{aligned} L_2 &= \left(\left(\frac{1}{2} \times 2,4 \right) + 4,6 + d_0 \right) \\ &= 5,8 + d_0 \end{aligned}$$

Momen 2:

$$291,47 + 80,43 d_0$$

Gaya 3:

$$\begin{aligned} E_{a3} &= \frac{1}{2} \times H_2^2 \times \gamma_1' \times K_{a1} - 2 \times c_1 \times \sqrt{K_{a1}} \times H_2 \\ &= \frac{1}{2} \times 3,2^2 \times 12,05 \times 0,352 - 2 \times 0,38 \times \sqrt{0,352} \times 3,2 \\ &= 17,65 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 3:

$$\begin{aligned} L_3 &= \left(\left(\frac{1}{3} \times 2,4 \right) + 4,6 + d_0 \right) \\ &= 5,4 + d_0 \end{aligned}$$

Momen 3:

$$43,84 + 17,65 d_0$$

Gaya 4:

$$\begin{aligned} E_{a4} &= H_3 \times H_1 \times \gamma_b \times K_{a2} - 2 \times c_2 \times \sqrt{K_{a2}} \times H_3 \\ &= 5,2 \times 4 \times 18,17 \times 0,490 - 2 \times 0,86 \times \sqrt{0,490} \times 5,2 \\ &= 178,93 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 4:

$$\begin{aligned} L_4 &= \left(\left(\frac{1}{2} \times 4,6 \right) + d_0 \right) \\ &= 2,3 + d_0 \end{aligned}$$

Momen 4:

$$240,07 + 178,93 d_0$$

Gaya 5:

$$\begin{aligned} E_{a5} &= H_3 \times H_2 \times \gamma_1' \times K_{a2} - 2 \times c_2 \times \sqrt{K_{a2}} \times H_3 \\ &= 5,2 \times 3,4 \times 12,05 \times 0,490 - 2 \times 0,86 \times \sqrt{0,490} \times 5,2 \\ &= 98,13 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 5:

$$\begin{aligned} L_5 &= \left(\left(\frac{1}{2} \times 4,6 \right) + d_0 \right) \\ &= 2,3 + d_0 \end{aligned}$$

Momen 5:

$$88,66 + 98,13 d_0$$

Gaya 6:

$$\begin{aligned} E_{a6} &= \frac{1}{2} \times H_3^2 \times \gamma_2' \times K_{a2} - 2 \times c_2 \times \sqrt{K_{a2}} \times H_3 \\ &= \frac{1}{2} \times 5,2^2 \times 19 \times 0,490 - 2 \times 0,86 \times \sqrt{0,490} \times 5,2 \end{aligned}$$

$$= 119,61$$

Lengan Gaya 6:

$$\begin{aligned} L_6 &= \left(\left(\frac{1}{3} \times 4,6 \right) + d_0 \right) \\ &= 1,53 + d_0 \end{aligned}$$

Momen 6:

$$135,17 + 119,61 d_0$$

Gaya 7:

$$\begin{aligned} E_{a7} &= H_4 \times H_1 \times \gamma_b \times K_{a3} \\ &= d_0 \times 4 \times 18,17 \times 0,351 \\ &= 25,51 d_0 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 7:

$$\begin{aligned} L_7 &= \left(\frac{1}{2} + d_0 \right) \\ &= 0,5 d_0 \end{aligned}$$

Momen 7:

$$12,75 d_0^2$$

Gaya 8:

$$\begin{aligned} E_{a8} &= H_4 \times H_2 \times \gamma_1' \times K_{a3} \\ &= d_0 \times 3,2 \times 12,05 \times 0,351 \\ &= 13,54 d_0 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 8:

$$\begin{aligned} L_8 &= \left(\frac{1}{2} + d_0 \right) \\ &= 0,5 d_0 \end{aligned}$$

Momen 8:

$$6,77 d_0^2$$

Gaya 9:

$$\begin{aligned} E_{a9} &= H_4 \times H_2 \times \gamma_2' \times K_{a3} \\ &= d_0 \times 3,2 \times 19 \times 0,351 \\ &= 21,34 d_0 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 9:

$$\begin{aligned} L_9 &= \left(\frac{1}{2} + d_0\right) \\ &= 0,5 d_0 \end{aligned}$$

Momen 9:

$$10,67 d_0^2$$

Gaya 10:

$$\begin{aligned} E_{a10} &= \frac{1}{2} \times H_4^2 \times \gamma_3' \times K_{a3} \\ &= \frac{1}{2} \times d_0^2 \times 11,19 \times 0,351 \\ &= 1,97 d_0^2 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 10:

$$\begin{aligned} L_{10} &= \left(\frac{1}{2} + d_0\right) \\ &= 0,5 d_0 \end{aligned}$$

Momen 10:

$$0,98 d_0^3$$

Maka:

Persamaan total momen tanah aktif =

$$0,98 d_0^3 + 51,83 d_0^2 + 1189,94 d_0 + 5034,3$$

d. Tekanan Lateral Pasif

Setelah menentukan koefisien tanah pasif, perhitungan tekanan lateral pasif dapat dilakukan. Pada bagian ini akan menguraikan bagaimana gaya lateral yang bekerja pada Dinding Penahan Tanah (DPT) dihitung pada berbagai kedalaman.

Diketahui:

$$H_4 = d_0 \text{ m}$$

$$\varphi_3 = 28,7^\circ$$

$$\gamma_3' = 11,19 \text{ kN/m}^3$$

$$K_p = 2,58$$

Gaya 1:

$$\begin{aligned} E_p &= \frac{1}{2} \times H_4^2 \times \gamma_3' \times K_p \\ &= 0,5 \times d_0^2 \times 11,19 \times 2,58 \\ &= 14,43 d_0^2 \end{aligned}$$

Lengan Gaya 1:

$$\begin{aligned} L_{10} &= \left(\frac{1}{2} + d_0 \right) \\ &= 0,5 d_0 \end{aligned}$$

Momen 1:

$$7,21 d_0^3$$

Maka:

Nilai total momen tanah pasif =

$$7,21 d_0^3$$

e. Aanalisi Kedalaman Tiang Pada Dasa Basement

Perhitungan ini bertujuan untuk memastikan bahwa tiang memiliki panjang yang cukup untuk mencapai lapisan tanah pendukung yang memadai, sehingga mampu menahan beban aksial, gaya lateral, serta gaya angkat, serta dapat membatasi penurunan yang terjadi.

Kedalaman tiang dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\sum M d_0 = 0.$$

$$M_a + M_p = 0$$

$$0,84 d_0^3 + 51,83 d_0^2 + 1189,94 d_0 + 5034,3 + (-6,45 d_0^3) = 0$$

$$0,84 d_0^3 + 51,83 d_0^2 + 1189,94 d_0 + 5034,3 + (-6,45 d_0^3) = 0$$

$$-5,61 d_0^3 + 51,83 d_0^2 + 1189,94 d_0 + 5034,3 = 0$$

$$d_0 = 21,23 \text{ m}$$

Nilai d_0 sudah didapatkan, dimasukkan nilai d_0 ke persamaan total momen tanah aktif =

$$M_a = 0,84 d_0^3 + 51,83 d_0^2 + 1189,94 d_0 + 5034,3$$

$$M_a = 0,84 \times 21,23^3 + 51,83 \times 21,23^2 + 1189,94 \times 21,23 + 5034,3$$

$$M_a = 61694 \text{ kN.m}$$

$$M_a = 6289 \text{ Ton.m}$$

Maka nilai total momen aktif = 6289 Ton.m

Nilai d_0 sudah didapatkan, dimasukkan nilai d_0 ke persamaan total momen tanah pasif =

$$M_p = 6,45 d_0^3$$

$$M_p = 6,45 \times 21,23^3$$

$$M_p = 61717 \text{ kN.m}$$

$$M_p = 6291,3 \text{ Ton.m}$$

Maka nilai total momen pasif = 6291,3 Ton.m

f. Pengecekan Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Untuk menentukan efektivitas pondasi tiang pada struktur besmen, ada dua dimensi utama. Pertama panjang tiang yang tertanam di bawah dasar besmen, ini penting untuk penyaluran beban. Kedua, panjang tiang keseluruhan dari permukaan tanah hingga ujung tiang, dengan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui:

$$H_1 = 4 \text{ m}$$

$$H_2 = 3,2 \text{ m}$$

$$H_3 = 5,2 \text{ m}$$

$$d_0 = 25,29 \text{ m}$$

$$SF = 2$$

$$\begin{aligned} D &= SF \times d_0 \\ &= 2 \times 25,29 \\ &= 25,48 \text{ m} \end{aligned}$$

Panjang pile keseluruhan:

$$\begin{aligned} L &= H_1 + H_2 + H_3 + D \\ &= 4 + 3,2 + 5,2 + 50,58 \\ &= 62,98 \text{ m} \end{aligned}$$

$$SF = \frac{\Sigma M_p}{\Sigma M_a}$$

$$SF = \frac{61717}{61694}$$

$$SF = \frac{61717}{61694}$$

$$SF = 1,00$$

$$SF = 1,00 < 2 \text{ (Tidak aman terhadap guling)}$$

SNI 8460:2017 pasal 10.2.5.3

Setiap dinding penahan tanah harus diperiksa stabilitasnya terhadap guling, geser lateral, dan daya dukung.

Faktor keamanan yang disyaratkan adalah sebagai berikut:

- a) Faktor keamanan terhadap guling minimum 2;
- b) Faktor keamanan terhadap geser lateral minimum 1,5;
- c) Faktor keamanan terhadap daya dukung minimum 3;
- d) Faktor keamanan terhadap stabilitas global minimum 1,5;
- e) Faktor keamanan terhadap gempa minimum 1,1.

9. Perbandingan Volume Beton Sistem Ganda dan SRPMK

Salah satu tolak ukur efisiensi dalam perencanaan struktur, volume material yang digunakan, khususnya beton, berpengaruh secara langsung terhadap biaya konstruksi proyek. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan estimasi volume beton yang dibutuhkan untuk masing-masing model struktur, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Ganda, untuk mendapatkan gambaran mengenai efisiensi material dari kedua sistem tersebut. Hasil perbandingan volume beton disajikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4. 22 : Volume Beton Sistem Ganda dan SRPMK.

NO	Jenis Item	Sistem Ganda		SRPMK	
		Berat	Voume	Berat	Volume
		KN		KN	
1	Kolom uk. 100 x 100 cm	16320	680	16320	680
2	Kolom uk. 80 x 80 cm	12288	512	12288	512
3	Kolom uk. 60 x 60 cm	7610.11	317.088	7610.11	317.088
4	Balok uk. 85 x 45 cm	43921.7	1830.07	45480.5	1895.02
5	Balok uk. 70 x 40 cm	16027.5	667.814	16209	675.374
6	Plat Lantai	37341.7	1555.91	36250.9	1510.46
7	Plat Lantai Atap	1266.6	52.775	1821	75.875
8	Dinding Geser	9494.52	395.605	0	0
Jumlah Volume Beton			6011.26		5665.81

Keterangan:

Menunjukkan Secara keseluruhan, Sistem Ganda membutuhkan volume beton yang lebih banyak dibandingkan dengan SRPMK. Meskipun SRPMK mungkin membutuhkan balok yang sedikit lebih besar, penambahan dinding geser pada Sistem Ganda membuat kebutuhan betonnya lebih tinggi secara total. Informasi ini menjadi salah satu pertimbangan penting dalam memilih sistem struktur yang paling efisien secara ekonomi.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Perbandingan Respons Struktural dan Kebutuhan Penulangan Sesuai tujuan penelitian, perbandingan antara Sistem Ganda ($R=7$) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK, $R=8$) menunjukkan perbedaan fundamental dalam respons seismik dan kebutuhan material.
 - a. Gaya Geser Dasar: Model SRPMK menghasilkan gaya geser dasar (V) yang lebih rendah dibandingkan Sistem Ganda, yang disebabkan oleh faktor modifikasi respons (R) yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan SRPMK dirancang untuk memiliki daktilitas yang lebih tinggi dalam menahan beban gempa.
 - b. Kebutuhan Tulangan: Perbedaan gaya dalam berdampak langsung pada kebutuhan tulangan. Sebagai contoh, pada elemen Balok Induk B1-6 (450 x 850 mm), luas tulangan tumpuan atas yang dibutuhkan (A_s perlu) pada model Sistem Ganda adalah 6100.11 mm², sedangkan pada model SRPMK hanya 3355.26 mm². Ini menunjukkan SRPMK menghasilkan desain yang lebih efisien dalam penggunaan baja tulangan untuk elemen lentur.
2. Efisiensi Volume Beton dan Implikasi Ekonomi Analisis volume material menunjukkan bahwa model SRPMK secara kuantitatif lebih ekonomis. Total volume beton yang dibutuhkan untuk struktur dengan sistem SRPMK adalah 5665.81 m³, sementara Sistem Ganda memerlukan 6011.26 m³. Terdapat penghematan volume beton sebesar 345.45 m³ (sekitar 5.7%). Penghematan ini terutama bersumber dari eliminasi elemen dinding geser (*shear wall*) pada model SRPMK, yang secara langsung berimplikasi pada pengurangan biaya material dan potensi percepatan waktu konstruksi.

5.2 SARAN

1. Analisis Alternatif Pondasi: Penelitian ini berfokus pada penggunaan pondasi tiang pancang (*spun pile*). Untuk pengembangan selanjutnya, dapat dilakukan studi komparasi dengan menggunakan alternatif sistem pondasi lain seperti pondasi rakit (*raft foundation*) atau pondasi *bored pile* untuk mengetahui sistem pondasi mana yang paling efektif dan ekonomis untuk kondisi tanah lunak di lokasi studi.
2. Analisis Kinerja dengan Metode Non-Linear: Analisis yang dilakukan dalam skripsi ini adalah analisis spektrum respons ragam (dinamik linear). Disarankan untuk penelitian selanjutnya agar melakukan analisis yang lebih mendalam seperti analisis riwayat waktu non-linear (*nonlinear time history analysis*) untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat mengenai perilaku inelastis dan daktilitas struktur saat menerima beban gempa rencana.
3. Kajian Optimasi Dimensi: Meskipun dimensi yang direncanakan sudah memenuhi syarat, masih ada ruang untuk melakukan optimasi. Penelitian lanjutan dapat berfokus pada optimasi dimensi elemen struktur untuk mendapatkan desain yang paling ekonomis tanpa mengurangi tingkat keamanan dan kinerja struktur.
4. Studi lanjutan: Melakukan studi komparatif lebih mendalam antara SRPMK dengan sistem struktur lain (misalnya, SRPMM atau dinding geser) untuk melihat pengaruhnya terhadap biaya, waktu konstruksi, dan kinerja struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Almufid, A., dan Santoso, E. 2021. Struktur SRPMK Dan SRPMM Pada Bangunan Tinggi (*Structure of SRMK and SRMM on High Building*). Jurnal Teknik. Vol 10 No.1. Tangerang.
- Batara, I., dkk. 2019. Perbandingan Perencanaan Gedung Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah Studi Kasus: Gedung Grand UMI Tower. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil, Vol.1 No.4:439-449. Makassar.
- Fitrah, R. A., & Melinda, A. P. (2020). Studi Komparasi *Detailing* Desain Komponen Lentur Struktur Beton Bertulang SRPMK dan SRPMM. *Jurnal umsb Rang Teknik Journal* (Vol.I No.2 Juni 2020).
- Frinsilia Jaglien Liando Servie O. Dapas, S. E. (2020). Perencanaan struktur beton bertulang gedung kuliah 5 lantai. Jurnal Sipil Statik Vol.8 No.4 Juli 2020 (471-482), 8, 471-482.
- Imran, I. dan Hendrik, F. (2021) Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa. Bandung: ITB.
- I Made Andi Setiawan, I. W. (2022). Analisis efektivitas biaya dalam pemilihan pondasi Bore Pile atau Pondasi Rakit pada struktur gedung. 251-280.
- Liando, F. J. (2020). Perencanaan struktur beton bertulang. *Jurnal Sipil Statik Vol.8 No.4 Juli 2020 (471-482)*, 8, 471-482.
- Mochamad Solikin, R. P. (2023). Perbandingan evaluasi kinerja bangunan gedung tahan gempa yang didesain dengan metode SRPMM & SRPMK berdasarkan SNI 1726:2019. *Simposium Nasional RAPI XXII – 2023 FT UMS*, 8-20.
- Ohorella, F. Z. I., Mushthofa, M., dan Saputra, E. 2023. Perbandingan respon seismik struktur atas gedung simetris dua arah berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 (Studi kasus: Gedung Kuliah Bersama Politeknik Cilacap). In *Proceeding Civil Engineering Research Forum*. Vol.2 No.2. Yogyakarta.
- Peraturan Standar nasional sesuai SNI-1727-2020 tentang pembebanan.
- Peraturan Standar nasional sesuai SNI 2847-2019 tentang beton structural untuk bangunan gedung.
- Peraturan Standar nasional sesuai SNI 1726-2019 tentang gaya gempa yang terjadi pada struktur gedung.

Peraturan Standar nasional sesuai SNI 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik.

Simatupang, A. D. U. A. 2019. Analisis dan Desain Elemen Struktur Beton Bertulang pada Gedung yang Memiliki Kolom Miring dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). JRSDD, Edisi Juni 2019, Vol.7 No.2:255 – 268. Lampung.

Suriani, E. (2022). Kajian studi alternatif desain bangunan terhadap beban lateral pada bangunan tinggi. Jurusan Arsitektur, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, Jl. Ahmad Yani No.117 Kota Surabaya, 9, 35-48.

Tegar Fadillah, M. M. (2024). Perbandingan respon seismik Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa dan Menengah pada gedung simetris dua arah. *JCEBT, Vol 8 (No 1) Maret 2024, 8*, 163-175.

Wahyu Kumbari, H. F. (2021). Studi perencanaan dinding penahan tanah dengan metode pelaksanaan bottom up dan top down pada basement Rumah Sakit Ponorogo. Vol. 6, No. 2, November 2021, 6, 351-389.

Yuyun Tajunnisa, M. C. (2020). Perbandingan Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung Tahan Gempa antara Metode SRPMM dan SRPMK. Volume 12, Nomor 1, Pebruari 2020, 12, 1-16.



TUGAS AKHIR
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061) 6622400



LEMBAR ASISTENSI

NAMA : RYANDI ARDIANSYAH
NPM : 2107210031
FAKULTAS : TEKNIK SIPIL

NO	HARI/TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
		- Perbaiki Bab 1 * Permasalahan tidak jelas * Tujuan harus sesuai dgn masalah - Buat Bab 2 - Tinjauan pustaka - Buat Bab 3 - Metode penelitian - perbaiki Bab 2 : tambahkan referensi - perbaiki Bab 3 : lengkapi studi - perbaiki Daftar pustaka - perbaiki Bab 2 : sitasi salah - perbaiki Bab 3 : penulisan ringkas - perbaiki , judul tabel / Gbr - Dapt. pustaka pastika adek di ini harus!	27/10/24 19/11/24 15/11/24
		all with revision proposal	11/11/24

DOSEN PEMBIMBING

(Dr. ADE FAISAL, S.T., M.Sc., PhD Ph.D.)



TUGAS AKHIR
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3 Medan Telp. (061) 6622400



LEMBAR ASISTENSI

NAMA : RYANDI ARDIANSYAH
NPM : 2107210031
FAKULTAS : TEKNIK SIPIL

NO	HARI/TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
		- perbaiki metode penelitian	23/12/24
		- Cek gambar Gridi trans	✓
		- perbaiki tinjauan pustaka	01/01/25
		- lanjut ke pemodelan ETABS	✓
		- Cek model ETABS	10/02/25
		- perbaiki Bab 1, Bab 2, Bab 3	18/03/25
		- Cek hasil pemodelan ETABS	✓
		- Tambahkan Lanjutan	26/05/25
		- perbaiki model ETABS	✓
		- perbaiki Bab 3	27/06/25
		- Cek hasil analisis ETABS	✓
		- * Buat tabel & Grafik	02/07/25
		- perbaiki format penulisan	✓
		- perbaiki tabel & Grafik	01/08/25
		- Buat Bab 4	✓
		- perbaiki Bab 4, format penulisan	✓
		- Buat Daftar pustaka, lampiran	✓
		- perbaiki kesimpulan	✓
		- Daftar isi	01/08/25

all utk selesai
DOSEN PEMBIMBING
ade faisal
09/08/25

(Assoc. Prof. Ir. ADE FAISAL, S.T., M.Sc., Ph.D.)

LAMPIRAN

L.1. Sistem Struktur

Sistem dasar pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan pada Tabel 12 atau kombinasi sistem seperti 0, 0 dan 0, kecuali apabila sistem struktur tersebut termasuk dalam 0. Masing-masing sistem terbagi berdasarkan tipe elemen vertikal pemikul gaya seismik lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur, h_n , yang ditunjukkan pada Tabel 12. Koefisien modifikasi respons, R , faktor kuat lebih sistem Ω_0 , dan faktor pembesaran simpangan lateral, C_d , yang sesuai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 12 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat desain.

Elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik, termasuk komponen struktur dan sambungannya, harus memenuhi persyaratan pendetailan pada Tabel 12 untuk sistem struktur yang dipilih.

Dibawah ini tabel nilai perbandingan sistem ganda dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

Tabel L. 1. Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik.

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI'	TI'	TI'
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{q,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^a	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

L.2. Perbandingan Hasil Analisis Sistem Ganda Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Pada sub ini akan membahas dimensi struktur bawah gedung rusun 16 lantai menggunakan perbandingan sistem ganda dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) diatas tanah lunak (SE), yang terletak di kota Medan.

L.2.1. Analisis Respon Spektrum Ragam

Sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1, analisis ragam getar alami untuk struktur harus menyertakan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur dalam masing-masing arah horizontal, namun sebagai alternatif

diizinkan paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal.

Dimana kombinasi ragam model partisipasi massa ketiga model tersebut telah mencapai 100 persen (Sum UX dan Sum UY) pada mode ke 45, sehingga partisipasi massa telah memenuhi syarat. Berikut ini data ragam massa dan perioda alami struktur mode 1 - mode 3, menggunakan sistem ganda dengan koefisien modifikasi respons $R^a = 7$ dan SRMPK koefisien modifikasi respons pada $R^a = 8$, Tabel 3.1.

Tabel L. 2: Nilai perioda alami dan ragam massa struktur Sistem Ganda.

MODAL PARTICIPATING MASS RATIO					
Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY	RZ
Modal	1	1.797	0.0001	0.649	0.0001
Modal	2	1.713	0.1992	0.6491	0.502
Modal	3	1.509	0.658	0.6491	0.2109
Modal	4	0.611	0.6874	0.6493	0.0905
Modal	5	0.587	0.6874	0.8005	0.0001
Modal	6	0.488	0.8077	0.8005	0.0284
Modal	7	0.36	0.8218	0.8005	0.041
Modal	8	0.305	0.8218	0.8702	0.00000996
Modal	9	0.265	0.8405	0.8702	0.0257
Modal	10	0.244	0.8857	0.8702	0.0022
Modal	11	0.2	0.8862	0.8702	0.0209
Modal	12	0.19	0.8862	0.9102	0.00000208
Modal	13	0.169	0.9027	0.9102	0.0034
Modal	14	0.154	0.9198	0.9102	0.0113
Modal	15	0.142	0.9261	0.9102	0.0059
Modal	16	0.131	0.9261	0.9373	0
Modal	17	0.123	0.9264	0.9373	0.0102

Tabel L. 3: Nilai perioda alami dan ragam massa struktur SRPMK.

MODAL PARTICIPATING MASS RATIO					
Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY	RZ
Modal	1	1.51	0.0001	0.6617	0.0002
Modal	2	1.399	0.6705	0.6618	0.0089
Modal	3	1.328	0.6807	0.6619	0.6681
Modal	4	0.575	0.6807	0.8021	0.00001524
Modal	5	0.55	0.8042	0.8022	0.0012
Modal	6	0.501	0.8049	0.8022	0.1307
Modal	7	0.347	0.8049	0.8579	0.000003055
Modal	8	0.339	0.8591	0.8579	0.0004
Modal	9	0.299	0.8591	0.8579	0.0628
Modal	10	0.268	0.8592	0.8943	0.000002285
Modal	11	0.264	0.8948	0.8943	0.0000006355
Modal	12	0.238	0.895	0.8943	0.0185
Modal	13	0.203	0.8958	0.9107	0.0004
Modal	14	0.203	0.9084	0.912	0.0026
Modal	15	0.198	0.9118	0.912	0.0133
Modal	16	0.172	0.9123	0.9285	0.0002
Modal	17	0.171	0.9282	0.929	0.001

L.3. Berat Struktur

Besarnya beban gempa sangat dipengaruhi oleh berat struktur dari suatu bangunan, maka perlu diketahui berat total bangunan. Berat dari bangunan berasal dari beban mati yang terdiri dari berat sendiri material bangunan dan elemen-elemen struktur, serta beban hidup yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan bangunan. Dikarenakan denah dan gaya yang digunakan pada struktur adalah sama yang membedakan hanya kondisi tanah dasar saja, maka hasil berat struktur, posisi pusat massa, dan pusat kekakuan pada struktur di atas ketiga kondisi tanah juga sama, seperti yang disajikan dalam Tabel 4.4.

Tabel L. 4: Massa Struktur.

Lantai	Elevasi	SISTEM GANDA	SRPMK
		Massa (KG)	Massa (KG)
Lt. 3	9	1427531.06	1460123.84
Lt. 2	6	1369052.38	1409415.39
Lt. 1	3	1369052.38	1409415.39
TOTAL		20208558.72	19306806.39

L.5. Material Elemen

L.5.1. Beton

Berat jenis beton bertulang 2400 kg/m^3 . Mutu beton yang digunakan berdasarkan kekuatan silinder tekan umur 28 hari.

Tabel L. 5: Mutu beton desain yang digunakan.

