

TUGAS AKHIR

ANALISIS KEBUTUHAN TULANGAN BALOK BETON BERTULANG MENGGUNAKAN METODE *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* (*ANALYSIS OF REINFORCEMENT REQUIREMENTS FOR REINFORCED CONCRETE BEAMS USING THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK METHOD*)

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



**Jovita Monika Nuraini Wursito
22511189**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

2026

TUGAS AKHIR

ANALISIS KEBUTUHAN TULANGAN BALOK BETON BERTULANG MENGGUNAKAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANALYSIS OF REINFORCEMENT REQUIREMENTS FOR REINFORCED CONCRETE BEAMS USING THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK METHOD)

Disusun oleh

Jovita Monika Nuraini Wursito

22511189

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

Diuji pada tanggal 27 Juli 2026

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

28/07
2026

Penguji I

28/07/26

Penguji II

28/7 2026

Ir. Jafar, S.T., MURP., M.T.
NIP: 185111305

Astriaana Mardawati, S.T., M.Eng.
NIP: 165111301

Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIP: 185111304

Mengesahkan,
Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil

28/7-26



Dina Anggraheni, S.T., M.Eng.
NIP: 165110105

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 28 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



Jovita Monika Nuraini Wursito

22511189

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Kebutuhan Tulangan Balok Beton Bertulang Menggunakan Metode *Artificial Neural Network* (ANN)” dengan baik. Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi program sarjana Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, hasil yang diperoleh penulis tentu tidak akan tercapai tanpa adanya dukungan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan kesehatan, kekuatan, serta kemudahan dalam setiap langkah melalui doa-doa yang penulis panjatkan.
2. Mama, Ayah, dan adik penulis sebagai tempat paling aman untuk penulis yg telah mengerahkan segala doa yang tiada henti, kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta motivasi dalam seluruh aktivitas penulis.
3. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng. selaku Pelaksana Tugas Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Jafar, S.T., MURP., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan berharga dengan baik selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. dan Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. sebagai dosen penguji saat sidang Tugas Akhir yang telah memberikan saran, masukan, dan pengetahuan yang berharga untuk menunjang perkembangan penelitian.
6. Seluruh dosen dan staf di Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu dan pelayanan terbaik selama masa perkuliahan.

7. Althoof Syecha Habibie sebagai *partner in crime* seumur hidup penulis yang telah berjuang bersama melewati suka duka, dan selalu menjadi *support system* penulis.
8. Teman dekat yang penulis sayangi (Kenia, Ara, Nabek, Tina, Lidyana, Alfina) yang selalu ada dalam suka duka yang telah memberikan dukungan dan telah kebersamai penulis dalam hal apapun.
9. Kelompok *Capstone Design* PT. Revolution Muda Berjaya yang telah menjadi rekan setia dalam pengabdian.
10. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2022 yang selalu memberikan semangat, kebersamaan, serta bantuan selama menjalani perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan agar penulis dapat memperbaiki demi masa yang akan datang. Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Yogyakarta, 28 Juli 2026



Jovita Monika Nuraini Wursito

22511189

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK	xxi
<i>ABSTRACT</i>	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Penelitian Terdahulu	6
2.2.1 Penelitian Oleh Harahap et al. (2022)	7
2.2.2 Penelitian Oleh Nasautama S & Sitompul M. (2022)	8
2.2.3 Penelitian Oleh Harnedi et al. (2023)	8
2.2.4 Penelitian Oleh Gasser et al. (2023)	9
2.2.5 Penelitian Oleh Al-Gburi et al. (2025)	11
2.3 Keaslian Penelitian	21
BAB III LANDASAN TEORI	22
3.1 Umum	22

3.2 Gedung Bertingkat	22
3.2.1 Fungsi Gedung Bertingkat	23
3.2.2 Standar Pembangunan Gedung Bertingkat	23
3.3 Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa	24
3.3.1 Sistem Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa	25
3.3.2 Desain Filosofi	28
3.3.3 Strong Column Weak Beam (SCWB)	29
3.4 Pembebanan Analisis Struktur	30
3.4.1 Beban Mati	30
3.4.2 Beban Hidup	30
3.4.3 Kombinasi Pembebanan Dasar	31
3.5 Pembebanan Gempa	32
3.5.1 Peruntukan Bangunan	32
3.5.2 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan	32
3.5.3 Parameter Gerak Tanah	33
3.5.4 Koefisien Situs	34
3.5.5 Parameter Percepatan Gempa	36
3.5.6 Kategori Desain Seismik (KDS)	36
3.5.7 Jenis Struktur Penahan Beban	37
3.6 Analisis Tahap 1	37
3.6.1 <i>Checking</i> Kinerja Struktur (Statik Ekuivalen)	37
3.6.2 Kombinasi Beban Gempa	37
3.6.3 Koefisien Batas Atas Periode dan Periode Pendekatan Bangunan	38
3.6.4 Koefisien Respon Seismik	39
3.6.5 Gaya Geser Dasar Seismik	40
3.6.6 Distribusi Gaya Seismik	40
3.6.7 Ketidakberaturan Struktur	41
3.6.8 Torsi Bawaan Tak Terduga	41
3.6.9 Kontrol Simpangan Antar Tingkat (<i>Drift</i> Rasio)	42
3.6.10 Kontrol <i>P-Delta Effect</i>	43
3.7 Analisis Tahap 2	44

3.7.1 Kombinasi Beban Dasar	44
3.7.2 Faktor Redundansi	45
3.7.3 Kombinasi Beban Ortogonal	45
3.7.4 Amplifikasi Torsi Tak Terduga	48
3.7.5 Faktor Skala Pembebanan Gempa	48
3.7.6 Kontrol <i>Drift-Rasio</i>	48
3.7.7 Kontrol P-delta	48
3.8 Desain dan Analisis Kebutuhan Tulangan Longitudinal Balok	48
3.8.1 Desain Tulangan Balok	50
3.8.2 Analisis Momen Balok	53
3.8.3 Analisis Momen Kapasitas Balok	55
3.8.4 Desain Geser Balok	56
3.9 Artificial Neural Network (ANN)	58
3.9.1 Arsitektur dan Komponen ANN	58
3.9.2 Metode Pembelajaran dalam ANN (<i>Backpropagation</i>)	60
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	66
4.1 Umum	66
4.2 Subjek dan Objek Penelitian	67
4.3 Data dan Metode Pengumpulan Data	67
4.4 Metode Analisis dan Desain	69
4.5 Dataset dan Strategi Pemodelan ANN	71
4.6 Tahapan Penelitian	71
4.7 Bagan Alir	72
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	78
5.1 Gambaran Umum Objek Penelitian	78
5.2 Pembebanan Struktur	79
5.2.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	79
5.2.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	81
5.3 Estimasi Dimensi Elemen Struktur (<i>Preliminary Design</i>)	83
5.3.1 Estimasi Balok	83
5.3.2 Estimasi Pelat	88

5.3.3 Estimasi Kolom	94
5.3.4 Estimasi Tangga	97
5.3.5 Estimasi Dinding dan Pasangan Bata	98
5.4 Perhitungan Berat dan Massa Bangunan	99
5.4.1 Komponen Massa	99
5.4.2 Rekapitulasi Massa Bangunan	104
5.5 Penentuan Parameter Seismik	105
5.6 Pemodelan Struktur 3D pada ETABS	108
5.7 Analisis Ketidakberaturan Struktur	109
5.7.1 Ketidakberaturan Horizontal	109
5.7.2 Ketidakberaturan Vertikal	111
5.7.3 Konsekuensi Ketidakberaturan	112
5.8 Analisis Statik ELF	112
5.9 Analisis Dinamik MRSA	113
5.9.1 Faktor Skala Respons Spektrum	113
5.9.2 Kombinasi Beban Dinamik	114
5.9.3 Kontrol Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>)	119
5.9.4 Kontrol Efek P-Delta (<i>P-Delta Effect</i>)	119
5.10 Gaya Dalam Balok	120
5.11 Redistribusi Momen Balok	122
5.12 Desain Lentur dan Kebutuhan Tulangan Balok	123
5.12.1 Data Awal	124
5.12.2 Tulangan Sebelah dan Tulangan Kembar	124
5.12.3 Verifikasi Momen Balok	126
5.12.4 Analisis Momen Kapasitas	128
5.12.5 Desain Tulangan Geser	128
5.12.6 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Balok	129
5.13 Rekapitulasi Data Input dan Output untuk Pemodelan ANN	130
5.13.1 Pasangan Kolom-Balok Sebagai Satuan Data	130
5.13.2 Variabel Input dan Output	132
5.13.3 Rekapitulasi Total Dataset ANN	134

5.14 Pemodelan Artificial Neural Network (ANN)	134
5.14.1 Persiapan Data ke MATLAB	134
5.14.2 Parameter Pelatihan ANN	135
5.14.3 Hasil Pelatihan Model ANN	136
5.14.4 Persamaan Empiris Model ANN	138
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	148
6.1 Kesimpulan	148
6.2 Saran	149
DAFTAR PUSTAKA	150

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Sistem Struktur Pada Bangunan	26
Gambar 3.2 Sistem Plat Lantai Satu Arah	27
Gambar 3.3 Sistem Plat Lantai Dua Arah	27
Gambar 3.4 Ilustrasi Kerusakan Gempa	29
Gambar 3.5 Kondisi <i>Beam Way Mechanism</i>	30
Gambar 3.6 Parameter Gerak Tanah (S_s)	33
Gambar 3.7 Parameter Gerak Tanah (S_1)	34
Gambar 3.8 Penentuan Simpangan Antar Tingkat	42
Gambar 3.9 Skema Tulangan Rangkap	51
Gambar 3.10 Arsitektur Dasar <i>Multilayer Perceptron</i> (MLP)	60
Gambar 3.11 Diagram Blok dari <i>Three-layer</i> ANN	60
Gambar 4.1 Denah Bangunan Imajiner	68
Gambar 4.2 Bagan Alir Pokok Penelitian	73
Gambar 4.3 Bagan Alir Desain dan Analisis Model Struktur	74
Gambar 4.4 Bagan Alir Desain Kebutuhan Tulangan Balok	75
Gambar 4.5 Bagan Alir <i>Artificial Neural Network</i>	76
Gambar 4.6 Gambar Keterangan Simbol Pada <i>Flowchart</i>	77
Gambar 5.1 Denah Balok	84
Gambar 5.2 Batasan Dimensi Balok	84
Gambar 5.3 Tinggi Minimum Balok Nonprategang	85
Gambar 5.4 Denah Pelat	89
Gambar 5.5 Persyaratan Ketebalan (h) Minimum	89
Gambar 5.6 Notasi Persyaratan Ketebalan (h) Minimum	90
Gambar 5.7 Denah Kolom	94
Gambar 5.8 Batasan Dimensi Kolom	94
Gambar 5.9 Pemodelan 3D ETABS	108
Gambar 5.10 Diafragma Bangunan	110

Gambar 5.11 Pasangan Kolom-Balok	131
Gambar 5.12 <i>Tahap Import</i> Data dalam MATLAB	135
Gambar 5.13 Tahap <i>Import</i> Data pada <i>Neural Network Fitting</i>	135
Gambar 5.14 Hasil Progress Pelatihan Model ANN	136
Gambar 5.15 <i>Regression Plot</i> Hasil Pelatihan ANN	137

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan	13
Tabel 3.1 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)	32
Tabel 3.2 Koefisien Situs (F_a)	35
Tabel 3.3 Koefisien Situs (F_v)	35
Tabel 3.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	36
Tabel 3.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	37
Tabel 3.6 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode yang Dihitung	38
Tabel 3.7 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	39
Tabel 4.1 Tahapan Analisis Objek Penelitian	69
Tabel 5.1 Rekapitulasi Beban Mati	80
Tabel 5.2 Rekapitulasi Beban Hidup	81
Tabel 5.3 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok	88
Tabel 5.4 Rekapitulasi Dimensi Pelat Lantai dan Pelat Atap	93
Tabel 5.5 Rekapitulasi Dimensi Kolom	97
Tabel 5.6 Rekapitulasi Dimensi Tangga	97
Tabel 5.7 Rekapitulasi Estimasi Dinding Bata	99
Tabel 5.8 Komponen Massa Balok	103
Tabel 5.9 Komponen Massa Pelat	103
Tabel 5.10 Komponen Massa Kolom	103
Tabel 5.11 Komponen Massa Tangga	103
Tabel 5.12 Komponen Massa Dinding Bata	104
Tabel 5.13 Komponen Massa Beban Gravitasi	104
Tabel 5.14 Massa Bangunan Manual vs <i>Software</i>	105
Tabel 5.15 Self Mass Massa Bangunan Manual vs <i>Software</i>	105
Tabel 5.16 Identifikasi Bangunan dan Tapak	106
Tabel 5.17 Parameter Gempa Tapak	106

Tabel 5.18 Sistem Struktur	106
Tabel 5.19 Periode Fundamental	107
Tabel 5.20 Koefisien Respons Seismik	107
Tabel 5.21 Analisis Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b (Torsi)	109
Tabel 5.22 Analisis Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3 (Diskontinuitas Diagram)	110
Tabel 5.23 Analisis Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a dan 1b (Tingkat Lunak)	111
Tabel 5.24 Analisis Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 (Massa)	111
Tabel 5.25 Analisis Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a dan 5b (Tingkat Lemah)	112
Tabel 5.26 <i>Output</i> Analisis Statik ELF	113
Tabel 5.27 <i>Output</i> Penskalaan Gaya Gempa MRSA	114
Tabel 5.28 Kombinasi Beban Dinamik	114
Tabel 5.29 <i>Story Drift</i>	119
Tabel 5.30 P-Delta Effect	120
Tabel 5.31 Gaya Dalam Balok	121
Tabel 5.32 Redistribusi Momen Balok	122
Tabel 5.33 Hasil Redistribusi Momen Balok	123
Tabel 5.34 Data Awal Desain Tulangan Balok	124
Tabel 5.35 Tulangan Longitudinal Tumpuan	125
Tabel 5.36 Tulangan Longitudinal Lapangan	125
Tabel 5.37 Momen Ultimit Balok	126
Tabel 5.38 Verifikasi Momen Balok	127
Tabel 5.39 Analisis Momen Kapasitas	128
Tabel 5.40 Analisis Momen Kapasitas	129
Tabel 5.41 Rekapitulasi Desain Balok	130
Tabel 5.42 Pasangan Kolom-Balok	131
Tabel 5.43 Variabel <i>Input</i>	132
Tabel 5.44 Variabel <i>Output</i>	133
Tabel 5.45 Konfigurasi Pelatihan Model ANN	136

Tabel 5.46 Hasil Pelatihan Model ANN	137
Tabel 5.47 Definisi Variabel Input	138
Tabel 5.48 Nilai Minimum dan Maksimum Variabel <i>Input</i>	146
Tabel 5.49 Nilai Minimum dan Maksimum Variabel <i>Output</i>	146
Tabel 5.50 Bobot <i>Input-Hidden Layer</i> (IW)	146
Tabel 5.51 Bias Hidden Layer (b1)	147
Tabel 5.52 Bobot <i>Hidden-Output Layer</i> 1-5 (LW)	147
Tabel 5.53 Bobot <i>Hidden-Output Layer</i> 6-10 (LW)	147

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data 1	154
Lampiran 2 Data 2	159
Lampiran 3 Data 3	163
Lampiran 4 Data 4	169
Lampiran 5 Data 5	174
Lampiran 6 Data 6	179
Lampiran 7 Data 7	185
Lampiran 8 Data 8	191
Lampiran 9 Data 9	198
Lampiran 10 Data 10	205
Lampiran 11 Data 11	210
Lampiran 12 Data 12	215
Lampiran 13 Data 13	220
Lampiran 14 Data 14	224
Lampiran 15 Data 15	229
Lampiran 16 Data 16	234
Lampiran 17 Data 17	239
Lampiran 18 Data 18	245
Lampiran 19 Data 19	250
Lampiran 20 Data 20	255
Lampiran 21 Data 21	260
Lampiran 22 Data 22	265
Lampiran 23 Data 23	270
Lampiran 24 Data 24	275
Lampiran 25 Data 25	280
Lampiran 26 Data 26	285
Lampiran 27 Pemodelan 3D ETABS	290

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

AI	= <i>Artificial Intelligence</i>
ANN	= <i>Artificial Neural Network</i>
BBS	= <i>Bar Bending Schedule</i>
KDS	= Kategori Desain Seismik
MAE	= <i>Mean Absolute Error</i>
MAPE	= <i>Mean Absolute Percentage Error</i>
MLP	= <i>Multilayer Perceptron</i>
MSE	= <i>Mean Square Error</i>
RMSE	= <i>Root Mean Square Error</i>
SCWB	= <i>Strong Column Weak Beam</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SPRM	= Sistem Rangka Pemikul Momen
SVM	= <i>Support Vector Machine</i>
A_s	= Luas tulangan tarik non-prategang
A_{s2}	= Luas tulangan pada sisi kembar (tulangan tekan)
b	= Lebar penampang balok
C	= Nilai percobaan untuk distribusi momen (biasanya 0,3 – 0,9)
C_d	= Faktor pembesaran defleksi
C_s	= Koefisien respons seismik
C_{vx}	= Faktor distribusi vertikal
D	= Beban mati (Dead Load)

d	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik
d'	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan
E	= Pengaruh beban gempa (seismik)
E_h	= Pengaruh beban gempa horizontal
E_v	= Pengaruh beban gempa vertikal
F_a	= Koefisien situs untuk periode pendek
F_v	= Koefisien situs untuk periode panjang (1 detik)
F_x	= Gaya seismik lateral pada tingkat ke-x
f'_c	= Kuat tekan beton yang disyaratkan
f_y	= Kuat leleh baja tulangan
h	= Tinggi total penampang atau tinggi tingkat struktur
h_i, h_x	= Tinggi dari dasar sampai tingkat ke-i atau ke-x
I_e	= Faktor keutamaan gempa
k	= Eksponen yang terkait dengan periode struktur
L	= Beban hidup (Live Load)
M_1	= Momen yang ditahan oleh tulangan sebelah
M_2	= Momen yang ditahan oleh tulangan kembar
M_n	= Kuat momen nominal
M_t	= Momen torsi bawaan
M_{ta}	= Momen torsi tak terduga
M_u	= Momen terfaktor
m	= Rasio kekuatan bahan
n_k	= Jumlah tulangan kembar

n_s	= Jumlah tulangan sebelah
Q_E	= Pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau F_p
R	= Koefisien modifikasi respons
R_l	= Faktor desain momen tulangan sebelah
R_b	= Faktor rasio tulangan seimbang
S_l	= Parameter respons percepatan gempa terpetakan untuk periode 1 detik
S_{Dl}	= Parameter respons percepatan desain pada periode 1 detik
S_{DS}	= Parameter respons percepatan desain pada periode pendek
S_s	= Parameter respons percepatan gempa terpetakan untuk periode pendek
T	= Periode getar fundamental struktur
T_L	= Periode transisi respons panjang
V	= Gaya geser dasar seismik total
W	= Berat seismik efektif
w_i, w_x	= Bagian berat seismik efektif total pada tingkat ke- i atau ke- x
β_l	= Faktor untuk kedalaman blok tegangan tekan persegi ekuivalen beton
δ_x	= Simpangan pusat massa pada tingkat x
δ_{xe}	= Simpangan pada tingkat x yang ditentukan dengan analisis elastis
Δ	= Simpangan antar tingkat desain
ϵ_c	= Regangan beton
ϵ_y	= Regangan leleh baja

ϕ	= Faktor reduksi kekuatan
ρ	= Faktor redundansi
θ	= Koefisien stabilitas untuk efek P-Delta

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara dengan tingkat kerawanan gempa yang tinggi sehingga perencanaan struktur gedung bertingkat harus mempertimbangkan beban seismik secara menyeluruh. Analisis kebutuhan tulangan balok beton bertulang secara konvensional memerlukan prosedur yang panjang dan kompleks, sehingga dibutuhkan pendekatan yang lebih efisien. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model *Artificial Neural Network* (ANN) untuk memprediksi kebutuhan tulangan balok beton bertulang pada gedung bertingkat dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) secara akurat dan efisien.

Penelitian ini menggunakan 50 variasi konfigurasi bangunan gedung imajiner yang dianalisis menggunakan *software* ETABS, Microsoft Excel, dan AutoCAD dengan mengacu pada SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, dan SNI 1727:2020. Analisis struktur dilakukan dengan metode Analisis Respons Spektrum (*Modal Response Spectrum Analysis*/MRSA) dan desain tulangan balok meliputi tulangan longitudinal dan transversal. Dari 50 analisis diperoleh 866 pasangan data *input-output* yang terdiri dari 7 variabel *input* ($S_{DS} \times I_e$, $S_{D1} \times I_e$, jumlah lantai, tinggi balok, sisi pendek kolom, mutu beton, dan bentang balok) serta 6 variabel *output* berupa luas tulangan balok (luas tulangan longitudinal tumpuan atas dan bawah, luas tulangan longitudinal lapangan atas dan bawah, serta luas tulangan transversal tumpuan dan lapangan). Dataset tersebut digunakan untuk melatih model ANN menggunakan MATLAB dengan pembagian data 70% pelatihan, 15% validasi, serta 15% pengujian.

Hasil analisis menunjukkan seluruh tinjauan kinerja struktur terpenuhi, meliputi ketidakberaturan, simpangan antar tingkat, dan efek P-delta. Desain tulangan seluruh tipe balok memenuhi persyaratan lentur dan geser. Model ANN menghasilkan koefisien korelasi (R) sebesar 0,9671 untuk data pelatihan, 0,9600 untuk data validasi, dan 0,9589 untuk data pengujian, sehingga model dinyatakan memiliki akurasi dan kemampuan generalisasi yang baik dalam memprediksi kebutuhan tulangan balok beton bertulang.

Kata kunci: *Artificial Neural Network*, balok beton bertulang, kebutuhan tulangan, SRPMK, analisis respons spektrum

ABSTRACT

Indonesia is a country with a high level of seismic risk, so the structural design of multi-story buildings must thoroughly account for seismic loads. Conventional analysis of the reinforcement requirements for reinforced concrete beams involves lengthy and complex procedures, necessitating a more efficient approach. This study aims to develop an Artificial Neural Network (ANN) model to accurately and efficiently predict the reinforcement requirements for reinforced concrete beams in high-rise buildings with a Special Moment-Resisting Frame System (SRPMK).

This study utilized 50 variations of imaginary building configurations, which were analyzed using ETABS, Microsoft Excel, and AutoCAD software in accordance with SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, and SNI 1727:2020. Structural analysis was performed using the Modal Response Spectrum Analysis (MRSa) method, and beam reinforcement design included both longitudinal and transverse reinforcement. From the 50 analyses, 866 pairs of input-output data were obtained, consisting of 7 input variables ($SDS \times I_e$, $SD1 \times I_e$, number of stories, beam height, short side of the column, concrete strength, and beam span) and 6 output variables in the form of beam reinforcement areas (areas of longitudinal reinforcement at the top and bottom supports, areas of longitudinal reinforcement in the top and bottom spans, and areas of transverse reinforcement at the supports and spans). This dataset was used to train the ANN model using MATLAB, with the data divided into 70% for training, 15% for validation, and 15% for testing.

The analysis results show that all structural performance criteria are met, including irregularity, inter-story drift, and P-delta effects. The reinforcement design for all beam types meets the flexural and shear requirements. The ANN model produced a correlation coefficient (R) of 0.9671 for the training data, 0.9600 for the validation data, and 0.9589 for the test data, indicating that the model has good accuracy and generalization ability in predicting the reinforcement requirements for reinforced concrete beams.

Keywords: Artificial Neural Network, reinforced concrete beams, reinforcement requirements, SRPMK, spectral response analysis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan konstruksi gedung bertingkat di Indonesia menunjukkan peningkatan dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini ditunjukkan semakin banyak proyek konstruksi gedung bertingkat yang semakin kompleks, sehingga memerlukan perencanaan yang lebih efektif dan efisien. Salah satu bahan utama yang diperlukan dalam konstruksi gedung yaitu beton bertulang. Beton bertulang merupakan gabungan bahan dari beton dan baja tulangan yang mampu menahan beban tekan dan beban tarik secara optimal (Ikhlas, 2018). Perencanaan kebutuhan tulangan balok dalam struktur beton bertulang merupakan hal yang sangat penting untuk memastikan keamanan, efisiensi, dan pengendalian biaya konstruksi.

Indonesia sebagai negara yang lokasinya berada di pertemuan tiga lempeng tektonik dan menjadi kawasan yang rawan gempa, mengharuskan struktur gedung bertingkat didesain dengan memperhatikan beban gempa yang signifikan (Rerung et al. 2022). Sehingga analisis kebutuhan tulangan harus mempertimbangkan faktor pembebanan gempa untuk menjamin performa struktural yang memenuhi standar nasional. Secara spesifik, untuk mengakomodasi gaya gempa pada wilayah dengan intensitas seismik yang tinggi, struktur gedung bertingkat dalam penelitian ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang mengharuskan penulangan dengan detail yang ketat. Dengan perhitungan yang kompleks dan banyaknya variabel yang perlu dipertimbangkan, pendekatan konvensional dalam analisis kebutuhan tulangan seringkali memerlukan waktu yang lama namun hasilnya kurang optimal dalam memprediksi kebutuhan tulangan.

Dalam era perkembangan teknologi, pemanfaatan kecerdasan buatan atau akal imitasi (AI) khususnya metode *Artificial Neural Network* (ANN), menjadi peluang besar untuk meningkatkan akurasi dalam estimasi kebutuhan tulangan beton bertulang (Ryan et al. 2013). Menurut Harnedi et al. (2023), penerapan ANN dalam analisis struktur bangunan dan prediksi kebutuhan bangunan telah terbukti

memberikan hasil yang cepat dan akurat, sehingga dapat menjadi alat bantu penting dalam merencanakan dimensi dan luas tulangan balok yang optimal.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Harahap et al. (2022), penelitian ini menggunakan model ANN untuk mengestimasi dimensi balok dan rasio tulangan struktur pada gedung dengan hasil yang didapatkan yaitu, nilai regresi 98,53% untuk dimensi balok dan 96,06% untuk rasio tulangan. Dari hasil yang didapatkan membuktikan bahwa penerapan ANN memberikan solusi yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional. Namun, penelitian ini berfokus pada estimasi dimensi balok dan rasio tulangan, tetapi tidak berfokus pada kebutuhan tulangan secara spesifik untuk balok beton bertulang pada struktur gedung bertingkat. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Nasautama S & Sitompul M. (2022) berfokus pada analisis kebutuhan tulangan dan *waste* tulangan pada proyek pembangunan pasar baru dengan menggunakan metode *Bar Bending Schedule* (BBS). Hasil penelitian ini menunjukkan adanya potensi pengurangan sisa material yang signifikan melalui perencanaan yang tepat. Namun demikian, penelitian ini tidak menggunakan ANN untuk menghitung kebutuhan tulangan secara efisien, tetapi metode BBS yang digunakan telah memberikan gambaran yang relevan dengan penelitian yang dilakukan dalam menghitung kebutuhan tulangan pada struktur beton bertulang untuk meningkatkan efisiensi.

Research gap dari tinjauan penelitian ini adalah adanya penelitian secara khusus mengembangkan model ANN untuk menganalisis kebutuhan tulangan balok beton bertulang pada gedung bertingkat. Model ANN ini diharapkan dapat memberikan rumus empiris yang membantu merancang struktur dalam menentukan dimensi dan luas tulangan balok secara cepat, akurat, dan efisien.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus untuk menganalisis kebutuhan tulangan balok beton bertulang pada gedung bertingkat menggunakan metode ANN. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengembangkan model ANN yang dapat memprediksi kebutuhan tulangan balok berdasarkan parameter respons percepatan periode pendek dan periode panjang dikalikan dengan faktor keutamaan gempa ($S_{DS} \times I_e$ dan $S_{D1} \times I_e$), mutu beton (f'_c), bentang balok (L), tinggi balok (H), sisi pendek kolom (b), serta jumlah lantai. Kontribusi penelitian ini penting baik

secara akademik dalam pengembangan metode analisis struktural berbasis AI, maupun secara praktis dalam menunjang efisiensi desain dan keamanan struktur bangunan tahan gempa di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana penentuan kebutuhan tulangan balok pada struktur beton bertulang menggunakan metode ANN?
2. Bagaimana tingkat akurasi model ANN dalam memprediksi kebutuhan tulangan balok beton bertulang dibandingkan dengan hasil analisis struktural konvensional?
3. Bagaimana rumus empiris yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan ANN?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan model *Artificial Neural Network* (ANN) yang mampu menentukan kebutuhan tulangan balok pada struktur beton bertulang secara akurat dan efisien.
2. Menunjukkan tingkat akurasi model *Artificial Neural Network* (ANN) dalam memprediksi kebutuhan tulangan balok beton bertulang dibandingkan dengan hasil analisis struktural konvensional.
3. Mengetahui Rumus empiris dari hasil perhitungan menggunakan ANN.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memprediksi kebutuhan tulangan balok secara akurat berdasarkan parameter yang digunakan sehingga perencanaan struktur lebih efektif dan efisien.

2. Membuka peluang dalam pengembangan perencanaan struktur melalui model *Artificial Neural Network* (ANN) yang mampu meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam menentukan kebutuhan tulangan balok.

1.5 Batasan Penelitian

1. Pengambilan data penelitian didapatkan dari beberapa data yang sesuai dengan ketentuan dan beberapa data seperti data tanah merupakan ketentuan sendiri.
2. Objek penelitian ini merupakan bangunan gedung bertingkat imajiner untuk melakukan variasi data dengan parameter yang ditentukan.
3. Struktur gedung bertingkat dalam penelitian ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), tanpa penggunaan sistem ganda maupun dinding geser.
4. Analisis dan desain hanya difokuskan pada elemen balok.
5. Kebutuhan tulangan yang dihitung dibatasi hanya pada tulangan longitudinal (tulangan lentur) dan tulangan transversal (tulangan sengkang).
6. Variabel *input* model ANN dibatasi pada 7 parameter, yaitu $S_{DS} \times I_e$, $S_{D1} \times I_e$, jumlah lantai, tinggi balok (H), sisi pendek kolom (b), mutu beton (f'_c), dan bentang balok (L).
7. Tinggi antar lantai dibuat mutlak 4 meter.
8. Mutu beton (f'_c) yang digunakan adalah rentang 25 MPa sampai 40 MPa.
9. Mutu baja (f_y) yang digunakan mutlak 420 MPa.
10. Bentang balok bervariasi dari rentang 3 sampai 8 meter.
11. Jumlah lantai bervariasi dari rentang 4 sampai 11 lantai.
12. Variabel *output* model ANN dibatasi pada luas tulangan balok (A_s dan A_s') baik luas tulangan longitudinal maupun transversal (tumpuan dan lapangan).
13. Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan *software* ETABS dan Microsoft Excel, geometri denah menggunakan *software* AutoCAD, dan pemodelan ANN menggunakan *software* MATLAB.
14. Standar dan peraturan yang digunakan sebagai acuan yaitu mengacu pada SNI 2847-2019 (persyaratan beton struktural), SNI 1726-2019 (perancangan ketahanan gempa), dan SNI 1727-2020 (beban minimum).

15. Penelitian ini tidak meninjau aspek di luar kebutuhan tulangan, seperti analisis biaya konstruksi, metode pelaksanaan di lapangan, maupun aspek non-struktural lainnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Penelitian tentang analisis kebutuhan tulangan pada balok beton bertulang telah banyak dilakukan menggunakan pendekatan konvensional dengan perhitungan manual, ataupun menggunakan perangkat lunak khusus. Namun, berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, analisis menggunakan perhitungan manual memakan waktu yang lebih lama dan memiliki keterbatasan dalam menangani struktur gedung bertingkat yang kompleks.

Dengan melakukan peninjauan terhadap penelitian terdahulu yang digunakan peneliti sebagai bahan referensi, peneliti dapat mempelajari teori terkait penggunaan metode *Artificial Neural Network* (ANN), sehingga dapat memberikan kontribusi yang signifikan. Dengan memanfaatkan ANN, diharapkan proses analisis kebutuhan tulangan pada balok beton bertulang dapat lebih efisien dan akurat. Tinjauan terhadap penelitian terdahulu sangat penting untuk mengonfirmasi keaslian dan relevansi penelitian ini. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih optimal dan berbeda melalui perbandingan dari tinjauan penelitian-penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian ini digunakan sebagai referensi untuk pemahaman mendalam tentang analisis kebutuhan tulangan pada balok beton bertulang menggunakan penerapan metode *Artificial Neural Network* (ANN). Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan kontribusi pada perkembangan ilmu pengetahuan di bidang konstruksi dan pemahaman terkait penerapan ANN. Adapun beberapa penelitian terdahulu sebagai berikut.

2.2.1 Penelitian Oleh Harahap et al. (2022)

Penelitian yang dilakukan oleh Kinanti Faradiba Harahap, Akhmad Aminullah, dan Henricus Priyosulistyo dengan judul “Pendekatan *Artificial Neural Network* untuk Mengestimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung” ini dilakukan pada tahun 2022 dengan menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN). Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dimensi serta rasio tulangan balok dan kolom yang ideal sehingga mengoptimalkan proses desain struktural pada tahap desain konseptual gedung.

Pemodelan struktur dilakukan menggunakan *software* SANSPRO dengan analisis datanya mengacu terhadap peraturan SNI 1727:2018, SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Pemodelan ini menghasilkan data variasi model gedung sebanyak 36 data untuk pelatihan dan 10 data untuk pengujian dengan 8 parameter yang ada, yaitu percepatan gempa, jenis tanah, jenis tumpuan, bentang balok, jumlah lantai, tinggi lantai, kekuatan beton, dan diameter tulangan. Metode ANN yang dilakukan meliputi proses pemodelan, pelatihan dan evaluasi keakuratan menggunakan persamaan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan *Mean Square Error* (MSE). Model ANN dilatih untuk memperkirakan dimensi dan rasio tulangan berdasarkan data yang digunakan. Tujuannya untuk mempercepat proses desain dengan mengurangi jumlah waktu yang diperlukan dalam melakukan *trial and error* saat merancang balok dan kolom.

Penelitian ini menghasilkan 16 rumus empiris yang membuat estimasi kebutuhan pada berbagai variasi parameter desain dapat dilakukan dengan mudah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model ANN mampu mengestimasi dimensi dan rasio tulangan dengan baik. Nilai regresi pada rasio tulangan mencapai 96,06% dan nilai regresi pada estimasi dimensi balok mencapai 98,53%. Hasil ini menunjukkan bahwa estimasi model ANN sangat mendekati nilai target yang sebenarnya dengan *error* maksimum rumus empiris pada *output* dimensi balok tipe B1 sebesar 6,60% dan *output* rasio tulangan kolom tipe K2 sebesar 7,80%. Hal ini menunjukkan bahwa model ANN dapat mempelajari hubungan antara parameter *input* dan *output*. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan ANN

dapat mempercepat proses perancangan dan meningkatkan akurasi penghitungan kebutuhan tulangan.

2.2.2 Penelitian Oleh Nasautama S & Sitompul M. (2022)(Prayogo, 2018)

Penelitian yang dilakukan oleh Samuel Stefanus Nasautama dan Mizanuddin Sitompul dengan judul “Analisis Kebutuhan Tulangan dan Tulangan Sisa (*Waste*) Pekerjaan Struktur Kolom, Balok dan Pelat Lantai Proyek Pembangunan Pasar Baru Kabupaten Mandailing Natal” dilakukan pada tahun 2022 dengan tujuan untuk menghitung kebutuhan tulangan dan sisa tulangan (*waste*) dengan menggunakan metode *Bar Bending Schedule* (BBS). Perhitungan metode BBS menggunakan program *Microsoft Excel* untuk menganalisis kebutuhan dan *waste* tulangan serta menghitung efisiensi penggunaan baja tulangan yang mengacu pada SNI 2847:2013. Perhitungan pada penelitian ini berfokus pada elemen kolom, balok, dan pelat lantai pada proyek pembangunan Pasar Baru Kabupaten Mandailing Natal. Penelitian ini mengumpulkan data primer dari *shop drawing* dan data sekunder dari referensi yang kemudian diolah untuk menghitung dan menentukan kebutuhan tulangan dan *waste*.

Penelitian ini menunjukkan hasil rekapitulasi jumlah batang utuh (BU) yang dibutuhkan dan total kebutuhan kotor tulangan pada pekerjaan kolom, balok dan pelat lantai sebanyak 519.062,997 kg. Hasil rekapitulasi kebutuhan tulangan bersih yang didapatkan dari perhitungan pekerjaan penulangan kolom, balok dan pelat lantai sebanyak 467.927,46 kg. Total *waste* tulangan kolom, balok dan pelat lantai yang diperlukan berdasarkan perhitungan adalah 51.135,53 kg. Sehingga, berdasarkan SNI-7394-2008-HSP-Beton, persentase *waste* tulangan pada penelitian ini sebesar 10,92 % dan memenuhi syarat toleransi dengan rentang 5% - 20%.

2.2.3 Penelitian Oleh Harnedi et al. (2023)

Penelitian yang dilakukan oleh Raihan Arditama Harnedi, Jafril Tanjung, dan Jati Sunaryati dengan judul “Potensi Metode Jaringan Saraf Tiruan dalam Memprediksi Respons Seismik Gedung Bertingkat di Indonesia” dilakukan pada tahun 2023 dengan tujuan menguji model jaringan saraf tiruan dalam memprediksi respons seismik pada gedung bertingkat akibat beban gempa. Pada penelitian ini,

dilakukan analisis pada gedung 15 lantai di 34 ibukota provinsi dengan jenis kondisi tanah yang berbeda, yaitu tanah keras, sedang, dan lunak.

Data respons seismik struktur diperoleh terlebih dahulu melalui analisis struktur respons ragam menggunakan *software* elemen hingga yang kemudian dilakukan prediksi respons seismik menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan (JST). Model Jaringan Saraf Tiruan (JST) yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 3 lapisan, yaitu *input layer* dengan 7 neuron (PGA, S_{DS} , S_{D1} , T_0 , T_s , kondisi tanah dan elevasi lantai), *hidden layer* dengan 15 neuron, dan *output layer* dengan 6 neuron (perpindahan, kecepatan, dan percepatan arah sumbu X dan Y). Total data yang dihasilkan dari analisis yaitu sebanyak 1530 data yang kemudian dibagi menjadi sebanyak 70% data untuk *training*, 15% data untuk *testing*, dan 15% data untuk validasi. Proses *training*, *testing*, dan validasi dilakukan menggunakan *software* MATLAB.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa model Jaringan Saraf Tiruan (JST) berhasil mencapai target yang ditentukan, sehingga menunjukkan bahwa model Jaringan Saraf Tiruan (JST) ini mampu memprediksi respons seismik dengan akurat. Hal ini ditunjukkan berdasarkan nilai *Mean Square Error* (MSE) dengan rata-rata akhir sebesar 0,00001965 dan nilai koefisien determinasi (R^2) yang mencapai rata-rata sebesar 99,96% hanya dalam 295 iterasi. Penelitian ini memiliki kesamaan pendekatan dengan penelitian yang dilakukan, yaitu penggunaan parameter percepatan gempa dan geometri struktur sebagai input pada model Jaringan Saraf Tiruan (JST). Namun, *output* yang dihasilkan pada penelitian oleh Harnedi et al. (2023) yaitu berupa respons seismik struktur, sedangkan penelitian yang dilakukan lebih berfokus pada prediksi kebutuhan tulangan balok beton bertulang.

2.2.4 Penelitian Oleh Gasser et al. (2023)

Penelitian yang dilakukan oleh Moamen Gasser, Omar Mahmoud, Taha Elsayed, dan Ahmed Deifalla dengan judul "*Reliable Machine Learning for the Shear Strength of Beams Strengthened Using Externally Bonded FRP Jackets*" pada tahun 2023, dipublikasikan dalam jurnal *Frontiers in Materials* dengan tujuan penelitian untuk mengembangkan model *machine learning* berbasis ANN yang

dapat diandalkan dan akurat dalam memprediksi kuat geser balok beton bertulang menggunakan *Externally Bonded Fiber-Reinforced Polymer* (EB-FRP). Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tidak adanya konsensus global terkait kontribusi EB-FRP terhadap kapasitas geser balok, karena kompleksitas mekanisme *debonding* dan banyaknya parameter yang saling memengaruhi.

Penelitian ini mengumpulkan 200 data balok yang telah diperkuat menggunakan selubung EB-FRP. Berdasarkan identifikasi digunakan 18 parameter awal yang kemudian diseleksi menggunakan metode korelasi Pearson sehingga akhirnya terpilih 13 parameter *input* yang paling berpengaruh, yaitu mencakup lebar balok, tinggi balok, tinggi efektif penampang, bentang balok, rasio tulangan geser baja, kuat tekan beton, konfigurasi penguatan, tinggi selubung EB-FRP, lebar selubung EB-FRP, spasi selubung EB-FRP, rasio tulangan FRP, sudut orientasi serat, dan tegangan ultimit FRP. Variabel *output* pada penelitian ini berupa kuat geser tambahan yang dihasilkan oleh selubung EB-FRP dalam satuan kN. Data *input* dinormalisasi menggunakan metode *min-max normalization* dan data *output* ditransformasi secara logaritmik untuk mendekati distribusi normal. Lebih dari 6.750 kombinasi arsitektur ANN diuji menggunakan MATLAB untuk menemukan konfigurasi terbaik, dengan jumlah neuron pada *hidden layer* yang dioptimasi berdasarkan nilai R^2 dan RMSE. Model terbaik menggunakan 35 neuron pada *hidden layer* dengan fungsi aktivasi TANSIG dan PURELIN. Data dibagi menjadi 70% *training* dan 30% validasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ANN yang dikembangkan menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,9576 pada data pelatihan dan 0,9150 pada keseluruhan dataset, dengan nilai RMSE sebesar 12,59 kN untuk data pelatihan dan 17,45 kN untuk keseluruhan dataset. Penelitian ini memiliki kesamaan pendekatan dengan penelitian yang dilakukan, yaitu penggunaan model ANN dengan MATLAB untuk memprediksi kapasitas elemen struktural beton bertulang berdasarkan parameter material dan geometri. Namun, perbedaan terletak pada objek kajian dan variabel *output*, di mana pada penelitian Gasser et al. (2023) berfokus pada kontribusi penguatan EB-FRP terhadap kuat geser balok eksisting, sedangkan penelitian yang dilakukan berfokus pada prediksi kebutuhan luas

tulangan longitudinal dan transversal balok beton bertulang pada gedung bertingkat dengan sistem SRPMK.

2.2.5 Penelitian Oleh Al-Gburi et al. (2025)

Penelitian yang dilakukan oleh Majid Al-Gburi, A. A. Alhayani, dan Asaad Almssad dengan judul "*Artificial Neural Network Model for Evaluating Load Capacity of RC Deep Beams*" dilakukan pada tahun 2025 dalam jurnal *Buildings* dengan tujuan penelitian untuk mengembangkan model *Artificial Neural Network* (ANN) yang mampu memprediksi kapasitas beban ultimit balok beton bertulang dalam secara akurat. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh sulitnya memprediksi kuat geser balok dalam secara konvensional akibat perilaku yang sangat nonlinear dan banyaknya parameter yang saling memengaruhi.

Penelitian ini menggunakan 253 data hasil pengujian dengan 10 parameter *input* yang ditentukan, meliputi rasio tulangan horizontal ($\rho_h\%$), rasio tulangan vertikal ($\rho_v\%$), rasio tulangan tekan ($\rho_c\%$), rasio tulangan tarik ($\rho_s\%$), tegangan leleh baja vertikal (f_{yv}), tegangan leleh baja horizontal (f_y), kuat tekan beton (f_c), tinggi efektif balok (d), tinggi balok (h), dan tebal balok (th). Variabel *output* yang dihasilkan adalah kapasitas beban ultimit (kuat geser ultimit) balok beton bertulang. Model ANN dibangun menggunakan jaringan *backpropagation* dan arsitektur jaringan melalui metode *trial and error*. Pemodelan dilakukan menggunakan *software* MATLAB dan dilakukan evaluasi data menggunakan koefisien korelasi (R).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ANN yang dikembangkan menghasilkan koefisien korelasi sebesar 0,97, dengan indikasi adanya hubungan yang sangat kuat antara nilai prediksi dan nilai aktual. Selain itu, dilakukan investigasi parametrik menggunakan model ANN yang terlatih untuk mengkaji pengaruh setiap parameter *input* terhadap kapasitas beban. Hasilnya menunjukkan bahwa rasio tulangan horizontal merupakan faktor yang paling dominan dengan kontribusi sebesar 44%, diikuti rasio tulangan vertikal sebesar 24,9%, dan rasio tulangan tekan sebesar 14,7%. Penelitian ini memiliki kesamaan pendekatan dengan penelitian yang dilakukan, yaitu penggunaan metode ANN dengan *software* MATLAB untuk memprediksi perilaku elemen beton bertulang. Namun, pada

penelitian ini berfokus pada kapasitas geser balok dalam, sedangkan penelitian yang dilakukan berfokus pada prediksi kebutuhan luas tulangan longitudinal dan transversal balok beton bertulang.

Perbandingan penelitian terdahulu yang telah dijelaskan dan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
	Harahap et al. (2022)	Nasautama S & Sitompul M. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Gasser et al. (2023)	Al-gburi et. al. (2025)	Jovita Monika Nuraini Wursito (2026)
Judul	Pendekatan <i>Artificial Neural Network</i> untuk Mengestimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung	Analisis Kebutuhan Tulangan dan Tulangan Sisa (<i>Waste</i>) Pekerjaan Struktur Kolom, Balok dan Pelat Lantai Proyek Pembangunan Pasar Baru Kabupaten Mandailing Natal	Potensi Metode Jaringan Saraf Tiruan dalam Memprediksi Respons Seismik Gedung Bertingkat di Indonesia	<i>Reliable Machine Learning for the Shear Strength of Beams Strengthened Using Externally Bonded FRP Jackets</i>	<i>Artificial Neural Network Model for Evaluating Load Capacity of RC Deep Beams</i>	Analisis Kebutuhan Tulangan Balok Beton Bertulang Menggunakan Metode <i>Artificial Neural Network</i>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
	Harahap et al. (2022)	Nasautama S & Sitompul M. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Gasser et al. (2023)	Al-gburi et. al. (2025)	Jovita Monika Nuraini Wursito (2026)
Latar Belakang	Desain konseptual yang memakan waktu dalam estimasi dimensi dan rasio tulangan, sehingga membutuhkan perhitungan yang lebih cepat.	Baja tulangan yang digunakan dalam proyek konstruksi sering menyisakan material sisa (<i>waste</i>) akibat kesalahan dalam manajemen.	Identifikasi respons seismik dengan <i>software</i> elemen hingga yang rumit, sehingga membutuhkan analisis dengan metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) yang lebih cepat.	Belum ada konsensus global tentang kontribusi EB-FRP terhadap kapasitas geser balok akibat kompleksitas mekanisme <i>debonding</i> .	Sulitnya memprediksi kuat geser <i>deep beam</i> secara konvensional akibat perilaku nonlinear dan banyaknya parameter yang memengaruhi.	Pendekatan konvensional yang masih digunakan dalam perhitungan kebutuhan tulangan balok, sehingga memerlukan metode ANN untuk memberikan hasil yang akurat dalam perhitungan.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
	Harahap et al. (2022)	Nasautama S & Sitompul M. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Gasser et al. (2023)	Al-gburi et. al. (2025)	Jovita Monika Nuraini Wursito (2026)
Tujuan	Untuk melakukan estimasi dimensi optimum dan rasio tulangan pada tahap desain konseptual gedung bertingkat.	Menghitung kebutuhan tulangan dan sisa (<i>waste</i>), serta menganalisis sisa tulangan dalam memenuhi standar toleransi SNI 7394-2008.	Menguji model Jaringan Saraf Tiruan (JST) dalam memprediksi respons seismik pada gedung bertingkat akibat beban gempa.	Mengembangkan model ANN yang andal untuk memprediksi kontribusi kuat geser yang diberikan oleh selubung EB-FRP pada balok beton bertulang.	Mengembangkan model ANN untuk memperkirakan kapasitas beban ultimit (kuat geser) balok beton bertulang dalam (<i>deep beam</i>).	Menganalisis dan memprediksi kebutuhan tulangan balok beton bertulang pada gedung bertingkat menggunakan metode ANN.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
	Harahap et al. (2022)	Nasautama S & Sitompul M. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Gasser et al. (2023)	Al-gburi et. al. (2025)	Jovita Monika Nuraini Wursito (2026)
Variabel	Percepatan gempa (S_s), jenis tanah, jenis tumpuan, bentang balok, jumlah lantai, tinggi lantai, mutu beton, diameter tulangan.	Kebutuhan tulangan kolom, balok, dan plat lantai.	PGA, S_{DS} , S_{D1} , T_0 , T_s , kondisi tanah, dan elevasi lantai.	Lebar, tinggi, kedalaman efektif balok, bentang, rasio tulangan geser baja, kuat tekan beton, konfigurasi FRP, dimensi selubung FRP, spasi, rasio tulangan FRP, sudut serat, tegangan ultimit FRP.	Rasio tulangan horizontal, vertikal, tekan, tarik, tegangan leleh baja (vertikal dan horizontal), kuat tekan beton, tinggi efektif, tinggi, dan tebal balok.	$S_{DS} \times I_e$, $S_{D1} \times I_e$, mutu beton (f'_c), bentang balok (L), tinggi balok (H), sisi pendek kolom (b), dan jumlah lantai.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
	Harahap et al. (2022)	Nasautama S & Sitompul M. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Gasser et al. (2023)	Al-gburi et. al. (2025)	Jovita Monika Nuraini Wursito (2026)
<i>Output/Target</i>	Dimensi optimum dan rasio tulangan balok dan kolom pada desain gedung bertingkat menggunakan metode ANN.	Kebutuhan tulangan dan sisa (<i>waste</i>) tulangan menggunakan metode BBS.	Respons seismik struktur berupa perpindahan, kecepatan, dan percepatan pusat lantai (arah X dan Y) menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan (JST).	Kuat geser tambahan (kN) yang diberikan selubung EB-FRP menggunakan ANN.	Kapasitas beban ultimit (kuat geser ultimit) balok dalam (kN) menggunakan ANN.	Luas tulangan longitudinal maupun transversal untuk kebutuhan tulangan balok beton bertulang pada gedung bertingkat menggunakan metode ANN.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
	Harahap et al. (2022)	Nasautama S & Sitompul M. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Gasser et al. (2023)	Al-gburi et. al. (2025)	Jovita Monika Nuraini Wursito (2026)
Metode Analisis Struktur	Analisis Statik	Analisis Statik	Analisis Dinamis	Analisis Statik	Analisis Statik	Analisis Dinamis
Alat Bantu	SANSPRO dan MATLAB.	<i>Microsoft Excel</i> untuk perhitungan <i>Bar Bending Schedule</i> (BBS).	<i>Software</i> elemen hingga dan MATLAB.	MATLAB	MATLAB	<i>Software</i> Autocad, ETABS dan MATLAB.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
	Harahap et al. (2022)	Nasautama S & Sitompul M. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Gasser et al. (2023)	Al-gburi et. al. (2025)	Jovita Monika Nuraini Wursito (2026)
Hasil Penelitian	Menghasilkan 16 rumus empiris untuk estimasi dimensi dan rasio tulangan. Nilai regresi rasio tulangan mencapai 96,06% dan nilai regresi estimasi dimensi balok mencapai 98,53%.	Jumlah batang utuh (BU) pada pekerjaan sebanyak 519.062,997 kg dengan jumlah kebutuhan tulangan bersih pekerjaan penulangan sebanyak 467.927,46 kg.	Model JST memprediksi respons seismik dengan nilai <i>Mean Square Error</i> (MSE) sebesar 0,00001965 dan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 99,96% hanya dalam 295 iterasi.	$R^2 = 0,9576$ (pelatihan), 0,9150 (keseluruhan); RMSE = 12,59 kN; mengungguli model sebelumnya.	$R = 0,97$; tulangan horizontal paling berpengaruh (44%), vertikal (24,9%), tulangan tekan (14,7%).	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
	Harahap et al. (2022)	Nasautama S & Sitompul M. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Gasser et al. (2023)	Al-gburi et. al. (2025)	Jovita Monika Nuraini Wursito (2026)
Hasil Penelitian	Tingkat <i>error</i> maksimum pada <i>output</i> dimensi balok tipe B1 sebesar 6,60% dan rasio tulangan kolom tipe K2 sebesar 7,80%.	Total <i>waste</i> tulangan yang diperlukan sebesar 51.135,53 kg. Persentase sisa (<i>waste</i>) tulangan pada sebesar 10,92 % dan memenuhi batas toleransi SNI.				

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan tinjauan pada penelitian sebelumnya, terdapat beberapa aspek yang menunjukkan perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan. Fokus penelitian ini bukan hanya pada dimensi ataupun rasio tulangan secara umum namun, tertuju pada kebutuhan tulangan balok beton bertulang pada gedung bertingkat melalui kebutuhan luas tulangan balok. Hal ini menunjukkan adanya perhitungan yang lebih mendalam mengenai kebutuhan tulangan balok pada struktur gedung guna mendukung kekuatan dan stabilitas bangunan.

Pemilihan variabel dalam penelitian ini lebih komprehensif dan relevan dengan perancangan kebutuhan tulangan balok pada struktur gedung yang meliputi berbagai parameter, seperti bentang balok, jumlah lantai, dan percepatan gempa seperti yang dipaparkan di Tabel 2.1. Penelitian ini juga menggunakan penerapan *Artificial Neural Network* (ANN) sebagai metode analisis dengan alat bantu *software* yang digunakan berupa ETABS, AutoCAD dan MATLAB, sehingga memaksimalkan hasil prediksi ANN untuk dapat divalidasi langsung melalui simulasi struktur pada gedung bertingkat secara nyata. Pendekatan ini berbeda dari penelitian-penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan satu atau dua *software* terpisah dan berfokus pada pendekatan empiris semata.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Landasan teori memiliki peran yang sangat penting dalam penelitian ilmiah sebagai dasar untuk memperjelas masalah yang sedang diteliti, memperkuat argumen serta menyusun penelitian ilmiah. Landasan teori mencakup beberapa aspek seperti kumpulan teori yang mendukung penelitian, konsep dan definisi variabel, serta hasil penelitian terdahulu yang relevan sebagai referensi dalam melakukan penelitian.

Landasan teori juga membantu peneliti dalam memahami permasalahan penelitian secara menyeluruh berdasarkan teori-teori yang sudah ada. Seperti yang disebutkan oleh Sugiyono (2020) dalam Nursulis & Muspawi (2024) bahwa penggunaan teori dalam penelitian sangat penting untuk memastikan bahwa metode yang dipilih memiliki dasar ilmiah yang kuat dan relevan dengan permasalahan yang diteliti.

Menurut Amruddin et al. (2022) dalam Hamdani & Sa'diyah (2025) fungsi landasan teori dalam penelitian antara lain:

1. Menyusun hipotesis sesuai arah penelitian dan sistematis.
2. Membantu menyusun rancangan penelitian secara sistematis.
3. Menyediakan dasar evaluatif untuk menginterpretasikan hasil dan membandingkannya dengan teori yang telah ada.

3.2 Gedung Bertingkat

Gedung merupakan salah satu prasarana yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya kegiatan manusia dalam berbagai bidang. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 29/PRT/M/2006 tentang Pedoman Persyaratan Teknis Bangunan Gedung, gedung didefinisikan sebagai konstruksi bangunan yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air.

