

TUGAS AKHIR

PENERAPAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* UNTUK MENGANALISIS KEBUTUHAN TULANGAN KOLOM BETON BERTULANG PADA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG (*APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO ANALYZE THE REINFORCEMENT REQUIREMENTS OF REINFORCED CONCRETE COLUMN IN THE BUILDING STRUCTURES*)

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



**Althoof Syecha Habibie
22511142**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2026**

TUGAS AKHIR

PENERAPAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* UNTUK MENGANALISIS KEBUTUHAN TULANGAN KOLOM BETON BERTULANG PADA STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG (*APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO ANALYZE THE REINFORCEMENT REQUIREMENTS OF REINFORCED CONCRETE COLUMN IN THE BUILDING STRUCTURES*)

Disusun oleh
Althoof Syecha Habibie
22511142

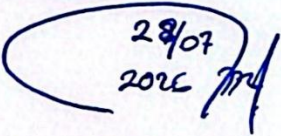
Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 27 Juli 2026

Oleh Dewan Penguji
Penguji I

Pembimbing

Penguji II


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


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


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

Mengesahkan,
Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil


Dinia 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, 18 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Penerapan *Artificial Neural Network* untuk Menganalisis Kebutuhan Tulangan pada Kolom Beton Bertulang pada Struktur Bangunan Gedung. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain dan Inovasi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

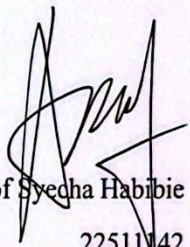
1. Allah SWT yang selalu memberikan kesehatan, kekuatan, serta kemudahan dalam setiap langkah melalui doa-doa yang penulis panjatkan.
2. Orang tua, adik penulis atas segala dukungan yang diberikan
3. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng. selaku Pelaksana Tugas Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. Jafar, S.T., MURP., M.T. selaku dosen pembimbing yang dengan baik telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan berharga selama proses penyusunan Tugas Akhir ini
5. Seluruh dosen dan staf di Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu dan pelayanan terbaik selama masa perkuliahan
6. Jovita Monika Nuraini Wursito sebagai *partner in crime* seumur hidup penulis yang telah berjuang bersama melewati suka duka, dan selalu menjadi *support system* penulis.

7. Aldean Tegar Gemilang selaku *streamer* yang menemani penulis dalam Menyusun naskah Tugas Akhir
8. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil Angkatan 2022 yang selalu memberikan semangat, kebersamaan, serta bantuan selama menjalani perkuliahan.

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

Yogyakarta, 23 Juli 2026

Penulis,


Althoof Syedha Habibie
22511142

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xx
ABSTRAK	xxvi
ABSTRACT	xxvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.4.1 Secara teoritis dalam kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan penelitian sebelumnya	4
1.4.2 Manfaat secara praktis dalam penerapan langsung bagi masyarakat, kebijakan, atau sektor terkait	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum	7
2.2 Penelitian Terdahulu	7

2.2.1	Prediksi dan Analisis Berat Gedung dengan <i>Structural Analysis Program</i> 2000 (SAP 2000) dan Metode <i>Artificial Neural Network</i> (Fadhila dan Hasan, 2020)	8
2.2.2	Pendekatan <i>Artificial Neural Network</i> untuk Mengestimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung (Harahap et al., 2022)	9
2.2.3	Prediksi Nilai Kuat Tekan Mortar dengan Pemodelan <i>Artificial Neural Network</i> (ANN) dengan Pecahan Keramik (Suryani et al., 2021)	9
3.2.4	Potensi Metode Jaringan Saraf Tiruan dalam Memprediksi Respons Seismik Gedung Bertingkat di Indonesia (Harnedi et al., 2023)	10
3.2.5	Prediksi Kuat Tekan Beton Normal dengan Metode <i>Artificial Neural Network</i> (Makrifa et al., 2024)	11
2.2.6	Perbandingan Penelitian	11
2.3	Keaslian Penelitian	19
BAB III LANDASAN TEORI		20
3.1	Umum	20
3.2	Bangunan Gedung	20
3.2.1	Fungsi Bangunan Gedung	21
3.2.2	Pembangunan Gedung	21
3.3	Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa	23
3.3.1	Sistem Struktur Bangunan Tahan Gempa	24
3.3.2	Desain Filosofi	27
3.3.3	<i>Strong Coloum Weak Beam</i> (SCWB)	28
3.4	Pembebanan Analisis Struktur	29

3.4.1	Beban Mati	29
3.4.2	Beban Hidup	29
3.4.3	Kombinasi Pembebanan Dasar	29
3.5	Pembebanan Gempa	31
3.5.1	Peruntukan Bangunan yang Akan Dibangun	31
3.5.2	Penentuan Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan	31
3.5.3	Parameter Gerak Tanah	32
3.5.4	Penentuan Koefisien Situs	33
3.5.5	Parameter Percepatan Gempa	35
3.5.6	Menentukan Kategori Desain Seismik	35
3.5.7	Penentuan Jenis Struktur Penahan Beban	36
3.6	Analisis Tahap 1	36
3.6.1	<i>Checking</i> Kinerja Struktur (Statik Ekuivalen)	36
3.6.2	Kombinasi Beban Gempa	36
3.6.3	Menentukan Koefisien Batas Atas Periode dan Periode Pendekatan Bangunan	37
3.6.4	Koefisien Respon Seismik	38
3.6.6	Distribusi Gaya Seismik	40
3.6.7	Ketidakteraturan Struktur yang Diidentifikasi	41
3.6.8	Torsi Bawaan Tak Terduga	41
3.6.9	Kontrol Simpangan Antar Tingkat (<i>Drift Rasio</i>)	41
3.6.10	Kontrol P-Delta Effect	42
3.7	Analisis Tahap 2	43

3.7.1 Kombinasi Beban Dasar	43
3.7.2 Faktor Redundansi	44
3.7.3 Pengaplikasian Kombinasi Beban Ortogonal	44
3.7.4 Amplifikasi Torsi tak terduga	47
3.7.5 Faktor Skala Pembebanan Gempa	48
3.7.6 Kontrol Drift-Rasio	48
3.7.7 Kontrol <i>P-delta</i>	48
3.8 Kebutuhan Tulangan Longitudinal Balok	48
3.8.1 Desain Tulangan	49
3.8.2 Analisis Momen Balok	52
3.8.2 Analisis Momen Kapasitas	53
3.8.3 Desain Tulangan Geser Balok	54
3.9 Kebutuhan Tulangan Kolom	56
3.9.1 Kondisi-Kondisi Elemen Kolom	57
3.9.2 Kebutuhan Tulangan Transversal	61
3.10 <i>Artificial Neural Network</i> (ANN)	63
3.10.1 Arsitektur dan Komponen ANN	64
3.10.2 Metode Pembelajaran dalam ANN (<i>Backpropagation</i>)	66
3.10.3 Perangkat Lunak MATLAB dalam Pemodelan ANN	68
3.10.4 Indikator Evaluasi Kinerja Model ANN	69
BAB IV METODE PENELITIAN	71
4.1 Umum	71
4.2 Subjek dan Objek Penelitian	72

4.3	Data dan Metode Pengumpulan Data	72
4.4	Metode Analisis dan Desain	74
4.5	Tahapan Penelitian	76
4.6	Bagan Alir	77
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		83
5.1	Umum	83
5.2	Pengumpulan dan Penentuan Data Penelitian	83
5.2.1	Data Umum Bangunan	83
5.3	Pembebanan Struktur	84
5.3.1	Dead Load	84
5.3.2	<i>Live Load</i>	85
5.3.3	<i>Super Imposed Dead Load (SIDL)</i>	87
5.4	Estimasi Dimensi	88
5.4.1	Estimasi Dimensi Balok	88
5.4.2	Estimasi Dimensi Pelat	90
5.4.3	Estimasi Dimensi Kolom	95
5.4.4	Estimasi dan Pembebanan Tangga	99
5.4.5	Estimasi Panjang dan Pembebanan Dinding	100
5.5	Massa Bangunan	102
5.5.1	Perhitungan Massa Setiap Komponen	103
5.5.2	Rekapitulasi Massa Bangunan	108
5.6	Parameter Kegempaan dan Respons Spektrum	109
5.7	Pemodelan dan Analisis Struktur	111
5.7.1	Pemodelan Struktur pada ETABS	111
5.7.2	Ketidakteraturan Horizontal	112

5.7.3	Ketidakteraturan Vertikal	114
5.7.4	Periode Struktur dan Partisipasi Massa	116
5.7.5	Analisis Statik Ekuivalen	116
5.7.6	Analisis Dinamik Respons Spektrum	117
5.7.7	Kontrol Simpangan Antar Tingkat dan P-Delta	118
5.7.8	Kontrol Efek P-Delta (<i>P-Delta Effect</i>)	119
5.7.9	Kombinasi Beban	120
5.8	Komponen Struktur Balok	124
5.8.1	Gaya Dalam Balok	125
5.8.2	Redistribusi Momen Balok	125
5.8.3	Desain Penulangan Lentur Balok	126
5.8.4	Verifikasi Momen Balok	128
5.8.5	Analisis Momen Kapasitas	128
5.8.6	Desain Penulangan Geser (Transversal)	129
5.8.7	Rekapitulasi Penulangan Longitudinal dan Transversal Balok	130
5.9	Komponen Struktur Kolom	131
5.9.1	Data Awal Kolom	131
5.9.2	Desain Penulangan Longitudinal	133
5.9.3	Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> (SCWB)	135
5.9.4	Desain Tulangan Transversal (Confinement)	136
5.9.5	Pengecekan Geser Kolom	137
5.9.6	Rekapitulasi Penulangan Kolom	138

5.10 Rekapitulasi <i>Input</i> dan <i>Output</i>	138
5.10.1 Rekapitulasi Total Dataset ANN	140
5.11 Pemodelan <i>Artificial Neural Network</i> (ANN)	140
5.11.1 Persiapan Data ke MATLAB	140
5.11.2 Parameter Pelatihan ANN	141
5.11.3 Hasil Pelatihan Model ANN	142
5.11.4 Persamaan Empiris Model ANN	144
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	156
6.1 Kesimpulan	156
6.2 Saran	157
DAFTAR PUSTAKA	158