No	Elemen	Mutu
1.	Basement	$f_c' 35 \text{ Mpa}$
	Kolom Basement	$f_c' 35 \text{ Mpa}$

Tabel L.5: *lanjutan*

No	Element	Mutu
	Balok Basement	fc' 35 Mpa
	Plat Lantai Basement	fc' 35 Mpa
	Dinding Geser (<i>Shear wall</i>)	fc' 35 Mpa
	Dinding Penahan Tanah (<i>Retaining wall</i>)	fc' 35 Mpa
2.	Pile Cap	fc' 35 Mpa
3.	Tie Beam	fc' 35 Mpa
4.	Spun pile	fc' 35 Mpa

L.5.2. Tulangan

Tabel L. 6: Mutu tulangan desain yang digunakan.

No	Elemen	Tegangan Leleh
1.	Tulangan Ulir (D)	Fy = 390 Mpa

L.6. Gaya Geser Nominal

Nilai gaya geser dasar nominal diatur dalam SNI 1726:2019, Pasal 7.8.1 rumus yang digunakan adalah:

$$V = C_s \times W \quad (1.1)$$

Dimana:

V = Gaya geser dasar hasil analisa statik ekuivalen.

C_s = Koefisien respon seismik.

W = Berat seismik efektif struktur.

Berdasarkan SNI 1726:2019, Pasal 7.9.1.4.1 mensyaratkan bahwa apabila gaya-gaya dasar hasil analisa ragam (V_t), kurang dari 100% gaya geser hasil analisa statik ekuivalen (V), maka harus dilakukan penyesuaian skala terhadap V_t , gaya tersebut harus dikalikan dengan faktor skala, yaitu:

$$\frac{V}{V_t} \quad (1.2)$$

Dimana:

V = Gaya geser dasar hasil analisa statik ekuivalen.

V_t = Gaya geser dasar hasil analisa ragam respon spectrum.

Untuk detail perhitungan nilai C_s dan gaya geser dasar statik ekuivalen (V) dapat dilihat pada tabel dibawah. Berikut ini adalah nilai gaya geser dasar statik ekuivalen (V), gaya geser dasar respon spektrum (V_t), dan penyesuaian skala gempa pada Tabel 1.1.

Tabel L. 7: Perbandingan nilai V , V_t , dan penyesuaian skala gempa pada Sistem ganda dan SRPMK pada tanah lunak.

Nilai	Sistem Ganda		SRPMK	
	X	Y	X	Y
V (KN)	11528.2762	11528.2762	9669.0648	10436.2315
V_t (KN)	10664.2129	10614.2068	7447.2934	7103.3237
Skala gempa (mm/s ²)	1514.46	1521.60	1225.83	1262.60
NB: Nilai penyesuaian skala gempa untuk di input pada beban				

Dari Tabel 1.1 dapat disimpulkan bahwa gaya gempa akan semakin kecil pada kondisi tanah yang semakin keras, dimana hal ini disebabkan karena

koefisien respon seismic (C_s pakai) gaya gempa dipengaruhi oleh nilai S_d1 yang semakin mengecil pada kondisi tanah yang semakin keras.

L.7. Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7, pengaruh P-Delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang timbul oleh pengaruh ini ditentukan berdasarkan nilai koefisien stabilitas (θ).

Jika nilai koefisien stabilitas lebih kecil dari 0,1 maka pengaruh P-Delta dapat diabaikan. Untuk detail perhitungan pengaruh p-delta dapat dilihat pada tabel dibawah. Berikut ini hasil perhitungan P-Delta pada sistem ganda, dan SRPMK disajikan pada Tabel 7.1.

Tabel L. 8: Perbandingan nilai koefisien stabilitas struktur pada Sistem Ganda dan SRPMK.

Story	Elevasi	Sistem Ganda		SRPMK		Batas Pengaruh P-Delta	Cek
	H (m)	θ_X	θ_Y	θ_X	θ_Y		
Lt. 3	9	0.0258	0.0323	0.0257	0.0278	0.1	OK
Lt. 2	6	0.0178	0.0214	0.0197	0.0210	0.1	OK
Lt. 1	3	0.0063	0.0072	0.0075	0.0079	0.1	OK

Keterangan:

“OK” -Menunjukkan bahwa desain struktur telah memenuhi persyaratan keamanan dan layak untuk dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Jika suatu elemen mendapat keterangan “NOT OK”, maka perlu dilakukan perbaikan desain pada elemen tersebut.

Dari hasil perhitungan diatas, struktur pada kedua sistem, sistem ganda dan SRPMK menunjukkan nilai stabilitas rasio (θ) pada semua lantai kurang dari 0,1 sehingga pengaruh P-Delta dapat diabaikan.

L.8. Ketidakberaturan Horizontal

Pengecekan ketidakberaturan horizontal pada gedung yang dirancang dilakukan berdasarkan peraturan yang tercantum dalam tabel 10 SNI 1726:2019 berikut.

Tabel L. 9: ketidakberaturan Horizontal (Sumber: Tabel 10 SNI 1726:2019).

	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 diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	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 diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

a. Ketidakberaturan Torsi

Syarat ketidakberaturan torsi poin 1a adalah ketika simpangan di suatu ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan rata-rata di kedua ujung struktur. Sedangkan syarat ketidakberaturan torsi tak terduga poin 1b

adalah ketika simpangan di suatu ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan rata-rata di kedua ujung struktur.

Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik harus memenuhi persyaratan pada SNI 1726:2019 Tabel 13. Pada sub bab ini hanya akan membahas pada ketidakberaturan horizontal (ketidakberaturan torsi).

Tabel L. 10: Kontrol ketidakberaturan torsi pada Sistem Ganda dan SRPMK.

Story	Elevasi	Sistem Ganda		SRPMK		Batas H. 1a	Batas H. 1b	Cek
	H (m)	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y			
		$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$			
Lt. 3	9	1.093	1.128	1.075	1.095	1.2	1.4	OK
Lt. 2	6	1.106	1.138	1.023	1.141	1.2	1.4	OK
Lt. 1	3	1.097	1.142	1.162	1.239	1.2	1.4	OK

Keterangan:

“OK” -Menunjukkan bahwa desain struktur telah memenuhi persyaratan keamanan dan layak untuk dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Jika suatu elemen mendapat keterangan “NOT OK”, maka perlu dilakukan perbaikan desain pada elemen tersebut.

b. Ketidakberaturan Sudut dalam

Pengecekan ketidakberaturan sudut dalam dilakukan untuk masing-masing arah X dan Y. Apabila proyeksi kedua denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15% maka struktur memiliki ketidakberaturan sudut dalam. Sehingga dapat dikatakan struktur dalam penelitian ini tidak memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

Tabel L. 11: Kontrol ketidakberaturan sudut dalam pada Sistem Ganda dan SRPMK.

Keterangan	Sistem Ganda	SRPMK	satuan
Lx	54	54	m
Px	32	32	m
Ly	14.5	14.5	m
Py	5	5	
Px/Lx	0.59	0.59	
Py/Ly	0.3448	0.3448	
Cek	H.2	H.2	

c. Ketidakberaturan Diskontinuitas

Pengecekan ketidakberaturan diskontinuitas dilakukan dengan membandingkan luasan terbuka dengan luas bruto. Apabila nilai yang didapatkan lebih besar dari 50%, maka struktur memiliki ketidakberaturan kontinuitas. Sehingga dapat dikatakan struktur dalam penelitian ini tidak memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

Tabel L. 12: Kontrol ketidakberaturan diskontinuitas pada Sistem Ganda dan SRPMK.

Syarat 1			
	Sistem Ganda	SRPMK	
Atotal	623.00	623.00	m ²
Abukaan	29.53	29.53	m ²
Cek	H.3	H.3	

L.9. Ketidakberaturan Vertikal

Struktur yang didesain untuk kategori desain seismik harus memenuhi persyaratan pada SNI 1726:2019 Tabel 14. Dalam hal ini hanya dilakukan analisis pada 5 tipe ketidakberaturan vertikal. Di karenakan struktur yang dianalisa tidak tergolong pada cek ketidakberaturan vertikal tipe 3 dan tipe 4 maka hal ini diabaikan. Ketidakberaturan Vertikal ditunjukkan pada tabel 14

Tabel L. 13: ketidakberaturan Vertikal (Sumber: Tabel 11 SNI 1726:2019).

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

a. Ketidakberaturan Kekakuan tingkat Lunak

Pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan kekakuan tingkat lunak berlebihan dilakukan sekaligus karena perbedaannya hanya terdapat pada syarat batas. Pengecekan dilakukan dengan membandingkan kekakuan tingkat antar lantai dan kekakuan tingkat suatu lantai dengan rata-rata kekakuan tiga tingkat di atasnya.

Tabel L. 14: Kontrol ketidakberaturan tingkat lunak pada Sistem Ganda dan SRPMK.

Story	Elevasi	Sistem Ganda		SRPMK		Cek
	H (m)	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
		Kekakuan KN/m	Kekakuan KN/m	Kekakuan KN/m	Kekakuan KN/m	
Lt. 3	9	3717945.77	2793268.4	4156389.649	3340227.4	OK
Lt. 2	6	4853995.563	3784083.3	4775984.391	4189340.1	OK
Lt. 1	3	9928418.748	8148700.2	7751728.382	8488541.8	OK

Keterangan:

“OK” -Menunjukkan bahwa desain struktur telah memenuhi persyaratan keamanan dan layak untuk dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Jika suatu elemen mendapat keterangan “NOT OK”, maka perlu dilakukan perbaikan desain pada elemen tersebut.

b. Ketidakberaturan Massa

Pengecekan ketidakberaturan berat dilakukan dengan membandingkan massa di suatu tingkat dengan massa tingkat di atasnya dan dibawahnya.

Tabel L. 15: Kontrol ketidakberaturan berat(massa) pada Sistem Ganda dan SRPMK.

Story	Elevasi	Sistem Ganda	SRPMK	Cek
		Massa	Massa	
		(Kg)	(Kg)	
Lt. 3	9	1427531.06	1460123.8	OK
Lt. 2	6	1369052.38	1409415.4	OK
Lt. 1	3	1369052.38	1409415.39	OK

Keterangan:

“OK” -Menunjukkan bahwa desain struktur telah memenuhi persyaratan keamanan dan layak untuk dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Jika suatu elemen mendapat keterangan “NOT OK”, maka perlu dilakukan perbaikan desain pada elemen tersebut.

c. Tidakberaturan geometri vertikal

Apabila X_i adalah dimensi kolom atau dinding geser pada tingkat i dan $X_{(i+1)}$ adalah dimensi kolom atau dinding geser pada tingkat $(i+1)$, maka ketidakberaturan geometri kolom tidak berlaku apabila persamaan berikut terpenuhi.

$$\frac{x_i}{x_{i+1}} \leq 130\% \quad (2.1)$$

Terdapat ketidakberaturan geometri vertikal pada peralihan kolom K1 1000X1000 ke K2 800X800 dan K3 600X600. Menurut pasal referensi yaitu Tabel 13 SNI 1726:2019 struktur diijinkan untuk dianalisis menggunakan analisis spektrum respons ragam dan prosedur riwayat respons seismik. Sehingga pasal referensi (Tabel 13 SNI 1726:2019) untuk ketidakberaturan berat telah terpenuhi.

Tabel L. 16: Kontrol ketidakberaturan geometri vertikal pada Sistem Ganda dan SRPMK.

Story	Elevasi	Sistem Ganda	SRPMK	Cek
		L	L	
		(mm)	(mm)	
Lt. 3	9	1000	1000	OK
Lt. 2	6	1000	1000	OK
Lt. 1	3	1000	1000	OK

Keterangan:

“OK” -Menunjukkan bahwa desain struktur telah memenuhi persyaratan keamanan dan layak untuk dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Jika suatu elemen

mendapat keterangan “NOT OK”, maka perlu dilakukan perbaikan desain pada elemen tersebut.

d. Ketidakberaturan kuat lateral.

Sebagian besar elemen penahan gaya lateral diteruskan hingga dasar bangunan tanpa melakukan pergeseran. dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat dan ketidakberaturan kuat lateral tingkat berlebihan dilakukan sekaligus.

Tabel L. 17: Kontrol ketidakberaturan kuat lateral tingkat pada Sistem Ganda dan SRPMK.

Story	Elevasi	Sistem Ganda		SRPMK		Cek
	H (m)	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
		Kekakuan KN/m	Kekakuan KN/m	Kekakuan KN/m	Kekakuan KN/m	
Lt. 3	9	10431.0443	10351.019	9455.3055	9891.5931	OK
Lt. 2	6	10599.8124	10542.34	9609.8072	10065.5939	OK
Lt. 1	3	10664.2129	10614.207	9669.0939	10132.3348	OK

Keterangan:

“OK” -Menunjukkan bahwa desain struktur telah memenuhi persyaratan keamanan dan layak untuk dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Jika suatu elemen mendapat keterangan “NOT OK”, maka perlu dilakukan perbaikan desain pada elemen tersebut.

L.10. Pengecekan Syarat Sistem Ganda dan Solusi 25% Gaya Gempa Pada Rangka.

Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu memikul paling sedikit 25% gaya seismik desain. Tahanan gaya seismik total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

Kuat geser dinding geser dari sistem interaktif dinding geser rangka harus sekurang-kurangnya 75% dari geser tingkat desain pada tiap tingkat. Rangka dari sistem interaktif dinding geser rangka harus mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari geser tingkat desain pada tiap tingkat.

Tabel L. 18: Syarat Sistem Ganda dan Solusi 25% Gaya Gempa Pada Rangka.

NO.	<i>Shearwall</i> + Rangka	
	FX	FY
1.	134.825	165.619
2.	158.255	156.556
3.	158.587	147.527
4.	164.497	138.194
5.	172.194	958.953
6.	125.91	203.73
7.	125.784	204.023
8.	120.653	166.836
9.	172.19	962.389
10.	164.503	139.669
11.	158.588	150.043
12.	158.255	160.112
13.	134.825	170.229
14.	148.827	193.259
15.	149.009	182.091
16.	154.136	171.494

Tabel L.18: *lanjutan*

NO.	<i>Shearwall + Rangka</i>	
	FX	FY
17.	144.29	235.589
18.	144.296	236.202
19.	154.14	173.216
20.	149.015	185.041
21.	148.822	197.441
22.	125.905	209.162
23.	148.969	194.102
24.	148.659	182.133
25.	149.135	171.218
26.	147.902	165.924
27.	147.904	166.412
28.	149.138	172.935
29.	148.743	185.131
30.	148.867	202.25
31.	125.897	213.588
32.	144.691	159.876
33.	153.075	147.677
34.	153.277	165.651
35.	152.906	130.348
36.	152.908	130.794
37.	153.281	167.336
38.	153.204	150.169
39.	146.785	165.359
40.	131.493	178.029
41.	35.3276	40.5644
42.	50.235	15.6168
43.	50.2319	15.6809

Tabel L.18: *lanjutan*

NO.	<i>Shearwall + Rangka</i>	
	FX	FY
44.	35.3244	40.9481
45.	545.851	807.105
46.	546.042	810.889
47.	594.751	0.558
48.	594.812	0.5621
49.	639.745	431.973
50.	788.715	382.457
51.	639.855	432.491
52.	788.721	383.099
Total	11233.9	11918.3

Tabel L. 19: Pengecekan 25% *Shearwall*.

NO.	<i>Shearwall</i>	
	FX	FY
1.	545.851	807.105
2.	546.042	810.889
3.	594.751	0.558
4.	594.812	0.5621
5.	639.745	431.973
6.	788.715	382.457
7.	639.855	432.491
8.	788.721	383.099
Total	5138.492	3249.13

Sistem Interaktif Dinding Geser dan Rangka

Kuat geser dinding geser dari sistem interaktif dinding geser-rangka harus sekurang-kurangnya 75 % dari geser tingkat desain pada tiap tingkat. Rangka dari sistem interaktif dinding geser-rangka harus mampu memikul sekurang-kurangnya 25 % dari geser Tingkat desain pada tiap tingkat.

Tabel L. 20: Hasil *Shearwall* dan Rangka.

	X	Y
% <i>Shearwall</i>	45.74%	27.26%
% Rangka	54.26%	72.74%

L.11. Pengecekan Diaphragma

Elemen batas suatu diafragma atau dinding geser yang sejajar dengan arah beban yang bekerja yang mengumpulkan serta menyalurkan gaya-gaya geser diafragma ke elemen-elemen vertikal pada sistem pemikul gaya seismik atau mendistribusikan gaya-gaya di dalam bidang diafragma atau dinding geser.

Tabel L. 21: Nilai Diaphragma Sistem Ganda dan SRPMK.

Diaphragma Center Of Mass Displacement					
Story	Elevasi	SISTEM GANDA		SRPMK	
	H (m)	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lt. 3	9	5.456	6.679	4.144	4.243
Lt. 2	6	2.919	3.482	2.366	2.4
Lt. 1	3	0.967	1.105	0.841	0.844

L.12. Data Lampiran Struktur Bawah

a. Spun Pile

Tabel L. 22: Perhitungan Spun pile.

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2019	ACI 318-19			
Properti Material dan Penampang					
Diameter Tiang, D			Input	mm	800
Selimut Bersih, c _c			Input	mm	50
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b			Input	mm	32
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Input	mm	13
Tinggi Efektif Penampang, d			D - c _c - d _s - d _b /2	mm	721
Kuat Tekan Beton, f' _c			Input	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f _y			Input	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f _{yt}			Input	MPa	390
Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll.)					
Jumlah Tulangan, n			Input		22
Luas Tulangan Longitudinal, A _s			n *π/4 *d _b ²	mm ²	17693.4
Luas Penampang, A _g			π/4 *D ²	mm ²	502654.8
Rasio Tulangan, ρ			A _s / A _g		3.52%
Cek ρ _{min}		Table 18.13.7.5.1	ρ >= 0.25%		OK
Tulangan Transversal					
Spasi Tumpuan, s _s			Input	mm	150
Spasi Lapangan, s _m			Input	mm	300
Luas Sengkang Tumpuan, A _v	22.5.10.5.6		π/4 *d _s ²	mm ²	132.732
Luas per Spasi Tumpuan, A _v /s _s			2 * A _v / s _s	mm ² / mm	1.770
Kuat Geser					
N _u				N	0
V _u				N	250000
φ	Tabel 21.2.1				0.75
V _c	22.5.6.1		0.17 (1 + N _u /(14 A _g)] (f' _c) ^{0.5} D d	N	580107
V _s Perlu	22.5.10.1		V _u / φ - V _c	N	-246774
A _v /s Perlu	22.5.10.5.3		V _s / (f' _{yt} * d)	mm ² / mm	-0.8776
Cek A _v /s			A _v /s _s >= A _v /s Perlu ?		OK
Panjang Zona Confinement					
l _o		Table 18.13.7.5.1	3 * D	mm	2400
Diameter Sengkang Minimum					
d _{s, min}		Table 18.13.7.5.1		mm	10
Cek d _s					OK
Spasi Maksimum Zona Confinement					
s _{max,1}		Table 18.13.7.5.1	8 * d _b	mm	256.00
s _{max,2}		Table 18.13.7.5.1	150	mm	150.00
s _{max}		Table 18.13.7.5.1	Min (s _{max,1} , s _{max,2})	mm	150.00
Cek Spasi			Spasi <= Spasi Max ?		OK
Spasi Maksimum Luar Zona Confinement					
s _{max}		Table 18.13.7.5.1	16 d _b	mm	512.00
Cek Spasi			Spasi <= Spasi Max ?		OK

Tabel L. 23: Perhitungan Spun pile.

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2019	ACI 318-19			
Properti Material dan Penampang					
Diameter Tiang, D			Input	mm	800
Selimut Bersih, c _c			Input	mm	50
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b			Input	mm	32
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Input	mm	13
Tinggi Efektif Penampang, d			D - c _c - d _s - d _b /2	mm	721
Kuat Tekan Beton, f' _c			Input	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f _y			Input	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f _{yt}			Input	MPa	390
Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll.)					
Jumlah Tulangan, n			Input		22
Luas Tulangan Longitudinal, A _s			n * π/4 * d _b ²	mm ²	17693.4
Luas Penampang, A _g			π/4 * D ²	mm ²	502654.8
Rasio Tulangan, ρ			A _s / A _g		3.52%
Cek ρ _{min}		Table 18.13.7.5.1	ρ >= 0.5%		OK
Tulangan Transversal					
Spasi Tumpuan, s _s			Input	mm	100
Spasi Lapangan, s _m			Input	mm	200
Luas Sengkang Tumpuan, A _v	22.5.10.5.6		π/4 * d _s ²	mm ²	132.732
Luas per Spasi Tumpuan, A _v /s _s			2 * A _v / s _s	mm ² / mm	2.655
Kuat Geser					
N _u				N	0
V _u				N	250000
φ	Tabel 21.2.1				0.75
V _c	22.5.6.1		0.17 (1 + N _u /(14 A _g)) (f' _c) ^{0.5} D d	N	580107
V _s Perlu	22.5.10.1		V _u / φ - V _c	N	-246774
A _v /s Perlu	22.5.10.5.3		V _s / (f _{yt} * d)	mm ² / mm	-0.8776
Cek A _v /s			A _v /s _s >= A _v /s Perlu ?		OK
Panjang Zona Confinement					
l _o		Table 18.13.7.5.1	3 * D	mm	2400
Confinement /Kekangan Zona Sendi Plastis					
Rasio Voumetrik Terpasang, ρ			4 * A _v / (s * D _s)	mm ²	0.77%
Rasio Voumetrik Perlu, ρ _{min}		Table 18.13.7.5.1	0.5 (0.12 f' _c / f _{yt})	mm ²	0.54%
Cek ρ			ρ >= ρ _{min} ?		OK
Diameter Sengkang Minimum					
d _{s, min}		Table 18.13.7.5.1	D <= 500 --> 10; D > 500 --> 13	mm	13
Cek d _s					OK
Spasi Maksimum Zona Confinement					
Jarak Tulangan dari Pusat Penampang, r _b			D/2 - c _c - d _s - d _b /2	mm	321
Sudut 2 Tulangan Terdekat, θ			360 / n	degrees	16.364
Jarak Antar Tulangan, h _x			2 r _b sin(θ / 2)	mm	91.366
s _{max,1}		Table 18.13.7.5.1	D / 4	mm	200.00
s _{max,2}		Table 18.13.7.5.1	6 * d _b	mm	192.00
s _{max,3}		Table 18.13.7.5.1	100 <= 100 + (350 - h _x) / 3 <= 150	mm	150.00
s _{max}		Table 18.13.7.5.1	Min (s _{max1} , s _{max2} , s _{max3})	mm	150.00
Cek Spasi			Spasi <= Spasi Max ?		OK
Spasi Maksimum Luar Zona Confinement					
s _{max,1}		Table 18.13.7.5.1	D / 2	mm	400.0
s _{max,2}		Table 18.13.7.5.1	12 d _b	mm	384.0
s _{max,3}		Table 18.13.7.5.1	300	mm	300.0
s _{max}		Table 18.13.7.5.1	Min (s _{max1} , s _{max2} , s _{max3})	mm	300.00
Cek Spasi			Spasi <= Spasi Max ?		OK

Tabel L. 24: Perhitungan Spun pile.