Gedung bertingkat adalah bangunan gedung yang memiliki lebih dari satu lantai secara vertikal dan dihubungkan oleh elemen sirkulasi seperti tangga atau lift. Gedung bertingkat dibangun atas respons terhadap keterbatasan lahan di kawasan perkotaan, sekaligus mengoptimalkan penggunaan ruang secara vertikal. Menurut Mulyono (2000) dalam Sansujaya et al. (2021) karakteristik gedung bertingkat dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu:

1. Gedung bertingkat rendah (*low rise building*) = 1 - 3 lantai
2. Gedung bertingkat sedang (*medium rise building*) = 3 - 6 lantai
3. Gedung bertingkat tinggi (*high rise building*) = lebih dari 6 lantai

3.2.1 Fungsi Gedung Bertingkat

Gedung bertingkat memiliki berbagai fungsi dalam berbagai aspek, sebagaimana yang dijelaskan pada Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung pada Bab 3 Pasal 5, fungsi bangunan gedung antara lain:

1. Sebagai bangunan untuk tempat tinggal.
2. Sebagai bangunan masjid, gereja, pura, wihara, dan klenteng.
3. Sebagai bangunan gedung untuk perkantoran, perdagangan, industri, hotel, wisata, dan terminal.
4. Sebagai bangunan gedung untuk pendidikan, kebudayaan, pelayanan kesehatan, dan pelayanan umum.
5. Bangunan gedung dengan fungsi khusus seperti reaktor nuklir dan instalasi pertahanan keamanan.

3.2.2 Standar Pembangunan Gedung Bertingkat

Perencanaan dan pembangunan gedung bertingkat harus berlandaskan peraturan dan pedoman yang berlaku agar bangunan aman dan memiliki kelayakan fungsi struktural yang baik. Dalam perencanaan gedung, terdapat beberapa pedoman SNI yang relevan, antara lain:

1. SNI 03-2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
2. SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung

3. SNI 03-1727-2020 – Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain

Selain pedoman SNI, perencanaan dan pembangunan gedung juga harus memenuhi prinsip fundamental yang telah ditetapkan. Prinsip yang ditetapkan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 45/PRT/M/2007 antara lain:

1. Kemanfaatan, keselamatan, keseimbangan, dan keserasian bangunan gedung dengan lingkungan sekitarnya.
2. Hemat, tidak berlebihan, efektif, efisien, dan sesuai kebutuhan.
3. Terarah dan terkendali sesuai rencana.
4. Menggunakan hasil produksi dalam negeri dengan memperhatikan potensi nasional.

3.3 Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa

Struktur bangunan gedung tahan gempa adalah sistem struktur yang dirancang mampu menahan dan mendistribusikan gaya gempa tanpa mengalami keruntuhan struktural. Tujuan utamanya bukan hanya untuk menghindari keruntuhan, tetapi juga memastikan bahwa fungsi bangunan gedung dapat dipertahankan tanpa menimbulkan kerusakan ataupun kerugian yang mengancam keselamatan ketika terjadi gempa.

Dalam perencanaan bangunan, terdapat beberapa hal yang dipermasalahkan. Menurut Pawirodikromo (2012), bangunan *earthquake proof building* merupakan bangunan yang dapat melawan gempa karena bangunannya yang sangat kuat dan sangat aman sehingga dapat bertahan ketika terjadi gempa besar. Namun, bangunan seperti ini tidak diinginkan karena pembiayaannya yang sangat mahal. Adapun juga bangunan *fragile building* yang relatif murah namun mudah rusak ketika terjadi gempa, sehingga bangunan ini juga perlu dihindari karena dapat membahayakan keselamatan penghuni dan lingkungan sekitarnya.

Konsep *demand* dan *supply* digunakan sebagai dasar analisis kinerja struktur. *Demand* merupakan beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan, seperti gaya lateral, deformasi, hingga energi getaran gempa. *Supply* merupakan

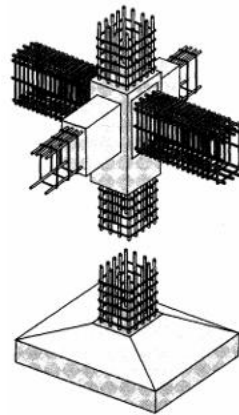
kemampuan struktur dalam menahan beban gempa tersebut, mencakup kekuatan material, kekakuan elemen, serta kemampuan struktur untuk mendispasi energi gempa. Keseimbangan antara *demand* dan *supply* menjadi aspek penting dalam struktur bangunan tahan gempa, karena untuk memastikan bahwa bangunan aman dari segi struktural sehingga menjaga keselamatan penghuni dan stabilitas lingkungan (Prasetyo, 2018).

Indonesia telah menetapkan standar acuan melalui SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan untuk menerapkan prinsip bangunan tahan gempa. Selain itu, penerapan standar yang ditetapkan oleh pemerintah daerah, terlebih pada kawasan yang berkaitan dengan zona gempa, harus diikuti untuk memastikan perencanaan bangunan gedung telah memenuhi ketahanan gempa yang diperlukan, sehingga dapat mengurangi dampak akibat gempa yang berpotensi menimbulkan ancaman kerusakan ataupun keselamatan.

3.3.1 Sistem Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa

Sistem struktur adalah susunan elemen-elemen struktur yang bekerja sebagai satu kesatuan sistem dan berfungsi untuk menyalurkan beban gempa dari struktur atas bangunan dan diteruskan ke bagian bawah. Penentuan sistem struktur juga menjadi hal penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa guna menentukan kinerja keseluruhan bangunan.

Secara umum, sistem struktur dibedakan menjadi dua, yaitu sistem struktur atas (*superstructure*) dan sistem struktur bawah (*substructure*). Sistem struktur atas adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang berada di atas permukaan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban gempa. Sistem struktur bawah adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang berada di bawah permukaan tanah dan berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah pendukung secara aman.



Gambar 3.1 Sistem Struktur Pada Bangunan

Sumber: Widodo, Pawirodikromo. (2012)

Pada sistem struktur, terdapat bagian komponen struktur yang melekat pada sistem struktur, antara lain sebagai berikut.

1. Sistem Struktur Atas (*superstructure*)

Sistem struktur atas terdiri dari balok, kolom dan plat lantai.

a. Balok

Balok merupakan elemen horizontal yang menghubungkan kolom yang berfungsi menyalurkan beban lantai dan gaya gempa ke kolom. Dalam SNI 1726-2019, balok merupakan bagian dari Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) yang memiliki daktilitas memadai.

b. Kolom

Kolom merupakan elemen vertikal yang menyalurkan beban dari lantai dan balok ke struktur bawah. Dalam SNI 1726-2019, kolom harus dirancang dapat menahan beban aksial dan gaya lateral yang terjadi akibat gempa, sehingga prinsip *Strong Column Weak Beam* (SCWB) perlu diatur untuk memastikan bahwa kolom dirancang lebih kuat daripada balok dan memastikan kestabilan struktur.

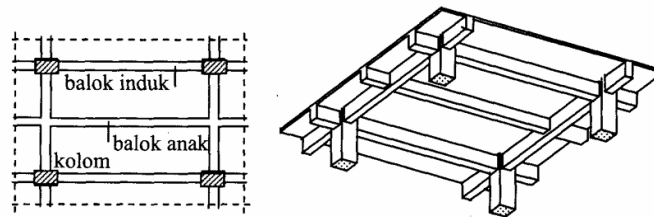
c. Plat Lantai

Plat lantai merupakan struktur dengan bidang yang tegak lurus dengan bidang struktur utama dan berfungsi untuk menahan beban gravitasi. Sistem plat

lantai dipengaruhi oleh kemudahan pelaksanaan bangunan. Terdapat dua sistem plat lantai yang umum digunakan, yaitu:

1) Sistem Plat Lantai Satu Arah (*One Way Slab*)

Plat lantai ditumpu oleh suatu balok secara memanjang menggunakan baja tulangan yang dipasang searah dengan bentangan plat. Semakin panjang bentangan plat maka semakin tebal ukuran plat yang diperlukan.

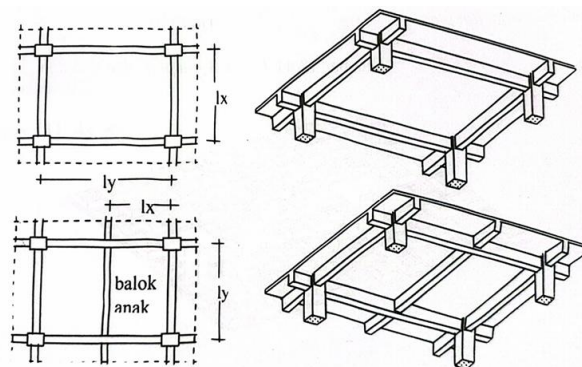


Gambar 3.2 Sistem Plat Lantai Satu Arah

Sumber: Widodo, Pawirodikromo. (2012)

2) Sistem Plat Lantai Dua Arah (*Two Way Slab*)

Plat dua arah digunakan pada struktur bangunan beton bertulang, terlebih pada bangunan bertingkat. Dalam sistem plat ini, digunakan balok anak untuk memperpendek jarak antar balok yang kemudian akan menjadi beban titik dan diteruskan ke balok induk.



Gambar 3.3 Sistem Plat Lantai Dua Arah

Sumber: Widodo, Pawirodikromo. (2012)

2. Sistem Struktur Bawah (*substructure*)

a. Pondasi

Pondasi merupakan elemen struktur yang berfungsi menerima beban dari keseluruhan bangunan gedung dan diteruskan ke tanah. Oleh karena itu, pondasi harus didesain untuk menahan gaya dengan mempertimbangkan kekuatan dan kapasitas untuk menjamin kestabilan pondasi dalam menahan beban (SNI 1726-2019).

b. *Pile Cap*

Pile cap berfungsi sebagai pengikat tiang pondasi dalam satu kesatuan struktur dan memastikan bahwa distribusi beban dari struktur atas merata ke struktur bawah, serta meningkatkan stabilitas bangunan (SNI 1726-2019).

c. *Sloof*

Sloof merupakan balok pengikat yang berfungsi menghubungkan antar kolom dan mendistribusikan beban dari struktur atas ke pondasi. *Sloof* juga mampu menahan pergeseran pondasi dan meningkatkan kekakuan dasar bangunan (SNI 1726-2019).

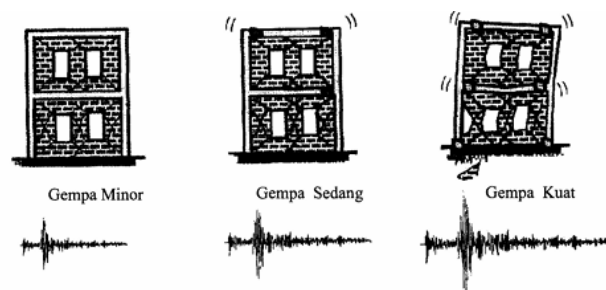
3.3.2 Desain Filosofi

Desain filosofi merupakan pendekatan dasar yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung dengan menekankan bahwa bangunan harus dirancang untuk mencegah terjadinya keruntuhan yang mengancam keselamatan. Menurut Pawirodikromo (2012), bangunan-bangunan gedung memiliki faktor keutamaan yang bergantung pada penting atau tidaknya suatu bangunan. Penting atau tidaknya suatu bangunan berhubungan dengan beban rencana bangunan yang berlanjut pada periode ulang gempa. Semakin penting suatu bangunan maka bangunan itu harus bertahan lama, yang berarti juga semakin besar gaya gempa yang harus diperhitungkan.

Berkaitan dengan periode ulang dan tingkat pentingnya suatu bangunan, maka dapat dikelompokkan dalam desain filosofi suatu bangunan akibat gempa, yaitu sebagai berikut.

1. Pada gempa kecil (*light*, atau *minor earthquake*) yang sering terjadi, struktur utama bangunan harus berfungsi dengan baik dan tidak rusak. Namun, kerusakan kecil yang dapat ditoleransi masih dibolehkan.
2. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang jarang terjadi, struktur utama bangunan boleh rusak atau retak ringan, tetapi masih dapat diperbaiki.
3. Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, struktur bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total. Dalam kondisi ini diharapkan bangunan dapat melindungi penghuni bangunan secara maksimal.

Ilustrasi kerusakan bangunan pada masing-masing kelompok gempa dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



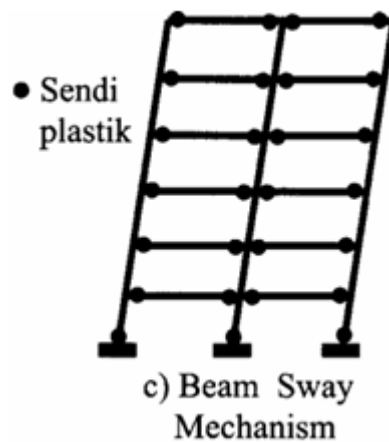
Gambar 3.4 Ilustrasi Kerusakan Gempa

Sumber: Widodo, Pawirodikromo. (2012)

3.3.3 Strong Column Weak Beam (SCWB)

Prinsip *Strong Column Weak Beam* (SCWB) merupakan suatu konsep desain yang didasarkan pada kondisi yang dikenal sebagai *Beam Sway Mechanism*. Pada mekanisme ini, sendi plastis diharapkan terbentuk pada ujung-ujung balok karena balok memang dirancang lebih lemah dibandingkan kolom, sementara penulangan pada ujung balok dibuat lebih kuat.

Dengan penerapan prinsip SCWB, struktur dapat memiliki daktilitas yang tinggi sekaligus mencegah terbentuknya sendi plastis pada kolom, khususnya pada bagian tingkat atas. Ilustrasi mengenai kondisi *Beam Sway Mechanism* ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Kondisi *Beam Way Mechanism*

Sumber: Widodo, Pawirodikromo. (2012)

3.4 Pembebanan Analisis Struktur

Penerapan pembebanan merupakan aspek penting dalam perencanaan struktur bangunan untuk memastikan bangunan mampu menahan beban yang bekerja tanpa menimbulkan kerusakan signifikan. Berdasarkan SNI 03-1727-2020 tentang Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Struktur Bangunan Gedung, pembebanan diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu beban mati, beban hidup, serta kombinasi pembebanan dasar.

3.4.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban permanen yang berasal dari berat struktur bangunan itu sendiri. Beban ini mencakup komponen yang terpasang secara tetap, seperti dinding, lantai, atap, maupun peralatan permanen lainnya. Berdasarkan SNI 03-1727-2020, perhitungan beban mati didasarkan pada berat jenis material yang digunakan serta dimensi elemen struktur. Beban mati memiliki peran penting dalam menentukan kestabilan awal bangunan, karena merupakan beban utama yang harus dipikul oleh keseluruhan sistem struktur.

3.4.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang sifatnya tidak tetap karena dipengaruhi oleh aktivitas manusia dan fungsi bangunan. Beban ini meliputi antara lain beban dari penghuni, perabot, peralatan, kendaraan (pada bangunan tertentu seperti

gedung parkir atau jalan), serta beban dinamis lainnya. Besarnya beban hidup berbeda sesuai dengan jenis penggunaan bangunan, dan dalam SNI 03-1727-2020 telah ditetapkan nilai acuan beban hidup berdasarkan kategori bangunan, seperti hunian, perkantoran, maupun bangunan industri.

3.4.3 Kombinasi Pembebanan Dasar

Dalam perencanaan struktur bangunan, diperlukan penerapan kombinasi pembebanan dasar guna mempertimbangkan variasi beban yang mungkin bekerja sepanjang umur layanan bangunan. SNI 03-1727-2020 menetapkan berbagai kombinasi beban untuk menjamin struktur mampu menghadapi kondisi berbeda, baik yang berasal dari beban mati, beban hidup, maupun beban tambahan seperti angin, gempa, atau beban khusus lainnya. Perhitungan kombinasi ini bertujuan untuk memperoleh nilai beban maksimum yang dapat terjadi sehingga kegagalan struktur dapat dihindari. Standar tersebut juga memberikan faktor kombinasi yang dipakai dalam menentukan beban yang berlaku, baik pada kondisi normal maupun kondisi ekstrem.

Kombinasi pembebanan yang digunakan seperti persamaan berikut.

$$1. U = 1,4D \quad (3.1)$$

$$2. U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (3.2)$$

$$3. U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W) \quad (3.3)$$

$$4. U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (3.4)$$

$$5. U = 1,2D + 1,0E + 1,0L \quad (3.5)$$

$$6. U = 0,9D + 1,0W \quad (3.6)$$

$$7. U = 0,9D + 1,0E \quad (3.7)$$

Keterangan :

D = pengaruh beban mati

L = pengaruh beban hidup

L_r = pengaruh beban hidup di atap

R = beban air hujan

W = beban angin

E = pengaruh beban seismik horizontal dan vertikal

3.5 Pembebanan Gempa

Perencanaan pembebanan gempa menjadi aspek yang sangat penting dalam desain struktur bangunan, khususnya pada daerah dengan tingkat kerawanan gempa yang tinggi. Berdasarkan SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, terdapat beberapa ketentuan utama yang harus diperhatikan dalam merancang beban gempa, di antaranya sebagai berikut.

3.5.1 Peruntukan Bangunan

Fungsi atau penggunaan suatu bangunan perlu ditentukan sejak awal agar sesuai dengan peruntukannya. Contohnya dapat berupa bangunan hunian, perkantoran, maupun industri, yang masing-masing memiliki pengaruh terhadap kategori risiko gempa. Menurut SNI 03-1726-2019, peruntukan bangunan berperan dalam menentukan tingkat ketahanan gempa, di mana bangunan dengan fungsi vital seperti rumah sakit dan sekolah harus dirancang dengan standar ketahanan yang lebih tinggi terhadap dampak gempa.

3.5.2 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan

Penentuan kategori risiko telah diatur dalam SNI 03-1726-2019. Berdasarkan peruntukan bangunan yang telah ditetapkan, kategori risiko untuk bangunan tersebut dapat langsung diketahui. Dari kategori bangunan tersebut dapat ditentukan faktor keutamaan gempa (I_e). Rincian faktor keutamaan gempa pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

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

(Sumber: SNI 03-1726-2019)

3.5.3 Parameter Gerak Tanah

Parameter gerak tanah memegang peranan penting dalam perencanaan ketahanan gempa, karena besarnya gerakan tanah akan menentukan intensitas gaya seismik yang bekerja pada struktur. Parameter ini didasarkan pada nilai percepatan tanah akibat gempa, yang kemudian digunakan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap perilaku struktur bangunan. Secara umum, terdapat dua jenis parameter yang digunakan, yaitu sebagai berikut.

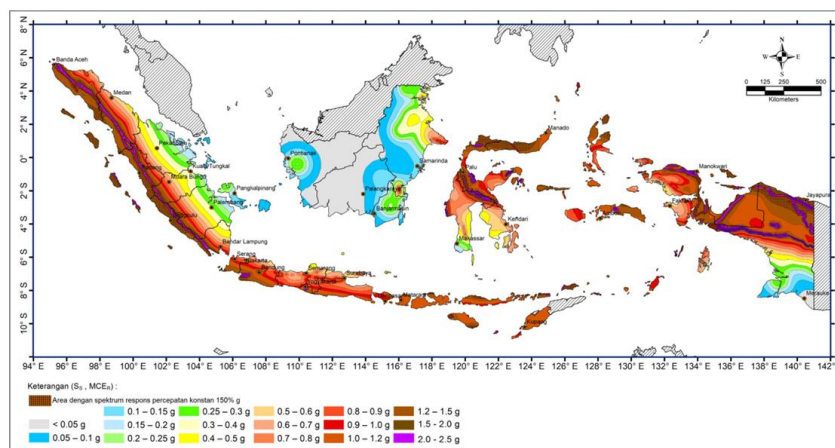
1. S_s (percepatan dasar tanah pada periode pendek)

Merupakan percepatan maksimum akibat gempa yang diperkirakan terjadi di suatu wilayah pada periode getar pendek, yaitu sekitar 0,2 detik.

2. S_1 (percepatan dasar tanah pada periode panjang)

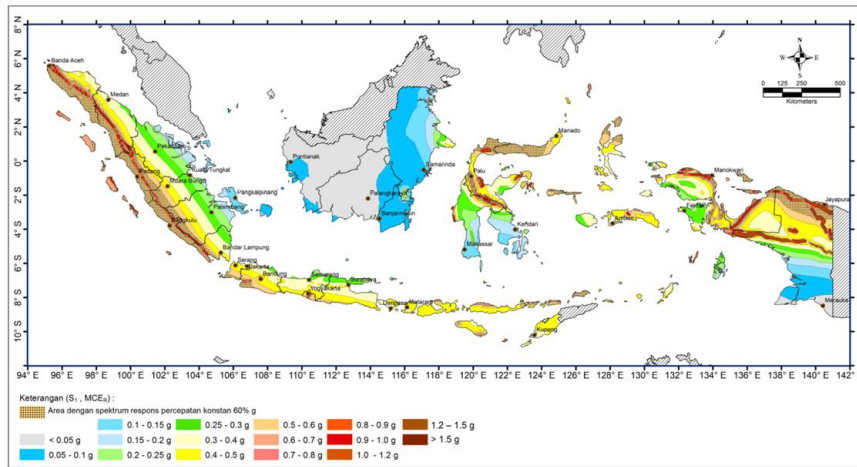
Merupakan percepatan maksimum gempa pada periode getar 1 detik.

Menurut SNI 03-1726-2019, nilai percepatan gempa pada tanah dasar ditentukan berdasarkan peta gerak tanah seismik dengan probabilitas terlampaui sebesar 2% dalam kurun waktu 50 tahun (*Maximum Considered Earthquake Response Spectrum* atau MCE_R). Kedua parameter ini dapat diperoleh dari peta gempa yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.



Gambar 3.6 Parameter Gerak Tanah (S_s)

(Sumber : SNI 03-1726-2019, Hal. 232)



Gambar 3.7 Parameter Gerak Tanah (S_i)

(Sumber : SNI 03-1726-2019, Hal. 233)

3.5.4 Koefisien Situs

Berdasarkan SNI 03-1726-2019, penentuan percepatan gempa MCE_R pada permukaan tanah memerlukan penggunaan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 1 detik. Faktor tersebut masing-masing dinyatakan sebagai F_a (untuk getaran periode pendek) dan F_v (untuk getaran periode 1 detik). Selanjutnya, diturunkan pula parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}) yang dapat dihitung menggunakan persamaan 3.8 dan 3.9 berikut.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3.8)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (3.9)$$

Untuk menentukan Nilai F_a dan F_v dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.2 Koefisien Situs (F_a)

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

(Sumber : SNI 03-1726-2019, Hal. 34)

Tabel 3.3 Koefisien Situs (F_v)

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

(Sumber : SNI 03-1726-2019, Hal. 34)

3.5.5 Parameter Percepatan Gempa

Mengacu pada SNI 03-1726-2019, nilai parameter percepatan spektral desain pada periode pendek (S_{DS}) maupun pada periode 1 detik (S_{D1}), ditetapkan dengan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.10)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.11)$$

Kedua parameter tersebut dapat divalidasi melalui laman rsa.ciptakarya.pu.go.id dengan cara memasukkan koordinat lokasi yang diinginkan.

3.5.6 Kategori Desain Seismik (KDS)

Setelah diperoleh nilai S_s dan S_1 serta kategori risiko bangunan, tahap berikutnya adalah menetapkan kategori desain seismik yang didasarkan pada kriteria berikut.

1. Untuk struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berada pada wilayah dengan $S_s > 0,75$ dan $S_1 > 0,75$, maka bangunan diklasifikasikan ke dalam kategori desain seismik D atau lebih tinggi.
2. Untuk struktur dengan kategori risiko IV, jika nilai S_s dan S_1 melebihi 0,75, maka bangunan masuk dalam kategori desain seismik F.

Klasifikasi kategori desain seismik dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

**Tabel 3.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons
Percepatan Pada Periode 1 Detik**

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

(Sumber : SNI 03-1726-2019, Hal. 37)

3.5.7 Jenis Struktur Penahan Beban

Beberapa parameter penting dalam analisis struktur terhadap gempa meliputi faktor modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), serta faktor pembesaran simpangan lateral (C_d). Ketiga faktor ini digunakan untuk menghitung gaya geser dasar, gaya desain pada elemen struktur, serta simpangan antar tingkat desain. Ketentuan ini tercantum dalam SNI 03-1726-2019 pada Tabel 12 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik yang ada di halaman 49.

3.6 Analisis Tahap 1

3.6.1 *Checking* Kinerja Struktur (Statik Ekuivalen)

Pada tahap ini, peninjauan beban gempa dilakukan dengan *checking* kinerja struktur atau metode statik ekuivalen untuk menilai suatu struktur bangunan mampu menahan beban gempa yang ditetapkan tanpa menimbulkan kerusakan.

3.6.2 Kombinasi Beban Gempa

Menurut FEMA 751, kombinasi pembebanan gempa dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$U = 1,0 D + 1,0 L + E \quad (3.12)$$

Berdasarkan ASCE/SEI 7-16, nilai beban hidup dapat direduksi apabila besarnya beban hidup yang bekerja kurang dari 4,78 kN/m². Dalam hal ini, simbol D, E, dan L masing-masing merepresentasikan beban mati, beban gempa, serta beban hidup.

3.6.3 Koefisien Batas Atas Periode dan Periode Pendekatan Bangunan

Periode fundamental struktur (T) pada arah analisis harus ditentukan dengan memperhatikan sifat struktur serta karakteristik deformasi elemen pemikul, menggunakan metode analisis yang telah terbukti akurat. Nilai periode fundamental ini tidak boleh melebihi hasil perkalian antara koefisien batas atas periode (C_u) dengan periode fundamental pendekatan (T_a) yang ditetapkan sesuai ketentuan. Periode fundamental struktur juga dapat diambil langsung dari periode pendekatan (T_a) yang dihitung berdasarkan prosedur yang berlaku. Nilai C_u tercantum pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode yang Dihitung

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

(Sumber : SNI 03-1726-2019, Hal. 71)

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, ditentukan dari persamaan berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.13)$$

C_t dan x adalah parameter pendekatan yang ditentukan dari Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

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

(Sumber : SNI 1726-2019, Hal. 72)

3.6.4 Koefisien Respon Seismik

Koefisien respon sesimik (C_s) ditentukan dengan persamaan berikut.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.14)$$

Keterangan:

SDS = parameter respons percepatan pada periode pendek

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang diperoleh dari persamaan (3.14) tidak perlu melebihi yang ditentukan berikut ini.

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.15)$$

Untuk $T \geq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.16)$$

C_s harus tidak kurang dari,

$$C_s = 0,44 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.17)$$

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

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.18)$$

3.6.5 Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (V), harus ditentukan sesuai dengan SNI 1726-2019 pada persamaan berikut.

$$V = C_s W \quad (3.19)$$

Keterangan :

C_s = koefisien respon seismik

W = berat seismik efektif

3.6.6 Distribusi Gaya Seismik

1. Distribusi Vertikal

Gaya seismik lateral (F_x) pada disetiap tingkatnya perlu ditentukan dengan persamaan berikut

$$F_x = C_{vx} V \quad (3.20)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.21)$$

C_{vx} merupakan faktor distribusi vertikal, sedangkan V adalah gaya lateral desain total atau gaya geser dasar struktur yang dinyatakan dalam satuan kN. Simbol w_i dan w_x menunjukkan bagian dari total berat seismik efektif struktur (W) yang bekerja pada tingkat i atau x , sementara h_i dan h_x menunjukkan tinggi dasar bangunan hingga tingkat i atau x dalam satuan meter. Parameter k adalah eksponen yang berhubungan dengan periode struktur, dengan ketentuan sebagai berikut.

- a. Struktur dengan $T \leq 0,5$ detik maka $k = 1$,
- b. Untuk $T \geq 2,5$ detik maka $k = 2$
- c. Untuk periode $0,5 < T < 2,5$ detik, nilai k ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

2. Distribusi Horizontal

Untuk geser tingkat seismik V_x ditentukan dengan persamaan berikut

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3.22)$$

F_i merupakan bagian dari geser dasar seismik (V).

3.6.7 Ketidakberaturan Struktur

Berdasarkan SNI 1726-2019, suatu struktur harus diklasifikasikan apakah termasuk struktur beraturan atau tidak beraturan dengan mengacu pada ketentuan yang tercantum pada Pasal 7.3.2. Klasifikasi ini ditentukan berdasarkan konfigurasi horizontal maupun vertikal. Jenis ketidakberaturan horizontal dijelaskan pada Tabel 13, sedangkan ketidakberaturan vertikal dijabarkan pada Tabel 14 dalam SNI.

3.6.8 Torsi Bawaan Tak Terduga

Apabila diafragma suatu bangunan tidak bersifat fleksibel, maka dalam perencanaannya perlu diperhitungkan dua jenis momen torsi, yaitu momen torsi bawaan (M_t) yang muncul akibat posisi massa struktur, serta momen torsi tak terduga (M_{ta}) yang terjadi karena pergeseran pusat massa dari posisi ideal.

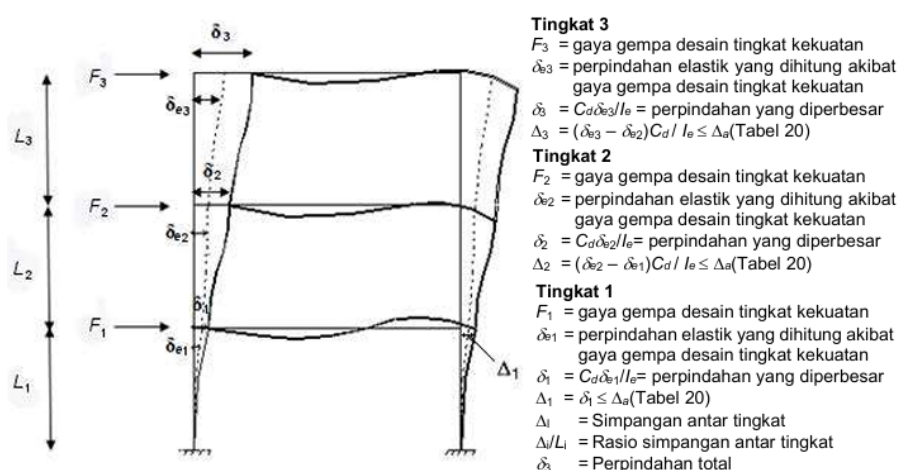
Pergeseran ini diasumsikan sebesar 5% dari dimensi struktur yang tegak lurus terhadap arah gaya gempa yang bekerja.

Apabila gaya gempa bekerja dalam dua arah ortogonal secara bersamaan, pergeseran pusat massa dihitung pada arah yang menimbulkan efek terbesar. Penerapan M_{ta} pada seluruh struktur wajib sebagai bagian dari evaluasi ketidakberaturan horizontal. Namun, nilai M_{ta} tidak perlu dimasukkan dalam perhitungan gaya seismik dan simpangan antar tingkat pada kondisi tertentu, kecuali:

1. Struktur dengan kategori desain seismik B yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1b;
2. Struktur dengan kategori desain seismik C, D, E, dan F yang menunjukkan ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b.

3.6.9 Kontrol Simpangan Antar Tingkat (*Drift Rasio*)

Menurut SNI 1726-2019, simpangan struktur ditentukan sebagai selisih antara simpangan pada pusat massa lantai di bagian atas dan bawah. Perhitungan simpangan pada tingkat dasar dilakukan dengan menggunakan proyeksi vertikal dari pusat massa lantai di atasnya, apabila posisi pusat massa tidak berada pada satu garis vertikal. Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) ditunjukkan pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

(Sumber: SNI 1726-2019, Hal. 75)

Sedangkan simpangan pusat massa pada tingkat- x (δx) dalam satuan mm dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.23)$$

Di mana C_d merupakan faktor pembesaran simpangan dalam SNI 1726-2019 Tabel 12, δ_{xe} adalah simpangan pada tingkat tertentu yang diperoleh melalui analisis elastis, sedangkan I_e adalah faktor keutamaan gempa.

3.6.10 Kontrol *P-Delta Effect*

Efek *P-Delta* muncul ketika gaya vertikal, seperti beban gravitasi atau beban tetap, bekerja pada struktur yang mengalami pergeseran lateral akibat gaya horizontal, misalnya gempa. Pergeseran lateral ini menyebabkan beban vertikal menghasilkan momen tambahan yang memperparah deformasi lateral. Besarnya efek ini akan meningkat seiring dengan bertambahnya simpangan lateral serta ketidakseragaman kekakuan struktur. Namun, efek tersebut tidak perlu diperhitungkan apabila nilai koefisien stabilitas ≤ 0 , di mana koefisien ini dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_x C_d} \quad (3.24)$$

θ tidak boleh lebih dari $\theta_{\max}$ yang dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \quad (3.25)$$

Menurut SNI 1726-2019, apabila nilai koefisien stabilitas (θ) suatu struktur melampaui batas $\theta_{\max}$, maka struktur tersebut dinyatakan tidak stabil. Dengan demikian, desain bangunan harus disesuaikan atau diperbaiki agar memenuhi ketentuan nilai koefisien stabilitas (θ) yang dipersyaratkan.

3.7 Analisis Tahap 2

3.7.1 Kombinasi Beban Dasar

Dalam analisis struktur, perlu diperhatikan faktor redundansi serta pengaruh gempa. Mengacu pada SNI 1726-2019, besarnya pengaruh beban gempa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$E_h = \rho Q_E \quad (3.26)$$

$$E_v = 0,2S_{DS}D \quad (3.27)$$

Dimana E_h dan E_v masing-masing menunjukkan pengaruh beban horizontal dan vertikal. Kedua komponen tersebut kemudian digabungkan sehingga menghasilkan pengaruh gempa vertikal, yang perhitungannya diberikan melalui persamaan berikut.

$$E = \rho Q_E \pm 0.2S_{DS}D \quad (3.28)$$

ρ adalah faktor redundansi, Q_E merupakan pengaruh gaya gempa horizontal, S_{DS} menunjukkan parameter percepatan spektral desain pada periode pendek, dan D menyatakan beban mati.

Pengaruh gaya gempa, baik horizontal maupun vertikal (E), dapat dimasukkan ke dalam persamaan kombinasi beban dasar sebagai berikut.

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D + 1,0\rho Q_E + L \quad (3.29)$$

$$(0,9D - 0,2S_{DS})D + 1,0\rho Q_E \quad (3.30)$$

3.7.2 Faktor Redundansi

Berdasarkan SNI 1726-2019, nilai faktor redundansi (ρ) ditetapkan sebesar 1,0 untuk struktur dengan kategori desain seismik B atau C. Sedangkan pada struktur dengan kategori desain seismik D, E atau F yang memiliki struktur ketidakberaturan horizontal tipe 1.b, nilai ρ digunakan sebesar 1,3.

3.7.3 Kombinasi Beban Ortogonal

Struktur dengan kategori desain seismik C hingga F, mewajibkan penerapan kombinasi beban dengan memberikan 100% gaya gempa pada satu arah, serta 30% gaya pada arah tegak lurusnya, sebagaimana diatur dalam SNI 1726-2019. Sementara itu, menurut FEMA 451B, kombinasi beban ortogonal dijelaskan lebih lanjut melalui persamaan (3.31) dan (3.32) sebagai berikut.

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D \pm 1,0\rho Q_x \pm 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.31)$$

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D \pm 1,0\rho Q_y \pm 0,3\rho Q_x + 0,5L \quad (3.32)$$

Penerapan esentrisitas tambahan digunakan persamaan sebagai berikut.

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D \pm 1,0\rho Q_x \pm TT + 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.33)$$

$$(1,2 + 0,2S_{DS})D \pm 1,0\rho Q_y \pm TT + 0,3\rho Q_x + 0,5L \quad (3.34)$$

Evaluasi kombinasi beban ortogonal melalui Persamaan (3.31) dapat dilakukan dengan langkah yang serupa. Pada uraian sebelumnya, jumlah total kombinasi beban ortogonal yang perlu diperhitungkan mencapai 32 kombinasi. Seluruh kombinasi tersebut dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$1. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.35)$$

$$2. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.36)$$

$$3. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x + TT - 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.37)$$

$$4. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_x - TT + 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.38)$$

$$5. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.39)$$

$$6. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x + TT - 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.40)$$

$$7. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_x + TT - 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.41)$$

$$8. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_x - TT + 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.42)$$

$$9. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.43)$$

$$10. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.44)$$

$$11. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.45)$$

$$12. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.46)$$

$$13. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.47)$$

$$14. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_x + TT - 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.48)$$

$$15. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_x - TT + 0,3\rho Q_y + 0,5L \quad (3.49)$$

$$16. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_y - TT - 0,3\rho Q_x + 0,5L \quad (3.50)$$

$$17. \quad (0,9D - 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y \quad (3.51)$$

$$18. (0,9D - 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_x + 0,3\rho Q_y \quad (3.52)$$

$$19. (0,9D - 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x - TT + 0,3\rho Q_y \quad (3.53)$$

$$20. (0,9D - 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_x - TT + 0,3\rho Q_y \quad (3.54)$$

$$21. (0,9D - 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y \quad (3.55)$$

$$22. (0,9D - 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y \quad (3.56)$$

$$23. (0,9D - 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x - TT + 0,3\rho Q_y \quad (3.57)$$

$$24. (0,9D - 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_x - TT + 0,3\rho Q_y \quad (3.58)$$

$$25. (0,9D - 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y \quad (3.59)$$

$$26. (0,9D - 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y \quad (3.60)$$

$$27. (0,9D - 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y \quad (3.61)$$

$$28. (0,9D - 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_x + TT + 0,3\rho Q_y \quad (3.62)$$

$$29. (0,9D - 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_y - TT + 0,3\rho Q_x \quad (3.63)$$

$$30. (0,9D - 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_y - TT + 0,3\rho Q_x \quad (3.64)$$

$$31. (0,9D - 0,2S_{DS})D + 1\rho Q_y - TT - 0,3\rho Q_x \quad (3.65)$$

$$32. (0,9D - 0,2S_{DS})D - 1\rho Q_y - TT - 0,3\rho Q_x \quad (3.66)$$

3.7.4 Amplifikasi Torsi Tak Terduga

Penjelasan sub-subbab ini merujuk pada poin 3.6.8, di mana terdapat dua hal yang perlu diperhatikan, yaitu momen torsi bawaan (M_t) yang timbul akibat letak massa struktur, serta momen torsi tak terduga (M_{ta}) yang disebabkan oleh pergeseran pusat massa dari posisi sebenarnya.

3.7.5 Faktor Skala Pembebanan Gempa

Dalam proses analisis, apabila gaya geser yang diperoleh dari metode respons spektrum lebih kecil dibandingkan 100% gaya geser hasil analisis statik ekuivalen, maka hasil analisis respons spektrum harus diskalakan dengan gaya geser dari analisis statik ekuivalen. Ketentuan ini tercantum dalam SNI 1726-2019. Namun, jika gaya geser analisis respons spektrum (V_i) lebih kecil daripada nilai $C_s W$, maka simpangan antar tingkat hasil analisis respons spektrum harus dikalikan dengan faktor $C_s W / V_i$.

3.7.6 Kontrol *Drift-Rasio*

Analisis rasio simpangan antar tingkat dilakukan dengan menggunakan persamaan (3.23). Uraian lebih detail mengenai rasio simpangan antar tingkat dapat dilihat pada sub-subbab 3.6.9

3.7.7 Kontrol P-delta

Evaluasi efek *P-Delta* dilakukan menggunakan koefisien stabilitas (θ) yang dihitung melalui persamaan (3.24), di mana nilainya tidak boleh melampaui $\theta_{\max}$ dari persamaan (3.25). Penjelasan lebih rinci mengenai efek *P-Delta* dibahas pada sub-subbab 3.6.10

3.8 Desain dan Analisis Kebutuhan Tulangan Longitudinal Balok

Tahap pertama dalam perencanaan balok beton bertulang adalah desain tulangan balok, yang bertujuan untuk memastikan balok mampu menahan beban lentur, geser, maupun torsi sesuai dengan ketentuan peraturan. Proses desain ini berpedoman pada SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, di mana kapasitas momen, geser, dan torsi harus lebih besar atau sama dengan kebutuhan akibat beban terfaktor.

Sebelum desain tulangan dilakukan, perlu dilakukan redistribusi momen pada momen ultimit hasil dari analisis struktur. Redistribusi momen merupakan proses untuk menyeimbangkan distribusi momen lentur antara daerah tumpuan dan lapangan balok yang mengacu pada SNI 2847-2019 Pasal 18.6.3.2.

Total momen tumpuan (ΣM) yang merupakan penjumlahan dari momen negatif dan momen positif di daerah tumpuan hasil dari *output* ETABS, dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\Sigma M = Mu^- + Mu^+ \quad (3.67)$$

Momen positif tidak boleh kurang dari setengah momen negatif. Syarat tersebut dinyatakan sebagai berikut.

$$Mu^+ \geq 0,5 \times Mu^- \quad (3.68)$$

Apabila syarat di atas tidak terpenuhi, maka redistribusi momen perlu dilakukan. Persentase redistribusi (δ) ditentukan secara *trial and error* sesuai kebutuhan dengan batas maksimum yang diizinkan.

$$M_{redis} = \delta \times Mu^- \quad (3.69)$$

Redistribusi dilakukan dengan mengurangi momen negatif tumpuan sebesar momen redistribusi yang digunakan dan mengganti nilai yang sama ke momen positif tumpuan, sehingga keseimbangan total momen tetap terjaga.

$$M_{u-, \text{ setelah}} = Mu^- - M_{redis} \quad (3.70)$$

$$M_{u+, \text{ setelah}} = Mu^+ + M_{redis} \quad (3.71)$$

Total momen setelah redistribusi harus sama dengan total momen sebelum redistribusi.

$$\Sigma M_{\text{setelah}} = M_{u-, \text{ setelah}} + M_{u+, \text{ setelah}} = \Sigma M \quad (3.72)$$

Cek: Jika $\Sigma M_{\text{setelah}} = \Sigma M$, maka momen redistribusi OK.

3.8.1 Desain Tulangan Balok

Menurut Pawirodikromo, terdapat tiga kondisi penulangan dalam analisis tampang balok persegi, yaitu;

1. Kondisi *Balance*

Ketika baja beton dalam keadaan seimbang maka, baja kokoh bersamaan dengan ϵ_c beton.

$$\rho = \rho_b$$

2. Kondisi *Over-reinforced*

Ketika baja dalam keadaan kuat, beton dapat retak desak secara tiba-tiba. Namun, berbahaya karena tidak ada peringatan.

$$\rho > \rho_b$$

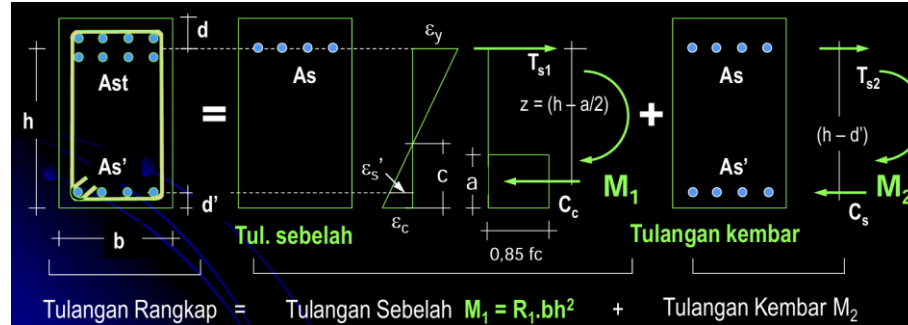
3. Kondisi *Under-reinforced*

Baja relatif lemah, sehingga baja akan leleh terlebih dahulu dan balok akan melentur dengan memberikan peringatan.

$$\rho < \rho_b$$

Desain tulangan balok bertujuan untuk memastikan balok mampu menahan beban lentur, geser, maupun torsi sesuai dengan ketentuan. Berdasarkan SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, kapasitas momen, geser, dan torsi harus lebih besar atau sama dengan kebutuhan akibat beban terfaktor. Desain tulangan balok mengikuti prinsip desain sebagai berikut.

1. Tulangan rangkap dibagi menjadi tulangan sebelah dan tulangan kembar, secara skematis seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.9 Skema Tulangan Rangkap

(Sumber: Slide Kuliah Desain Portal Beton Tahan Gempa, Prof. Ir. Widodo, MSCE, PhD)

Sebelum memasuki perhitungan tulangan sebelah dan kembar, terdapat beberapa parameter seperti momen ultimit, properti material, hingga dimensi yang juga penting dalam perhitungan tulangan. Berikut beberapa parameter dalam perhitungan tulangan sebelah dan kembar.

- a. Faktor reduksi tinggi blok tegangan (β_1)

Jika mutu beton (f'_c) ≤ 28 MPa,

$$\beta_1 = 0,85 \quad (3.73)$$

Jika mutu beton (f'_c) ≥ 28 MPa,

$$0,85 - 0,05 \times \left(\frac{(f'_c - 28)}{7} \right) \quad (3.74)$$

- b. Regangan baja leleh (ϵ_y)

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (3.75)$$

- c. $d' = sb + ds + (0,5 \times dp)$ (3.76)

$$d. d' = sb + ds + dp + (0,5 \times 2,5) \quad (3.77)$$

e. Luas tulangan pokok ($As1d$)

$$As1d = \frac{1}{4} \times \pi \times dp^2 \quad (3.78)$$

2. Nilai R1 ditentukan agar jumlah dan komposisi tulangan mampu mengarahkan kekuatan yang diperlukan momen negatif dan momen positif.

$$m = \frac{fy}{0,85 f'c} \quad (3.79)$$

$$\rho = \frac{\beta1}{m} \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \quad (3.80)$$

$$Rb = \rho b fy (1 - 0,5 \rho b m) \quad (3.81)$$

$$R1 = C Rb \quad (3.82)$$

Nilai C merupakan nilai percobaan dengan ketentuan biasanya dipakai rentang nilai 0,3 – 0,9.

3. Ukuran balok dan nilai M1 sebagai kontribusi momen yang dilakukan oleh tulangan sebelah.

$$M1 = R1(b h^2) \quad (3.83)$$

Dari nilai M1, bisa ditentukan jumlah tulangan sebelah dengan persamaan berikut.

$$nS = \frac{As}{As1d} \quad (3.84)$$

4. Menentukan momen yang harus ditahan tulangan kembar dalam nilai M2.

$$M2 = Mn - M1p \quad (3.85)$$

Dari nilai M2, bisa ditentukan jumlah tulangan kembar dengan persamaan berikut.

$$Ts2 = \frac{M2}{(h-d')} \quad (3.86)$$

$$As2 = \frac{Ts2}{fy} \quad (3.87)$$

$$nk = \frac{As2}{As1d} \quad (3.88)$$

Setelaah tulangan rangkap diperoleh, maka perlu dilakukan pengecekan jarak bersih antar tulangan (s).

$$\frac{b-2(sb+ds)-(Ndp)}{N-1} > 2,5 \quad (3.89)$$

3.8.2 Analisis Momen Balok

Analisis momen pada balok dilakukan untuk mengetahui distribusi momen lentur yang bekerja akibat beban yang diterima struktur. Momen yang terjadi pada balok dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu momen negatif dan momen positif.

1. Analisis Momen Negatif (M⁻)

Momen negatif umumnya terjadi pada bagian tumpuan balok, saat serat bagian atas bekerja dalam kondisi tarik dan serat bagian bawah mengalami tekan. Pada kondisi gempa, momen negatif biasanya muncul di ujung-ujung balok yang terhubung dengan kolom, sehingga perencanaan tulangan atas perlu dirancang agar mampu menahan gaya tarik.

$$M1 = 0,85 f'c a b \left(h - \frac{a}{2} \right) \quad (3.90)$$

$$M2 = As' fs(h - d') \quad (3.91)$$

$$Mn = M1 + M2 \quad (3.92)$$

$$Mt = Mn \left(\frac{\varphi}{10^5} \right) \quad (3.93)$$

Cek:

Jika $Mt > Mu(-)$ maka OK.

2. Analisis Momen Positif (M^+)

Momen positif terjadi pada bagian lapangan atau tengah bentang balok, ketika serat di bagian bawah mengalami tarik sedangkan serat di bagian atas berada dalam kondisi tekan. Dalam keadaan ini, tulangan bawah berfungsi sebagai tulangan tarik utama, sementara tulangan atas berperan sebagai tulangan tekan.

$$M1 = 0,85 f'c a b \left(h' - \frac{a}{2} \right) \quad (3.94)$$

$$M2 = As fs(h' - d) \quad (3.95)$$

$$Mn = M1 + M2 \quad (3.96)$$

$$Mt = Mn \left(\frac{\varphi}{10^5} \right) \quad (3.97)$$

Cek:

Jika $Mt > Mu(+)$ maka OK.

3.8.3 Analisis Momen Kapasitas Balok

Analisis momen kapasitas bertujuan untuk menentukan kemampuan maksimum (M_n) penampang balok dalam menahan momen lentur.

1. Momen Kapasitas Negatif (M_n^-).

Momen kapasitas negatif ditentukan berdasarkan keseimbangan gaya pada penampang saat tulangan bagian atas berfungsi sebagai tulangan tarik.

$$M_1 = 0,85 f'c a b \left(h - \frac{a}{2} \right) \quad (3.98)$$

$$M_2 = A_s' f_s (h - d') \quad (3.99)$$

$$M_n = M_1 + M_2 \quad (3.100)$$

$$M_{kap} = \left(\frac{M_n}{10^5} \right) \quad (3.101)$$

Cek:

Jika $M_{kap} > M_n^-$ maka AMAN.

Cek rasio

$$1,5 > \frac{M_{kap}}{M_n^-} > 1,2 \quad (3.102)$$

2. Momen Kapasitas Positif (M_n^+).

Pada momen kapasitas positif, tulangan bawah (A_s) berperan sebagai elemen tarik utama, sementara tulangan atas berfungsi sebagai elemen tekan. Nilai kapasitas momen positif ini harus dibandingkan dengan kebutuhan momen (M_u) hasil analisis struktur, sehingga dapat dipastikan bahwa persyaratan $\phi M_n \geq M_u$ terpenuhi demi menjamin keamanan dan kekuatan struktur balok.

$$M_1 = 0,85 f'c a b \left(h' - \frac{a}{2} \right) \quad (3.103)$$

$$M_2 = A_s f_s (h' - d) \quad (3.104)$$

$$Mn = M1 + M2 \quad (3.105)$$

$$M_{kap} = \left(\frac{Mn}{10^5} \right) \quad (3.106)$$

Cek:

Jika $M_{kap} > Mn(+)$ maka AMAN.

Cek rasio

$$1,5 > \frac{M_{kap}}{Mn(+)} > 1,2 \quad (3.107)$$

3.8.4 Desain Geser Balok

Desain geser pada balok untuk memastikan bahwa mekanisme keruntuhan elemen struktur terjadi secara daktail melalui lentur, bukan getas akibat kegagalan geser. Sehingga, perlu dipahami distribusi gaya geser akibat beban gravitasi, beban gempa, serta kombinasi keduanya.

1. Gaya Geser Akibat Beban Gravitasi

Gaya geser akibat beban gravitasi diambil dari diagram geser akibat beban mati (D) dan beban hidup (L). Kemudian disesuaikan dengan faktor beban dalam SNI 2847-2019, gaya geser ultimit akibat beban gravitasi ($V_{G,u}$) menjadi seperti persamaan berikut.

$$V_{G,u} = (1,2V_D + V_L) \quad (3.108)$$

2. Gaya Geser Akibat Beban Gempa

Gaya geser akibat beban gempa (V_E) ditentukan berdasarkan momen balok dan momen kapasitas (M_{kap}^+) dan (M_{kap}^-).

$$V_E = \frac{M_{kap}^+ + M_{kap}^-}{L_n} \quad (3.109)$$

3. Kombinasi Gaya Geser Total (V_u)

Gaya geser total ultimit akibat beban gravitasi dan beban gempa pada persamaan berikut.

$$V_u = (1,2 V_D + V_L) + \frac{M_{kap^+} + M_{kap^-}}{L_n} \quad (3.110)$$

4. Tulangan Geser Pada Daerah Sendi Plastis

Gaya geser di daerah sendi plastis yang harus ditahan oleh sengkang,

$$V_s = \frac{V_{up}}{\phi} \quad (3.111)$$

Sehingga jarak sengkang di daerah sendi plastis,

$$s = \frac{A_v f_{ys} h}{V_s} \quad (3.112)$$

Dengan syarat,

- a. $s < \frac{h}{4}$
- b. $s < 8D_{\text{pokok}}$
- c. $s < 24D_{\text{sengkang}}$
- d. $s < 300 \text{ mm}$

5. Tulangan Geser Pada Daerah Luar Sendi Plastis

Balok mampu mengerahkan kekuatan geser di luar sendi plastis sebesar,

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b h \quad (3.113)$$

Gaya geser yang harus ditahan oleh sengkang,

$$V_s = \frac{V_{up}}{\phi} - V_c \quad (3.114)$$

Sehingga perhitungan jarak sengkang seperti persamaan (3.112)

Dengan syarat,

$$a. \quad s < \frac{h}{2}$$

3.9 Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) merupakan metode komputasi yang terinspirasi dari cara kerja otak manusia dalam mengolah informasi. Jaringan ini tersusun dari sejumlah neuron buatan yang saling terhubung dalam beberapa lapisan yang berfungsi menerima sinyal dari neuron lain untuk diolah dan menghasilkan *output*. ANN memiliki struktur fleksibel yang banyak digunakan dalam penyelesaian masalah kompleks seperti pengolahan data berskala besar. ANN mampu menyesuaikan diri terhadap data yang diberikan tanpa memerlukan aturan eksplisit yang harus dikenali (Ikhsan et al., 2022).

Secara umum, ANN memiliki tiga lapisan utama, yaitu lapisan *input*, lapisan tersembunyi, serta lapisan *output*. Pada tahap pelatihan, data yang masuk akan diproses melalui lapisan tersembunyi hingga menghasilkan *output* sesuai target. Proses ini memanfaatkan algoritma seperti *backpropagation*, yang memungkinkan jaringan menyesuaikan bobot neuron berdasarkan kesalahan antara *output* yang dihasilkan dengan target (Fantara et al., 2018).

Keunggulan ANN terletak pada kemampuannya mempelajari pola dari data yang tidak terstruktur dan melakukan prediksi berdasarkan pola tersebut. Saat ini, ANN telah banyak digunakan di berbagai bidang, mulai dari pengolahan gambar, analisis suara, hingga prediksi di sektor kesehatan, keuangan, maupun industri (Yudono, 2023).

3.9.1 Arsitektur dan Komponen ANN

Artificial Neural Network (ANN) merupakan sistem komputasi yang dikembangkan dengan meniru cara otak manusia untuk memproses informasi. Secara umum, jaringan ini memiliki tiga lapisan utama, yaitu lapisan input, lapisan tersembunyi, dan lapisan output. Setiap lapisan memiliki fungsi dalam mengolah

data hingga menghasilkan *output* yang diharapkan (Rajasekaran & Vijayalakshmi Pai, 2003).

1. Lapisan *Input*

Lapisan *input* berfungsi menerima data dari luar sistem untuk diteruskan ke lapisan tersembunyi. Neuron pada lapisan ini mewakili suatu fitur data. Informasi yang diterima, diubah ke dalam bentuk yang dapat dipahami dan diproses lebih lanjut oleh lapisan berikutnya.

2. Lapisan Tersembunyi

Lapisan tersembunyi berperan penting dalam mengolah informasi dari lapisan *input*. Neuron di dalamnya bekerja untuk menemukan hubungan yang lebih kompleks antar data sehingga dapat menghasilkan representasi informasi yang lebih terstruktur. Selain itu, lapisan tersembunyi membantu memetakan dan menggeneralisasi pola data, yang pada akhirnya meningkatkan akurasi prediksi terhadap data baru (Rajasekaran & Vijayalakshmi Pai, 2003).