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan dengan Penelitian Terdahulu	12
Tabel 3.1 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)	31
Tabel 3.2 Koefisien situs, F_a	34
Tabel 3.3 Koefisien situs, F_v	34
Tabel 3.4 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	35
Tabel 3.5 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada	36
Tabel 3.6 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	37
Tabel 3.7 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x	38
Tabel 5.1 Data Umum Bangunan	84
Tabel 5.2 Data Material	84
Tabel 5.3 <i>Dead Load</i>	85
Tabel 5.4 Live Load	86
Tabel 5.6 Super Imposed Dead Load	87
Tabel 5.7 Ketentuan Asumsi Awal untuk Tinggi Balok Minimum 2	88
Tabel 5.8 Dimensi Bentang dan Tinggi Balok Pakai	89
Tabel 5.9 Lebar Balok Pakai	89
Tabel 5.10 Rekapitulasi Dimensi Pakai Balok	90
Tabel 5.11 Data Pelat Lantai P1	90
Tabel 5.12 Rekapitulasi Jenis Pelat	91
Tabel 5.13 Inersia Balok pada Sisi Pendek dan Panjang Pelat P1	92
Tabel 5.14 Rasio Kekakuan Seluruh Sisi Pelat Lantai P1	93
Tabel 5.15 Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung	95
Tabel 5.16 Rekap Kolom yang Menumpu pada Kolom K1	96

Tabel 5.17 Rekapitulasi Beban Aksial Pelat Lantai dan Atap yang Ditumpu Kolom K1	97
Tabel 5.18 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian	99
Tabel 5.19 Pembebanan Tangga	100
Tabel 5.20 Berat Dinding Setiap Lantai	102
Tabel 5.21 Massa Komponen Balok	104
Tabel 5.22 Massa Komponen Pelat	105
Tabel 5.23 Massa Komponen Kolom	106
Tabel 5.24 Beban Gravitasi Ruangan	107
Tabel 5.25 Massa Bangunan Manual	108
Tabel 5.26 Perbandingan Massa Bangunan Manual vs <i>Software</i>	108
Tabel 5.27 Perbandingan <i>Self Mass</i> Manual vs <i>Software</i>	109
Tabel 5.28 Parameter Gempa Tapak	109
Tabel 5.29 Parameter Sistem Struktur	110
Tabel 5.30 Koefisien Respon Seismik	110
Tabel 5.31 Pemeriksaan Ketidakberaturan Torsi (Tipe 1a dan 1b) Arah X	112
Tabel 5.32 Pemeriksaan Ketidakberaturan Torsi (Tipe 1a dan 1b) Arah Y	113
Tabel 5.33 Analisis Ketidakberaturan Tipe 3	114
Tabel 5.34 Pemeriksaan Kekakuan Tingkat (Tipe 1a dan 1b) Vertikal	114
Tabel 5.35 Analisis Ketidakberaturan Berat Massa	115
Tabel 5.36 Analisis Diskontinuitas Kuat Lateral Tingkat Lemah	115
Tabel 5.37 Ringkasan Periode dan Partisipasi Massa	116
Tabel 5.38 Penskalaan Gaya Geser Dinamik	117
Tabel 5.39 <i>Output</i> Penskalaan Gaya Gempa MRSA	117
Tabel 5.40 Parameter Perhitungan Simpangan Antar Lantai	118
Tabel 5.41 Pengecekan Simpangan Antar Lantai Arah X	118
Tabel 5.42 Pengecekan Simpangan Antar Lantai Arah Y	119
Tabel 5.43 Parameter Perhitungan P-Delta Antar Lantai	119
Tabel 5.44 <i>P-Delta Effect</i>	120
Tabel 5.45 Kombinasi Beban Dinamik	121

Tabel 5.46 Gaya Dalam Balok	125
Tabel 5.47 Hasil Redistribusi Momen	126
Tabel 5.48 Data Awal Balok B1	126
Tabel 5.49 Tulangan Longitudinal Balok B1	127
Tabel 5.50 Verifikasi Momen Tumpuan Balok B1	128
Tabel 5.51 Verifikasi Momen Lapangan Balok B1	128
Tabel 5.52 Analisis Momen Kapasitas Balok B1 (Daerah Tumpuan)	129
Tabel 5.53 Analisis Momen Kapasitas Balok B1 (Daerah Lapangan)	129
Tabel 5.54 Penulangan Geser Balok B1	130
Tabel 5.55 Pengecekan Kuat Geser Balok B1	130
Tabel 5.56 Rekapitulasi <i>Design</i> Balok	130
Tabel 5.57 Data Awal Kolom K1	132
Tabel 5.58 Gaya Dalam Kolom Aksial Lentur	132
Tabel 5.59 Gaya Dalam Kolom Geser	132
Tabel 5.60 Pengecekan Rasio Tulangan Kolom	133
Tabel 5.61 Pengecekan Kapasitas Kolom K1 terhadap Diagram Interaksi	134
Tabel 5.62 Pengecekan SCWB	135
Tabel 5.63 Panjang Zona Sendi Plastis	136
Tabel 5.64 Pengecekan Tulangan Transversal (Confinement) Kolom K1	136
Tabel 5.65 Rekapitulasi Penulangan Kolom	138
Tabel 5.66 Data <i>Input</i>	139
Tabel 5.67 Data <i>Output</i>	139
Tabel 5.68 Konfigurasi Pelatihan Model ANN	142
Tabel 5.69 Hasil Proses Pelatihan Model ANN	143
Tabel 5.70 Definisi <i>Input</i> Pakai	144
Tabel 5.71 Nilai Minimum dan Maksimum Variabel <i>Input</i>	154
Tabel 5.72 Nilai Minimum dan Maksimum <i>Output</i> Aktif	154
Tabel 5.73 Bobot <i>Input-Hidden Layer</i> (IW)	154
Tabel 5.74 Bias <i>Hidden Layer</i> (b1)	155
Tabel 5.75 Bobot <i>Hidden-Output Layer</i> 1-5(LW)	155

Tabel 5.76 Bobot <i>Hidden-Output Layer</i> 6-10(LW)	155
Tabel 5.77 Bias <i>Output Layer</i> (b2)	155

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Contoh Komponen Struktur Tahan Gempa	24
Gambar 3.2 Pelat Satu Arah	26
Gambar 3.3 Pelat Dua Arah	27
Gambar 3.4 Ilustrasi Kerusakan pada Level Gempa	28
Gambar 3.5 Kondisi Beam Way Mechanism	28
Gambar 3.6 Parameter Gerak Tanah, S_s	32
Gambar 3.7 Parameter Gerak Tanah, S_1	33
Gambar 3.8 Penentuan Simpangan Antar Tingkat	42
Gambar 3.9 Skema Gabungan dari Tulangan Rangka	50
Gambar 3.10 Diagram Interaksi M_n-P_n	57
Gambar 3.11 Arsitektur Dasar Multilayer Perceptron (MLP)	66
Gambar 3.12 Diagram Blok dari Three-layer ANN	66
Gambar 3.13 Model Arsitektur Jaringan Backpropagation	68
Gambar 4.1 Gambar Denah Balok	72
Gambar 4.2 Gambar Denah Pelat	73
Gambar 4.3 Gambar Denah Kolom	73
Gambar 4.4 Bagan Alir Umum Penelitian	78
Gambar 4.5 Bagan Alir Desain dan Analisis Model Struktur Penelitian	79
Gambar 4.6 Bagan Alir Desain Komponen Struktur Kolom	80
Gambar 4.7 Bagan Alir Analisis Dengan Menggunakan <i>Artificial Neural Network</i>	81
Gambar 4.8 Gambar Keterangan Simbol pada <i>Flowchart</i>	82
Gambar 5.1 Denah Letak Tangga Pada Objek Penelitian	100
Gambar 5.2 Denah Perletakkan Bata Untuk Dinding	102
Gambar 5.3 Pemodelan 3D pada <i>Software</i> ETABS	112
Gambar 5.4 Diafragma Bangunan	113

Gambar 5.4 Diagram Interaksi Mn-Pn Arah X	134
Gambar 5.5 Diagram Interaksi Mn-Pn Arah Y	135
Gambar 5.6 Tahap <i>Import</i> Data ke MATLAB	141
Gambar 5.7 Tahap <i>Import</i> Data ke <i>Neural Network Fitting</i>	141
Gambar 5.8 Hasil Pelatihan Model ANN	142
Gambar 5.9 <i>Regression</i> Plot hasil pelatihan ANN	143

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data 1	161
Lampiran 2 Data 2	164
Lampiran 3 Data 3	171
Lampiran 4 Data 4	177
Lampiran 5 Data 5	183
Lampiran 6 Data 6	188
Lampiran 7 Data 7	195
Lampiran 8 Data 8	202
Lampiran 9 Data 9	209
Lampiran 10 Data 10	216
Lampiran 11 Data 11	222
Lampiran 12 Data 12	228
Lampiran 13 Data 13	233
Lampiran 14 Data 14	238
Lampiran 15 Data 15	244
Lampiran 16 Data 16	250
Lampiran 17 Data 17	256
Lampiran 18 Data 18	262
Lampiran 19 Data 19	267
Lampiran 20 Data 20	272
Lampiran 21 Data 21	278
Lampiran 22 Data 22	284
Lampiran 23 Data 23	289
Lampiran 24 Data 24	295
Lampiran 25 Data 25	301
Lampiran 26 Data 26	306
Lampiran 27 Pemodelan 3D ETABS	312

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>
BMKG	= Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
ETABS	= Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems
FEM	= Finite Element Method
MATLAB	= <i>Matrix Laboratory</i>
MCER	= <i>Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake</i>
SAP2000	= <i>Structural Analysis Program 2000</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_I	= Faktor desain momen tulangan sebelah
R_b	= Faktor rasio tulangan seimbang
S_I	= Parameter respons percepatan gempa terpetakan untuk periode 1 detik
S_{DI}	= 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_I	= 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
A_g	= Luas penampang bruto komponen struktur beton
C_t	= Nilai parameter periode pendekatan bangunan
E_c	= Modulus elastisitas beton
F_i	= Gaya seismik lateral pada tingkat ke- i
P_n	= Kuat tekan aksial nominal penampang
P_u	= Kuat tekan aksial terfaktor
P_x	= Beban desain vertikal total pada tingkat x
S_{MS}	= Parameter respons spektral percepatan gempa (Periode Pendek)
S_{M1}	= Parameter respons spektral percepatan gempa (Periode 1 Detik)
V_c	= Kuat geser nominal oleh beton
V_s	= Kuat geser nominal oleh tulangan geser
V_x	= Gaya geser seismik desain pada tingkat x
θ_{max}	= Nilai maksimum koefisien stabilitas
x	= Eksponen untuk perhitungan periode pendekatan
C_d	= Faktor pembesaran defleksi (<i>Deflection amplification factor</i>).