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2019	ACI 318-19			
Properti Material dan Penampang					
Diameter Tiang, D			Input	mm	800
Selimum Bersih, c _c			Input	mm	50
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b			Input	mm	32
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Input	mm	13
Tinggi Efektif Penampang, d			D - c _c - d _s - d _b /2	mm	721
Kuat Tekan Beton, f' _c			Input	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f _y			Input	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f _{yt}			Input	MPa	390
Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll.)					
Jumlah Tulangan, n			Input		22
Luas Tulangan Longitudinal, A _s			n *π/4 *d _b ²	mm ²	17693.4
Luas Penampang, A _g			π/4 *D ²	mm ²	502654.8
Rasio Tulangan, ρ			A _s / A _g		3.52%
Cek ρ _{min}		Table 18.13.7.5.1	ρ >= 0.5%		OK
Tulangan Transversal					
Spasi Tumpuan, s _s			Input	mm	70
Spasi Lapangan, s _m			Input	mm	150
Luas Sengkang Tumpuan, A _v	22.5.10.5.6		π/4 *d _s ²	mm ²	132.732
Luas per Spasi Tumpuan, A _v /s _s			2 * A _v / s _s	mm ² / mm	3.792
Kuat Geser					
N _u				N	0
V _u				N	250000
φ	Tabel 21.2.1				0.75
V _c	22.5.6.1		0.17 (1 + N _u /(14 A _g)] (f' _c) ^{0.5} D d	N	580107
V _s Perlu	22.5.10.1		V _u / φ - V _c	N	-246774
A _v /s Perlu	22.5.10.5.3		V _s / (f _{yt} * d)	mm ² / mm	-0.8776
Cek A _v /s			A _v /s _s >= A _v /s Perlu ?		OK
Panjang Zona Confinement					
l _o		Table 18.13.7.5.1	7 * D	mm	5600
Confinement/Kekangan Zona Sendi Plastis					
Rasio Voumetrik Terpasang, ρ			4 * A _v / (s * D _c)	mm ²	1.10%
Rasio Voumetrik Perlu, ρ _{min}		Table 18.13.7.5.1	0.12 f' _c ' / f _{yt}	mm ²	1.08%
Cek ρ			ρ >= ρ _{min} ?		OK
Diameter Sengkang Minimum					
d _{s, min}		Table 18.13.7.5.1	D <= 500 -> 10; D > 500 -> 13	mm	13
Cek d _s					OK
Spasi Maksimum Zona Confinement					
Jarak Tulangan dari Pusat Penampang, r _b			D/2 - c _c - d _s - d _b /2	mm	321
Sudut 2 Tulangan Terdekat, θ			360 / n	degrees	16.364
Jarak Antar Tulangan, h _x			2 r _b sin(θ / 2)	mm	91.366
s _{max,1}		Table 18.13.7.5.1	D / 4	mm	200.00
s _{max,2}		Table 18.13.7.5.1	6 * d _b	mm	192.00
s _{max,3}		Table 18.13.7.5.1	100 <= 100 + (350 - h _x) / 3 <= 150	mm	150.00
s _{max}		Table 18.13.7.5.1	Min (s _{max1} , s _{max2} , s _{max3})	mm	150.00
Cek Spasi			Spasi <= Spasi Max ?		OK
Spasi Maksimum Luar Zona Confinement					
s _{max,1}		Table 18.13.7.5.1	D / 2	mm	400.0
s _{max,2}		Table 18.13.7.5.1	12 d _b	mm	384.0
s _{max,3}		Table 18.13.7.5.1	300	mm	300.0
s _{max}		Table 18.13.7.5.1	Min (s _{max1} , s _{max2} , s _{max3})	mm	300.00
Cek Spasi			Spasi <= Spasi Max ?		OK

b. Pile Cap

Tabel L. 25: Gaya dalam.
SAFE

	Fx	Fy	Fgrav	Mx	My	Mz
	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
FX MAX	-296.992	-137.651	6963.9	-615.786	-1132.95	-57.5788
FX MIN	291.2	89.518	2681.63	643.573	1118.47	57.1141
FY MAX	-153.851	-168.318	7078.05	-788.864	-564.803	-45.1248
FY MIN	148.059	120.185	2567.48	816.651	550.324	44.66
FZ MAX	-153.851	-168.318	7078.05	-788.864	-564.803	-45.1248
FZ MIN	148.059	120.185	2567.48	816.651	550.324	44.66
MX MAX	-151.933	-149.404	3616.89	-800.224	-559.913	-44.959
MX MIN	146.141	101.271	6028.64	828.012	545.433	44.4942
MY MAX	-296.992	-137.651	6963.9	-615.786	-1132.95	-57.5788
MY MIN	291.2	89.518	2681.63	643.573	1118.47	57.1141
MZ MAX	-296.992	-137.651	6963.9	-615.786	-1132.95	-57.5788
MZ MIN	291.2	89.518	2681.63	643.573	1118.47	57.1141

ETABS

	Fx	Fy	Fgrav	Mx	My	Mz
	kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
FX MAX	-296.992	-137.651	-6963.9	-615.786	-1132.95	-57.5788
FX MIN	291.2	89.518	-2681.63	643.573	1118.47	57.1141
FY MAX	-153.851	-168.318	-7078.05	-788.864	-564.803	-45.1248
FY MIN	148.059	120.185	-2567.48	816.651	550.324	44.66
FZ MAX	-153.851	-168.318	-7078.05	-788.864	-564.803	-45.1248
FZ MIN	148.059	120.185	-2567.48	816.651	550.324	44.66
MX MAX	-151.933	-149.404	-3616.89	-800.224	-559.913	-44.959
MX MIN	146.141	101.271	-6028.64	828.012	545.433	44.4942
MY MAX	-296.992	-137.651	-6963.9	-615.786	-1132.95	-57.5788
MY MIN	291.2	89.518	-2681.63	643.573	1118.47	57.1141
MZ MAX	-296.992	-137.651	-6963.9	-615.786	-1132.95	-57.5788
MZ MIN	291.2	89.518	-2681.63	643.573	1118.47	57.1141

Tabel L. 26: Penulangan Pile Cap.

Pile Cap			PC1
Data Material			
f'_c		MPa	35
f_y		MPa	390
E_c	$4700 \times f'_c{}^{0.5}$	MPa	27805.57
E_s		MPa	200000
Data Geometri			
h		mm	1000
cover, c		mm	75
d	h - cover	mm	925
Tul. Bawah			
Mu (per m lari)	SAFE	kNm/m	1459.70
d_b		mm	25
s		mm	100
A_s		mm ² /m	4908.74
A_s min		mm ² /m	1665.00
Cek			OK
a	$A_s f_y / (0.85 f'_c b)$	mm	64.35
ϕ			0.9
ϕM_n	$\phi * A_s * f_y * (d - a/2)$	kNm/m	1538.31
Capacity Ratio	$M_u / \phi M_n$	kNm/m	0.949
Cek			OK
Tul. Atas			
Mu (per m lari)	SAFE	kNm/m	-498.13
d_b		mm	19
s		mm	150
A_s		mm ² /m	1890.19
A_s min		mm ² /m	1665.00
Cek			OK
a	$A_s f_y / (0.85 f'_c b)$	mm	24.78
ϕ			0.9
ϕM_n	$\phi * A_s * f_y * (d - a/2)$	kNm/m	605.48
Capacity Ratio	$M_u / \phi M_n$	kNm/m	0.823
Cek			OK

c. Tie Beam

Tabel L. 27: Penulangan Tie beam.

Parameter	Pasal Referensi	Persamaan	Satuan	Nilai
Properti Material dan Penampang				
Panjang BERSIH Tie Beam, L_n		Input	mm	2600
Lebar Tie Beam, b		Input	mm	250
Tinggi Tie Beam, h		Input	mm	400
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b		Input	mm	25
Diameter Tulangan Sengkang, d_s		Input	mm	16
Setitmat Bersih, c_c		Input	mm	50
Tinggi Efektif Tie Beam, d		$h - c_c - d_s - d_b/2$	mm	321.5
Kuat Tekan Beton, f_c'		Input	MPa	35
Kuat Lelah Tul. Longitudinal, f_y		Input	MPa	390
Kuat Lelah Tul. Transversal, f_{yt}		Input	MPa	390
β_1	SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f_c' - 28) / 7 \leq 0.85$		0.8000
λ		Asumsi tidak menggunakan beton ringan		1
Syarat Geometri				
Syarat Lebar Minimum	SNI 2847:2019 Pasal 18.13.3.2	$b \geq \min(L_n/20, 450 \text{ mm})$?		OK
Perhitungan Gaya Aksial				
Gaya Aksial Kolom Akibat Beban Gravitasi Terfaktor, P_f		Input [Kombinasi 1.2 D + 1.6 L]	kN	1093.4231
Parameter Percepatan Respons Spektral pada Periode Pendek, S_{DS}		Input	g	0.63
Gaya Aksial Tie Beam, P_a	SNI 1726:2019 Pasal 7.13.6.2	$10\% * S_{DS} * P_f$	kN	68.886
Gaya Aksial Harus Diperhitungkan?		$P_a > 0.1 A_g f_c'$?		Tidak
Perhitungan Gaya Dalam Akibat Beda Penurunan/Differential Settlement				
Modulus Elastisitas Beton, E_c	SNI 2847:2019 Pasal 19.2.2	$4700 \sqrt{f_c'}$	MPa	27806
Inersia Penampang, I_g		$1/12 b h^3$	mm ⁴	133333333
Beda Penurunan/Differential Settlement, Δ	SNI 8460:2017 Pasal 9.2.4.3	Input (dapat digunakan $L_n/300$ jika tidak ada data)	mm	5.778
Momen Tumpuan Akibat Differential Settlement, M_{diff}	Hibbeler, R.C. "Structural Analysis"	$6 * E_c * I_g * \Delta / L_n^2$	kNm	190.124
Gaya Geser Tumpuan Akibat Differential Settlement, V_{diff}		$dM/dx_{(0.5)} = 12 E_c I_g \Delta / L_n^3$	kN	146.249
Perhitungan Gaya Dalam Akibat Beban Gravitasi				
Berat Jenis Beton Bertulang, BJ_c		Input	kN/m ³	23.536
Beban Merata Akibat Berat Sendiri, q_{DL}		$BJ_c * b * h$	kN/m	2.354
Tinggi Tingkat, h_u		Input	m	0.27
Beban Dinding per m ² , $q_{k,dinding}$		Input (nilai di samping dapat digunakan)	kN/m ²	1.25
Beban Merata Akibat Beban Dinding, q_{SDL}		$q_{k,dinding} * h_u$	kN/m	0.3375
Beban Merata Ultimit Akibat Beban Gravitasi, q_D		$1.4 (q_{DL} + q_{SDL})$	kN/m	3.768
Momen Tumpuan Akibat Beban Gravitasi, $M_{D,tum}$		$-1/12 * q_D * L_n^2$	kNm	-2.122
Momen Ultimit Lapangan Akibat Beban Gravitasi, $M_{D,lap}$		$1/24 * q_D * L_n^2$	kNm	1.061
Gaya Geser Ultimit Tumpuan Akibat Beban Gravitasi, $V_{D,tum}$		$q_D * L_n / 2$	kN	4.898
Gaya Geser Ultimit Lapangan Akibat Beban Gravitasi, $V_{D,lap}$		$q_D * L_n / 4$	kN	2.449
Penulangan Lentur (bisa digunakan jika Gaya Aksial tidak harus diperhitungkan)				
Tumpuan Negatif				
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n		Input		8
d_b			mm	25
Jarak Bersih Antar Tulangan		$(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	-11.714
Cek Jarak Bersih	SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		TIDAK
Jumlah Lapis				2
As Pasang		$n * \pi/4 * d_b^2$	mm ²	3926.991
$As_{min,1}$	SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	304.811
$As_{min,2}$	SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	288.526
Cek As_{min}		$As_{pasang} \geq As_{min}$?		OK
a	SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1	$As * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	205.920
M_u	SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1	$As * f_y * (d - a/2)$	kN-m	334.700
c	SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1	a / β_1	mm	257.399
ϵ_s	SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.001
ϕ	SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (e_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.650
ϕM_u		$\phi * M_u$	kN-m	217.555
$M_{tumpuan (-)}$			kN-m	192.246
Cek Kapasitas		$\phi M_u > M_{u, \text{tumpuan}}$?		OK

Tabel L.27: *lanjutan*

Tumpuan Positif				
n		Input		8
d_b			mm	25
Jarak Bersih Antar Tulangan		$(b - 2c_c - 2d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	-11.714
Cek Jarak Bersih	SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		TIDAK
Jumlah Lapis				2
As Pasang		$n * \pi/4 * d_b^2$	mm ²	3926.991
As_{min1}	SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2	$(\xi_c)^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	304.811
As_{min2}	SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	288.526
Cek As min		As Pasang $\geq As_{min}$?		OK
a	SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1	$As * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	205.920
M_u	SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1	$As * f_y * (d - a/2)$	kN-m	334.700
c	SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1	a / β_1	mm	257.399
e_s	SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.001
ϕ	SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (e_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.650
ϕM_u		$\phi * M_u$	kN-m	217.555
M_u			kN-m	190.124
Cek $\phi M_u > M_u$		$\phi M_u > M_u$?		OK
Lapangan Negatif				
n		Input		2
d_b			mm	25
Jarak Bersih Antar Tulangan		$(b - 2c_c - 2d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	68.000
Cek Jarak Bersih	SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		IYA
Jumlah Lapis				1
As Pasang		$n * \pi/4 * d_b^2$	mm ²	981.748
As_{min1}	SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2	$(\xi_c)^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	304.811
As_{min2}	SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	288.526
Cek As min		As Pasang $\geq As_{min}$?		OK
Lapangan Positif				
n		Input		4
d_b			mm	25
Jarak Bersih Antar Tulangan		$(b - 2c_c - 2d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	6.000
Cek Jarak Bersih	SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		TIDAK
Jumlah Lapis				2
As Pasang		$n * \pi/4 * d_b^2$	mm ²	1963.495
As_{min1}	SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2	$(\xi_c)^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	304.811
As_{min2}	SNI 2847:2019 Pasal 9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	288.526
Cek As min		As Pasang $\geq As_{min}$?		OK
a	SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1	$As * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	102.960
M_u	SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1	$As * f_y * (d - a/2)$	kN-m	206.771
c	SNI 2847:2019 Pasal 22.2.2.4.1	a / β_1	mm	128.700
e_s	SNI 2847:2019 Pasal 22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.004
ϕ	SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (e_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.858
ϕM_u		$\phi * M_u$	kN-m	177.379
M_u			kN-m	1.061
Cek $\phi M_u > M_u$		$\phi M_u > M_u$?		OK

Penulangan Geser				
Tumpuan				
Jumlah Kaki		Input		2
A_v		$n * \pi/4 * d_s^2$	mm ²	402.124
Spasi		Input	mm	80
V_u			kN	151.147
ϕ	SNI 2847:2019 Pasal 12.5.3.2, 21.2.4			0.75
V_u / ϕ			kN	201.529
Batas Penentu Spasi Maksimum	SNI 2847:2019 Tabel 9.7.6.2.2	$0.33 * (\xi_c)^{0.5} * b * d$	kN	156.917
Spasi Max 1	SNI 2847:2019 Tabel 9.7.6.2.2	$d / 4$ atau $d / 2$	mm	80.4
Spasi Max 2	SNI 2847:2019 Tabel 9.7.6.2.2	300 mm atau 600 mm	mm	300.0
Cek Spasi				OK
V_s	SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3	$A_v * f_y * d / s$	kN	630.254
Batas V_s	SNI 2847:2019 Pasal 22.5.1.2	$0.66 * (\xi_c)^{0.5} * b * d$	kN	313.833
V_c	SNI 2847:2019 Pasal 22.5.5.1	$0.17 * (\xi_c)^{0.5} * b * d$	kN	80.836
V_u		$V_c + V_s$	kN	394.669
ϕV_u				296.002
Cek Kapasitas		$\phi V_u \geq V_u$?		OK
Lapangan				
Jumlah Kaki		Input		2
A_v		$n * \pi/4 * d_s^2$	mm ²	402.124
Spasi		Input	mm	150
V_u			kN	2.449
ϕ	SNI 2847:2019 Pasal 12.5.3.2, 21.2.4			0.75
V_u / ϕ			kN	3.265
Batas Penentu Spasi Maksimum	SNI 2847:2019 Tabel 9.7.6.2.2	$0.33 * (\xi_c)^{0.5} * b * d$	kN	156.917
Spasi Max 1	SNI 2847:2019 Tabel 9.7.6.2.2	$d / 4$ atau $d / 2$	mm	160.8
Spasi Max 2	SNI 2847:2019 Tabel 9.7.6.2.2	300 mm atau 600 mm	mm	600.0
Cek Spasi				OK
V_s	SNI 2847:2019 Pasal 22.5.10.5.3	$A_v * f_y * d / s$	kN	336.135
Batas V_s	SNI 2847:2019 Pasal 22.5.1.2	$0.66 * (\xi_c)^{0.5} * b * d$	kN	313.833
V_c	SNI 2847:2019 Pasal 22.5.5.1	$0.17 * (\xi_c)^{0.5} * b * d$	kN	80.836
V_u		$V_c + V_s$	kN	394.669
ϕV_u				296.002
Cek Kapasitas		$\phi V_u \geq V_u$?		OK

d. Kolom

1. Kolom 100 x 100 cm (K1)

Tabel L. 28: Gaya dalam kolom.

	Pu	Mux	Muy	fMnx	fMny		
No	kN	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m	Phi	fMn/Mu
1	-2074.85	221.41	93.08	1216.67	326.5	0.9	23.063
2	24197.7	-81.45	-21.62	-3929.4	-1042.9	0.65	48.242
3	5439.67	3402.94	720.2	3289.27	696.14	0.87	2.18
4	18291.2	-1619.91	-620.61	-4775.6	-1829.6	0.786	2.948
5	8777.18	385.02	747.96	1313.15	2551	0.65	7.342
6	18428.6	-374.87	-747.31	-2249.5	-4484.4	0.781	6.001

	Pu	Mux	Muy	fMnx	fMny		
No.	kN	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m	Phi	fMn/Mu
1	-2074.85	221.41	93.08	2074.04	871.9	0.9	39.111
2	24197.7	-81.45	-21.62	-4723.5	-1253.7	0.65	57.991
3	5439.67	3402.94	720.2	2957.02	625.83	0.65	2.145
4	18291.2	-1619.91	-620.61	-1560.7	-597.92	0.65	3.215
5	8777.18	385.02	747.96	1333.48	2590.49	0.65	7.551
6	18428.6	-374.87	-747.31	-728.17	-1451.64	0.65	6.504

Tabel L. 29: Desain longitudinal kolom.

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang/Tinggi Kolom, L			Input	mm	4000
Sisi Pendek Kolom, b			Input	mm	1000
Sisi Panjang Kolom, h			Input	mm	1000
Diameter Tulangan Longitudinal, d _l			Input	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Input	mm	10
Selimum Bersih, c _c			Input	mm	50
Kuat Tekan Beton, f _c '			Input	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f _y			Input	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f _{yt}			Input	MPa	390
Tinggi Balok, h _b			Input	mm	850
L _n			L - h _b	mm	3150
Syarat Gaya dan Geometri					
Syarat Gaya Aksial	21.6.1	Tidak dipersyaratkan. Baca R18.7.1	P _u > 0.1 A _g f _c ' ?		OK
Syarat Sisi Terpendek	21.6.1.1	18.7.2.1	b ≥ 300 mm ?		OK
Syarat Rasio Dimensi Penampang	21.6.1.2	18.7.2.1	b/h ≥ 0.4 ?		OK
Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll.)					
Jumlah Tulangan, n			Input		28
Luas Tulangan Longitudinal, A _s			n * π/4 * d _b ²	mm ²	10643.7
Rasio Tulangan, ρ			A _s / (b * h)		1.06%
Cek ρ _{min} dan ρ _{max}	21.6.3.1	18.7.4.1	1% ≤ ρ ≤ 6%		OK
Pengecekan Strong Column - Weak Beam (SCWB)					
Momen Nominal Kolom, M _{nc}			Input (M _n dari kondisi P _{max} dan P _{min})	kN m	1351.856
M _n ⁻ Tumpuan Balok			Input	kN m	1171.045
M _n ⁺ Tumpuan Balok			Input	kN m	1072.795
Cek SCWB	21.6.2.2	18.7.3.2	2 * M _{nc} ≥ 1.2 * (M _n ⁻ + M _n ⁺)		OK

Tabel L. 30: Desain transversal kolom.

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang/Tinggi Kolom, L			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	4000
Sisi Pendek Kolom, b			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	1000
Sisi Panjang Kolom, h			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	1000
Diameter Tulangan Longitudinal, d _l			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	10
Selimut Bersih, c _c			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	50
Kuat Tekan Beton, f' _c			Dari Sheet Desain Longitudinal	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f _y			Dari Sheet Desain Longitudinal	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f _{yt}			Dari Sheet Desain Longitudinal	MPa	390
Tinggi Balok, h _b			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	850
L _n			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	3150
Panjang Zona Sendi Plastis					
l _{o1}	21.6.4.1	18.7.5.1	h	mm	1000.0
l _{o2}	21.6.4.1	18.7.5.1	L _n / 6	mm	525.0
l _{o3}	21.6.4.1	18.7.5.1	450 mm	mm	450
l _o	21.6.4.1	18.7.5.1	Max (l _{o1} ; l _{o2} ; l _{o3})	mm	1000.0
Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan					
Jumlah Kaki Sisi Pendek, n1			Input		10
Jumlah Kaki Sisi Panjang, n2			Input		10
Spasi, s			Input	mm	100
Spasi Kaki Terbesar, x _{1 max}	S21.6.4.2	R18.7.5.2	Input	mm	250
A _{sh} 1			n *π/4 *d _s ²	mm ²	785.398
A _{sh} 2			n *π/4 *d _s ²	mm ²	785.398
A _{sh} / s, 1				mm ² / mm	7.854
A _{sh} / s, 2				mm ² / mm	7.854
Confinement /Kekangan Zona Sendi Plastis					
Lebar Penampang Inti Beton, b _c	S21.6.4.2	R18.7.5.2	b - 2c _c	mm	900
Panjang Penampang Inti Beton, h _c	S21.6.4.2	R18.7.5.2	h - 2c _c	mm	900
Luas Penampang Kolom, A _g			b * h	mm ²	1000000
Luas Penampang Inti Beton, A _{ch}			b _c * h _c	mm ²	810000
Sisi Pendek/Sumbu Lemah					
A _{sh} /s min, 1	21.6.4.4	18.7.5.4	0.3 (b _c * f' _c / f _{yt}) * (A _g / A _{ch} - 1)	mm ²	5.684
A _{sh} /s min, 2	21.6.4.4	18.7.5.4	0.09 * b _c * f' _c / f _{yt}	mm ²	7.269
Cek A _{sh} /s 1			A _{sh} /s 1 >= Ash/s min ?		OK
Sisi Panjang/Sumbu Kuat					
A _{sh} /s min, 1	21.6.4.4	18.7.5.4	0.3 (h _c * f' _c / f _{yt}) * (A _g / A _{ch} - 1)	mm ²	5.684
A _{sh} /s min, 2	21.6.4.4	18.7.5.4	0.09 * h _c * f' _c / f _{yt}	mm ²	7.269
Cek A _{sh} /s 2			A _{sh} /s 2 >= Ash/s min ?		OK
Cek Spasi					
s _{max,1}	21.6.4.3	18.7.5.3	b / 4	mm	250
s _{max,2}	21.6.4.3	18.7.5.3	6 * d _b	mm	132
h _x	21.6.4.3	18.7.5.3	x _{1 max}	mm	250
s _{max,3} = s _o	21.6.4.3	18.7.5.3	100 <= 100 + (350 - h _x) / 3 <= 150	mm	133.333
s _{max}	21.6.4.3	18.7.5.3	Min (s _{max,1} ; s _{max,2} ; s _{max,3})	mm	132.000
Cek Spasi					OK
Kuat Geser Zona Sendi Plastis					
Gaya Geser Desain (Perlu input dari PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll. dengan f _{pr} = 1.25 f _y)					
M _{pr} Kolom			Input, (nilai terbesar)	kN m	3985.369
V _{u1}	S21.5.4	18.7.6.1	2 * M _{pr} Kolom / L _n	N	2530393
Gaya Geser Hasil Analisis Struktur					
V _{u2} , Sumbu Lemah			Dari Sheet Gaya Dalam	N	496196
V _{u2} , Sumbu Kuat			Dari Sheet Gaya Dalam	N	1020496

Tabel L.30: lanjutan.

Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah					
V_u			$\text{Max}(V_{u1}, V_{u2})$	N	2530393
ϕ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0.75
V_c	11.2.1.2	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u/(14 A_g)) (f'_c)^{0.5} b d; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$	N	936485
V_s Perlu	11.1.1	22.5.10.1	$V_u / \phi - V_c$	N	2437373
A_s/s Perlu	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$V_s / (f_{yy} * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$	mm ² / mm	6.7273
A_s/s Min 1	-	10.6.2.2	$0.062 (f'_c)^{0.5} b / f_{yy}$	mm ² / mm	0.9405
A_s/s Min 2	-	10.6.2.2	$0.35 b / f_{yy}$	mm ² / mm	0.8974
Cek A_s/s			$A_{s1}/s \geq \text{Max}(A_{s/s} \text{ Perlu}, A_{s/s} \text{ Min}) ?$		OK
Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat					
V_u			$\text{Max}(V_{u1}, V_{u2})$	N	2530393
ϕ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0.75
V_c	11.2.1.2	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u/(14 A_g)) (f'_c)^{0.5} b d; d = h - c_c - d_s - d_b / 2$	N	936485
V_s Perlu	11.1.1	22.5.10.1	$V_u / \phi - V_c$	N	2437373
A_s/s Perlu	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$V_s / (f_{yy} * d); d = h - c_c - d_s - d_b / 2$	mm ² / mm	6.7273
A_s/s Min 1	-	10.6.2.2	$0.062 (f'_c)^{0.5} b / f_{yy}$	mm ² / mm	0.9405
A_s/s Min 2	-	10.6.2.2	$0.35 b / f_{yy}$	mm ² / mm	0.8974
Cek A_s/s			$A_{s2}/s \geq \text{Max}(A_{s/s} \text{ Perlu}, A_{s/s} \text{ Min}) ?$		OK

Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Tumpuan					
Jumlah Kaki Sisi Pendek, n1			Input		2
Jumlah Kaki Sisi Panjang, n2			Input		2
Spasi, s			Input	mm	100
A_s Sumbu Lemah			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	157.080
A_s Sumbu Kuat			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	157.080
Confinement/Kekangan Luar Zona Sendi Plastis					
Spasi max 1	21.6.4.5	18.7.5.5	$6 d_b$	mm	132.0
Spasi max 2	21.6.4.5	18.7.5.5	150 mm	mm	150.0
Cek Spasi			Spasi $\leq$ Spasi Max ?		OK
Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis					
Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah					
V_u			Dari Sheet Gaya Dalam	N	496196
ϕ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0.75
V_c	11.2.1.2	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u/(14 A_g)) (f'_c)^{0.5} b d; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$	N	936485
V_s Perlu	11.1.1	22.5.10.1	$\text{Max}(V_u/\phi - V_c; 0)$		0
A_s/s Perlu	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$V_s / (f_{yy} * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$		0.0000
A_s/s Min 1	-	10.6.2.2	$0.062 (f'_c)^{0.5} b / f_{yy}$	mm ² / mm	0.0000
A_s/s Min 2	-	10.6.2.2	$0.35 b / f_{yy}$	mm ² / mm	0.0000
Cek A_s/s			$A_{s3}/s \geq A_{s/s} \text{ Perlu} ?$		OK
Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat					
V_u			Dari Sheet Gaya Dalam	N	1020496
ϕ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0.75
V_c	11.2.1.2	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u/(14 A_g)) (f'_c)^{0.5} b d; d = h - c_c - d_s - d_b / 2$	N	936485
V_s Perlu	11.1.1	22.5.10.1	$\text{Max}(V_u/\phi - V_c; 0)$		424176
A_s/s Perlu	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$V_s / (f_{yy} * d); d = h - c_c - d_s - d_b / 2$		1.1708
A_s/s Min 1	-	10.6.2.2	$0.062 (f'_c)^{0.5} b / f_{yy}$	mm ² / mm	0.9405
A_s/s Min 2	-	10.6.2.2	$0.35 b / f_{yy}$	mm ² / mm	0.8974
Cek A_s/s			$A_{s4}/s \geq A_{s/s} \text{ Perlu} ?$		OK

2. Kolom 60 x 60 cm (K3)

Tabel L. 31: Gaya dalam kolom.