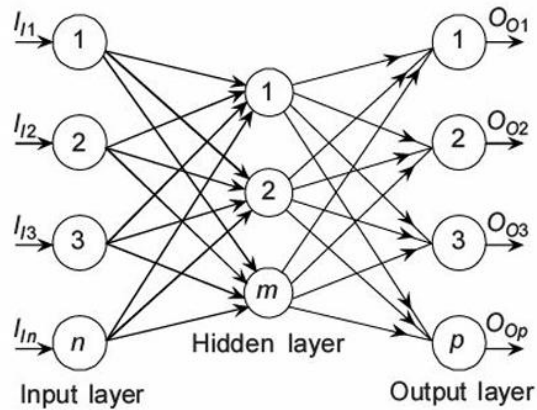
3. Lapisan *Output*

Sebagai tahap akhir, lapisan *output* menyajikan hasil dari seluruh pemrosesan yang dilakukan oleh lapisan sebelumnya. Neuron pada lapisan ini menyampaikan *output* akhir, baik berupa nilai numerik dalam analisis regresi maupun kategori dalam kasus klasifikasi.

4. Bobot dan Bias

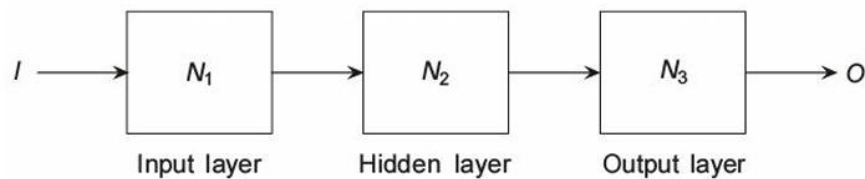
Bobot merupakan parameter yang mengatur kekuatan hubungan antar neuron, menentukan sejauh mana suatu *input* memengaruhi *output*. Sementara itu, bias memberikan fleksibilitas tambahan pada jaringan dengan menyesuaikan nilai keluaran neuron. Proses pelatihan ANN bertujuan untuk memperbarui bobot dan bias ini menggunakan algoritma optimasi, salah satunya *backpropagation*.

Ketiga lapisan tersebut berhubungan seperti Gambar 3.10 dan 3.11 berikut.



Gambar 3.10 Arsitektur Dasar *Multilayer Perceptron* (MLP)

(Sumber : Rajasekaran & Vijayalakshmi Pai, 2003)



Gambar 3.11 Diagram Blok dari *Three-layer* ANN

(Sumber : Rajasekaran & Vijayalakshmi Pai, 2003)

3.9.2 Metode Pembelajaran dalam ANN (*Backpropagation*)

Backpropagation merupakan algoritma yang digunakan dalam pelatihan *Artificial Neural Network* (ANN) dengan cara menyesuaikan bobot dan bias agar jaringan dapat menghasilkan *output* sesuai dengan target. Prinsip utama algoritma ini adalah mengoreksi kesalahan *output* dengan menghitung *gradien error*, kemudian menyebarkannya kembali. Ini memungkinkan ANN untuk belajar dari data yang diberikan serta mengurangi perbedaan antara *output* yang diprediksi dengan *output* yang diharapkan.

1. Proses Pembelajaran dengan *Backpropagation*

Backpropagation terdiri dari dua tahap utama, yaitu *forward propagation* dan *backward propagation*. Pada tahap pertama, data masukan diproses mulai dari lapisan *input*, diteruskan ke lapisan tersembunyi, hingga menghasilkan *output* di

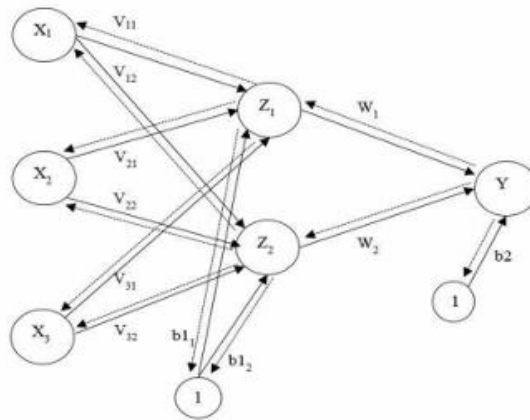
lapisan akhir. Selanjutnya, kesalahan atau *error* dihitung dengan membandingkan hasil output terhadap target.

Pada tahap kedua, yaitu *backward propagation*, kesalahan tersebut disebarkan kembali melalui jaringan untuk memperbarui bobot menggunakan metode *gradient descent*. Proses pembaruan ini berlangsung secara berulang hingga kesalahan dapat diminimalkan, sehingga meningkatkan akurasi model ANN (Rajasekaran & Vijayalakshmi Pai, 2003).

2. Algoritma Optimasi dalam *Backpropagation*

Dalam memperbarui bobot, algoritma optimasi yang umum dipakai adalah *Gradient Descent*. Metode ini untuk mencari titik minimum dari fungsi kerugian (*loss function*) dengan menghitung turunan atau gradien fungsi tersebut terhadap bobot jaringan, lalu melakukan pembaruan secara bertahap dengan kecepatan yang ditentukan oleh *learning rate*. Untuk dataset yang besar, varian lain seperti *Stochastic Gradient Descent* (SGD) dan *Adam* sering digunakan karena lebih efisien. SGD melakukan pembaruan bobot berdasarkan sampel acak dalam mini-batch, sedangkan Adam menggabungkan keunggulan momentum serta rata-rata kuadrat gradien untuk mempercepat dan menstabilkan proses pembelajaran (Rajasekaran & Vijayalakshmi Pai, 2003).

Jaringan model *backpropagation* dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut.



Gambar 3.12 Model Arsitektur Jaringan *Backpropagation*

(Sumber: Sri Kusumadewi, 2004)

3.9.3 Evaluasi Kinerja Model ANN

Evaluasi kinerja model *Artificial Neural Network* (ANN) dilakukan dengan menggunakan beberapa indikator akurasi, yaitu MSE, RMSE, MAE, MAPE, dan koefisien korelasi R . Indikator akurasi tersebut umumnya digunakan untuk mengoreksi tingkat *error* dan kesesuaian hasil prediksi dengan target pada model ANN. Nilai MSE, RMSE, MAE, dan MAPE yang semakin kecil menunjukkan tingkat *error* prediksi yang semakin rendah, sedangkan nilai koefisien korelasi R atau R^2 yang semakin mendekati angka satu menunjukkan hubungan yang semakin akurat antara nilai yang ditargetkan dengan nilai prediksi.

Menurut Jierula et al. (2021), indikator akurasi untuk model ANN dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu indikator berbasis korelasi yaitu R dan R^2 , indikator yang bergantung pada skala (*scale-dependent*) yaitu MSE, RMSE, dan MAE, serta indikator yang bergantung pada persentase (*percentage-dependent*) yaitu MAPE. Indikator yang bergantung pada skala menghitung *error* berdasarkan selisih kuadrat maupun selisih mutlak antara nilai prediksi dengan nilai yang ditargetkan, sedangkan indikator yang bergantung pada persentase menyatakan *error* dalam bentuk persentase sehingga tidak bergantung pada satuan data.

Mean Square Error (MSE) menyatakan rata-rata selisih kuadrat antara nilai prediksi dengan nilai yang ditargetkan dengan perhitungan melalui persamaan berikut (Jierula et al., 2021).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_{pre} - D_{act})^2 \quad (3.115)$$

Root Mean Square Error (RMSE) menyatakan besar kesalahan hasil prediksi dalam satuan yang sama dengan data sebenarnya, yang dihitung menggunakan persamaan berikut (Jierula et al., 2021).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_{pre} - D_{act})^2} \quad (3.116)$$

Mean Absolute Error (MAE) menyatakan rata-rata nilai mutlak dari perhitungan selisih antara nilai yang ditargetkan dengan nilai prediksi hasil, yang dihitung menggunakan persamaan berikut (Jierula et al., 2021).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |D_{pre} - D_{act}| \quad (3.117)$$

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) menyatakan rata-rata kesalahan prediksi hasil dalam bentuk persentase terhadap nilai yang ditargetkan, yang dihitung menggunakan persamaan berikut (Jierula et al., 2021).

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{D_{pre} - D_{act}}{D_{act}} \right| \quad (3.118)$$

Selain indikator pengukuran kesalahan (*error*), indikator kesesuaian antara nilai prediksi hasil dan nilai yang ditargetkan dinyatakan dalam koefisien korelasi (R) yang menyatakan hubungan kuat dan akurat antara nilai yang ditargetkan dengan nilai prediksi (Jierula et al., 2021), sedangkan koefisien determinasi (R²) menyatakan perbandingan keragaman nilai target yang mampu dijelaskan oleh model (Chicco et al., 2021).

$$R = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_{act} - \bar{D}_{act})(D_{pre} - \bar{D}_{pre})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_{act} - \bar{D}_{act})^2 \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_{pre} - \bar{D}_{pre})^2}} \quad (3.119)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (D_{act} - D_{pre})^2}{\sum_{i=1}^n (D_{act} - \bar{D}_{act})^2} \quad (3.120)$$

Keterangan:

n = jumlah data

D_{act} = nilai target ke- i dari hasil perhitungan analisis struktur

D_{pre} = nilai prediksi ke- i hasil pemodelan ANN

$\bar{D}_{act}$ = rata-rata dari nilai target aktual

$\bar{D}_{pre}$ = rata-rata dari nilai prediksi

RMSE dan MAE memiliki satuan yang sama dengan data yang asli sehingga lebih mudah dipahami dibandingkan MSE. Selain itu, nilai koefisien korelasi (R) berkisar antara -1 hingga $+1$. Menurut Jierula et al. (2021) kekuatan korelasi dari koefisien korelasi (R) dapat digolongkan menjadi lima tingkat yaitu sangat kuat ($0,8-1,0$), kuat ($0,6-0,8$), sedang ($0,4-0,6$), lemah ($0,2-0,4$), dan sangat lemah ($0-0,2$). MAPE bersifat sensitif terhadap nilai target yang sangat kecil atau mendekati nol, karena nilai tersebut menjadi penyebut dalam perhitungan, akan tetapi dalam penelitian ini *output* dari model ANN berupa luas tulangan balok yang selalu bernilai positif dan tidak nol, sehingga MAPE tetap layak digunakan sebagai indikator akurasi.

Chicco et al. (2021) menjelaskan bahwa indikator seperti MSE, RMSE, MAE, dan MAPE memiliki batas atas tak terhingga, sehingga nilai dari indikator tersebut tidak langsung menggambarkan bahwa kinerja model baik atau buruk tanpa mengetahui skala dan persebaran data yang sebenarnya. Sebaliknya, koefisien determinasi (R^2) memiliki batas atas sebesar satu yang dapat menyatakan kecocokan secara sempurna, sehingga nilai yang mendekati angka satu langsung menunjukkan hasil prediksi yang baik. Indikator kesalahan akan mengukur

besarnya *error* pada prediksi, sedangkan R dan R^2 mengukur tingkat kesesuaian dan ketepatan model terhadap dataset secara menyeluruh. Pada penelitian ini, evaluasi kinerja model ANN difokuskan pada indikator MSE dan koefisien korelasi (R) yang merupakan keluaran utama dari fitur *Neural Network Fitting Tool* (nftool) pada MATLAB.

3.9.4 Keterkaitan Analisis Struktur dengan Pemodelan ANN

Analisis struktur dan pemodelan ANN merupakan tahap yang berkesinambungan, dimana analisis struktur sebagai sumber data, sedangkan ANN sebagai alat prediksi dari *output* yang dihasilkan analisis struktur yang menjadi data pelatihan bagi model ANN. Setiap bangunan imajiner yang dianalisis menggunakan *software* ETABS dan melalui perhitungan pada Microsoft Excel, akan melalui tahapan desain kebutuhan tulangan balok. Parameter yang menjadi *input* yaitu parameter respons percepatan periode pendek dan periode panjang dikalikan dengan faktor keutamaan gempa ($S_{DS} \times I_e$ dan $S_{D1} \times I_e$), mutu beton (f'_c), bentang balok (L), tinggi balok (H), sisi pendek kolom (b), serta jumlah lantai. Parameter luas tulangan balok (A_s dan A_s') longitudinal maupun transversal (tumpuan dan lapangan) merupakan data *output* yang akan menjadi hasil prediksi oleh model ANN. Perhitungan struktur yang menjadi sumber data inilah yang menjadikan proses prediksi kebutuhan tulangan balok menggunakan metode ANN memiliki keterkaitan yang jelas.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pendekatan kuantitatif untuk menganalisis kebutuhan tulangan balok beton bertulang pada gedung bertingkat dengan menerapkan metode *Artificial Neural Network* (ANN). Pemilihan pendekatan kuantitatif didasari oleh kebutuhan untuk mengolah data yang berkaitan dengan variabel teknis dalam desain struktur, seperti bentang balok, jumlah lantai yang dimiliki suatu gedung, dan percepatan gempa yang dialami oleh struktur tersebut. Pendekatan ini akan melakukan perhitungan lebih tepat untuk menghasilkan analisis mengenai kebutuhan material terutama pada balok beton bertulang.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan tulangan balok beton bertulang pada gedung bertingkat menggunakan ANN yang terbukti efektif dalam mengatasi masalah analisis dan melakukan prediksi. Hasil yang diperoleh dari analisis metode ANN ini kemudian dibandingkan dengan analisis melalui perhitungan manual untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan efisiensi metode dalam merencanakan struktur.

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu analisis struktur yang bertujuan untuk menentukan kebutuhan tulangan pada balok beton bertulang dan pemodelan menggunakan penerapan ANN untuk memprediksi kebutuhan tulangan yang optimal berdasarkan data *input* yang tersedia dalam analisis struktur. Melalui pendekatan ini, diharapkan proses analisis perhitungan kebutuhan tulangan balok menjadi lebih cepat, akurat, dan efisien dalam pelaksanaan proyek konstruksi gedung bertingkat.

4.2 Subjek dan Objek Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat subjek dan objek penelitian. Subjek pada penelitian ini adalah penggunaan metode *Artificial Neural Network* (ANN) untuk menganalisis kebutuhan tulangan balok pada objek penelitian melalui variabel yang diperlukan. Objek pada penelitian ini menggunakan berbagai data dari gedung bertingkat yang akan dilakukan di berbagai lokasi dengan nilai parameter seismik yang berbeda-beda.

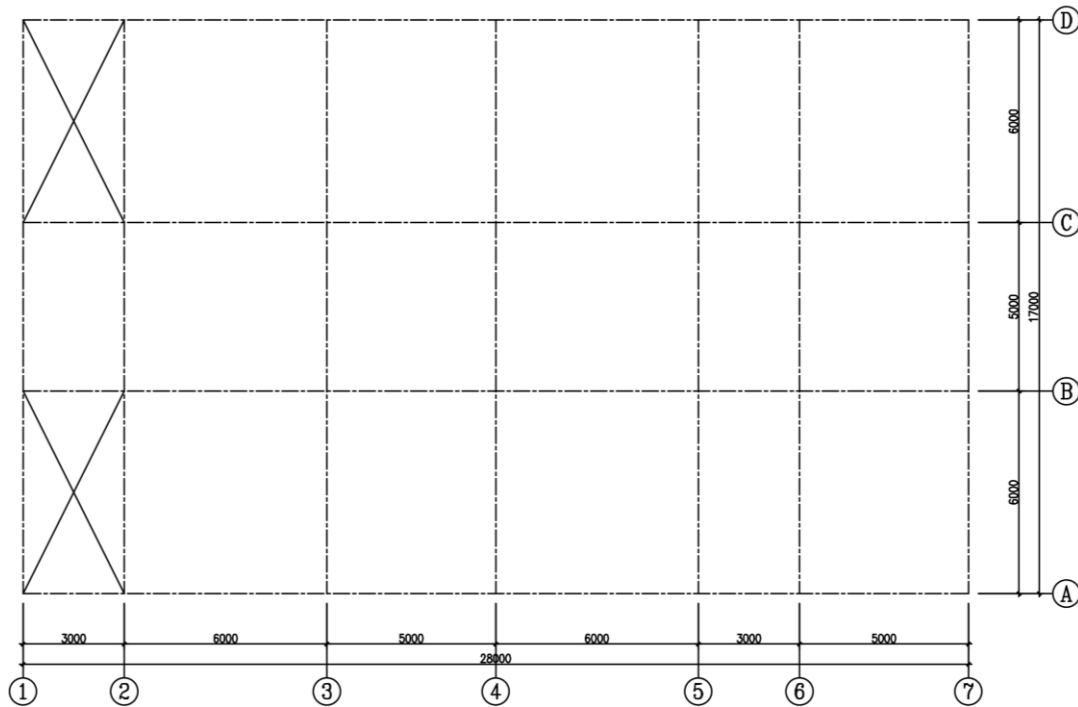
4.3 Data dan Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data sangat penting dilakukan untuk melengkapi dan memastikan bahwa hasil penelitian yang dilakukan menghasilkan data yang relevan, akurat, konsisten, dan dapat diandalkan. Hal ini berguna untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian. Pada penelitian ini, terdapat dua jenis data yang dikumpulkan, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari objek penelitian, sedangkan data sekunder merupakan data yang diperoleh dari hasil tinjauan sumber-sumber yang ada dan relevan untuk memperkaya analisis dan mendukung penelitian.

1. Data Primer

Data primer yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Data perencanaan struktur gedung yang ditentukan sendiri.
- b. Gambar kerja (*shop drawing*) bangunan imajiner yang meliputi denah seperti Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.1 Denah Bangunan Imajiner

2. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini berasal dari beberapa sumber pendukung yang relevan untuk memperkaya analisis dan mendukung penelitian. Beberapa sumber yang digunakan tentang perhitungan kebutuhan tulangan, penggunaan ANN dalam perencanaan struktur dan standar-standar teknis yang juga relevan dengan desain balok beton bertulang seperti beberapa peraturan yang menjadi referensi tinjauan. Data sekunder yang digunakan adalah sebagai berikut.

- SNI 03-2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
- SNI 03-1727-2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain.
- SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung.

4.4 Metode Analisis dan Desain

Pada penelitian ini digunakan metode analisis dua tahap yang meliputi analisis struktur dan penerapan metode *Artificial Neural Network* (ANN). Tahap analisis struktur berupa analisis struktur tiga dimensi yang dilakukan pada *software* ETABS serta perhitungan menggunakan *Microsoft Excel*. Pengaplikasian metode ANN selanjutnya dilakukan pada *software* MATLAB untuk dilakukan pemrograman. Adapun tahapan analisis yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Tahapan Analisis Objek Penelitian

Tahapan	Penjelasan	Acuan Teori
1	Pembebanan analisis struktur dengan menentukan beban mati, beban hidup dan kombinasi beban dasar.	Subbab 3.4
2	Pembebanan gempa dengan menentukan: a. Peruntukan bangunan b. Kategori risiko dan faktor keutamaan c. Kategori situs d. Faktor amplifikasi F_a , F_v e. Respon spektrum f. Kategori desain seismik (KDS) g. Jenis struktur penahan beban h. Gaya geser dan koefisien gempa dasar	Subbab 3.5

Lanjutan Tabel 4.1 Tahapan Analisis Objek Penelitian

3	Analisis struktur tahap 1 dilakukan untuk memeriksa kinerja struktur berdasarkan acuan SNI 1726-2019. Ada beberapa ketentuan yang harus diperhatikan: a. Koefisien batas atas periode b. Periode pendekatan bangunan c. Koefisien respons seismik d. Gaya geser dasar seismik e. Distribusi gaya seismik f. Identifikasi ketidakberaturan struktur g. Torsi bawaan tak terduga yang digunakan dan faktor amplikasi torsi h. Kontrol rasio simpangan antar tingkatan i. Kontrol <i>P-delta</i> efek	Subbab 3.6
4	Analisis struktur tahap 2 berfokus pada analisis dinamik spektrum respons dengan acuan SNI 1726-2019. Tahapan penerapan analisis sebagai berikut: a. Kombinasi beban dasar b. Faktor redundansi c. Efek gempa vertikal d. Kombinasi beban ortogonal e. Amplifikasi torsi tak terduga f. Faktor skala pembebanan gempa g. Kontrol <i>drift rasio</i> h. Kontrol <i>P-delta</i>	Subbab 3.7
5	Perhitungan kebutuhan tulangan balok	Subbab 3.8

Lanjutan Tabel 4.1 Tahapan Analisis Objek Penelitian

6	Membangun model fungsi aktivasi/ <i>transfer function</i> (f) melalui penerapan algoritma <i>backpropagation</i>	Subbab 3.9.2
7	Melakukan pemodelan dengan mengedepankan variasi bentang balok	

4.5 Dataset dan Strategi Pemodelan ANN

Data pada penelitian ini didapatkan dari hasil analisis struktur terhadap model bangunan imajiner yang parameter *input* nya bervariasi. Variasi dilakukan pada parameter *input* ($S_{DS} \times I_e$, $S_{D1} \times I_e$, mutu beton ($f'c$), bentang balok (L), tinggi balok (H), sisi pendek kolom (b), serta jumlah lantai) dengan parameter *output* berupa luas tulangan balok (A_s dan A_s'), yang kemudian didapatkan total data sebanyak 866 data sebagai dataset pemodelan ANN.

Dataset ANN pada MATLAB dibagi menjadi tiga bagian yaitu 70% data pelatihan (*training*), 15% data validasi (*validation*), dan 15% data pengujian (*testing*). *Overfitting* merupakan kondisi ketika model terlalu kuat dalam menyesuaikan diri terhadap data pelatihan sehingga kemampuan generalisasi terhadap data baru menghilang. Untuk mencegah kondisi tersebut, dilakukan strategi berupa penghentian pelatihan lebih awal (*early stopping*) berdasarkan nilai kesalahan pada data validasi, serta pengaturan jumlah neuron dan iterasi (*epoch*) agar tidak berlebihan.

4.6 Tahapan Penelitian

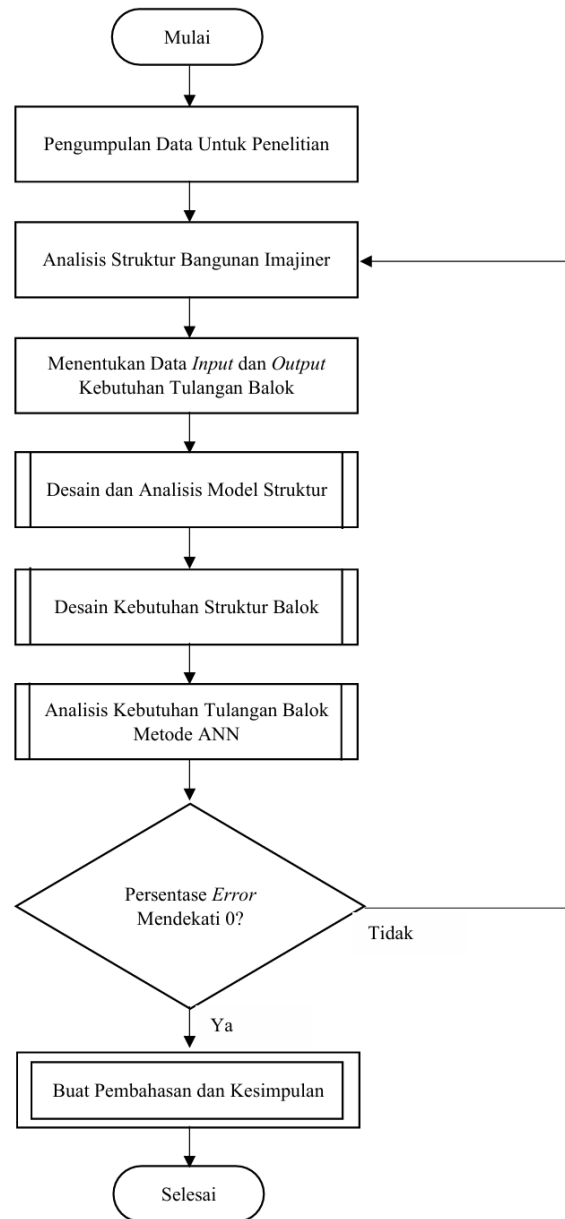
Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan untuk memperoleh output yang diharapkan. Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Melakukan penggambaran bangunan imajiner sebagai objek penelitian dengan bantuan *software* AutoCAD 2024.

2. Melaksanakan perhitungan beban struktur, meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa.
3. Melakukan analisis respons struktur gedung dengan menggunakan *software* ETABS.
4. Menginput hasil pemodelan dan perhitungan ke dalam ETABS, dengan dimensi struktur yang telah ditentukan sebelumnya.
5. Melaksanakan analisis respons spektrum serta analisis statik ekuivalen.
6. Mengevaluasi persyaratan *drift ratio* dan *p-delta effect*. Apabila tidak memenuhi, dilakukan pemodelan ulang, sedangkan jika memenuhi dilanjutkan ke tahap perhitungan desain dan analisis elemen balok.
7. Melaksanakan analisis serta desain kebutuhan tulangan balok.
8. Menghimpun data kebutuhan tulangan, kemudian melakukan ulang *trial* pemodelan dimulai dari tahap pertama.
9. Memasukkan data dan parameter ke dalam perangkat lunak MATLAB, kemudian membangun pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN).
10. Melakukan analisis menggunakan ANN, serta membandingkannya dengan analisis manual yang juga diimplementasikan melalui MATLAB dengan parameter yang sama.
11. Membandingkan hasil dari kedua metode analisis tersebut.
12. Menyusun pembahasan dan kesimpulan berdasarkan temuan penelitian

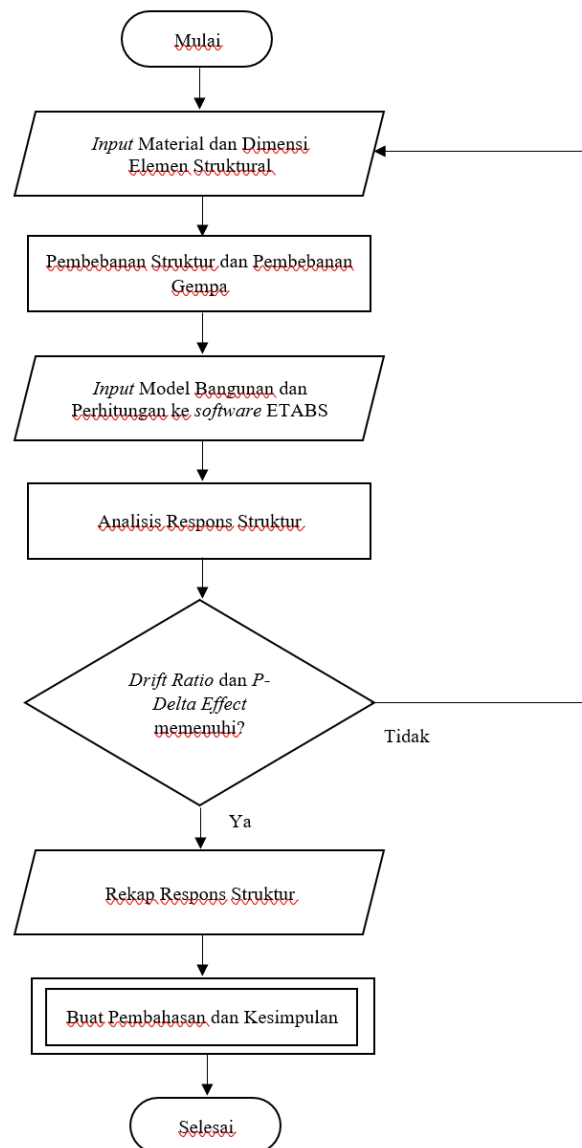
4.7 Bagan Alir

Berikut merupakan alur pokok penelitian yang digambarkan dalam Gambar 4.3 berikut.



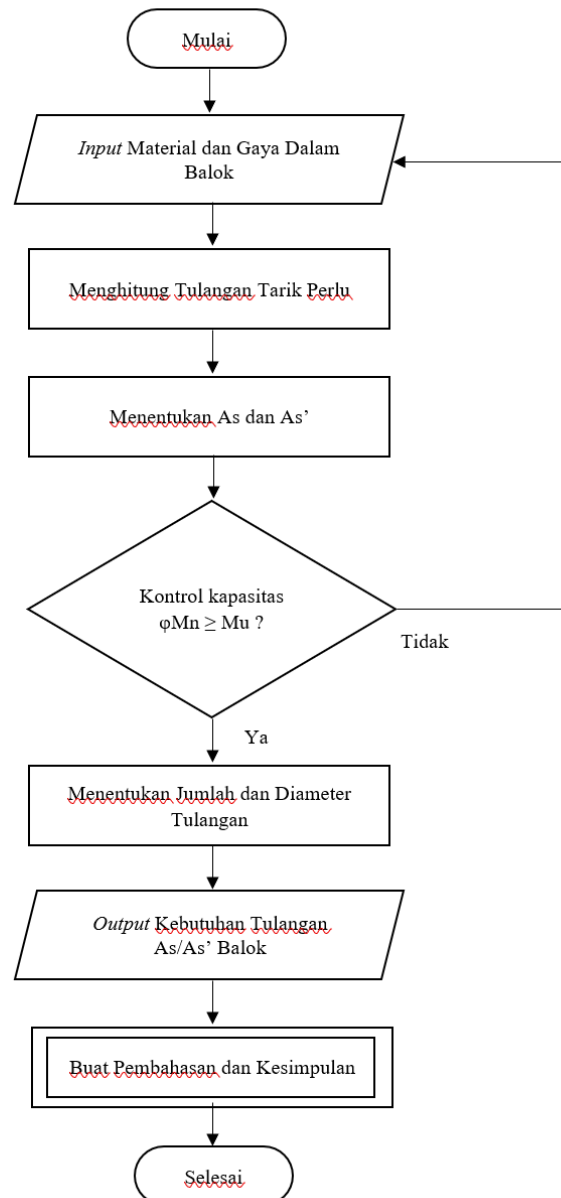
Gambar 4.2 Bagan Alir Pokok Penelitian

Proses desain dan analisis model struktur memiliki tahapan tersendiri yang dirangkum dalam bagan alir pada Gambar 4.4 berikut.

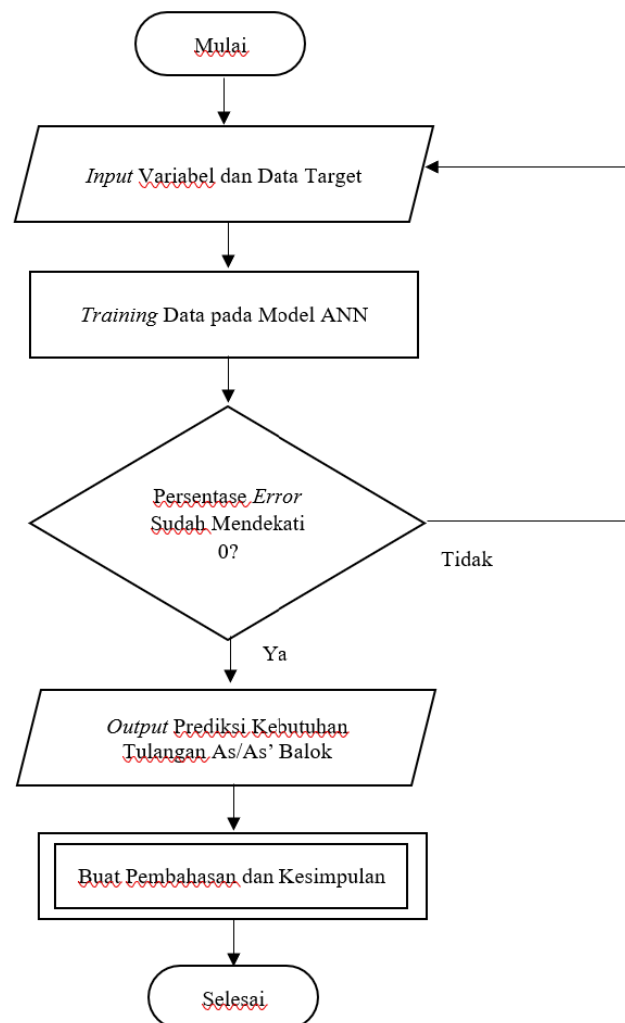


Gambar 4.3 Bagan Alir Desain dan Analisis Model Struktur

Proses optimalisasi komponen struktur memiliki urutan tahapan yang digambarkan pada bagan alir di Gambar 4.5

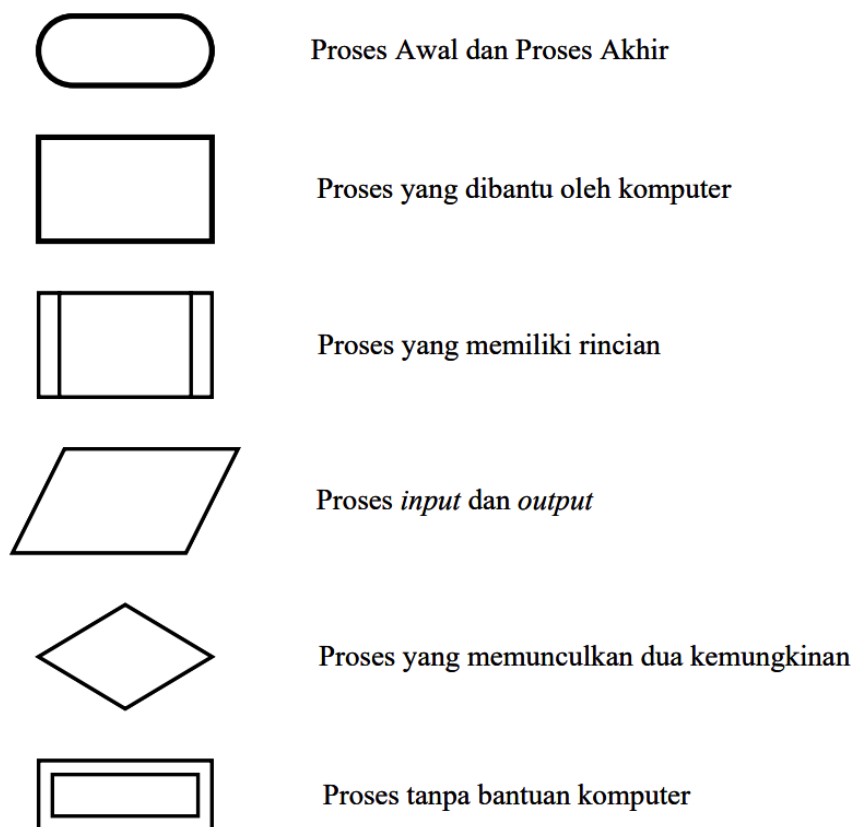


Gambar 4.4 Bagan Alir Desain Kebutuhan Tulangan Balok



Gambar 4.5 Bagan Alir Artificial Neural Network

Gambar 4.7 berikut ini merupakan penjelasan untuk penggunaan flowchart diatas.



Gambar 4.6 Gambar Keterangan Simbol Pada *Flowchart*

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum Objek Penelitian

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis sebanyak 50 data variasi bangunan gedung bertingkat dimana setiap variasi data melalui perhitungan analisis struktur dari perhitungan pembebanan, estimasi dimensi, pemodelan pada *software* ETABS, analisis seismik, hingga desain balok dan rekapitulasi kebutuhan tulangan balok. Sehingga, dalam 50 kali proses analisis ini menghasilkan data *input* parameter bangunan dan *output* berupa kebutuhan tulangan balok. Rekapitulasi data *input* dan *output* selanjutnya digunakan sebagai dataset untuk melatih dan melakukan pengujian pada model *Artificial Neural Network* (ANN).

Proses analisis pada subbab 5.2 hingga 5.13 akan menjabarkan satu contoh data secara lengkap dengan keseluruhan tahapan perhitungan. Data yang diambil sebagai contoh merupakan data ke-15 pada proses analisis yang telah dilakukan. Uraian data umum dari data ke-15 sebagai berikut.

- | | |
|--------------------------|----------------------------------|
| 1. Fungsi Bangunan | = Sekolah |
| 2. Jenis Struktur | = Beton Bertulang SRPMK |
| 3. Lokasi | = Samarinda |
| 4. Jumlah Lantai | = 6 lantai |
| 5. Jenis Tanah Eksisting | = Tanah Keras, Batuan Lunak (SC) |
| 6. Mutu Beton (f'_c) | = 35 MPa |
| 7. Mutu Baja (f_y) | = 420 MPa |
| 8. S_s | = 0,1197 g |
| 9. S_1 | = 0,0974 g |
| 10. T_l | = 16 s |

Parameter yang bervariasi seperti lokasi bangunan, jumlah lantai, dimensi dan bentang balok, mutu beton, dan parameter gempa merupakan hal yang membedakan untuk setiap data analisis. Secara spesifik, variasi lokasi bangunan pada dasarnya

mencakup beberapa parameter seismik yang saling berkaitan mulai dari percepatan batuan dasar periode pendek (S_S) dan periode 1 detik (S_1) yang diperoleh dari peta gempa, parameter periode panjang (T_l), serta koefisien situs F_a dan F_v tergantung kelas situs tanah setempat. Namun, apabila seluruh parameter tersebut dimasukkan secara terpisah sebagai variabel *input* ANN, jumlah *input* akan bertambah dan menjadi terlalu banyak, sehingga berpotensi mempersulit proses pelatihan model karena juga akan membutuhkan data yang semakin banyak. Oleh karena itu, dalam penelitian ini parameter seismik digabungkan menjadi dua nilai saja, yaitu S_{DS} dan S_{D1} , masing-masing nilai sudah mencakup pengaruh S_S , F_a (untuk S_{DS}) dan S_1 , serta F_v (untuk S_{D1}) sesuai dengan aturan pada SNI 1726:2019.

Selain itu, parameter beban seismik pada struktur tidak hanya ditentukan oleh karakteristik gempa dan kondisi tanah, tetapi juga dipengaruhi oleh fungsi bangunan yang tampak dalam faktor keutamaan gempa (I_e). Bangunan gedung dengan fungsi penting seperti sekolah memiliki $I_e = 1,5$, yang berarti aturan seismik desain akan lebih besar dibandingkan dengan bangunan umum. Oleh karena itu, variabel *input* ANN yang digunakan bukan S_{DS} dan S_{D1} secara terpisah, tetapi penggabungan dalam bentuk $S_{DS} \times I_e$ dan $S_{D1} \times I_e$ sebagai satu kesatuan parameter.

Hasil dari setiap analisis dan menjadi variabel *output* ANN pada penelitian ini adalah kebutuhan luas tulangan longitudinal balok di daerah tumpuan dan lapangan, serta luas tulangan transversal (sengkang) di kedua daerah tersebut.

5.2 Pembebanan Struktur

Berdasarkan SNI 1727-2020, pembebanan pada struktur diklasifikasikan menjadi beban mati dan beban hidup.

5.2.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Perhitungan beban mati merujuk pada SNI 1727-2020 terkait beban mati desain minimum. Beban mati tambahan ($SIDL$) merupakan beban mati untuk komponen yang selain berat elemen struktur beton bertulang itu sendiri. Sehingga, beban mati yang diperhitungkan sebagai berikut.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Beban Mati

No	Komponen	Berat Volume (kg/m ³)	Tebal Komp (m)	Berat (kg/m ²)	Q (kN/m ²)
1	PLAT LANTAI				
a	Berat Sendiri (Beton Bertulang)	2400	0,15	360	3,53
b	Partisi	1700	0,15	255	2,50
c	Pasir	1702,925	0,05	85,146	0,84
d	Spesi	2080,220	0,02	41,604	0,41
e	Keramik			24	0,24
f	Plafon + Rangka			20	0,20
g	MEP			100	0,98
	Jumlah SIDL Plat Lantai (Tanpa Partisi)		Q SIDL ₁	270,75	2,66
	Jumlah SIDL Plat Lantai (Dengan Partisi)		Q SIDL ₂	525,75	5,16
2	PLAT ATAP				
a	Berat Sendiri (Beton Bertulang)	2400	0,12	288	2,83
b	Spesi	2080,220	0,02	41,604	0,41
c	Waterproof			0	0,26
d	Plafon + Rangka			20	0,20
e	MEP			100	0,981
	Jumlah SIDL Plat Atap		Q SIDL	161,60	1,85
3	TANGGA				
a	Berat Sendiri (Beton Bertulang)	2400	0,15	360	3,53
b	Anak Tangga	2400	0,08	192	1,88
c	Pasir	1700	0,01	17	0,17
d	Spesi	2080,220	0,03	62,406	0,61
e	Keramik			24	0,24
	Jumlah SIDL Tangga		Q SIDL	295,41	6,43
3	DINDING BATA				
a	Bata Merah			190,62	1,87
b	Plesteran + Acian			48,93	0,48
	Jumlah Beban Dinding Bata		Q SIDL	239,55	2,35

5.2.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup yang digunakan dalam perencanaan struktur pada penelitian ini merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung. Penggunaan ruangan untuk beban hidup terdistribusi merata dijabarkan setiap dalam bangunan sekolah berjumlah 6 lantai. Beban hidup yang digunakan mengacu pada SNI 1727-2020, yang kemudian dipilih beban terkecil dan terbesar seperti pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)	Pemilihan beban (QL) satu lantai
A	Lt 1		
1	Lobi Utama / Ruang Penerimaan	4,79	2,4 & 7,18
2	Ruang Kepala Sekolah & Wakil	2,4	
3	Ruang Tata Usaha (Administrasi)	2,4	
4	Toilet Pria	1,92	
5	Ruang Guru	2,4	
6	Ruang Rapat Utama	2,4	
7	Toilet Wanita	1,92	
8	Perpustakaan (Area Rak Buku & Sirkulasi)	7,18	
9	Perpustakaan (Area Ruang Baca)	2,87	
10	Ruang UKS (Unit Kesehatan Sekolah) / Klinik	2,87	
11	Koridor Lantai 1	4,79	
B	Lt 2		
1	Ruang Kelas A	1,92	1,92 & 3,83
2	Ruang Kelas B	1,92	
3	Ruang Kelas C	1,92	
4	Toilet Pria	1,92	
5	Ruang Kelas D	1,92	
6	Ruang Kelas E	1,92	
7	Toilet Wanita	1,92	
8	Laboratorium Komputer	2,87	
9	Ruang BK (Bimbingan Konseling)	2,4	

Lanjutan Tabel 5.2 Rekapitulasi Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m2)	Pemilihan beban (QL) satu lantai
10	Ruang OSIS / Kesekretariatan Siswa	2,4	
11	Koridor diatas lantai 1	3,83	
C	Lt 3		
1	Ruang Kelas F	1,92	1,92 & 3,83
2	Ruang Kelas G	1,92	
3	Ruang Kelas H	1,92	
4	Toilet Pria	1,92	
5	Ruang Kelas I	1,92	
6	Ruang Kelas J	1,92	
7	Toilet Wanita	1,92	
8	Laboratorium Biologi	2,87	
9	Laboratorium Fisika	2,87	
10	Laboratorium Kimia	2,87	
11	Koridor diatas lantai 1	3,83	
D	Lt 4		
1	Ruang Kelas K	1,92	1,92 & 3,83
2	Ruang Kelas L	1,92	
3	Ruang Kelas M	1,92	
4	Toilet Pria	1,92	
5	Ruang Kelas N	1,92	
6	Ruang Kelas O	1,92	
7	Toilet Wanita	1,92	
8	Laboratorium Bahasa	2,87	
9	Ruang Seni / Audio Visual	2,87	
10	Ruang Ekstrakurikuler Khusus	2,87	
11	Koridor diatas lantai 1	3,83	
E	Lt 5		
1	Ruang Olahraga Indoor	4,79	4,79 & 1,92
2	Ruang Ibadah (Mushola Pria)	4,79	
3	Ruang Ibadah (Mushola Wanita)	4,79	
4	Toilet Pria	1,92	
5	Aula / Ruang Serbaguna (Sayap Kiri)	4,79	
6	Aula / Ruang Serbaguna (Sayap Kanan)	4,79	

Lanjutan Tabel 5.2 Rekapitulasi Beban Hidup

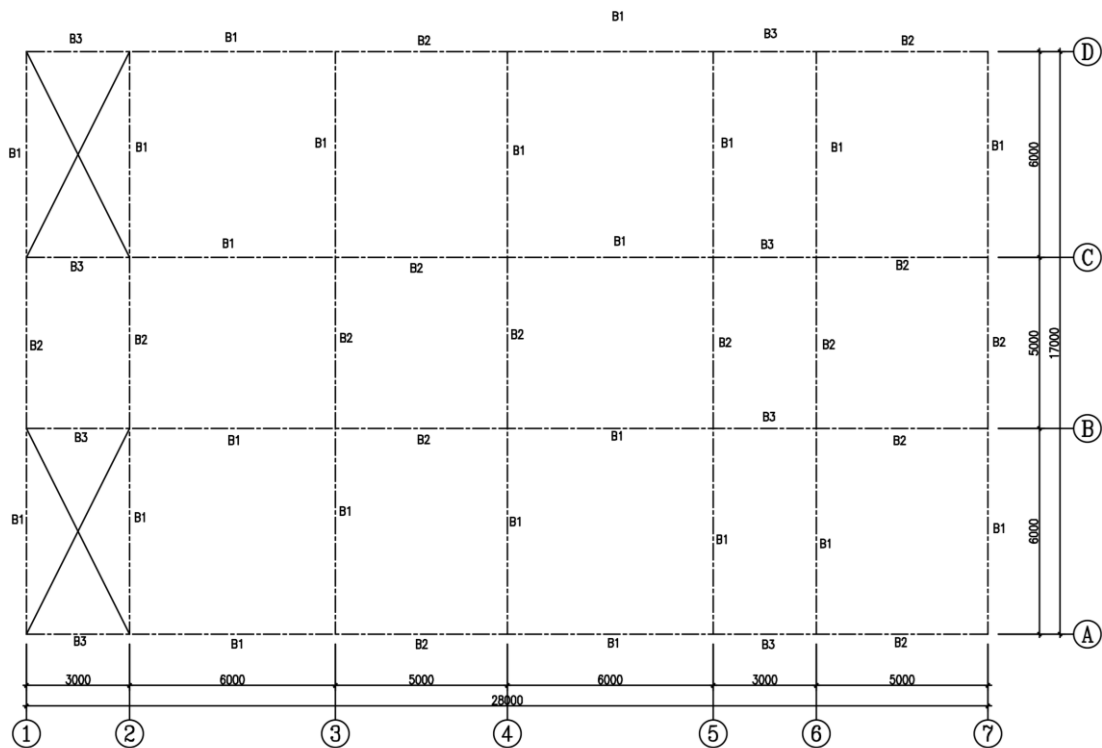
No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m2)	Pemilihan beban (QL) satu lantai
7	Toilet Wanita	1,92	
8	Gudang Peralatan Umum	6	
9	Ruang Persiapan / Ganti (Backstage Aula)	4,79	
10	Ruang Server / Kontrol Utilitas Gedung	6	
11	Koridor diatas lantai 1	3,83	
E	Lt ATAP		
1	Dak Atap	0,96	

5.3 Estimasi Dimensi Elemen Struktur (*Preliminary Design*)

Penetapan dimensi awal elemen struktur atau *preliminary design* bertujuan untuk menentukan ukuran penampang elemen struktur dengan memperhatikan persyaratan minimum sesuai peraturan yang berlaku, sekaligus menentukan geometri struktur yang dapat digunakan sebagai data untuk pemodelan dan perhitungan massa bangunan. *Preliminary design* dilakukan sebelum masuk pada pemodelan struktur di *software* ETABS. *Preliminary design* dilakukan pada lima elemen struktur utama yaitu balok, kolom, pelat, tangga, serta dinding pasangan bata.

5.3.1 Estimasi Balok

Estimasi dimensi balok dilakukan untuk menentukan tinggi (h) dan lebar (b) balok induk dan balok atap yang terdapat pada denah bangunan dengan memperhatikan syarat minimum sesuai SNI 2847:2019. Denah balok dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut



Gambar 5.1 Denah Balok

Batasan dimensi untuk balok pada persyaratan SNI dapat dilihat pada Gambar 5.2 dan tinggi minimum balok dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.

18.6.2 Batasan dimensi

18.6.2.1 Balok harus memenuhi (a) hingga (c):

- a) Bentang bersih, ℓ_n , harus minimal $4d$
- b) Lebar penampang b_w harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250 mm
- c) Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing sisi kolom.

Gambar 5.2 Batasan Dimensi Balok

(Sumber: SNI 2847-2019)

Tabel 9.3.1.1 – Tinggi minimum balok nonprategang

Kondisi perlekatan	Minimum $h^{[1]}$
Perlekatan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

^[1] Rumusan dapat diaplikasikan untuk beton mutu normal dan tulangan mutu 420. Untuk kasus lain, minimum h harus dimodifikasi sesuai dengan 9.3.1.1.1 hingga 9.3.1.1.3, sebagaimana mestinya.

Gambar 5.3 Tinggi Minimum Balok Nonprategang

(Sumber: SNI 2847-2019)

Adapun perhitungan estimasi dimensi balok sebagai berikut.

1. Balok Induk B1

Panjang Balok (L) = 6 m

$$= 6000 \text{ mm}$$

$$H_{\min 1} = \frac{L}{16}$$

$$= \frac{6000}{16}$$

$$= 375 \text{ mm}$$

$$H_{\min 2} = 500 \text{ mm}$$

$$H_{\text{Pakai}} = 600 \text{ mm}$$

$$B_{\min} = 250 \text{ mm}$$

$$B_{\max} = 0,75 \times H_{\text{Pakai}}$$

$$= 0,75 \times 600$$

$$= 450 \text{ mm}$$

$$B_{\text{Pakai}} = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Rekapan} = B1 (400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm})$$

2. Balok Induk B2

Panjang Balok (L) = 5 m

$$= 5000 \text{ mm}$$

$$H_{\min 1} = \frac{L}{16}$$

$$= \frac{5000}{16}$$

$$\begin{aligned}
 &= 313 \text{ mm} \\
 H \text{ min 2} &= 417 \text{ mm} \\
 H \text{ Pakai} &= 500 \text{ mm} \\
 B \text{ min} &= 250 \text{ mm} \\
 B \text{ max} &= 0,75 \times H \text{ Pakai} \\
 &= 0,75 \times 500 \\
 &= 375 \text{ mm} \\
 B \text{ Pakai} &= 350 \text{ mm} \\
 \text{Rekapan} &= B2 (350 \text{ mm} \times 500 \text{ mm})
 \end{aligned}$$

3. Balok Induk B3

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Balok (L)} &= 3 \text{ m} \\
 &= 3000 \text{ mm} \\
 H \text{ min 1} &= \frac{L}{16} \\
 &= \frac{3000}{16} \\
 &= 188 \text{ mm} \\
 H \text{ min 2} &= 250 \text{ mm} \\
 H \text{ Pakai} &= 500 \text{ mm} \\
 B \text{ min} &= 250 \text{ mm} \\
 B \text{ max} &= 0,75 \times H \text{ Pakai} \\
 &= 0,75 \times 500 \\
 &= 375 \text{ mm} \\
 B \text{ Pakai} &= 300 \text{ mm} \\
 \text{Rekapan} &= B3 (300 \text{ mm} \times 500 \text{ mm})
 \end{aligned}$$

4. Balok Atap B1A

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Balok (L)} &= 6 \text{ m} \\
 &= 6000 \text{ mm} \\
 H \text{ min 1} &= \frac{L}{16} \\
 &= \frac{6000}{16} \\
 &= 375 \text{ mm} \\
 H \text{ min 2} &= 375 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H \text{ Pakai} &= 500 \text{ mm} \\
 B \text{ min} &= 250 \text{ mm} \\
 B \text{ max} &= 0,75 \times H \text{ Pakai} \\
 &= 0,75 \times 500 \\
 &= 375 \text{ mm} \\
 B \text{ Pakai} &= 300 \text{ mm} \\
 \text{Rekapan} &= B1A (300 \text{ mm} \times 500 \text{ mm})
 \end{aligned}$$

5. Balok Atap B2A

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Balok (L)} &= 5 \text{ m} \\
 &= 5000 \text{ mm} \\
 H \text{ min 1} &= \frac{L}{16} \\
 &= \frac{5000}{16} \\
 &= 313 \text{ mm} \\
 H \text{ min 2} &= 313 \text{ mm} \\
 H \text{ Pakai} &= 500 \text{ mm} \\
 B \text{ min} &= 250 \text{ mm} \\
 B \text{ max} &= 0,75 \times H \text{ Pakai} \\
 &= 0,75 \times 500 \\
 &= 375 \text{ mm} \\
 B \text{ Pakai} &= 250 \text{ mm} \\
 \text{Rekapan} &= B2A (250 \text{ mm} \times 500 \text{ mm})
 \end{aligned}$$

6. Balok Atap B3A

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Balok (L)} &= 3 \text{ m} \\
 &= 3000 \text{ mm} \\
 H \text{ min 1} &= \frac{L}{16} \\
 &= \frac{3000}{16} \\
 &= 188 \text{ mm} \\
 H \text{ min 2} &= 188 \text{ mm} \\
 H \text{ Pakai} &= 500 \text{ mm} \\
 B \text{ min} &= 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$B_{\max} = 0,75 \times H_{\text{Pakai}}$$

$$= 0,75 \times 500$$

$$= 375 \text{ mm}$$

$$B_{\text{Pakai}} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Rekapan} = B3A (250 \text{ mm} \times 500 \text{ mm})$$

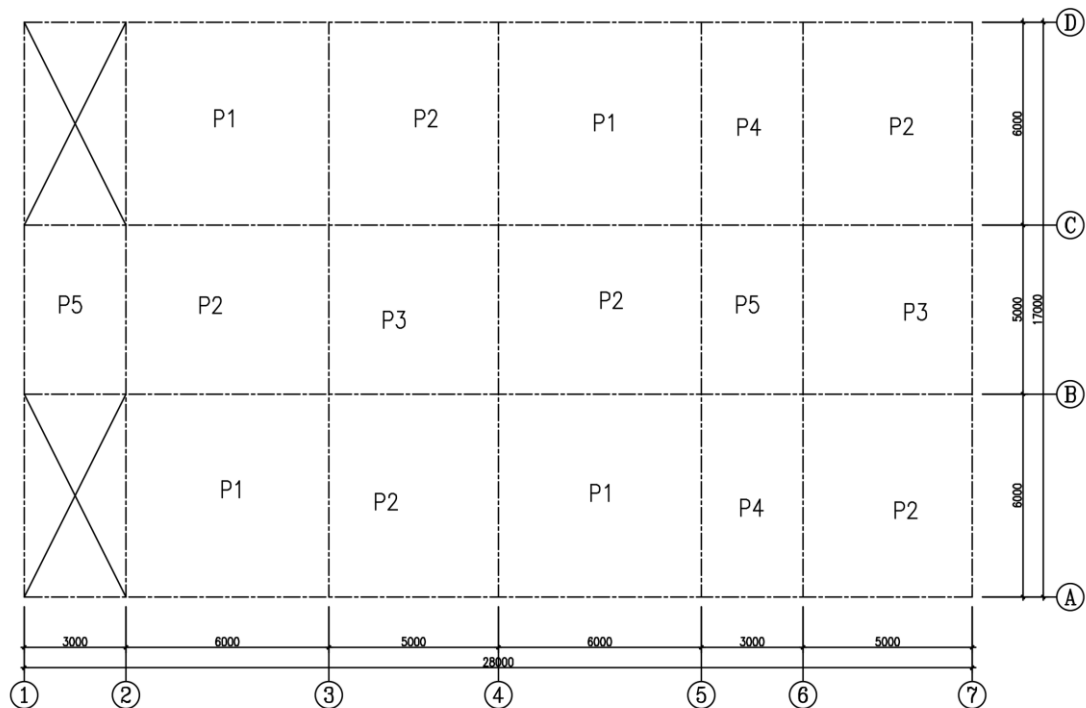
Rekapitulasi estimasi dimensi balok dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	Tipe	L (mm)	Hmin 1 (mm)	Hmin 2 (mm)	H Pakai (mm)	B Min	B Max	B Pakai (mm)	REKAPAN
B1	BALOK INDUK	6000	375	500	600	250	450	400	B1 (400 mm x 600 mm)
B2	BALOK INDUK	5000	313	417	500	250	375	350	B2 (350 mm x 500 mm)
B3	BALOK INDUK	3000	188	250	500	250	375	300	B3 (300 mm x 500 mm)
B1A	BALOK INDUK ATAP	6000	375	375	500	250	375	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	BALOK INDUK ATAP	5000	313	313	500	250	375	250	B2A (250 mm x 500 mm)
B3A	BALOK INDUK ATAP	3000	188	188	500	250	375	250	B3A (250 mm x 500 mm)

5.3.2 Estimasi Pelat

Estimasi dimensi pelat dilakukan untuk menghitung seluruh pelat lantai dan pelat atap yang terdapat pada denah bangunan. Denah pelat dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4 Denah Pelat

Jenis pelat yang digunakan merupakan pelat dua arah (*two-way slab*). Persyaratan ketebalan minimum pelat dua arah dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan 5.6 berikut.