C_t	= Koefisien parameter periode pendekatan
f'_c	= Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa).
f_y	= Kuat leleh baja tulangan (MPa)
I_e	= Faktor keutamaan gempa.
M_{ux}	= Momen terfaktor pada sumbu-x
M_{uy}	= Momen terfaktor pada sumbu-y
P_u	= Beban aksial terfaktor
V_{ux}	= Gaya geser terfaktor pada sumbu-y
V_{uy}	= Gaya geser terfaktor pada sumbu-x
θ	= Nilai maksimum koefisien stabilitas yang diizinkan.
ρ	= Rasio tulangan penampang kolom.
ϕ	= Faktor reduksi kekuatan
A_{ch}	= Luas penampang inti beton terkekang (diukur dari sisi luar sengkang)
A_{sh}	= Luas total tulangan transversal (pengekang) dalam spasi s
A_v	= Luas tulangan geser (sengkang) dalam spasi s
bc, hc	= Dimensi inti penampang kolom yang terkekang
C_c	= Gaya tekan beton
cb	= Jarak garis netral pada kondisi regangan seimbang
E_s	= Modulus elastisitas baja tulangan
l_o	= Panjang daerah sendi plastis (daerah pengekangan) kolom
L_n	= Bentang bersih komponen struktur

M_{kap}	= Momen kapasitas komponen
M_{nb}	= Kuat momen nominal balok
M_{nc}	= Kuat momen nominal kolom
M_{pr}	= Momen <i>probable</i> (kapasitas lebih) kolom
n	= Jumlah data pada pemodelan ANN
N_u	= Gaya aksial tekan terfaktor
O_s	= Faktor kuat lebih (<i>overstrength</i>)
P_0	= Kuat aksial nominal pada eksentrisitas nol (tekan sentris)
s	= Spasi tulangan transversal (sengkang)
s_o	= Spasi maksimum tulangan transversal
T_0	= Periode awal spektrum respons desain
T_s	= Periode akhir spektrum respons desain
V_D, V_L	= Gaya geser akibat beban mati dan beban hidup
V_E	= Gaya geser akibat gempa (berdasarkan momen kapasitas)
V_t	= Gaya geser dasar hasil analisis dinamik respons spektrum
V_u	= Gaya geser terfaktor
Y_i	= Nilai target (aktual) hasil perhitungan manual pada pemodelan ANN
$\hat{Y}_i$	= Nilai prediksi hasil model ANN
Δa	= Simpangan antar tingkat izin
ρ_b	= Rasio tulangan pada kondisi regangan seimbang
Ω_0	= Faktor kuat lebih sistem struktur

ABSTRAK

Perencanaan kebutuhan tulangan kolom beton bertulang secara konvensional memerlukan tahapan analisis struktur dan perhitungan yang panjang serta memakan waktu, karena belum sepenuhnya memperhitungkan kompleksitas kombinasi pembebanan yang bekerja pada struktur. Metode *Artificial Neural Network* (ANN) telah banyak diterapkan untuk mempelajari hubungan kompleks antar-parameter secara cepat, namun penerapannya secara khusus untuk memprediksi kebutuhan tulangan kolom beton bertulang masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menerapkan ANN dalam menentukan kebutuhan tulangan kolom beton bertulang serta mengetahui tingkat kesesuaiannya terhadap hasil perhitungan manual. Penelitian dilakukan terhadap 50 variasi model bangunan gedung beraturan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Analisis struktur dilakukan menggunakan program ETABS dan perhitungan manual menggunakan Microsoft Excel dengan analisis dinamik respons spektrum yang mengacu pada SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 2847:2019. Data hasil analisis direkap menjadi 7 parameter masukan, yaitu $SDS \times I_e$, $SD1 \times I_e$, sisi pendek kolom, jumlah lantai, mutu beton, tinggi balok, dan bentang balok, serta 3 parameter keluaran berupa luas tulangan longitudinal kolom, luas tulangan transversal kolom pada daerah tumpuan, dan luas tulangan transversal kolom pada daerah lapangan. Pemodelan ANN dilakukan menggunakan MATLAB dengan arsitektur *feedforward multilayer perceptron* satu lapisan tersembunyi berisi 10 neuron dan pembagian data 70% pelatihan, 15% validasi, dan 15% pengujian. Kinerja model dievaluasi menggunakan *Mean Squared Error* (MSE) dan koefisien korelasi (R). Hasil pelatihan memperoleh nilai R sebesar 0,9656 dan MSE sebesar $3.8897e+05$. Berdasarkan hasil tersebut, model ANN dapat digunakan untuk memprediksi kebutuhan tulangan kolom beton bertulang.

Kata kunci: *Artificial Neural Network*, kebutuhan tulangan kolom, beton bertulang, MATLAB, prediksi.

ABSTRACT

The conventional design of reinforcement requirements for reinforced concrete columns involves lengthy and time-consuming structural analysis and calculations, as it has not fully accounted for the complexity of the load combinations acting on the structure. The Artificial Neural Network (ANN) method has been widely applied to learn complex relationships between parameters rapidly, yet its application specifically to predicting the reinforcement requirements of reinforced concrete columns remains limited. This study aims to apply ANN to determine the reinforcement requirements of reinforced concrete columns and to evaluate its agreement with manual calculations. The study was conducted on 50 variations of regular building models using a Special Moment Resisting Frame (SRPMK) system. Structural analysis was performed using ETABS and manual calculations using Microsoft Excel with a dynamic response spectrum analysis referring to SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, and SNI 2847:2019. The analysis results were compiled into 7 input parameters, namely $SDS \times I_e$, $SDI \times I_e$, the short side of the column, the number of stories, concrete strength, beam height, and beam span, and 3 output parameters, namely the longitudinal reinforcement area of the column, the transverse reinforcement area of the column at the support region, and the transverse reinforcement area of the column at the span region. The ANN was modeled in MATLAB using a feedforward multilayer perceptron architecture with one hidden layer of 10 neurons and a data division of 70% training, 15% validation, and 15% testing. Model performance was evaluated using the Mean Squared Error (MSE) and the correlation coefficient (R). The training obtained an R value of 0.9656 and an MSE of 3.8897×10^{-5} . Based on these results, the ANN model can be used to predict the reinforcement requirements of reinforced concrete columns.

Keywords: artificial neural network, column reinforcement requirement, reinforced concrete, MATLAB, prediction.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa dekade terakhir, dunia konstruksi menghadapi tantangan yang semakin kompleks, terutama dalam hal perancangan dan perhitungan struktur bangunan. Salah satu elemen yang sangat penting dalam struktur beton adalah kolom beton bertulang, yang berfungsi sebagai elemen vertikal utama untuk meneruskan beban struktur dari bagian atas bangunan ke fondasi atau tanah. Perhitungan kebutuhan tulangan pada kolom beton bertulang menjadi salah satu aspek penting yang menentukan kekuatan dan ketahanan bangunan terhadap beban yang diberikan, seperti beban hidup, beban mati, dan beban dinamis. Seiring dengan berkembangnya teknologi di bidang rekayasa sipil, pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) untuk memecahkan masalah-masalah kompleks dalam desain struktur bangunan semakin mendapatkan perhatian. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah *Artificial Neural Network* (ANN), yang dikenal memiliki kemampuan untuk memproses data besar dan menganalisis pola-pola kompleks yang tidak mudah dipahami oleh metode konvensional (Al-Gburi et al., 2025)

Dalam konteks ini, penerapan ANN dalam analisis kebutuhan tulangan pada kolom beton bertulang berpotensi untuk memberikan solusi yang lebih efisien, cepat, dan akurat dibandingkan dengan perhitungan manual atau metode berbasis perangkat lunak lainnya. Metode-metode tradisional dalam menghitung kebutuhan tulangan kolom beton bertulang, seperti perhitungan manual berdasarkan kurva interaksi gaya aksial dan momen, atau perangkat lunak berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Method*/FEM), meskipun telah terbukti efektif dalam banyak kasus, tetap memiliki keterbatasan. Salah satu keterbatasan utama adalah kurangnya kemampuan untuk memproses variabilitas dan kompleksitas data yang ada, serta adanya waktu yang cukup lama untuk menghasilkan perhitungan yang

akurat, terutama dalam proyek dengan struktur yang lebih kompleks dan beragam (Ahmad et al., 2021)

Fenomena ini semakin relevan mengingat pentingnya desain struktural yang tepat dalam mencegah kegagalan struktural yang dapat berisiko besar, baik dari segi material, waktu, dan juga keselamatan. Dalam konteks Indonesia, sebuah negara yang terletak di kawasan rawan bencana alam seperti gempa bumi, ketahanan struktur bangunan sangat penting. Berdasarkan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) pada tahun 2021, Indonesia tercatat mengalami lebih dari 500 kejadian gempa bumi dalam setahun. Selain itu, pembangunan infrastruktur yang pesat, termasuk gedung bertingkat, rumah sakit, dan fasilitas publik lainnya, memerlukan perhitungan yang lebih tepat dan efisien.