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	-859.0725	20.3132	36.1515
P min	3659.6733	-383.8425	-89.3851
M2 Max	445.9092	497.3694	113.607
M2 Min	1196.8272	-555.5756	-20.8257
M3 Max	870.8486	167.4422	382.852
M3 Min	2154.7069	-0.5259	-383.0842

No	Pu	Mux	Muy	fMnx	fMny	Phi	fMn/Mu
	kN	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m		
1	-859.07	20.31	36.15	110.8	197.18	0.9	23.063
2	3659.67	-383.84	-89.39	-626.11	-145.8	0.65	48.242
3	445.91	497.37	113.61	501.05	114.45	0.9	2.18
4	1196.83	-555.58	-20.83	-661.35	-24.79	0.9	2.948
5	870.85	167.44	382.85	239.73	1221.15	0.9	7.342
6	2154.71	-0.53	-383.08	-1.12	-813.55	0.9	6.001

No.	Pu	Mux	Muy	fMnx	fMny	Phi	fMn/Mu
	kN	kN-m	kN-m	kN-m	kN-m		
1	-859.07	20.31	36.15	159.11	283.16	0.9	39.111
2	3659.67	-383.84	-89.39	-636.41	-148.2	0.65	57.991
3	445.91	497.37	113.61	579.6	132.39	0.9	2.145
4	1196.83	-555.58	-20.83	-730.6	-27.39	0.9	3.215
5	870.85	167.44	382.85	261.49	597.9	0.898	7.551
6	2154.71	-0.53	-383.08	-1.12	-819.73	0.823	6.504

Tabel L. 32: Desain longitudinal kolom.

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang/Tinggi Kolom, L			Input	mm	4000
Sisi Pendek Kolom, b			Input	mm	600
Sisi Panjang Kolom, h			Input	mm	600
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b			Input	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Input	mm	10
Selimum Bersih, c _c			Input	mm	50
Kuat Tekan Beton, f _c '			Input	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f _y			Input	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f _{yt}			Input	MPa	390
Tinggi Balok, h _b			Input	mm	850
L _n			L - h _b	mm	3150
Syarat Gaya dan Geometri					
Syarat Gaya Aksial	21.6.1	Tidak dipersyaratkan. Baca R18.7.1	P _u > 0.1 A _g f _c ' ?		OK
Syarat Sisi Terpendek	21.6.1.1	18.7.2.1	b ≥ 300 mm ?		OK
Syarat Rasio Dimensi Penampang	21.6.1.2	18.7.2.1	b/h ≥ 0.4 ?		OK
Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll.)					
Jumlah Tulangan, n			Input		10
Luas Tulangan Longitudinal, A _s			n * π/4 * d _b ²	mm ²	3801.3
Rasio Tulangan, ρ			A _s / (b * h)		1.06%
Cek ρ _{min} dan ρ _{max}	21.6.3.1	18.7.4.1	1% ≤ ρ ≤ 6%		OK
Pengecekan Strong Column - Weak Beam (SCWB)					
Momen Nominal Kolom, M _{nc}			Input (M _n dari kondisi P _{max} dan P _{min})	kN m	1356.833
M _n ⁻ Tumpuan Balok			Input	kN m	1171.045
M _n ⁺ Tumpuan Balok			Input	kN m	1072.795
Cek SCWB	21.6.2.2	18.7.3.2	2 * M _{nc} ≥ 1.2 * (M _n ⁻ + M _n ⁺)		OK

Tabel L. 33: Desain transversal kolom.

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang/Tinggi Kolom, L			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	4000
Sisi Pendek Kolom, b			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	600
Sisi Panjang Kolom, h			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	600
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	10
Selimum Bersih, c _c			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	50
Kuat Tekan Beton, f _c '			Dari Sheet Desain Longitudinal	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f _y			Dari Sheet Desain Longitudinal	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f _{yt}			Dari Sheet Desain Longitudinal	MPa	390
Tinggi Balok, h _b			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	850
I _n			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	3150
Panjang Zona Sendi Plastis					
l _{o1}	21.6.4.1	18.7.5.1	h	mm	600.0
l _{o2}	21.6.4.1	18.7.5.1	L _n / 6	mm	525.0
l _{o3}	21.6.4.1	18.7.5.1	450 mm	mm	450
l _o	21.6.4.1	18.7.5.1	Max (l _{o1} ; l _{o2} ; l _{o3})	mm	600.0
Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan					
Jumlah Kaki Sisi Pendek, n ₁			Input		8
Jumlah Kaki Sisi Panjang, n ₂			Input		8
Spasi, s			Input	mm	100
Spasi Kaki Terbesar, x _{i max}	S21.6.4.2	R18.7.5.2	Input	mm	250
A _{sh} 1			n *π/4 *d _s ²	mm ²	628.319
A _{sh} 2			n *π/4 *d _s ²	mm ²	628.319
A _{sh} / s, 1				mm ² / mm	6.283
A _{sh} / s, 2				mm ² / mm	6.283
Confinement/Kekangan Zona Sendi Plastis					
Lebar Penampang Inti Beton, b _c	S21.6.4.2	R18.7.5.2	b - 2c _c	mm	500
Panjang Penampang Inti Beton, h _c	S21.6.4.2	R18.7.5.2	h - 2c _c	mm	500
Luas Penampang Kolom, A _g			b * h	mm ²	360000
Luas Penampang Inti Beton, A _{ch}			b _c * h _c	mm ²	250000
Sisi Pendek/Sumbu Lemah					
A _{sh} /s min, 1	21.6.4.4	18.7.5.4	0.3 (b _c * f _c ' / f _{yt}) * (A _g / A _{ch} - 1)	mm ²	5.923
A _{sh} /s min, 2	21.6.4.4	18.7.5.4	0.09 * b _c * f _c ' / f _{yt}	mm ²	4.038
Cek A _{sh} /s 1			A _{sh} /s 1 >= Ash/s min ?		OK
Sisi Panjang/Sumbu Kuat					
A _{sh} /s min, 1	21.6.4.4	18.7.5.4	0.3 (h _c * f _c ' / f _{yt}) * (A _g / A _{ch} - 1)	mm ²	5.923
A _{sh} /s min, 2	21.6.4.4	18.7.5.4	0.09 * h _c * f _c ' / f _{yt}	mm ²	4.038
Cek A _{sh} /s 2			A _{sh} /s 2 >= Ash/s min ?		OK
Cek Spasi					
s _{max,1}	21.6.4.3	18.7.5.3	b / 4	mm	150
s _{max,2}	21.6.4.3	18.7.5.3	6 * d _b	mm	132
h _x	21.6.4.3	18.7.5.3	x _{i max}	mm	250
s _{max,3} = s _o	21.6.4.3	18.7.5.3	100 <= 100 + (350 - h _x) / 3 <= 150	mm	133.333
s _{max}	21.6.4.3	18.7.5.3	Min (s _{max,1} ; s _{max,2} ; s _{max,3})	mm	132.000
Cek Spasi					OK
Kuat Geser Zona Sendi Plastis					
Gaya Geser Desain (Perlu input dari PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll. dengan f _{pr} = 1.25 f _y)					
M _{pr} Kolom			Input, (nilai terbesar)	kN m	665.813
V _{u1}	S21.5.4	18.7.6.1	2 * M _{pr} Kolom / L _n	N	422738

Tabel L.33: *lanjutan.*

Gaya Geser Hasil Analisis Struktur					
V_{u2} , Sumbu Lemah			Dari Sheet Gaya Dalam	N	190776
V_{u2} , Sumbu Kuat			Dari Sheet Gaya Dalam	N	279828
Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah					
V_u			Max (V_{u1} , V_{u2})	N	422738
ϕ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0.75
V_c	11.2.1.2	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f'_c)^{0.5} h d$; $d = b - c_c - d_s - d_b / 2$	N	319225
V_s Perlu	11.1.1	22.5.10.1	$V_u / \phi - V_c$	N	244426
A_s /s Perlu	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$V_s / (f_{yt} * d)$; $d = b - c_c - d_s - d_b / 2$	mm ² / mm	1.1848
A_s /s Min 1	-	10.6.2.2	$0.062 (f'_c)^{0.5} h / f_{yt}$	mm ² / mm	0.5643
A_s /s Min 2	-	10.6.2.2	$0.35 h / f_{yt}$	mm ² / mm	0.5385
Cek A_s /s			$A_{s1}/s \geq \text{Max} (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min})$?		OK
Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat					
V_u			Max (V_{u1} , V_{u2})	N	422738
ϕ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0.75
V_c	11.2.1.2	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f'_c)^{0.5} b d$; $d = h - c_c - d_s - d_b / 2$	N	319225
V_s Perlu	11.1.1	22.5.10.1	$V_u / \phi - V_c$	N	244426
A_s /s Perlu	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$V_s / (f_{yt} * d)$; $d = h - c_c - d_s - d_b / 2$	mm ² / mm	1.1848
A_s /s Min 1	-	10.6.2.2	$0.062 (f'_c)^{0.5} b / f_{yt}$	mm ² / mm	0.5643
A_s /s Min 2	-	10.6.2.2	$0.35 b / f_{yt}$	mm ² / mm	0.5385
Cek A_s /s			$A_{s2}/s \geq \text{Max} (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min})$?		OK
Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Tumpuan					
Jumlah Kaki Sisi Pendek, n1			Input		2
Jumlah Kaki Sisi Panjang, n2			Input		2
Spasi, s			Input	mm	100
A_v , Sumbu Lemah			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	157.080
A_v , Sumbu Kuat			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	157.080
Confinement/Kekangan Luar Zona Sendi Plastis					
Spasi max 1	21.6.4.5	18.7.5.5	$6 d_b$	mm	132.0
Spasi max 2	21.6.4.5	18.7.5.5	150 mm	mm	150.0
Cek Spasi			Spasi $\leq$ Spasi Max ?		OK
Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis					
Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah					
V_u			Dari Sheet Gaya Dalam	N	190776
ϕ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0.75
V_c	11.2.1.2	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f'_c)^{0.5} h d$; $d = b - c_c - d_s - d_b / 2$	N	319225
V_s Perlu	11.1.1	22.5.10.1	Max ($V_u / \phi - V_c$; 0)		0
A_s /s Perlu	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$V_s / (f_{yt} * d)$; $d = b - c_c - d_s - d_b / 2$		0.0000
A_s /s Min 1	-	10.6.2.2	$0.062 (f'_c)^{0.5} b / f_{yt}$	mm ² / mm	0.0000
A_s /s Min 2	-	10.6.2.2	$0.35 b / f_{yt}$	mm ² / mm	0.0000
Cek A_s /s			$A_{s3}/s \geq A_s/s \text{ Perlu}$?		OK
Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat					
V_u			Dari Sheet Gaya Dalam	N	279828
ϕ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0.75
V_c	11.2.1.2	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f'_c)^{0.5} b d$; $d = h - c_c - d_s - d_b / 2$	N	319225
V_s Perlu	11.1.1	22.5.10.1	Max ($V_u / \phi - V_c$; 0)		53879
A_s /s Perlu	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$V_s / (f_{yt} * d)$; $d = h - c_c - d_s - d_b / 2$		0.2612
A_s /s Min 1	-	10.6.2.2	$0.062 (f'_c)^{0.5} b / f_{yt}$	mm ² / mm	0.5643
A_s /s Min 2	-	10.6.2.2	$0.35 b / f_{yt}$	mm ² / mm	0.5385
Cek A_s /s			$A_{s4}/s \geq A_s/s \text{ Perlu}$?		OK

e. Balok

1. Balok 850 x 450 cm (B1 bentang 6 m)

Tabel L. 34: Desain lentur balok.

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang Balok, L			Input	mm	6000
Lebar Balok, b			Input	mm	450
Tinggi Balok, h			Input	mm	850
Panjang Tumpuan	21.5.3.1	18.6.4.1	2 * h	mm	1700
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b			Input	mm	22
Diameter Tulangan Pinggang, d _{bt}			Input	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Input	mm	10
Selimut Bersih, c _c			Input	mm	50
Tinggi Efektif Balok, d			h - c _c - d _s - d _{bt} /2	mm	779
Kuat Tekan Beton, f _c '			Input	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f _y			Input	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f _{yt}			Input	MPa	390
β ₁	10.2.7.3	Tabel 22.2.2.4.3	0.65 <= 0.85 - 0.05 * (fc' - 28) / 7 <= 0.85		0.8000
Panjang Kolom, c ₁			Input (Sisi tegak lurus lebar balok)	mm	800
Lebar Kolom, c ₂			Input (Sisi yang ditempel balok/sejajar lebar balok)	mm	800
L _n			L - c ₁	mm	5200
λ			Asumsi tidak menggunakan beton ringan		1
Gaya Dalam					
M _{u,tumpuan} (-)			Input	kN-m	-1022.2
M _{u,tumpuan} (+)			Input	kN-m	957.4914
M _{u,lapangan} (-)			Input	kN-m	-554.304
M _{u,lapangan} (+)			Input	kN-m	564.7599
P _u			Input	kN	0

Tabel L.34: *lanjutan.*

Tumpuan Positif					
n			Input		10
d_b				mm	22
Jarak Bersih Antar Tulangan			$(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	12.222
Cek Jarak Bersih	7.6.1	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		TIDAK
Jumlah Lapis					2
As Pasang			$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	3801.327
$As_{min,1}$	10.5.1	9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	1329.411
$As_{min,2}$	10.5.1, 21.5.2.1	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	1258.385
$As_{min,4}$	21.5.2.2	18.6.3.2	0.5 * As Tumpuan Negatif	mm ²	2090.730
Cek As min			As Pasang $\geq As_{min}$?		OK
ρ			$As / (b * d)$		1.08%
$\rho_{max,1}$	B.10.3		$0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f_c' / f_y * (600 / (600 + f_y))$		2.77%
$\rho_{max,2}$	21.5.2.1	18.6.3.1	2.5%		2.50%
Cek As max			$\rho \leq \rho_{max}$?		OK
a	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$As * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	110.739
M_u	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$As * f_y * (d - a/2)$	kN-m	1072.795
c	10.2.7.1	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	138.424
ϵ_s	10.2.2, 10.2.3	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.014
ϕ	S9.3.2	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
ϕM_n			$\phi * M_n$	kN-m	965.515
M_u				kN-m	957.491
Cek $\phi M_n > M_u$			$\phi M_n > M_u$?		OK
As Perlu			$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	3392.762

Lapangan Negatif					
n			Input		6
d_b				mm	22
Jarak Bersih Antar Tulangan			$(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	39.600
Cek Jarak Bersih	7.6.1	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		IYA
Jumlah Lapis					1
As Pasang			$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	2280.796
$As_{min,1}$	10.5.1	9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	1329.411
$As_{min,2}$	10.5.1, 21.5.2.1	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	1258.385
$As_{min,4}$	21.5.2.2	18.6.3.2	0.25 * As Tumpuan Negatif	mm ²	1045.365
Cek As min			As Pasang $\geq As_{min}$?		OK
ρ			$As / (b * d)$		0.659%
$\rho_{max,1}$	B.10.3		$0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f_c' / f_y * (600 / (600 + f_y))$		2.77%
$\rho_{max,2}$	21.5.2.1	18.6.3.1	2.5%		2.50%
Cek As max			$\rho \leq \rho_{max}$?		OK
a	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$As * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	66.443
M_u	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$As * f_y * (d - a/2)$	kN-m	663.378
c	10.2.7.1	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	83.054
ϵ_s	10.2.2, 10.2.3	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.025
ϕ	S9.3.2	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
ϕM_n			$\phi * M_n$	kN-m	597.040
M_u				kN-m	554.304
Cek $\phi M_n > M_u$			$\phi M_n > M_u$?		OK
As Perlu			$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	1905.782

Tabel L.34: *lanjutan.*

Lapangan Positif					
n			Input		6
d_b				mm	22
Jarak Bersih Antar Tulangan			$(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	39.600
Cek Jarak Bersih	7.6.1	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		IYA
Jumlah Lapis					1
As Pasang			$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	2280.796
$As_{min,1}$	10.5.1	9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	1329.411
$As_{min,2}$	10.5.1, 21.5.2.1	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	1258.385
$As_{min,4}$	21.5.2.2	18.6.3.2	0.25 * As Tumpuan Negatif	mm ²	1045.365
Cek As min			As Pasang $\geq$ As min ?		OK
ρ			$As / (b * d)$		0.65%
$\rho_{max,1}$	B.10.3		$0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f_c' / f_y * (600 / (600 + f_y))$		2.77%
$\rho_{max,2}$	21.5.2.1	18.6.3.1	2.5%		2.50%
Cek As max			$\rho \leq \rho_{max} ?$		OK
a	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$As * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	66.443
M_n	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$As * f_y * (d - a/2)$	kN-m	663.378
c	10.2.7.1	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	83.054
ϵ_s	10.2.2, 10.2.3	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.025
ϕ	S9.3.2	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (e_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
ϕM_n			$\phi * M_n$	kN-m	597.040
M_u				kN-m	564.760
Cek $\phi M_n > M_u$			$\phi M_n > M_u ?$		OK
As Perlu			$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	1941.733

Tabel L. 35: Desain geser balok.

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang Balok, L			Dari Sheet Desain Lentur	mm	6000
Lebar Balok, b			Dari Sheet Desain Lentur	mm	450
Tinggi Balok, h			Dari Sheet Desain Lentur	mm	850
Panjang Tumpuan	21.5.3.1	18.6.4.1	Dari Sheet Desain Lentur	mm	1700
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b			Dari Sheet Desain Lentur	mm	22
Diameter Tulangan Pinggang, d_{st}			Dari Sheet Desain Lentur	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d_s			Dari Sheet Desain Lentur	mm	10
Selimut Bersih, c_c			Dari Sheet Desain Lentur	mm	50
Tinggi Efektif Balok, d			Dari Sheet Desain Lentur	mm	779
Kuat Tekan Beton, f_c'			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv}			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	390
β_1	10.2.7.3	Tabel 22.2.2.4.3	Dari Sheet Desain Lentur		0.8000
Panjang Kolom, c_1			Dari Sheet Desain Lentur	mm	800
Lebar Kolom, c_2			Dari Sheet Desain Lentur	mm	800
L_n			Dari Sheet Desain Lentur	mm	5200
Gaya Dalam					
$V_{u, \text{tumpuan}}$			Input	kN	1471.3428
$V_{u, \text{lengan gan}}$			Input	kN	494.6386
Tumpuan					
Gaya Desain					
$V_{g, \text{tumpuan}}$	S21.5.4	R18.6.5	Input [Kombinasi 1.2 D + L]	kN	188.5254
$A_s^+ \text{ Tumpuan}$			Dari Sheet Desain Lentur	mm ²	3801.327
$A_s^- \text{ Tumpuan}$			Dari Sheet Desain Lentur	mm ²	4181.460
a_{pr}^+			1.25 a (tumpuan positif)	mm	138.424
a_{pr}^-			1.25 a (tumpuan negatif)	mm	152.266
M_{pr}^+	S21.5.4	R18.6.5	$A_s^+ * (1.25 f_y) * (d - a_{pr}^+ / 2)$	N mm	1315341779
M_{pr}^-	S21.5.4	R18.6.5	$A_s^- * (1.25 f_y) * (d - a_{pr}^- / 2)$	N mm	1432767389
$V_{s \text{ way}}$ atau V_{pr}	21.5.4.1	18.6.5.1	$(M_{pr}^+ + M_{pr}^-) / L_n$	N	528483
V_e	21.5.4.1	18.6.5.1	$V_g + V_{pr}$	N	717008
Tahanan Geser Beton					
V_{pr}				N	528483
$1/2 V_e$				N	358504
P_u				N	0
$A_g f_c' / 20$				N	669375
V_c Diperhitungkan?	21.5.4.2	18.6.5.2	$V_c = 0$ jika $V_{pr} \geq 1/2 V_e$ dan $P_u < A_g f_c' / 20$		Tidak
V_c				N	0

Tabel L.35: *lanjutan*

Penulangan Geser					
Jumlah Kaki			Input		6
Av			$n \cdot \pi/4 \cdot d_s^2$	mm ²	471.239
Spasi			Input	mm	100
Spasi Max 1	21.5.3.2	18.6.4.4	$d / 4$	mm	194.75
Spasi Max 2	21.5.3.2	18.6.4.4	$6 d_b$	mm	132.00
Spasi Max 3	21.5.3.2	18.6.4.4	150 mm	mm	150.00
Cek Spasi					OK
V _s	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$A_v \cdot f_{yv} \cdot d / s$	N	1431671
Batas V _s	11.4.7.9	22.5.1.2	$0.66 \cdot (f_c')^{0.5} \cdot b \cdot d$	N	1368762
ϕ	9.3.2.3	12.5.3.2, 21.2.4			0.75
V _n			$V_c + V_s$	N	1368762
V _u				N	717008
$\phi V_n / V_u$					1.432
Cek Kapasitas			$\phi V_n / V_u \geq 1 ?$		OK
Lapangan					
Penulangan Geser					
Jumlah Kaki			Input		5
Av			$n \cdot \pi/4 \cdot d_s^2$	mm ²	392.699
Spasi			Input	mm	150
Spasi Max	21.5.3.4	18.6.4.6	$d / 2$	mm	389.50
Cek Spasi					OK
V _s	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$A_v \cdot f_{yv} \cdot d / s$	N	795373
Batas V _s	11.4.7.9	22.5.1.2	$0.66 \cdot (f_c')^{0.5} \cdot b \cdot d$	N	1368762
V _c	11.2.1.1	22.5.5.1	$0.17 \cdot (f_c')^{0.5} \cdot b \cdot d$	N	352560
ϕ	9.3.2.3	12.5.3.2, 21.2.4			0.75
V _n			$V_c + V_s$		1147933
V _u				N	494638.6
$\phi V_n / V_u$					1.741
Cek Kapasitas			$\phi V_n / V_u \geq 1 ?$		OK

Tabel L. 36: Desain torsi balok.

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang Balok, L			Dari Sheet Desain Lentur	mm	6000
Lebar Balok, b			Dari Sheet Desain Lentur	mm	450
Tinggi Balok, h			Dari Sheet Desain Lentur	mm	850
Panjang Tumpuan	21.5.3.1	18.6.4.1	Dari Sheet Desain Lentur	mm	1700
Diameter Tulangan Longitudinal, d _l			Dari Sheet Desain Lentur	mm	22
Diameter Tulangan Pinggang, d _{st}			Dari Sheet Desain Lentur	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Dari Sheet Desain Lentur	mm	10
Selimut Bersih, c _c			Dari Sheet Desain Lentur	mm	50
Tinggi Efektif Balok, d			Dari Sheet Desain Lentur	mm	779
Kuat Tekan Beton, f _c '			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f _y			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f _{yt}			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	390
β ₁	10.2.7.3	Tabel 22.2.2.4.3	Dari Sheet Desain Lentur		0.8000
Panjang Kolom, c ₁			Dari Sheet Desain Lentur	mm	800
Lebar Kolom, c ₂			Dari Sheet Desain Lentur	mm	800
L _n			Dari Sheet Desain Lentur	mm	5200
Parameter Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi					
A _{cp}			b * h	mm ²	382500
P _{cp}			2 * (b + h)	mm	2600
x _o			b - 2c _c - d _s	mm	340
y _o			h - 2c _c - d _s	mm	740
A _{oh}		R22.7.6.1.1	x _o * y _o	mm ²	251600
A _o	11.5.3.6	22.7.6.1.1	0.85 A _{oh}	mm ²	213860
P _h		22.7.6.1	2 * (x _o + y _o)	mm	2160
Gaya Dalam					
T _u			Input	kN m	165.7311
Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi					
T _{cr}			0.33 * (f _c ') ^{0.5} * A _{cp} ² / P _{cp}	N mm	109859468
φ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0.75
φ T _{cr} / 4				N mm	20598650
Perlu Tulangan Torsi?	11.5.1	Tabel 22.7.4.1	T _u > φ T _{cr} / 4 ?		Iya
Perhitungan di bawah ini harus diperiksa					
Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang					
Jenis Torsi			Statis Tertentu = Keseimbangan, Tak Tentu = Kompatibilitas	Statis	Kompatibilitas
T _u Pakai	11.5.2.2	22.7.3.2, 22.7.5	φ T _{cr} atau T _u	N mm	82394601
V _u			Dari Sheet Desain Geser	N	717008
V _c	11.2.1.1	22.5.5.1	0.17 * (f _c ') ^{0.5} * b * d	N	352560
Tegangan Ultimate Geser+Torsi	11.5.3.1	22.7.7.1	{ [V _u / b*d] ² + [T _u P _h / (1.7 A _{oh} ²)] ² } ^{0.5}	MPa	2.630
Kapasitas Tegangan Beton	11.5.3.1	22.7.7.1	φ * { [V _c / (b * d)] + 0.66 * (f _c ') ^{0.5} }	MPa	3.683
Cek Dimensi Penampang	11.5.3.1	22.7.7.1	Ruas Kiri <= Ruas Kanan ?		OK
Parameter Umum Lainnya					
f _y / f _{yt}			Kuat Leleh Baja Tulangan Torsi = Kuat Leleh Baja Tulangan Lentur dan Geser		1
θ	11.5.3.6	22.7.6.1.2	θ diambil untuk balok komponen struktur non prategang	°	45