α_{fm} [1]	h minimum, mm	
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku	
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$
		125
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$
		90

Gambar 5.5 Persyaratan Ketebalan (h) Minimum

(Sumber: SNI 2847-2019)

• Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah

dengan :

l_n adalah panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah, diukur dari muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok, dan muka ke muka balok atau tumpuan lain pada kasus lainnya (mm)

β adalah rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap arah pendek dari pelat dua arah

α_m adalah nilai rata-rata α_f untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu pelat

α_f adalah rasio kekakuan lentur penampang balok ($E_c I_b$) terhadap kekakuan lentur pelat ($E_c I_f$), yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dari pelat-pelat yang bersebelahan pada tiap sisi balok

$$\alpha_f = \frac{E_c I_b}{E_c I_f}$$

I_b adalah momen inersia brutto dari penampang balok terhadap sumbu berat, penampang balok mencakup pula bagian pelat pada setiap sisi balok sebesar proyeksi balok yang berada di atas atau di bawah pelat, namun tidak lebih dari empat kali tebal pelat

I_f adalah momen inersia brutto dari penampang pelat

Gambar 5.6 Notasi Persyaratan Ketebalan (h) Minimum

(Sumber: SNI 2847-2019)

Terdapat 10 tipe pelat yang diidentifikasi pada bangunan ini. Perhitungan dimensi pelat lantai dan pelat atap sebagai berikut.

Pelat Lantai P1

1. f_y = 420 Mpa
2. L_x = 6000 mm
3. L_y = 6000 mm
4. h rencana = 140 mm
5. Tipe Pelat = 2 Arah
6. Geometri Balok Sisi Pendek 1

Kode Balok	= B1
b	= 400 mm
h	= 600 mm
I	$= \frac{1}{12} \times b \times h^3$ $= \frac{1}{12} \times 400 \times 600^3$ $= 7200000000 \text{ mm}^4$

7. Geometri Balok Sisi Pendek 2

- | | |
|------------|----------|
| Kode Balok | = B1 |
| b | = 400 mm |
| h | = 600 mm |

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 400 \times 600^3 \\
 &= 7200000000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

8. Geometri Balok Sisi Panjang 1

$$\begin{aligned}
 \text{Kode Balok} &= \text{B1} \\
 b &= 400 \text{ mm} \\
 h &= 600 \text{ mm} \\
 I &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 400 \times 600^3 \\
 &= 7200000000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

9. Geometri Balok Sisi Panjang 2

$$\begin{aligned}
 \text{Kode Balok} &= \text{B1} \\
 b &= 400 \text{ mm} \\
 h &= 600 \text{ mm} \\
 I &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 400 \times 600^3 \\
 &= 7200000000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

10. Geometri Pelat Sisi Pendek

$$\begin{aligned}
 h \text{ rencana} &= 140 \text{ mm} \\
 L_{nx} &= Lx - \frac{1}{2} \times b - \frac{1}{2} \times h \\
 &= 6000 - \frac{1}{2} \times 400 - \frac{1}{2} \times 600 \\
 &= 5600 \text{ mm} \\
 I_x &= \frac{1}{12} \times L_{nx} \times h \text{ rencana}^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 5600 \times 140^3 \\
 &= 1280533333 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

11. Geometri Pelat Sisi Panjang

$$h \text{ rencana} = 140 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Lny &= Ly - \frac{1}{2} \times b - \frac{1}{2} \times h \\
 &= 6000 - \frac{1}{2} \times 400 - \frac{1}{2} \times 600 \\
 &= 5600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Iy &= \frac{1}{12} \times Lny \times h \text{ rencana}^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 5600 \times 140^3 \\
 &= 1280533333 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

12. Rasio Kekakuan Balok dan Pelat

$$\begin{aligned}
 \text{Sisi Pendek 1 (af1)} &= \frac{I_{pdk 1}}{Iy} \\
 &= \frac{7200000000}{1280533333} \\
 &= 5,62
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sisi Pendek 2 (af2)} &= \frac{I_{pdk 2}}{Iy} \\
 &= \frac{7200000000}{1280533333} \\
 &= 5,62
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sisi Panjang 1 (af3)} &= \frac{I_{pjd 1}}{Iy} \\
 &= \frac{7200000000}{1280533333} \\
 &= 5,62
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sisi Panjang 2 (af4)} &= \frac{I_{pjd 2}}{Iy} \\
 &= \frac{7200000000}{1280533333} \\
 &= 5,62
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rerata } (\alpha_{fm}) &= \frac{(7200000000+7200000000+7200000000+7200000000)}{4} \\
 &= 5,62
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bentang Bersih } (\beta) &= \frac{Lny}{Lnx} \\
 &= \frac{1280533333}{1280533333} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

13. Cek Persyaratan

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal Min 1 (h1)} &= \text{Maksimum} \left(\left(\frac{Lny \left(0,8 + \frac{fy}{1400} \right)}{36 + 5 \times \beta (\alpha_{fm} - 0,2)} \right); 125 \right) \\
 &= \text{Maksimum} \left(\left(\frac{5600 \left(0,8 + \frac{420}{1400} \right)}{36 + 5 \times 1 (5,62 - 0,2)} \right); 125 \right) \\
 &= \text{Maksimum} (97,60 ; 125) \\
 &= 125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal Min 2 (h2)} &= \text{Maksimum} \left(\left(\frac{Lny \left(0,8 + \frac{fy}{1400} \right)}{36 + 9 \times \beta} \right); 90 \right) \\
 &= \text{Maksimum} \left(\left(\frac{5600 \left(0,8 + \frac{420}{1400} \right)}{36 + 9 \times 1} \right); 90 \right) \\
 &= \text{Maksimum} (136,89 ; 90) \\
 &= 136,89 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$h \text{ syarat} = \alpha_{fm} > 2,0$$

$$h \text{ syarat} = 136,89 \text{ mm}$$

$$h \text{ pakai} = 140 \text{ mm}$$

$$h \text{ pakai} > h \text{ syarat}, 140 \text{ mm} > 136,89 \text{ OK.}$$

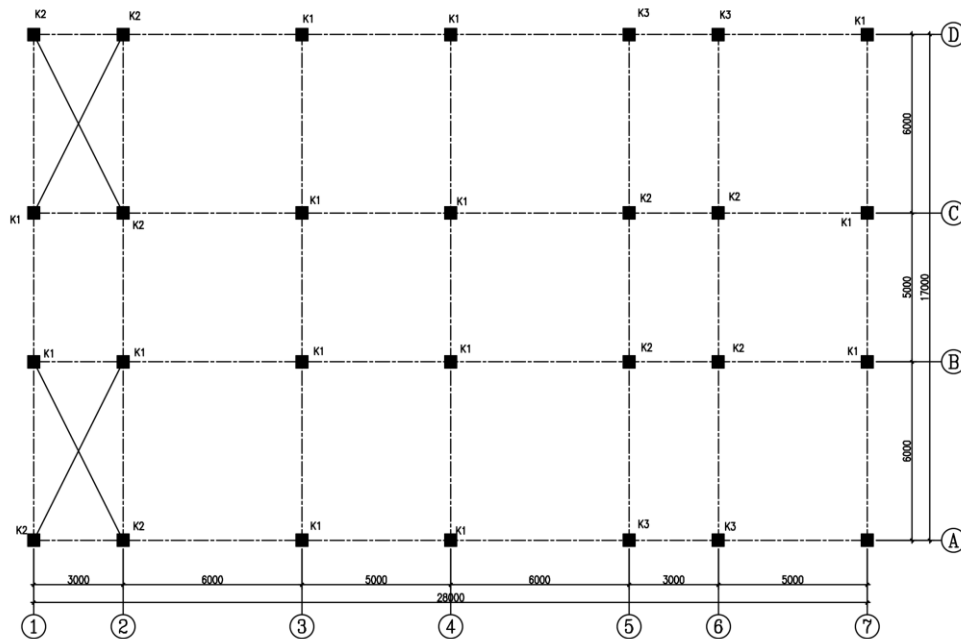
Dengan melakukan perhitungan yang sama pada 10 tipe pelat lainnya yang teridentifikasi pada bangunan ini, maka, dapat disimpulkan dimensi pelat yang diperhitungkan sesuai pada rekapitulasi berikut.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Dimensi Pelat Lantai dan Pelat Atap

No	Kode	Type	Ly (m)	Lx (m)	H (m)	Tipe Plat	Luas (m2)	Nama
1	P1	Pelat Lantai	6	6	0,14	2 Arah	36	P1 (14 cm)
2	P2	Pelat Lantai	6	5	0,14	2 Arah	30	P2 (14 cm)
3	P3	Pelat Lantai	5	5	0,12	2 Arah	25	P3 (12 cm)
4	P4	Pelat Lantai	6	3	0,12	1 Arah	18	P4 (12 cm)
5	P5	Pelat Lantai	5	3	0,12	2 Arah	15	P5 (12 cm)
6	P1A	Pelat Atap	6	6	0,14	2 Arah	36	P1A (14 cm)
7	P2A	Pelat Atap	6	5	0,14	2 Arah	30	P2A (14 cm)
8	P3A	Pelat Atap	5	5	0,12	2 Arah	25	P3A (12 cm)
9	P4A	Pelat Atap	6	3	0,12	1 Arah	18	P4A (12 cm)
10	P5A	Pelat Atap	5	3	0,12	2 Arah	15	P5A (12 cm)

5.3.3 Estimasi Kolom

Estimasi dimensi kolom dilakukan untuk kebutuhan pemodelan dan analisis struktur pada *software* ETABS. Denah kolom dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Denah Kolom

Dimensi kolom dihitung berdasarkan beban aksial yang bekerja pada luas pelat yang ditumpu, beban gravitasi pelat, dan jumlah lantai yang bekerja di atas kolom yang ditinjau. Berdasarkan syarat sesuai SNI 2847:2019 batasan dimensi kolom seperti pada Gambar 5.8 berikut.

18.7.2 Batasan dimensi

18.7.2.1 Kolom-kolom harus memenuhi a) dan b):

- Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.
- Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya tidak kurang dari 0,4.

Gambar 5.8 Batasan Dimensi Kolom

(Sumber: SNI 2847-2019)

Perhitungan estimasi dimensi kolom sebagai berikut.

Kolom K1

1. Luasan yang ditumpu kolom

Jenis balok yang ditumpu dan panjang bentang balok:

Arah X kiri = Balok B2 = 5 m

Arah X kanan = Balok B1 = 6 m

Arah Y atas = Balok B2 = 5 m

Arah Y bawah = Balok B1 = 6 m

$$\begin{aligned}\text{Luas (Ap)} &= \left(\frac{(X1+X2)}{2} \right) \times \left(\frac{(Y1+Y2)}{2} \right) \\ &= \left(\frac{(5+6)}{2} \right) \times \left(\frac{(5+6)}{2} \right) \\ &= 30,25 \text{ m}^2\end{aligned}$$

2. Pelat Lantai

Beban Mati (Q_D) = 5,16 kN/m²

Beban Hidup Terbesar (Q_L) = 7,18 kN/m²

$$\begin{aligned}\text{Beban Ultimit (}Q_U\text{)} &= 1,2 Q_D + 1,6 Q_L \\ &= (1,2 \times 5,16) + (1,6 \times 7,18) \\ &= 17,68 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban Aksial (P)} &= Q_U \times A_p \\ &= 17,68 \times 30,25 \\ &= 534,73 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Tingkat (h1)} = 5$$

3. Pelat Atap

Beban Mati (Q_D) = 1,85 kN/m²

Beban Hidup Terbesar (Q_L) = 0,96 kN/m²

$$\begin{aligned}\text{Beban Ultimit (}Q_U\text{)} &= 1,2 Q_D + 1,6 Q_L \\ &= (1,2 \times 1,85) + (1,6 \times 0,96) \\ &= 3,75 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban Aksial (P)} &= Q_U \times A_p \\ &= 3,75 \times 30,25 \\ &= 113,45 \text{ kN}\end{aligned}$$

Jumlah Tingkat (h2)	= 1
4. Cek Persyaratan	
f'_c	= 35 Mpa
Beban Aksial Total (Pu)	$= (P1 \times h1) + (P2 \times h2)$ $= (534,73 \times 5) + (113,45 \times 1)$ $= 2787,12 \text{ kN}$
Luas Penampang Maksimum (Ag)	$= \frac{(Pu \times 1000)}{(0,8 \times 0,65 \times 0,85 \times f'_c)}$ $= \frac{(2787,12 \times 1000)}{(0,8 \times 0,65 \times 0,85 \times 35)}$ $= 180163 \text{ mm}^2$
B atau H Minimum	= 300 mm
Rasio Dimensi Minimum	= 0,4
5. Estimasi Dimensi	
B=H	$= \sqrt{Ag}$ $= \sqrt{180163}$ $= 424 \text{ mm}$
B Pakai	= 500 mm
H Pakai	= 500 mm
Cek Rasio	$= \frac{B}{H} \geq \text{Rasio Dimensi Minimum}$ $= \frac{500}{500} \geq 0,4$ $= 1 \geq 0,4, \text{ OK}$
Cek Luasan	$= B \times H \geq Ag$ $= 500 \times 500 \geq 180163 \text{ mm}^2$ $= 250000 \geq 180163 \text{ mm}^2, \text{ OK}$

Dengan melakukan perhitungan yang sama pada tipe kolom lainnya yang teridentifikasi pada bangunan ini, maka, dapat disimpulkan dimensi kolom yang diperhitungkan sesuai pada rekapitulasi berikut.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Dimensi Kolom

Kode	B (cm)	H (cm)
K1	500	500
K2	450	450
K3	400	400

5.3.4 Estimasi Tangga

Pada bangunan ini tangga yang digunakan bertipe tangga U yang terdiri dari dua *run* dengan bordes di antara keduanya. Dalam penelitian ini, elemen tangga tidak dimodelkan sebagai elemen struktural pada *software* ETABS serta tidak dilakukan desain tulangan tangga. Estimasi dimensi tangga yang diperhitungkan hanya untuk menentukan beban yang bekerja, yang kemudian dikonversi menjadi beban merata pada balok penumpu. Dasar dimensi tangga yang dipakai yaitu sebagai berikut.

1. Tipe Tangga = Tangga U
2. Tinggi Lantai = 4000 mm
3. Riser (s) = 166,67 mm
4. Tread (a) = 300 mm
5. Jumlah Anak Tangga = 24 buah
6. Tebal Pelat Tangga = 150 mm
7. Tebal Pelat Bordes = 150 mm
8. Lebar Tributari = 1,8 m

Kemudian, rekapitulasi dimensi tangga dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Dimensi Tangga

Kode	Tipe	B (m)	H (m)	L (m)
T1	Tangga lt. 1-5	1,40	0,15	8,24

Berdasarkan dimensi tersebut, dihitung beban mati tangga dan beban hidup sesuai peraturan pada SNI 1727-2020. Beban mati tangga merupakan penjumlahan antara berat sendiri tangga beton bertulang (DL) dengan SIDL sebesar $9,96 \text{ kN/m}^2$ dan beban hidup (LL) sebesar $4,79 \text{ kN/m}^2$. Dengan lebar tributari 1,8 m, beban

tersebut kemudian dikonversi menjadi beban merata per meter panjang balok, sehingga menghasilkan nilai yaitu:

$$\begin{aligned}\text{DL di balok} &= (\text{DL} + \text{SIDL}) \times \text{lebar tributari} \\ &= 9,96 \times 1,8 \\ &= 17,93 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{LL di balok} &= \text{LL} \times \text{lebar tributari} \\ &= 4,79 \times 1,8 \\ &= 8,622 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Kedua nilai tersebut yang kemudian diinput ke *software* ETABS sebagai beban merata pada balok yang menumpu tangga.

5.3.5 Estimasi Dinding dan Pasangan Bata

Estimasi berat dinding pasangan bata dilakukan untuk menghitung besar beban mati tambahan (SIDL) dari dinding yang bekerja pada balok di setiap lantai. Dinding diasumsikan sebagai dinding bata penuh tanpa bukaan, yang berarti kusen dan pintu dianggap setara dengan dinding bata sehingga tidak perlu dilakukan pengurangan. Tinggi dinding efektif di setiap lantai diperoleh dari selisih antara tinggi lantai dengan tinggi rata-rata balok di atasnya.

$$\begin{aligned}1. \text{ Tinggi Lantai} &= 4 \text{ m} \\ 2. \text{ Tinggi Balok} &= \frac{\text{Rata-rata } H \text{ Balok}}{1000} \\ &= \frac{516,67}{1000} \\ &= 0,52 \text{ m} \\ 3. \text{ Tinggi Dinding} &= \text{Tinggi Lantai} - \text{Tinggi Balok} \\ &= 4 - 0,52 \\ &= 3,48 \text{ m} \\ 4. \text{ Berat} &= \text{SIDL Dinding Bata} \times \text{Tinggi Dinding} \\ &= 239,55 \times 3,48 \\ &= 834,44 \text{ kg/m} \\ &= 2,35 \times 3,48 \\ &= 8,19 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Tabel 5.7 Rekapitulasi Estimasi Dinding Bata

Lantai	Kode	Keterangan	Tinggi Lantai (m)	Tinggi Balok (m)	Tinggi Dinding (m)	Berat (kg/m)	Berat (kN/m)
lt. tinjau	Dinding Bata		di atas lt. tinjau	di atas lt. tinjau			
1	DB2	Dinding Bata Lantai 2	4	0,52	3,48	834,44	8,19
2	DB3	Dinding Bata Lantai 3	4	0,52	3,48	834,44	8,19
3	DB4	Dinding Bata Lantai 4	4	0,52	3,48	834,44	8,19
4	DB5	Dinding Bata Lantai 5	4	0,52	3,48	834,44	8,19

Berdasarkan berat volume pasangan bata, diperoleh beban dinding per satuan panjang sebesar 8,19 kN/m yang kemudian diinput ke *software* ETABS sebagai beban merata untuk dinding yang ditumpu balok. Total panjang dinding bata yang terpasang pada bangunan ini berdasarkan denah bangunan adalah 231.000 mm, yang terdistribusi merata pada seluruh balok dari lantai 1 hingga lantai 5.

5.4 Perhitungan Berat dan Massa Bangunan

Perhitungan berat dan massa bangunan diperlukan untuk mengetahui dan menentukan massa seismik efektif yang bekerja pada tiap lantai bangunan gedung, yang kemudian digunakan saat analisis pembebanan gempa. Massa setiap lantai dihitung dari keseluruhan komponen baik struktur maupun non-struktur seperti massa balok, pelat, kolom, tangga, dinding pasangan bata, dan beban gravitasi dari setiap fungsi ruangan pada lantai yang ditinjau. Hasil perhitungan massa manual kemudian dibandingkan dengan massa dari *software* ETABS, dan syarat perbedaan antara keduanya tidak boleh lebih dari 5%.

5.4.1 Komponen Massa

Komponen massa diperhitungkan secara terpisah untuk setiap lantai bangunan. Pada data contoh ini, bangunan terdiri dari 5 lantai utama dan 1 lantai atap, yang memiliki susunan komponen struktural yang identik antara lantai 1-5, sedangkan untuk lantai atap sedikit berbeda karena tidak terdapat elemen tangga maupun dinding pasangan bata. Perbedaan antar lantai ada pada fungsi ruangan di

setiap lantai serta nilai beban gravitasinya. Nilai dimensi pada komponen massa sama seperti dimensi yang telah diperhitungkan pada estimasi dimensi komponen struktur sebelumnya, namun hanya bertambah perhitungan volume, berat volume, dan massa. Sebagai contoh, perhitungan komponen massa secara lengkap untuk lantai 1 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Balok B1

$$\begin{aligned}
 B &= 0,4 \text{ m} \\
 H &= 0,6 \text{ m} \\
 L &= 6 \text{ m} \\
 V &= B \times H \times L \\
 &= 0,4 \times 0,6 \times 6 \\
 &= 1,44 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat Volume} &= 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Qty} &= 22 \text{ unit} \\
 \text{Massa} &= V \times \text{Berat Volume} \times \text{Qty} \\
 &= 1,44 \times 2400 \times 22 \\
 &= 76032 \text{ kg} \\
 &= \text{Massa (kg)} \times 0,00981 \\
 &= 76032 \times 0,00981 \\
 &= 745,87 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Pelat Lantai P1

$$\begin{aligned}
 L_{ny} &= 6 \text{ m} \\
 L_{nx} &= 6 \text{ m} \\
 h &= 0,14 \text{ m} \\
 V &= B \times H \times h \\
 &= 6 \times 6 \times 0,14 \\
 &= 5,04 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat Volume} &= 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Qty} &= 4 \text{ unit} \\
 \text{Massa} &= V \times \text{Berat Volume} \times \text{Qty} \\
 &= 5,04 \times 2400 \times 4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 48384 \text{ kg} \\
 &= \text{Massa (kg)} \times 0,00981 \\
 &= 48384 \times 0,00981 \\
 &= 474,65 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Kolom K1

$$\begin{aligned}
 B &= 0,5 \text{ m} \\
 H &= 0,5 \text{ m} \\
 L &= 4 \text{ m} \\
 V &= B \times H \times L \\
 &= 0,5 \times 0,5 \times 4 \\
 &= 1 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat Volume} &= 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Qty} &= 15 \text{ unit} \\
 \text{Massa} &= V \times \text{Berat Volume} \times \text{Qty} \\
 &= 1 \times 2400 \times 15 \\
 &= 36000 \text{ kg} \\
 &= \text{Massa (kg)} \times 0,00981 \\
 &= 36000 \times 0,00981 \\
 &= 353,16 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4. Tangga T1

$$\begin{aligned}
 B &= 1,4 \text{ m} \\
 H &= 0,15 \text{ m} \\
 L &= 4 \text{ m} \\
 V &= B \times H \times L \\
 &= 1,4 \times 0,15 \times 4 \\
 &= 1,73 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat Volume} &= 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Qty} &= 2 \text{ unit} \\
 \text{Massa} &= V \times \text{Berat Volume} \times \text{Qty} \\
 &= 1,73 \times 2400 \times 2 \\
 &= 8302,4 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{Massa (kg)} \times 0,00981 \\
 &= 8302,4 \times 0,00981 \\
 &= 81,45 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5. Dinding Bata Lantai 2

$$\begin{aligned}
 L &= 231 \text{ m} \\
 V &= L \\
 &= 231 \text{ m} \\
 \text{Berat Volume} &= 834,44 \text{ kg/m} \\
 \text{Qty} &= 1 \text{ unit} \\
 \text{Massa} &= V \times \text{Berat Volume} \times \text{Qty} \\
 &= 231 \times 834,44 \times 1 \\
 &= 192755 \text{ kg} \\
 &= \text{Massa (kg)} \times 0,00981 \\
 &= 192755 \times 0,00981 \\
 &= 1890,93 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

6. Beban Gravitasi

$$\begin{aligned}
 \text{Fungsi Ruangan} &= \text{Lobi Utama} \\
 A &= 36 \text{ m}^2 \\
 Q_{LL} &= 4,79 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{SIDL} &= 2,66 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{\text{Total}} &= 2,66 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Massa} &= \frac{A \times Q_{\text{Total}}}{0,00981} \\
 &= \frac{36 \times 2,66}{0,00981} \\
 &= 9747,03 \text{ kg} \\
 &= \text{Massa (kg)} \times 0,00981 \\
 &= 9747,03 \times 0,00981 \\
 &= 95,62 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi komponen massa untuk setiap komponen struktural pada lantai 1 dapat dilihat pada Tabel 5.8 hingga Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.12 Komponen Massa Dinding Bata

Kode	Keterangan	L (m)	V (m)	Berat Volume (kg/m)	Qty (unit)	M (kg)	M (kN)
DB2	Dinding Bata Lantai 2	231,000	231,00	834,44	1	192755,10	1890,93
Total						192755,10	1890,93

Tabel 5.13 Komponen Massa Beban Gravitasi

Kode	Keterangan	Luas Total (m2)	Q LL (kN/m2)	Q SIDL (kN/m2)	Q Total (kN/m2)	M (kg)	M (kN)
1	Lobi Utama / Ruang Penerimaan	36	4,79	2,66	2,66	9747,03	95,62
2	Ruang Kepala Sekolah & Wakil	30	2,4	5,16	5,16	15772,52	154,73
3	Ruang Tata Usaha (Administrasi)	36	2,4	5,16	5,16	18927,03	185,67
4	Toilet Pria	18	2,4	5,16	5,16	9463,51	92,84
5	Ruang Guru	30	2,4	5,16	5,16	15772,52	154,73
6	Ruang Rapat Utama	30	2,4	5,16	5,16	15772,52	154,73
7	Toilet Wanita	18	2,4	5,16	5,16	9463,51	92,84
8	Perpustakaan (Area Rak Buku & Sirkulasi)	36	7,18	2,66	2,66	9747,03	95,62
9	Perpustakaan (Area Ruang Baca)	30	2,4	5,16	5,16	15772,52	154,73
10	Ruang UKS (Unit Kesehatan Sekolah) / Klinik	36	2,4	5,16	5,16	18927,03	185,67
11	Koridor Lantai 1	140	4,79	2,66	2,66	37905,10	371,85
Total						177270,31	1739,02

Untuk lantai 2 hingga lantai 5 serta lantai atap, komponen struktural dihitung dengan cara yang sama.

5.4.2 Rekapitulasi Massa Bangunan

Komponen massa setiap lantai yang telah dihitung pada sub-bab 5.4.1 kemudian direkap untuk mengetahui gambaran distribusi massa di setiap lantai sekaligus dilakukan perbandingan terhadap massa yang diperoleh dari *software*

ETABS. Rekapitulasi massa bangunan dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan 5.15 berikut.

Tabel 5.14 Massa Bangunan Manual vs Software

Lantai	Balok (Kg)	Pelat (Kg)	Kolom (Kg)	Tangga (Kg)	Dinding Bata (Kg)	Gravitasi (Kg)	Massa Manual (Kg)	Massa Software (Kg)	Selisih
ATAP	77220	142272	59640	0,00	0,00	231330,3	510462,3	474142,0	7%
5	116172	142272	59640	8302,4	192755,1	117505,8	636647,3	603463,8	5%
4	116172	142272	59640	8302,4	192755,1	192475,8	711617,3	679942,5	4%
3	116172	142272	59640	8302,4	192755,1	192475,8	711617,3	679942,5	4%
2	116172	142272	59640	8302,4	192755,1	117505,8	636647,3	679942,5	7%
1	116172	142272	59640	8302,4	192755,1	177270,3	696411,8	661587,7	5%
Total							3903403,2	3779021,3	3%
							Cek massa Manual vs Software $\leq 5\%$?		OK

Tabel 5.15 Self Mass Massa Bangunan Manual vs Software

Self Mass	Massa Manual (Kg)	Massa Software (Kg)	Selisih
	1911063,9	1813260,6	5%
	Cek massa Manual vs Software $\leq 5\%$?		OK

5.5 Penentuan Parameter Seismik

Penentuan parameter seismik dilakukan sebagai dasar dalam penetapan beban gempa rencana yang akan diterapkan pada analisis struktur. Parameter gempa di lokasi diperoleh dari situs Desain Spektra Indonesia Kementerian PUPR Cipta Karya dengan memasukkan koordinat lokasi bangunan yang berada di Samarinda. Parameter yang didapatkan kemudian diperhitungkan dan dianalisis sesuai prosedur pembahasan yang telah dibahas pada sub-bab 3.5.1 hingga 3.5.7, sehingga menetapkan Kategori Desain Seismik (KDS). Selanjutnya, periode fundamental pendekatan dan koefisien respons seismik dihitung sesuai sub-bab 3.6.3 dan 3.6.4. Keseluruhan parameter yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.16 Identifikasi Bangunan dan Tapak

Parameter	Nilai
Fungsi Bangunan	Sekolah
Lokasi	Samarinda
Jenis Struktur	Beton Bertulang SRPMK
Kelas Situs	SC
Kategori resiko bangunan	IV
Faktor keutamaan (I_e)	1,5

Tabel 5.17 Parameter Gempa Tapak

Parameter	Notasi	Nilai	Keterangan
Spektral gempa periode pendek	S_s	0,1197	Desain Spektra RSA Ciptakarya sesuai lokasi
Spektral gempa periode 1 detik	S_1	0,0974	Desain Spektra RSA Ciptakarya sesuai lokasi
Koefisien situs periode pendek	F_a	1,30	SNI 1726-2019 Hal. 34 Tabel 6
Koefisien situs periode 1 detik	F_v	1,500	SNI 1726-2019 Hal. 34 Tabel 7
Spektrum percepatan periode pendek	S_{M_s}	0,156	SNI 1726-2019 Hal. 34 Rumus 7
Spektrum percepatan periode 1 detik	S_{M_1}	0,146	SNI 1726-2019 Hal. 34 Rumus 8
Percepatan spektral desain periode pendek	S_{D_s}	0,104	SNI 1726-2019 Hal. 34 Rumus 9
Percepatan spektral desain periode 1 detik	S_{D_1}	0,097	SNI 1726-2019 Hal. 34 Rumus 10
Periode Panjang	T_L	16,000	RSA Ciptakarya sesuai lokasi
Kategori desain seismik	KDS	C	SNI 1726-2019 Hal. 37 Tabel 8 dan 9

Tabel 5.18 Sistem Struktur

Parameter	Notasi	Nilai	Keterangan
Koefisien modifikasi respon arah X	R_x	8,000	SNI 1726-2019 Hal. 49 Tabel 12
Koefisien modifikasi respon arah Y	R_y	8,000	SNI 1726-2019 Hal. 49 Tabel 12
Faktor kuat lebih sistem arah X	Ω_x	3,000	SNI 1726-2019 Hal. 49 Tabel 12
Faktor kuat lebih sistem arah Y	Ω_y	3,000	SNI 1726-2019 Hal. 49 Tabel 12
Faktor Pembesaran Defleksi arah X	C_{dx}	5,500	SNI 1726-2019 Hal. 49 Tabel 12
Faktor Pembesaran Defleksi arah Y	C_{dy}	5,500	SNI 1726-2019 Hal. 49 Tabel 12

Tabel 5.19 Periode Fundamental

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan	Keterangan
Periode fundamental pendekatan arah X	Ta x	0,81 4	Detik	SNI 1726-2019 Hal. 72 Rumus 36
Periode fundamental pendekatan arah Y	Ta y	0,81 4	Detik	SNI 1726-2019 Hal. 72 Rumus 36
Periode getar model SAP2000/Etabs Arah X	Tc x	1,59 6	Detik	Output Software SAP/ETABS
Periode getar model SAP2000/Etabs Arah Y	Tc y	1,62 5	Detik	Output Software SAP/ETABS
Periode pendekatan maksimum arah X	Tmax x	1,38 4	Detik	SNI 1726-2019 Hal. 71 (baca pasal 7.8.2)
Periode pendekatan maksimum arah Y	Tmax y	1,38 4	Detik	SNI 1726-2019 Hal. 71 (baca pasal 7.8.2)
Periode pakai arah X	Tx pakai	1,38 4	Detik	Sesuai syarat (atau ket. 4 disamping)
Periode pakai arah y	Ty pakai	1,38 4	Detik	Sesuai syarat (atau ket. 4 disamping)

Tabel 5.20 Koefisien Respons Seismik

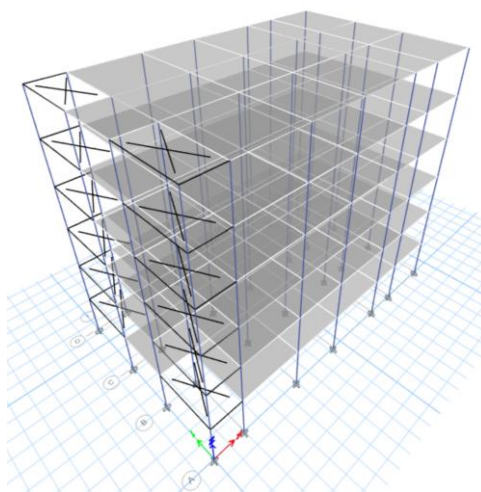
Parameter	Notasi	Nilai	Keterangan
Koefisien respon seismik arah Y	Cs y	0,019	SNI 1726-2019 Hal. 69 Rumus 31
Koefisien respon seismik maksimum X	Cs max X	0,013	SNI 1726-2019 Hal. 70 Rumus 32 dan 33
Koefisien respon seismik maksimum Y	Cs max Y	0,013	SNI 1726-2019 Hal. 70 Rumus 32 dan 33
Koefisien respon seismik minimum arah X	Cs min X	0,010	SNI 1726-2019 Hal. 70 Rumus 34 dan 35
Koefisien respon seismik minimum arah Y	Cs min Y	0,010	SNI 1726-2019 Hal. 70 Rumus 34 dan 35

Lanjutan Tabel 5.20 Koefisien Respons Seismik

Parameter	Notasi	Nilai	Keterangan
Koefisien respon seismik pakai arah X	Cs pakai X	0,013	Sesuai syarat (atau ket. 5 disamping)
Koefisien respon seismik pakai arah Y	Cs pakai Y	0,013	Sesuai syarat (atau ket. 5 disamping)
Eksponen periode struktur arah X	k x	1,442	SNI 1726-2019 Hal. 73 Rumus 41 (atau ket. 6 di samping)
Eksponen periode struktur arah Y	k y	1,442	SNI 1726-2019 Hal. 73 Rumus 41 (atau ket. 6 di samping)

5.6 Pemodelan Struktur 3D pada ETABS

Pemodelan struktur tiga dimensi dilakukan pada *software* ETABS dengan menggambarkan elemen balok, kolom, pelat, dan dinding pada denah yang sudah dibuat pada *software* AutoCAD. Pemodelan struktur ini juga menggunakan seluruh data geometri, dimensi, dan properti material yang mengacu pada sub-bab 5.3. Beban gravitasi diinput sesuai hasil perhitungan pada sub-bab 5.2 dan 5.3. *Load case* gempa didefinisikan menggunakan respons spektra desain berdasarkan parameter SDS, SD1, dan TL berdasarkan sub-bab 5.5. Seluruh perletakan kolom pada lantai dasar dimodelkan sebagai *fixed support*. Sehingga, tampilan pemodelan struktur tiga dimensi pada *software* ETABS ditunjukkan pada Gambar 5.9 di bawah ini.



Gambar 5.9 Pemodelan 3D ETABS

Pemodelan struktur tiga dimensi pada *software* ETABS untuk keseluruhan data akan disajikan pada lampiran.

5.7 Analisis Ketidakberaturan Struktur

Analisis ketidakberaturan struktur dilakukan berdasarkan acuan pada sub-bab 3.6.7 dan 3.6.8 yang meliputi ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b (torsi), tipe 3 diskontinuitas diafragma serta ketidakberaturan vertikal tipe 1a, 1b (kekakuan tingkat lunak), tipe 2 (massa), serta tipe 5a dan 5b (tingkat lemah). Hasil pada analisis ketidakberaturan ini akan menentukan apakah struktur tersebut dapat diizinkan untuk dianalisis atau terdapat konsekuensi berupa persyaratan tambahan sesuai peraturan pada SNI 1726-2019.

5.7.1 Ketidakberaturan Horizontal

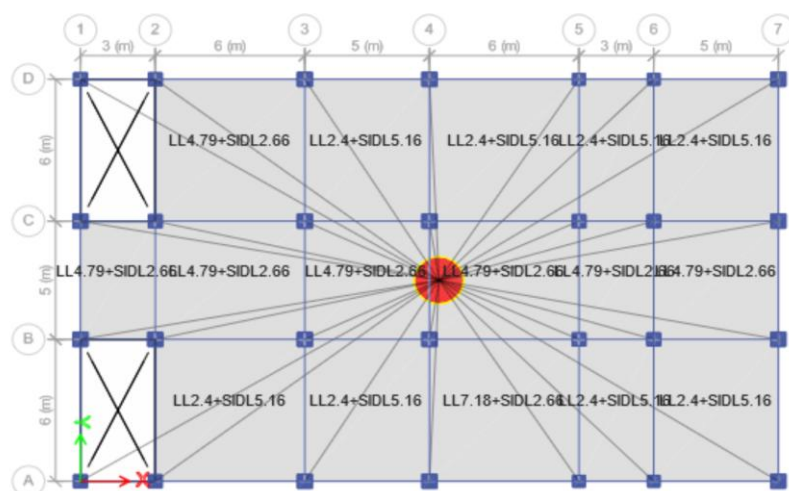
Analisis ketidakberaturan horizontal dilakukan dengan menghitung rasio simpangan maksimum terhadap simpangan rata-rata ($\Delta_{max}/\Delta_{avg}$) pada setiap tingkatan untuk arah X maupun arah Y, berdasarkan hasil *output* dari analisis pada *software* ETABS. Dalam sub-bab 3.6.7 tertulis bahwa batas ketidakberaturan horizontal tipe 1a yaitu rasio $> 1,2$, dan tipe 1b yaitu rasio $> 1,4$. Adapun hasil analisis ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5.21 Analisis Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b (Torsi)

Lantai	Arah X				Arah Y			
	Δ_{max}	Δ_{avg}	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	Δ_{max}	Δ_{avg}	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
Atap	0,877	0,876	1,002	Regular	1,016	0,938	1,083	Regular
5	1,458	1,456	1,001	Regular	1,616	1,503	1,075	Regular
4	2,005	2,001	1,002	Regular	2,205	2,058	1,072	Regular
3	2,37	2,366	1,002	Regular	2,601	2,43	1,07	Regular
2	2,477	2,472	1,002	Regular	2,712	2,529	1,072	Regular
1	1,673	1,668	1,003	Regular	1,827	1,691	1,08	Regular

Selain analisis ketidakberaturan Tipe 1a dan 1b (torsi), analisis ketidakberaturan horizontal juga mencakup Tipe 3, yaitu diskontinuitas diafragma yang telah diatur dalam SNI 1726-2019 Tabel 13. Ketidakberaturan tipe 3 ini dapat terjadi apabila diafragma lantai memiliki area bukaan yang melebihi 50% dari luas total lantai yang ditinjau. Luas bukaan yang diperhitungkan mencakup seluruh area *void* pada pelat lantai, termasuk lubang tangga, dan bukaan struktural lainnya yang menyebabkan diskontinuitas pada diafragma.

Identifikasi luas total lantai dan luas bukaan diafragma dilakukan langsung dalam pemodelan ETABS. Visualisasi diafragma pada salah satu lantai tipikal bangunan dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Diafragma Bangunan

Luas total diafragma merupakan luas seluruh lantai pada denah yang dibatasi oleh elemen struktur terluar, sedangkan luas bukaan merupakan total area *void* yang tidak tertutup pelat.

Tabel 5.22 Analisis Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3 (Diskontinuitas Diagram)

A total	440	m2
A bukaan	36	m2
Cek	Regular	

5.7.2 Ketidakberaturan Vertikal

Analisis ketidakberaturan vertikal mencakup pengecekan kekakuan tingkat lunak pada tipe 1a dan 1b dan ketidakberaturan massa pada tipe 2 sesuai pembahasan pada sub-bab 3.6.7. Kekakuan lateral tiap tingkat diperoleh berdasarkan *output* pemodelan ETABS, sedangkan massa setiap lantai diambil dari rekapitulasi massa bangunan hasil *software* ETABS pada Tabel 5.14.

Tabel 5.23 Analisis Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a dan 1b (Tingkat Lunak)

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
Atap	114210,54		106679,55	
5	135903,72	Regular	131647,24	Regular
4	138825,25	Regular	135020,74	Regular
3	139729,64	Regular	136055,43	Regular
2	145655,03	Regular	142357,03	Regular
1	222123,61	Regular	219108,69	Regular

Tabel 5.24 Analisis Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 (Massa)

Lantai	Massa (kg)	Cek
Atap	474142,03	Regular
5	603463,87	Regular
4	679942,59	Regular
3	679942,59	Regular
2	679942,59	Regular
1	661587,7	Regular

Analisis ketidakberaturan vertikal juga mencakup tipe 5a dan 5b (tingkat lemah) sesuai SNI 1726-2019 Tabel 14. Ketidakberaturan tipe ini dapat terjadi apabila kekuatan lateral suatu lantai lebih kecil dibandingkan kekuatan lateral lantai di atasnya. Secara spesifik, ketidakberaturan tipe 5a dapat terpenuhi apabila

kekuatan lateral suatu lantai kurang dari 80% dari kekuatan lateral lantai di atasnya, sedangkan ketidakberaturan tipe 5b dapat terpenuhi apabila rasio yang diperhitungkan turun di bawah 65%. Kekuatan lateral tiap lantai pada analisis ini dihasilkan dari gaya geser tingkat (*story shear force*) yang didapat dari *output* analisis pada pemodelan ETABS.

Tabel 5.25 Analisis Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a dan 5b (Tingkat Lemah)

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	kN		kN	
Atap	100,0272		100,0272	
5	197,9041	Regular	197,9041	Regular
4	277,8426	Regular	277,8426	Regular
3	330,6375	Regular	330,6375	Regular
2	360,059	Regular	360,059	Regular
1	370,5954	Regular	370,5954	Regular

5.7.3 Konsekuensi Ketidakberaturan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada sub-bab 5.7.1 dan 5.7.2, seluruh lantai bangunan dinyatakan reguler baik secara horizontal maupun vertikal. Dengan kategori desain seismik C dan tidak adanya ketidakberaturan yang terdeteksi, maka, tidak terdapat persyaratan tambahan yang diberlakukan sesuai pada aturan SNI 1726-2019 Tabel 13 dan 14.

5.8 Analisis Statik ELF

Analisis statik difungsikan hanya sebagai tahap awal untuk memperoleh *output* gaya geser dasar seismik (*V*) *software* ETABS yang kemudian digunakan sebagai batas minimum faktor skala dalam analisis dinamik. Hasil analisis statik dapat dilihat pada Tabel 5.26 berikut.

Tabel 5.26 Output Analisis Statik ELF

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan	Keterangan
Berat seismik efektif	W	3779021,37	kg	Manual atau Software
Berat seismik efektif	W	37072,20	kN	Manual atau Software
Koefisien respon seismik pakai arah X	Cs pakai X	0,013		Dari parameter seismik
Koefisien respon seismik pakai arah Y	Cs pakai Y	0,013		Dari parameter seismik
Eksponen periode struktur arah X	k x	1,442		Dari parameter seismik
Eksponen periode struktur arah Y	k y	1,442		Dari parameter seismik
Gaya geser dasar seismik manual arah X	Vx Manual	489,31	kN	SNI 1726-2019 Hal 69 Rumus 30
Gaya geser dasar seismik manual arah Y	Vy Manual	489,31	kN	SNI 1726-2019 Hal 69 Rumus 30
Gaya geser dasar seismik Software arah X	Vx C	370,60	kN	Output Software SAP/ETABS
Gaya geser dasar seismik Software arah Y	Vy C	370,60	kN	Output Software SAP/ETABS

5.9 Analisis Dinamik MRSA

Analisis dinamik MRSA (*Modal Response Spectrum Analysis*) mengacu pada pembahasan sub-bab 3.7 dan menjadi dasar dalam desain balok. Parameter seismik berupa S_{DS} , S_{D1} , dan T_L pada sub-bab 5.5 Tabl 5.17, diinput ke ETABS sebagai *function* beban gempa. Sebagai prasyarat analisis, sebelum melakukan analisis dinamik, partisipasi massa ragam harus mencapai lebih dari 90% pada kedua arah translasi utama sesuai SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1. Pada analisis dinamik meliputi penetapan faktor skala, penyusunan kombinasi beban, kontrol simpangan antar tingkat (*story drift*), dan kontrol efek P-delta.

5.9.1 Faktor Skala Respons Spektrum

Faktor skala dilakukan agar gaya geser dasar dinamik yang dihasilkan pada analisis dinamik MRSA tidak lebih kecil dari gaya geser dasar statik ELF, sesuai SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.2 dan 7.9.1.4.1 serta pada sub-bab 3.7.5. Faktor skala awal (*unscaled*) yang telah dihitung diinput ke ETABS pada *load case* RSA *unscaled*, kemudian hasil gaya geser dasar dinamik yang dianalisis dibandingkan

terhadap gaya geser dasar statik ELF. Apabila gaya geser dinamik lebih kecil dari 100% gaya geser dasar statik ELF, maka faktor skala pada *load case* disesuaikan kembali hingga syarat terpenuhi.

Tabel 5.27 Output Penskalaan Gaya Gempa MRSA

Parameter	Notasi	Nilai Arah X	Nilai Arah Y	Satuan
Gaya Geser Statik ELF	V ELF	370,5954	370,5954	kN
Faktor Penskalaan Gaya <i>Unscaled</i>	SFi	1838,7469	1838,7469	kN
Gaya Geser Dinamik <i>Unscaled</i>	V	361,0084	346,2109	-
Faktor Penskalaan Gaya <i>Scaled</i>	SF	1887,5769	1968,2544	mm/s ²
Gaya Geser Dinamik <i>Scaled</i>	V RSA	371,7994	371,6122	kN
Cek $V_{dinamik} \geq 100\% V_{statik}$	-	OK	OK	-

Gaya geser dinamik setelah penskalaan akhir (*scaled*) pada arah X sebesar 371,7994 kN dan arah Y sebesar 371,6122 kN telah melebihi V_{statik} ELF sebesar 370,5954 kN, sehingga persyaratan terpenuhi.

5.9.2 Kombinasi Beban Dinamik

Perhitungan kombinasi beban dinamik disusun sesuai sub-sub-bab 3.7.1 hingga 3.7.4 yang meliputi kombinasi gravitasi murni, kombinasi gempa arah X dominan, dan kombinasi gempa arah Y dominan dengan variasi tanda arahnya. Faktor beban mati (*dead*) pada pengaruh beban seismik vertikal berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.4.2.2, menggunakan nilai 1,221 dan 0,879 yang merupakan hasil perkalian dengan nilai S_{DS} , serta pengaruh beban seismik horizontal berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.4.2.1 dan 7.5.3a dipakai nilai faktor redundansi $\rho = 1,0$. Seluruh kombinasi beban yang diinput ke ETABS disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5.28 Kombinasi Beban Dinamik

Name	Type	Is Auto	Load Name	SF
Comb 1	Linear Add	No	Dead	1,400
Comb 1			SIDL	1,400
Comb 2	Linear Add	No	Dead	1,200
Comb 2			SIDL	1,200

Lanjutan Tabel 5.28 Kombinasi Beban Dinamik

Name	Type	Is Auto	Load Name	SF
Comb 2			Live	1,600
Comb 6 (a)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (a)			SIDL	1,221
Comb 6 (a)			Ex RSA + TT	1,000
Comb 6 (a)			Ey RSA	0,300
Comb 6 (a)			Live	1,000
Comb 6 (b)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (b)			SIDL	1,221
Comb 6 (b)			Ex RSA + TT	-1,000
Comb 6 (b)			Ey RSA	0,300
Comb 6 (b)			Live	1,000
Comb 6 (c)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (c)			SIDL	1,221
Comb 6 (c)			Ex RSA + TT	1,000
Comb 6 (c)			Ey RSA	-0,300
Comb 6 (c)			Live	1,000
Comb 6 (d)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (d)			SIDL	1,221
Comb 6 (d)			Ex RSA + TT	-1,000
Comb 6 (d)			Ey RSA	-0,300
Comb 6 (d)			Live	1,000
Comb 6 (e)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (e)			SIDL	1,221
Comb 6 (e)			Ex RSA - TT	1,000
Comb 6 (e)			Ey RSA	0,300
Comb 6 (e)			Live	1,000
Comb 6 (f)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (f)			SIDL	1,221
Comb 6 (f)			Ex RSA - TT	-1,000
Comb 6 (f)			Ey RSA	0,300
Comb 6 (f)			Live	1,000
Comb 6 (g)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (g)			SIDL	1,221
Comb 6 (g)			Ex RSA - TT	1,000
Comb 6 (g)			Ey RSA	-0,300
Comb 6 (g)			Live	1,000
Comb 6 (h)	Linear Add	No	Dead	1,221

Lanjutan Tabel 5.28 Kombinasi Beban Dinamik

Name	Type	Is Auto	Load Name	SF
Comb 6 (h)			SIDL	1,221
Comb 6 (h)			Ex RSA - TT	-1,000
Comb 6 (h)			Ey RSA	-0,300
Comb 6 (h)			Live	1,000
Comb 6 (i)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (i)			SIDL	1,221
Comb 6 (i)			Ey RSA + TT	1,000
Comb 6 (i)			Ex RSA	0,300
Comb 6 (i)			Live	1,000
Comb 6 (j)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (j)			SIDL	1,221
Comb 6 (j)			Ey RSA + TT	-1,000
Comb 6 (j)			Ex RSA	0,300
Comb 6 (j)			Live	1,000
Comb 6 (k)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (k)			SIDL	1,221
Comb 6 (k)			Ey RSA + TT	1,000
Comb 6 (k)			Ex RSA	-0,300
Comb 6 (k)			Live	1,000
Comb 6 (l)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (l)			SIDL	1,221
Comb 6 (l)			Ey RSA + TT	-1,000
Comb 6 (l)			Ex RSA	-0,300
Comb 6 (l)			Live	1,000
Comb 6 (m)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (m)			SIDL	1,221
Comb 6 (m)			Ey RSA - TT	1,000
Comb 6 (m)			Ex RSA	0,300
Comb 6 (m)			Live	1,000
Comb 6 (n)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (n)			SIDL	1,221
Comb 6 (n)			Ey RSA - TT	-1,000
Comb 6 (n)			Ex RSA	0,300
Comb 6 (n)			Live	1,000
Comb 6 (o)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (o)			SIDL	1,221
Comb 6 (o)			Ey RSA - TT	1,000

Lanjutan Tabel 5.28 Kombinasi Beban Dinamik

Name	Type	Is Auto	Load Name	SF
Comb 6 (o)			Ex RSA	-0,300
Comb 6 (o)			Live	1,000
Comb 6 (p)	Linear Add	No	Dead	1,221
Comb 6 (p)			SIDL	1,221
Comb 6 (p)			Ey RSA - TT	-1,000
Comb 6 (p)			Ex RSA	-0,300
Comb 6 (p)			Live	1,000
Comb 7 (a)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (a)			SIDL	0,879
Comb 7 (a)			Ex RSA + TT	1,000
Comb 7 (a)			Ey RSA	0,300
Comb 7 (b)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (b)			SIDL	0,879
Comb 7 (b)			Ex RSA + TT	-1,000
Comb 7 (b)			Ey RSA	0,300
Comb 7 (c)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (c)			SIDL	0,879
Comb 7 (c)			Ex RSA + TT	1,000
Comb 7 (c)			Ey RSA	-0,300
Comb 7 (d)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (d)			SIDL	0,879
Comb 7 (d)			Ex RSA + TT	-1,000
Comb 7 (d)			Ey RSA	-0,300
Comb 7 (e)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (e)			SIDL	0,879
Comb 7 (e)			Ex RSA - TT	1,000
Comb 7 (e)			Ey RSA	0,300
Comb 7 (f)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (f)			SIDL	0,879
Comb 7 (f)			Ex RSA - TT	-1,000
Comb 7 (f)			Ey RSA	0,300
Comb 7 (g)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (g)			SIDL	0,879
Comb 7 (g)			Ex RSA - TT	1,000
Comb 7 (g)			Ey RSA	-0,300
Comb 7 (h)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (h)			SIDL	0,879

Lanjutan Tabel 5.28 Kombinasi Beban Dinamik

Name	Type	Is Auto	Load Name	SF
Comb 7 (h)			Ex RSA - TT	-1,000
Comb 7 (h)			Ey RSA	-0,300
Comb 7 (i)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (i)			SIDL	0,879
Comb 7 (i)			Ey RSA + TT	1,000
Comb 7 (i)			Ex RSA	0,300
Comb 7 (j)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (j)			SIDL	0,879
Comb 7 (j)			Ey RSA + TT	-1,000
Comb 7 (j)			Ex RSA	0,300
Comb 7 (k)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (k)			SIDL	0,879
Comb 7 (k)			Ey RSA + TT	1,000
Comb 7 (k)			Ex RSA	-0,300
Comb 7 (l)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (l)			SIDL	0,879
Comb 7 (l)			Ey RSA + TT	-1,000
Comb 7 (l)			Ex RSA	-0,300
Comb 7 (m)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (m)			SIDL	0,879
Comb 7 (m)			Ey RSA - TT	1,000
Comb 7 (m)			Ex RSA	0,300
Comb 7 (n)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (n)			SIDL	0,879
Comb 7 (n)			Ey RSA - TT	-1,000
Comb 7 (n)			Ex RSA	0,300
Comb 7 (o)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (o)			SIDL	0,879
Comb 7 (o)			Ey RSA - TT	1,000
Comb 7 (o)			Ex RSA	-0,300
Comb 7 (p)	Linear Add	No	Dead	0,879
Comb 7 (p)			SIDL	0,879
Comb 7 (p)			Ey RSA - TT	-1,000
Comb 7 (p)			Ex RSA	-0,300

5.9.3 Kontrol Simpangan Antar Tingkat (*Story Drift*)

Analisis *Story drift* mengacu pada peraturan SNI 1726-2019 pasal 7.8.6 dan pasal 7.12.1 serta sub-sub-bab 3.7.6. Simpangan inelastik (*Inelastic Displacement*) didapat dari simpangan elastik (*Elastic Displacement*) hasil analisis pada pemodelan ETABS. Kategori risiko pada bangunan ini merupakan kategori IV, sehingga simpangan antar tingkat ijinnya (Δa) adalah 0,01 sesuai peraturan. Dengan tinggi lantai bangunan 4000 mm, maka Δ ijinnya 40 mm untuk bangunan ini. Hasil *story drift* setiap lantai disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5.29 *Story Drift*

Story	<i>h</i>	<i>Elastic Displacement</i>		<i>Inelastic Displacement</i>		<i>Story Drift</i>		<i>Drift Limit</i>	<i>Drift Limit</i>	<i>Cek X</i>	<i>Cek Y</i>
		δe_x	δe_y	δe_x	δe_y	Δ_x	Δ_y	X	Y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
Atap	4000	9,73	10,24	35,69	37,53	2,46	3,16	40	40	OK	OK
5	4000	9,06	9,37	33,23	34,37	4,31	4,39	40	40	OK	OK
4	4000	7,89	8,18	28,92	29,98	6,28	6,54	40	40	OK	OK
3	4000	6,18	6,39	22,65	23,44	7,89	8,20	40	40	OK	OK
2	4000	4,03	4,16	14,76	15,24	8,69	8,98	40	40	OK	OK
1	4000	1,66	1,71	6,07	6,26	6,07	6,26	40	40	OK	OK

5.9.4 Kontrol Efek P-Delta (*P-Delta Effect*)

P-delta effect mengacu pada SNI 1726-2019 pasal 7.8.7 dan sub-sub-bab 3.7.7 dimana koefisien stabilitas maksimum (θ_{max}) yang diijinkan adalah 0,0909. Apabila koefisien stabilitas (θ) pada setiap lantai lebih kecil dari 0,10, maka efek P-delta tidak perlu diperhitungkan secara eksplisit. Hasil *P-delta effect* setiap lantai disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5.30 P-Delta Effect

Story	h	Story Drift		Story Forces			Koefisien Stabilitas		Batas Stabilitas Arah X, $\theta_{max} X$	Batas Stabilitas Arah Y, $\theta_{max} Y$	Cek X	Cek Y
		Δ_X	Δ_Y	P	V_x	V_y						
	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)	θ_X	θ_Y				
Atap	4000	2,46	3,16	2692,80	87,82	88,96	0,0051	0,0065	0,0909	0,0909	OK	OK
5	4000	4,31	4,39	7613,71	171,57	172,09	0,0130	0,0132	0,0909	0,0909	OK	OK
4	4000	6,28	6,54	12423,62	246,20	246,33	0,0216	0,0225	0,0909	0,0909	OK	OK
3	4000	7,89	8,20	17233,54	305,15	305,05	0,0304	0,0316	0,0909	0,0909	OK	OK
2	4000	8,69	8,98	22043,45	349,01	348,80	0,0374	0,0387	0,0909	0,0909	OK	OK
1	4000	6,07	6,26	27209,88	371,80	371,61	0,0303	0,0312	0,0909	0,0909	OK	OK

Koefisien stabilitas terbesar terjadi di lantai 2 dengan nilai θ_X adalah 0,0374 dan nilai θ_Y adalah 0,0387. Seluruh lantai tersebut menunjukkan nilai θ jauh di bawah nilai θ_{max} yaitu 0,0909, nilai θ juga di bawah batas 0,10, sehingga efek P-delta tidak perlu diperhitungkan lebih lanjut.