Penelitian mengenai optimasi desain struktur beton menggunakan pendekatan *Artificial Neural Network* (ANN) telah banyak dilakukan, namun sebagian besar masih terbatas pada struktur bangunan konvensional dan belum memperhitungkan kompleksitas beban dinamis secara menyeluruh. Salah satu contoh dapat dilihat pada studi yang memanfaatkan ANN untuk mempercepat estimasi dimensi optimum serta rasio tulangan pada struktur gedung bertingkat, di mana model dibangun berdasarkan data keluaran perangkat lunak analisis struktur seperti ETABS dan diuji menggunakan data prediksi aktual. Hasilnya menunjukkan bahwa ANN memiliki kemampuan yang baik dalam memprediksi parameter desain struktur secara cepat dan akurat. Namun demikian, fokus penelitian tersebut masih terbatas pada aspek estimasi dimensi dan rasio tulangan secara umum, tanpa mengkaji secara spesifik kebutuhan tulangan pada elemen kolom beton bertulang dalam kondisi struktural kompleks atau pada bangunan dengan tingkat keselamatan tinggi seperti rumah sakit (Harahap et al., 2022).

Penerapan *Artificial Neural Network* (ANN) dapat digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton normal berdasarkan variasi komposisi campuran beton, seperti semen, pasir, kerikil, dan air, dengan hasil yang menunjukkan tingkat akurasi prediksi yang tinggi (Makrifa, Darayani, Prasetiawan, & Juanita, 2024). Namun, penelitian tersebut lebih menitikberatkan pada aspek karakteristik material beton itu sendiri, bukan pada analisis struktur atau kebutuhan tulangan elemen

seperti balok. Begitu pula dengan penelitian oleh Zhang dan Li yang mengkaji penggunaan ANN untuk memperkirakan respons struktur beton bertulang terhadap beban, tetapi fokus utamanya adalah pada analisis perilaku beban dan deformasi, bukan perhitungan detail kebutuhan tulangan (Vannucci et al., 2019). Pada penelitian ini akan dilakukan pengumpulan data yang berfokus pada kebutuhan tulangan kolom. Data yang didapatkan akan di *input* ke dalam sistem *Artificial Neural Network (ANN)* sebagai media *training* sistem untuk bisa menganalisis secara langsung kebutuhan tulangan kolom berdasarkan parameter yang ditentukan oleh peneliti. Terakhir akan dilakukan pengecekan terhadap hasil yang dikeluarkan oleh ANN apakah sudah sinkron dengan jawaban menggunakan perhitungan manual.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana penerapan metode *Artificial Neural Network (ANN)* dalam menentukan kebutuhan tulangan kolom beton bertulang berdasarkan parameter-parameter yang ditetapkan?
2. Bagaimana tingkat kesesuaian hasil estimasi kebutuhan tulangan kolom menggunakan metode *Artificial Neural Network (ANN)* dibandingkan dengan hasil perhitungan manual (konvensional), ditinjau dari nilai error-nya?
3. Bagaimana rumus empiris yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan ANN?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang sudah ada, bisa diketahui tujuan penelitian ini, yaitu :

1. Penerapan *Artificial Neural Network (ANN)* dalam menentukan kebutuhan tulangan kolom sesuai dengan faktor-faktor yang dibutuhkan
2. Mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil estimasi kebutuhan tulangan kolom menggunakan *Artificial Neural Network (ANN)* dan hasil perhitungan manual, yang ditinjau melalui indikator kesalahan, yaitu *Mean Squared Error (MSE)* dan koefisien korelasi (R).

3. Mengetahui Rumus empiris dari hasil perhitungan menggunakan ANN

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Secara teoritis dalam kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan penelitian sebelumnya

Penelitian ini sangat membantu perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang rekayasa struktur, khususnya dalam penggunaan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk menganalisis tulangan yang diperlukan pada kolom beton bertulang. Dalam beberapa penelitian sebelumnya, ANN telah digunakan untuk mengoptimalkan desain struktur beton. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada struktur bangunan konvensional dan tidak memperhitungkan kompleksitas beban dinamis yang diperlukan oleh gedung rumah sakit dan struktur bertingkat tinggi yang membutuhkan perhitungan yang lebih rumit. Dengan demikian, fokus penelitian ini adalah penggunaan ANN yang lebih spesifik untuk menghitung kebutuhan tulangan dalam struktur beton bertulang dengan mempertimbangkan faktor-faktor dinamis dan beban yang terus berubah. Kontribusi teoretis dari penelitian ini adalah pengembangan model ANN yang lebih efisien dan akurat untuk menghitung kebutuhan tulangan, yang dapat mempercepat proses desain tanpa mengurangi kualitas dan keselamatan bangunan. Penelitian ini diharapkan dapat menambah literatur saat ini, menawarkan solusi yang lebih efektif daripada pendekatan konvensional, dan menjadi referensi bagi penelitian tambahan yang menyelidiki penerapan ANN dalam bidang konstruksi yang lebih luas, termasuk struktur yang lebih kompleks.

1.4.2 Manfaat secara praktis dalam penerapan langsung bagi masyarakat, kebijakan, atau sektor terkait

Penelitian ini akan sangat bermanfaat bagi industri konstruksi dan kebijakan publik, terutama dalam hal meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam desain struktur beton bertulang. Dengan menerapkan ANN dalam desain kolom beton bertulang, insinyur dan perancang bangunan akan dapat membuat desain yang lebih tepat dan efisien. Penggunaan ANN juga dapat mengurangi biaya dan waktu dalam proses perancangan, serta memungkinkan penggunaan sumber daya yang lebih

efisien. Kesalahan perhitungan, yang tentu saja berisiko tinggi, dapat menyebabkan kegagalan struktural, terutama di bangunan rumah sakit yang memiliki tingkat keselamatan yang tinggi. Akibatnya, penelitian ini tidak hanya membantu praktisi konstruksi dalam membuat bangunan yang lebih aman dan tahan lama, tetapi juga dapat membantu pemangku kebijakan menetapkan standar baru yang lebih ketat untuk desain bangunan yang harus tahan terhadap bencana alam seperti gempa bumi. Oleh karena itu, penelitian ini dapat membantu membuat infrastruktur yang lebih aman dan sesuai dengan kemajuan teknologi, serta membantu pengambilan kebijakan yang lebih baik untuk mengawasi sektor konstruksi dan pembangunan di Indonesia, terutama di daerah yang rentan terhadap bencana.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini tentu memiliki batasan untuk permasalahan yang ada agar hasil yang didapatkan tentu terbaik dan sesuai. Berikut batasan-batasan yang diambil untuk penelitian ini :

1. Pengambilan data penelitian ini didapatkan dari analisis mandiri dan beberapa data sesuai dengan ketentuan
2. Data awal seperti data tanah dan luas wilayah ditentukan sendiri
3. Objek penelitian adalah bangunan imajiner guna mengedepankan variasi data
4. Struktur yang ditinjau berupa beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada bangunan gedung beraturan.
5. Elemen yang dianalisis kebutuhan tulangnya adalah kolom, sedangkan elemen lain (balok, pelat, tangga, dinding, dan pondasi) diperhitungkan sebatas kebutuhan pemodelan dan pembebanan struktur.
6. Fungsi bangunan yang ditinjau bervariasi (misalnya museum, sekolah, dan perkantoran) dengan kategori risiko serta faktor keutamaan gempa (I_e) menyesuaikan fungsi bangunannya.
7. Jumlah lantai bangunan bervariasi antara 4 s.d. 11 lantai dengan tinggi antar lantai 4 m.

8. Data kegempaan (S_s dan S_1) ditentukan berdasarkan lokasi bangunan yang bervariasi
9. Mutu material bervariasi, yaitu kuat tekan beton (f_c) sebesar 30-35 MPa dan mutu baja tulangan (f_y) sebesar 420 MPa.
10. Analisis beban gempa dilakukan menggunakan analisis dinamik respons spektrum.
11. Peraturan yang digunakan sebagai acuan adalah SNI 1727:2020 untuk pembebanan, SNI 1726:2019 untuk ketahanan gempa, dan SNI 2847:2019 untuk struktur beton bertulang.
12. Analisis struktur menggunakan software ETABS dan Microsoft Excel, penyusunan diagram interaksi kolom menggunakan spColumn, penggambaran denah menggunakan AutoCAD, dan pemodelan *Artificial Neural Network* menggunakan MATLAB.
13. Parameter input model ANN dibatasi pada 7 parameter, yaitu $SDS \times I_e$, $SD1 \times I_e$, sisi pendek kolom (b), jumlah lantai, mutu beton (f_c), tinggi balok (H), dan bentang balok (L).
14. Parameter output (target) model ANN dibatasi pada 3 keluaran berupa luas tulangan kolom, yaitu A_s longitudinal kolom, A_s transversal kolom pada zona sendi plastis (tumpuan), dan A_s transversal kolom di luar zona sendi plastis (lapangan).
15. Jumlah data yang digunakan sebagai basis pemodelan ANN sebanyak 50 variasi model bangunan.
16. Asumsi penelitian: struktur dimodelkan sebagai bangunan beraturan dengan perletakan jepit pada dasar kolom dan diafragma lantai dianggap semi kaku; kebutuhan tulangan kolom hasil perhitungan manual dijadikan nilai target (acuan) bagi pelatihan model *Artificial Neural Network*.
17. Bentang balok bervariasi dari rentang 3 sampai 8 meter.
18. Denah, Data Bangunan, Data Material, dan lain-lain pada penelitian ini dicontohkan dengan perhitungan menggunakan data analisis ke-34

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Dibutuhkan beberapa jurnal penelitian terdahulu untuk digunakan sebagai referensi karena topik penelitian ini berkembang dari analisis kebutuhan tulangan balok di bidang konstruksi. Peneliti dapat menentukan parameter dan mempelajari teori tentang penggunaan metode *Artificial Neural Network* dengan melihat penelitian sebelumnya.