Tabel L.36: lanjutan

Penulangan Transversal Torsi					
n kaki Tumpuan			Dari Sheet Desain Geser		6
n kaki Lapangan			Dari Sheet Desain Geser		5
s Tumpuan			Dari Sheet Desain Geser	mm	100
s Lapangan			Dari Sheet Desain Geser	mm	150
s max 1	11.5.6.1	9.7.6.3.3	$P_h / 8$	mm	270
s max 2	11.5.6.1	9.7.6.3.3	300 mm	mm	300
Cek Spasi Tumpuan			s Tumpuan $\geq$ s max ?		OK
Cek Spasi Lapangan			s Lapangan $\geq$ s max ?		OK
A_{vnt} / s Tumpuan Pasang			$n * \pi / 4 * d_s^2 / s$	mm ² /mm	4.712
A_{vnt} / s Tumpuan Pasang			$n * \pi / 4 * d_s^2 / s$	mm ² /mm	2.618
A_t / s	11.5.3.6	22.7.6.1	$T_u / (2 * \phi * A_o * f_{yv})$	mm ² /mm	0.659
A_v / s Tumpuan Perlu			$(V_u \text{ Tumpuan} / \phi - V_d) / (f_{yv} * d)$	mm ² /mm	3.147
A_v / s Lapangan Perlu			$(V_u \text{ Lapangan} / \phi - V_d) / (f_{yv} * d)$	mm ² /mm	1.010
A_{vnt} / s Tumpuan Perlu	11.5.5.2	R9.5.4.3	$2 * A_t / s + A_v / s$		4.464
A_{vnt} / s Lapangan Perlu	11.5.5.2	R9.5.4.3	$2 * A_t / s + A_v / s$		2.328
A_{vnt} / s min 1	11.5.5.2	9.6.4.2	$0.062 * (f_c')^{0.5} * b / f_{yv}$		0.423
A_{vnt} / s min 2	11.5.5.2	9.6.4.2	$0.35 * b / f_{yv}$		0.404
Cek Geser + Torsi Tumpuan			A_{vnt} / s Pasang $\geq A_{vnt} / s$ Perlu dan min ?		OK
Cek Geser + Torsi Lapangan			A_{vnt} / s Pasang $\geq A_{vnt} / s$ Perlu dan min ?		OK
Penulangan Longitudinal Torsi					
d_b atau d_{se}				mm	22
d_b , min	11.5.6.2	9.7.5.2	0.042 s	mm	6.3
Cek d_b			$d_b \geq d_b$ min ?		OK
As Perlu Tumpuan Atas			Dari Sheet Desain Geser	mm ²	3649.990
As Perlu Tumpuan Bawah			Dari Sheet Desain Geser	mm ²	3392.762
As Perlu Lapangan Atas			Dari Sheet Desain Geser	mm ²	1905.782
As Perlu Lapangan Bawah			Dari Sheet Desain Geser	mm ²	1941.733
A_t	11.5.3.7	22.7.6.1	$A_t / s * P_h$	mm ²	1422.548
A_t min	11.5.5.3	9.6.4.3	$0.42 * (f_c')^{0.5} * A_{cp} / f_y - (A_t / s) * P_h$	mm ²	1014.421
$A_v + A_t$ Perlu Tumpuan				mm ²	8465.301
$A_v + A_t$ Perlu Lapangan				mm ²	5270.064
n Tumpuan Atas			Dari Sheet Desain Lentur		11
n Tumpuan Tengah			Input (Disarankan Kelipatan 2)		4
n Tumpuan Bawah			Dari Sheet Desain Lentur		10
n Tumpuan Vertikal			$2 + n \text{ Tengah} / 2$		4
n Lapangan Atas			Dari Sheet Desain Lentur		6
n Lapangan Tengah			Input (Disarankan Kelipatan 2)		4
n Lapangan Atas			Dari Sheet Desain Lentur		6
n Tumpuan Vertikal			$2 + n \text{ Tengah} / 2$		4
Spasi Horizontal Tumpuan			$(b - 2c_c - 2d_s - d_b) / [\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]$	mm	34
Spasi Vertikal Tumpuan			$(h - 2c_c - 2d_s - d_b) / (n \text{ Vertikal} - 1)$	mm	236
Spasi Horizontal Lapangan			$(b - 2c_c - 2d_s - d_b) / [\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]$	mm	62
Spasi Vertikal Lapangan			$(h - 2c_c - 2d_s - d_b) / (n \text{ Vertikal} - 1)$	mm	236
Cek Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan	11.5.6.2		Spasi $\geq$ 300 mm ?		OK
Cek Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan	11.5.6.2		Spasi $\geq$ 300 mm ?		OK
$A_v + A_t$ Pasang Tumpuan				mm ²	9503.318
$A_v + A_t$ Pasang Lapangan				mm ²	6082.123
Cek Lentur + Torsi Tumpuan			$A_v + A_t$ Pasang $\geq A_v + A_t$ Perlu ?		OK
Cek Lentur + Torsi Lapangan			$A_v + A_t$ Pasang $\geq A_v + A_t$ Perlu ?		OK

2. Balok 850 x 450 cm (B1 bentang 5 m)

Tabel L. 37: Desain lentur balok.

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang Balok, L			Input	mm	5000
Lebar Balok, b			Input	mm	450
Tinggi Balok, h			Input	mm	850
Panjang Tumpuan	21.5.3.1	18.6.4.1	$2 * h$	mm	1700
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b			Input	mm	22
Diameter Tulangan Pinggang, d_{st}			Input	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d_s			Input	mm	10
Selimut Bersih, c_c			Input	mm	50
Tinggi Efektif Balok, d			$h - c_c - d_s - d_{st}/2$	mm	779
Kuat Tekan Beton, f'_c			Input	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y			Input	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yt}			Input	MPa	390
β_1	10.2.7.3	Tabel 22.2.2.4.3	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f'_c - 28) / 7 \leq 0.85$		0.8000
Panjang Kolom, c_1			Input (Sisi tegak lurus lebar balok)	mm	800
Lebar Kolom, c_2			Input (Sisi yang ditempel balok/sejajar lebar balok)	mm	800
L_n			$L - c_1$	mm	4200
λ			Asumsi tidak menggunakan beton ringan		1
Gaya Dalam					
$M_{u,tumpuan (-)}$			Input	kN-m	-1022.2
$M_{u,tumpuan (+)}$			Input	kN-m	957.4914
$M_{u,lapangan (-)}$			Input	kN-m	-554.304
$M_{u,lapangan (+)}$			Input	kN-m	564.7599
Pu			Input	kN	0
Syarat Gaya dan Geometri					
Syarat Gaya Aksial	21.5.1.1	Tidak dipersyaratkan. Baca R18.6.1 dan 18.6.4.7	$P_u \leq 0.1 A_g f'_c$?		OK
Syarat Tinggi Efektif	21.5.1.2	18.6.2.1	$L_n \geq 4d$?		OK
Syarat Lebar 1	21.5.1.3	18.6.2.1	$b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm})$?		OK
Syarat Lebar 2	21.5.1.4	18.6.2.1	$b \leq c_2 + 2 * \min(c_2, 0.75 c_1)$?		OK

Tabel L.37: lanjutan.

Penulangan Lentur					
Tumpuan Negatif					
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n			Input		11
d_b				mm	22
Jarak Bersih Antar Tulangan			$(b - 2 c_c - 2 d_b - n * d_b) / (n - 1)$	mm	8.800
Cek Jarak Bersih	7.6.1	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		TIDAK
Jumlah Lapis					2
As Pasang			$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	4181.460
$A_{s \min,1}$	10.5.1	9.6.1.2	$(f_t')^{0.5} / (4 * f_t') * b * d$	mm ²	1329.411
$A_{s \min,2}$	10.5.1, 21.5.2.1	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_t') * b * d$	mm ²	1258.385
Cek As min			As Pasang $\geq$ As min ?		OK
ρ			$A_s / (b * d)$		1.19%
$\rho_{\max,1}$	B.10.3	Tidak ada	$0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f_t' / f_y * (600 / (600 + f_y))$		2.77%
$\rho_{\max,2}$	21.5.2.1	18.6.3.1	2.5%		2.50%
Cek As max			$\rho \leq \rho_{\max}$?		OK
a	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	121.813
M_n	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$A_s * f_y * (d - a/2)$	kN-m	1171.045
c	10.2.7.1	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	152.266
ϵ_i	10.2.2, 10.2.3	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.012
ϕ	S9.3.2	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (e_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
ϕM_n			$\phi * M_n$	kN-m	1053.940
$M_{n \text{ tumpuan (-)}}$				kN-m	1022.204
Cek Kapasitas			$\phi M_n > M_u$?		OK
As Perlu			$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	3649.990
Tumpuan Positif					
n			Input		10
d_b				mm	22
Jarak Bersih Antar Tulangan			$(b - 2 c_c - 2 d_b - n * d_b) / (n - 1)$	mm	12.222
Cek Jarak Bersih	7.6.1	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		TIDAK
Jumlah Lapis					2
As Pasang			$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	3801.327
$A_{s \min,1}$	10.5.1	9.6.1.2	$(f_t')^{0.5} / (4 * f_t') * b * d$	mm ²	1329.411
$A_{s \min,2}$	10.5.1, 21.5.2.1	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_t') * b * d$	mm ²	1258.385
$A_{s \min,4}$	21.5.2.2	18.6.3.2	$0.5 * A_s \text{ Tumpuan Negatif}$	mm ²	2090.730
Cek As min			As Pasang $\geq$ As min ?		OK
ρ			$A_s / (b * d)$		1.08%
$\rho_{\max,1}$	B.10.3		$0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f_t' / f_y * (600 / (600 + f_y))$		2.77%
$\rho_{\max,2}$	21.5.2.1	18.6.3.1	2.5%		2.50%
Cek As max			$\rho \leq \rho_{\max}$?		OK
a	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	110.739
M_n	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$A_s * f_y * (d - a/2)$	kN-m	1072.795
c	10.2.7.1	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	138.424
ϵ_i	10.2.2, 10.2.3	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.014
ϕ	S9.3.2	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (e_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
ϕM_n			$\phi * M_n$	kN-m	965.515
M_u				kN-m	957.491
Cek $\phi M_n > M_u$			$\phi M_n > M_u$?		OK
As Perlu			$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	3392.762

Tabel L.37: lanjutan.

Lapangan Negatif					
n			Input		6
d_b				mm	22
Jarak Bersih Antar Tulangan			$(b - 2 c_c - 2 d_b - n * d_b) / (n - 1)$	mm	39.600
Cek Jarak Bersih	7.6.1	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		IYA
Jumlah Lapis					1
As Pasang			$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	2280.796
$As_{min,1}$	10.5.1	9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	1329.411
$As_{min,2}$	10.5.1, 21.5.2.1	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	1258.385
$As_{min,4}$	21.5.2.2	18.6.3.2	$0.25 * As \text{ Tumpuan Negatif}$	mm ²	1045.365
Cek As min			As Pasang $\geq As_{min}$?		OK
ρ			$As / (b * d)$		0.65%
$\rho_{max,1}$	B.10.3		$0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f_c' / f_y * (600 / (600 + f_y))$		2.77%
$\rho_{max,2}$	21.5.2.1	18.6.3.1	2.5%		2.50%
Cek As max			$\rho \leq \rho_{max}$?		OK
a	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$As * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	66.443
M_n	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$As * f_y * (d - a/2)$	kN-m	663.378
c	10.2.7.1	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	83.054
ϵ_s	10.2.2, 10.2.3	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.025
ϕ	S9.3.2	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (e_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
ϕM_n			$\phi * M_n$	kN-m	597.040
M_u				kN-m	554.304
Cek $\phi M_n \geq M_u$			$\phi M_n \geq M_u$?		OK
As Perlu			$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	1905.782
Lapangan Positif					
n			Input		6
d_b				mm	22
Jarak Bersih Antar Tulangan			$(b - 2 c_c - 2 d_b - n * d_b) / (n - 1)$	mm	39.600
Cek Jarak Bersih	7.6.1	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		IYA
Jumlah Lapis					1
As Pasang			$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	2280.796
$As_{min,1}$	10.5.1	9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	1329.411
$As_{min,2}$	10.5.1, 21.5.2.1	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	1258.385
$As_{min,4}$	21.5.2.2	18.6.3.2	$0.25 * As \text{ Tumpuan Negatif}$	mm ²	1045.365
Cek As min			As Pasang $\geq As_{min}$?		OK
ρ			$As / (b * d)$		0.65%
$\rho_{max,1}$	B.10.3		$0.75 \rho_b = 0.75 * 0.85 * \beta_1 * f_c' / f_y * (600 / (600 + f_y))$		2.77%
$\rho_{max,2}$	21.5.2.1	18.6.3.1	2.5%		2.50%
Cek As max			$\rho \leq \rho_{max}$?		OK
a	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$As * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	66.443
M_n	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$As * f_y * (d - a/2)$	kN-m	663.378
c	10.2.7.1	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	83.054
ϵ_s	10.2.2, 10.2.3	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.025
ϕ	S9.3.2	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (e_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
ϕM_n			$\phi * M_n$	kN-m	597.040
M_u				kN-m	564.760
Cek $\phi M_n \geq M_u$			$\phi M_n \geq M_u$?		OK
As Perlu			$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	1941.733

Tabel L. 38: Desain geser balok.

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang Balok, L			Dari Sheet Desain Lentur	mm	5000
Lebar Balok, b			Dari Sheet Desain Lentur	mm	450
Tinggi Balok, h			Dari Sheet Desain Lentur	mm	850
Panjang Tumpuan	21.5.3.1	18.6.4.1	Dari Sheet Desain Lentur	mm	1700
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b			Dari Sheet Desain Lentur	mm	22
Diameter Tulangan Pinggang, d _{st}			Dari Sheet Desain Lentur	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Dari Sheet Desain Lentur	mm	10
Selimum Bersih, c _c			Dari Sheet Desain Lentur	mm	50
Tinggi Efektif Balok, d			Dari Sheet Desain Lentur	mm	779
Kuat Tekan Beton, f _c '			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f _y			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f _{yt}			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	390
β ₁	10.2.7.3	Tabel 22.2.2.4.3	Dari Sheet Desain Lentur		0.8000
Panjang Kolom, c ₁			Dari Sheet Desain Lentur	mm	800
Lebar Kolom, c ₂			Dari Sheet Desain Lentur	mm	800
L _n			Dari Sheet Desain Lentur	mm	4200
Gaya Dalam					
V _{u,tumpuan}			Input	kN	1471.3428
V _{u,lapangan}			Input	kN	494.6386
Tumpuan					
Gaya Desain					
V _{g,tumpuan}	S21.5.4	R18.6.5	Input [Kombinasi 1.2 D + L]	kN	188.5254
A _s ⁺ Tumpuan			Dari Sheet Desain Lentur	mm ²	3801.327
A _s ⁻ Tumpuan			Dari Sheet Desain Lentur	mm ²	4181.460
a _{pr} ⁺			1.25 a (tumpuan positif)	mm	138.424
a _{pr} ⁻			1.25 a (tumpuan negatif)	mm	152.266
M _{pr} ⁺	S21.5.4	R18.6.5	A _s ⁺ * (1.25 f _y) * (d - a _{pr} ⁺ /2)	N mm	1315341779
M _{pr} ⁻	S21.5.4	R18.6.5	A _s ⁻ * (1.25 f _y) * (d - a _{pr} ⁻ /2)	N mm	1432767389
V _{sway} atau V _{pr}	21.5.4.1	18.6.5.1	(M _{pr} ⁺ + M _{pr} ⁻) / L _n	N	654312
V _e	21.5.4.1	18.6.5.1	V _g + V _{pr}	N	842837
Tahanan Geser Beton					
V _{pr}				N	654312
1/2 V _e				N	421419
P _u				N	0
A _g f _c ' / 20				N	669375
V _c Diperhitungkan?	21.5.4.2	18.6.5.2	V _c = 0 jika V _{pr} >= 1/2 V _e dan P _u < A _g f _c ' / 20		Tidak
V _c				N	0

Tabel L.38: lanjutan

Penulangan Geser					
Jumlah Kaki			Input		5
A_v			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	392.699
Spasi			Input	mm	100
Spasi Max 1	21.5.3.2	18.6.4.4	$d / 4$	mm	194.75
Spasi Max 2	21.5.3.2	18.6.4.4	$6 d_b$	mm	132.00
Spasi Max 3	21.5.3.2	18.6.4.4	150 mm	mm	150.00
Cek Spasi					OK
V_s	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$A_v * f_{yv} * d / s$	N	1193059
Batas V_s	11.4.7.9	22.5.1.2	$0.66 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	1368762
ϕ	9.3.2.3	12.5.3.2, 21.2.4			0.75
V_n			$V_c + V_s$	N	1193059
V_u				N	842837
$\phi V_n / V_u$					1.062
Cek Kapasitas			$\phi V_n / V_u \geq 1 ?$		OK
Lapangan					
Penulangan Geser					
Jumlah Kaki			Input		2
A_v			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	157.080
Spasi			Input	mm	150
Spasi Max	21.5.3.4	18.6.4.6	$d / 2$	mm	389.50
Cek Spasi					OK
V_s	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$A_v * f_{yv} * d / s$	N	318149
Batas V_s	11.4.7.9	22.5.1.2	$0.66 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	1368762
V_c	11.2.1.1	22.5.5.1	$0.17 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	352560
ϕ	9.3.2.3	12.5.3.2, 21.2.4			0.75
V_n			$V_c + V_s$		670709
V_u				N	494638.6
$\phi V_n / V_u$					1.017
Cek Kapasitas			$\phi V_n / V_u \geq 1 ?$		OK

Tabel L. 39: Desain torsi balok.

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang Balok, L			Dari Sheet Desain Lentur	mm	5000
Lebar Balok, b			Dari Sheet Desain Lentur	mm	450
Tinggi Balok, h			Dari Sheet Desain Lentur	mm	850
Panjang Tumpuan	21.5.3.1	18.6.4.1	Dari Sheet Desain Lentur	mm	1700
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b			Dari Sheet Desain Lentur	mm	22
Diameter Tulangan Pinggang, d _{st}			Dari Sheet Desain Lentur	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d _s			Dari Sheet Desain Lentur	mm	10
Selimum Bersih, c _c			Dari Sheet Desain Lentur	mm	50
Tinggi Efektif Balok, d			Dari Sheet Desain Lentur	mm	779
Kuat Tekan Beton, f _c '			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f _y			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f _{sv}			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	390
β ₁	10.2.7.3	Tabel 22.2.2.4.3	Dari Sheet Desain Lentur		0.8000
Panjang Kolom, c ₁			Dari Sheet Desain Lentur	mm	800
Lebar Kolom, c ₂			Dari Sheet Desain Lentur	mm	800
L _n			Dari Sheet Desain Lentur	mm	4200
Parameter Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi					
A _{cp}			b * h	mm ²	382500
P _{cp}			2 * (b + h)	mm	2600
x _o			b - 2c _c - d _s	mm	340
y _o			h - 2c _c - d _s	mm	740
A _{oh}		R22.7.6.1.1	x _o * y _o	mm ²	251600
A _o	11.5.3.6	22.7.6.1.1	0.85 A _{oh}	mm ²	213860
P _h		22.7.6.1	2 * (x _o + y _o)	mm	2160
Gaya Dalam					
T _u			Input	kN m	152.3467
Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi					
T _{cr}			0.33 * (f _c ') ^{0.5} * A _{cp} ² / P _{cp}	N mm	109859468
φ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0.75
φ T _{cr} / 4				N mm	20598650
Perlu Tulangan Torsi?	11.5.1	Tabel 22.7.4.1	T _u > φ T _{cr} / 4 ?		Iya
Perhitungan di bawah ini harus diperiksa					
Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang					
Jenis Torsi			Statis Tertentu = Keseimbangan, Tak Tentu = Kompatibilitas	Statis	Kompatibilitas
T _u Pakai	11.5.2.2	22.7.3.2, 22.7.5	φ T _{cr} atau T _u	N mm	82394601
V _u			Dari Sheet Desain Geser	N	842837
V _c	11.2.1.1	22.5.5.1	0.17 * (f _c ') ^{0.5} * b * d	N	352560
Tegangan Ultimate Geser+Torsi	11.5.3.1	22.7.7.1	{ [V _u / b*d] ² + [T _u P _h / (1.7 A _{oh} ³)] ² } ^{0.5}	MPa	2.918
Kapasitas Tegangan Beton	11.5.3.1	22.7.7.1	φ * { [V _c / (b * d)] + 0.66 * (f _c ') ^{0.5} }	MPa	3.683
Cek Dimensi Penampang	11.5.3.1	22.7.7.1	Ruas Kiri <= Ruas Kanan ?		OK
Parameter Umum Lainnya					
f _y / f _{yt}			Kuat Leleh Baja Tulangan Torsi = Kuat Leleh Baja Tulangan Lentur dan Geser		1
θ	11.5.3.6	22.7.6.1.2	θ diambil untuk balok komponen struktur non prategang	°	45

Tabel L.39: lanjutan.

Penulangan Transversal Torsi					
n kaki Tumpuan			Dari Sheet Desain Geser		7
n kaki Lapangan			Dari Sheet Desain Geser		5
s Tumpuan			Dari Sheet Desain Geser	mm	100
s Lapangan			Dari Sheet Desain Geser	mm	150
s max 1	11.5.6.1	9.7.6.3.3	$P_h / 8$	mm	270
s max 2	11.5.6.1	9.7.6.3.3	300 mm	mm	300
Cek Spasi Tumpuan			s Tumpuan $\geq$ s max ?		OK
Cek Spasi Lapangan			s Lapangan $\geq$ s max ?		OK
A_{vt} / s Tumpuan Pasang			$n * \pi / 4 * d_v^2 / s$	mm ² /mm	5.498
A_{vt} / s Tumpuan Pasang			$n * \pi / 4 * d_v^2 / s$	mm ² /mm	2.618
A_t / s	11.5.3.6	22.7.6.1	$T_u / (2 * \phi * A_o * f_{yv})$	mm ² /mm	0.659
A_v / s Tumpuan Perlu			$(V_u \text{ Tumpuan} / \phi - V_d) / (f_{yv} * d)$	mm ² /mm	3.699
A_v / s Lapangan Perlu			$(V_u \text{ Lapangan} / \phi - V_d) / (f_{yv} * d)$	mm ² /mm	1.010
A_{vt} / s Tumpuan Perlu	11.5.5.2	R9.5.4.3	$2 * A_t / s + A_v / s$		5.016
A_{vt} / s Lapangan Perlu	11.5.5.2	R9.5.4.3	$2 * A_t / s + A_v / s$		2.328
A_{vt} / s min 1	11.5.5.2	9.6.4.2	$0.062 * (f_c')^{0.5} * b / f_{yv}$		0.423
A_{vt} / s min 2	11.5.5.2	9.6.4.2	$0.35 * b / f_{yv}$		0.404
Cek Geser + Torsi Tumpuan			A_{vt} / s Pasang $\geq A_{vt} / s$ Perlu dan min ?		OK
Cek Geser + Torsi Lapangan			A_{vt} / s Pasang $\geq A_{vt} / s$ Perlu dan min ?		OK
Penulangan Longitudinal Torsi					
d_b atau d_{be}				mm	22
d_b , min	11.5.6.2	9.7.5.2	0.042 s	mm	6.3
Cek d_b			$d_b \geq d_b$ min ?		OK
As Perlu Tumpuan Atas			Dari Sheet Desain Geser	mm ²	3649.990
As Perlu Tumpuan Bawah			Dari Sheet Desain Geser	mm ²	3392.762
As Perlu Lapangan Atas			Dari Sheet Desain Geser	mm ²	1905.782
As Perlu Lapangan Bawah			Dari Sheet Desain Geser	mm ²	1941.733
A_1	11.5.3.7	22.7.6.1	$A_t / s * P_h$	mm ²	1422.548
A_1 min	11.5.5.3	9.6.4.3	$0.42 * (f_c')^{0.5} * A_{cp} / f_y - (A_t/s) * P_h$	mm ²	1014.421
$A_s + A_1$ Perlu Tumpuan				mm ²	8465.301
$A_s + A_1$ Perlu Lapangan				mm ²	5270.064
n Tumpuan Atas			Dari Sheet Desain Lentur		11
n Tumpuan Tengah			Input (Disarankan Kelipatan 2)		4
n Tumpuan Bawah			Dari Sheet Desain Lentur		10
n Tumpuan Vertikal			$2 + n \text{ Tengah} / 2$		4
n Lapangan Atas			Dari Sheet Desain Lentur		6
n Lapangan Tengah			Input (Disarankan Kelipatan 2)		4
n Lapangan Atas			Dari Sheet Desain Lentur		6
n Tumpuan Vertikal			$2 + n \text{ Tengah} / 2$		4
Spasi Horizontal Tumpuan			$(b - 2c_c - 2d_s - d_o) / [\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]$	mm	34
Spasi Vertikal Tumpuan			$(h - 2c_c - 2d_s - d_o) / (n \text{ Vertikal} - 1)$	mm	236
Spasi Horizontal Lapangan			$(b - 2c_c - 2d_s - d_o) / [\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]$	mm	62
Spasi Vertikal Lapangan			$(h - 2c_c - 2d_s - d_o) / (n \text{ Vertikal} - 1)$	mm	236
Cek Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan	11.5.6.2		Spasi $\geq$ 300 mm ?		OK
Cek Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan	11.5.6.2		Spasi $\geq$ 300 mm ?		OK
$A_s + A_1$ Pasang Tumpuan				mm ²	9503.318
$A_s + A_1$ Pasang Lapangan				mm ²	6082.123
Cek Lentur + Torsi Tumpuan			$A_s + A_1$ Pasang $\geq A_s + A_1$ Perlu ?		OK
Cek Lentur + Torsi Lapangan			$A_s + A_1$ Pasang $\geq A_s + A_1$ Perlu ?		OK

3. Balok 700 x 400 cm (B2 bentang 5 m)

Tabel L. 40: Desain lentur balok.