5.10 Gaya Dalam Balok

Gaya dalam balok diperoleh dari *output* analisis pada ETABS berupa momen lentur yang akan digunakan untuk desain tulangan balok. Momen yang diambil mencakup momen tumpuan (M- dan M+), momen lapangan (M- dan M+), gaya geser V_u untuk lapangan dan tumpuan, serta V_g tumpuan untuk 6 tipe balok, yaitu B1, B2, B3, B1A, B2A, dan B3A. Rekapitulasi gaya dalam balok disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5.31 Gaya Dalam Balok

Kode Balok	Tipe	Tingkat	B	H	L	Momen Tumpuan (kNm)		Momen Lapangan (kNm)		Gaya Geser (kN)		
			mm	mm	mm	Momen Negatif (M-)	Momen Positif (M+)	Momen Negatif (M-)	Momen Positif (M+)	Vu Tumpuan	Vu Lapangan	Vg Tumpuan
B1	Balok Induk	1-5	400	600	6000	-112,94	40,87	-22,62	91,45	123,85	114,63	100,45
B2	Balok Induk	1-5	350	500	5000	-62,46	10,54	-9,81	47,36	71,97	62,26	59,62
B3	Balok Induk	1-5	300	500	3000	-41,46	19,49	-8,98	17,90	63,25	40,36	47,05
B1A	Balok Induk Atap	ATAP	300	500	6000	-49,69	3,40	-4,07	36,76	54,31	54,31	49,91
B2A	Balok Induk Atap	ATAP	250	500	5000	-32,44	4,23	-1,35	28,15	40,97	40,97	37,52
B3A	Balok Induk Atap	ATAP	250	500	3000	-17,61	2,71	-6,44	0,59	17,33	17,33	15,04

5.11 Redistribusi Momen Balok

Redistribusi momen dilakukan sesuai ketentuan SNI 2847-2019 pasal 18.6.3.2 dan pembahasan yang ada pada sub-sub-bab 3.8.2. Redistribusi momen bertujuan menyeimbangkan distribusi momen antara daerah tumpuan dan lapangan. Balok anak tidak perlu dilakukan redistribusi momen karena tidak termasuk dalam desain. Persyaratan redistribusi momen menunjukkan bahwa jumlah momen tumpuan dan lapangan (ΣM) tidak boleh lebih kecil dari nilai minimum yang disyaratkan. Hasil redistribusi momen balok disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5.32 Redistribusi Momen Balok

Kode Balok	Lantai	B	H	L	Daerah Tumpuan		Daerah Lapangan	
		m m	m m	mm	M-	M+	M-	M+
B1	1-5	400	600	600 0	112,94	40,87	22,62	91,45
B2	1-5	350	500	500 0	62,46	10,54	9,81	47,36
B3	1-5	300	500	300 0	41,46	19,49	8,98	17,90
B1A	ATAP	300	500	600 0	49,69	3,40	4,07	36,76
B2A	ATAP	250	500	500 0	32,44	4,23	1,35	28,15
B3A	ATAP	250	500	300 0	17,61	2,71	6,44	0,59

Lanjutan Tabel 5.32 Redistribusi Momen Balok

Persyaratan Redistribusi Momen								
ΣM	50% M-	Perlu Redistribusi?	% Redis Trial	Momen Redis	M- Setelah Redis	M+ Setelah Redis	ΣM	Syarat ΣM
153,81	56,47	Ya	10%	11,29	101,65	52,16	153,810	Ok
73,01	31,23	Ya	4%	2,50	59,97	13,04	73,006	Ok
60,95	20,73	Ya	2%	0,83	40,63	20,32	60,947	Ok
53,09	24,85	Ya	15%	7,45	42,24	10,85	53,090	Ok
36,66	16,22	Ya	15%	4,87	27,57	9,09	36,663	Ok
20,32	8,81	Ya	10%	1,76	15,85	4,47	20,320	Ok

Lanjutan Tabel 5.32 Redistribusi Momen Balok

Redistribusi Momen Tumpuan		Redistribusi Momen Lapangan				
50% M-setelah redis	Cek Syarat $M+ > 50\% M-$	25% M_{max}	M- Lapangan	Cek Syarat	M+ Lapangan	Cek Syarat
50,83	Terpenuhi	25,41	22,62	NOT OK	91,45	OK
29,98	Belum Terpenuhi	14,99	9,81	NOT OK	47,36	OK
20,32	Terpenuhi	10,16	8,98	NOT OK	17,90	OK
21,12	Belum Terpenuhi	10,56	4,07	NOT OK	36,76	OK
13,79	Belum Terpenuhi	6,89	1,35	NOT OK	28,15	OK
7,93	Belum Terpenuhi	3,96	6,44	OK	0,59	NOT OK

Tabel 5.33 Hasil Redistribusi Momen Balok

M Desain Tumpuan		M Desain Lapangan	
M- Tumpuan	M+ Tumpuan	M- Lapangan	M+ Lapangan
101,65	52,16	25,41	91,45
59,97	29,98	14,99	47,36
40,63	20,32	10,16	17,90
42,24	21,12	10,56	36,76
27,57	13,79	6,89	28,15
15,85	7,93	6,44	3,96

5.12 Desain Lentur dan Kebutuhan Tulangan Balok

Desain tulangan lentur dan geser balok dilakukan dengan menggunakan momen hasil redistribusi dari Tabel 5.32, proses perhitungan juga mengacu pada sub-bab 3.8 yang telah mencakup perhitungan desain tulangan longitudinal, analisis momen kapasitas, hingga desain tulangan geser. Desain tulangan dilakukan terpisah untuk daerah tumpuan dan lapangan pada setiap tipe balok.

5.12.1 Data Awal

Semua data yang mencakup momen hasil redistribusi (M_u^- dan M_u^+), dimensi balok, hingga properti material menjadi data awal sebelum proses desain dilakukan. Data awal dari setiap balok dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.34 Data Awal Desain Tulangan Balok

Tipe	Lantai	B (cm)	H (cm)	d (cm)	d' (cm)	f' _c (MPa)	f _y (MPa)	S _b (cm)
B1	1-5	40	60	8,15	5,95	35	420	40
B2	1-5	35	50	8,15	5,95	35	420	40
B3	1-5	30	50	8,15	5,95	35	420	40
B1A	Atap	30	50	8,15	5,95	35	420	40
B2A	Atap	25	50	8,15	5,95	35	420	40
B3A	Atap	25	50	8,15	5,95	35	420	40

Lanjutan Tabel 5.34 Data Awal Desain Tulangan Balok

Tipe	Mu- Tumpuan (kNm)	Mu- Lapangan (kNm)	Mu+ Tumpuan (kNm)	Mu+ Lapangan (kNm)
B1	101,65	25,41	52,16	91,45
B2	59,97	14,99	29,98	47,36
B3	40,63	10,16	20,32	17,90
B1A	42,24	10,56	21,12	36,76
B2A	27,57	6,89	13,79	28,15
B3A	15,85	6,44	7,93	3,96

5.12.2 Tulangan Sebelah dan Tulangan Kembar

Penentuan tulangan longitudinal menggunakan metode tulangan rangkap mengacu pada sub-bab 3.8.1, dengan membagi kontribusi momen nominal (M_n) ke dalam dua bagian, yaitu tulangan sebelah yang menahan momen sebesar M_1 , dan

tulangan kembar yang menahan sisa momen M_2 . Nilai M_1 didapatkan dari koefisien R_1 sesuai persamaan 3.79 sampai 3.83. Dari M_1 dihitung luas tulangan sebelah Atas dan jumlah batang n_1 sesuai persamaan 3.84. Kemudian, nilai M_2 dihitung dan diperoleh luas tulangan kembar Atas serta jumlah batang n_2 sesuai persamaan 3.85 sampai 3.88.

Jumlah tulangan akhir yang dipakai merupakan gabungan dari jumlah batang n_1 dan n_2 yang telah dibulatkan, dengan memenuhi syarat tidak kurang dari jumlah tulangan minimum. Pengecekan jarak bersih antar tulangan dilakukan sesuai persamaan 3.89. Hasil penentuan tulangan longitudinal dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.35 Tulangan Longitudinal Tumpuan

Tipe	Lantai	n1 sebelah	n2 kembar	n atas pakai	n bawah pakai	Tulangan Atas	Tulangan Bawah	Cek Spasi
B1	1-5	2	2	5	4	5D19	4D19	OK
B2	1-5	2	2	5	4	5D19	4D19	OK
B3	1-5	2	2	4	3	4D19	3D19	OK
B1A	Atap	2	2	4	3	4D19	3D19	OK
B2A	Atap	1	2	4	3	4D19	3D19	OK
B3A	Atap	1	2	4	3	4D19	3D19	OK

Tabel 5.36 Tulangan Longitudinal Lapangan

Tipe	Lantai	n1 sebelah	n2 kembar	n atas pakai	n bawah pakai	Tulangan Atas	Tulangan Bawah	Cek Spasi
B1	1-5	4	2	5	6	5D19	6D19	OK
B2	1-5	2	2	3	4	3D19	4D19	OK
B3	1-5	2	2	3	4	3D19	4D19	OK
B1A	Atap	2	2	3	4	3D19	4D19	OK
B2A	Atap	1	2	3	4	3D19	4D19	OK
B3A	Atap	1	2	3	4	3D19	4D19	OK

5.12.3 Verifikasi Momen Balok

Setelah jumlah tulangan longitudinal ditetapkan, dilakukan analisis momen dari tulangan yang ditetapkan untuk dilakukan pengecekan bahwa kapasitas momen yang dihasilkan oleh tulangan pakai tidak lebih kecil dari momen ultimit rencana yang ditetapkan ($M_t \geq M_u$). Urutan analisis mengacu pada sub-bab 3.8.2 melalui persamaan 3.78 sampai 3.85, dimana untuk momen negatif (M_-) dan momen positif (M_+) pada daerah tumpuan maupun lapangan diperhitungkan secara terpisah. Momen ultimit pada verifikasi momen ini menggunakan satuan Tm sehingga momen hasil redistribusi perlu dikonversi terlebih dahulu. Contoh perhitungan konversi satuan terhadap momen ultimit sebagai berikut.

Balok B1

1. Momen Ultimit Negatif = 101,65 kN
2. Momen Ultimit Negatif = $101,65 \times 0,1019716213$
= 10,3654 Tm
3. Momen Ultimit Negatif = 52,16 kN
4. Momen Ultimit Negatif = $52,16 \times 0,1019716213$
= 5,3188 Tm

Dengan perhitungan yang sama, maka dapat di rekapitulasi konversi satuan terhadap momen ultimit sebagai berikut

Tabel 5.37 Momen Ultimit Balok

Tipe	Lantai	Daerah	Mu- (Tm)	Mu+ (Tm)
B1	1-5	Tumpuan	10,3654	5,31879
B1	1-5	Lapangan	2,5913	9,3256
B2	1-5	Tumpuan	6,1148	3,0574
B2	1-5	Lapangan	1,5287	4,8291
B3	1-5	Tumpuan	4,1432	2,0716
B3	1-5	Lapangan	1,03580	1,82558

Lanjutan Tabel 5.37 Momen Ultimit Balok

Tipe	Lantai	Daerah	Mu- (Tm)	Mu+ (Tm)
B1A	Atap	Tumpuan	4,3072	2,1536
B1A	Atap	Lapangan	1,0768	3,7488
B2A	Atap	Tumpuan	2,8115	1,4057
B2A	Atap	Lapangan	0,7028	2,8704
B3A	Atap	Tumpuan	1,6164	0,8082
B3A	Atap	Lapangan	0,6566	0,4041

Rekapitulasi hasil pengecekan momen dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.38 Verifikasi Momen Balok

Tipe	Lantai	Daerah	Mu- (Tm)	Mt- (Tm)	Cek M-	Mu+ (Tm)	Mt+ (Tm)	Cek M+
B1	1-5	Tumpuan	10,3654	26,9583	OK	5,31879	23,4410	OK
B1	1-5	Lapangan	2,5913	26,9555	OK	9,3256	31,7546	OK
B2	1-5	Tumpuan	6,1148	21,2858	OK	3,0574	18,1816	OK
B2	1-5	Lapangan	1,5287	13,3266	OK	4,8291	16,3163	OK
B3	1-5	Tumpuan	4,1432	17,1132	OK	2,0716	14,3044	OK
B3	1-5	Lapangan	1,03580	13,1358	OK	1,82558	16,5702	OK
B1A	Atap	Tumpuan	4,3072	17,1132	OK	2,1536	14,3044	OK
B1A	Atap	Lapangan	1,0768	13,1358	OK	3,7488	16,5702	OK
B2A	Atap	Tumpuan	2,8115	16,8989	OK	1,4057	13,6301	OK
B2A	Atap	Lapangan	0,7028	12,9348	OK	2,8704	16,8481	OK
B3A	Atap	Tumpuan	1,6164	16,8989	OK	0,8082	13,6301	OK
B3A	Atap	Lapangan	0,6566	12,9348	OK	0,4041	16,8481	OK

Berdasarkan tabel 5.37 di atas, seluruh balok pada daerah tumpuan maupun lapangan menunjukkan nilai $M_t \geq M_u$, sehingga tulangan longitudinal yang

ditetapkan dinyatakan memenuhi syarat momen sesuai pembahasan pada sub-sub-bab 3.8.2.

5.12.4 Analisis Momen Kapasitas

Analisis momen kapasitas dilakukan untuk menentukan kapasitas maksimum penampang balok terhadap tulangan yang ditetapkan sekaligus sebagai dasar perhitungan desain gaya geser pada sub-sub-bab 5.12.5. Momen kapasitas (ϕM_n) dihitung sesuai sub-sub-bab 3.8.3 dengan persamaan 3.96 sampai 3.107 untuk momen kapasitas negatif (M_n^-) maupun positif (M_n^+). Kemudian hasilnya dilakukan pengecekan terhadap syarat $1,2 \leq M_n/\mu \leq 1,5$. Rekapitulasi hasil analisis momen kapasitas ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 5.39 Analisis Momen Kapasitas

Tipe	Lantai	Daerah	Mn- (Tm)	Mkap- (Tm)	Mn-/Mkap- (Tm)	Mn+ (Tm)	Mkap+ (Tm)	Mn+/Mkap+ (Tm)
B1	1-5	Tumpuan	29,953	36,980	1,23	26,045	31,585	1,21
B1	1-5	Lapangan	29,950	36,969	1,23	35,283	45,765	1,30
B2	1-5	Tumpuan	23,650	29,133	1,23	20,201	25,124	1,24
B2	1-5	Lapangan	19,238	23,646	1,23	23,281	30,689	1,32
B3	1-5	Tumpuan	19,014	23,411	1,23	15,893	19,139	1,20
B3	1-5	Lapangan	14,595	17,908	1,23	18,411	24,717	1,34
B1A	Atap	Tumpuan	19,014	23,411	1,23	15,893	19,139	1,20
B1A	Atap	Lapangan	14,595	17,909	1,23	18,411	24,717	1,34
B2A	Atap	Tumpuan	18,776	23,141	1,23	15,144	18,743	1,24
B2A	Atap	Lapangan	14,372	17,674	1,23	18,720	24,293	1,30
B3A	Atap	Tumpuan	18,776	23,141	1,23	15,144	18,743	1,24
B3A	Atap	Lapangan	14,372	17,673	1,23	18,720	24,293	1,30

5.12.5 Desain Tulangan Geser

Desain tulangan geser atau sengkang mengacu pada sub-sub-bab 3.8.4 melalui persamaan 3.108 sampai 3.114, dimana gaya geser desain (V_u) yang

dihitung dari kombinasi gaya geser gravitasi (V_g) dan gaya geser gempa (V_E) merupakan nilai momen kapasitas pada sub-sub-bab 5.12.4. Desain tulangan geser atau sengkang dilakukan secara terpisah untuk daerah sendi plastis (tumpuan) dan daerah luar sendi plastis (lapangan). Rekapitulasi hasil desain sengkang untuk seluruh kode balok disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5.40 Analisis Momen Kapasitas

Tipe	Lantai	V_u Tumpuan (kN)	V_u Lapangan (kN)	V_g (kN)
B1	1-5	123,85	114,63	100,45
B2	1-5	71,97	62,26	59,62
B3	1-5	63,25	40,36	47,05
B1A	Atap	54,31	54,31	49,91
B2A	Atap	40,97	40,97	37,52
B3A	Atap	17,33	17,33	15,04

Lanjutan Tabel 5.40 Analisis Momen Kapasitas

Tipe	Diameter Sengkang (mm)	Spasi Tumpuan (mm)	Spasi Lapangan (mm)	Sengkang Pakai Tumpuan	Sengkang Pakai Lapangan	Cek Syarat
B1	19	100	150	4D10 - 100	2D10 - 150	OK
B2	19	100	150	4D10 - 100	2D10 - 150	OK
B3	19	100	150	4D10 - 100	2D10 - 150	OK
B1A	19	100	150	4D10 - 100	2D10 - 150	OK
B2A	19	100	150	4D10 - 100	2D10 - 150	OK
B3A	19	100	150	4D10 - 100	2D10 - 150	OK

5.12.6 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Balok

Hasil desain tulangan lentur balok maupun tulangan geser direkap dalam satu tabel rekapitulasi akhir sebagai *output* dari desain tulangan balok dalam satu rangkaian analisis secara lengkap. Hasil rekapitulasi desain balok dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.41 Rekapitulasi Desain Balok

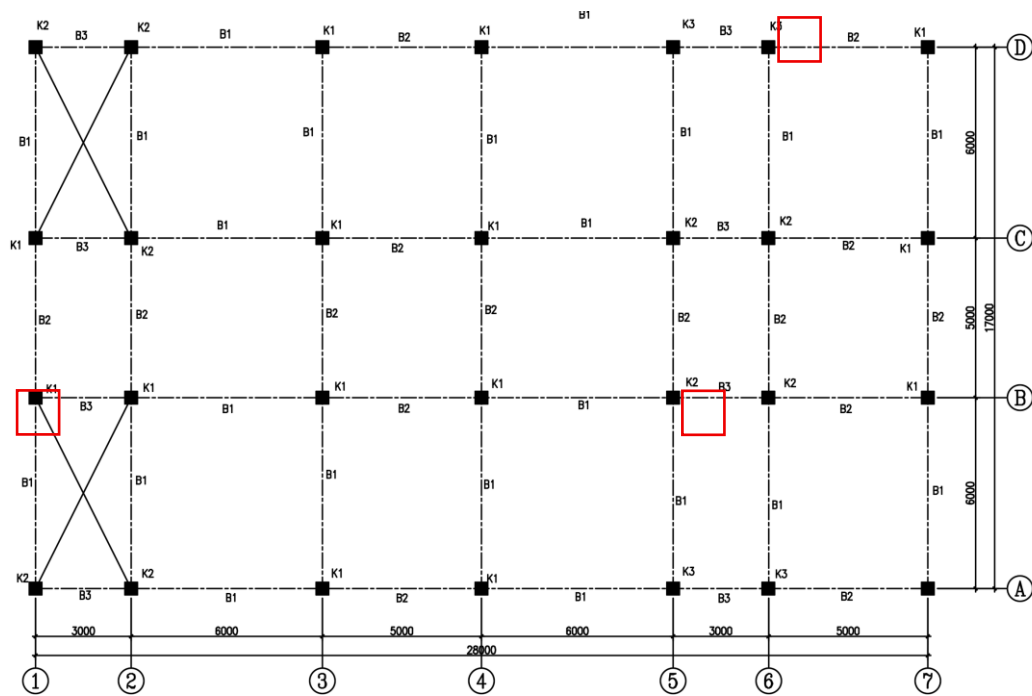
Kode Balok	Tipe	Tingkat	Dimensi Balok (mm)		Tul. Lentur (Pokok)				Tul. Geser (Sengkang)	
					Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan
			B pakai	H pakai	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	Balok Induk	1-5	400	600	5D19	4D19	5D19	6D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	Balok Induk	1-5	350	500	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	Balok Induk	1-5	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	Balok Induk Atap	ATAP	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2A	Balok Induk Atap	ATAP	250	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3A	Balok Induk Atap	ATAP	250	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150

5.13 Rekapitulasi Data Input dan Output untuk Pemodelan ANN

5.13.1 Pasangan Kolom-Balok Sebagai Satuan Data

Dalam penelitian ini, satuan data yang dimasukkan ke dalam model ANN bukan berupa satu keseluruhan bangunan, melainkan pasangan antara satu kolom dengan balok yang ditumpunya. Hal ini berdasarkan pada logika struktural dimana kebutuhan tulangan suatu balok dipengaruhi langsung oleh kolom yang menopangnya, sehingga hubungan kolom–balok ini relevan sebagai representasi suatu baris data *input-output*.

Pasangan kolom–balok diperoleh dari denah bangunan dengan mengidentifikasi setiap kolom dan seluruh balok yang bertemu dari empat arah seperti gambar berikut.



Gambar 5.11 Pasangan Kolom-Balok

Pada Gambar 5.11, kolom K1 menopang tiga balok yaitu arah X positif berupa balok B3, arah Y positif berupa balok B2, dan arah Y negatif berupa balok B1. Sehingga, kolom K1 menghasilkan pasangan data dengan ketiga tipe balok lantai tipikal (B1, B2, B3) maupun ketiga tipe balok lantai atap (B1A, B2A, B3A). Hal yang sama juga dilakukan pada kolom K2 dan K3, sehingga konfigurasi bangunan dari tiga tipe kolom dan enam tipe balok menghasilkan 18 pasangan data pada analisis bangunan ini. Pasangan kolom-balok ini bergantung pada konfigurasi bangunan antara tipe balok dan kolom yang dimiliki di setiap bangunan. Pasangan kolom-balok dapat dilihat pada gambar berikut.

Tabel 5.42 Pasangan Kolom-Balok

Kolom	Balok
K1	B1
K1	B2
K1	B3
K1	B1A
K1	B2A
K1	B3A
K2	B1

Lanjutan Tabel 5.42 Pasangan Kolom-Balok

Kolom	Balok
K2	B2
K2	B3
K2	B1A
K2	B2A
K2	B3A
K3	B1
K3	B2
K3	B3
K3	B1A
K3	B2A
K3	B3A

5.13.2 Variabel Input dan Output

Setiap baris data memiliki 7 variabel *input* dan 6 variabel *output* yang kemudian direkap seluruhnya. Variabel *input* mencakup $S_{Ds} \times I_e$, $S_{D1} \times I_e$, sisi pendek kolom (b), jumlah lantai, mutu beton (f'_c), tinggi balok (H), dan bentang balok (L). Variabel *output* yang digunakan hanya mencakup tulangan balok berupa luas longitudinal balok tumpuan (atas dan bawah) dan lapangan (atas dan bawah), serta luas transversal balok tumpuan dan lapangan. Rekapitulasi variabel *input* dan *output* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.43 Variabel *Input*

$S_{Ds} \times I_e$	$S_{D1} \times I_e$	Sisi Pendek Kolom (b)	Jumlah Lantai	Mutu Beton (f'_c)	Tinggi Balok (H)	Bentang Balok (L)
0,15561	0,1461	500	6	35	600	6000
0,15561	0,1461	500	6	35	500	5000
0,15561	0,1461	500	6	35	500	3000
0,15561	0,1461	500	6	35	500	6000
0,15561	0,1461	500	6	35	500	5000
0,15561	0,1461	450	6	35	500	3000
0,15561	0,1461	450	6	35	600	6000

Lanjutan Tabel 5.43 Variabel *Input*

SDs x Ie	SD1 x Ie	Sisi Pendek Kolom (b)	Jumlah Lantai	Mutu Beton (f'c)	Tinggi Balok (H)	Bentang Balok (L)
0,15561	0,1461	450	6	35	500	5000
0,15561	0,1461	450	6	35	500	3000
0,15561	0,1461	450	6	35	500	6000
0,15561	0,1461	450	6	35	500	5000
0,15561	0,1461	450	6	35	500	3000
0,15561	0,1461	400	6	35	600	6000
0,15561	0,1461	400	6	35	500	5000
0,15561	0,1461	400	6	35	500	3000
0,15561	0,1461	400	6	35	500	6000
0,15561	0,1461	400	6	35	500	5000
0,15561	0,1461	400	6	35	500	3000

Tabel 5.44 Variabel *Output*

As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm²)	As Transversal Balok Lapangan (cm²)
14,1764	11,3411	14,1764	17,0117	3,1416	1,0472
14,1764	11,3411	11,3411	14,1764	3,1416	1,0472
11,3411	8,5059	8,5059	11,3411	3,1416	1,0472
11,3411	8,5059	8,5059	11,3411	3,1416	1,0472
11,3411	8,5059	8,5059	11,3411	3,1416	1,0472
11,3411	8,5059	8,5059	11,3411	3,1416	1,0472
14,1764	11,3411	14,1764	17,0117	3,1416	1,0472
14,1764	11,3411	11,3411	14,1764	3,1416	1,0472
11,3411	8,5059	8,5059	11,3411	3,1416	1,0472
11,3411	8,5059	8,5059	11,3411	3,1416	1,0472
11,3411	8,5059	8,5059	11,3411	3,1416	1,0472
11,3411	8,5059	8,5059	11,3411	3,1416	1,0472
14,1764	11,3411	14,1764	17,0117	3,1416	1,0472
14,1764	11,3411	11,3411	14,1764	3,1416	1,0472
11,3411	8,5059	8,5059	11,3411	3,1416	1,0472
11,3411	8,5059	8,5059	11,3411	3,1416	1,0472
11,3411	8,5059	8,5059	11,3411	3,1416	1,0472
11,3411	8,5059	8,5059	11,3411	3,1416	1,0472

5.13.3 Rekapitulasi Total Dataset ANN

Dari keseluruhan 50 analisis yang dilakukan, total pasangan data *input-output* yang dihasilkan adalah 866 baris data, yang terdiri dari 7 variabel *input* dan 6 variabel *output*. Jumlah antar analisis tidak sama antara jumlah kolom dan baloknya karena beberapa konfigurasi bangunan pada data yang dianalisis ada yang hanya memiliki dua tipe kolom sehingga menghasilkan lebih sedikit pasangan kolom-balok. Dataset 866 baris inilah yang selanjutnya digunakan sebagai data untuk pelatihan dan pengujian pada model ANN dengan menggunakan MATLAB.

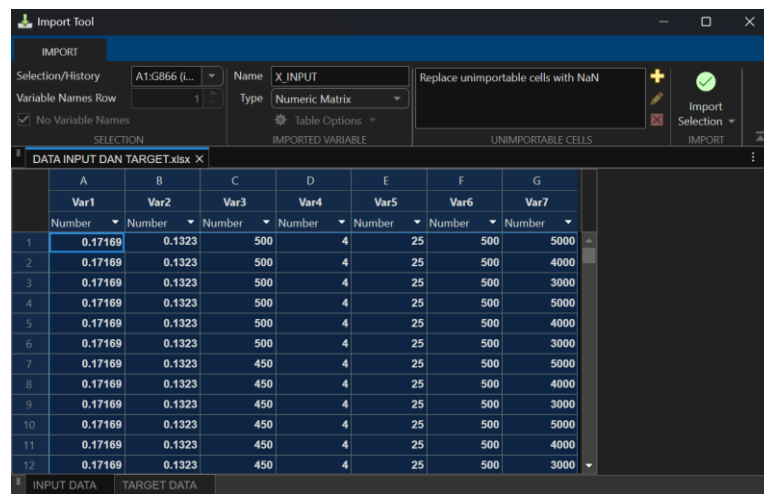
Rekapitulasi total dataset untuk pemodelan ANN ditampilkan dalam tabel pada lampiran 1 hingga lampiran 26.

5.14 Pemodelan Artificial Neural Network (ANN)

Setelah dikumpulkan sebanyak 866 data pada sub-sub-bab 5.13.3, tahap selanjutnya adalah membangun dan melatih model *Artificial Neural Network* (ANN) menggunakan *software* MATLAB.

5.14.1 Persiapan Data ke MATLAB

Data *input* dan *output* yang telah direkap dalam sebuah file Microsoft Excel memuat dua matriks terpisah, yaitu matriks *input* berukuran 866 data $\times$ 7 nilai variabel *input* dan matriks *output* berukuran 866 data $\times$ 6 nilai variabel *output* tulangan balok. Kedua matriks tersebut kemudian diimpor ke dalam *workspace* MATLAB melalui fitur *Import Data*. Pada jendela *Import Tool*, nama variabel *input* diubah menjadi X_INPUT dan variabel *output* menjadi Y_TARGET dengan tipe data sebagai *Numeric Matrix*. Lalu, kedua data variabel tersebut dilakukan *import selection* agar muncul di *workspace* MATLAB dan siap digunakan untuk proses pelatihan.

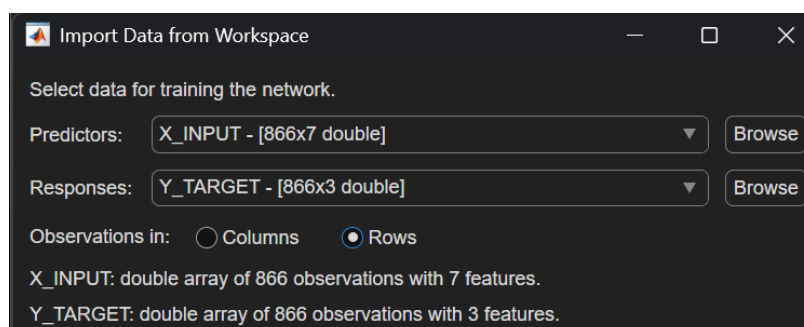


Gambar 5.12 Tahap Import Data dalam MATLAB

5.14.2 Parameter Pelatihan ANN

Pelatihan model ANN dilakukan menggunakan *Neural Network Fitting* melalui *command* “nftool”. Perintah ini merupakan singkatan dari *Neural Network Fitting Tool*, yaitu sebuah grafis bawaan MATLAB yang dirancang khusus untuk menangani permasalahan regresi dan *function fitting* menggunakan jaringan saraf tiruan. Dalam penelitian ini, perintah nftool digunakan untuk memprediksi nilai luas tulangan balok (*output* numerik) dari sejumlah *input* (input numerik).

Variabel X_INPUT ditetapkan sebagai *Predictors* (data *input*) dan Y_TARGET sebagai *Responses* (data target *output*). dengan orientasi observasi ditetapkan sebagai baris (*rows*) seperti pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.13 Tahap Import Data pada Neural Network Fitting

Arsitektur jaringan yang digunakan adalah *feedforward multilayer perceptron* dengan satu lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan 10 neuron, mengacu pada sub-sub-bab 3.9.1. Pembagian data dilakukan secara acak dengan komposisi 70% data pelatihan (606 data observasi), 15% data validasi (130 data observasi), dan 15% data pengujian (130 data observasi). Fungsi evaluasi kinerja berupa indikator *Mean Squared Error* (MSE). Parameter nilai target pelatihan ditetapkan maksimal 1.000 epoch dengan *validation checks* sebanyak 6 kali berturut-turut tanpa ada perbaikan.

Tabel 5.45 Konfigurasi Pelatihan Model ANN

Parameter	Nilai
Jumlah Data	866 Data
Jumlah Variabel <i>Input</i>	7 <i>Input</i>
Jumlah Variabel <i>Output</i>	6 <i>Output</i>
Data Pelatihan	70% (606 Data)
Data Validasi	15% (130 Data)
Data Pengujian	15% (130 Data)
Epoch	1000
<i>Validation Checks</i>	6

5.14.3 Hasil Pelatihan Model ANN

Pelatihan model ANN berhenti secara otomatis pada epoch ke-21 dengan status "*Training finished: Met validation criterion*". Hal ini terjadi karena *validation checks* telah mencapai nilai maksimal yaitu 6. Rekapitulasi hasil pelatihan dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut.

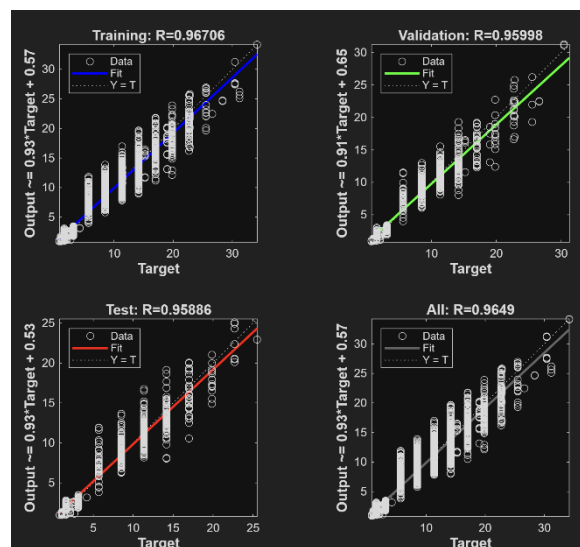
Training Progress			
Unit	Initial Value	Stopped Value	Target Value
Epoch	0	15	1000
Elapsed Time	-	00:00:01	-
Performance	1.03e+08	2.86e+05	0
Gradient	1.59e+08	3.01e+05	1e-07
Mu	0.001	10	1e+10
Validation Checks	0	6	6

Gambar 5.14 Hasil Progress Pelatihan Model ANN

Tabel 5.46 Hasil Pelatihan Model ANN

Data	Jumlah Data Observasi	MSE	R
Pelatihan (<i>Training</i>)	606	2,2525	0,9671
Validasi (<i>Validation</i>)	130	2,7489	0,9600
Pengujian (<i>Test</i>)	130	2,3286	0,9589

Evaluasi kinerja model ANN dilakukan melalui *Regression Plot* yang menampilkan hubungan antara nilai *output* prediksi model dan nilai target aktual. Grafik regresi yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 5.12 berikut.

**Gambar 5.15 Regression Plot Hasil Pelatihan ANN**

(Sumber: MATLAB)

Berdasarkan grafik regresi yang diperoleh, nilai koefisien korelasi (R) untuk masing-masing subset data yaitu sesuai dengan yang ditunjukkan pada Tabel 5.45. Nilai R di atas 0,95 pada seluruh subset data menunjukkan bahwa hubungan antara prediksi model ANN dan nilai target aktual sangat kuat dan tepat. Oleh karena itu, model ANN yang telah dihasilkan dinilai dapat layak digunakan untuk memprediksi kebutuhan tulangan balok beton bertulang sesuai dengan penelitian ini.

5.14.4 Persamaan Empiris Model ANN

Berdasarkan hasil dari pelatihan model *Artificial Neural Network* (ANN), model yang telah diperoleh tidak hanya digunakan untuk menghasilkan nilai prediksi, tetapi juga dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan empiris. Persamaan empiris tersebut disusun berdasarkan parameter jaringan hasil pelatihan, yaitu bobot, bias, fungsi aktivasi, serta parameter normalisasi data. Penyusunan persamaan empiris ini bertujuan agar hubungan antara variabel *input* dan *output* model ANN dapat dijelaskan secara matematis dan dapat digunakan secara mandiri tanpa memerlukan *software* MATLAB.

Seluruh enam variabel *output* pada model ANN balok memiliki variasi nilai pada seluruh 866 data, sehingga tidak terdapat *output* yang bersifat konstan. Oleh karena itu, arsitektur model empiris ANN yang digunakan dalam penyusunan persamaan adalah 7 – 10 – 6, yaitu 7 variabel *input*, 10 neuron pada *hidden layer*, dan 6 *output* aktif yang mencakup kebutuhan tulangan longitudinal dan transversal balok. Setiap variabel *input* didefinisikan dengan notasi X sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.47 berikut.

Tabel 5.47 Definisi Variabel Input

Variabel Input	Parameter	Satuan	X min	X max
X ₁	S _{DS} × I _e	–	0,1004	1,6782
X ₂	S _{D1} × I _e	–	0,0765	1,0200
X ₃	Sisi pendek kolom, b	mm	350	850
X ₄	Jumlah lantai, n	lantai	4	11
X ₅	Mutu beton, f _c	MPa	25	35
X ₆	Tinggi balok, H	mm	400	800
X ₇	Bentang balok, L	mm	3.000	8.000

Tahap pertama adalah menghitung normalisasi *input* dengan persamaan berikut.

$$x_i = \frac{2(X_i - X_{i,\min})}{X_{i,\max} - X_{i,\min}} - 1 \quad (5.1)$$

Dengan batas indeks

$$i = 1, 2, 3, \dots, 7$$

Keterangan:

X_i = nilai input asli ke- i

x_i = nilai input ke- i setelah dinormalisasi

$X_{i,\min}$ = nilai minimum input ke- i

$X_{i,\max}$ = nilai maksimum input ke- i

i = indeks variabel input, dari 1 sampai 7

Lalu tahap kedua adalah memasukan rumus *hidden layer* sebagai persamaan berikut

$$z_j = b_{1j} + \sum_{i=1}^7 I W_{ji} x_i \quad (5.2)$$

Dengan batas indeks

$$j = 1, 2, 3, \dots, 10$$

Keterangan :

z_j = nilai masukan pada neuron hidden layer ke- j

b_{1j} = bias hidden layer pada neuron ke- j

$I W_{ji}$ = bobot dari input ke- i menuju neuron hidden layer ke- j

x_i = input ke- i setelah normalisasi

j = indeks neuron hidden layer, dari 1 sampai 10

Lalu tahap ketiga rumus fungsi aktivasi *hidden layer* sebagai berikut

$$h_j = \frac{2}{1 + e^{-2z_j}} - 1 \quad (5.3)$$

Dengan batas indeks

$$j = 1, 2, 3, \dots, 10$$

Keterangan:

h_j = hasil aktivasi neuron hidden layer ke- j

z_j = nilai masukan neuron hidden layer ke- j

e = bilangan eksponensial

Fungsi ini merupakan bentuk matematis dari fungsi aktivasi *tansig*.

Tahap keempat adalah menghitung nilai setiap *output* dalam bentuk normalisasi dengan rumus *output layer* sebagai berikut.

$$y_k = b_{2k} + \sum_{j=1}^{10} L W_{kj} h_j \quad (5.4)$$

Dengan batas indeks

$$k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

Keterangan:

y_k = nilai output ANN ke- k dalam bentuk normalisasi

b_{2k} = bias output layer ke- k (lihat Tabel b2)

LW_{kj} = bobot dari neuron hidden layer ke- j menuju output ke- k (lihat Tabel LW)

h_j = hasil aktivasi neuron hidden layer ke- j

k = indeks output ANN, dari 1 sampai 6

Secara individual, keenam output dihitung sebagai berikut.

$$y_1 = b_{21} + \sum_{j=1}^{10} L W_{1j} h_j \quad (5.5)$$

$$y_2 = b_{22} + \sum_{j=1}^{10} L W_{2j} h_j \quad (5.6)$$

$$y_3 = b_{23} + \sum_{j=1}^{10} L W_{3j} h_j \quad (5.7)$$

$$y_4 = b_{24} + \sum_{j=1}^{10} L W_{4j} h_j \quad (5.8)$$

$$y_5 = b_{25} + \sum_{j=1}^{10} L W_{5j} h_j \quad (5.9)$$

$$y_6 = b_{26} + \sum_{j=1}^{10} L W_{6j} h_j \quad (5.10)$$

Keterangan:

y_1 = *output* normalisasi As tumpuan atas

y_2 = *output* normalisasi As tumpuan bawah

y_3 = *output* normalisasi As lapangan atas

y_4 = *output* normalisasi As lapangan bawah

y_5 = *output* normalisasi As sengkang tumpuan (Av/s)

y_6 = *output* normalisasi As sengkang lapangan (Av/s).

Tahap terakhir adalah menghitung denormalisasi *output* untuk memperoleh nilai kebutuhan tulangan balok dalam satuan aslinya.

$$Y_k = \frac{(y_k + 1)(Y_{k,\max} - Y_{k,\min})}{2} + Y_{k,\min} \quad (5.11)$$

Dengan batas indeks

$$k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

Keterangan:

Y_k = output prediksi ke-k dalam satuan asli

y_k = output ANN ke-k dalam bentuk normalisasi

$Y_{k,\min}$ = nilai minimum output ke-k (lihat Tabel 5.XX)

$Y_{k,\max}$ = nilai maksimum output ke-k (lihat Tabel 5.XX)

k = indeks output ANN, dari 1 sampai 6

Sehingga, keenam output hasil prediksi dalam satuan asli adalah sebagai berikut.

$$Y_1 = \frac{(y_1+1)(Y_{1,max}-Y_{1,min})}{2} + Y_{1,min} \quad (5.12)$$

Keterangan:

Y_1 = As longitudinal balok tumpuan atas (cm²)

$$Y_2 = \frac{(y_2+1)(Y_{2,max}-Y_{2,min})}{2} + Y_{2,min} \quad (5.13)$$

Keterangan:

Y_2 = As longitudinal balok tumpuan bawah (cm²)

$$Y_3 = \frac{(y_3+1)(Y_{3,max}-Y_{3,min})}{2} + Y_{3,min} \quad (5.14)$$

Keterangan:

Y_3 = As longitudinal balok lapangan atas (cm²)

$$Y_4 = \frac{(y_4+1)(Y_{4,max}-Y_{4,min})}{2} + Y_{4,min} \quad (5.15)$$

Keterangan:

Y_4 = As longitudinal balok lapangan bawah (cm²)

$$Y_5 = \frac{(y_5+1)(Y_{5,max}-Y_{5,min})}{2} + Y_{5,min} \quad (5.16)$$

Keterangan:

Y_5 = As transversal balok tumpuan — Av/s (mm²/mm)

$$Y_6 = \frac{(y_6+1)(Y_{6,\max}-Y_{6,\min})}{2} + Y_{6,\min} \quad (5.17)$$

Keterangan:

Y_6 = As transversal balok lapangan — Av/s (mm²/mm)

Setelah didapat semua rumus empiris, nilai-nilai parameter bobot (IW, LW), bias (b1, b2), serta nilai minimum dan maksimum *input* dan *output* dapat diekstraksi dari model hasil pelatihan MATLAB dengan menjalankan *code* berikut pada *Workspace* MATLAB.

```
clc;
format long g

model = net3.Network;

IW = model.IW{1,1};
b1 = model.b{1};
LW = model.LW{2,1};
b2 = model.b{2};

disp(size(IW))
disp(size(b1))
disp(size(LW))
disp(size(b2))

fungsi_hidden = model.layers{1}.transferFcn;
fungsi_output = model.layers{2}.transferFcn;
disp(fungsi_hidden)
disp(fungsi_output)

if size(X_INPUT,1) > size(X_INPUT,2)
```

```
X_data = X_INPUT';
```

```
else
```

```
    X_data = X_INPUT';
```

```
end
```

```
if size(Y_TARGET,1) > size(Y_TARGET,2)
```

```
    Y_data = Y_TARGET';
```

```
else
```

```
    Y_data = Y_TARGET;
```

```
end
```

```
Xmin = min(X_data,[],2);
```

```
Xmax = max(X_data,[],2);
```

```
Ymin = min(Y_data,[],2);
```

```
Ymax = max(Y_data,[],2);
```

```
disp(Xmin); disp(Xmax)
```

```
disp(Ymin); disp(Ymax)
```

```
disp(IW); disp(b1)
```

```
disp(LW); disp(b2)
```

```
Nama_Input = {
```

```
    'SDS x Ie'; 'SD1 x Ie'; 'Sisi pendek kolom (b)';
```

```
    'Jumlah lantai'; 'Mutu beton (fc)';
```

```
    'Tinggi balok (H)'; 'Bentang balok (L)'
```

```
};
```

```
Nama_Output = {
```

```
    'As longitudinal tumpuan atas'; 'As longitudinal tumpuan bawah';
```

```
    'As longitudinal lapangan atas'; 'As longitudinal lapangan bawah';
```

```
    'As transversal tumpuan (Av/s)'; 'As transversal lapangan (Av/s)'
```

```
};
```

```
T_Xminmax = table((1:7)', Nama_Input, Xmin, Xmax, ...
    'VariableNames', {'Input_ke','Variabel_Input','Xmin','Xmax'});
T_Yminmax = table((1:6)', Nama_Output, Ymin, Ymax, ...
    'VariableNames', {'Output_ke','Variabel_Output','Ymin','Ymax'});
T_IW = array2table(IW);
T_b1 = array2table(b1);
T_LW = array2table(LW);
T_b2 = array2table(b2);
```

```
disp(T_Xminmax); disp(T_Yminmax)
disp(T_IW); disp(T_b1)
disp(T_LW); disp(T_b2)
```

```
writetable(T_Xminmax,'Parameter_Empiris_ANN_Balok.xlsx','Sheet','Xm
in_Xmax');
writetable(T_Yminmax,'Parameter_Empiris_ANN_Balok.xlsx','Sheet','Ym
in_Ymax');
writetable(T_IW,'Parameter_Empiris_ANN_Balok.xlsx','Sheet','IW');
writetable(T_b1,'Parameter_Empiris_ANN_Balok.xlsx','Sheet','b1');
writetable(T_LW,'Parameter_Empiris_ANN_Balok.xlsx','Sheet','LW');
writetable(T_b2,'Parameter_Empiris_ANN_Balok.xlsx','Sheet','b2');
```

Dari kode di atas akan diperoleh file *Parameter_Empiris_ANN_Balok.xlsx* yang berisi nilai-nilai IW, b1, LW, b2, Xmin, Xmax, Ymin, dan Ymax yang dibutuhkan untuk melengkapi tabel-tabel berikut.

Tabel 5.48 Nilai Minimum dan Maksimum Variabel *Input*

<i>Input</i>	<i>Variabel Input</i>	<i>Xmin</i>	<i>Xmax</i>
1	SDS x Ie	0,10044667	1,678
2	SD1 x Ie	0,0765	1,02
3	Sisi pendek kolom (b)	350	850
4	Jumlah lantai	4	11
5	Mutu beton (fc)	25	35
6	Tinggi balok (H)	400	800
7	Bentang balok (L)	3000	8000

Tabel 5.49 Nilai Minimum dan Maksimum Variabel *Output*

<i>Output</i>	<i>Variabel Output</i>	<i>Ymin</i>	<i>Ymax</i>	<i>Yrange</i>
1	As longitudinal balok tumpuan atas	5,67	34,21	28,54
2	As longitudinal balok tumpuan bawah	5,67	26,61	20,94
3	As longitudinal balok lapangan atas	5,67	19,85	14,18
4	As longitudinal balok lapangan bawah	5,67	30,41	24,74
5	As transversal balok tumpuan	1,01	4,189	3,184
6	As transversal balok lapangan	0,79	2,655	1,87

Tabel 5.50 Bobot *Input-Hidden Layer* (IW)

IW1	IW2	IW3	IW4	IW5	IW6	IW7
-1,26	1,22	-3,58	-1,56	-0,21	0,41	0,18
-4,22	3,74	-3,72	2,30	13,83	2,28	-1,87
-1,44	2,15	-1,98	1,06	-0,01	0,20	0,02
4,43	-3,97	-6,45	4,19	7,33	-0,44	5,81
13,59	-17,59	-1,79	1,52	-1,67	0,95	-0,04
-71,41	30,72	10,64	3,31	24,99	4,70	1,38
146,72	-294,14	-57,60	-82,72	409,67	121,98	248,14
6,07	-1,04	-2,96	-4,82	-23,08	6,74	7,52
20,84	-8,76	14,11	-0,56	-6,31	-17,63	3,61
1224,63	3767,11	-3119,21	-4424,58	716,73	-5858,73	-9756,60

Tabel 5.51 Bias Hidden Layer (b1)

b1
1,26
1,28
1,04
7,47
-0,59
-3,57
11,89
2,37
-7,86
1738,80

Tabel 5.52 Bobot *Hidden-Output Layer 1-5* (LW)

LW1	LW2	LW3	LW4	LW5	LW6	LW7	LW8	LW9	LW10
-0,27	0,07	-0,37	0,04	-0,14	-0,02	-0,01	0,05	-0,04	-0,02
-4,97	-4,93	41,81	-2,17	-39,07	4,81	18,91	13,10	-3,59	11,24

Tabel 5.53 Bobot *Hidden-Output Layer 6-10* (LW)

b2
-
0,201471838
12,47090988

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dari analisis struktur, desain kebutuhan tulangan balok, dan pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN), maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Penentuan kebutuhan tulangan balok menggunakan metode ANN dilakukan melalui pengumpulan data dari 50 variasi bangunan gedung yang kemudian diperoleh total 866 pasangan data *input-output*. Dataset tersebut kemudian digunakan untuk melatih model ANN dengan pembagian data 70% pelatihan (606 data), 15% validasi (130 data), serta 15% pengujian (130 data). Dengan pendekatan ini, model ANN mampu menentukan kebutuhan tulangan balok secara otomatis.
2. Tingkat akurasi model ANN dalam memprediksi kebutuhan tulangan balok beton bertulang ditunjukkan melalui nilai koefisien korelasi (R) dan *Mean Squared Error* (MSE). Nilai R yang diperoleh adalah 0,9671 untuk data pelatihan (MSE = 2,2525), 0,9600 untuk data validasi (MSE = 2,7489), dan 0,9589 untuk data pengujian (MSE = 2,3286). Nilai R di atas 0,95 pada seluruh subset data menunjukkan bahwa prediksi model ANN memiliki tingkat korelasi yang sangat kuat terhadap hasil analisis konvensional.
3. Rumus empiris yang dihasilkan dari pemodelan ANN disusun berdasarkan parameter jaringan hasil pelatihan yang terdiri dari lima tahap, yaitu: normalisasi *input*, perhitungan nilai masukan *hidden layer*, penerapan fungsi aktivasi *tansig*, perhitungan nilai *output* dalam bentuk normalisasi, dan denormalisasi hasil prediksi untuk memperoleh nilai luas tulangan dalam satuan aslinya.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, antara lain sebagai berikut.

1. Objek penelitian ini menggunakan bangunan imajiner yang datanya ditentukan sendiri. Pada penelitian selanjutnya, objek penelitian bisa dilakukan menggunakan bangunan *existing* dengan data perencanaan yang lebih lengkap.
2. Parameter yang digunakan bisa lebih bervariasi dan lebih banyak sehingga dataset yang digunakan dalam pemodelan ANN bisa lebih luas. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan variasi parameter berupa dimensi kolom, zona gempa, serta variasi sistem struktur. Selain itu, kebutuhan tulangan balok yang diprediksi oleh ANN juga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk menganalisis potensi penghematan material, pengurangan *waste* tulangan, serta efisiensi biaya pekerjaan struktur.
3. Metode yang dipakai bisa dilanjutkan menggunakan metode kecerdasan buatan lainnya seperti *Support Vector Machine* (SVM), *Random Forest*, *Gradient Boosting*, *Deep Neural Network*, atau metode optimasi berbasis algoritma evolusioner, yang kemudian dapat dilakukan perbandingan untuk mengetahui metode mana yang lebih efektif dalam memprediksi kebutuhan tulangan balok beton bertulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-gburi, M., & Alhayani, A. A. (2025). *Artificial Neural Network Model for Evaluating Load Capacity of RC Deep Beams*.
- Chicco, D., Warrens, M. J., & Jurman, G. (2021). *The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation*. 1–24.
<https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>
- Fantara, F. P., Syauqy, D., & Setyawan, G. E. (2018). Implementasi Sistem Klasifikasi Sampah Organik dan Anorganik dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer (J-PTIIK) Universitas Brawijaya*, 2(11), 5577–5586.
- Gasser, M., Mahmoud, O., & Elsayed, T. (2023). *Reliable machine learning for the shear strength of beams strengthened using externally bonded FRP jackets*. April, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1153421>
- Hamdani, H., & Sa'diyah, H. (2025). Konsep Dasar Penyusunan Hipotesis dan Kajian Teori dalam Penelitian. *Journal of Linguistics and Social Studies*, 2(2), 64–73. <https://doi.org/10.52620/jls.v2i2.93>
- Harahap, K. F., Aminullah, A., & Priyosulistyo, H. (2022). Pendekatan Artificial Neural Network untuk Mengestimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung. *Inersia*, 18(1), 1–9. <https://doi.org/10.21831/inersia.v18i1.45481>
- Harnedi, R. A., Tanjung, J., & Sunaryati, J. (2023). Potensi Metode Jaringan Saraf Tiruan Dalam Memprediksi Respons Seismik Gedung Bertingkat Di Indonesia. *Journal of Infrastructure and Civil Engineering*, 3(1), 45–57.
<https://jice.sttp-yds.ac.id/index.php/jice/article/view/37>
- Ikhlas, M. (2018). EISSN 2599-2090 Fak. Teknik UMSB. *Perbandingan Kuat Tekn Beton Antara Campuran Agregat Kasar Batu Pecah (Split) Dengan Batu Alam Palembang Untuk Beton Struktur*, 1(1), 53.
- Ikhsan, M., Armansyah, A., & Tamba, A. A. (2022). Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Pada Klasifikasi Grade Teh Hitam. *Jurnal*

Sistem Komputer Dan Informatika (JSON), 4(2), 387.