Selain itu, keasliannya dapat dikonfirmasi dengan melakukan peninjauan terhadap penelitian sebelumnya. Dengan menggabungkan parameter dan analisis penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk memperkuat temuan penelitian sebelumnya dan meningkatkan akurasi hasil penggunaan metode yang dipilih. Hasil penelitian ini dibandingkan dengan tinjauan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang sedang dilakukan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini, beberapa penelitian terdahulu yang relevan akan dijelaskan secara mendalam dan analitis. Penelitian-penelitian tersebut berfungsi sebagai dasar referensi untuk pengembangan konsep dan pemahaman yang mendalam dalam analisis kebutuhan tulangan kolom beton bertulang, serta penerapan metode *Artificial Neural Network* (ANN) dalam perencanaan struktur bangunan. Setiap penelitian terdahulu yang dibahas dalam bagian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pemahaman terkait penerapan ANN dan analisis kebutuhan material dalam konteks konstruksi.

2.2.1 Prediksi dan Analisis Berat Gedung dengan *Structural Analysis Program* 2000 (SAP 2000) dan Metode *Artificial Neural Network* (Fadhila dan Hasan, 2020)

Penelitian yang dilakukan oleh Fadhila Firdausa dan Arfan Hasan pada tahun 2020 bertujuan untuk mengembangkan model prediksi berat gedung dengan menggabungkan perangkat lunak SAP2000 untuk analisis struktur dan metode *Artificial Neural Network* (ANN) untuk memprediksi berat gedung berdasarkan dimensi serta parameter desain lainnya. Melalui gabungan dua pendekatan ini, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam merencanakan berat gedung, yang menjadi salah satu faktor penting dalam desain struktur bangunan.

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini mencakup penggunaan SAP 2000 untuk memperoleh data berat gedung berdasarkan analisis struktur yang dilakukan. Data yang didapatkan kemudian digunakan untuk melatih model ANN. Variasi panjang dan tinggi gedung diambil sebagai input dalam model ANN, yang bertujuan untuk menghasilkan prediksi berat gedung secara lebih akurat. Peneliti menggunakan beberapa percobaan epoch untuk mengoptimalkan model, dengan hasil bahwa model ANN mampu menghasilkan prediksi berat gedung dengan kesalahan yang sangat rendah, yakni terendah mencapai 0,02%.

Hasil utama dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi antara SAP2000 dan ANN memberikan akurasi prediksi yang sangat tinggi dalam memprediksi berat gedung. Penelitian ini memiliki relevansi yang besar dengan penelitian penulis, terutama dalam penerapan ANN untuk memprediksi parameter struktural yang lebih kompleks, seperti kebutuhan tulangan pada kolom beton bertulang. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan perangkat lunak analisis struktur yang digabungkan dengan model ANN dapat menghasilkan prediksi yang lebih akurat dan efisien dalam perencanaan struktur bangunan, yang menjadi dasar yang kuat bagi penelitian terkait analisis kebutuhan material pada struktur rumah sakit. Penelitian ini menemukan bahwa model ANN dapat menghasilkan prediksi berat gedung dengan error yang sangat rendah (terkecil adalah 0,02%) setelah beberapa kali percobaan epoch.

2.2.2 Pendekatan *Artificial Neural Network* untuk Mengestimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung (Harahap et al., 2022)

Penelitian yang dilakukan oleh Kinanti Faradiba Harahapa, Akhmad Aminullah, dan Henricus Priyosulistyo pada tahun 2022 yang memiliki tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menggunakan model *Artificial Neural Network* (ANN) dalam memperkirakan dimensi optimum serta rasio tulangan untuk balok dan kolom pada desain gedung. Hal ini bertujuan untuk mempercepat proses desain struktural, khususnya dalam menentukan ukuran dan kebutuhan material yang tepat untuk memastikan keamanan dan efisiensi bangunan.

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan 36 variasi pemodelan gedung yang mencakup 8 parameter desain penting, seperti percepatan gempa, jenis tanah, bentang balok, jumlah lantai, tinggi antar lantai, serta jenis material yang digunakan. Data dari variasi pemodelan ini kemudian digunakan untuk melatih model ANN yang dirancang untuk memperkirakan dimensi balok dan kolom dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Proses pelatihan ini menghasilkan estimasi yang sangat mendekati nilai target dalam hal dimensi dan rasio tulangan yang dibutuhkan dalam desain struktural.

Hasil utama dari penelitian ini menunjukkan bahwa model ANN yang diterapkan mampu mengestimasi dimensi balok dan kolom dengan tingkat akurasi yang sangat baik, yaitu 98,53% untuk dimensi dan 96,06% untuk rasio tulangan. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan ANN dalam menganalisis kebutuhan tulangan balok beton bertulang pada struktur rumah sakit. Penggunaan model ANN dalam penelitian ini memperkuat pemahaman tentang potensi ANN dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam perencanaan desain struktural, serta memberikan dasar yang kuat untuk penerapan serupa dalam perhitungan kebutuhan material pada konstruksi rumah sakit.

2.2.3 Prediksi Nilai Kuat Tekan Mortar dengan Pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN) dengan Pecahan Keramik (Suryani et al., 2021)

Dengan fokus pada campuran mortar yang terdiri dari berbagai persentase pecahan keramik (0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%), penelitian ini mengembangkan

model ANN untuk memprediksi kekuatan material tersebut berdasarkan komposisi campurannya.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan pengujian kuat tekan mortar dengan variasi campuran pecahan keramik yang berbeda. Data dari pengujian ini kemudian digunakan untuk melatih model ANN. Model ini mampu memproses informasi kompleks yang terkait dengan komposisi campuran untuk menghasilkan prediksi yang sangat akurat terkait kekuatan tekan mortar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ANN dapat memprediksi kuat tekan mortar dengan error 0%, menandakan keefektifan metode ini dalam memperkirakan sifat mekanik bahan bangunan berbasis data numerik.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pemahaman penerapan ANN dalam memperkirakan sifat mekanik material, seperti kuat tekan. Meskipun penelitian ini berfokus pada mortar, pendekatan yang digunakan dapat dengan mudah diadaptasi untuk memodelkan dan memperkirakan kekuatan material lainnya, seperti tulangan kolom beton bertulang. Metode ANN ini memberikan dasar yang kuat untuk memprediksi kebutuhan tulangan pada balok beton bertulang, yang akan membantu meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam perencanaan struktur Gedung

Penelitian

3.2.4 Potensi Metode Jaringan Saraf Tiruan dalam Memprediksi Respons Seismik Gedung Bertingkat di Indonesia (Harnedi et al., 2023)

Penelitian oleh Harnedi et al. (2023) menguji potensi metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) dalam memprediksi respons seismik gedung bertingkat akibat beban gempa, sebagai alternatif yang lebih cepat dibandingkan analisis elemen hingga.

Model JST yang digunakan terdiri atas tiga lapisan, yaitu lapisan input dengan 7 neuron (PGA, SDS, SD1, T0, Ts, kondisi tanah, dan elevasi lantai), lapisan tersembunyi dengan 15 neuron, serta lapisan output dengan 6 neuron (perpindahan, kecepatan, dan percepatan arah X dan Y). Dari total 1.530 data, pembagiannya adalah 70% training, 15% testing, dan 15% validasi, yang diproses menggunakan MATLAB. Hasilnya mencapai nilai Mean Square Error (MSE) rata-rata 0,00001965 dan koefisien determinasi (R^2) 99,96% hanya dalam 295 iterasi.

Penelitian ini sangat relevan karena memiliki kesamaan pola dengan penelitian penulis, yaitu penggunaan parameter percepatan gempa dan geometri struktur sebagai input, perangkat lunak MATLAB, indikator MSE dan R, serta pembagian data 70%–15%–15%. Perbedaannya terletak pada output, yaitu respons seismik struktur, sedangkan penelitian penulis berfokus pada kebutuhan tulangan kolom.

3.2.5 Prediksi Kuat Tekan Beton Normal dengan Metode *Artificial Neural Network* (Makrifa et al., 2024)

Penelitian oleh Makrifa et al. (2024) menerapkan metode *Artificial Neural Network* untuk memprediksi kuat tekan beton normal berdasarkan variasi komposisi campuran beton, seperti semen, pasir, kerikil, dan air.

Data komposisi campuran dan hasil uji kuat tekan digunakan untuk melatih model ANN. Hasil penelitian menunjukkan tingkat akurasi prediksi yang tinggi, sehingga membuktikan bahwa ANN mampu memetakan hubungan kompleks antara komposisi material dan kuat tekan beton. Penelitian ini memperkuat argumen bahwa ANN efektif digunakan untuk berbagai persoalan prediksi pada bidang struktur dan material beton, meskipun fokusnya pada karakteristik material, bukan kebutuhan tulangan elemen struktur.

2.2.6 Perbandingan Penelitian

Berikut merupakan perbandingan dari penelitian yang sudah dijelaskan dan penelitian yang akan dilakukan yang disajikan pada Tabel 2.1 berikut

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan dengan Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang akan dilakukan
	Fadhila dan Hasan (2020)	Suryani et al. (2021)	Harahapa et al. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Makrifa et al. (2024)	Althoof Syecha Habibie
Judul	Prediksi dan Analisis Berat Gedung dengan Structural Analysis Program 2000 (SAP 2000) dan Metode <i>Artificial Neural Network</i>	Prediksi Nilai Kuat Tekan Mortar dengan Pemodelan <i>Artificial Neural Network</i> (ANN) dengan Pecahan Keramik	Pendekatan <i>Artificial Neural Network</i> untuk Mengestimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung	Potensi Metode Jaringan Saraf Tiruan dalam Memprediksi Respons Seismik Gedung Bertingkat di Indonesia	Prediksi Kuat Tekan Beton Normal dengan Metode <i>Artificial Neural Network</i>	Penerapan <i>Artificial Neural Network</i> Untuk Menganalisis Kebutuhan Tulangan Kolom Beton Bertulang Pada Struktur Bangunan Gedung