Parameter	Pasal Referensi SNI 2847:2019	Persamaan	Satuan	Nilai
Properti Material dan Penampang				
Lebar Balok, b		Input	mm	400
Tinggi Balok, h		Input	mm	700
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b		Input	mm	22
Diameter Tulangan Pinggang, d_{bt}		Input	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d_s		Input	mm	10
Selimit Bersih, c_c		Input	mm	50
Tinggi Efektif Balok, d		$h - c_c - d_s - d_b/2$	mm	629
Kuat Tekan Beton, f'_c		Input	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y		Input	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv}		Input	MPa	390
β_1	Tabel 22.2.2.4.3	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f'_c - 28) / 7 \leq 0.85$		0.8000
λ		Asumsi tidak menggunakan beton ringan		1
Gaya Dalam				
$M_{u,tumpuan (-)}$		Input	kN-m	-1022.2
$M_{u,tumpuan (+)}$		Input	kN-m	957.4914
$M_{u,lapangan (-)}$		Input	kN-m	-554.304
$M_{u,lapangan (+)}$		Input	kN-m	564.7599
Penulangan Lentur				
Tumpuan Negatif				
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n		Input		15
d_b			mm	22
Jarak Bersih Antar Tulangan		$(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	-3.571
Cek Jarak Bersih	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		TIDAK
Jumlah Lapis				2
As Pasang		$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	5701.991
$A_{s \min 1}$	9.6.1.2	$(f'_c)^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	954.157
$A_{s \min 2}$	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	903.179
Cek As min		As Pasang $\geq A_{s \min}$?		OK
a	22.2.2.4.1	$A_s * f_y / (0.85 * f'_c * b)$	mm	186.872
M_n	22.2.2.4.1	$A_s * f_y * (d - a/2)$	kN-m	1190.975
c	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	233.590
ϵ_s	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.005
ϕ	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
ϕM_n		$\phi * M_n$	kN-m	1071.877
$M_{u,tumpuan (-)}$			kN-m	1022.204
Cek Kapasitas		$\phi M_n > M_u$?		OK
As Perlu		$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	4893.971

Tabel L.40: lanjutan.

Tumpuan Positif				
n		Input		14
d_b			mm	22
Jarak Bersih Antar Tulangan		$(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	-2.154
Cek Jarak Bersih	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		TIDAK
Jumlah Lapis				2
As Pasang		$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	5321.858
As_{min1}	9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	954.157
As_{min2}	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	903.179
Cek As min		As Pasang $\geq As_{min}$?		OK
a	22.2.2.4.1	$A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	174.414
M_n	22.2.2.4.1	$A_s * f_y * (d - a/2)$	kN-m	1124.505
c	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	218.017
ϵ_s	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.006
ϕ	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
ϕM_n		$\phi * M_n$	kN-m	1012.054
M_u			kN-m	957.491
Cek $\phi M_n > M_u$		$\phi M_n > M_u$?		OK
As Perlu		$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	4531.446
Lapangan Negatif				
n		Input		8
d_b			mm	22
Jarak Bersih Antar Tulangan		$(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	14.857
Cek Jarak Bersih	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		TIDAK
Jumlah Lapis				2
As Pasang		$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	3041.062
As_{min1}	9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	954.157
As_{min2}	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	903.179
Cek As min		As Pasang $\geq As_{min}$?		OK
a	22.2.2.4.1	$A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	99.665
M_n	22.2.2.4.1	$A_s * f_y * (d - a/2)$	kN-m	686.901
c	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	124.581
ϵ_s	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.012
ϕ	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
ϕM_n		$\phi * M_n$	kN-m	618.211
M_u			kN-m	554.304
Cek $\phi M_n > M_u$		$\phi M_n > M_u$?		OK
As Perlu		$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	2454.024
Lapangan Positif				
n		Input		8
d_b			mm	22
Jarak Bersih Antar Tulangan		$(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	14.857
Cek Jarak Bersih	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		TIDAK
Jumlah Lapis				2
As Pasang		$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	3041.062
As_{min1}	9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	954.157
As_{min2}	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	903.179
Cek As min		As Pasang $\geq As_{min}$?		OK
a	22.2.2.4.1	$A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	99.665
M_n	22.2.2.4.1	$A_s * f_y * (d - a/2)$	kN-m	686.901
c	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	124.581
ϵ_s	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.012
ϕ	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
ϕM_n		$\phi * M_n$	kN-m	618.211
M_u			kN-m	564.760
Cek $\phi M_n > M_u$		$\phi M_n > M_u$?		OK
As Perlu		$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	2500.317

Tabel L. 41: Desain geser balok.

Parameter	Pasal Referensi SNI 2847:2019	Persamaan	Satuan	Nilai
Properti Material dan Penampang				
Lebar Balok, b		Dari Sheet Desain Lentur	mm	400
Tinggi Balok, h		Dari Sheet Desain Lentur	mm	700
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b		Dari Sheet Desain Lentur	mm	22
Diameter Tulangan Pinggang, d_{ot}		Dari Sheet Desain Lentur	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d_s		Dari Sheet Desain Lentur	mm	10
Selimut Bersih, c_c		Dari Sheet Desain Lentur	mm	50
Tinggi Efektif Balok, d		Dari Sheet Desain Lentur	mm	629
Kuat Tekan Beton, f_c'		Dari Sheet Desain Lentur	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y		Dari Sheet Desain Lentur	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv}		Dari Sheet Desain Lentur	MPa	390
β_1	Tabel 22.2.2.4.3	Dari Sheet Desain Lentur		0.8000
Gaya Dalam				
$V_{u,tumpuan}$		Input	kN	557.3428
$V_{u,lapangan}$		Input	kN	494.6386
Tumpuan				
Jumlah Kaki		Input		7
A_v		$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	549.779
Spasi		Input	mm	150
Batas Penentu Spasi Max	Tabel 9.7.6.2.2	$0.33 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	491200.2722
Cek Spasi Max	Tabel 9.7.6.2.2	$V_u / \Phi - V_c > \text{batas} \rightarrow \text{rapat}$		Renggang
Spasi Max 1	Tabel 9.7.6.2.2	$d / 4 \text{ atau } d / 2$	mm	314.50
Spasi Max 2	Tabel 9.7.6.2.2	300 mm atau 600 mm	mm	600.00
Cek Spasi				OK
Luas per Spasi			mm ² /mm	3.665
Luas per Spasi Minimum 1	9.6.4.2	$0.062 * (f_c')^{0.5} * b / f_{yv}$	mm ² /mm	0.376
Luas per Spasi Minimum 2	9.6.4.2	$0.35 * b / f_{yv}$	mm ² /mm	0.359
Cek Luas per Spasi				OK
V_s	22.5.10.5.3	$A_v * f_{yv} * d / s$	N	899108
Batas V_s	22.5.1.2	$0.66 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	982401
V_c	22.5.5.1	$0.17 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	253043
ϕ	12.5.3.2, 21.2.4			0.75
V_n		$V_c + V_s$	N	1152151
V_u			N	557343
$\phi V_n / V_u$				1.550
Cek Kapasitas		$\phi V_n / V_u \geq 1 ?$		OK
Lapangan				
Jumlah Kaki		Input		6
A_v		$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	471.239
Spasi		Input	mm	150
Batas Penentu Spasi Max	Tabel 9.7.6.2.2	$0.33 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	491200.2722
Cek Spasi Max	Tabel 9.7.6.2.2	$V_u / \Phi - V_c > \text{batas} \rightarrow \text{rapat}$		Renggang
Spasi Max 1	Tabel 9.7.6.2.2	$d / 4 \text{ atau } d / 2$		314.50
Spasi Max 2	Tabel 9.7.6.2.2	300 mm atau 600 mm	mm	600.00
Cek Spasi				OK
Luas per Spasi			mm ² /mm	3.142
Luas per Spasi Minimum 1	9.6.4.2	$0.062 * (f_c')^{0.5} * b / f_{yv}$	mm ² /mm	0.376
Luas per Spasi Minimum 2	9.6.4.2	$0.35 * b / f_{yv}$	mm ² /mm	0.359
Cek Luas per Spasi				OK
V_s	22.5.10.5.3	$A_v * f_{yv} * d / s$	N	770664
Batas V_s	22.5.1.2	$0.66 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	982401
V_c	22.5.5.1	$0.17 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	253043
ϕ	12.5.3.2, 21.2.4			0.75
V_n		$V_c + V_s$		1023707
V_u			N	494638.6
$\phi V_n / V_u$				1.552
Cek Kapasitas		$\phi V_n / V_u \geq 1 ?$		OK

Tabel L. 42: Desain torsi balok.

Parameter	Pasal Referensi SNI 2847:2019	Persamaan	Satuan	Nilai
Properti Material dan Penampang				
Lebar Balok, b		Dari Sheet Desain Lentur	mm	400
Tinggi Balok, h		Dari Sheet Desain Lentur	mm	700
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b		Dari Sheet Desain Lentur	mm	22
Diameter Tulangan Pinggang, d_{st}		Dari Sheet Desain Lentur	mm	22
Diameter Tulangan Sengkang, d_s		Dari Sheet Desain Lentur	mm	10
Selutut Bersih, c_c		Dari Sheet Desain Lentur	mm	50
Tinggi Efektif Balok, d		Dari Sheet Desain Lentur	mm	629
Kuat Tekan Beton, f'_c		Dari Sheet Desain Lentur	MPa	35
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y		Dari Sheet Desain Lentur	MPa	390
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yt}		Dari Sheet Desain Lentur	MPa	390
β_1	Tabel 22.2.2.4.3	Dari Sheet Desain Lentur		0.8000
Parameter Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi				
A_{cp}		$b * h$	mm ²	280000
P_{cp}		$2 * (b + h)$	mm	2200
x_o		$b - 2c_c - d_s$	mm	290
y_o		$h - 2c_c - d_s$	mm	590
A_{oh}	R22.7.6.1.1	$x_o * y_o$	mm ²	171100
A_o	22.7.6.1.1	$0.85 A_{oh}$	mm ²	145435
P_h	22.7.6.1	$2 * (x_o + y_o)$	mm	1760
Gaya Dalam				
T_u		Input	kN m	165.7311
Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi				
T_{tr}	22.7.5.1	$0.33 * (f'_c)^{0.5} * A_{cp}^2 / P_{cp}$	N mm	69573098
ϕ	Tabel 21.2.1			0.75
$\phi T_{tr} / 4$			N mm	13044956
Perlu Tulangan Torsi?	Tabel 22.7.4.1	$T_u > \phi T_{tr} / 4$?		Iya
Perhitungan di bawah ini harus diperiksa				
Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang				
Jenis Torsi		Statis Tertentu = Keseimbangan, Statis Tak Tentu = Kompatibilitas		Kompatibilitas
T_u Pakai	22.7.3.2, 22.7.5	ϕT_{tr} atau T_u	N mm	52179824
V_u		Dari Sheet Desain Geser	N	557343
V_c	22.5.5.1	$0.17 * (f'_c)^{0.5} * b * d$	N	253043
Tegangan Ultimate Geser+Torsi	22.7.7.1	$\{ [V_u / (b * d)]^2 + [T_u P_h / (1.7 A_{oh}^2)]^2 \}^{0.5}$	MPa	2.883
Kapasitas Tegangan Beton	22.7.7.1	$\phi * \{ [V_c / (b * d)] + 0.66 * (f'_c)^{0.5} \}$	MPa	3.683
Cek Dimensi Penampang	22.7.7.1	Ruas Kiri <= Ruas Kanan ?		OK
Parameter Umum Lainnya				
f_y / f_{yt}		Kuat Leren Baja Tulangan Torsi = Kuat Leren Baja Tulangan Lentur dan Geser		1
θ	22.7.6.1.2	θ diambil untuk balok komponen struktur non prategang	°	45
Penulangan Transversal Torsi				
n kaki Tumpuan		Dari Sheet Desain Geser		7
n kaki Lapangan		Dari Sheet Desain Geser		6
s Tumpuan		Dari Sheet Desain Geser	mm	150
s Lapangan		Dari Sheet Desain Geser	mm	150
s max 1	9.7.6.3.3	$P_h / 8$	mm	220
s max 2	9.7.6.3.3	300 mm	mm	300
Cek Spasi Tumpuan		s Tumpuan $\geq s$ max ?		OK
Cek Spasi Lapangan		s Lapangan $\geq s$ max ?		OK
A_{vt1} / s Tumpuan Pasang		$n * \pi / 4 * d_s^2 / s$	mm ² /mm	3.665
A_{vt1} / s Tumpuan Pasang		$n * \pi / 4 * d_s^2 / s$	mm ² /mm	3.142
A_t / s	22.7.6.1	$T_u / (2 * \phi * A_o * f_{yt})$	mm ² /mm	0.613
A_t / s Tumpuan Perlu		$(V_u \text{ Tumpuan} / \phi - V_c) / (f_{yt} * d)$	mm ² /mm	1.998
A_t / s Lapangan Perlu		$(V_u \text{ Lapangan} / \phi - V_c) / (f_{yt} * d)$	mm ² /mm	1.657
A_{vt1} / s Tumpuan Perlu	R9.5.4.3	$2 * A_t / s + A_c / s$		3.224
A_{vt1} / s Lapangan Perlu	R9.5.4.3	$2 * A_t / s + A_c / s$		2.884
A_{vt1} / s min 1	9.6.4.2	$0.062 * (f'_c)^{0.5} * b / f_{yt}$		0.376
A_{vt1} / s min 2	9.6.4.2	$0.35 * b / f_{yt}$		0.359
Cek Geser + Torsi Tumpuan		A_{vt1} / s Pasang $\geq A_{vt1} / s$ Perlu dan min ?		OK
Cek Geser + Torsi Lapangan		A_{vt1} / s Pasang $\geq A_{vt1} / s$ Perlu dan min ?		OK

Tabel L.42: lanjutan.

Penulangan Longitudinal Torsi				
d_b atau d_{bt}			mm	22
d_b , min	9.7.5.2	0.042 s	mm	6.3
Cek d_b		$d_b \geq d_b$ mm ?		OK
As Perlu Tumpuan Atas		Dari Sheet Desain Geser	mm ²	4893.971
As Perlu Tumpuan Bawah		Dari Sheet Desain Geser	mm ²	4531.446
As Perlu Lapangan Atas		Dari Sheet Desain Geser	mm ²	2454.024
As Perlu Lapangan Bawah		Dari Sheet Desain Geser	mm ²	2500.317
A_t	22.7.6.1	$A_t / s * P_h$	mm ²	1079.420
A_t min	9.6.4.3	$0.42 * (f_c')^{0.5} * A_{cp} / f_y - (A_t/s) * P_h$	mm ²	704.506
$A_s + A_t$ Perlu Tumpuan			mm ²	10504.837
$A_s + A_t$ Perlu Lapangan			mm ²	6033.761
n Tumpuan Atas		Dari Sheet Desain Lentur		15
n Tumpuan Tengah		Input (Disarankan Kelipatan 2)		2
n Tumpuan Bawah		Dari Sheet Desain Lentur		14
n Tumpuan Vertikal		$2 + n$ Tengah / 2		3
n Lapangan Atas		Dari Sheet Desain Lentur		8
n Lapangan Tengah		Input (Disarankan Kelipatan 2)		2
n Lapangan Atas		Dari Sheet Desain Lentur		8
n Tumpuan Vertikal		$2 + n$ Tengah / 2		3
Spasi Horizontal Tumpuan		$(b - 2c_c - 2d_s - d_b) / [\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]$	mm	20
Spasi Vertikal Tumpuan		$(h - 2c_c - 2d_s - d_b) / (n \text{ Vertikal} - 1)$	mm	279
Spasi Horizontal Lapangan		$(b - 2c_c - 2d_s - d_b) / [\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]$	mm	37
Spasi Vertikal Lapangan		$(h - 2c_c - 2d_s - d_b) / (n \text{ Vertikal} - 1)$	mm	279
Cek Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan	9.6.5.1	Spasi ≥ 300 mm ?		OK
Cek Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan	9.6.5.1	Spasi ≥ 300 mm ?		OK
$A_s + A_t$ Pasang Tumpuan			mm ²	11784.114
$A_s + A_t$ Pasang Lapangan			mm ²	6842.389
Cek Lentur + Torsi Tumpuan		$A_s + A_t$ Pasang $\geq A_s + A_t$ Perlu ?		OK
Cek Lentur + Torsi Lapangan		$A_s + A_t$ Pasang $\geq A_s + A_t$ Perlu ?		OK

f. Pelat Lantai

Tabel L. 43: Desain pelat lantai.

Parameter	Pasal Referensi	Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang				
Panjang Pelat Arah Sumbu 1, L_1		Jarak Antar Balok Induk	mm	6000
Panjang Pelat Arah Sumbu 2, L_2		Jarak Antar Balok Induk	mm	5000
Tebal Pelat, t		Input	mm	150
Diameter Tulangan, d_b		Input	mm	10
Selimut Bersih, c_c	Tabel 20.6.1.3.1	Input	mm	20
Tebal Efektif Penampang, d		$h - c_c - d_s - d_b/2$	mm	115
Kuat Tekan Beton, f_c'		Input	MPa	35
Kuat Leleh Tulangan, f_y		Input	MPa	390
Modulus Elastisitas Beton, E_c		$4700 * \sqrt{f_c'}$		27806
β_1	Tabel 22.2.2.4.3	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 * (f_c' - 28) / 7 \leq 0.85$		0.8000
λ	Tabel 25.4.2.4	Asumsi tidak menggunakan beton ringan		1
Gaya Dalam				
M Max akibat M11 Max		Input	kN-m	2.207
M Min akibat M11 Min		Input	kN-m	-4.793
M Max akibat M22 Max		Input	kN-m	3.684
M Min akibat M22 Min		Input	kN-m	-7.321
V_u		Input	kN	13.067
Penulangan Lentur [Analisis untuk per meter lari]				
Momen Positif M11 --> Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu 1 (X)				
Spasi Tulangan, s		Input		100
Spasi Maksimum, s_{max}	8.7.2.2	$2 * t$ dan 450 mm	mm	300
Cek Spasi Maksimum		$s \leq s_{max} ?$		OK
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n		$b / s = 1000 / s$ [Analisis untuk per 1 m]		10.0000
d_b			mm	10
Jarak Bersih Antar Tulangan		$s - d_b$	mm	90.000
Cek Jarak Bersih	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		OK
As Pasang		$n * \pi/4 * d_b^2$	mm ²	785.398
$A_{s_{min}}$ ($f_y < 420$ MPa)	7.6.1.1, 8.6.1.1	$0.2\% * b * t$	mm ²	300.000
$A_{s_{min}}$ ($f_y \geq 420$ MPa)	7.6.1.1, 8.6.1.1	$(0.18\% * 420 / f_y) * b * t$ dan $0.14\% * b * t$	mm ²	290.769
Cek $A_{s_{min}}$		$A_{s_{Pasang}} \geq A_{s_{min}} ?$		OK
Tinggi Blok Beton, a	22.2.2.4.1	$A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	10.296
Kapasitas Lentur, M_n	22.2.2.4.1	$A_s * f_y * (d - a/2)$	kN-m	33.648
Lokasi Garis Netral, c	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	12.870
Regangan Tulangan Tarik, ϵ_s	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.024
Faktor Reduksi, ϕ	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (e_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
Kapasitas Lentur Tereduksi, ϕM_n		$\phi * M_n$	kN-m	30.283
Momen Ultimit, M_u			kN-m	2.207
Cek Kapasitas		$\phi M_n > M_u ?$		OK

Tabel L.43: *lanjutan*

Momen Negatif M11 --> Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu 1 (X)				
Spasi Tulangan, s		Input		100
Spasi Maksimum, s_{max}	8.7.2.2	$2 * t$ dan 450 mm	mm	300
Cek Spasi Maksimum		$s \leq s_{max} ?$		OK
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n		$b / s = 1000 / 2$ [Analisis untuk per 1 m]		10
d_b			mm	10
Jarak Bersih Antar Tulangan		$s - d_b$	mm	90.000
Cek Jarak Bersih	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		OK
Jumlah Lapis				2
As Pasang		$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	785.398
As_{min} ($f_y < 420$ MPa)	7.6.1.1, 8.6.1.1	$0.2\% * b * t$	mm ²	300.000
As_{min} ($f_y \geq 420$ MPa)	7.6.1.1, 8.6.1.1	$(0.18\% * 420 / f_y) * b * t$ dan $0.14\% * b * t$	mm ²	290.769
Cek As min		As Pasang $\geq As_{min} ?$		OK
Tinggi Blok Beton, a	22.2.2.4.1	$As * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	10.296
Kapasitas Lentur, M_n	22.2.2.4.1	$As * f_y * (d - a/2)$	kN-m	33.648
Lokasi Garis Netral, c	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	12.870
Regangan Tulangan Tarik, ϵ_s	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.024
Faktor Reduksi, ϕ	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (e_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
Kapasitas Lentur Tereduksi, ϕM_n		$\phi * M_n$	kN-m	30.283
Momen Ultimit, M_u			kN-m	4.793
Cek $\phi M_n > M_u$		$\phi M_n > M_u ?$		OK
Momen Positif M22 --> Tulangan Lapangan Bawah Arah Sumbu 2 (Y)				
Spasi Tulangan, s		Input		100
Spasi Maksimum, s_{max}	8.7.2.2	$2 * t$ dan 450 mm	mm	300
Cek Spasi Maksimum		$s \leq s_{max} ?$		OK
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n		$b / s = 1000 / 2$ [Analisis untuk per 1 m]		10
d_b			mm	10
Jarak Bersih Antar Tulangan		$s - d_b$	mm	90.000
Cek Jarak Bersih	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		OK
Jumlah Lapis				2
As Pasang		$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	785.398
As_{min} ($f_y < 420$ MPa)	7.6.1.1, 8.6.1.1	$0.2\% * b * t$	mm ²	300.000
As_{min} ($f_y \geq 420$ MPa)	7.6.1.1, 8.6.1.1	$(0.18\% * 420 / f_y) * b * t$ dan $0.14\% * b * t$	mm ²	290.769
Cek As min		As Pasang $\geq As_{min} ?$		OK
Tinggi Blok Beton, a	22.2.2.4.1	$As * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	10.296
Kapasitas Lentur, M_n	22.2.2.4.1	$As * f_y * (d - d_b - a/2)$	kN-m	30.585
Lokasi Garis Netral, c	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	12.870
Regangan Tulangan Tarik, ϵ_s	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.024
Faktor Reduksi, ϕ	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (e_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
Kapasitas Lentur Tereduksi, ϕM_n		$\phi * M_n$	kN-m	27.527
Momen Ultimit, M_u			kN-m	3.684
Cek $\phi M_n > M_u$		$\phi M_n > M_u ?$		OK

Tabel L.43: *lanjutan.*

Momen Negatif M22 -> Tulangan Tumpuan Atas Arah Sumbu 2 (Y)				
Spasi Tulangan, s		Input		100
Spasi Maksimum, s_{max}	8.7.2.2	$2 * t$ dan 450 mm	mm	300
Cek Spasi Maksimum		$s \leq s_{max} ?$		OK
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n		$b / s = 1000 / 2$ [Analisis untuk per 1 m]		10
d_b			mm	10
Jarak Bersih Antar Tulangan		$s - d_b$	mm	90.000
Cek Jarak Bersih	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		OK
Jumlah Lapis				2
As Pasang		$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	785.398
$A_{s_{min}}$ ($f_y < 420$ MPa)	7.6.1.1, 8.6.1.1	$0.2\% * b * t$	mm ²	300.000
$A_{s_{min}}$ ($f_y \geq 420$ MPa)	7.6.1.1, 8.6.1.1	$(0.18\% * 420 / f_y) * b * t$ dan $0.14\% * b * t$	mm ²	290.769
Cek As min		As Pasang $\geq A_{s_{min}} ?$		OK
Tinggi Blok Beton, a	22.2.2.4.1	$A_s * f_y / (0.85 * f'_c * b)$	mm	10.296
Kapasitas Lentur, M_n	22.2.2.4.1	$A_s * f_y * (d - d_b - a/2)$	kN-m	30.585
Lokasi Garis Netral, c	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	12.870
Regangan Tulangan Tarik, ϵ_s	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0.024
Faktor Reduksi, ϕ	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (e_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0.900
Kapasitas Lentur Tereeduksi, ϕM_n		$\phi * M_n$	kN-m	27.527
Momen Ultimit, M_u			kN-m	7.321
Cek $\phi M_n > M_u$		$\phi M_n > M_u ?$		OK
Tulangan Minimum (untuk Tumpuan Bawah dan Lapangan Atas, Arah X dan Y)				
Spasi Tulangan, s		Input		100
Spasi Maksimum, s_{max}	8.7.2.2	$2 * t$ dan 450 mm	mm	300
Cek Spasi Maksimum		$s \leq s_{max} ?$		OK
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n		$b / s = 1000 / 2$ [Analisis untuk per 1 m]		10
d_b			mm	10
Jarak Bersih Antar Tulangan		$s - d_b$	mm	90.000
Cek Jarak Bersih	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		OK
Jumlah Lapis				2
As Pasang		$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	785.398
$A_{s_{min}}$ ($f_y < 420$ MPa)	7.6.1.1, 8.6.1.1	$0.2\% * b * t$	mm ²	300.000
$A_{s_{min}}$ ($f_y \geq 420$ MPa)	7.6.1.1, 8.6.1.1	$(0.18\% * 420 / f_y) * b * t$ dan $0.14\% * b * t$	mm ²	290.769
Cek As min		As Pasang $\geq A_{s_{min}} ?$		OK
Pengecekan Kapasitas Geser				
Kapasitas Geser Beton, V_c		$0.17 * f'_c^{0.5} * b * d$	kN	115.659
Faktor Reduksi, ϕ	Tabel 21.2.2			0.75
Ambang Batas Geser Pelat	7.6.3.1	$0.5 \phi V_c$	kN	43.372
Perlu Tulangan Geser Pelat?		$V_u > 0.5 \phi V_c ?$		Tidak

Tabel L.43: lanjutan.