<https://doi.org/10.30865/json.v4i2.5312>

- Jierula, A., Wang, S., & Oh, T. (2021). *applied sciences Study on Accuracy Metrics for Evaluating the Predictions of Damage Locations in Deep Piles Using Artificial Neural Networks with Acoustic Emission Data*.
- Nasautama S, & Sitompul M. (2022). Analisis Kebutuhan Tulangan dan Tulangan Sisa (Waste) Pekerjaan Struktur Kolom, Balok dan Pelat Lantai Proyek Pembangunan Pasar Baru Kabupaten Mandailing Natal. *Jurnal Teknik Sipil*, 14(2), 75–82.
- Nursulis, M., & Muspawi, M. (2024). Analisis Fungsi Dan Pentingnya Landasan Teori Dalam Penulisan Karya Ilmiah. *Jurnal Edu Research : Indonesian Institute For Corporate Learning And Studies (IICLS)*, 2(2), 28–33.
- Prasetyo, A. (2018). Analisis perencanaan gedung tahan gempa dengan menggunakan struktur beton bertulang berdasarkan peraturan SNI 2847:2013, SNI 1727:2013 dan SNI 1726:2012. *Jurnal LOGIKA*, 22(3), 34–40.
- Prayogo, D. (2018). Prediksi Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Metode Artificial Intelligence. *Seminar Nasional Ilmu Terapan (SNITER) 2018*, 1–6.
- Rajasekaran, S, & Vijayalakshmi Pai, G.A. (2003). *Neural Network, Fuzzy Logic, and Genetic Algorithms: Synthesis and Applications*. PHI Learning Private Limited, 17.
- Rerung, S., Wallah, S. E., & Pandaleke, R. E. (2022). Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Rumah Sakit 7 Lantai Di Kota Manado. *Tekno*, 20, 471–493.
- <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/tekno/article/view/43944%0Ahttps://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/tekno/article/viewFile/43944/38400>
- Ryan, Cooper, & Tauer. (2013). Pembebanan Struktur. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents, 1727(LI)*, 12–26.
- Sansujaya, E., Pah, J. J. S., & Udiana, I. M. (2021). Studi Kefektifan Dinding Geser pada Bangunan Tingkat Tinggi Dalam Mengurangi Simpangan Struktur. *JURNAL FORUM TEKNIK SIPIL (J-ForTekS)*, 1(1), 24–34.

<https://doi.org/10.35508/forteks.v1i1.4073>

Yudono, M. A. S. (2023). Perambatan Balik Untuk Klasifikasi Covid-19 Berbasis Orde Pertama Berdasarkan Citra Chest X-Ray. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 9, 799–808.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data 1

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Perkantoran	-
Lokasi	Bontang (L: 0.066667, B: 117.5)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	4	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	16	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	25	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobby & Resepsionis	4,79
2	Lounge / Ruang Tunggu Tamu	4,79
3	Ruang Meeting Tamu	4,79
4	Ruang Keamanan (Security & CCTV)	1,92
5	Kantin / Area Makan	4,79
6	Mushola	1,92
7	Toilet Pria	1,92
8	Toilet Wanita.	1,92
9	Gudang Umum	1,92
10	Ruang Panel & Utilitas	1,92
11	Koridor Lantai Pertama	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lantai 2	
1	Ruang Staff Divisi Admin & Umum	2,4
2	Ruang Staff Divisi Keuangan & Akunting.	2,4
3	Ruang Staff Divisi HRD (Personalia).	2,4
4	Ruang Staff Divisi IT.	2,4
5	Ruang Server	2,87
6	Ruang Arsip Dokumen	7,18
7	Ruang Meeting Internal Kecil	2,4
8	Pantry Staff	1,92
9	Toilet Pria.	1,92
10	Toilet Wanita.	1,92
11	Koridor di atas lantai pertama	3,83
C	Lantai 3	
1	Ruang Direktur Utama (CEO)	2,4
2	Ruang Manajer Operasional.	2,4
3	Ruang Divisi Marketing & Sales	2,4
4	Board Room (Ruang Rapat Utama)	4,79
5	Ruang Sekretaris / Admin Direksi	2,4
6	Ruang Training / Serbaguna	2,4
7	Ruang Laktasi / Kesehatan	2,4
8	Pantry VIP	1,92
9	Toilet Pria.	1,92
10	Toilet Wanita.	1,92
11	Koridor di atas lantai pertama	3,83
D	Lantai Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	5000	500	300	B1 (300 mm x 500 mm)
B2	4000	500	300	B2 (300 mm x 500 mm)
B3	3000	500	250	B3 (250 mm x 500 mm)
B1A	5000	500	250	B1A (250 mm x 500 mm)
B2A	4000	500	250	B2A (250 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	5,00	5,00	0,12	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	4,00	5,00	0,12	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	4,00	4,00	0,12	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	3,00	4,00	0,12	2 Arah
5	PA1	Pelat Atap	5,00	5,00	0,12	2 Arah
6	PA2	Pelat Atap	4,00	5,00	0,12	2 Arah
7	PA3	Pelat Atap	4,00	4,00	0,12	2 Arah
8	PA4	Pelat Atap	3,00	4,00	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	500	500
K2	450	450
K3	400	400

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	4D10 - 150
B2	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3	250	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	250	500	4D19	3D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B2A	250	500	4D19	3D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	4D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,172	0,132	500	4	25	500	5000
K1-B2	0,172	0,132	500	4	25	500	4000
K1-B3	0,172	0,132	500	4	25	500	3000
K1-B1A	0,172	0,132	500	4	25	500	5000
K1-B2A	0,172	0,132	500	4	25	500	4000
K1-B3A	0,172	0,132	500	4	25	500	3000
K2-B1	0,172	0,132	450	4	25	500	5000
K2-B2	0,172	0,132	450	4	25	500	4000
K2-B3	0,172	0,132	450	4	25	500	3000
K2-B1A	0,172	0,132	450	4	25	500	5000
K2-B2A	0,172	0,132	450	4	25	500	4000
K2-B3A	0,172	0,132	450	4	25	500	3000
K3-B1	0,172	0,132	400	4	25	500	5000
K3-B2	0,172	0,132	400	4	25	500	4000
K3-B3	0,172	0,132	400	4	25	500	3000
K3-B1A	0,172	0,132	400	4	25	500	5000
K3-B2A	0,172	0,132	400	4	25	500	4000
K3-B3A	0,172	0,132	400	4	25	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	2,094
K1-B2	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K1-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K1-B3A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	2,094
K2-B1	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	2,094
K2-B2	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K2-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K2-B3A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	2,094

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K3-B1	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	2,094
K3-B2	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K3-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K3-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K3-B3A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	2,094

Lampiran 2 Data 2

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Rumah Sakit	-
Lokasi	Bengkulu (L: -3.8, B: 102.25)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	5	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	20	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	35	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Ruang Tunggu dan Administrasi	1,92
2	IGD 1 (Instalasi Gawat Darurat - Tindakan)	2,87
3	IGD 2 (Observasi/Triase)	2,87
4	Pendaftaran & Rekam Medis	1,92
5	Kantin / Area Retail Kecil	2,87
6	Farmasi / Apotek	2,87
7	Laboratorium Klinis (Ambil Darah/Sample)	2,87
8	Poliklinik Spesialis 1	2,87
9	Toilet Pria (Posisi dekat akses koridor)	1,92
10	Toilet Wanita (Posisi dekat akses koridor)	1,92
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Ruang Operasi (OK) 1	2,87
2	Ruang Operasi (OK) 2	2,87
3	ICU / HCU (Perawatan Intensif)	2,87
4	Ruang Dokter & Perawat Jaga	1,92
5	Ruang Tindakan Bedah Minor	2,87
6	Ruang Fisioterapi	1,92
7	Gudang Logistik Medis	7,18
8	Ruang Panel / IT Server	2,87
9	Toilet Pria (Posisi dekat akses koridor)	1,92
10	Toilet Wanita (Posisi dekat akses koridor)	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Nurse Station (Pusat kendali perawat)	2,87
2	Kamar Rawat Inap Kelas 1 (A)	2,87
3	Kamar Rawat Inap Kelas 1 (B)	2,87
4	Kamar Rawat Inap VIP 1	2,87
5	Kamar Rawat Inap VIP 2	2,87
6	Ruang Konsultasi Dokter	1,92
7	Ruang Tindakan Rawat Inap	2,87
8	Pantry / Ruang Gizi Pasien	2,87
9	Toilet Pria (Posisi dekat akses koridor)	1,92
10	Toilet Wanita (Posisi dekat akses koridor)	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Ruang Direktur & Manajemen	1,92
2	Ruang Rapat / Aula Pelatihan	2,4
3	Ruang Komite Medik	1,92
4	Ruang Linen & Laundry (Area bersih)	2,87
5	Kamar Rawat Inap VIP 3 (Tambahan)	2,87
6	Kamar Rawat Inap VIP 4 (Tambahan)	2,87
7	Mushola	1,92
8	Ruang Istirahat Karyawan	1,92
9	Toilet Pria (Posisi dekat akses koridor)	1,92
10	Toilet Wanita (Posisi dekat akses koridor)	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt ATAP	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	4000	750	450	B1 (450 mm x 750 mm)
B2	3000	600	350	B2 (350 mm x 600 mm)
B1A	4000	500	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	3000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	4,00	4,00	0,13	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	4,00	3,00	0,13	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	3,00	3,00	0,13	2 Arah
4	PA1	Pelat Atap	4,00	4,00	0,13	2 Arah
5	PA2	Pelat Atap	4,00	3,00	0,13	2 Arah
6	PA3	Pelat Atap	3,00	3,00	0,13	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	600	600
K2	500	500

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	450	750	7D19	5D19	4D19	5D19	2D13 - 100	2D13 - 150
B2	350	600	5D19	4D19	3D19	5D19	3D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	2D13 - 100	2D13 - 100
B2A	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	2D13 - 100	2D13 - 100

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	1,5	1,02	600	5	35	750	4000
K1-B2	1,5	1,02	600	5	35	600	3000
K1-B1A	1,5	1,02	600	5	35	500	4000
K1-B2A	1,5	1,02	600	5	35	500	3000
K2-B1	1,5	1,02	500	5	35	750	4000
K2-B2	1,5	1,02	500	5	35	600	3000
K2-B1A	1,5	1,02	500	5	35	500	4000
K2-B2A	1,5	1,02	500	5	35	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	19,847	14,176	11,341	14,176	2,655	1,770
K1-B2	14,176	11,341	8,506	14,176	2,356	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	2,655	2,655
K1-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	2,655	2,655
K2-B1	19,847	14,176	11,341	14,176	2,655	1,770
K2-B2	14,176	11,341	8,506	14,176	2,356	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	2,655	2,655
K2-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	2,655	2,655

Lampiran 3 Data 3

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Rumah Sakit	-
Lokasi	Ambon	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	8	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	32	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	35	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi dan Resepsionis	4,79
2	Ruang Tunggu Pasien	4,79
3	Ruang Instalasi Gawat Darurat	2,87
4	Ruang Observasi Pasien	1,92
5	Apotek dan Farmasi	2,4
6	Poliklinik Umum A	2,4
7	Poliklinik Umum B	2,4
8	Ruang Rekam Medis	6
9	Toilet Umum Pria	1,92
10	Toilet Umum Wanita	1,92
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Poliklinik Spesialis A	2,4
2	Poliklinik Spesialis B	2,4
3	Poliklinik Spesialis C	2,4
4	Laboratorium Medis	2,87
5	Ruang Pengambilan Darah	2,87
6	Ruang Radiologi	2,87
7	Ruang Istirahat Dokter	2,4
8	Gudang Alat Medis	6
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Ruang Operasi Utama A	2,87
2	Ruang Operasi Utama B	2,87
3	Ruang Persiapan Operasi	2,87
4	Ruang Pemulihan PACU	1,92
5	Ruang Perawatan ICU A	1,92
6	Ruang Perawatan ICU B	1,92
7	Ruang Sterilisasi Alat CSSD	2,87
8	Ruang Ganti Medis	2,4
9	Gudang Steril	6
10	Ruang Janitor	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Kamar Rawat Inap Standar A	1,92
2	Kamar Rawat Inap Standar B	1,92
3	Kamar Rawat Inap Standar C	1,92
4	Kamar Rawat Inap Standar D	1,92
5	Kamar Rawat Inap Standar E	1,92
6	Kamar Rawat Inap Standar F	1,92
7	Nurse Station Perawat	2,4
8	Ruang Tindakan Medis	2,87
9	Gudang Linen	6
10	Ruang Spoolhoek	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Kamar Rawat Inap Kelas Satu A	1,92
2	Kamar Rawat Inap Kelas Satu B	1,92
3	Kamar Rawat Inap Kelas Satu C	1,92
4	Kamar Rawat Inap Kelas Satu D	1,92

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Kamar Rawat Inap Kelas Satu E	1,92
6	Kamar Rawat Inap Kelas Satu F	1,92
7	Nurse Station Perawat	2,4
8	Ruang Dokter Jaga	2,4
9	Gudang Linen Bersih	6
10	Ruang Spoolhoek	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt 6	
1	Kamar Rawat Inap VIP A	1,92
2	Kamar Rawat Inap VIP B	1,92
3	Kamar Rawat Inap VIP C	1,92
4	Kamar Rawat Inap VIP D	1,92
5	Kamar Rawat Inap VVIP A	1,92
6	Kamar Rawat Inap VVIP B	1,92
7	Nurse Station Khusus VIP	2,4
8	Ruang Tunggu Keluarga VIP	3,83
9	Pantry Khusus VIP	2,4
10	Ruang Spoolhoek	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
G	Lt 7	
1	Ruang Direktur Utama	2,4
2	Ruang Rapat Manajemen	4,79
3	Ruang Staf Administrasi	2,4
4	Ruang Arsip Keuangan	6
5	Dapur Instalasi Gizi	4,79
6	Ruang Server dan IT	4,79
7	Gudang Logistik Umum	6
8	Ruang Panel dan Utilitas	4,79
9	Toilet Manajemen Pria	1,92
10	Toilet Manajemen Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
H	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	6000	600	400	B1 (400 mm x 600 mm)
B2	5000	500	350	B2 (350 mm x 500 mm)
B3	3000	500	300	B3 (300 mm x 500 mm)
B1A	6000	500	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	5000	500	250	B2A (250 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln timer	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	6,00	6,00	0,14	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	5,00	6,00	0,14	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	5,00	5,00	0,12	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	3,00	6,00	0,12	1 Arah
5	P5	Pelat Lantai	3,00	5,00	0,12	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	6,00	6,00	0,15	2 Arah
7	P2A	Pelat Atap	5,00	6,00	0,14	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	5,00	5,00	0,13	2 Arah
9	P4A	Pelat Atap	3,00	6,00	0,12	1 Arah
10	P5A	Pelat Atap	3,00	5,00	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	600	600
K2	550	550
K3	500	500

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	400	600	7D19	5D19	3D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	350	500	5D19	4D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	500	4D19	3D19	3D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2A	250	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	1,300	0,587	600	8	35	600	6000
K1-B2	1,300	0,587	600	8	35	500	5000
K1-B3	1,300	0,587	600	8	35	500	3000
K1-B1A	1,300	0,587	600	8	35	500	6000
K1-B2A	1,300	0,587	600	8	35	500	5000
K1-B3A	1,300	0,587	600	8	35	500	3000
K2-B1	1,300	0,587	550	8	35	600	6000
K2-B2	1,300	0,587	550	8	35	500	5000
K2-B3	1,300	0,587	550	8	35	500	3000
K2-B1A	1,300	0,587	550	8	35	500	6000
K2-B2A	1,300	0,587	550	8	35	500	5000
K2-B3A	1,300	0,587	550	8	35	500	3000
K3-B1	1,300	0,587	500	8	35	600	6000
K3-B2	1,300	0,587	500	8	35	500	5000
K3-B3	1,300	0,587	500	8	35	500	3000
K3-B1A	1,300	0,587	500	8	35	500	6000
K3-B2A	1,300	0,587	500	8	35	500	5000
K3-B3A	1,300	0,587	500	8	35	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	19,847	14,176	8,506	14,176	3,142	1,047
K1-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	8,506	14,176	3,142	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K1-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B1	19,847	14,176	8,506	14,176	3,142	1,047
K2-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	8,506	14,176	3,142	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B1	19,847	14,176	8,506	14,176	3,142	1,047
K3-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B1A	11,341	8,506	8,506	14,176	3,142	1,047
K3-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047

Lampiran 4 Data 4

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Sekolah	-
Lokasi	Makassar (L: -5.133333, B: 119.45)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	6	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	24	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	35	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi Utama / Ruang Penerimaan	4,79
2	Ruang Kepala Sekolah & Wakil	2,4
3	Ruang Tata Usaha (Administrasi)	2,4
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Guru	2,4
6	Ruang Rapat Utama	2,4
7	Toilet Wanita	1,92
8	Perpustakaan (Area Rak Buku & Sirkulasi)	7,18
9	Perpustakaan (Area Ruang Baca)	2,87
10	Ruang UKS (Unit Kesehatan Sekolah) / Klinik	2,87
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Ruang Kelas A	1,92
2	Ruang Kelas B	1,92
3	Ruang Kelas C	1,92
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Kelas D	1,92
6	Ruang Kelas E	1,92
7	Toilet Wanita	1,92
8	Laboratorium Komputer	2,87
9	Ruang BK (Bimbingan Konseling)	2,4
10	Ruang OSIS / Kesekretariatan Siswa	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Ruang Kelas F	1,92
2	Ruang Kelas G	1,92
3	Ruang Kelas H	1,92
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Kelas I	1,92
6	Ruang Kelas J	1,92
7	Toilet Wanita	1,92
8	Laboratorium Biologi	2,87
9	Laboratorium Fisika	2,87
10	Laboratorium Kimia	2,87
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Ruang Kelas K	1,92
2	Ruang Kelas L	1,92
3	Ruang Kelas M	1,92
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Kelas N	1,92
6	Ruang Kelas O	1,92
7	Toilet Wanita	1,92
8	Laboratorium Bahasa	2,87
9	Ruang Seni / Audio Visual	2,87
10	Ruang Ekstrakurikuler Khusus	2,87
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Ruang Olahraga Indoor	4,79
2	Ruang Ibadah (Mushola Pria)	4,79
3	Ruang Ibadah (Mushola Wanita)	4,79
4	Toilet Pria	1,92

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Aula / Ruang Serbaguna (Sayap Kiri)	4,79
6	Aula / Ruang Serbaguna (Sayap Kanan)	4,79
7	Toilet Wanita	1,92
8	Gudang Peralatan Umum	6
9	Ruang Persiapan / Ganti (Backstage Aula)	4,79
10	Ruang Server / Kontrol Utilitas Gedung	6
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	7000	700	500	B1 (500 mm x 700 mm)
B2	6000	600	400	B2 (400 mm x 600 mm)
B1A	7000	450	300	B1A (300 mm x 450 mm)
B2A	6000	400	250	B2A (250 mm x 400 mm)
BA1	7000	450	300	BA1 (300 mm x 450 mm)
BA2	6000	400	300	BA2 (300 mm x 400 mm)
B3A	3000	200	150	B3A (150 mm x 200 mm)
B3	3000	300	200	B3 (200 mm x 300 mm)
BA1A	7000	450	300	BA1A (300 mm x 450 mm)
BA2A	6000	400	300	BA2A (300 mm x 400 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Type Plat
1	P1	Pelat Lantai	7,00	3,50	0,15	1 Arah
2	P2	Pelat Lantai	6,00	3,50	0,15	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	6,00	3,00	0,15	1 Arah
4	P4	Pelat Lantai	7,00	3,00	0,15	1 Arah
5	P5	Pelat Lantai	6,00	6,00	0,15	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	7,00	3,50	0,15	1 Arah
7	P2A	Pelat Atap	6,00	3,50	0,15	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	6,00	3,00	0,15	1 Arah
9	P4A	Pelat Atap	7,00	3,00	0,15	1 Arah
10	P5A	Pelat Atap	7,00	6,00	0,15	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	600	600
K2	550	550
K3	500	500

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	500	700	11D19	7D19	4D19	8D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	400	600	5D19	4D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	500	4D19	3D19	2D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2A	300	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
BA1	300	450	4D19	3D19	3D19	3D19	2D10 - 150	2D10 - 150
BA2	300	400	2D19	2D19	2D19	2D19	2D10 - 150	2D10 - 150
B3A	300	500	4D19	4D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	300	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
BA1A	300	450	2D19	2D19	2D19	2D19	2D10 - 150	2D10 - 150
BA2A	300	400	2D19	2D19	2D19	2D19	2D10 - 150	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,292	0,163	600	6	35	700	7000
K1-B2	0,292	0,163	600	6	35	600	6000
K1-B3	0,292	0,163	600	6	35	500	3000
K1-B1A	0,292	0,163	600	6	35	500	7000
K1-B2A	0,292	0,163	600	6	35	500	6000
K1-B3A	0,292	0,163	600	6	35	500	3000
K2-B1	0,292	0,163	550	6	35	700	7000
K2-B2	0,292	0,163	550	6	35	600	6000

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K2-B3	0,292	0,163	550	6	35	500	3000
K2-B1A	0,292	0,163	550	6	35	500	7000
K2-B2A	0,292	0,163	550	6	35	500	6000
K2-B3A	0,292	0,163	550	6	35	500	3000
K3-B1	0,292	0,163	500	6	35	700	7000
K3-B2	0,292	0,163	500	6	35	600	6000
K3-B3	0,292	0,163	500	6	35	500	3000
K3-B1A	0,292	0,163	500	6	35	500	7000
K3-B2A	0,292	0,163	500	6	35	500	6000
K3-B3A	0,292	0,163	500	6	35	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	31,188	19,847	11,341	22,682	3,142	1,047
K1-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	5,671	14,176	3,142	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K1-B3A	11,341	11,341	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B1	31,188	19,847	11,341	22,682	3,142	1,047
K2-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	5,671	14,176	3,142	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B3A	11,341	11,341	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B1	31,188	19,847	11,341	22,682	3,142	1,047
K3-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B1A	11,341	8,506	5,671	14,176	3,142	1,047
K3-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B3A	11,341	11,341	5,671	11,341	3,142	1,047

Lampiran 5 Data 5

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Hotel	-
Lokasi	Denpasar (L -8,616667 ; B 115,216667))	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	7	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	28	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi & Resepsionis Utama	4,79
2	Lounge Tamu	4,79
3	Restoran & Cafe	4,79
4	Dapur Restoran	4,79
5	Ruang Back Office	2,4
6	Ruang Penitipan Koper	6
7	Ruang Kontrol Keamanan & CCTV	2,4
8	Ruang Panel Listrik & Utilitas	6
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Ruang Serbaguna	4,79
2	Ruang Rapat 1	4,79
3	Ruang Rapat 2	4,79
4	Pusat Kebugaran	4,79
5	Ruang Spa & Relaksasi	1,92
6	Ruang Istirahat Karyawan	2,4
7	Ruang Cuci Laundry	2,4
8	Gudang Furnitur	6
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Kamar Tidur Tamu 1	1,92
2	Kamar Tidur Tamu 2	1,92
3	Kamar Tidur Tamu 3	1,92
4	Kamar Tidur Tamu 4	1,92
5	Kamar Tidur Tamu 5	1,92
6	Kamar Tidur Tamu 6	1,92
7	Kamar Tidur Tamu 7	1,92
8	Kamar Tidur Tamu 8	1,92
9	Gudang Linen & Troli	6
10	Ruang Janitor & Panel	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Kamar Tidur Tamu 9	1,92
2	Kamar Tidur Tamu 10	1,92
3	Kamar Tidur Tamu 11	1,92
4	Kamar Tidur Tamu 12	1,92
5	Kamar Tidur Tamu 13	1,92
6	Kamar Tidur Tamu 14	1,92
7	Kamar Tidur Tamu 15	1,92
8	Kamar Tidur Tamu 16	1,92
9	Gudang Linen & Troli	6
10	Ruang Janitor & Panel	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Kamar Tidur Tamu 17	1,92
2	Kamar Tidur Tamu 18	1,92
3	Kamar Tidur Tamu 19	1,92
4	Kamar Tidur Tamu 20	1,92

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Kamar Tidur Tamu 21	1,92
6	Kamar Tidur Tamu 22	1,92
7	Kamar Tidur Tamu 23	1,92
8	Kamar Tidur Tamu 24	1,92
9	Gudang Linen & Troli	6
10	Ruang Janitor & Panel	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt 6	
1	Kamar Suite 1	1,92
2	Kamar Suite 2	1,92
3	Kamar Suite 3	1,92
4	Kamar Suite 4	1,92
5	Executive Lounge	4,79
6	Pantry Lounge	4,79
7	Balkon Terbuka	4,79
8	Toilet Premium	1,92
9	Gudang Linen & Troli	6
10	Ruang Janitor & Panel	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
G	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	5000	500	350	B1 (350 mm x 500 mm)
B2	3000	500	350	B2 (350 mm x 500 mm)
B1A	5000	500	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	3000	500	250	B2A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Lnx	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	5,00	5,00	0,12	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	3,00	5,00	0,12	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	3,00	3,00	0,12	2 Arah
4	PA1	Pelat Atap	5,00	5,00	0,12	2 Arah
5	PA2	Pelat Atap	3,00	5,00	0,12	2 Arah
6	PA3	Pelat Atap	3,00	3,00	0,12	2 Arah
10	P5A	Pelat Atap	7,00	6,00	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	500	500
K2	450	450
K3	400	400

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	350	500	5D19	4D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	350	500	5D19	4D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B2A	250	500	4D19	3D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,768	0,395	500	7	30	500	5000
K1-B2	0,768	0,395	500	7	30	500	3000
K1-B1A	0,768	0,395	500	7	30	500	5000
K1-B2A	0,768	0,395	500	7	30	500	3000
K2-B1	0,768	0,395	450	7	30	500	5000
K2-B2	0,768	0,395	450	7	30	500	3000
K2-B1A	0,768	0,395	450	7	30	500	5000
K2-B2A	0,768	0,395	450	7	30	500	3000
K3-B1	0,768	0,395	400	7	30	500	5000
K3-B2	0,768	0,395	400	7	30	500	3000
K3-B1A	0,768	0,395	400	7	30	500	5000
K3-B2A	0,768	0,395	400	7	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K2-B1	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K3-B1	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K3-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047

Lampiran 6 Data 6

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Perkantoran	-
Lokasi	Bandung (L: -6.96, B: 107.616667)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	9	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	36	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi Utama & Resepsionis	4,79
2	Area Tunggu / Lounge Tamu	4,79
3	Ruang Keamanan & Pusat Informasi	2,4
4	Toilet Pria	1,92
5	Bank / Pusat ATM	4,79
6	Kantin / Coffee Shop	4,79
7	Toilet Wanita	1,92
8	Ruang Utilitas & Panel ME	4,79
9	Ruang Kesehatan / Klinik Karyawan	2,4
10	Ruang Pengelola Gedung	2,4
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Ruang Staf HRD (Human Resources)	2,4
2	Ruang Interview & Rekrutmen	2,4
3	Ruang Staf Keuangan (Finance)	2,4
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Arsip Keuangan	4,79
6	Ruang Staf Administrasi Umum	2,4
7	Toilet Wanita	1,92
8	Ruang Rapat Kecil	4,79
9	Pantry Karyawan	4,79
10	Ruang Cetak / Fotokopi	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Ruang Staf Pemasaran (Marketing)	2,4
2	Ruang Staf Penjualan (Sales)	2,4
3	Ruang Rapat Tim Pemasaran	4,79
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Staf Operasional	2,4
6	Ruang Rapat Tim Operasional	4,79
7	Toilet Wanita	1,92
8	Ruang Arsip Aktif	4,79
9	Gudang Alat Tulis Kantor (ATK)	6
10	Ruang Istirahat (Breakroom)	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Ruang Staf IT (Information Technology)	2,4
2	Ruang Server & Pusat Data	2,4
3	Ruang R&D (Research & Development)	2,4
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Staf Desain & Kreatif	2,4
6	Studio Media / Podcast	2,4
7	Toilet Wanita	1,92
8	Ruang Rapat Divisi IT	2,4
9	Pantry Karyawan	4,79
10	Ruang Loker & Penyimpanan	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Ruang Kerja Manajer Divisi	2,4
2	Ruang Rapat Manajerial	4,79
3	Ruang Staf Legal & Compliance	2,4
4	Toilet Pria	1,92

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Ruang Staf Hubungan Masyarakat (PR)	4,79
6	Ruang Pelatihan (Training Room) 1	4,79
7	Toilet Wanita	1,92
8	Ruang Pelatihan (Training Room) 2	4,79
9	Perpustakaan / Ruang Baca Karyawan	7,18
10	Area Kerja Terbuka (Co-working Space)	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt 6	
1	Ruang Direktur Utama (CEO)	2,4
2	Ruang Direktur Keuangan & Operasional	2,4
3	Ruang Sekretaris Eksekutif	2,4
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Rapat Direksi (Boardroom)	4,79
6	Lounge Eksekutif / Ruang Tamu VIP	4,79
7	Toilet Wanita	1,92
8	Ruang Arsip Rahasia Direksi	4,79
9	Pantry Eksekutif	4,79
10	Ruang Istirahat Eksekutif	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
G	Lt 7	
1	Aula Utama / Ruang Serbaguna (Kiri)	4,79
2	Aula Utama / Ruang Serbaguna (Kanan)	4,79
3	Ruang Ibadah (Mushola Pria)	4,79
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Ibadah (Mushola Wanita)	4,79
6	Kantin Utama Karyawan	4,79
7	Toilet Wanita	1,92
8	Gudang Perlengkapan Acara	6
9	Ruang Persiapan Acara / Backstage	4,79
10	Area Olahraga / Gym Karyawan	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
H	Lt 8	
1	Sky Lounge / Area Bersantai Terbuka	4,79
2	Kafe Rooftop / Sky Dining	4,79
3	Ruang Rapat VIP (Sky Boardroom)	4,79
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Kontrol BMS (Building Management System)	2,4
6	Ruang Utilitas / Ruang Mesin Lift	7,18
7	Toilet Wanita	1,92
8	Ruang Rekreasi Karyawan (Game Room)	6
9	Studio Kreatif / Ruang Podcast	2,4

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
10	Gudang Logistik Rooftop	6
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
G	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	6000	600	400	B1 (400 mm x 600 mm)
B2	4000	500	300	B2 (300 mm x 500 mm)
B3	3000	400	300	B3 (300 mm x 400 mm)
B1A	6000	500	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	4000	500	250	B2A (250 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Lnx	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	5,60	5,60	0,15	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	5,70	3,60	0,13	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	3,70	3,70	0,13	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	5,70	2,60	0,13	1 Arah
5	P5	Pelat Lantai	3,70	2,70	0,13	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	5,70	5,70	0,15	2 Arah
7	P2A	Pelat Atap	5,75	3,70	0,13	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	3,75	3,75	0,13	2 Arah
9	P4A	Pelat Atap	5,75	2,70	0,13	1 Arah
10	P5A	Pelat Atap	3,75	2,75	0,13	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	550	550
K2	450	450
K3	400	400

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	400	600	7D19	5D19	4D19	6D19	4D10 - 100	2D10 - 200
B2	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 200
B3	300	400	2D19	2D19	2D19	3D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 200
B2A	250	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 200
B3A	250	500	3D19	3D19	2D19	3D19	4D10 - 100	2D10 - 200

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,663	0,260	550	9	30	600	6000
K1-B2	0,663	0,260	550	9	30	500	4000
K1-B3	0,663	0,260	550	9	30	400	3000
K1-B1A	0,663	0,260	550	9	30	500	6000
K1-B2A	0,663	0,260	550	9	30	500	4000
K1-B3A	0,663	0,260	550	9	30	500	3000
K2-B1	0,663	0,260	450	9	30	600	6000
K2-B2	0,663	0,260	450	9	30	500	4000
K2-B3	0,663	0,260	450	9	30	400	3000
K2-B1A	0,663	0,260	450	9	30	500	6000
K2-B2A	0,663	0,260	450	9	30	500	4000
K2-B3A	0,663	0,260	450	9	30	500	3000
K3-B1	0,663	0,260	400	9	30	600	6000
K3-B2	0,663	0,260	400	9	30	500	4000
K3-B3	0,663	0,260	400	9	30	400	3000
K3-B1A	0,663	0,260	400	9	30	500	6000
K3-B2A	0,663	0,260	400	9	30	500	4000
K3-B3A	0,663	0,260	400	9	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	19,847	14,176	11,341	17,012	3,142	0,785
K1-B2	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	0,785
K1-B3	5,671	5,671	5,671	8,506	3,142	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	0,785
K1-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	0,785
K1-B3A	8,506	8,506	5,671	8,506	3,142	0,785
K2-B1	19,847	14,176	11,341	17,012	3,142	0,785
K2-B2	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	0,785
K2-B3	5,671	5,671	5,671	8,506	3,142	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	0,785
K2-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	0,785
K2-B3A	8,506	8,506	5,671	8,506	3,142	0,785
K3-B1	19,847	14,176	11,341	17,012	3,142	0,785
K3-B2	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	0,785
K3-B3	5,671	5,671	5,671	8,506	3,142	1,047
K3-B1A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	0,785
K3-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	0,785
K3-B3A	8,506	8,506	5,671	8,506	3,142	0,785

Lampiran 7 Data 7

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Ruang Duka & Ruang Ibadah	-
Lokasi	Pekanbaru (L: 0.566667, B: 101.45)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	10	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	40	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi dan Resepsionis Utama	4,79
2	Ruang Tunggu Tamu	2,4
3	Ruang Informasi dan Administrasi	2,4
4	Ruang Transit dan Persiapan Jenazah	2,87
5	Toko Bunga dan Perlengkapan Duka	4,79
6	Kafetaria	4,79
7	Dapur Kafetaria	4,79
8	Gudang Umum	6
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Ruang Duka Standar A	4,79
2	Ruang Istirahat Keluarga A	1,92
3	Ruang Duka Standar B	4,79
4	Ruang Istirahat Keluarga B	1,92
5	Ruang Duka Standar C	4,79
6	Ruang Istirahat Keluarga C	1,92
7	Ruang Doa Bersama	4,79
8	Gudang Perlengkapan	7,18
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Ruang Duka Standar D	4,79
2	Ruang Istirahat Keluarga D	1,92
3	Ruang Duka Standar E	4,79
4	Ruang Istirahat Keluarga E	1,92
5	Ruang Duka Standar F	4,79
6	Ruang Istirahat Keluarga F	1,92
7	Ruang Doa Bersama	4,79
8	Pantry Lantai	1,92
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Ruang Duka VIP A	4,79
2	Ruang Istirahat VIP A	1,92
3	Kamar Mandi VIP A	1,92
4	Ruang Duka VIP B	4,79
5	Ruang Istirahat VIP B	1,92
6	Kamar Mandi VIP B	1,92
7	Ruang Penerimaan Tamu VIP	4,79
8	Pantry Khusus VIP	1,92
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Ruang Duka VVIP Utama	4,79
2	Ruang Tamu VVIP	4,79
3	Ruang Istirahat Keluarga VVIP	1,92
4	Kamar Mandi VVIP	1,92

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Ruang Makan Keluarga	4,79
6	Dapur Bersih VVIP	1,92
7	Ruang Persiapan Petugas VVIP	1,92
8	Gudang Perlengkapan VVIP	7,18
9	Toilet Tamu Pria	1,92
10	Toilet Tamu Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt 6	
1	Ruang Ibadah Kapasitas Menengah A	4,79
2	Ruang Ibadah Kapasitas Menengah B	4,79
3	Ruang Persiapan Tokoh Agama	1,92
4	Ruang Ganti Petugas	1,92
5	Ruang Audio Visual dan Kontrol	4,79
6	Ruang Penyimpanan Alat Musik	7,18
7	Ruang Laktasi	1,92
8	Gudang Kursi Tambahan	6
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
G	Lt 7	
1	Aula Ibadah Kapasitas Besar	7,18
2	Area Altar atau Mimbar	4,79
3	Ruang Persiapan Ibadah	1,92
4	Ruang Konseling Keluarga A	1,92
5	Ruang Konseling Keluarga B	1,92
6	Ruang Rapat Panitia Ibadah	4,79
7	Ruang Kontrol Pencahayaan dan Suara	4,79
8	Ruang Panel Listrik Lantai	4,79
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
H	Lt 8	
1	Ruang Penyimpanan Abu Kolumbarium A	6
2	Ruang Penyimpanan Abu Kolumbarium B	6
3	Ruang Penyimpanan Abu Kolumbarium C	6
4	Ruang Doa Pribadi A	1,92
5	Ruang Doa Pribadi B	1,92
6	Ruang Administrasi Kolumbarium	2,4
7	Ruang Transit dan Persiapan Guci	2,4
8	Ruang Istirahat Petugas	1,92
9	Toilet Pria	1,92

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
I	Lt 9	
1	Ruang Pimpinan Pengelola	2,4
2	Ruang Rapat Manajemen	4,79
3	Ruang Kerja Staf Pengelola	2,4
4	Ruang Arsip Dokumen	6
5	Ruang Server dan Komunikasi	4,79
6	Gudang Logistik Utama	6
7	Ruang Istirahat Karyawan	1,92
8	Ruang Mekanikal Elektrikal dan Utilitas	7,18
9	Toilet Karyawan Pria	1,92
10	Toilet Karyawan Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
J	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	7000	600	450	B1 (450 mm x 600 mm)
B2	5000	600	450	B2 (450 mm x 600 mm)
B3	3000	500	350	B3 (350 mm x 500 mm)
BA1	7000	500	350	BA1 (350 mm x 500 mm)
B1A	7000	500	350	B1A (350 mm x 500 mm)
B2A	5000	500	350	B2A (350 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	300	B3A (300 mm x 500 mm)
BA1A	7000	500	250	BA1A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln timer	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	6,55	3,10	0,13	1 Arah
2	P2	Pelat Lantai	6,55	4,55	0,15	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	4,55	4,55	0,12	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	6,65	2,55	0,13	1 Arah
5	P5	Pelat Lantai	4,65	2,55	0,12	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	6,65	3,20	0,14	1 Arah
7	P2A	Pelat Atap	6,65	4,65	0,15	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	4,65	4,65	0,12	2 Arah
9	P4A	Pelat Atap	6,70	2,65	0,13	1 Arah
10	P5A	Pelat Atap	4,70	2,65	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	700	700
K2	650	650
K3	550	550

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	450	600	6D19	5D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	450	600	6D19	5D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	350	500	5D19	4D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
BA1	350	500	3D19	3D19	3D19	3D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B1A	350	500	5D19	4D19	3D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2A	350	500	5D19	4D19	3D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3A	300	500	5D19	4D19	3D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
BA1A	250	500	3D19	3D19	3D19	3D19	2D10 - 100	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,4079	0,3706	700	10	30	600	7000
K1-B2	0,4079	0,3706	700	10	30	600	5000
K1-B3	0,4079	0,3706	700	10	30	500	3000
K1-B1A	0,4079	0,3706	700	10	30	500	7000
K1-B2A	0,4079	0,3706	700	10	30	500	5000
K1-B3A	0,4079	0,3706	700	10	30	500	3000
K2-B1	0,4079	0,3706	650	10	30	600	7000
K2-B2	0,4079	0,3706	650	10	30	600	5000
K2-B3	0,4079	0,3706	650	10	30	500	3000
K2-B1A	0,4079	0,3706	650	10	30	500	7000
K2-B2A	0,4079	0,3706	650	10	30	500	5000

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K2-B3A	0,4079	0,3706	650	10	30	500	3000
K3-B1	0,4079	0,3706	550	10	30	600	7000
K3-B2	0,4079	0,3706	550	10	30	600	5000
K3-B3	0,4079	0,3706	550	10	30	500	3000
K3-B1A	0,4079	0,3706	550	10	30	500	7000
K3-B2A	0,4079	0,3706	550	10	30	500	5000
K3-B3A	0,4079	0,3706	550	10	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	17,012	14,176	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B2	17,012	14,176	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B3	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B1A	14,176	11,341	8,506	14,176	3,142	1,047
K1-B2A	14,176	11,341	8,506	14,176	3,142	1,047
K1-B3A	14,176	11,341	8,506	14,176	3,142	1,047
K2-B1	17,012	14,176	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B2	17,012	14,176	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B3	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B1A	14,176	11,341	8,506	14,176	3,142	1,047
K2-B2A	14,176	11,341	8,506	14,176	3,142	1,047
K2-B3A	14,176	11,341	8,506	14,176	3,142	1,047
K3-B1	17,012	14,176	11,341	14,176	3,142	1,047
K3-B2	17,012	14,176	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B3	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B1A	14,176	11,341	8,506	14,176	3,142	1,047
K3-B2A	14,176	11,341	8,506	14,176	3,142	1,047
K3-B3A	14,176	11,341	8,506	14,176	3,142	1,047

Lampiran 8 Data 8

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Perpustakaan	-
Lokasi	Manado (L: 1.55, B: 124.883333)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	11	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	44	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Ruang Pendaftaran & Penitipan Barang	2,4
2	Lobi Utama & Resepsionis Perpustakaan	4,79
3	Area Pameran Buku Baru & Informasi	4,79
4	Ruang Sortir & Pengembalian Buku	4,79
5	Kantin / Cafe Literasi	4,79
6	Ruang Baca Anak & Keluarga	2,87
7	Ruang Pengolahan Buku	2,4
8	Ruang Kepala Perpustakaan & Tata Usaha	2,4
9	Ruang Keamanan & Panel Gedung	2,4
10	Area Tunggu / Lounge	4,79
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Ruang Rak Koleksi Umum A	7,18
2	Ruang Rak Koleksi Umum B	7,18
3	Ruang Rak Koleksi Umum C	7,18
4	Ruang Baca Terbuka A	2,87
5	Ruang Baca Terbuka B	2,87
6	Ruang Baca Terbuka C	2,87
7	Ruang Diskusi Kelompok 1	4,79
8	Ruang Rak Koleksi Umum D	7,18
9	Ruang Rak Koleksi Fiksi & Sastra	7,18
10	Area Pencarian Katalog (OPAC)	2,87
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Ruang Koleksi Referensi & Ensiklopedia	7,18
2	Ruang Koleksi Jurnal & Terbitan Berkala	7,18
3	Ruang Baca Referensi (Zona Tenang)	2,87
4	Ruang Diskusi Kelompok 2	4,79
5	Ruang Diskusi Kelompok 3	4,79
6	Ruang Audio Visual / Teater Mini	4,79
7	Gudang Arsip Majalah & Koran	7,18
8	Ruang Koleksi Karya Ilmiah A	7,18
9	Ruang Koleksi Karya Ilmiah B	7,18
10	Ruang Baca Lesehan	2,87
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Ruang Rak Skripsi & Tesis A	7,18
2	Ruang Rak Skripsi & Tesis B	7,18
3	Ruang Koleksi Buku Langka	7,18
4	Ruang Restorasi & Perawatan Buku	2,4
5	Ruang Staf Kurator	2,4
6	Ruang Baca Koleksi Khusus	2,87
7	Ruang Koleksi Braille & Inklusi	2,87
8	Area Baca Braille & Audio	2,87
9	Area Baca Khusus Peneliti	2,87
10	Ruang Loker Khusus Peneliti	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Laboratorium Komputer / E-Library	4,79
2	Area Akses Jurnal Internasional	4,79
3	Area Baca Gadget & Tablet	2,87
4	Ruang Rapat Internal Perpustakaan	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Ruang Staf IT Perpustakaan	2,4
6	Studio Podcast / Rekaman Edukasi	2,4
7	Ruang Server Utama Gedung	4,79
8	Area Baca Digital A	2,87
9	Area Baca Digital B	2,87
10	Ruang Istirahat Staf Perpustakaan	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt 6	
1	Area Kerja Terbuka (Hot Desk) A	2,4
2	Area Kerja Terbuka (Hot Desk) B	2,4
3	Area Kerja Terbuka (Hot Desk) C	2,4
4	Toilet Pria	2,4
5	Resepsionis & Lounge Co-working	4,79
6	Pantry / Area Coffee Break	4,79
7	Toilet Wanita	2,4
8	Area Meja Tetap (Dedicated Desk) A	2,4
9	Area Meja Tetap (Dedicated Desk) B	2,4
10	Loker Member Co-working	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
G	Lt 7	
1	Kantor Privat (Startup A)	2,4
2	Kantor Privat (Startup B)	2,4
3	Ruang Rapat Sedang	4,79
4	Toilet Pria	2,4
5	Ruang Rapat Kecil	4,79
6	Bilik Telepon (Phone Booth)	2,4
7	Toilet Wanita	2,4
8	Kantor Privat (Startup C)	2,4
9	Kantor Privat (Startup D)	2,4
10	Ruang Cetak & ATK	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
H	Lt 8	
1	Mini Amphitheater / Area Presentasi	4,79
2	Area Audiens / Aula Terbuka A	4,79
3	Area Audiens / Aula Terbuka B	4,79
4	Toilet Pria	2,4
5	Ruang Pelatihan / Workshop 1	4,79
6	Ruang Pelatihan / Workshop 2	4,79
7	Toilet Wanita	2,4
8	Area Pameran (Showcase Startup)	4,79
9	Ruang Istirahat / Nap Room	2,4

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
10	Gudang Perlengkapan Event	6
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
I	Lt 9	
1	Zona Kerja Hening (Silent Area) A	2,4
2	Zona Kerja Hening (Silent Area) B	2,4
3	Zona Kerja Hening (Silent Area) C	2,4
4	Toilet Pria	2,4
5	Ruang Rapat Eksekutif (Boardroom)	2,4
6	Lounge VIP Eksekutif	4,79
7	Toilet Wanita	4,79
8	Kantor Privat Premium A	2,4
9	Kantor Privat Premium B	2,4
10	Pantry Eksekutif	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
J	Lt 10	
1	Sky Co-working A	2,4
2	Sky Co-working B	2,4
3	Sky Co-working C	2,4
4	Toilet Pria	2,4
5	Ruang Permainan (Game Room)	2,4
6	Kafe Rooftop	4,79
7	Toilet Wanita	4,79
8	Ruang Ibadah / Mushola	2,4
9	Studio Kreatif / Brainstorming	7,18
10	Ruang Utilitas Atas (Mesin Lift / MEP)	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
K	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	8000	700	500	B1 (500 mm x 700 mm)
B2	5000	500	300	B2 (300 mm x 500 mm)
B3	3000	500	300	B3 (300 mm x 500 mm)
B1A	8000	600	350	B1A (350 mm x 600 mm)
B2A	5000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)
BA1	8000	500	300	BA1 (300 mm x 500 mm)
BA2	5000	400	300	BA2 (300 mm x 400 mm)
BA1A	8000	500	300	BA1A (300 mm x 500 mm)
BA2A	5000	400	300	BA2A (300 mm x 400 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Lnx	h	Type Plat
1	P1	Pelat Lantai	3,50	3,70	0,1	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	4,50	3,70	0,13	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	4,70	2,70	0,13	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	7,70	2,50	0,14	1 Arah
5	P5	Pelat Lantai	4,70	4,70	0,13	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	3,65	3,70	0,1	2 Arah
7	P2A	Pelat Atap	4,65	3,70	0,13	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	4,75	2,70	0,13	2 Arah
9	P4A	Pelat Atap	7,75	2,65	0,14	1 Arah
10	P5A	Pelat Atap	4,70	4,70	0,13	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	800	800
K2	600	600
K3	500	500

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	500	700	8D19	6D19	4D19	8D19	4D10 - 100	2D10 - 200
B2	300	500	3D19	3D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 200
B3	300	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	350	600	7D19	5D19	3D19	7D19	2D10 - 100	2D10 - 200
B2A	300	500	4D19	3D19	2D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 200
B3A	250	500	3D19	3D19	2D19	3D19	2D10 - 100	2D10 - 200
BA1	300	500	3D16	3D16	3D16	4D16	2D10 - 150	2D10 - 150
BA2	300	400	2D16	2D16	2D16	2D16	2D10 - 150	2D10 - 150
BA1A	300	500	3D16	3D16	3D16	3D16	2D10 - 150	2D10 - 150
BA2A	300	400	2D16	2D16	2D16	2D16	2D10 - 150	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,736	0,306	800	11	30	700	8000
K1-B2	0,736	0,306	800	11	30	500	5000
K1-B3	0,736	0,306	800	11	30	500	3000
K1-B1A	0,736	0,306	800	11	30	600	8000
K1-B2A	0,736	0,306	800	11	30	500	5000
K1-B3A	0,736	0,306	800	11	30	500	3000
K2-B1	0,736	0,306	600	11	30	700	8000
K2-B2	0,736	0,306	600	11	30	500	5000
K2-B3	0,736	0,306	600	11	30	500	3000
K2-B1A	0,736	0,306	600	11	30	600	8000
K2-B2A	0,736	0,306	600	11	30	500	5000
K2-B3A	0,736	0,306	600	11	30	500	3000
K3-B1	0,736	0,306	500	11	30	700	8000
K3-B2	0,736	0,306	500	11	30	500	5000
K3-B3	0,736	0,306	500	11	30	500	3000
K3-B1A	0,736	0,306	500	11	30	600	8000
K3-B2A	0,736	0,306	500	11	30	500	5000
K3-B3A	0,736	0,306	500	11	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	22,682	17,012	11,341	22,682	3,142	0,785
K1-B2	8,506	8,506	8,506	11,341	1,571	0,785
K1-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K1-B1A	19,847	14,176	8,506	19,847	1,571	0,785
K1-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	0,785
K1-B3A	8,506	8,506	5,671	8,506	1,571	0,785
K2-B1	22,682	17,012	11,341	22,682	3,142	0,785
K2-B2	8,506	8,506	8,506	11,341	1,571	0,785
K2-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B1A	19,847	14,176	8,506	19,847	1,571	0,785
K2-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	0,785
K2-B3A	8,506	8,506	5,671	8,506	1,571	0,785

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K3-B1	22,682	17,012	11,341	22,682	3,142	0,785
K3-B2	8,506	8,506	8,506	11,341	1,571	0,785
K3-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B1A	19,847	14,176	8,506	19,847	1,571	0,785
K3-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	0,785
K3-B3A	8,506	8,506	5,671	8,506	1,571	0,785

Lampiran 9 Data 9

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Mall	-
Lokasi	Jayapura	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	11	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	44	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi Utama Mall	4,79
2	Atrium dan Area Pameran	4,79
3	Supermarket Area Segar	6
4	Supermarket Area Kering	6
5	Toko Fashion Jangkar A	4,79
6	Toko Fashion Jangkar B	4,79
7	Toko Kosmetik dan Parfum	4,79
8	Kafe Lobi Utama	4,79
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Toko Pakaian Pria	3,59
2	Toko Pakaian Wanita	3,59
3	Toko Sepatu dan Tas A	3,59
4	Toko Sepatu dan Tas B	3,59
5	Toko Perhiasan dan Jam	3,59
6	Toko Kacamata Optik	3,59
7	Toko Perlengkapan Olahraga	3,59
8	Toko Perlengkapan Bayi	3,59
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Toko Elektronik Pusat	3,59
2	Toko Gawai dan Komputer A	3,59
3	Toko Gawai dan Komputer B	3,59
4	Toko Kamera dan Aksesori	3,59
5	Toko Buku dan Alat Tulis	3,59
6	Toko Perabotan Rumah	3,59
7	Toko Dekorasi Interior	3,59
8	Area Servis Elektronik	3,59
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Toko Pakaian Anak	3,59
2	Toko Mainan Anak Besar	3,59
3	Area Bermain Anak Indoor	3,59
4	Taman Hiburan Keluarga A	4,79
5	Taman Hiburan Keluarga B	4,79
6	Toko Hobi dan Koleksi	3,59
7	Toko Perlengkapan Sekolah	3,59
8	Klinik Tumbuh Kembang Anak	2,4
9	Toilet Keluarga dan Anak	2,4
10	Ruang Menyusui Laktasi	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Pusat Jajanan Food Court A	4,79
2	Pusat Jajanan Food Court B	4,79
3	Restoran Cepat Saji	4,79
4	Restoran Keluarga Utama	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Restoran Hidangan Asia	4,79
6	Restoran Hidangan Barat	4,79
7	Kedai Kopi Premium	3,59
8	Toko Makanan Ringan dan Es Krim	3,59
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt 6	
1	Lobi Bioskop Utama	4,79
2	Studio Bioskop 1	2,87
3	Studio Bioskop 2	2,87
4	Studio Bioskop 3	2,87
5	Studio Bioskop Premiere	2,87
6	Area Penjualan Tiket dan Makanan	4,79
7	Ruang Proyektor dan Server	4,79
8	Gudang Logistik Bioskop	7,18
9	Toilet Pria Bioskop	2,4
10	Toilet Wanita Bioskop	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
G	Lt 7	
1	Pusat Permainan Arkade A	4,79
2	Pusat Permainan Arkade B	4,79
3	Area Permainan Biliar	3,59
4	Jalur Boling Utama A	3,59
5	Jalur Boling Utama B	3,59
6	Area Duduk Penonton Boling	3,59
7	Pusat Karaoke Keluarga A	4,79
8	Pusat Karaoke Keluarga B	4,79
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
H	Lt 8	
1	Area Tiket dan Pintu Masuk Aquarium	4,79
2	Kolam Sentuh Interaktif	11,97
3	Terowongan Kaca Aquarium Utama	11,97
4	Tangki Pameran Ikan Pari dan Hiu	11,97
5	Tangki Pameran Terumbu Karang	11,97
6	Ruang Filter dan Pompa Utama	11,97
7	Ruang Sistem Pendukung Kehidupan Air	11,97
8	Laboratorium Kualitas Air	2,87
9	Toilet Pengunjung Pria	2,4

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
10	Toilet Pengunjung Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
I	Lt 9	
1	Area Observasi Akuarium Atas	4,79
2	Tangki Pameran Ubur Ubur	11,79
3	Area Konservasi Penguin	11,79
4	Toko Suvenir Akuarium	3,59
5	Kafe Tema Laut	3,59
6	Ruang Karantina Hewan Air	11,79
7	Dapur Persiapan Pakan Hewan Laut	7,18
8	Ruang Istirahat Penyelam	2,4
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
J	Lt 10	
1	Kantor Manajemen Mall	2,4
2	Ruang Rapat Eksekutif	4,79
3	Ruang Kamera Pengawas CCTV	2,4
4	Ruang Server Utama	4,79
5	Gudang Logistik Mall	6
6	Ruang Istirahat Karyawan	2,4
7	Pantry Karyawan	2,4
8	Ruang Panel Listrik Utama	2,4
9	Toilet Karyawan Pria	2,4
10	Toilet Karyawan Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
K	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	8000	800	600	B1 (600 mm x 800 mm)
B2	4000	700	500	B2 (500 mm x 700 mm)
B3	3000	600	450	B3 (450 mm x 600 mm)
BA1	8000	500	300	BA1 (300 mm x 500 mm)
B1A	8000	500	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	4000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)
BA1A	8000	500	250	BA1A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	3,55	3,55	0,12	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	3,60	3,40	0,12	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	7,55	2,40	0,13	1 Arah
4	P4	Pelat Lantai	3,50	3,50	0,12	2 Arah
5	P5	Pelat Lantai	3,55	2,50	0,12	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	3,73	3,73	0,12	2 Arah
7	P2A	Pelat Atap	3,73	3,70	0,12	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	7,75	2,70	0,14	1 Arah
9	P4A	Pelat Atap	3,70	3,70	0,12	2 Arah
10	P5A	Pelat Atap	3,75	2,70	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	850	850
K2	800	800
K3	750	750