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan dengan Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang akan dilakukan
	Fadhila dan Hasan (2020)	Suryani et al. (2021)	Harahapa et al. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Makrifa et al. (2024)	Althoof Syecha Habibie
Latar Belakang	tantangan dalam perhitungan berat gedung secara manual, yang memakan waktu dan kompleks	kebutuhan untuk mengoptimalkan penggunaan bahan sisa bangunan seperti pecahan keramik	kebutuhan untuk mempercepat tahap desain konseptual dengan pendekatan yang lebih efisien, menggunakan model ANN untuk memperkirakan dimensi dan rasio tulangan	Analisis respons seismik dengan perangkat lunak elemen hingga yang rumit, sehingga diperlukan metode JST yang lebih cepat	Pengujian kuat tekan beton yang memakan waktu, sehingga diperlukan prediksi yang lebih cepat dan akurat	Perhitungan kebutuhan tulangan kolom yang masih menggunakan metode konvensional sehingga diperlukan Penerapan ANN agar menghindari kesalahan dalam perhitungan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan dengan Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang akan dilakukan
	Fadhila dan Hasan (2020)	Suryani et al. (2020)	Harahapa et al. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Makrifa et al. (2024)	Althoof Syecha Habibie
Tujuan	mengembangkan model prediksi berat gedung dengan menggunakan gabungan software SAP 2000 dan metode Artificial Neural Network (ANN).	memodelkan dan memprediksi kuat tekan mortar dengan menggunakan campuran pecahan keramik sebagai bahan alternatif menggunakan metode ANN.	menggunakan model ANN dalam estimasi dimensi optimum dan rasio tulangan untuk balok dan kolom pada desain gedung.	Menguji model JST dalam memprediksi respons seismik gedung bertingkat akibat beban gempa	Memprediksi kuat tekan beton normal berdasarkan variasi komposisi campuran beton	Menggunakan model ANN untuk menganalisis kebutuhan tulangan kolom bertulang dan membandingkannya dengan perhitungan manual

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan dengan Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang akan dilakukan
	Fadhila dan Hasan (2020)	Suryani et al. (2020)	Harahapa et al. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Makrifa et al. (2024)	Althoof Syecha Habibie
Variabel	Dimensi gedung, panjang dan tinggi gedung, parameter desain lainnya	Persentase campuran pecahan keramik,Berat jenis pasir,Berat jenis keramik,Berat volume mortar	Percepatan gempa (Ss),Jenis tanah,Jenis tumpuan,Bentang balok,Jumlah lantai,Tinggi lantai,Kekuatan beton,Diameter tulangan	PGA, SDS, SD1, T0, Ts, kondisi tanah, elevasi lantai	Komposisi campuran: semen, pasir, kerikil, air	SDS×Ie, SD1×Ie, sisi pendek kolom (b), jumlah lantai, mutu beton (f'c), tinggi balok (H), dan bentang balok (L)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan dengan Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang akan dilakukan
	Fadhila dan Hasan (2020)	Suryani et al. (2020)	Harahapa et al. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Makrifa et al. (2024)	Althoof Syecha Habibie
<i>Output/Target</i>	Menghitung dan meminimalkan error antara hasil prediksi ANN dengan data aktual dari SAP 2000 untuk meningkatkan akurasi sistem prediksi	memodelkan dan memprediksi kuat tekan mortar dengan menggunakan campuran pecahan keramik sebagai bahan alternatif menggunakan metode ANN.	dimensi optimum, rasio tulangan untuk balok dan kolom pada desain gedung serta waktu optimasi desain	Perpindahan, kecepatan, dan percepatan arah X dan Y	Nilai kuat tekan beton normal	kebutuhan tulangan kolom, yang mencakup luas tulangan longitudinal kolom dan luas tulangan transversal pada daerah tumpuan dan lapangan

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan dengan Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang akan dilakukan
	Fadhila dan Hasan (2020)	Suryani et al. (2020)	Harahapa et al. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Makrifa et al. (2024)	Althoof Syecha Habibie
Metode Analisis Struktur	Analisis Statik	Analisis Statik	Analisis Dinamis	Analisis Dinamis	Prediksi material	Analisis Dinamis
Alat Bantu	SAP2000 dan MATLAB	MATLAB	SANSPRO dan MATLAB	<i>Software</i> elemen hingga dan MATLAB	MATLAB	Autocad, ETABS, SPColumn dan MATLAB

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan dengan Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang akan dilakukan
	Fadhila dan Hasan (2020)	Suryani et al. (2020)	Harahapa et al. (2022)	Harnedi et al. (2023)	Makrifa et al. (2024)	Althoof Syecha Habibie
Hasil Peneltian	- error yang bervariasi antara 0,02% hingga 38%	- variasi komposisi pecahan keramik (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) menunjukkan bahwa campuran dengan 15% pecahan keramik memberikan kuat tekan tertinggi, yaitu 20.53 N/mm - dihasilkan dari model ANN memberikan error 0%	- tingkat regresi hingga 98.53% untuk dimensi dan 96.06% untuk rasio tulangan. - ditemukan rumus empiris yang dapat mengestimasi dimensi dan rasio tulangan gedung	MSE 0,00001965 dan R^2 99,96% dalam 295 iterasi	Akurasi prediksi kuat tekan beton yang tinggi	

2.3 Keaslian Penelitian

Terdapat perbedaan yang signifikan antara penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian-penelitian terdahulu, baik dari segi variabel, *output*, maupun alat bantu yang digunakan. Fadhila dan Hasan (2020) berfokus pada prediksi berat gedung menggunakan SAP2000 dan ANN; Suryani et al. (2021) memprediksi kuat tekan mortar berbahan pecahan keramik; Harahap et al. (2022) mengestimasi dimensi dan rasio tulangan balok serta kolom menggunakan SANSPRO dan MATLAB; Harnedi et al. (2023) memprediksi respons seismik gedung bertingkat menggunakan JST; dan Makrifa et al. (2024) memprediksi kuat tekan beton normal berbasis komposisi campuran.

Penelitian penulis berfokus pada variabel percepatan gempa ($SDS \times I_e$ dan $SD1 \times I_e$), dimensi kolom dan balok, jumlah lantai, serta mutu beton, dengan *output* yang dituju berupa kebutuhan tulangan kolom (luas tulangan longitudinal dan transversal). Alat bantu yang digunakan meliputi AutoCAD, ETABS, spColumn, dan MATLAB. Dengan demikian, belum ada penelitian terdahulu yang secara khusus mengarahkan model ANN untuk memprediksi kebutuhan tulangan kolom beton bertulang pada struktur gedung tahan gempa, sehingga keaslian penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Landasan teori merupakan bagian penting dalam setiap penelitian ilmiah yang berfungsi sebagai dasar untuk mengembangkan argumen, mengarahkan metodologi penelitian, menganalisis data, dan menyusun kesimpulan. Landasan teori membantu peneliti untuk memahami dan menjelaskan fenomena yang diteliti dengan merujuk pada teori-teori yang telah ada sebelumnya (Iba & Wardhana, 2024)

Terdapat cakupan pada landasan teori yang berupa aspek-aspek penting dalam menunjang penelitian yang ada antara lain :

1. Definisi dan konsep dasar yang menyajikan konsep-konsep yang relevan dengan topik penelitian
2. Teori-teori yang relevan yang mendasari penelitian yang dilakukan

Selain dari cakupannya, fungsi dari landasan teori juga penting diperhatikan. Fungsi dari landasan teori antara lain sebagai berikut :

1. Sebagai penggambar rangka berfikir yang dapat membantu peneliti dalam merumuskan suatu masalah penelitian dengan tepat
2. Dapat mendukung hipotesis dari peneliti
3. Sebagai acuan peneliti dalam menjalankan penelitian

3.2 Bangunan Gedung

Dalam dunia teknik sipil kita sering mendengar istilah gedung. Jika kita mendengar kata tersebut tentu yang terlintas dalam pikiran kita adalah sebuah bangunan bertingkat tinggi. Namun bangunan gedung mempunyai definisi yang lebih dari itu.

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung, pasal 1 ayat (1), disebutkan bangunan gedung adalah hasil konstruksi yang terintegrasi dengan lokasi tempatnya berdiri, baik sebagian atau seluruhnya berada di atas, di dalam tanah, atau air, yang dirancang untuk digunakan sebagai tempat aktivitas manusia, seperti hunian, usaha, atau kegiatan sosial dan budaya. Dari peraturan tersebut bisa disimpulkan bahwa bangunan gedung tidak hanya di atas tanah, tetapi dapat berada di air atau di dalam tanah sehingga diperlukan perancangan yang detail.

3.2.1 Fungsi Bangunan Gedung

Bangunan gedung tentu memiliki fungsi yang beragam. Namun terdapat beberapa fungsi utama dari bangunan gedung itu sendiri yang disesuaikan peruntukannya. Menurut Sihombing dan Siahaan (2019), fungsi bangunan gedung dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Fungsi hunian meliputi bangunan untuk rumah tinggal
2. Fungsi Keagamaan meliputi masjid, gereja, dan bangunan agama lainnya
3. Fungsi usaha seperti perkantoran, perdagangan, industri, hotel, dan terminal
4. Fungsi sosial dan budaya meliputi bangunan kuliah, pelayanan masyarakat, laboratorium dan kebudayaan
5. Fungsi khusus seperti instalasi nuklir, gedung pertahanan dan keamanan

Fungsi-fungsi tersebut harus disesuaikan dengan peruntukan lokasi yang diatur dalam peraturan daerah tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten/Kota, yang ditetapkan oleh pemerintah daerah (Sihombing & Siahaan, 2019).

3.2.2 Pembangunan Gedung

Pembangunan gedung harus mengacu pada berbagai peraturan yang ditetapkan oleh pemerintah untuk memastikan bahwa bangunan yang dibangun aman, fungsional, dan sesuai dengan kebutuhan serta standar yang berlaku. Berikut adalah peraturan utama yang harus diacu dalam pembangunan gedung, serta asas-asas pembangunan yang mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 45/PRT/M/2010. Namun sebelum masuk pada asas-asas pembangunan gedung,

penting untuk mengetahui pedoman perencanaan struktur gedung yang dipakai di Indonesia. Pedoman yang dipakai sebagai berikut :

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

Selanjutnya kita perlu mengetahui asas-asas dalam pembangunan gedung. Asas-asas yang dimaksud sebagai berikut:

1. Asas Keamanan

Gedung harus dirancang dan dibangun dengan memperhatikan faktor keselamatan baik bagi penghuni maupun pengguna gedung. Aspek ini mencakup perlindungan terhadap bahaya kebakaran, gempa, serta kerusakan struktural lainnya yang bisa mengancam Asas Kelayakan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

2. Asas Kelayakan

Pembangunan gedung harus memenuhi syarat kelayakan yang mencakup berbagai aspek teknis dan fungsional. Gedung harus dirancang untuk berfungsi sesuai dengan tujuannya dan memenuhi standar kestabilan, kenyamanan, serta kesehatan penghuni (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

3. Asas Keberlanjutan

Gedung harus dirancang dengan prinsip keberlanjutan, memperhatikan dampak lingkungan, penggunaan material ramah lingkungan, efisiensi energi, dan pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010).