Lendutan Pelat				
Kapasitas Retak Lentur				
Momen Inersia Pelat, I_g			mm ⁴	281250000
Tegangan Retak, f_r		$0.62 \sqrt{f_c'}$	MPa	3.668
Garis Netral, y		$t / 2$	mm	75.000
Kapasitas Retak Lentur, M_{cr}		$f_r * I_g / y$	kNm	13.755
Momen Inersia Retak, I_{cr}		$0.25 I_g$	mm ⁴	70312500
Lendutan Arah Sumbu 1				
M11 Max Akibat DL			kNm	1.847
M11 Min Akibat DL			kNm	-3.331
M11 Max Akibat SIDL			kNm	0.99
M11 Min Akibat SIDL			kNm	-1.741
M11 Max Akibat LL			kNm	3.162
M11 Min Akibat LL			kNm	-5.538
Ma Lapangan (+)		$\sum M11 \text{ Max}$	kNm	5.999
Ma Tumpuan (-)		$\sum M11 \text{ Min}$	kNm	-10.61
M_{cr} / M_u Lapangan				2.293
M_{cr} / M_u Tumpuan				1.296
I_e Lapangan		$(M_{cr} / M_u)^3 I_g + [1 - (M_{cr} / M_u)^3] I_{cr} < I_g$	mm ⁴	281250000
I_e Tumpuan		$(M_{cr} / M_u)^3 I_g + [1 - (M_{cr} / M_u)^3] I_{cr} < I_g$	mm ⁴	281250000
I_e Rata-Rata		$0.5 * I_e \text{ Lapangan} + 0.5 * I_e \text{ Tumpuan}$	mm ⁴	281250000
Lendutan Seketika Akibat DL, $\delta_{i, DL}$		$5 / 48 L^2 / (E_c * I_p) * [M_{lap} + 0.2 M_{tump}]$	mm	1.205
Lendutan Seketika Akibat SIDL, $\delta_{i, SIDL}$		$5 / 48 L^2 / (E_c * I_p) * [M_{lap} + 0.2 M_{tump}]$	mm	0.642
Lendutan Seketika Akibat LL, $\delta_{i, LL}$		$5 / 48 L^2 / (E_c * I_p) * [M_{lap} + 0.2 M_{tump}]$	mm	2.047
Syarat Lendutan Seketika LL	Tabel 24.2.2	$L / 360$	mm	16.667
Cek Lendutan Seketika				OK
Faktor Jangka Panjang, λ		$2 / (1 + 50 * \rho')$		1.491
Lendutan Jangka Panjang, Δ_{LT}	Tabel 24.2.2	$(\delta_{i, DL} + \delta_{i, SIDL}) * \lambda + \delta_{i, LL}$		4.801
Syarat Lendutan Jangka Panjang	Tabel 24.2.2	$L / 240$ atau $L / 480$	mm	25.000
Cek Lendutan Jangka Panjang				OK
Lendutan Arah Sumbu 2				
M22 Max Akibat DL			kNm	1.49
M22 Min Akibat DL			kNm	-2.725
M22 Max Akibat SIDL			kNm	0.76
M22 Min Akibat SIDL			kNm	-1.373
M22 Max Akibat LL			kNm	2.427
M22 Min Akibat LL			kNm	-4.368
Ma Lapangan (+)		$\sum M11 \text{ Max}$	kNm	4.677
Ma Tumpuan (-)		$\sum M11 \text{ Min}$	kNm	-8.466
M_{cr} / M_u Lapangan				2.941
M_{cr} / M_u Tumpuan				1.625
I_e Lapangan		$(M_{cr} / M_u)^3 I_g + [1 - (M_{cr} / M_u)^3] I_{cr} < I_g$	mm ⁴	281250000
I_e Tumpuan		$(M_{cr} / M_u)^3 I_g + [1 - (M_{cr} / M_u)^3] I_{cr} < I_g$	mm ⁴	281250000
I_e Rata-Rata		$0.5 * I_e \text{ Lapangan} + 0.5 * I_e \text{ Tumpuan}$	mm ⁴	281250000
Lendutan Seketika Akibat DL, $\delta_{i, DL}$		$5 / 48 L^2 / (E_c * I_p) * [M_{lap} + 0.2 M_{tump}]$	mm	0.678
Lendutan Seketika Akibat SIDL, $\delta_{i, SIDL}$		$5 / 48 L^2 / (E_c * I_p) * [M_{lap} + 0.2 M_{tump}]$	mm	0.345
Lendutan Seketika Akibat LL, $\delta_{i, LL}$		$5 / 48 L^2 / (E_c * I_p) * [M_{lap} + 0.2 M_{tump}]$	mm	1.099
Syarat Lendutan Seketika LL	Tabel 24.2.2	$L / 360$	mm	13.889
Cek Lendutan Seketika				OK
Faktor Jangka Panjang, λ		$2 / (1 + 50 * \rho')$		1.491
Lendutan Jangka Panjang, Δ_{LT}	Tabel 24.2.2	$(\delta_{i, DL} + \delta_{i, SIDL}) * \lambda + \delta_{i, LL}$		2.623
Syarat Lendutan Jangka Panjang	Tabel 24.2.2	$L / 240$ atau $L / 480$	mm	20.833
Cek Lendutan Jangka Panjang				OK

g. Dinding Geser (*Shearwall*)

Tabel L. 44: Desain dinding geser (*Shearwall*).

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Tebal Dinding Geser, t_w			Input	mm	250
Panjang (As ke As), L			Input	mm	3100
Panjang Kolom, h_k			Input	mm	1000
Lebar Kolom, b_k			Input	mm	1000
Tinggi Dinding Geser Total, h_w			Input	mm	62300
Diameter Tulangan Longitudinal Badan, d_l			Input	mm	13
Diameter Tulangan Transversal Badan, d_t			Input	mm	13
Diameter Tulangan Kolom, d_k			Input	mm	22
Kuat Tekan Beton, f_c'			Input	MPa	35
Kuat Leleh Baja Tulangan, f_y			Input	MPa	390
Geometri					
Panjang Total, L_w			$L + h_k$	mm	4100
Panjang Bersih, L_n			$L - h_k$	mm	2100
Luas Penampang Melintang, A_{cv}			$t_w * L_w$	mm ²	1025000
Luas Total Dinding Geser, A_w			$t_w * L_n + 2 * (b_k * h_k)$	mm ²	2525000
Kebutuhan Tulangan Minimum					
ϕ					0.75
Gaya Geser, V_u / ϕ			V_u Dari Sheet Gaya Dalam	N	3953984
Batas Zona 1	21.9.2.1	18.10.2	$0.083 A_{cv} f_c'^{0.5}$	N	503310
Batas Zona 2	21.9.2.2	18.10.2	$0.17 A_{cv} f_c'^{0.5}$	N	1030877
Kesimpulan Zona					Zona 3
Rasio Tul. Longitudinal Minimum, $\rho_{l,min}$	21.9.2.1	18.10.2, 18.10.4.3	Fungsi Zona dan h_w/L_w		0.25%
Rasio Tul. Transversal Minimum, $\rho_{t,min}$	21.9.2.1	18.10.2	Fungsi Zona		0.25%
Perlu 2 Lapis Tulangan?	21.9.2.2	18.10.2	Zona 3 atau $h_w/L_w \geq 2$?		Perlu
Jumlah Lapis Tulangan Pakai, n_{lapis}			Input (Disarankan 2)		2
Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll.)					
Bagian Badan					
Spasi Tulangan Longitudinal, s			Input	mm	200
Cek Spasi Tulangan Maksimum	21.9.2.1	18.10.2	$s \leq 450$ mm?		OK
Rasio Tulangan Longitudinal, ρ_l	S21.9.6.5	R18.10.6.5	$n_{lapis} * (\pi/4 * d_k^2) / (t_w * s)$		0.531%
Cek Rasio Tulangan Minimum			$\rho_l \geq \rho_{l,min}$?		OK
Bagian Kolom					
Jumlah Tulangan per Kolom, n			Input		28
Rasio Tulangan Kolom, ρ			$n * (\pi/4 * d_k^2) / (b_k * h_k)$		1.064%
Cek Rasio Tulangan Kolom			$1\% \leq \rho \leq 6\%$?		OK
Pengecekan Kapasitas Geser					
h_w / L_w					15.1951
α_c	21.9.4.1	18.10.4.1	Fungsi h_w / L_w		0.17
Spasi Tulangan Transversal, s			Input	mm	100
Cek Spasi Tulangan Maksimum	21.9.2.1	18.10.2	$s \leq 450$ mm?		OK
Rasio Tulangan Longitudinal, ρ_t	S21.9.6.5	R18.10.6.5	$n_{lapis} * (\pi/4 * d_k^2) / (t_w * s)$		1.062%
Cek Rasio Tulangan Minimum			$\rho_t \geq \rho_{t,min}$?		OK
Kuat Geser Dinding, V_n	21.9.4.1	18.10.4.1	$A_{cv} (\alpha_c * f_c'^{0.5} + \rho_t * f_y)$	N	5275656
Batas Kuat Geser, $V_{n,max}$	21.9.4.4	18.10.4.4	$0.66 A_{cv} f_c'^{0.5}$	N	4002228
Kuat Geser Pakai, $V_{n,pakai}$			$\min(V_n, V_{n,max})$	N	4002228
Cek Kapasitas Geser			$V_{n,pakai} \geq V_u/\phi$?		OK
Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus					
Displacement-Based Method					
Panjang Zona Tekan, c	21.9.6.4	18.10.6.4	Input (nilai terbesar)	mm	910
δ_u			Input (boleh dikosongkan)	mm	
δ_u / h_w	21.9.6.2 (0.007)	18.10.6.2 (0.005)	$\max(\delta_u / h_w, 0.005)$		0.005
Perlu Elemen Batas Khusus?	21.9.6.2 (δ_u)	18.10.6.2 (1.5 δ_u)	$c \geq L_w / [600 * (1.5 \delta_u / h_w)]$		Tidak Perlu
$c - 0.1 L_w$	21.9.6.4	18.10.6.4		mm	500
$c/2$	21.9.6.4	18.10.6.4		mm	455
$h_k + 300$	21.9.6.4	18.10.6.4		mm	1300
Panjang Elemen Batas Khusus, L_{BE}	21.9.6.4	18.10.6.4	$\max(c - 0.1 L_w, c/2, h_k + 300)$	mm	1300
$M_u / (4 V_u)$				mm	752.902
Tinggi Elemen Batas Khusus, h_{BE}	21.9.6.2	18.10.6.2	$\max(L_{BE}, M_u / 4 V_u)$	mm	4100

Tabel L. 45: Desain dinding geser (Shearwall)

Strength-Based Method					
Luas Penampang Total, A_g				mm ²	2525000
Inersia Penampang, I_g			$1/12 * t_w * L_w^3 + 2 * [1/12 * b_k * h_k^3 + b_k * h_k * (L/2)^2]$	mm ⁴	5.16E+12
Tegangan Kondisi 1			$P_u / A_g + (M_u / I_g * L / 2)$	MPa	1.758
Tegangan Kondisi 2			$P_u / A_g + (M_u / I_g * L / 2)$	MPa	3.304
Tegangan Kondisi 3			$P_u / A_g + (M_u / I_g * L / 2)$	MPa	1.911
Tegangan Kondisi 4			$P_u / A_g + (M_u / I_g * L / 2)$	MPa	3.297
Tegangan Kondisi 5			$P_u / A_g + (M_u / I_g * L / 2)$	MPa	2.817
Tegangan Kondisi 6			$P_u / A_g + (M_u / I_g * L / 2)$	MPa	3.503
Tegangan Maksimum			max (Tegangan Kondisi 1-6)	MPa	3.503
Batas Tegangan	21.9.6.3	18.10.6.3	$0.2 f_c'$	MPa	7.000
Perlu Elemen Batas Khusus?	21.9.6.3	18.10.6.3	Tegangan > $0.2 f_c'$?		Tidak Perlu
Tinggi Elemen Batas Khusus, h_{BE}	21.9.6.3	18.10.6.3	$h_w - (0.15 f_c' / \text{Tegangan}) * h_w$	mm	0
Penulangan Elemen Batas Khusus					
Daerah Kolom					
Selimit Beton, c_c			Input	mm	50
Diameter Confinement, d_s			Input	mm	13
Jumlah Kaki Sejajar Lebar Kolom, n_1			Input		6
Jumlah Kaki Sejajar Panjang Kolom, n_2			Input		6
Spasi, s			Input	mm	100
$A_{sh} 1$			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	796.394
$A_{sh} 2$			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	796.394
$A_{sh} / s, 1$				mm ² / mm	7.964
$A_{sh} / s, 2$				mm ² / mm	7.964
Lebar Penampang Inti Beton, b_c	S21.6.4.2	R18.10.6.4.1	$b_k - 2c_c$	mm	900
Panjang Penampang Inti Beton, h_c	S21.6.4.2	R18.10.6.4.1	$h_k - 2c_c$	mm	900
Luas Penampang Kolom, A_g			$b_k * h_k$	mm ²	1000000
Luas Penampang Inti Beton, A_{ch}			$b_c * h_c$	mm ²	810000
Sejajar Lebar Kolom					
$A_{sh}/s \text{ min}, 1$	21.6.4.4	Tabel 18.10.6.4	$0.3 (h_c * f_c' / f_y) * (A_g / A_{ch} - 1)$	mm ²	5.684
$A_{sh}/s \text{ min}, 2$	21.6.4.4	Tabel 18.10.6.4	$0.09 * h_c * f_c' / f_y$	mm ²	7.269
Cek $A_{sh}/s 2$			$A_{sh}/s 1 \geq A_{sh}/s \text{ min} ?$		OK
Sejajar Panjang Kolom					
$A_{sh}/s \text{ min}, 1$	21.6.4.4	Tabel 18.10.6.4	$0.3 (b_c * f_c' / f_y) * (A_g / A_{ch} - 1)$	mm ²	5.684
$A_{sh}/s \text{ min}, 2$	21.6.4.4	Tabel 18.10.6.4	$0.09 * b_c * f_c' / f_y$	mm ²	7.269
Cek $A_{sh}/s 1$			$A_{sh}/s 2 \geq A_{sh}/s \text{ min} ?$		OK
Daerah Badan					
Selimit Beton, c_c			Input	mm	50
Diameter Confinement, d_s			Input	mm	13
Jumlah Kaki Sejajar Dinding, n_1			Input		6
Jumlah Kaki Tegak Lurus Dinding, n_2			Input		7
Spasi, s			Input	mm	100
$A_{sh} 1$			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	796.394
$A_{sh} 2$			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	929.126
$A_{sh} / s, 1$				mm ² / mm	7.964
$A_{sh} / s, 2$				mm ² / mm	9.291
Panjang Daerah EBK Badan, b			$LBE - h_k$	mm	300
Lebar Daerah EBK (Tebal Dinding), h			t_w	mm	250
Lebar Penampang Inti Beton, b_c	S21.6.4.2	R18.10.6.4.1	$b - 2c_c$	mm	200
Panjang Penampang Inti Beton, h_c	S21.6.4.2	R18.10.6.4.1	$h - 2c_c$	mm	150
Luas Penampang Kolom, A_g			$b * h$	mm ²	75000
Luas Penampang Inti Beton, A_{ch}			$b_c * h_c$	mm ²	30000
Sejajar Dinding					
$A_{sh}/s \text{ min}, 1$	21.6.4.4	Tabel 18.10.6.4	$0.3 (h_c * f_c' / f_y) * (A_g / A_{ch} - 1)$	mm ²	6.058
$A_{sh}/s \text{ min}, 2$	21.6.4.4	Tabel 18.10.6.4	$0.09 * h_c * f_c' / f_y$	mm ²	1.212
Cek $A_{sh}/s 2$			$A_{sh}/s 1 \geq A_{sh}/s \text{ min} ?$		OK
Tegak Lurus Dinding					
$A_{sh}/s \text{ min}, 1$	21.6.4.4	Tabel 18.10.6.4	$0.3 (b_c * f_c' / f_y) * (A_g / A_{ch} - 1)$	mm ²	8.077
$A_{sh}/s \text{ min}, 2$	21.6.4.4	Tabel 18.10.6.4	$0.09 * b_c * f_c' / f_y$	mm ²	1.615
Cek $A_{sh}/s 1$			$A_{sh}/s 2 \geq A_{sh}/s \text{ min} ?$		OK

L.13. Hasil SPT Lapangan.

Tabel L. 46: Hasil SPT lapangan kedalamn vs SN.

Kedalaman	BH-1	BH-2	BH-3	BH-4	BH-5	BH-6
(m)	SN	SN	SN	SN	SN	SN
2.00-2.45	4	3	2	2	2	2
4.00-4.45	2	3	2	2	2	3
6.00-6.45	2	2	3	3	4	3
8.00-8.45	4	2	22	4	4	4
10.00-10.45	15	8	35	39	15	17
12.00-12.45	18	20	29	48	17	28
14.00-14.45	22	36	24	43	≥50	25
16.00-16.45	30	≥50	25	22	21	44
18.00-18.45	62	≥50	28	≥50	30	≥50
20.00-20.45	44	≥50	31	≥50	15	≥50
22.00-22.45	48	≥50	21	≥50	14	≥50
24.00-24.45	≥50	15	27	≥50	12	≥50
26.00-26.45	≥50	10	20	≥50	15	12
28.00-28.45	≥50	11	22	39	18	13
30.00-30.45	30	13	18	16	16	14
32.00-32.45	25	12	19	13	13	14
34.00-34.45	12	15	12	14	14	15
36.00-36.45	15	14	13	13	15	15
38.00-38.45	14	13	14	12	14	19
40.00-40.45	12	12	15	11	15	20
42.00-42.45			15		≥50	
44.00-44.45			32		≥50	
46.00-46.45			≥50		≥50	
48.00-48.45			≥50			
50.00-50.45			≥50			

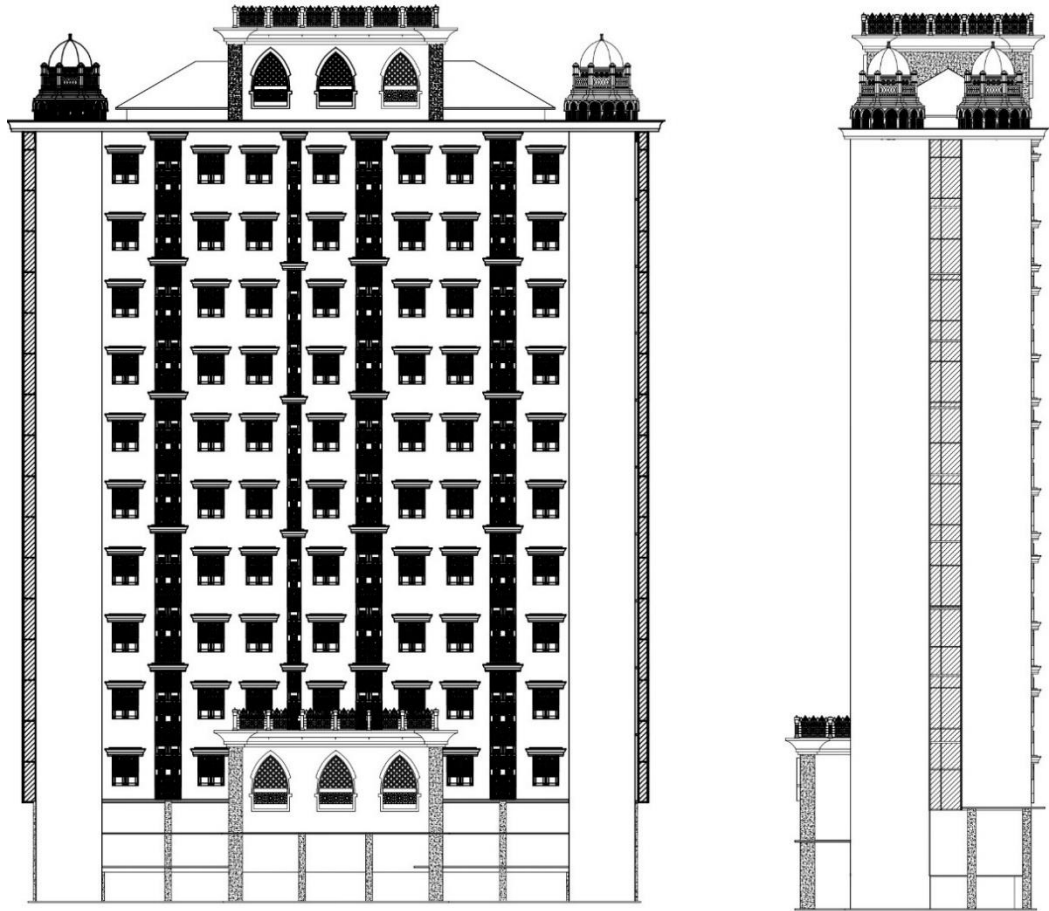
Tabel L. 47: Hasil SPT lapangan kedalamn vs SN.

Data Boring dan SPT RUSUN																
No	Depth (m)		Thick (m)	N-SPT ₁	N-SPT ₂	N-SPT ₃	N-SPT ₄	N-SPT ₅	N-SPT ₆	Nr ₁ = T/N ₆₀	Nr ₂ = T/N ₆₀	Nr ₃ = T/N ₆₀	Nr ₄ = T/N ₆₀	Nr ₅ = T/N ₆₀	Nr ₆ = T/N ₆₀	
1	2.00	-	2.45	0.45	4	3	2	2	2	0.11	0.15	0.23	0.23	0.23	0.23	
2	4.00	-	4.45	0.45	2	3	2	2	2	0.23	0.15	0.23	0.23	0.23	0.15	
3	6.00	-	6.45	0.45	2	2	3	3	4	0.23	0.23	0.15	0.15	0.11	0.15	
4	8.00	-	8.45	0.45	4	2	22	4	4	0.11	0.23	0.02	0.11	0.11	0.11	
5	10.00	-	10.45	0.45	15	8	35	39	15	0.03	0.06	0.01	0.01	0.03	0.03	
6	12.00	-	12.45	0.45	18	20	29	48	17	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	
7	14.00	-	14.45	0.45	22	36	24	43	50	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	
8	16.00	-	16.45	0.45	30	50	25	22	21	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	
9	18.00	-	18.45	0.45	62	50	28	50	30	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	
10	20.00	-	20.45	0.45	44	50	31	50	15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	
11	22.00	-	22.45	0.45	48	50	21	50	14	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	
12	24.00	-	24.45	0.45	50	15	27	50	12	0.01	0.03	0.02	0.01	0.04	0.01	
13	26.00	-	26.45	0.45	50	10	20	50	15	0.01	0.04	0.02	0.01	0.03	0.04	
14	28.00	-	28.45	0.45	50	11	22	39	18	0.01	0.04	0.02	0.01	0.03	0.03	
15	30.00	-	30.45	0.45	30	13	18	16	16	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
16	32.00	-	32.45	0.45	25	12	19	13	13	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	
17	34.00	-	34.45	0.45	12	15	12	14	14	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	
18	36.00	-	36.45	0.45	15	14	13	13	15	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
19	38.00	-	38.45	0.45	14	13	14	12	14	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	
20	40.00	-	40.45	0.45	12	12	15	11	15	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.02	
21	42.00	-	42.45	0.45			15		50			0.03		0.01		
22	44.00	-	44.45	0.45			32		50			0.01		0.01		
23	46.00	-	46.45	0.45			50		50			0.01		0.01		
24	48.00	-	48.45	0.45			50					0.01				
24	50.00	-	50.45	0.45			50					0.01				
	Total			11.25						0.99		1.20	1.05	1.03	1.15	0.99
										0.99736912	0.82269919	0.93876967	0.959248108	0.861454317	1	
	Rata-Rata (N')						0.93									