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	600	800	9D22	6D22	5D22	8D22	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	500	700	8D22	7D22	4D22	6D22	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	450	600	6D22	4D22	3D22	6D22	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	500	6D22	4D22	3D22	5D22	4D10 - 100	2D10 - 150
B2A	300	500	5D22	3D22	3D22	5D22	4D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	6D19	5D19	3D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
BA1	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	2D10 - 150	2D10 - 150
BA1A	250	500	3D19	3D19	3D19	3D19	2D10 - 150	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	1,5	0,723	850	11	30	800	8000
K1-B2	1,5	0,723	850	11	30	700	4000
K1-B3	1,5	0,723	850	11	30	600	3000
K1-B1A	1,5	0,723	850	11	30	500	8000
K1-B2A	1,5	0,723	850	11	30	500	4000
K1-B3A	1,5	0,723	850	11	30	500	3000
K2-B1	1,5	0,723	800	11	30	800	8000
K2-B2	1,5	0,723	800	11	30	700	4000
K2-B3	1,5	0,723	800	11	30	600	3000
K2-B1A	1,5	0,723	800	11	30	500	8000
K2-B2A	1,5	0,723	800	11	30	500	4000
K2-B3A	1,5	0,723	800	11	30	500	3000
K3-B1	1,5	0,723	750	11	30	800	8000
K3-B2	1,5	0,723	750	11	30	700	4000
K3-B3	1,5	0,723	750	11	30	600	3000
K3-B1A	1,5	0,723	750	11	30	500	8000
K3-B2A	1,5	0,723	750	11	30	500	4000
K3-B3A	1,5	0,723	750	11	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	34,212	22,808	19,007	30,411	3,142	1,047
K1-B2	30,411	26,609	15,205	22,808	3,142	1,047
K1-B3	22,808	15,205	11,404	22,808	3,142	1,047
K1-B1A	22,808	15,205	11,404	19,007	3,142	1,047
K1-B2A	19,007	11,404	11,404	19,007	3,142	1,047
K1-B3A	17,012	14,176	8,506	14,176	3,142	1,047
K2-B1	34,212	22,808	19,007	30,411	3,142	1,047
K2-B2	30,411	26,609	15,205	22,808	3,142	1,047
K2-B3	22,808	15,205	11,404	22,808	3,142	1,047
K2-B1A	22,808	15,205	11,404	19,007	3,142	1,047
K2-B2A	19,007	11,404	11,404	19,007	3,142	1,047
K2-B3A	17,012	14,176	8,506	14,176	3,142	1,047

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K3-B1	34,212	22,808	19,007	30,411	3,142	1,047
K3-B2	30,411	26,609	15,205	22,808	3,142	1,047
K3-B3	22,808	15,205	11,404	22,808	3,142	1,047
K3-B1A	22,808	15,205	11,404	19,007	3,142	1,047
K3-B2A	19,007	11,404	11,404	19,007	3,142	1,047
K3-B3A	17,012	14,176	8,506	14,176	3,142	1,047

Lampiran 10 Data 10

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Sekolah	-
Lokasi	Yogyakarta (L: -7.8, B: 110.35)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	6	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	24	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi Utama & Resepsionis	4,79
2	Lounge / Area Tunggu Tamu	4,79
3	Restoran / Area Sarapan	4,79
4	Toilet Pria	4,79
5	Dapur Restoran & Pantry	4,79
6	Ruang Back Office / Manajer	2,4
7	Toilet Wanita	4,79
8	Ruang Rapat Kecil (Meeting Room)	4,79
9	Ruang Keamanan & Staf	2,4
10	Ruang Penitipan Barang (Luggage)	6
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Kamar Suite A	1,92
2	Kamar Standar 01	1,92
3	Kamar Standar 02	1,92
4	Kamar Standar 03	1,92
5	Kamar Deluxe A	1,92
6	Kamar Deluxe B	1,92
7	Kamar Standar 04	1,92
8	Kamar Standar 05	1,92
9	Kamar Standar 06	1,92
10	Gudang Linen & Housekeeping	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Kamar Suite B	1,92
2	Kamar Standar 07	1,92
3	Kamar Standar 08	1,92
4	Kamar Standar 09	1,92
5	Kamar Deluxe C	1,92
6	Kamar Deluxe D	1,92
7	Kamar Standar 10	1,92
8	Kamar Standar 11	1,92
9	Kamar Standar 12	1,92
10	Area Duduk / Mini Lounge	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Kamar Suite C	1,92
2	Kamar Standar 13	1,92
3	Kamar Standar 14	1,92
4	Kamar Standar 15	1,92
5	Kamar Deluxe E	1,92
6	Kamar Deluxe F	1,92
7	Kamar Standar 16	1,92
8	Kamar Standar 17	1,92
9	Kamar Standar 18	1,92
10	Ruang Utilitas / Panel MEP	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Executive Suite A	1,92
2	Kamar Eksekutif 01	1,92
3	Kamar Eksekutif 02	1,92
4	Kamar Eksekutif 03	1,92

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Executive Suite B	1,92
6	Executive Suite C	1,92
7	Kamar Eksekutif 04	1,92
8	Kamar Eksekutif 05	1,92
9	Kamar Eksekutif 06	1,92
10	Gudang Perlengkapan / Akses Atap	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	6000	750	400	B1 (400 mm x 750 mm)
B2	5000	650	400	B2 (400 mm x 650 mm)
B3	3000	550	300	B3 (300 mm x 550 mm)
B1A	6000	500	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	5000	500	350	B2A (350 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	300	B3A (300 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	5,60	5,60	0,15	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	5,60	4,60	0,15	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	4,60	4,60	0,13	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	4,70	2,60	0,13	2 Arah
5	P5	Pelat Lantai	5,70	2,60	0,13	1 Arah
6	P1A	Pelat Atap	5,70	5,70	0,15	2 Arah
7	P2A	Pelat Atap	5,65	4,70	0,15	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	4,70	4,70	0,13	2 Arah
9	P4A	Pelat Atap	4,70	2,65	0,13	2 Arah
10	P5A	Pelat Atap	5,70	2,70	0,13	1 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	600	600
K2	550	550
K3	500	500

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	400	750	7D19	5D19	7D19	9D19	2D10 - 100	2D10 - 200
B2	400	650	6D19	5D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 200
B3	300	550	4D19	3D19	2D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 200
B1A	300	500	4D19	3D19	2D19	5D19	2D10 - 100	2D10 - 200
B2A	350	500	4D19	3D19	2D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 200
B3A	300	500	4D19	4D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,975	0,758	600	6	30	750	6000
K1-B2	0,975	0,758	600	6	30	650	5000
K1-B3	0,975	0,758	600	6	30	550	3000
K1-B1A	0,975	0,758	600	6	30	500	6000
K1-B2A	0,975	0,758	600	6	30	500	5000
K1-B3A	0,975	0,758	600	6	30	500	3000
K2-B1	0,975	0,758	550	6	30	750	6000
K2-B2	0,975	0,758	550	6	30	650	5000
K2-B3	0,975	0,758	550	6	30	550	3000
K2-B1A	0,975	0,758	550	6	30	500	6000
K2-B2A	0,975	0,758	550	6	30	500	5000
K2-B3A	0,975	0,758	550	6	30	500	3000
K3-B1	0,975	0,758	500	6	30	750	6000
K3-B2	0,975	0,758	500	6	30	650	5000
K3-B3	0,975	0,758	500	6	30	550	3000
K3-B1A	0,975	0,758	500	6	30	500	6000
K3-B2A	0,975	0,758	500	6	30	500	5000
K3-B3A	0,975	0,758	500	6	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	19,847	14,176	19,847	25,518	1,571	0,785
K1-B2	17,012	14,176	8,506	11,341	1,571	0,785
K1-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	0,785
K1-B1A	11,341	8,506	5,671	14,176	1,571	0,785
K1-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	0,785
K1-B3A	11,341	11,341	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B1	19,847	14,176	19,847	25,518	1,571	0,785
K2-B2	17,012	14,176	8,506	11,341	1,571	0,785
K2-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	0,785
K2-B1A	11,341	8,506	5,671	14,176	1,571	0,785
K2-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	0,785
K2-B3A	11,341	11,341	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B1	19,847	14,176	19,847	25,518	1,571	0,785
K3-B2	17,012	14,176	8,506	11,341	1,571	0,785
K3-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	0,785
K3-B1A	11,341	8,506	5,671	14,176	1,571	0,785
K3-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	0,785
K3-B3A	11,341	11,341	5,671	11,341	3,142	1,047

Lampiran 11 Data 11

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Hotel	-
Lokasi	Jakarta	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	7	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	28	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi & Resepsionis Utama	4,79
2	Lounge Tamu	4,79
3	Restoran & Cafe	4,79
4	Dapur Restoran	4,79
5	Ruang Back Office	2,4
6	Ruang Penitipan Koper	6
7	Ruang Kontrol Keamanan & CCTV	2,4
8	Ruang Panel Listrik & Utilitas	6
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Ruang Serbaguna	4,79
2	Ruang Rapat 1	4,79
3	Ruang Rapat 2	4,79
4	Pusat Kebugaran	4,79
5	Ruang Spa & Relaksasi	1,92
6	Ruang Istirahat Karyawan	2,4
7	Ruang Cuci Laundry	2,4
8	Gudang Furnitur	6
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Kamar Tidur Tamu 1	1,92
2	Kamar Tidur Tamu 2	1,92
3	Kamar Tidur Tamu 3	1,92
4	Kamar Tidur Tamu 4	1,92
5	Kamar Tidur Tamu 5	1,92
6	Kamar Tidur Tamu 6	1,92
7	Kamar Tidur Tamu 7	1,92
8	Kamar Tidur Tamu 8	1,92
9	Gudang Linen & Troli	6
10	Ruang Janitor & Panel	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Kamar Tidur Tamu 9	1,92
2	Kamar Tidur Tamu 10	1,92
3	Kamar Tidur Tamu 11	1,92
4	Kamar Tidur Tamu 12	1,92
5	Kamar Tidur Tamu 13	1,92
6	Kamar Tidur Tamu 14	1,92
7	Kamar Tidur Tamu 15	1,92
8	Kamar Tidur Tamu 16	1,92
9	Gudang Linen & Troli	6
10	Ruang Janitor & Panel	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Kamar Tidur Tamu 17	1,92
2	Kamar Tidur Tamu 18	1,92
3	Kamar Tidur Tamu 19	1,92
4	Kamar Tidur Tamu 20	1,92

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Kamar Tidur Tamu 21	1,92
6	Kamar Tidur Tamu 22	1,92
7	Kamar Tidur Tamu 23	1,92
8	Kamar Tidur Tamu 24	1,92
9	Gudang Linen & Troli	6
10	Ruang Janitor & Panel	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt 6	
1	Kamar Suite 1	1,92
2	Kamar Suite 2	1,92
3	Kamar Suite 3	1,92
4	Kamar Suite 4	1,92
5	Executive Lounge	4,79
6	Pantry Lounge	4,79
7	Balkon Terbuka	4,79
8	Toilet Premium	1,92
9	Gudang Linen & Troli	6
10	Ruang Janitor & Panel	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
G	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	5000	500	350	B1 (350 mm x 500 mm)
B2	4000	500	350	B2 (350 mm x 500 mm)
B3	3000	500	300	B3 (300 mm x 500 mm)
B1A	5000	500	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	4000	500	250	B2A (250 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln timer	h	Type Plat
1	P1	Pelat Lantai	4,65	4,65	0,12	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	4,65	3,65	0,12	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	3,65	3,65	0,12	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	4,75	2,70	0,12	2 Arah
5	P5	Pelat Lantai	3,75	2,75	0,12	2 Arah
6	PA1	Pelat Atap	4,70	4,70	0,12	2 Arah
7	PA2	Pelat Atap	4,75	3,70	0,12	2 Arah
8	PA3	Pelat Atap	3,75	3,75	0,12	2 Arah
9	PA4	Pelat Atap	4,75	2,70	0,12	2 Arah
10	PA5	Pelat Atap	3,75	2,75	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	450	450
K2	400	400

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	350	500	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	350	500	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2A	250	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 100

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,624	0,382	450	7	30	500	5000
K1-B2	0,624	0,382	450	7	30	500	4000
K1-B3	0,624	0,382	450	7	30	500	3000
K1-B1A	0,624	0,382	450	7	30	500	5000
K1-B2A	0,624	0,382	450	7	30	500	4000
K1-B3A	0,624	0,382	450	7	30	500	3000
K2-B1	0,624	0,382	400	7	30	500	5000
K2-B2	0,624	0,382	400	7	30	500	4000
K2-B3	0,624	0,382	400	7	30	500	3000
K2-B1A	0,624	0,382	400	7	30	500	5000
K2-B2A	0,624	0,382	400	7	30	500	4000
K2-B3A	0,624	0,382	400	7	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B2	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B3A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,571
K2-B1	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B2	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B3A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,571

Lampiran 12 Data 12

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Puskesmas	-
Lokasi	Surabaya (L: -7.25, B: 112.75)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	4	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	16	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	35	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Pendaftaran & Rekam Medis	4,79
2	Lobi & Ruang Tunggu Utama	4,79
3	Unit Gawat Darurat (UGD)	3,83
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Tindakan / Bedah Minor	3,83
6	Apotek / Ruang Obat	2,87
7	Toilet Wanita	1,92
8	Poli Umum	2,87
9	Poli Gigi	2,87
10	Laboratorium Sederhana	2,87
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Poli KIA & KB	2,87
2	Poli Anak & Imunisasi	2,87
3	Ruang Laktasi (Ibu Menyusui)	2,87
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Konsultasi Gizi & Sanitasi	2,87
6	Ruang Kepala Puskesmas	2,4
7	Toilet Wanita	1,92
8	Ruang Administrasi & Tata Usaha	2,4
9	Ruang Rapat / Aula Kecil	4,79
10	Gudang Farmasi & Logistik	6
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Ruang Rawat Inap Pasca Persalinan	1,92
2	Ruang Rawat Inap Umum	1,92
3	Pos Perawat (Nurse Station)	1,92
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Sterilisasi (CSSD)	2,87
6	Ruang Istirahat Staf / Dokter	2,4
7	Toilet Wanita	1,92
8	Ruang Pantry & Gizi	2,4
9	Ruang Laundry & Cuci Linen	2,4
10	Ruang Janitor & Gudang Umum	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	6000	600	300	B1 (300 mm x 600 mm)
B2	4000	550	300	B2 (300 mm x 550 mm)
B3	3000	500	300	B3 (300 mm x 500 mm)
B1A	6000	600	300	B1A (300 mm x 600 mm)
B2A	4000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	6,00	6,00	0,15	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	6,00	4,00	0,15	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	4,00	4,00	0,1	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	4,00	3,00	0,13	2 Arah
5	P5	Pelat Lantai	6,00	3,00	0,13	1 Arah
6	P1A	Pelat Atap	6,00	6,00	0,15	2 Arah
7	P2A	Pelat Atap	6,00	4,00	0,13	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	4,00	4,00	0,1	2 Arah
9	P4A	Pelat Atap	4,00	3,00	0,1	2 Arah
10	P5A	Pelat Atap	6,00	3,00	0,13	1 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	450	450
K2	400	400
K3	350	350

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	300	600	4D19	4D19	3D19	5D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B2	300	550	4D19	4D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3	300	500	4D19	3D19	2D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	600	4D19	4D19	3D19	5D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B2A	300	500	4D19	3D19	2D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	3D19	3D19	2D19	3D19	4D10 - 100	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,611	0,243	450	4	35	600	6000
K1-B2	0,611	0,243	450	4	35	550	4000
K1-B3	0,611	0,243	450	4	35	500	3000
K1-B1A	0,611	0,243	450	4	35	600	6000
K1-B2A	0,611	0,243	450	4	35	500	4000
K1-B3A	0,611	0,243	400	4	35	500	3000
K2-B1	0,611	0,243	400	4	35	600	6000
K2-B2	0,611	0,243	400	4	35	550	4000
K2-B3	0,611	0,243	400	4	35	500	3000
K2-B1A	0,611	0,243	400	4	35	600	6000
K2-B2A	0,611	0,243	400	4	35	500	4000
K2-B3A	0,611	0,243	400	4	35	500	3000
K3-B1	0,611	0,243	350	4	35	600	6000
K3-B2	0,611	0,243	350	4	35	550	4000
K3-B3	0,611	0,243	350	4	35	500	3000
K3-B1A	0,611	0,243	350	4	35	600	6000
K3-B2A	0,611	0,243	350	4	35	500	4000
K3-B3A	0,611	0,243	350	4	35	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	11,341	11,341	8,506	14,176	1,571	1,047
K1-B2	11,341	11,341	8,506	11,341	1,571	1,047
K1-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K1-B1A	11,341	11,341	8,506	14,176	1,571	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K1-B3A	8,506	8,506	5,671	8,506	3,142	1,047
K2-B1	11,341	11,341	8,506	14,176	1,571	1,047
K2-B2	11,341	11,341	8,506	11,341	1,571	1,047
K2-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K2-B1A	11,341	11,341	8,506	14,176	1,571	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K2-B3A	8,506	8,506	5,671	8,506	3,142	1,047

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K3-B1	11,341	11,341	8,506	14,176	1,571	1,047
K3-B2	11,341	11,341	8,506	11,341	1,571	1,047
K3-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K3-B1A	11,341	11,341	8,506	14,176	1,571	1,047
K3-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K3-B3A	8,506	8,506	5,671	8,506	3,142	1,047

Lampiran 13 Data 13

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Supermarket	-
Lokasi	Palembang (L: -2.983333, B: 104.783333)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	4	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	16	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	25	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Area Belanja Utama	6
2	Lobi Utama	4,79
3	Area Kasir	2,4
4	Ruang Informasi	2,4
5	Display Produk Segar	4,79
6	Display Produk Kering	4,79
7	Gudang Transit	6
8	Ruang Panel Utilitas	4,79
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor Lantai Pertama	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Area Belanja Fashion	3,59
2	Area Elektronik	3,59
3	Food Court	4,79
4	Dapur Food Court	4,79
5	Area Bermain Anak	4,79
6	Mushola	4,79
7	Ruang Laktasi	2,4
8	Gudang Stok	6
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor di atas lantai pertama	3,83
C	Lt 3	
1	Ruang Kantor Pengelola	2,4
2	Ruang Rapat	4,79
3	Ruang Arsip	7,18
4	Ruang Server CCTV	2,4
5	Lounge Karyawan	2,4
6	Ruang Training	2,4
7	Gudang Logistik	7,18
8	Ruang Maintenance	2,4
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor di atas lantai pertama	3,83
D	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	6000	600	400	B1 (400 mm x 600 mm)
B2	4000	500	350	B2 (350 mm x 500 mm)
B3	3000	500	350	B3 (350 mm x 500 mm)
B1A	6000	500	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	4000	500	250	B2A (250 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Type Plat
1	P1	Pelat Lantai	5,6	5,6	0,14	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	5,65	3,6	0,13	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	5,65	2,6	0,12	1 Arah
4	P4	Pelat Lantai	3,65	3,65	0,12	2 Arah
5	P5	Pelat Lantai	3,65	2,65	0,12	2 Arah
6	PA1	Pelat Atap	5,7	5,7	0,15	2 Arah
7	PA2	Pelat Atap	5,75	3,7	0,13	2 Arah
8	PA3	Pelat Atap	5,75	2,7	0,12	1 Arah
9	PA4	Pelat Atap	3,75	3,75	0,12	2 Arah
10	PA5	Pelat Atap	3,75	2,75	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	500	500
K2	450	450

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	400	600	6D19	4D19	4D19	6D19	4D10 - 100	4D10 - 150
B2	350	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	350	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	500	4D19	3D19	2D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B2A	250	500	4D19	3D19	2D19	3D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	4D19	3D19	2D19	3D19	4D8 - 100	4D8 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,252	0,249	500	4	25	600	6000
K1-B2	0,252	0,249	500	4	25	500	4000
K1-B3	0,252	0,249	500	4	25	500	3000
K1-B1A	0,252	0,249	500	4	25	500	6000
K1-B2A	0,252	0,249	500	4	25	500	4000
K1-B3A	0,252	0,249	450	4	25	500	3000
K2-B1	0,252	0,249	450	4	25	600	6000
K2-B2	0,252	0,249	450	4	25	500	4000
K2-B3	0,252	0,249	450	4	25	500	3000
K2-B1A	0,252	0,249	450	4	25	500	6000
K2-B2A	0,252	0,249	450	4	25	500	4000
K2-B3A	0,252	0,249	450	4	25	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	17,012	11,341	11,341	17,012	3,142	2,094
K1-B2	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K1-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K1-B3A	11,341	8,506	5,671	8,506	2,011	1,340
K2-B1	17,012	11,341	11,341	17,012	3,142	2,094
K2-B2	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K2-B3A	11,341	8,506	5,671	8,506	2,011	1,340

Lampiran 14 Data 14

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Sekolah	-
Lokasi	Kupang (L: -10.2, B: 123.584444)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	6	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	24	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	35	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi Utama / Ruang Penerimaan	4,79
2	Ruang Kepala Sekolah & Wakil	2,4
3	Ruang Tata Usaha (Administrasi)	2,4
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Guru	2,4
6	Ruang Rapat Utama	2,4
7	Toilet Wanita	1,92
8	Perpustakaan (Area Rak Buku & Sirkulasi)	7,18
9	Perpustakaan (Area Ruang Baca)	2,87
10	Ruang UKS (Unit Kesehatan Sekolah) / Klinik	2,87
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Ruang Kelas A	1,92
2	Ruang Kelas B	1,92
3	Ruang Kelas C	1,92
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Kelas D	1,92
6	Ruang Kelas E	1,92
7	Toilet Wanita	1,92
8	Laboratorium Komputer	2,87
9	Ruang BK (Bimbingan Konseling)	2,4
10	Ruang OSIS / Kesekretariatan Siswa	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Ruang Kelas F	1,92
2	Ruang Kelas G	1,92
3	Ruang Kelas H	1,92
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Kelas I	1,92
6	Ruang Kelas J	1,92
7	Toilet Wanita	1,92
8	Laboratorium Biologi	2,87
9	Laboratorium Fisika	2,87
10	Laboratorium Kimia	2,87
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Ruang Kelas K	1,92
2	Ruang Kelas L	1,92
3	Ruang Kelas M	1,92
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Kelas N	1,92
6	Ruang Kelas O	1,92
7	Toilet Wanita	1,92
8	Laboratorium Bahasa	2,87
9	Ruang Seni / Audio Visual	2,87
10	Ruang Ekstrakurikuler Khusus	2,87
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Ruang Olahraga Indoor	4,79
2	Ruang Ibadah (Mushola Pria)	4,79
3	Ruang Ibadah (Mushola Wanita)	4,79
4	Toilet Pria	1,92

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Aula / Ruang Serbaguna (Sayap Kiri)	4,79
6	Aula / Ruang Serbaguna (Sayap Kanan)	4,79
7	Toilet Wanita	1,92
8	Gudang Peralatan Umum	6
9	Ruang Persiapan / Ganti (Backstage Aula)	4,79
10	Ruang Server / Kontrol Utilitas Gedung	6
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	7000	700	450	B1 (450 mm x 700 mm)
B2	5000	650	450	B2 (450 mm x 650 mm)
B3	3000	500	350	B3 (350 mm x 500 mm)
B1A	7000	500	350	B1A (350 mm x 500 mm)
B2A	5000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)
BA1	7000	500	300	BA1 (300 mm x 500 mm)
BA1A	7000	450	300	BA1A (300 mm x 450 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln timer	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	6,55	3,13	0,14	1 Arah
2	P2	Pelat Lantai	6,55	3,55	0,15	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	3,55	3,55	0,13	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	6,65	2,55	0,13	1 Arah
5	P5	Pelat Lantai	3,65	2,55	0,12	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	6,65	3,18	0,14	1 Arah
7	P2A	Pelat Atap	6,70	3,65	0,15	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	3,70	3,70	0,12	2 Arah
9	P4A	Pelat Atap	6,75	2,65	0,13	1 Arah
10	P5A	Pelat Atap	3,75	2,70	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	600	600
K2	550	550
K3	450	450

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	450	700	8D19	6D19	4D19	8D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	450	650	6D19	5D19	5D19	7D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	350	500	5D19	4D19	2D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	350	500	5D19	4D19	2D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2A	300	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
BA1	300	500	3D16	3D16	3D16	4D16	2D10 - 150	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	1,249	0,559	600	6	35	700	7000
K1-B2	1,249	0,559	600	6	35	650	5000
K1-B3	1,249	0,559	600	6	35	500	3000
K1-B1A	1,249	0,559	600	6	35	500	7000
K1-B2A	1,249	0,559	600	6	35	500	5000
K1-B3A	1,249	0,559	550	6	35	500	3000
K2-B1	1,249	0,559	550	6	35	700	7000
K2-B2	1,249	0,559	550	6	35	650	5000
K2-B3	1,249	0,559	550	6	35	500	3000
K2-B1A	1,249	0,559	550	6	35	500	7000
K2-B2A	1,249	0,559	550	6	35	500	5000
K2-B3A	1,249	0,559	550	6	35	500	3000
K3-B1	1,249	0,559	450	6	35	700	7000

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K3-B2	1,249	0,559	450	6	35	650	5000
K3-B3	1,249	0,559	450	6	35	500	3000
K3-B1A	1,249	0,559	450	6	35	500	7000
K3-B2A	1,249	0,559	450	6	35	500	5000
K3-B3A	1,249	0,559	450	6	35	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	22,682	17,012	11,341	22,682	3,142	1,047
K1-B2	17,012	14,176	14,176	19,847	3,142	1,047
K1-B3	14,176	11,341	5,671	14,176	3,142	1,047
K1-B1A	14,176	11,341	5,671	14,176	3,142	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K1-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B1	22,682	17,012	11,341	22,682	3,142	1,047
K2-B2	17,012	14,176	14,176	19,847	3,142	1,047
K2-B3	14,176	11,341	5,671	14,176	3,142	1,047
K2-B1A	14,176	11,341	5,671	14,176	3,142	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B1	22,682	17,012	11,341	22,682	3,142	1,047
K3-B2	17,012	14,176	14,176	19,847	3,142	1,047
K3-B3	14,176	11,341	5,671	14,176	3,142	1,047
K3-B1A	14,176	11,341	5,671	14,176	3,142	1,047
K3-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047

Lampiran 15 Data 15

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Sekolah	-
Lokasi	Samarinda (L: -0.466667, B: 117.183333)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	6	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	24	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	35	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi Utama / Ruang Penerimaan	4,79
2	Ruang Kepala Sekolah & Wakil	2,4
3	Ruang Tata Usaha (Administrasi)	2,4
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Guru	2,4
6	Ruang Rapat Utama	2,4
7	Toilet Wanita	1,92
8	Perpustakaan (Area Rak Buku & Sirkulasi)	7,18
9	Perpustakaan (Area Ruang Baca)	2,87
10	Ruang UKS (Unit Kesehatan Sekolah) / Klinik	2,87
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Ruang Kelas A	1,92
2	Ruang Kelas B	1,92
3	Ruang Kelas C	1,92
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Kelas D	1,92
6	Ruang Kelas E	1,92
7	Toilet Wanita	1,92
8	Laboratorium Komputer	2,87
9	Ruang BK (Bimbingan Konseling)	2,4
10	Ruang OSIS / Kesekretariatan Siswa	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Ruang Kelas F	1,92
2	Ruang Kelas G	1,92
3	Ruang Kelas H	1,92
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Kelas I	1,92
6	Ruang Kelas J	1,92
7	Toilet Wanita	1,92
8	Laboratorium Biologi	2,87
9	Laboratorium Fisika	2,87
10	Laboratorium Kimia	2,87
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Ruang Kelas K	1,92
2	Ruang Kelas L	1,92
3	Ruang Kelas M	1,92
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Kelas N	1,92
6	Ruang Kelas O	1,92
7	Toilet Wanita	1,92
8	Laboratorium Bahasa	2,87
9	Ruang Seni / Audio Visual	2,87
10	Ruang Ekstrakurikuler Khusus	2,87
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Ruang Olahraga Indoor	4,79
2	Ruang Ibadah (Mushola Pria)	4,79
3	Ruang Ibadah (Mushola Wanita)	4,79
4	Toilet Pria	1,92

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Aula / Ruang Serbaguna (Sayap Kiri)	4,79
6	Aula / Ruang Serbaguna (Sayap Kanan)	4,79
7	Toilet Wanita	1,92
8	Gudang Peralatan Umum	6
9	Ruang Persiapan / Ganti (Backstage Aula)	4,79
10	Ruang Server / Kontrol Utilitas Gedung	6
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	6000	600	400	B1 (400 mm x 600 mm)
B2	5000	500	350	B2 (350 mm x 500 mm)
B3	3000	500	300	B3 (300 mm x 500 mm)
B1A	6000	500	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	5000	500	250	B2A (250 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	5,60	5,60	0,14	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	5,65	4,60	0,14	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	4,65	4,65	0,12	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	5,70	2,60	0,12	1 Arah
5	P5	Pelat Lantai	4,70	2,65	0,12	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	5,70	5,70	0,14	2 Arah
7	P2A	Pelat Atap	5,75	4,70	0,14	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	4,75	4,75	0,12	2 Arah
9	P4A	Pelat Atap	5,75	2,70	0,12	1 Arah
10	P5A	Pelat Atap	4,75	2,75	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	500	500
K2	450	450
K3	400	400

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	400	600	5D19	4D19	5D19	6D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	350	500	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2A	250	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,156	0,146	500	6	35	600	6000
K1-B2	0,156	0,146	500	6	35	500	5000
K1-B3	0,156	0,146	500	6	35	500	3000
K1-B1A	0,156	0,146	500	6	35	500	6000
K1-B2A	0,156	0,146	500	6	35	500	5000
K1-B3A	0,156	0,146	450	6	35	500	3000
K2-B1	0,156	0,146	450	6	35	600	6000
K2-B2	0,156	0,146	450	6	35	500	5000
K2-B3	0,156	0,146	450	6	35	500	3000
K2-B1A	0,156	0,146	450	6	35	500	6000
K2-B2A	0,156	0,146	450	6	35	500	5000
K2-B3A	0,156	0,146	450	6	35	500	3000
K3-B1	0,156	0,146	400	6	35	600	6000
K3-B2	0,156	0,146	400	6	35	500	5000

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K3-B3	0,156	0,146	400	6	35	500	3000
K3-B1A	0,156	0,146	400	6	35	500	6000
K3-B2A	0,156	0,146	400	6	35	500	5000
K3-B3A	0,156	0,146	400	6	35	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	14,176	11,341	14,176	17,012	3,142	1,047
K1-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B3A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B1	14,176	11,341	14,176	17,012	3,142	1,047
K2-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B3A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B1	14,176	11,341	14,176	17,012	3,142	1,047
K3-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B3A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047

Lampiran 16 Data 16

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Ruang Duka & Ruang Ibadah	-
Lokasi	Semarang (L: -7, B: 110.4)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	5	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	20	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi dan Resepsionis Utama	4,79
2	Ruang Tunggu Tamu	2,4
3	Ruang Informasi dan Administrasi	2,4
4	Toilet Pria	1,92
5	Toko Bunga dan Perlengkapan Duka	4,79
6	Kafetaria	4,79
7	Toilet Wanita	1,92
8	Gudang Umum	6
9	Ruang Transit dan Persiapan Jenazah	2,87
10	Dapur Kafetaria	4,79
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Ruang Duka Standar A	4,79
2	Ruang Istirahat Keluarga A	1,92
3	Ruang Duka Standar B	4,79
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Duka Standar C	4,79
6	Ruang Istirahat Keluarga C	1,92
7	Toilet Wanita	1,92
8	Gudang Perlengkapan	7,18
9	Ruang Istirahat Keluarga B	1,92
10	Ruang Doa Bersama	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Ruang Duka Standar D	4,79
2	Ruang Istirahat Keluarga D	1,92
3	Ruang Duka Standar E	4,79
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Duka Standar F	4,79
6	Ruang Istirahat Keluarga F	1,92
7	Toilet Wanita	1,92
8	Pantry Lantai	1,92
9	Ruang Istirahat Keluarga E	1,92
10	Ruang Doa Bersama	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Ruang Duka VIP A	4,79
2	Ruang Istirahat VIP A	1,92
3	Kamar Mandi VIP A	1,92
4	Toilet Pria	1,92
5	Ruang Istirahat VIP B	1,92
6	Kamar Mandi VIP B	1,92
7	Toilet Wanita	1,92
8	Pantry Khusus VIP	1,92
9	Ruang Duka VIP B	4,79
10	Ruang Penerimaan Tamu VIP	4,79
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	5000	650	350	B1 (350 mm x 650 mm)
B2	4000	600	350	B2 (350 mm x 600 mm)
B3	3000	500	350	B3 (350 mm x 500 mm)
B1A	5000	500	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	4000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln timer	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	5,00	5,00	0,13	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	5,00	4,00	0,13	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	4,00	4,00	0,12	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	5,00	3,00	0,12	2 Arah
5	P5	Pelat Lantai	4,00	3,00	0,12	2 Arah
6	PA1	Pelat Atap	5,00	5,00	0,13	2 Arah
7	PA2	Pelat Atap	5,00	4,00	0,13	2 Arah
8	PA3	Pelat Atap	4,00	4,00	0,12	2 Arah
9	PA4	Pelat Atap	5,00	3,00	0,12	2 Arah
10	PA5	Pelat Atap	4,00	3,00	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	500	500
K2	450	450
K3	400	400

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	350	650	7D19	5D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	350	600	4D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	350	500	4D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	500	4D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2A	300	500	4D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	4D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,911	0,489	500	5	30	650	5000
K1-B2	0,911	0,489	500	5	30	600	4000
K1-B3	0,911	0,489	500	5	30	500	3000
K1-B1A	0,911	0,489	500	5	30	500	5000
K1-B2A	0,911	0,489	500	5	30	500	4000
K1-B3A	0,911	0,489	450	5	30	500	3000
K2-B1	0,911	0,489	450	5	30	650	5000
K2-B2	0,911	0,489	450	5	30	600	4000
K2-B3	0,911	0,489	450	5	30	500	3000
K2-B1A	0,911	0,489	450	5	30	500	5000
K2-B2A	0,911	0,489	450	5	30	500	4000
K2-B3A	0,911	0,489	450	5	30	500	3000
K3-B1	0,911	0,489	400	5	30	650	5000
K3-B2	0,911	0,489	400	5	30	600	4000
K3-B3	0,911	0,489	400	5	30	500	3000
K3-B1A	0,911	0,489	400	5	30	500	5000
K3-B2A	0,911	0,489	400	5	30	500	4000
K3-B3A	0,911	0,489	400	5	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	19,847	14,176	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B2	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B3	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B1A	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B2A	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B3A	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B1	19,847	14,176	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B2	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B3	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B1A	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B2A	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B3A	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K3-B1	19,847	14,176	11,341	14,176	3,142	1,047
K3-B2	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K3-B3	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K3-B1A	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K3-B2A	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K3-B3A	11,341	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047

Lampiran 17 Data 17

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Rumah Sakit	-
Lokasi	Medan (L: 3.633333, B: 98.633333)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	8	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	32	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	35	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi dan Resepsionis	4,79
2	Ruang Tunggu Pasien	4,79
3	Ruang Instalasi Gawat Darurat	2,87
4	Ruang Observasi Pasien	1,92
5	Apotek dan Farmasi	2,4
6	Poliklinik Umum A	2,4
7	Poliklinik Umum B	2,4
8	Ruang Rekam Medis	6
9	Toilet Umum Pria	1,92
10	Toilet Umum Wanita	1,92
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Poliklinik Spesialis A	2,4
2	Poliklinik Spesialis B	2,4
3	Poliklinik Spesialis C	2,4
4	Laboratorium Medis	2,87
5	Ruang Pengambilan Darah	2,87
6	Ruang Radiologi	2,87
7	Ruang Istirahat Dokter	2,4
8	Gudang Alat Medis	6
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Ruang Operasi Utama A	2,87
2	Ruang Operasi Utama B	2,87
3	Ruang Persiapan Operasi	2,87
4	Ruang Pemulihan PACU	1,92
5	Ruang Perawatan ICU A	1,92
6	Ruang Perawatan ICU B	1,92
7	Ruang Sterilisasi Alat CSSD	2,87
8	Ruang Ganti Medis	2,4
9	Gudang Steril	6
10	Ruang Janitor	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Kamar Rawat Inap Standar A	1,92
2	Kamar Rawat Inap Standar B	1,92
3	Kamar Rawat Inap Standar C	1,92
4	Kamar Rawat Inap Standar D	1,92
5	Kamar Rawat Inap Standar E	1,92
6	Kamar Rawat Inap Standar F	1,92
7	Nurse Station Perawat	2,4
8	Ruang Tindakan Medis	2,87
9	Gudang Linen	6
10	Ruang Spoolhoek	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Kamar Rawat Inap Kelas Satu A	1,92
2	Kamar Rawat Inap Kelas Satu B	1,92
3	Kamar Rawat Inap Kelas Satu C	1,92
4	Kamar Rawat Inap Kelas Satu D	1,92

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Kamar Rawat Inap Kelas Satu E	1,92
6	Kamar Rawat Inap Kelas Satu F	1,92
7	Nurse Station Perawat	2,4
8	Ruang Dokter Jaga	2,4
9	Gudang Linen Bersih	6
10	Ruang Spoolhoek	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt 6	
1	Kamar Rawat Inap VIP A	1,92
2	Kamar Rawat Inap VIP B	1,92
3	Kamar Rawat Inap VIP C	1,92
4	Kamar Rawat Inap VIP D	1,92
5	Kamar Rawat Inap VVIP A	1,92
6	Kamar Rawat Inap VVIP B	1,92
7	Nurse Station Khusus VIP	2,4
8	Ruang Tunggu Keluarga VIP	3,83
9	Pantry Khusus VIP	2,4
10	Ruang Spoolhoek	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
G	Lt 7	
1	Ruang Direktur Utama	2,4
2	Ruang Rapat Manajemen	4,79
3	Ruang Staf Administrasi	2,4
4	Ruang Arsip Keuangan	6
5	Dapur Instalasi Gizi	4,79
6	Ruang Server dan IT	4,79
7	Gudang Logistik Umum	6
8	Ruang Panel dan Utilitas	4,79
9	Toilet Manajemen Pria	1,92
10	Toilet Manajemen Wanita	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
H	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	7000	600	450	B1 (450 mm x 600 mm)
B2	4000	600	400	B2 (400 mm x 600 mm)
B3	3000	500	350	B3 (350 mm x 500 mm)
BA1	7000	500	350	BA1 (350 mm x 500 mm)
B1A	7000	500	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	4000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)
BA1A	7000	500	250	BA1A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	6,55	3,10	0,14	1 Arah
2	P2	Pelat Lantai	6,60	3,55	0,14	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	6,65	2,55	0,13	1 Arah
4	P4	Pelat Lantai	3,60	3,60	0,12	2 Arah
5	P5	Pelat Lantai	3,65	2,60	0,12	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	6,70	3,23	0,14	1 Arah
7	P2A	Pelat Atap	6,70	3,70	0,15	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	6,75	2,70	0,13	1 Arah
9	P4A	Pelat Atap	3,70	3,70	0,12	2 Arah
10	P5A	Pelat Atap	3,75	2,70	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	550	550
K2	500	500
K3	450	450

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	450	600	8D19	6D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	400	600	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	350	500	3D19	4D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2A	300	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 100
BA1A	250	500	3D19	4D19	4D19	3D19	2D10 - 150	2D10 - 150
BA1	350	500	3D19	3D19	3D19	3D19	2D10 - 150	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,812	0,545	550	8	35	600	7000
K1-B2	0,812	0,545	550	8	35	600	4000
K1-B3	0,812	0,545	550	8	35	500	3000
K1-B1A	0,812	0,545	550	8	35	500	7000
K1-B2A	0,812	0,545	550	8	35	500	4000
K1-B3A	0,812	0,545	500	8	35	500	3000
K2-B1	0,812	0,545	500	8	35	600	7000
K2-B2	0,812	0,545	500	8	35	600	4000
K2-B3	0,812	0,545	500	8	35	500	3000
K2-B1A	0,812	0,545	500	8	35	500	7000
K2-B2A	0,812	0,545	500	8	35	500	4000
K2-B3A	0,812	0,545	500	8	35	500	3000
K3-B1	0,812	0,545	450	8	35	600	7000
K3-B2	0,812	0,545	450	8	35	600	4000
K3-B3	0,812	0,545	450	8	35	500	3000
K3-B1A	0,812	0,545	450	8	35	500	7000
K3-B2A	0,812	0,545	450	8	35	500	4000
K3-B3A	0,812	0,545	450	8	35	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	22,682	17,012	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B2	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B3	8,506	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K1-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,571
K2-B1	22,682	17,012	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B2	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B3	8,506	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,571
K3-B1	22,682	17,012	11,341	14,176	3,142	1,047
K3-B2	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K3-B3	8,506	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,571

Lampiran 18 Data 18

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Supermarket	-
Lokasi	Kendari (L: -3.95, B: 122.583333)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	4	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	16	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Area Belanja Utama	6
2	Lobi Utama	4,79
3	Area Kasir	2,4
4	Ruang Informasi	2,4
5	Display Produk Segar	4,79
6	Display Produk Kering	4,79
7	Gudang Transit	6
8	Ruang Panel Utilitas	4,79
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor Lantai Pertama	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Area Belanja Fashion	3,59
2	Area Elektronik	3,59
3	Food Court	4,79
4	Dapur Food Court	4,79
5	Area Bermain Anak	4,79
6	Mushola	4,79
7	Ruang Laktasi	2,4
8	Gudang Stok	6
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor di atas lantai pertama	3,83
C	Lt 3	
1	Ruang Kantor Pengelola	2,4
2	Ruang Rapat	4,79
3	Ruang Arsip	7,18
4	Ruang Server CCTV	2,4
5	Lounge Karyawan	2,4
6	Ruang Training	2,4
7	Gudang Logistik	7,18
8	Ruang Maintenance	2,4
9	Toilet Pria	1,92
10	Toilet Wanita	1,92
11	Koridor di atas lantai pertama	3,83
G	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	7000	550	300	B1 (300 mm x 550 mm)
B2	5000	500	300	B2 (300 mm x 500 mm)
B3	3000	500	250	B3 (250 mm x 500 mm)
B1A	7000	550	300	B1A (300 mm x 550 mm)
B2A	5000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)
BA1	7000	450	300	BA1 (300 mm x 450 mm)
BA1A	7000	450	300	BA1A (300 mm x 450 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	6,70	3,20	0,15	1 Arah
2	P2	Pelat Lantai	6,70	4,70	0,15	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	4,70	4,70	0,13	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	6,75	2,70	0,13	1 Arah
5	P5	Pelat Lantai	4,75	2,70	0,13	2 Arah
6	PA1	Pelat Atap	6,70	3,20	0,15	1 Arah
7	PA2	Pelat Atap	6,70	4,70	0,15	2 Arah
8	PA3	Pelat Atap	4,70	4,70	0,13	2 Arah
9	PA4	Pelat Atap	6,75	2,70	0,13	1 Arah
10	PA5	Pelat Atap	4,75	2,70	0,13	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	450	450
K2	400	400
K3	350	350

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	300	550	6D19	6D19	4D19	6D19	4D10 - 100	4D10 - 150
B2	300	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	250	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	550	4D19	3D19	2D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B2A	300	500	4D19	3D19	2D19	3D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	4D19	3D19	2D19	3D19	4D8 - 100	4D8 - 150
BA1	300	450	3D16	3D16	2D16	2D16	2D10 - 150	2D10 - 150
BA1A	300	450	2D16	2D16	2D16	2D16	2D10 - 150	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,5716	0,2041	450	4	30	550	7000
K1-B2	0,5716	0,2041	450	4	30	500	5000
K1-B3	0,5716	0,2041	450	4	30	500	3000
K1-B1A	0,5716	0,2041	450	4	30	550	7000
K1-B2A	0,5716	0,2041	450	4	30	500	5000
K1-B3A	0,5716	0,2041	400	4	30	500	3000
K2-B1	0,5716	0,2041	400	4	30	550	7000
K2-B2	0,5716	0,2041	400	4	30	500	5000
K2-B3	0,5716	0,2041	400	4	30	500	3000
K2-B1A	0,5716	0,2041	400	4	30	550	7000
K2-B2A	0,5716	0,2041	400	4	30	500	5000
K2-B3A	0,5716	0,2041	400	4	30	500	3000
K3-B1	0,5716	0,2041	350	4	30	550	7000
K3-B2	0,5716	0,2041	350	4	30	500	5000
K3-B3	0,5716	0,2041	350	4	30	500	3000
K3-B1A	0,5716	0,2041	350	4	30	550	7000
K3-B2A	0,5716	0,2041	350	4	30	500	5000
K3-B3A	0,5716	0,2041	350	4	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	17,012	17,012	11,341	17,012	3,142	2,094
K1-B2	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K1-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K1-B3A	11,341	8,506	5,671	8,506	2,011	1,340
K2-B1	17,012	17,012	11,341	17,012	3,142	2,094
K2-B2	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K2-B3A	11,341	8,506	5,671	8,506	2,011	1,340

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K3-B1	17,012	17,012	11,341	17,012	3,142	2,094
K3-B2	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B1A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K3-B2A	11,341	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K3-B3A	11,341	8,506	5,671	8,506	2,011	1,340

Lampiran 19 Data 19

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Mall	-
Lokasi	Banjarmasin (L: -3.366667, B: 114.666667)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	5	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	20	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi Utama Mall	4,79
2	Atrium dan Area Pameran	4,79
3	Supermarket Area Segar	6
4	Supermarket Area Kering	6
5	Toko Fashion Jangkar A	4,79
6	Toko Fashion Jangkar B	4,79
7	Toko Kosmetik dan Parfum	4,79
8	Kafe Lobi Utama	4,79
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Toko Pakaian Pria	3,59
2	Toko Pakaian Wanita	3,59
3	Toko Sepatu dan Tas A	3,59
4	Toko Sepatu dan Tas B	3,59
5	Toko Perhiasan dan Jam	3,59
6	Toko Kacamata Optik	3,59
7	Toko Perlengkapan Olahraga	3,59
8	Toko Perlengkapan Bayi	3,59
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Toko Elektronik Pusat	3,59
2	Toko Gawai dan Komputer	3,59
3	Area Bermain Anak Indoor	4,79
4	Taman Hiburan Keluarga	4,79
5	Toko Mainan Anak	3,59
6	Toko Buku dan Alat Tulis	3,59
7	Toko Perabotan Rumah	4,79
8	Klinik Tumbuh Kembang	3,59
9	Toilet Keluarga dan Anak	2,4
10	Ruang Menyusui Laktasi	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Pusat Jajanan Food Court A	4,79
2	Pusat Jajanan Food Court B	4,79
3	Restoran Cepat Saji	4,79
4	Restoran Keluarga Utama	4,79
5	Kedai Kopi Premium	3,59
6	Kantor Manajemen Mall	2,4
7	Ruang Server dan CCTV	2,4
8	Ruang Panel Listrik Utama	2,4
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	6000	650	450	B1 (450 mm x 650 mm)
B2	5000	600	450	B2 (450 mm x 600 mm)
B3	3000	600	400	B3 (400 mm x 600 mm)
B1A	6000	500	350	B1A (350 mm x 500 mm)
B2A	5000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	5,55	5,55	0,14	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	5,55	4,55	0,14	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	5,6	2,55	0,12	1 Arah
4	P4	Pelat Lantai	4,55	4,55	0,12	2 Arah
5	P5	Pelat Lantai	4,6	2,55	0,12	2 Arah
6	PA1	Pelat Atap	5,65	5,65	0,14	2 Arah
7	PA2	Pelat Atap	5,7	4,65	0,14	2 Arah
8	PA3	Pelat Atap	5,75	2,65	0,12	1 Arah
9	PA4	Pelat Atap	4,7	4,7	0,12	2 Arah
10	PA5	Pelat Atap	4,75	2,7	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	600	600
K2	550	550

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	450	650	9D19	8D19	6D19	7D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	450	600	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	400	600	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	350	500	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2A	300	500	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,136	0,079	600	5	30	650	6000
K1-B2	0,136	0,079	600	5	30	600	5000
K1-B3	0,136	0,079	600	5	30	600	3000
K1-B1A	0,136	0,079	600	5	30	500	6000
K1-B2A	0,136	0,079	600	5	30	500	5000
K1-B3A	0,136	0,079	550	5	30	500	3000
K2-B1	0,136	0,079	550	5	30	650	6000
K2-B2	0,136	0,079	550	5	30	600	5000
K2-B3	0,136	0,079	550	5	30	600	3000
K2-B1A	0,136	0,079	550	5	30	500	6000
K2-B2A	0,136	0,079	550	5	30	500	5000
K2-B3A	0,136	0,079	550	5	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	25,518	22,682	17,012	19,847	3,142	1,047
K1-B2	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B3	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B1A	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B2A	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B3A	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B1	25,518	22,682	17,012	19,847	3,142	1,047
K2-B2	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B3	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B1A	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B2A	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B3A	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047

Lampiran 20 Data 20

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Sekolah	-
Lokasi	Lampung (L: -5.416667, B: 105.283333)	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	6	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	24	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi Utama Apartemen	4,79
2	Ruang Pengelola dan Administrasi	2,4
3	Ruang Keamanan dan Monitor CCTV	2,4
4	Ruang Mailbox dan Resepsionis	4,79
5	Lounge dan Ruang Tunggu	4,79
6	Mini Market Penghuni	4,79
7	Ruang Panel Listrik dan ME	4,79
8	Gudang Perlengkapan Gedung	6
9	Toilet Umum Pria	2,4
10	Toilet Umum Wanita	2,4
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Unit Hunian Tipe Studio 01	1,92
2	Unit Hunian Tipe Studio 02	1,92
3	Unit Hunian Tipe Studio 03	1,92
4	Unit Hunian Tipe Studio 04	1,92
5	Unit Hunian Tipe 1 Bedroom 05	1,92
6	Unit Hunian Tipe 1 Bedroom 06	1,92
7	Unit Hunian Tipe 1 Bedroom 07	1,92
8	Unit Hunian Tipe 2 Bedroom 08	1,92
9	Unit Hunian Tipe 2 Bedroom 09	1,92
10	Unit Hunian Tipe 2 Bedroom 10	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Unit Hunian Tipe Studio 01	1,92
2	Unit Hunian Tipe Studio 02	1,92
3	Unit Hunian Tipe Studio 03	1,92
4	Unit Hunian Tipe Studio 04	1,92
5	Unit Hunian Tipe 1 Bedroom 05	1,92
6	Unit Hunian Tipe 1 Bedroom 06	1,92
7	Unit Hunian Tipe 1 Bedroom 07	1,92
8	Unit Hunian Tipe 2 Bedroom 08	1,92
9	Unit Hunian Tipe 2 Bedroom 09	1,92
10	Unit Hunian Tipe 2 Bedroom 10	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Unit Hunian Tipe Studio 01	1,92
2	Unit Hunian Tipe Studio 02	1,92
3	Unit Hunian Tipe Studio 03	1,92
4	Unit Hunian Tipe Studio 04	1,92
5	Unit Hunian Tipe 1 Bedroom 05	1,92
6	Unit Hunian Tipe 1 Bedroom 06	1,92
7	Unit Hunian Tipe 1 Bedroom 07	1,92
8	Unit Hunian Tipe 2 Bedroom 08	1,92
9	Unit Hunian Tipe 2 Bedroom 09	1,92
10	Unit Hunian Tipe 2 Bedroom 10	1,92
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Pusat Kebugaran Gym	4,79
2	Ruang Serbaguna Penghuni	4,79
3	Area Laundry Mandiri	4,79
4	Ruang Bermain Anak	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Ruang Perpustakaan Kecil	2,87
6	Ruang Teknisi dan Maintenance	2,4
7	Ruang Mesin Lift	7,18
8	Ruang Toren dan Pompa	6
9	Toilet Bersama Pria	2,4
10	Toilet Bersama Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	6000	600	350	B1 (350 mm x 600 mm)
B2	5000	550	300	B2 (300 mm x 550 mm)
B3	3000	500	350	B3 (350 mm x 500 mm)
B1A	6000	500	350	B1A (350 mm x 500 mm)
B2A	5000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	5,65	5,65	0,15	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	5,70	4,65	0,15	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	4,70	4,70	0,13	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	5,65	2,65	0,13	1 Arah
5	P5	Pelat Lantai	4,65	2,70	0,13	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	5,65	5,65	0,15	2 Arah
7	P2A	Pelat Atap	5,70	4,65	0,15	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	4,70	4,70	0,13	2 Arah
9	P4A	Pelat Atap	5,75	2,65	0,13	1 Arah
10	P5A	Pelat Atap	5,75	2,70	0,13	1 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	600	600
K2	550	550
K3	450	450

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	350	600	5D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	300	550	4D19	3D19	2D19	5D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3	350	500	5D19	4D19	2D19	5D19	3D10 - 100	2D10 - 150
B1A	350	500	4D19	3D19	2D19	5D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B2A	300	500	4D19	3D19	2D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	3D19	2D19	2D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,699	0,431	600	6	30	600	6000
K1-B2	0,699	0,431	600	6	30	550	5000
K1-B3	0,699	0,431	600	6	30	500	3000
K1-B1A	0,699	0,431	600	6	30	500	6000
K1-B2A	0,699	0,431	600	6	30	500	5000
K1-B3A	0,699	0,431	550	6	30	500	3000
K2-B1	0,699	0,431	550	6	30	600	6000
K2-B2	0,699	0,431	550	6	30	550	5000
K2-B3	0,699	0,431	550	6	30	500	3000
K2-B1A	0,699	0,431	550	6	30	500	6000
K2-B2A	0,699	0,431	550	6	30	500	5000
K2-B3A	0,699	0,431	550	6	30	500	3000
K3-B1	0,699	0,431	450	6	30	600	6000
K3-B2	0,699	0,431	450	6	30	550	5000
K3-B3	0,699	0,431	450	6	30	500	3000
K3-B1A	0,699	0,431	450	6	30	500	6000
K3-B2A	0,699	0,431	450	6	30	500	5000
K3-B3A	0,699	0,431	450	6	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	14,176	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B2	11,341	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K1-B3	14,176	11,341	5,671	14,176	2,356	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K1-B3A	8,506	5,671	5,671	11,341	1,571	1,047
K2-B1	14,176	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B2	11,341	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K2-B3	14,176	11,341	5,671	14,176	2,356	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K2-B3A	8,506	5,671	5,671	11,341	1,571	1,047
K3-B1	14,176	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B2	11,341	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K3-B3	14,176	11,341	5,671	14,176	2,356	1,047
K3-B1A	11,341	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K3-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K3-B3A	8,506	5,671	5,671	11,341	1,571	1,047

Lampiran 21 Data 21

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Perkantoran	-
Lokasi	Batam	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	6	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	24	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi Utama dan Resepsionis	4,79
2	Ruang Tunggu Tamu	4,79
3	Ruang Keamanan dan CCTV	2,4
4	Ruang Administrasi Umum	2,4
5	Pantry Karyawan	2,4
6	Ruang Panel Listrik dan ME	2,4
7	Gudang Perlengkapan Kantor	7,18
8	ATM	2,4
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Ruang Kerja Staf Departemen A	2,4
2	Ruang Kerja Staf Departemen B	2,4
3	Ruang Manager Departemen	2,4
4	Ruang Rapat Internal A	2,4
5	Ruang Rapat Internal B	2,4
6	Area Fotokopi dan Server Lokal	2,4
7	Ruang Arsip Aktif	4,79
8	Balkon Area Sirkulasi	4,79
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Ruang Kerja Staf Departemen C	2,4
2	Ruang Kerja Staf Departemen D	2,4
3	Ruang Meeting Koordinasi	2,4
4	Ruang Kepala Cabang	2,4
5	Ruang Server Utama	2,4
6	Ruang IT Support	2,4
7	Pantry Lantai	2,4
8	Balkon Area Sirkulasi	4,79
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Ruang Kerja Open Space A	2,4
2	Ruang Kerja Open Space B	2,4
3	Ruang HRD dan Rekrutmen	2,4
4	Ruang Keuangan dan Akuntansi	2,4
5	Ruang Arsip Inaktif	2,4
6	Ruang Diskusi Kreatif	2,4
7	Ruang Janitor	2,4
8	Balkon Area Sirkulasi	4,79
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Ruang Direktur Utama	2,4
2	Ruang Direktur Operasional	2,4
3	Ruang Rapat Direksi Boardroom	4,79
4	Lounge Eksekutif	2,4