4. Asas Estetika dan Fungsionalitas

Gedung harus mengutamakan aspek estetika dalam desainnya, namun tetap memperhatikan fungsionalitas dan efisiensi ruang. Desain gedung harus menciptakan lingkungan yang nyaman, aman, dan mendukung aktivitas penghuni serta pengguna gedung (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010).

3.3 Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa

Struktur bangunan gedung tahan gempa adalah struktur yang dirancang khusus untuk mampu menahan dan meredam gaya-gaya yang ditimbulkan oleh gempa bumi. Tujuan utama dari struktur ini adalah untuk memastikan bahwa bangunan dapat bertahan dalam kondisi gempa yang terjadi, tanpa mengalami kerusakan yang dapat mengancam keselamatan penghuni atau merusak fungsionalitas bangunan. Penerapan desain yang tepat pada struktur gedung tahan gempa melibatkan penggunaan elemen-elemen struktural yang mampu menyerap, mendistribusikan, dan meredam energi yang dihasilkan oleh gempa.

Menurut Pawirodikromo (2012), permasalahan yang sering dihadapi adalah struktur bangunan gedung yang harus dibuat adalah struktur yang kuat namun biasanya biaya yang diperlukan cenderung mahal. Bangunan ini disebut juga *earthquake proof building*. Sedangkan biaya dengan cenderung murah memiliki karakteristik bangunan yang sering rusak. Bangunan ini disebut *fragile building*.

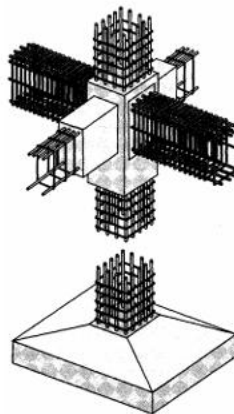
Dalam konteks desain gedung tahan gempa, aspek *demand* dan *supply* memegang peranan penting. *Demand* dalam hal ini merujuk pada gaya gempa yang diterima oleh gedung, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kekuatan gempa, lokasi geografis, dan jenis tanah tempat gedung dibangun. Gaya-gaya ini memerlukan respons struktural yang tepat untuk memastikan bahwa gedung dapat menahan gaya tersebut tanpa mengalami kerusakan struktural. Di sisi lain, *supply* merujuk pada kemampuan struktur gedung untuk menyerap dan mendistribusikan gaya gempa. Hal ini mencakup kekuatan material yang digunakan, desain elemen struktural, serta penggunaan teknologi terbaru dalam meningkatkan ketahanan gempa. Dalam perencanaan, keseimbangan antara *demand* dan *supply* harus dicapai untuk memastikan bahwa gedung tidak hanya aman dari segi struktural, tetapi juga ekonomis dan efisien.

Pembangunan struktur gedung tahan gempa harus mengacu pada standar yang ditetapkan oleh peraturan yang berlaku. Di Indonesia, salah satu acuan utama adalah SNI 1726:2019, yang memberikan pedoman dalam merencanakan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung. Selain itu, regulasi dan standar yang ditetapkan oleh pemerintah daerah, khususnya yang berkaitan dengan zona

gempa, juga harus diikuti untuk memastikan bahwa bangunan memenuhi tingkat ketahanan gempa yang dibutuhkan. Kepatuhan terhadap standar ini sangat penting dalam mengurangi potensi kerusakan serta memastikan keselamatan penghuni gedung, terutama di wilayah dengan potensi gempa yang tinggi.

3.3.1 Sistem Struktur Bangunan Tahan Gempa

Struktur bangunan gedung terdiri dari berbagai komponen yang saling berfungsi untuk mendukung dan menyalurkan beban dari atas ke bawah. Secara umum, komponen-komponen struktur bangunan gedung dapat dibagi menjadi dua bagian utama: struktur bawah (*substructure*) dan struktur atas (*superstructure*). Struktur bawah terletak di bawah permukaan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban ke tanah, sedangkan struktur atas terletak di atas permukaan tanah dan berfungsi untuk menahan beban dari aktivitas di dalam gedung serta beban lingkungan eksternal (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 45/PRT/M/2010, 2010). Berikut contoh komponen struktur bangunan tahan gempa yang dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Contoh Komponen Struktur Tahan Gempa

Sumber : Pawirodikromo (2012)

Dari gambar tersebut terlihat apa saja bagian atas struktur (*superstructure*) dan bagian bawah struktur (*substructure*). Berikut komponen-komponen dari masing-masing bagian.

1. Struktur bawah (*substructure*)

a. Pondasi

Pondasi adalah elemen struktur yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari seluruh bagian bangunan ke tanah. Pondasi dapat berupa pondasi dangkal atau pondasi dalam, tergantung pada kondisi tanah dan beban yang diterima. Penentuan jenis pondasi yang digunakan harus sesuai dengan kondisi geoteknik lokasi dan beban yang akan diterima oleh gedung (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 45/PRT/M/2010, 2010).

b. Pile Cap dan Sloof

Pile cap adalah struktur beton yang menghubungkan dan mendistribusikan beban dari kolom ke tiang pancang. Sloof adalah balok beton yang terletak di atas pondasi dangkal untuk mendistribusikan beban ke kolom. Kedua elemen ini memainkan peran penting dalam mendistribusikan beban yang diterima oleh bangunan ke tanah (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 45/PRT/M/2010, 2010).

2. Struktur atas (*superstructure*)

a. Kolom

Kolom adalah elemen struktur vertikal yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari lantai dan atap ke pondasi. Kolom harus dirancang dengan kuat dan stabil untuk menahan beban tekan dan memastikan distribusi gaya yang efektif ke struktur bawah (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 45/PRT/M/2010, 2010).

b. Balok

Balok adalah elemen struktur horizontal yang berfungsi untuk mendistribusikan beban dari lantai dan atap ke kolom. Desain balok harus memperhatikan kemampuan lentur dan geser untuk memastikan kinerja struktural yang baik (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 45/PRT/M/2010, 2010).

c. Pelat Lantai

Menurut Pawirodikromo (2012), plat lantai adalah struktur bidang yang tegak lurus dengan bidang struktur utama dan berfungsi khusus menahan beban gravitasi. Terdapat dua sistem plat lantai sebagai berikut

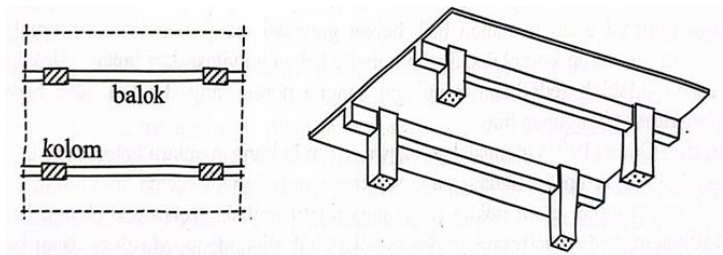
1) Sistem plat lantai satu arah (*One Way Slab*)

Pada sistem ini palt ditumpu dengan suatu balok secara memanjang dimana semakin panjang bentangan play maka akan semakin tebal ukuran plat

2) Sistem plat lantai dua arah (*Two Way Slab*)

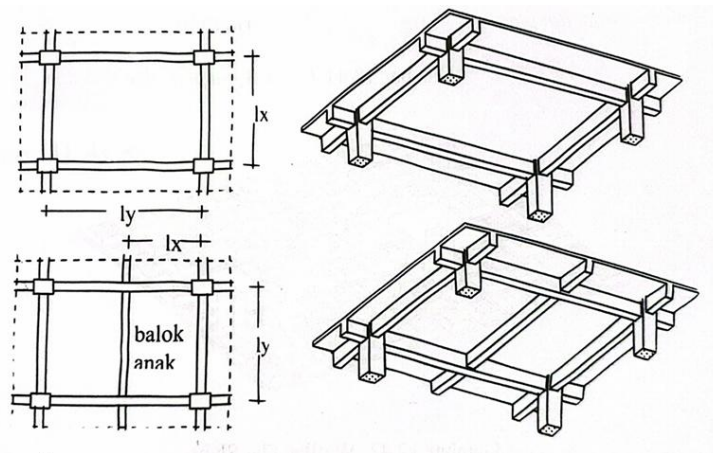
Sistem pelat dua arah diterapkan ketika panjang bentang (l_y) tidak melebihi 2,5 kali panjang bentang pendek. Pada sistem ini, balok anak sering digunakan untuk mengurangi jarak antara balok induk. Dengan demikian, beban yang diterima oleh balok anak akan diteruskan sebagai beban titik menuju balok induk.

Gambar plat satu arah dan plat dua arah dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3



Gambar 3.2 Pelat Satu Arah

Sumber : Pawirodikromo (2012)



Gambar 3.3 Pelat Dua Arah

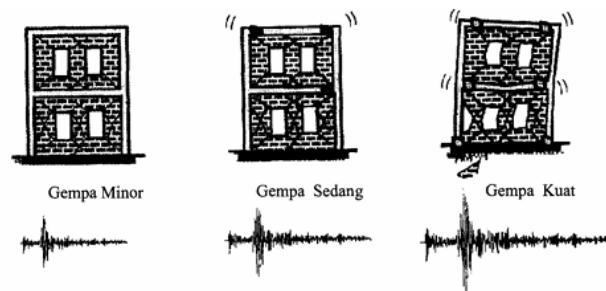
Sumber : Pawirodikromo (2012)

3.3.2 Desain Filosofi

Menurut Pawirodikromo (2012) mengatakan bahwa gedung memiliki faktor keutamaan dari penting atau tidaknya bangunan itu sendiri. Semakin penting bangunan tersebut semakin kompleks gaya gempa yang harus diperhitungkan. Terdapat tiga desain filosofi (*Earthquake Design Philoshopy*) yang dimaksud sebagai berikut.