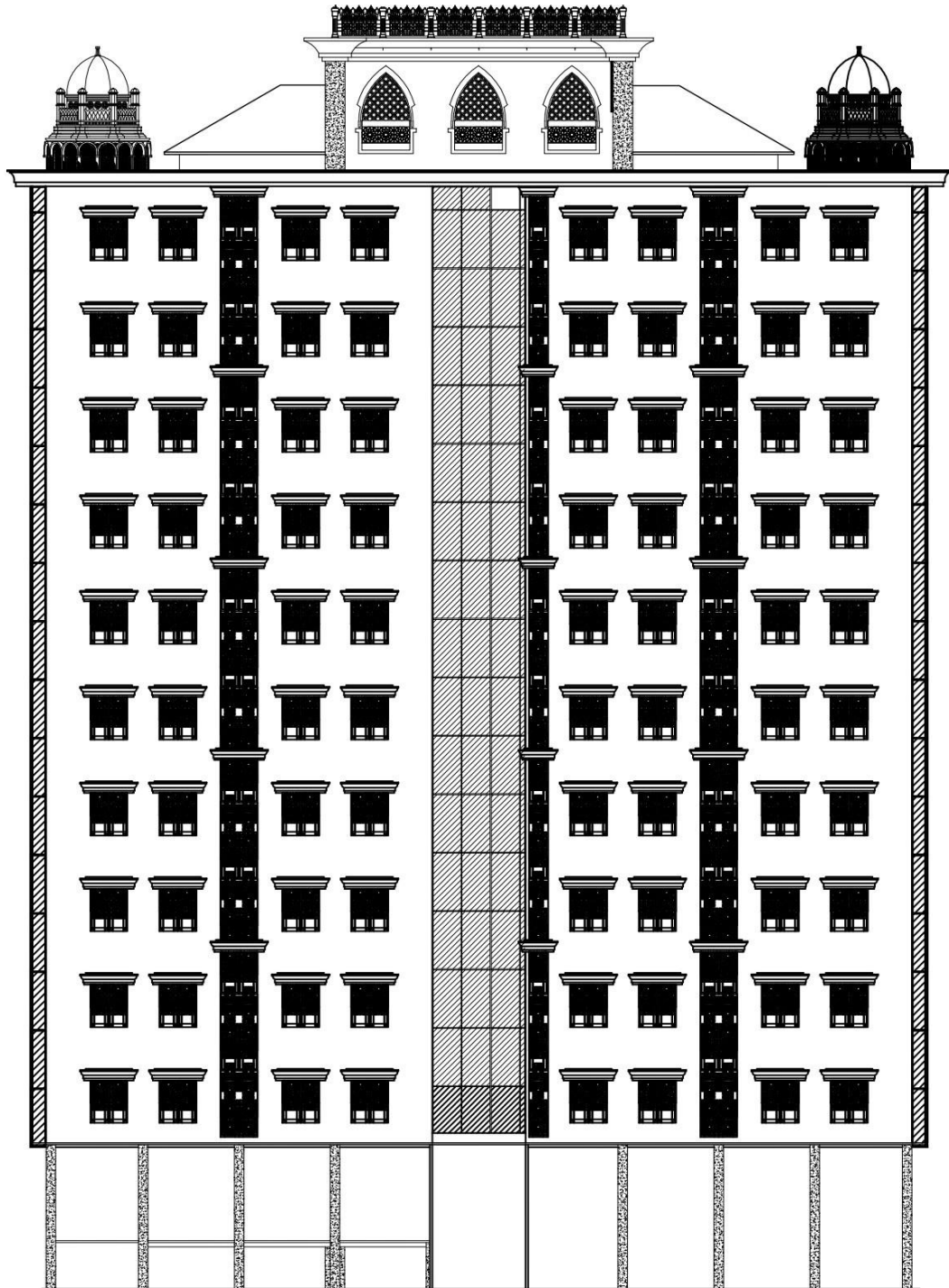
a. Gambar denah lantai 1,2 dan 3



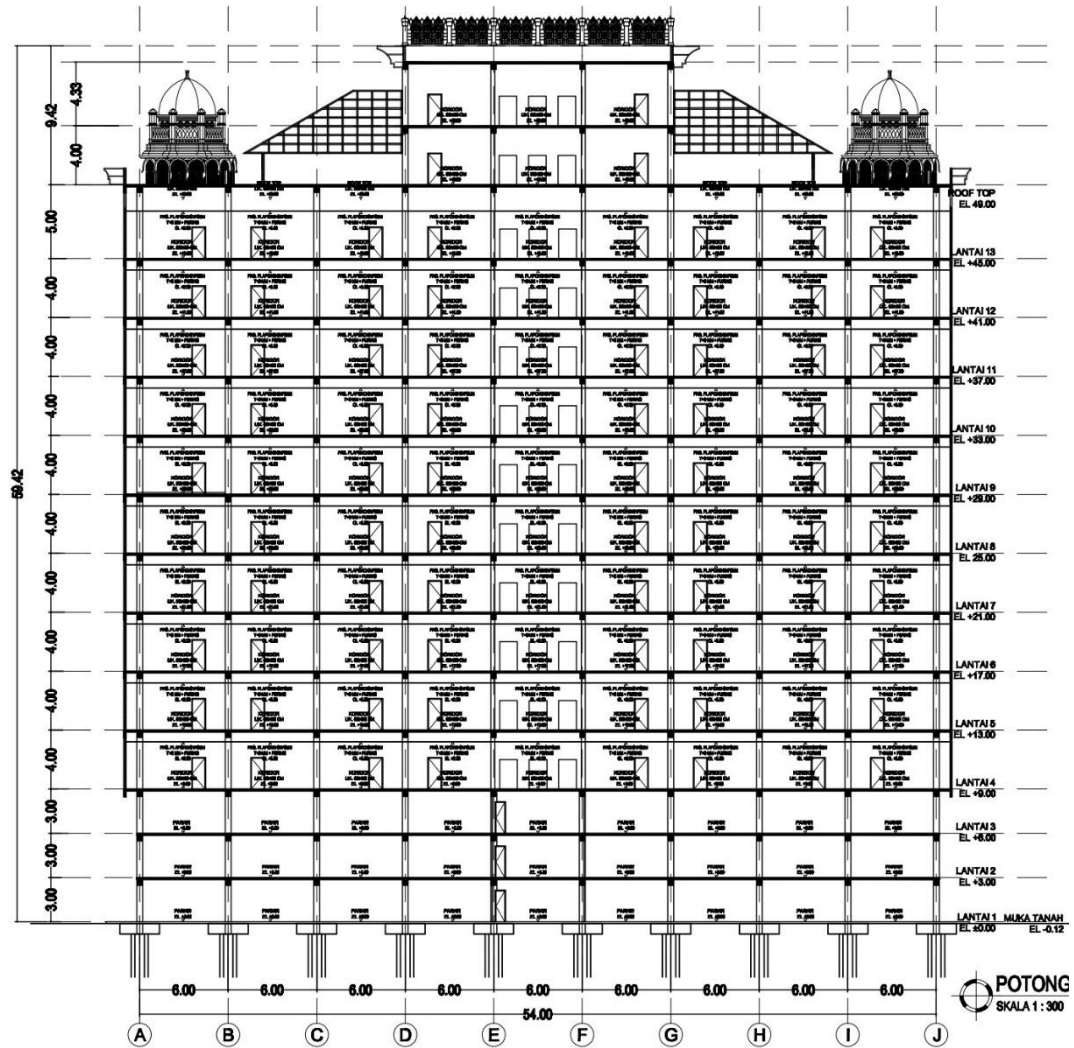
b. Gambar Tampak Depan dan Samping Kiri



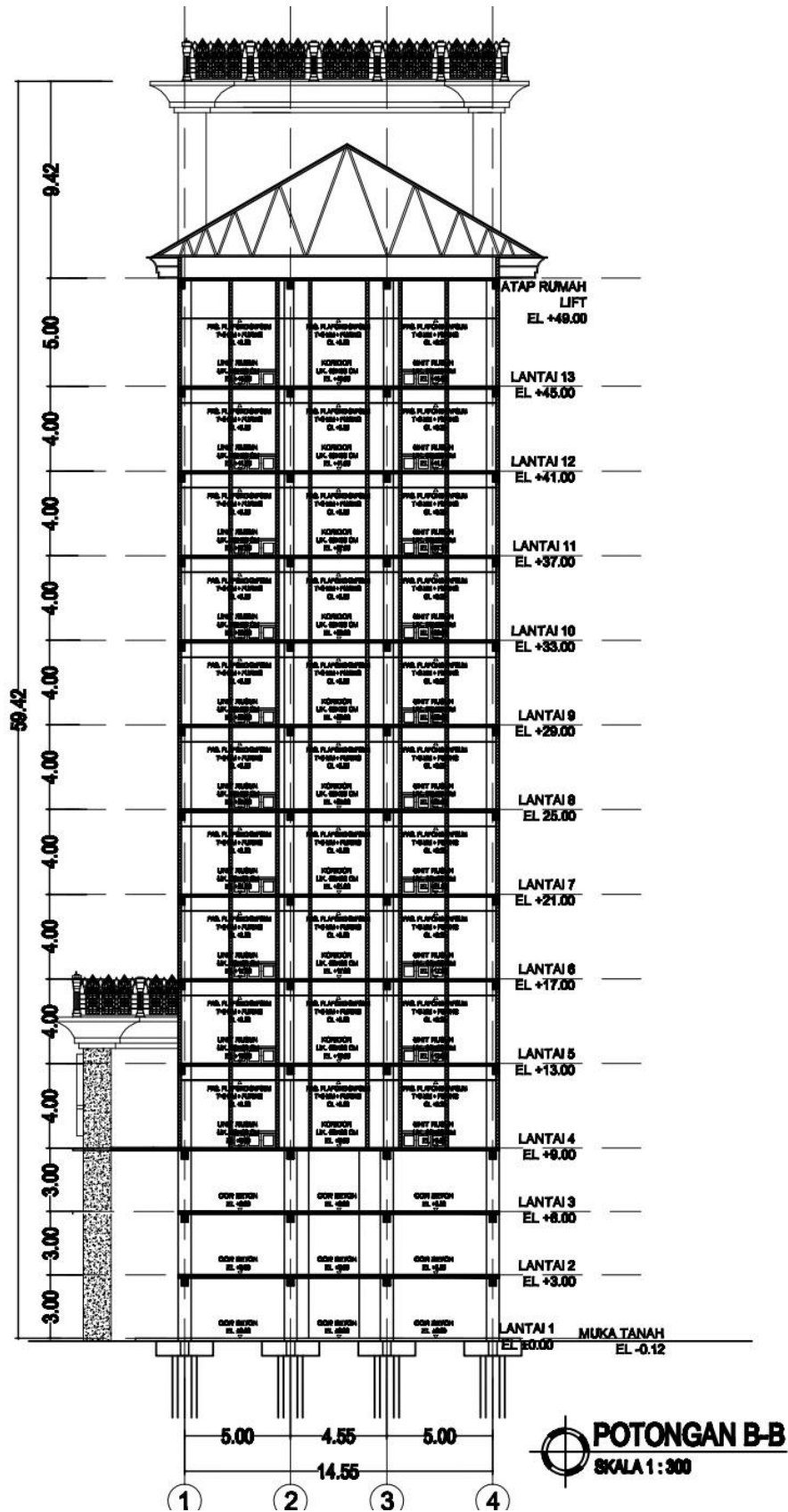
c. Gambar Tampak Belakang



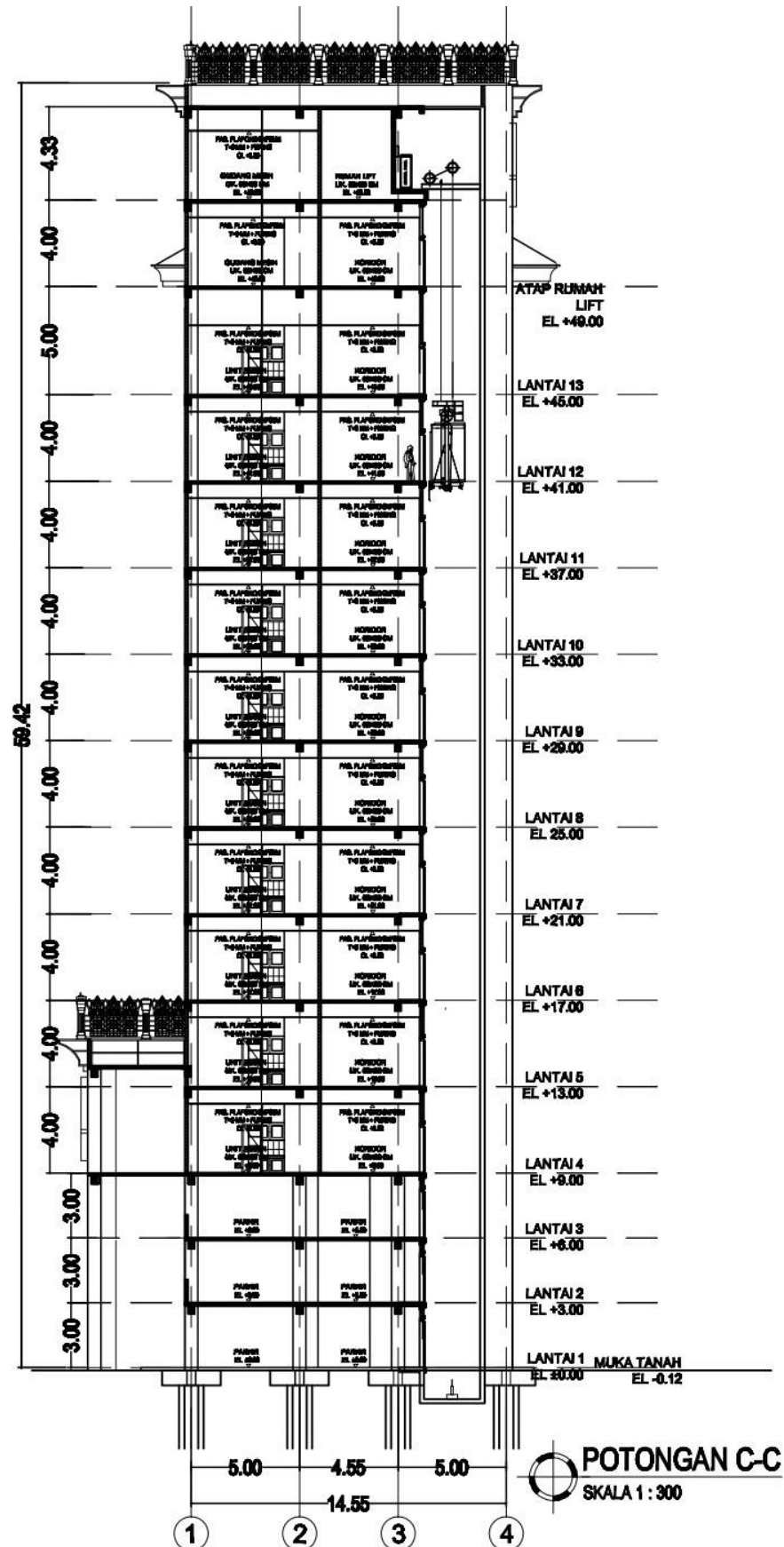
d. Potongan A-A



e. Potongan B-B

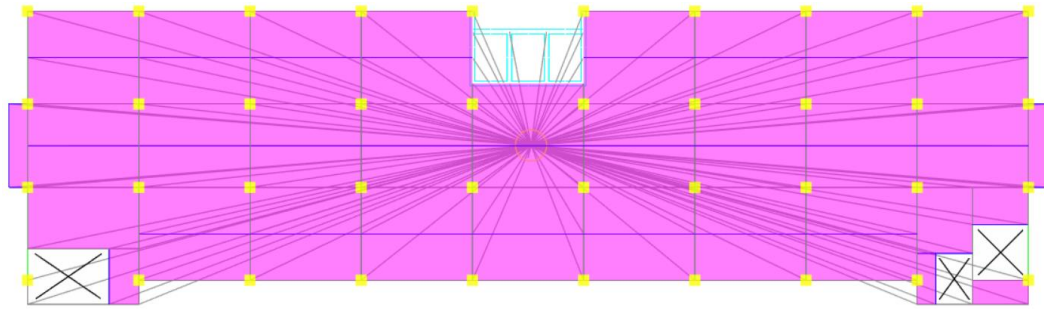


f. Potongan C-C



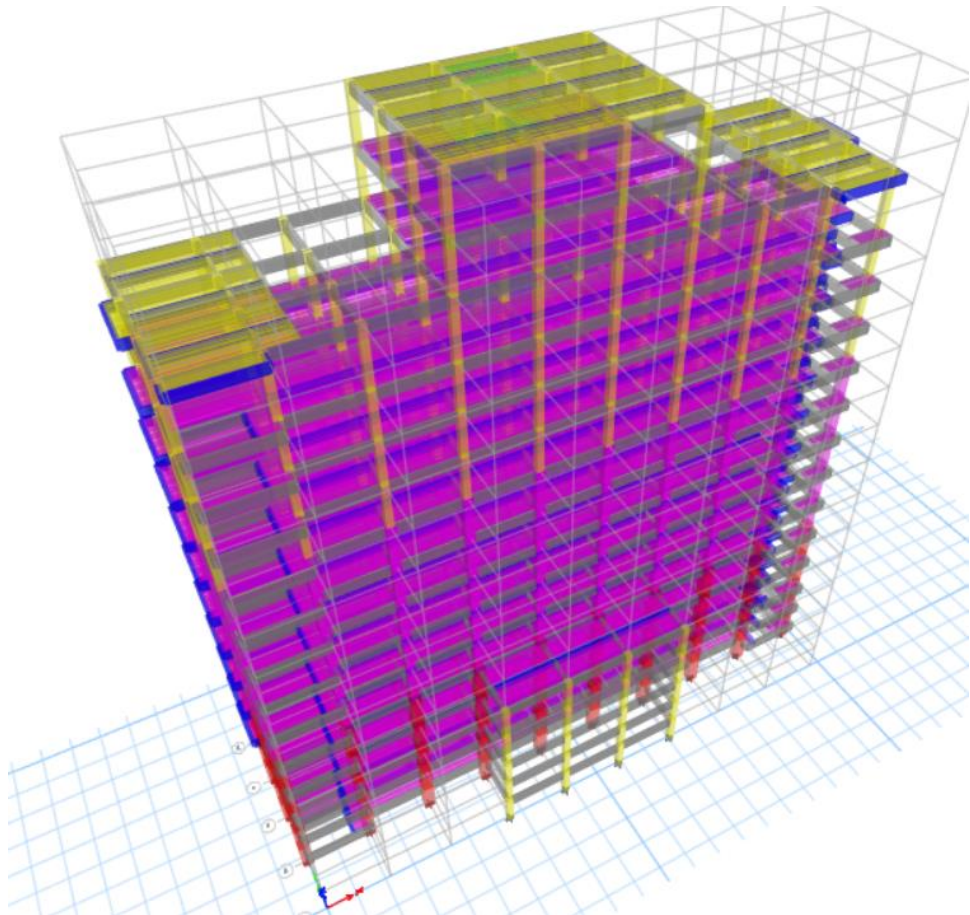
L.15. Gambar ETABS

a. Titik Diafragma

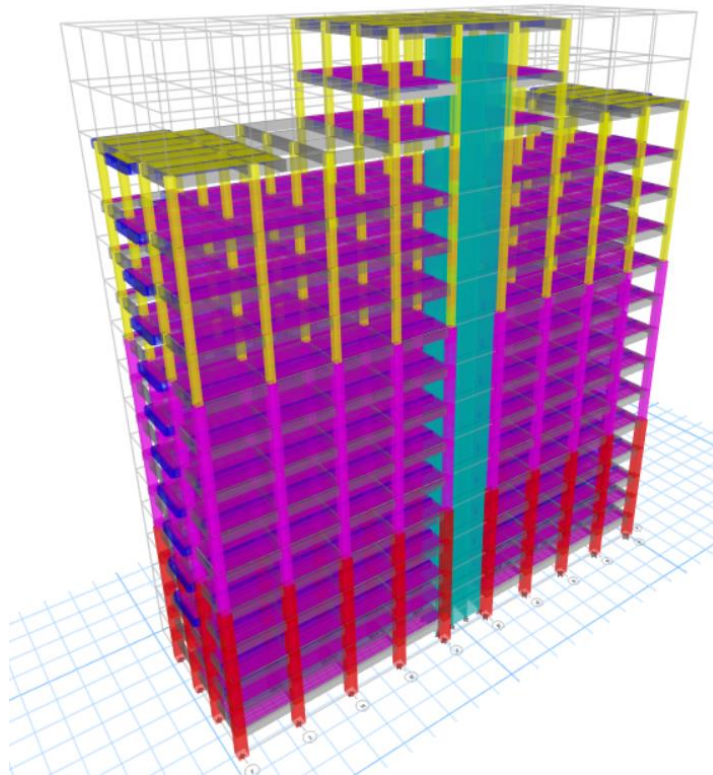


Gambar L.1: Titik Diafragma.

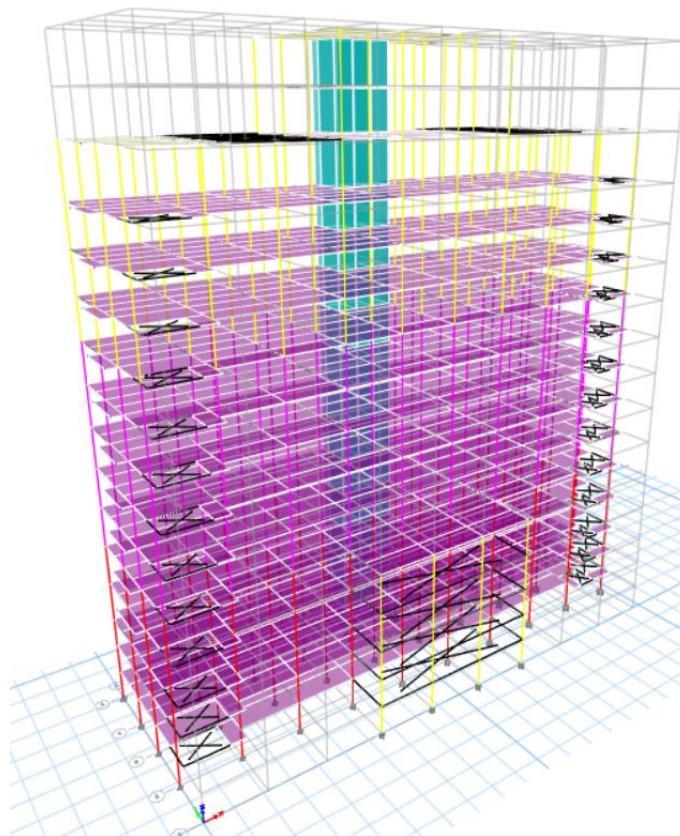
b. Struktur Bawah Basement



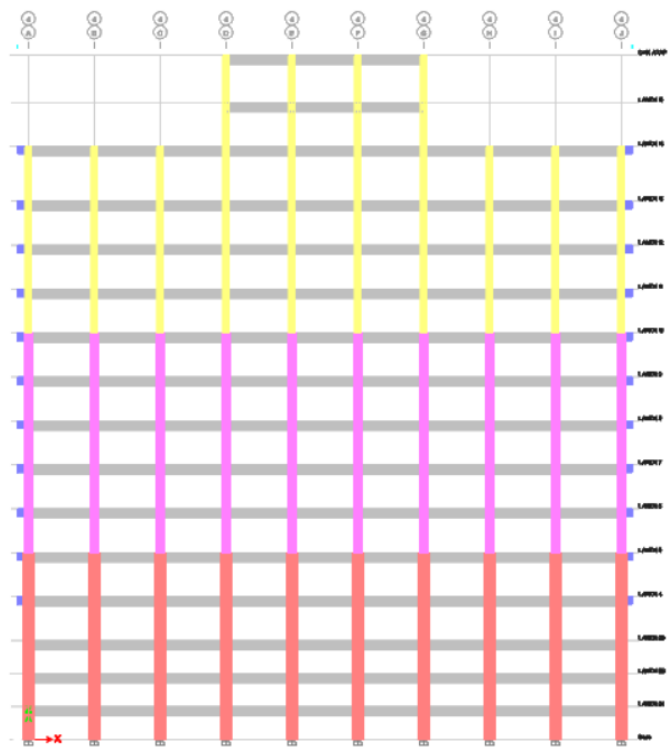
Gambar L.2: Pemodelan Struktur 3 Dimensi.



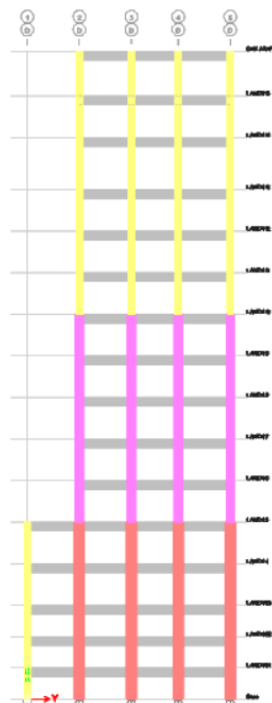
Gamabr L.3: Pemodelan Struktur 3 Dimensi.



Gambar L.4: Pemodelan Struktur 3 Dimensi

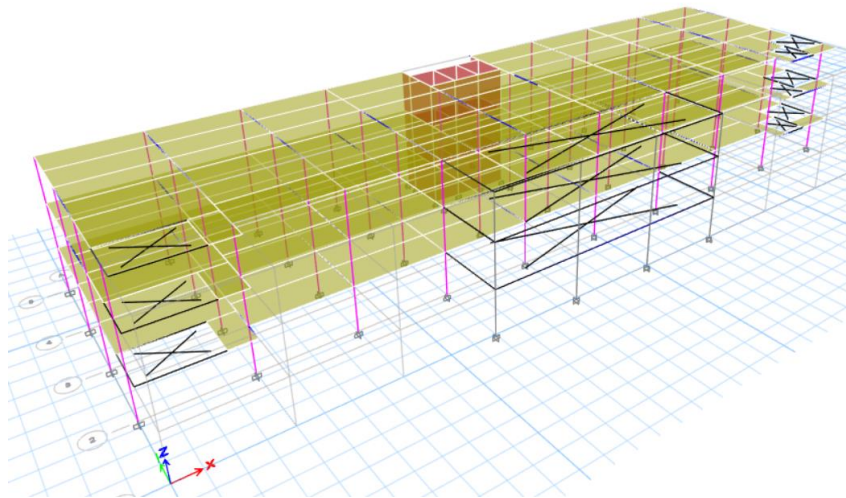


Gambar L.5: Potongan Portal View 4.

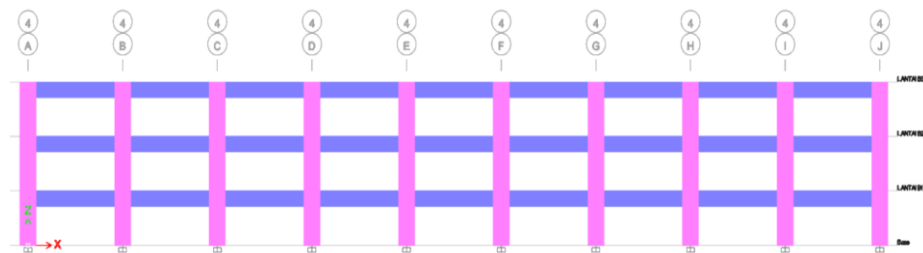


Gambar L.6: Potongan Portal View D.

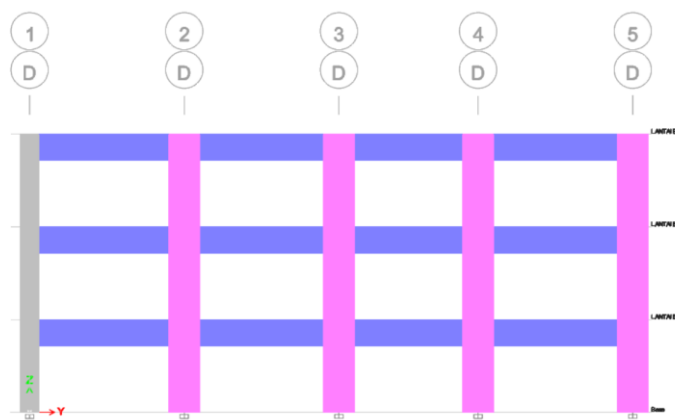
c. Struktur Bawah Pondasi.



Gambar L.7: Pemodelan Struktur 3 Dimensi.



Gambar L.8: Potongan Portal View 4.



Gambar L.9: Potongan Portal View D

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PENULIS

Nama Lengkap : Ryandi Ardiansyah
Tempat Tanggal Lahir : Karang Gading, 24-07-2002
Alamat : Dusun VII Karang Gading
Agama : Islam
Nama Orang tua
Ayah : Irwansyah
Ibu : Nur Lela
No Telp : 0813-6833-8260
Email : riandiardiansyah2018@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

SDN 10420 Karang Gading	2012-2017
MTS Amaliyah Tj.Tiga	2017-2019
SMK Negeri 1 Stabat	2019-2021
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2021-Selesai