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Ruang Sekretaris Direksi	2,4
6	Ruang Tamu VIP	2,4
7	Ruang Mekanikal Atap	2,4
8	Balkon Area Sirkulasi	4,79
9	Toilet VIP Pria	2,4
10	Toilet VIP Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	5000	600	450	B1 (450 mm x 600 mm)
B2	4000	600	400	B2 (400 mm x 600 mm)
B3	3000	500	350	B3 (350 mm x 500 mm)
B1A	5000	500	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	4000	500	250	B2A (250 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	4,55	4,55	0,12	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	4,60	3,55	0,12	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	4,65	2,55	0,12	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	3,60	3,60	0,12	2 Arah
5	P5	Pelat Lantai	3,65	2,60	0,12	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	4,70	4,70	0,12	2 Arah
7	P2A	Pelat Atap	4,75	3,70	0,12	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	4,75	2,70	0,12	2 Arah
9	P4A	Pelat Atap	3,75	3,75	0,12	2 Arah
10	P5A	Pelat Atap	3,75	2,75	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	550	550
K2	500	500
K3	450	450

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	450	600	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	400	600	5D19	4D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	350	500	5D19	4D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	300	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2A	250	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	4D19	3D19	2D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,669	0,417	550	6	30	600	5000
K1-B2	0,669	0,417	550	6	30	600	4000
K1-B3	0,669	0,417	550	6	30	500	3000
K1-B1A	0,669	0,417	550	6	30	500	5000
K1-B2A	0,669	0,417	550	6	30	500	4000
K1-B3A	0,669	0,417	500	6	30	500	3000
K2-B1	0,669	0,417	500	6	30	600	5000
K2-B2	0,669	0,417	500	6	30	600	4000
K2-B3	0,669	0,417	500	6	30	500	3000
K2-B1A	0,669	0,417	500	6	30	500	5000
K2-B2A	0,669	0,417	500	6	30	500	4000
K2-B3A	0,669	0,417	500	6	30	500	3000
K3-B1	0,669	0,417	450	6	30	600	5000
K3-B2	0,669	0,417	450	6	30	600	4000
K3-B3	0,669	0,417	450	6	30	500	3000
K3-B1A	0,669	0,417	450	6	30	500	5000
K3-B2A	0,669	0,417	450	6	30	500	4000
K3-B3A	0,669	0,417	450	6	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B3	14,176	11,341	5,671	11,341	3,142	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K1-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B1	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B3	14,176	11,341	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K2-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B1	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K3-B2	14,176	11,341	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B3	14,176	11,341	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B1A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B2A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047
K3-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	3,142	1,047

Lampiran 22 Data 22

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Bioskop	-
Lokasi	Banten	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	4	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	16	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	25	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi Utama dan Antrean	4,79
2	Area Penjualan Tiket	2,4
3	Konsesi Makanan dan Minuman	4,79
4	Toko Merchandise	4,79
5	Ruang Keamanan dan CCTV	2,4
6	Gudang Logistik Makanan	6
7	Ruang Manager Bioskop	2,4
8	Ruang Istirahat Karyawan	2,4
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor Lantai Pertama	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Studio Bioskop 1	2,87
2	Studio Bioskop 2	2,87
3	Studio Bioskop 3	2,87
4	Studio Bioskop 4	2,87
5	Area Tunggu Pengunjung	4,79
6	Ruang Persiapan Peralatan	4,79
7	Gudang Perlengkapan Studio	6
8	Ruang Janitor	2,4
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor di atas lantai pertama	3,83
C	Lt 3	
1	Studio Premiere VIP A	2,87
2	Studio Premiere VIP B	2,87
3	Lounge Eksklusif Premiere	4,79
4	Ruang Proyektor Utama	4,79
5	Ruang Server dan Digital Cinema	4,79
6	Ruang Panel Listrik dan ME	4,79
7	Ruang Mekanikal AHU	4,79
8	Ruang Teknisi Sound	4,79
9	Toilet VIP Pria	2,4
10	Toilet VIP Wanita	2,4
11	Koridor di atas lantai pertama	3,83
D	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	8000	650	400	B1 (400 mm x 650 mm)
B2	7000	500	350	B2 (350 mm x 500 mm)
B3	3000	500	350	B3 (350 mm x 500 mm)
B1A	8000	550	350	B1A (350 mm x 550 mm)
B2A	7000	500	350	B2A (350 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	350	B3A (350 mm x 500 mm)
BA1	8000	450	300	BA1 (300 mm x 450 mm)
BA2	7000	450	300	BA2 (300 mm x 450 mm)
BA1A	8000	450	300	BA1A (300 mm x 450 mm)
BA2A	7000	450	300	BA2A (300 mm x 450 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Type Plat
1	P1	Pelat Lantai	3,65	3,65	0,1	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	3,68	3,15	0,1	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	3,18	3,18	0,1	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	7,65	2,60	0,14	1 Arah
5	P5	Pelat Lantai	6,65	2,65	0,13	1 Arah
6	PA1	Pelat Atap	3,68	3,68	0,1	2 Arah
7	PA2	Pelat Atap	3,68	3,18	0,1	2 Arah
8	PA3	Pelat Atap	3,18	3,18	0,1	2 Arah
9	PA4	Pelat Atap	7,65	2,65	0,14	1 Arah
10	PA5	Pelat Atap	6,65	2,65	0,13	1 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	600	600
K2	500	500
K3	450	450

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	400	650	7D19	5D19	4D19	6D19	2D10 - 100	4D10 - 150
B2	350	500	5D19	3D19	3D19	5D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3	350	500	4D19	3D19	2D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B1A	350	550	6D19	3D19	2D19	5D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B2A	350	500	6D19	3D19	2D19	5D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3A	350	500	4D19	3D19	2D19	4D19	2D10 - 100	4D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,627	0,278	600	4	25	650	8000
K1-B2	0,627	0,278	600	4	25	500	7000
K1-B3	0,627	0,278	600	4	25	500	3000
K1-B1A	0,627	0,278	600	4	25	550	8000
K1-B2A	0,627	0,278	600	4	25	500	7000
K1-B3A	0,627	0,278	500	4	25	500	3000
K2-B1	0,627	0,278	500	4	25	650	8000
K2-B2	0,627	0,278	500	4	25	500	7000
K2-B3	0,627	0,278	500	4	25	500	3000
K2-B1A	0,627	0,278	500	4	25	550	8000
K2-B2A	0,627	0,278	500	4	25	500	7000
K2-B3A	0,627	0,278	500	4	25	500	3000
K3-B1	0,627	0,278	450	4	25	650	8000
K3-B2	0,627	0,278	450	4	25	500	7000
K3-B3	0,627	0,278	450	4	25	500	3000
K3-B1A	0,627	0,278	450	4	25	550	8000
K3-B2A	0,627	0,278	450	4	25	500	7000
K3-B3A	0,627	0,278	450	4	25	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	19,847	14,176	11,341	17,012	1,571	2,094
K1-B2	14,176	8,506	8,506	14,176	1,571	1,047
K1-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K1-B1A	17,012	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K1-B2A	17,012	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K1-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	2,094
K2-B1	19,847	14,176	11,341	17,012	1,571	2,094
K2-B2	14,176	8,506	8,506	14,176	1,571	1,047
K2-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K2-B1A	17,012	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K2-B2A	17,012	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K2-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	2,094

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K3-B1	19,847	14,176	11,341	17,012	1,571	2,094
K3-B2	14,176	8,506	8,506	14,176	1,571	1,047
K3-B3	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K3-B1A	17,012	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K3-B2A	17,012	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K3-B3A	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	2,094

Lampiran 23 Data 23

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Museum	-
Lokasi	Bogor	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	5	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	20	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi Utama Museum	4,79
2	Galeri Pameran Temporer	4,79
3	Toko Souvenir Museum	4,79
4	Kafe Museum	4,79
5	Ruang Tiket dan Registrasi	2,4
6	Ruang Informasi Pengunjung	2,4
7	Ruang Penitipan Barang	6
8	Ruang Keamanan dan CCTV	2,4
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Galeri Sejarah Permanen A	4,79
2	Galeri Sejarah Permanen B	4,79
3	Galeri Seni Rupa	4,79
4	Galeri Etnografi	4,79
5	Ruang Audiovisual	4,79
6	Ruang Workshop Edukasi	4,79
7	Ruang Kurator	2,4
8	Ruang Rapat Staf	4,79
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Galeri Koleksi Arkeologi	4,79
2	Galeri Multimedia Interaktif	4,79
3	Ruang Laboratorium Konservasi	2,4
4	Ruang Restorasi Koleksi	2,4
5	Ruang Dokumentasi dan Foto	2,4
6	Perpustakaan Ruang Baca	2,87
7	Ruang Arsip Koleksi Stack	7,18
8	Ruang Digitalisasi Koleksi	2,4
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Kantor Kepala Museum	2,4
2	Ruang Administrasi Umum	2,4
3	Ruang Rapat Eksekutif	4,79
4	Gudang Koleksi A Ringan	6
5	Gudang Koleksi B Berat	11,97
6	Ruang Server Utama	4,79
7	Ruang Panel Listrik dan ME	4,79
8	Lounge Istirahat Karyawan	4,79
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	7000	650	450	B1 (450 mm x 650 mm)
B2	4000	600	400	B2 (400 mm x 600 mm)
B3	3000	500	350	B3 (350 mm x 500 mm)
BA1	7000	500	350	BA1 (350 mm x 500 mm)
B1A	7000	550	400	B1A (400 mm x 550 mm)
B2A	4000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)
BA1A	7000	500	250	BA1A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	6,55	3,1	0,14	1 Arah
2	P2	Pelat Lantai	6,6	3,55	0,14	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	6,65	2,55	0,13	1 Arah
4	P4	Pelat Lantai	3,6	3,6	0,12	2 Arah
5	P5	Pelat Lantai	3,65	2,6	0,12	2 Arah
6	PA1	Pelat Atap	6,6	3,175	0,14	1 Arah
7	PA2	Pelat Atap	6,7	3,6	0,14	2 Arah
8	PA3	Pelat Atap	6,75	2,6	0,13	1 Arah
9	PA4	Pelat Atap	3,7	3,7	0,12	2 Arah
10	PA5	Pelat Atap	3,75	2,7	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	650	650
K2	600	600
K3	550	550

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	450	650	8D19	7D19	5D19	8D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2	400	600	6D19	5D19	5D19	6D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	350	500	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	400	550	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B2A	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3A	250	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	1,270	0,722	650	5	30	650	7000
K1-B2	1,270	0,722	650	5	30	600	4000
K1-B3	1,270	0,722	650	5	30	500	3000
K1-B1A	1,270	0,722	650	5	30	550	7000
K1-B2A	1,270	0,722	650	5	30	500	4000
K1-B3A	1,270	0,722	600	5	30	500	3000
K2-B1	1,270	0,722	600	5	30	650	7000
K2-B2	1,270	0,722	600	5	30	600	4000
K2-B3	1,270	0,722	600	5	30	500	3000
K2-B1A	1,270	0,722	600	5	30	550	7000
K2-B2A	1,270	0,722	600	5	30	500	4000
K2-B3A	1,270	0,722	600	5	30	500	3000
K3-B1	1,270	0,722	550	5	30	650	7000
K3-B2	1,270	0,722	550	5	30	600	4000
K3-B3	1,270	0,722	550	5	30	500	3000
K3-B1A	1,270	0,722	550	5	30	550	7000
K3-B2A	1,270	0,722	550	5	30	500	4000
K3-B3A	1,270	0,722	550	5	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	22,682	19,847	14,176	22,682	3,142	1,047
K1-B2	17,012	14,176	14,176	17,012	3,142	1,047
K1-B3	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B1A	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B3A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B1	22,682	19,847	14,176	22,682	3,142	1,047
K2-B2	17,012	14,176	14,176	17,012	3,142	1,047
K2-B3	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B1A	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B3A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B1	22,682	19,847	14,176	22,682	3,142	1,047
K3-B2	17,012	14,176	14,176	17,012	3,142	1,047
K3-B3	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K3-B1A	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K3-B2A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B3A	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047

Lampiran 24 Data 24

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Pasar	-
Lokasi	Boyolali	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	6	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	24	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Area Jual Daging Sapi	4,79
2	Area Jual Daging Kambing	4,79
3	Area Jual Ayam Potong	4,79
4	Area Jual Ikan Segar dan Seafood	4,79
5	Area Jual Bumbu Giling	4,79
6	Toko Kelapa Parut dan Santan	4,79
7	Gudang Es Balok	6
8	Ruang Keamanan dan CCTV	2,4
9	Toilet Umum Pria	2,87
10	Toilet Umum Wanita	2,87
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Area Jual Sayur Daun	3,59
2	Area Jual Sayur Umbi dan Kentang	3,59
3	Area Jual Cabai dan Bawang	3,59
4	Area Jual Buah Lokal	3,59
5	Area Jual Buah Impor	3,59
6	Toko Telur Ayam	3,59
7	Toko Tempe dan Tahu	3,59
8	Ruang Timbangan Tera	2,4
9	Toilet Umum Pria	2,4
10	Toilet Umum Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Toko Sembako Beras dan Minyak A	3,59
2	Toko Sembako Beras dan Minyak B	3,59
3	Toko Tepung dan Gula	3,59
4	Toko Makanan Kering dan Kerupuk	3,59
5	Toko Jamu dan Rempah Kering	3,59
6	Toko Alat Dapur Tradisional	3,59
7	Mushola Pasar	4,79
8	Tempat Wudhu	4,79
9	Toilet Umum Pria	2,4
10	Toilet Umum Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Toko Sembako Beras dan Minyak A	3,59
2	Toko Sembako Beras dan Minyak B	3,59
3	Toko Tepung dan Gula	3,59
4	Toko Makanan Kering dan Kerupuk	3,59
5	Toko Jamu dan Rempah Kering	3,59
6	Toko Alat Dapur Tradisional	3,59
7	Mushola Pasar	4,79
8	Tempat Wudhu	4,79
9	Toilet Umum Pria	2,4
10	Toilet Umum Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Kantor Pengelola Pasar	2,4
2	Ruang Rapat Pedagang	4,79
3	Gudang Stok Sembako	6
4	Ruang Panel Listrik dan ME	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Ruang Mesin Pompa	4,79
6	Ruang Server dan Data	4,79
7	Area Makan Karyawan	4,79
8	Ruang Janitor	4,79
9	Toilet Staf Pria	2,4
10	Toilet Staf Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
F	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	6000	600	350	B1 (350 mm x 600 mm)
B2	4000	550	300	B2 (300 mm x 550 mm)
B3	3000	500	350	B3 (350 mm x 500 mm)
B1A	6000	500	350	B1A (350 mm x 500 mm)
B2A	4000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	300	B3A (300 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	6,00	6,00	0,15	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	6,00	4,00	0,13	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	4,00	4,00	0,13	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	6,00	3,00	0,13	1 Arah
5	P5	Pelat Lantai	4,00	3,00	0,13	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	6,00	6,00	0,15	2 Arah
7	P2A	Pelat Atap	6,00	4,00	0,13	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	4,00	4,00	0,13	2 Arah
9	P4A	Pelat Atap	6,00	3,00	0,13	1 Arah
10	P5A	Pelat Atap	4,00	3,00	0,13	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	500	500
K2	450	450
K3	400	400

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	350	600	5D19	3D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B2	300	550	4D19	3D19	2D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3	350	500	5D19	4D19	2D19	5D19	3D10 - 100	2D10 - 150
B1A	350	500	4D19	3D19	2D19	5D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B2A	300	500	3D19	3D19	2D19	3D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3A	300	500	3D19	2D19	2D19	3D19	2D10 - 100	2D10 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,523	0,221	500	6	30	600	6000
K1-B2	0,523	0,221	500	6	30	550	4000
K1-B3	0,523	0,221	500	6	30	500	3000
K1-B1A	0,523	0,221	500	6	30	500	6000
K1-B2A	0,523	0,221	500	6	30	500	4000
K1-B3A	0,523	0,221	450	6	30	500	3000
K2-B1	0,523	0,221	450	6	30	600	6000
K2-B2	0,523	0,221	450	6	30	550	4000
K2-B3	0,523	0,221	450	6	30	500	3000
K2-B1A	0,523	0,221	450	6	30	500	6000
K2-B2A	0,523	0,221	450	6	30	500	4000
K2-B3A	0,523	0,221	450	6	30	500	3000
K3-B1	0,523	0,221	400	6	30	600	6000
K3-B2	0,523	0,221	400	6	30	550	4000
K3-B3	0,523	0,221	400	6	30	500	3000
K3-B1A	0,523	0,221	400	6	30	500	6000
K3-B2A	0,523	0,221	400	6	30	500	4000
K3-B3A	0,523	0,221	400	6	30	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	14,176	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K1-B2	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K1-B3	14,176	11,341	5,671	14,176	2,356	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K1-B2A	8,506	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K1-B3A	8,506	5,671	5,671	8,506	1,571	1,047
K2-B1	14,176	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K2-B2	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K2-B3	14,176	11,341	5,671	14,176	2,356	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K2-B2A	8,506	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K2-B3A	8,506	5,671	5,671	8,506	1,571	1,047
K3-B1	14,176	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K3-B2	11,341	8,506	5,671	11,341	1,571	1,047
K3-B3	14,176	11,341	5,671	14,176	2,356	1,047
K3-B1A	11,341	8,506	5,671	14,176	1,571	1,047
K3-B2A	8,506	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K3-B3A	8,506	5,671	5,671	8,506	1,571	1,047

Lampiran 25 Data 25

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Bioskop	-
Lokasi	Jatinegara	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	4	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	16	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	25	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi Utama dan Antrean	4,79
2	Area Penjualan Tiket	2,4
3	Konsesi Makanan dan Minuman	4,79
4	Toko Merchandise	4,79
5	Ruang Keamanan dan CCTV	2,4
6	Gudang Logistik Makanan	6
7	Ruang Manager Bioskop	2,4
8	Ruang Istirahat Karyawan	2,4
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor Lantai Pertama	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Studio Bioskop 1	2,87
2	Studio Bioskop 2	2,87
3	Studio Bioskop 3	2,87
4	Studio Bioskop 4	2,87
5	Area Tunggu Pengunjung	4,79
6	Ruang Persiapan Peralatan	4,79
7	Gudang Perlengkapan Studio	6
8	Ruang Janitor	2,4
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor di atas lantai pertama	3,83
C	Lt 3	
1	Studio Premiere VIP A	2,87
2	Studio Premiere VIP B	2,87
3	Lounge Eksklusif Premiere	4,79
4	Ruang Proyektor Utama	4,79
5	Ruang Server dan Digital Cinema	4,79
6	Ruang Panel Listrik dan ME	4,79
7	Ruang Mekanikal AHU	4,79
8	Ruang Teknisi Sound	4,79
9	Toilet VIP Pria	2,4
10	Toilet VIP Wanita	2,4
11	Koridor di atas lantai pertama	3,83
D	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	5000	600	450	B1 (450 mm x 600 mm)
B2	4000	550	400	B2 (400 mm x 550 mm)
B3	3000	500	350	B3 (350 mm x 500 mm)
B1A	5000	500	300	B1A (300 mm x 500 mm)
B2A	4000	500	250	B2A (250 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	250	B3A (250 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	4,55	4,55	0,12	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	4,6	3,55	0,12	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	4,65	2,55	0,12	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	3,6	3,6	0,12	2 Arah
5	P5	Pelat Lantai	3,65	2,6	0,12	2 Arah
6	PA1	Pelat Atap	4,7	4,7	0,12	2 Arah
7	PA2	Pelat Atap	4,75	3,7	0,12	2 Arah
8	PA3	Pelat Atap	4,75	2,7	0,12	2 Arah
9	PA4	Pelat Atap	3,75	3,75	0,12	2 Arah
10	PA5	Pelat Atap	3,75	2,75	0,12	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	550	550
K2	500	500
K3	450	450

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	400	550	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	4D10 - 150
B2	350	500	5D19	4D19	4D19	5D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B3	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	4D10 - 100	2D10 - 150
B1A	250	500	4D19	3D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B2A	250	500	4D19	3D19	2D19	3D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3A	400	550	4D19	3D19	2D19	3D19	4D8 - 100	4D8 - 150

Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	0,822	0,492	550	4	25	600	5000
K1-B2	0,822	0,492	550	4	25	550	4000
K1-B3	0,822	0,492	550	4	25	500	3000
K1-B1A	0,822	0,492	550	4	25	500	5000
K1-B2A	0,822	0,492	550	4	25	500	4000
K1-B3A	0,822	0,492	500	4	25	500	3000
K2-B1	0,822	0,492	500	4	25	600	5000
K2-B2	0,822	0,492	500	4	25	550	4000
K2-B3	0,822	0,492	500	4	25	500	3000
K2-B1A	0,822	0,492	500	4	25	500	5000
K2-B2A	0,822	0,492	500	4	25	500	4000
K2-B3A	0,822	0,492	500	4	25	500	3000
K3-B1	0,822	0,492	450	4	25	600	5000
K3-B2	0,822	0,492	450	4	25	550	4000
K3-B3	0,822	0,492	450	4	25	500	3000
K3-B1A	0,822	0,492	450	4	25	500	5000
K3-B2A	0,822	0,492	450	4	25	500	4000
K3-B3A	0,822	0,492	450	4	25	500	3000

Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	2,094
K1-B2	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K1-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K1-B2A	11,341	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K1-B3A	11,341	8,506	5,671	8,506	2,011	1,340
K2-B1	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	2,094
K2-B2	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K2-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K2-B2A	11,341	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K2-B3A	11,341	8,506	5,671	8,506	2,011	1,340

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K3-B1	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	2,094
K3-B2	14,176	11,341	11,341	14,176	3,142	1,047
K3-B3	11,341	8,506	8,506	11,341	3,142	1,047
K3-B1A	11,341	8,506	8,506	11,341	1,571	1,047
K3-B2A	11,341	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K3-B3A	11,341	8,506	5,671	8,506	2,011	1,340

Lampiran 26 Data 26

Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Museum	-
Lokasi	Cianjur	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	6	lantai
Tinggi antar lantai	4	m
Tinggi total struktur	24	m

Data Material

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat tekan beton	f_c	30	MPa
Mutu baja tulangan ulir	f_y	420	MPa
Mutu baja tulangan polos	f_y	420	MPa

Beban Hidup

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
A	Lantai 1	
1	Lobi Utama Museum	4,79
2	Galeri Pameran Temporer	4,79
3	Toko Suvenir Museum	4,79
4	Kafe Museum	4,79
5	Ruang Tiket dan Registrasi	2,4
6	Ruang Informasi Pengunjung	2,4
7	Ruang Penitipan Barang	6
8	Ruang Keamanan dan CCTV	2,4
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor Lantai 1	4,79

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
B	Lt 2	
1	Galeri Sejarah Permanen A	4,79
2	Galeri Sejarah Permanen B	4,79
3	Galeri Seni Rupa	4,79
4	Galeri Etnografi	4,79
5	Ruang Audiovisual	4,79
6	Ruang Workshop Edukasi	4,79
7	Ruang Kurator	2,4
8	Ruang Rapat Staf	4,79
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
C	Lt 3	
1	Galeri Koleksi Arkeologi	4,79
2	Galeri Multimedia Interaktif	4,79
3	Ruang Laboratorium Konservasi	2,4
4	Ruang Restorasi Koleksi	2,4
5	Ruang Dokumentasi dan Foto	2,4
6	Perpustakaan Ruang Baca	2,87
7	Ruang Arsip Koleksi Stack	7,18
8	Ruang Digitalisasi Koleksi	2,4
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
D	Lt 4	
1	Kantor Kepala Museum	2,4
2	Ruang Administrasi Umum	2,4
3	Ruang Rapat Eksekutif	4,79
4	Gudang Koleksi A Ringan	6
5	Gudang Koleksi B Berat	11,97
6	Ruang Server Utama	4,79
7	Ruang Panel Listrik dan ME	4,79
8	Lounge Istirahat Karyawan	4,79
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
E	Lt 5	
1	Kantor Kepala Museum	2,4
2	Ruang Administrasi Umum	2,4
3	Ruang Rapat Eksekutif	4,79
4	Gudang Koleksi A Ringan	6

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
5	Gudang Koleksi B Berat	11,97
6	Ruang Server Utama	4,79
7	Ruang Panel Listrik dan ME	4,79
8	Lounge Istirahat Karyawan	4,79
9	Toilet Pria	2,4
10	Toilet Wanita	2,4
11	Koridor diatas lantai 1	3,83
G	Lt Atap	
1	Dak Atap	0,96

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	6000	800	500	B1 (500 mm x 800 mm)
B2	5000	650	400	B2 (400 mm x 650 mm)
B3	3000	550	400	B3 (400 mm x 550 mm)
B1A	6000	600	350	B1A (350 mm x 600 mm)
B2A	5000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	300	B3A (300 mm x 500 mm)

Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln _x	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	6,00	6,00	0,15	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	6,00	5,00	0,15	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	5,00	5,00	0,13	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	6,00	3,00	0,13	1 Arah
5	P5	Pelat Lantai	5,00	3,00	0,13	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	6,00	6,00	0,15	2 Arah
7	P2A	Pelat Atap	6,00	5,00	0,15	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	5,00	5,00	0,13	2 Arah
9	P4A	Pelat Atap	6,00	3,00	0,13	1 Arah
10	P5A	Pelat Atap	5,00	3,00	0,13	2 Arah

Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	700	700
K2	600	600
K3	550	550

Rekapitulasi Desain Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	500	800	8D19	6D19	5D19	6D19	3D10 - 100	2D10 - 150
B2	400	650	7D19	7D19	3D19	5D19	3D10 - 100	2D10 - 150
B3	400	550	6D19	5D19	3D19	5D19	3D10 - 100	2D10 - 150
B1A	350	600	4D19	3D19	3D19	5D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B2A	300	500	3D19	3D19	2D19	3D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3A	300	500	3D19	2D19	2D19	3D19	2D10 - 100	2D10 - 150

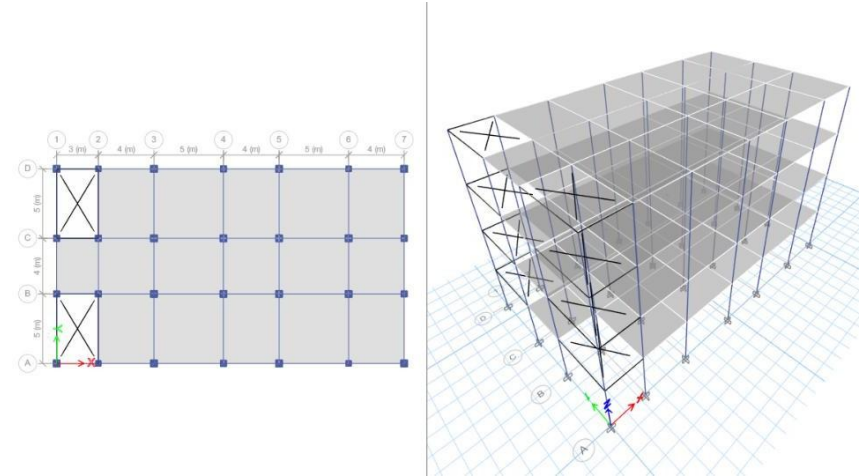
Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	1,374	0,755	700	6	30	800	6000
K1-B2	1,374	0,755	700	6	30	650	5000
K1-B3	1,374	0,755	700	6	30	550	3000
K1-B1A	1,374	0,755	700	6	30	600	6000
K1-B2A	1,374	0,755	700	6	30	500	5000
K1-B3A	1,374	0,755	600	6	30	500	3000
K2-B1	1,374	0,755	600	6	30	800	6000
K2-B2	1,374	0,755	600	6	30	650	5000
K2-B3	1,374	0,755	600	6	30	550	3000
K2-B1A	1,374	0,755	600	6	30	600	6000
K2-B2A	1,374	0,755	600	6	30	500	5000
K2-B3A	1,374	0,755	600	6	30	500	3000
K3-B1	1,374	0,755	550	6	30	800	6000
K3-B2	1,374	0,755	550	6	30	650	5000
K3-B3	1,374	0,755	550	6	30	550	3000
K3-B1A	1,374	0,755	550	6	30	600	6000
K3-B2A	1,374	0,755	550	6	30	500	5000
K3-B3A	1,374	0,755	550	6	30	500	3000

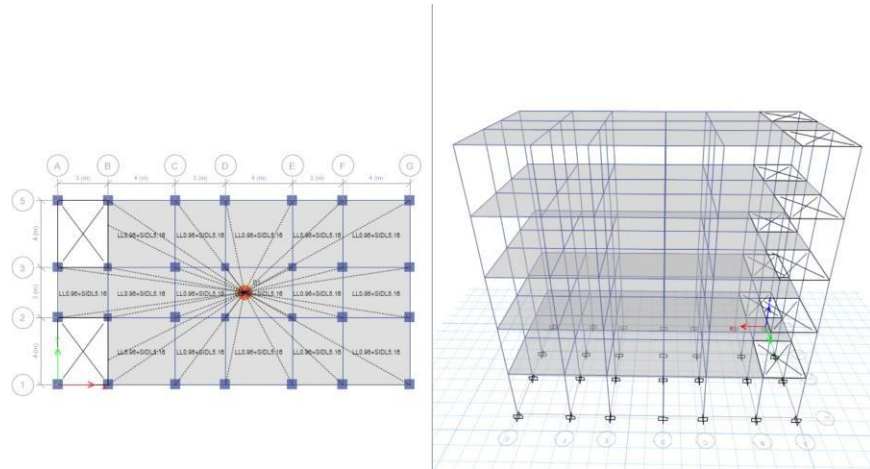
Data Output

Pasangan	As Longitudinal Balok Tumpuan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Tumpuan Bawah (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Atas (cm ²)	As Longitudinal Balok Lapangan Bawah (cm ²)	As Transversal Balok Tumpuan (cm ²)	As Transversal Balok Lapangan (cm ²)
K1-B1	22,682	17,012	14,176	17,012	2,356	1,047
K1-B2	19,847	19,847	8,506	14,176	2,356	1,047
K1-B3	17,012	14,176	8,506	14,176	2,356	1,047
K1-B1A	11,341	8,506	8,506	14,176	1,571	1,047
K1-B2A	8,506	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K1-B3A	8,506	5,671	5,671	8,506	1,571	1,047
K2-B1	22,682	17,012	14,176	17,012	2,356	1,047
K2-B2	19,847	19,847	8,506	14,176	2,356	1,047
K2-B3	17,012	14,176	8,506	14,176	2,356	1,047
K2-B1A	11,341	8,506	8,506	14,176	1,571	1,047
K2-B2A	8,506	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K2-B3A	8,506	5,671	5,671	8,506	1,571	1,047
K3-B1	22,682	17,012	14,176	17,012	2,356	1,047
K3-B2	19,847	19,847	8,506	14,176	2,356	1,047
K3-B3	17,012	14,176	8,506	14,176	2,356	1,047
K3-B1A	11,341	8,506	8,506	14,176	1,571	1,047
K3-B2A	8,506	8,506	5,671	8,506	1,571	1,047
K3-B3A	8,506	5,671	5,671	8,506	1,571	1,047

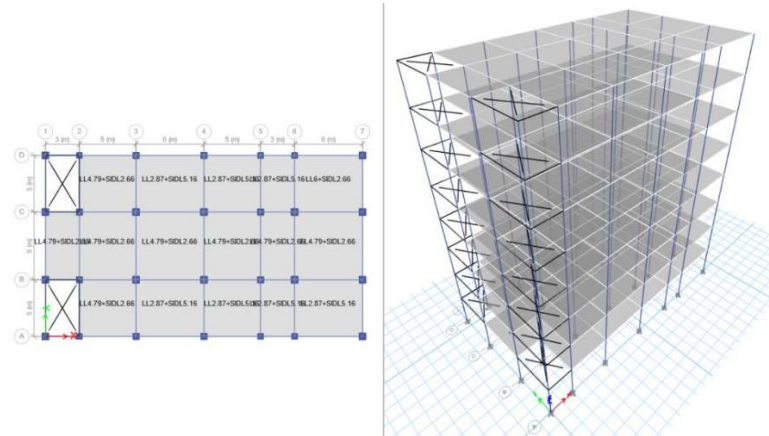
Lampiran 27 Pemodelan 3D ETABS



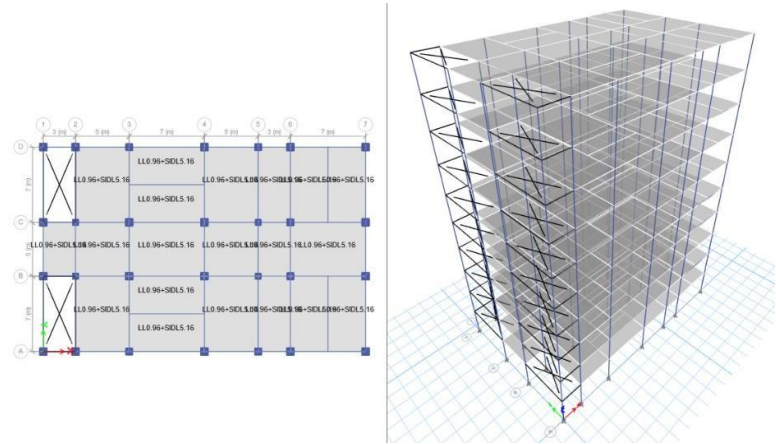
Pemodelan 3D ETABS Data 1



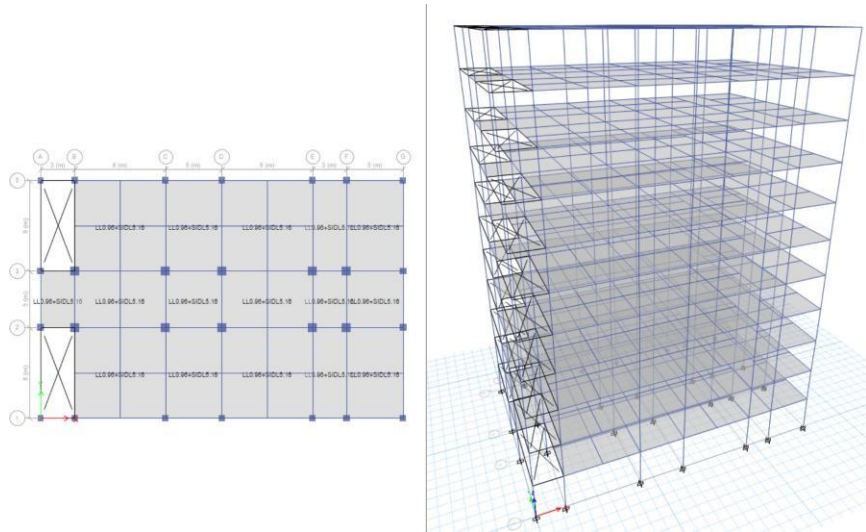
Pemodelan 3D ETABS Data 2



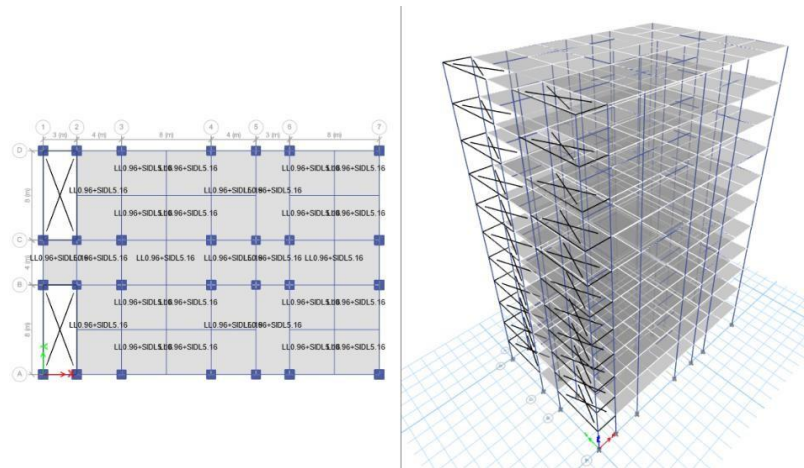
Pemodelan 3D ETABS Data 3



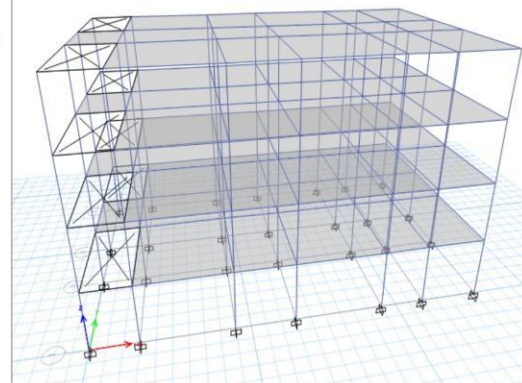
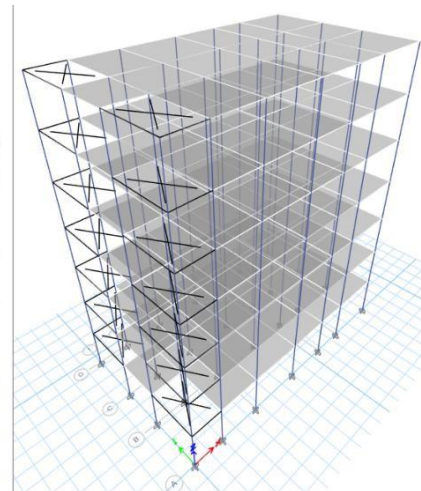
Pemodelan 3D ETABS Data 7

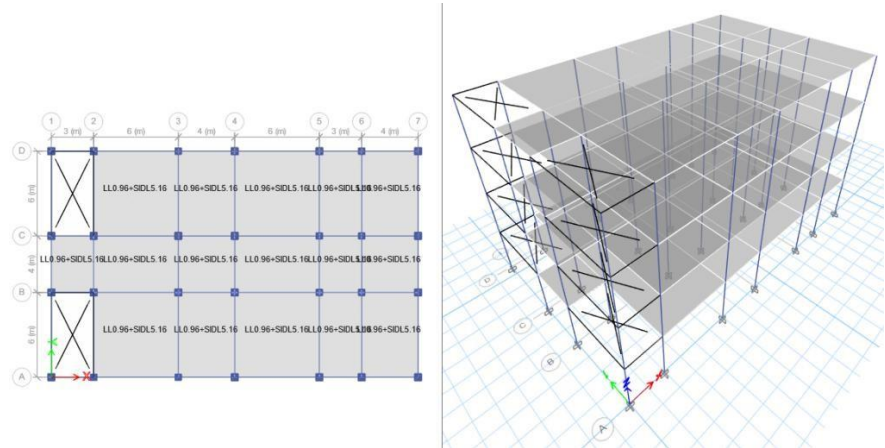


Pemodelan 3D ETABS Data 8

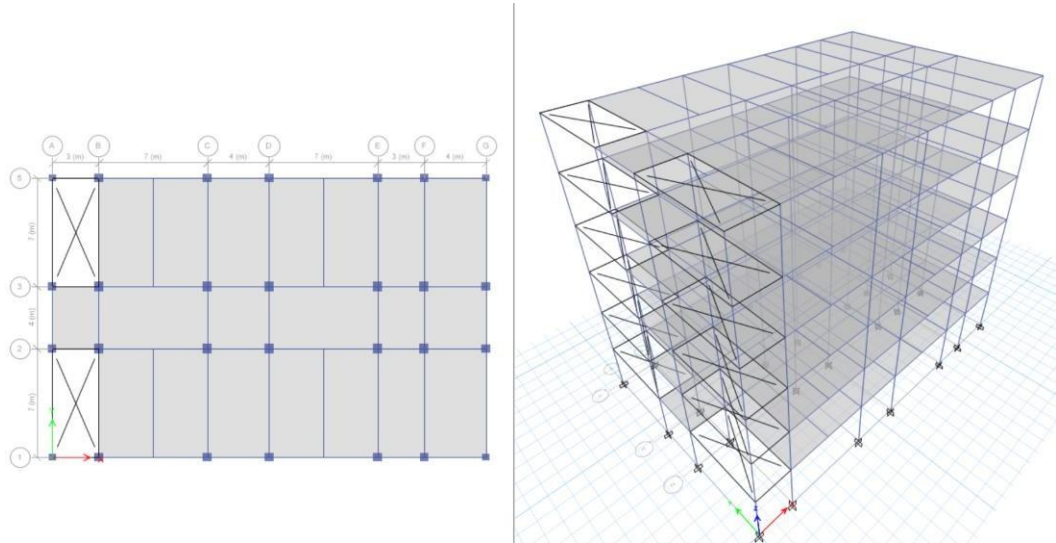


Pemodelan 3D ETABS Data 9

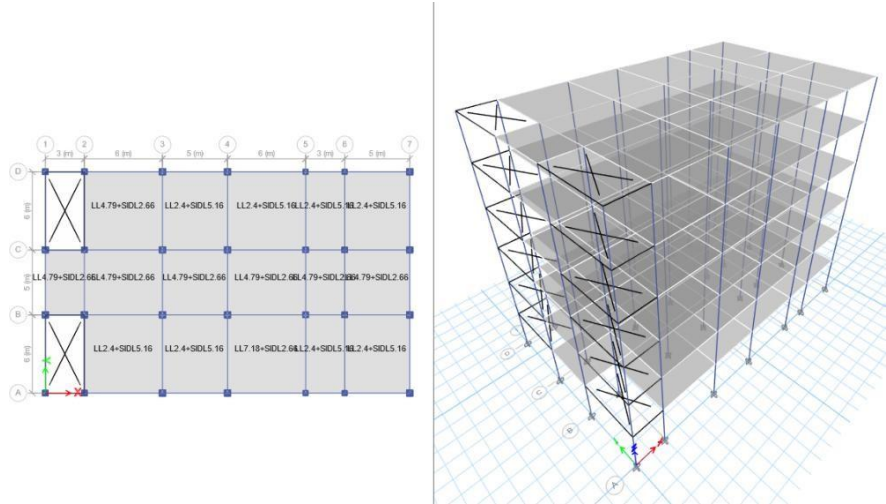




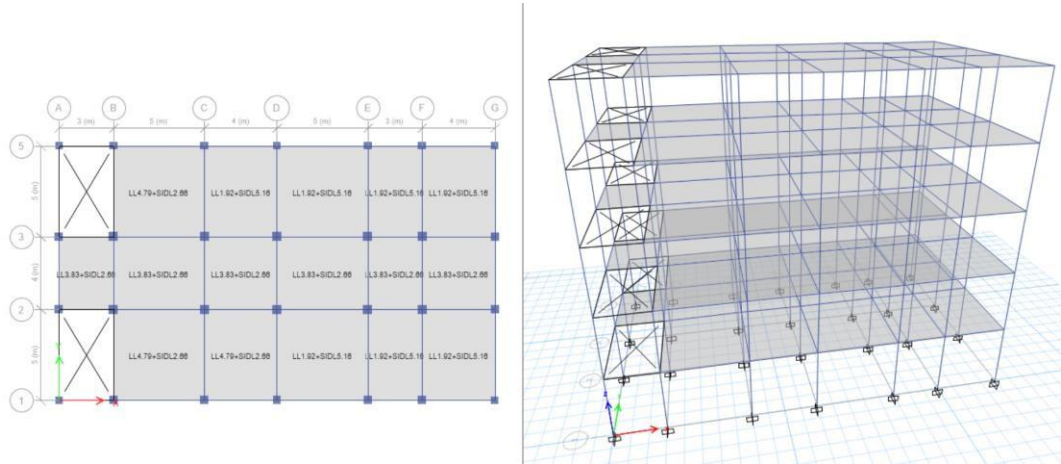
Pemodelan 3D ETABS Data 13



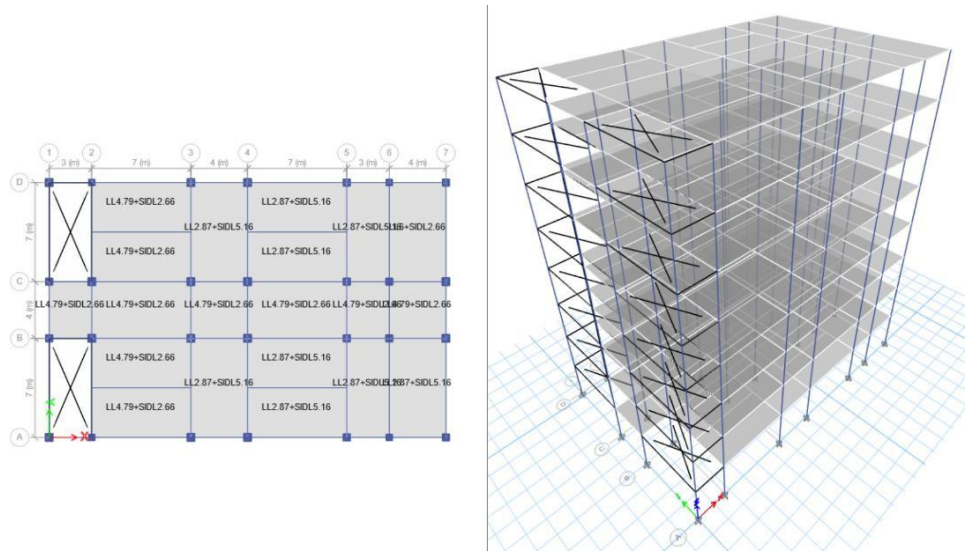
Pemodelan 3D ETABS Data 14



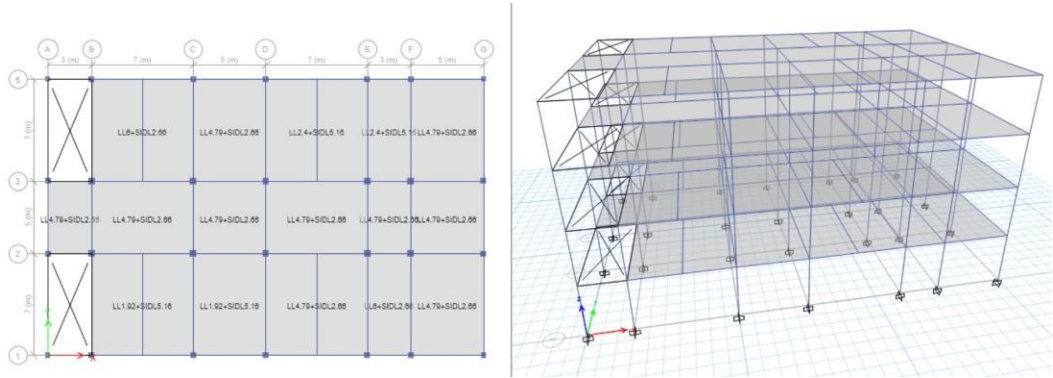
Pemodelan 3D ETABS Data 15



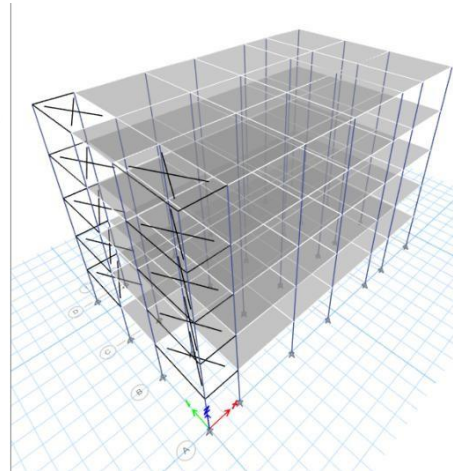
Pemodelan 3D ETABS Data 16



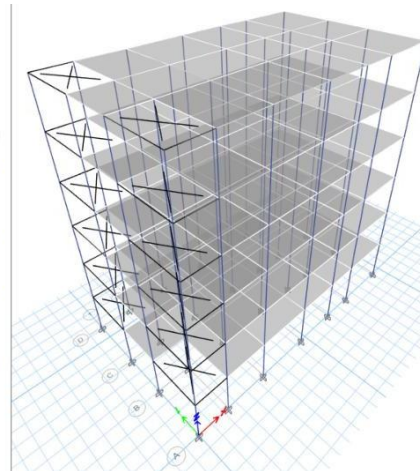
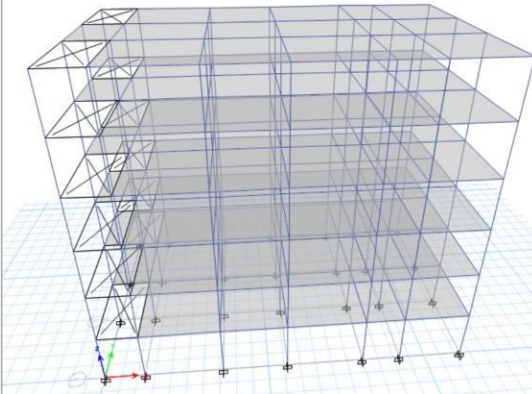
Pemodelan 3D ETABS Data 17



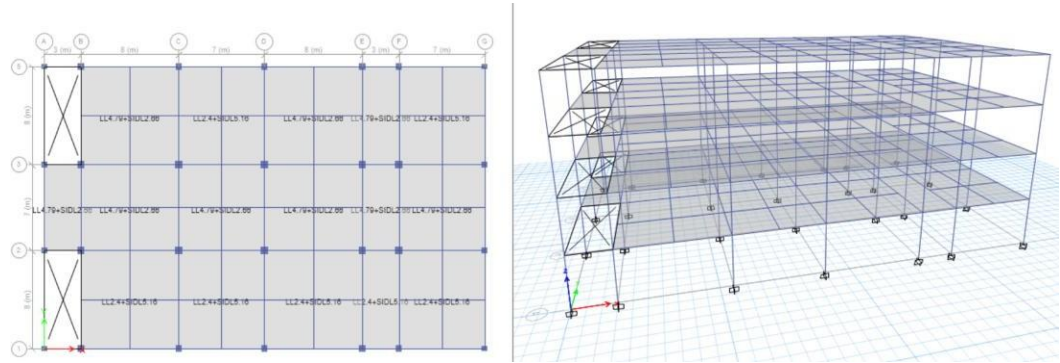
Pemodelan 3D ETABS Data 18



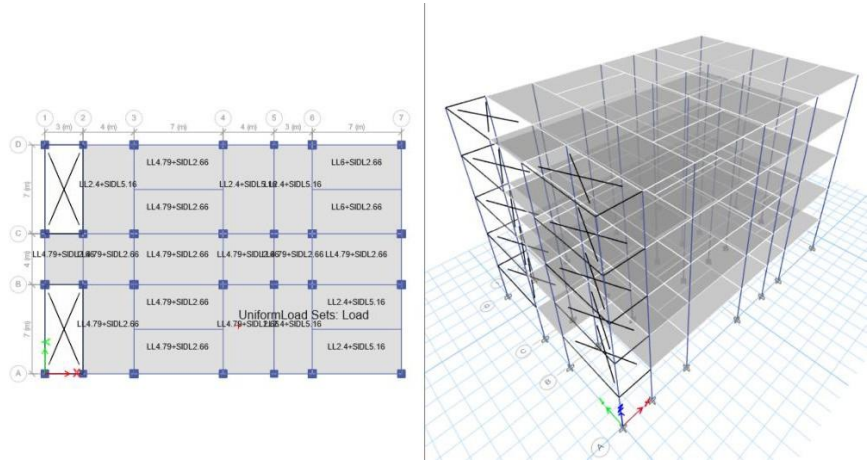
The diagram shows a rectangular floor plan divided into a grid of 6 columns (A-G) and 4 rows (1-5). Column widths are 3 m each, and row heights are 3 m each. The plan includes various structural components represented by different gray shades: light gray for main areas, medium gray for beams/walls, and dark gray for columns. Specific labels within the grid include:
 - Row 5: LL4.79+SIDL2.80 (between A-B), LL2.4+SIDL5.10 (between C-D), LL2.4+SIDL5.10 (between D-E), LL4.79+SIDL2.80 (between E-F), LL4.79+SIDL2.80 (between F-G).
 - Row 4: LL4.79+SIDL2.80 (between A-B), LL4.79+SIDL2.80 (between C-D), LL4.79+SIDL2.80 (between D-E), LL4.79+SIDL2.80 (between E-F), LL4.79+SIDL2.80 (between F-G).
 - Row 3: LL2.4+SIDL5.10 (between B-C), LL4.79+SIDL2.80 (between C-D), LL4.79+SIDL2.80 (between D-E), LL4.79+SIDL2.80 (between E-F), LL4.79+SIDL2.80 (between F-G).
 - Row 2: LL2.4+SIDL5.10 (between B-C), LL2.4+SIDL5.10 (between C-D), LL6+SIDL2.80 (between D-E), LL4.79+SIDL2.80 (between E-F), LL4.79+SIDL2.80 (between F-G).
 - Row 1: No labels.
 Arrows at node A1 point towards B1 (red), C1 (green), and up towards A2 (green).



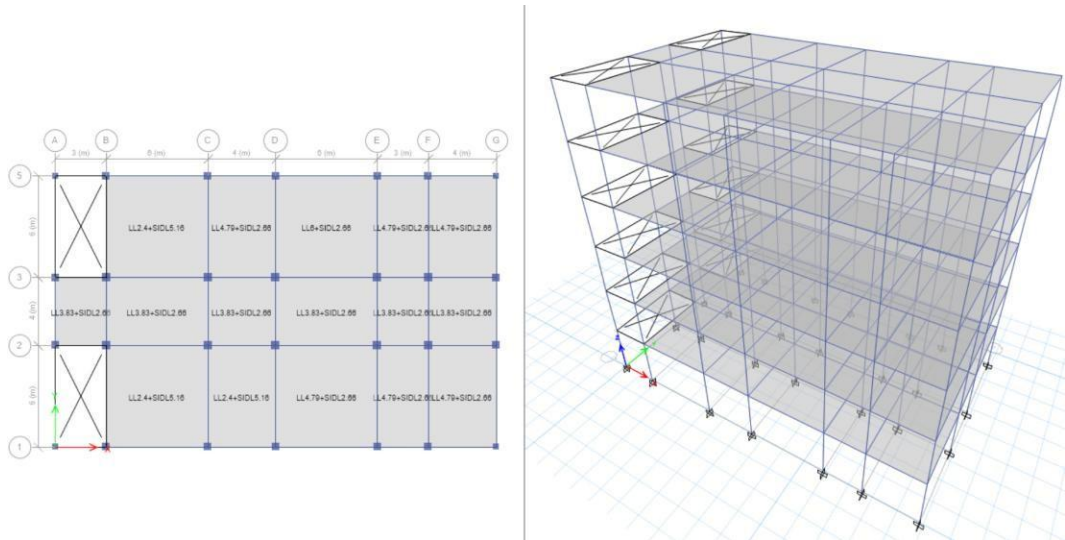
Pemodelan 3D ETABS Data 21



Pemodelan 3D ETABS Data 22



Pemodelan 3D ETABS Data 23



Pemodelan 3D ETABS Data 24

Pemodelan 3D ETABS Data 26