1. Gempa kecil dimana gempa ini sering terjadi sehingga struktur utama tidak boleh rusak. Kerusakan kecil diperbolehkan pada elemen *non-struktur*
2. Gempa sedang menengah yang relatif jarang terjadi maka struktur utama bangunan boleh rusak atau retak ringan tapi masih bisa diperbaiki dan elemen *non-struktur* boleh rusak namun bisa diganti dengan yang baru
3. Gempa Kuat yang jarang terjadi maka struktur utama boleh rusak namun tidak boleh runtuh total

Berikut ilustrasi kerusakan bangunan pada masing-masing level gempa yang dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.

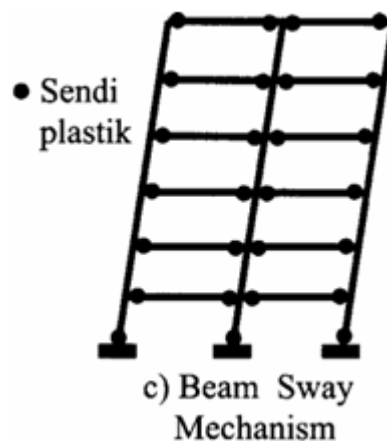


Gambar 3.4 Ilustrasi Kerusakan pada Level Gempa

Sumber : Pawirodikromo (2012)

3.3.3 *Strong Coloum Weak Beam* (SCWB)

SCWB adalah sebuah logis prinsip yang datang dari sebuah kondisi yang disebut dengan *Beam Way Mechanism*. Diketahui akan ada sendi-sendi plastik pada ujung-ujung balok karena balok didesain lebih lemah dari pada kolom sehingga penulangan pada ujung-ujung balok akan lebih kuat. Dengan menggunakan prinsip desain Strong Column Waek Beam dapat menghasilkan struktur dengan daktilitas yang tinggi dengan mencegah terjadinya pembentukan sendi plastik pada area kolom tingkat atas. Kondisi *Beam Way Mechanism* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut



Gambar 3.5 Kondisi Beam Way Mechanism

Sumber : Pawirodikromo (2012)

3.4 Pembebanan Analisis Struktur

Pembebanan ini sangat penting untuk struktur bangunan itu sendiri dalam memastikan bahwa bangunan bisa menahan beban yang bekerja tanpa ada kerusakan yang berarti. Menurut SNI 03-1727-2020 tentang Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Struktur Bangunan Gedung. Pembebanan terdiri dari beberapa jenis pembebanan yaitu beban mati, beban hidup, dan kombinasi pembebanan dasar

3.4.1 Beban Mati

Beban mati ialah beban tetap yang berasal dari berat struktur itu sendiri. Beban mati juga mencakup elemen-elemen bangunan yang terpasang permanen, seperti dinding, lantai, atap, dan peralatan tetap. Menurut SNI 03-1727-2020 (2020), beban mati dihitung berdasarkan berat jenis material yang digunakan dan dimensi struktur. Beban mati ini penting dalam menentukan kestabilan awal bangunan, karena menjadi beban dasar yang harus ditanggung oleh seluruh sistem struktur.

3.4.2 Beban Hidup

Merujuk pada beban yang berubah-ubah dimana beban ini bergantung pada sebuah kegiatan atau aktivitas manusia di dalam gedung tersebut. Beban ini mencakup beban penghuni, peralatan, furnitur, kendaraan (untuk bangunan tertentu seperti gedung parkir atau jalan), serta beban dinamis lainnya. Beban hidup ini bervariasi tergantung pada penggunaan bangunan, dan standar SNI 03-1727-2020 memberikan pedoman terkait nilai-nilai pembebanan hidup berdasarkan tipe bangunan (misalnya, gedung perkantoran, hunian, atau gedung industri).

3.4.3 Kombinasi Pembebanan Dasar

Dalam perencanaan struktur, perlu dilakukan kombinasi pembebanan dasar untuk memperhitungkan variasi beban yang bekerja pada bangunan selama masa operasionalnya. SNI 03-1727-2020 mengatur berbagai kombinasi beban untuk memastikan struktur dapat menghadapi berbagai kondisi, baik beban mati, hidup, maupun beban tambahan seperti beban angin, gempa, atau beban khusus lainnya.

Kombinasi ini dihitung untuk mengetahui beban maksimum yang akan bekerja pada struktur untuk mencegah kegagalan struktural. SNI ini menyediakan faktor-faktor kombinasi yang digunakan untuk menentukan beban yang berlaku pada struktur dalam kondisi normal maupun ekstrem. Kombinasi yang digunakan yaitu dengan persamaan berikut

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

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

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

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

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

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

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

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

Pembebanan gempa merupakan salah satu faktor penting dalam desain struktur gedung, terutama di wilayah yang rawan gempa. Menurut SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan pembebanan gempa, sebagai berikut:

3.5.1 Peruntukan Bangunan yang Akan Dibangun

Penggunaan bangunan tentu harus diidentifikasi agar sesuai dengan peruntukannya. Beberapa contoh peruntukannya seperti hunian, perkantoran, atau industri dan semuanya mempengaruhi kategori risiko gempa. Berdasarkan SNI 03-1726-2019, peruntukan bangunan dapat mempengaruhi tingkat ketahanan terhadap gempa, karena bangunan yang lebih kritis (misalnya rumah sakit atau sekolah) memerlukan desain yang lebih tahan terhadap dampak gempa.

3.5.2 Penentuan Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan

Dalam penentuan kategori risiko sendiri sudah diatur pada SNI 03-1726-2019 pada Tabel 3 Halaman 24. Semua peruntukan bangunan yang sudah ditentukan langsung dapat diketahui kategori risikonya. Lalu dilanjutkan dengan mengetahui faktor keutamaan gempa dari kategori bangunan yang sudah ditentukan melalui Tabel 4 Halaman 25. Berikut faktor keutamaan gempa (I_e) yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 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 adalah elemen penting dalam perencanaan ketahanan gempa karena gerak tanah menentukan seberapa besar gaya seismik yang akan diterima oleh struktur. Parameter ini mengacu pada percepatan tanah yang dihasilkan akibat gempa, yang dapat digunakan untuk menganalisis dampaknya pada struktur bangunan. Terdapat 2 parameter sebagai berikut

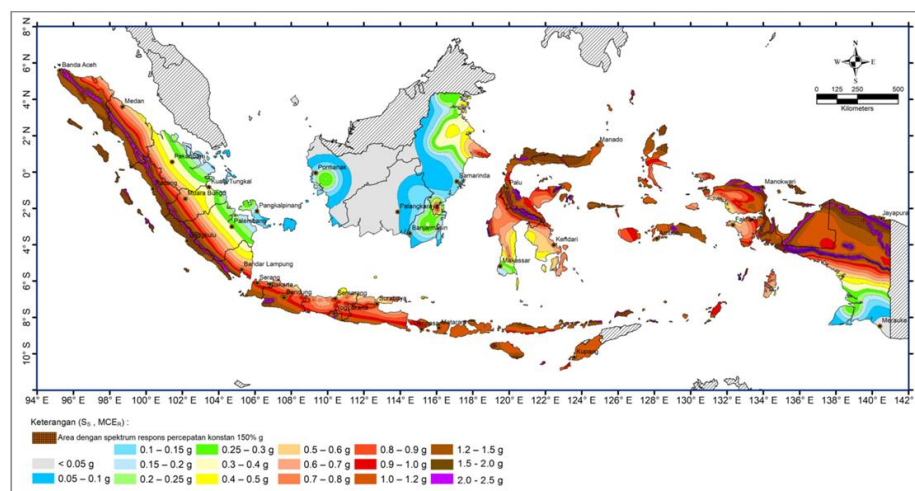
1. S_s (Percepatan dasar tanah pada periode pendek)

percepatan gempa maksimum yang diperkirakan untuk wilayah tersebut, pada periode getar pendek (0,2 detik).

2. S_1 (Percepatan dasar tanah pada periode panjang)

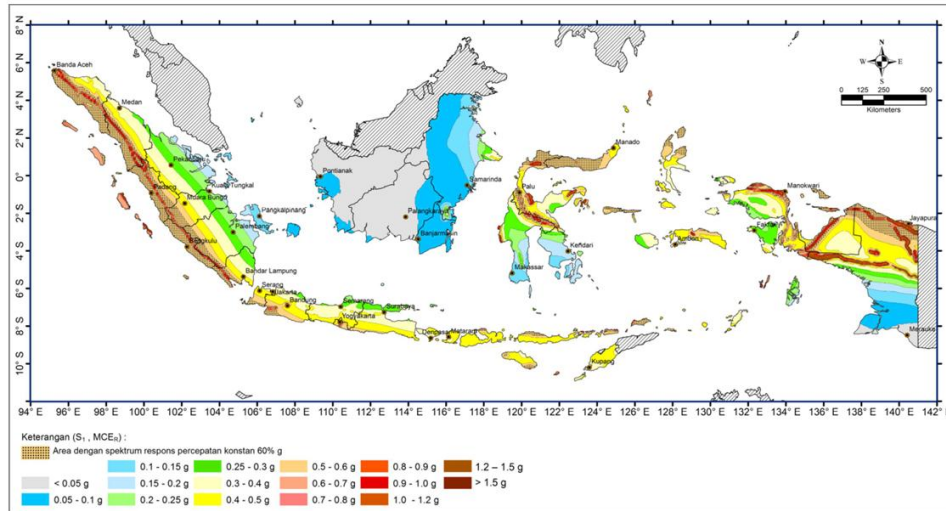
Percepatan gempa maksimum pada periode 1 detik.

SNI 03-1726-2019 menetapkan bahwa percepatan gempa pada tanah dasar harus diambil dari peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan terlampaui sebesar 2% dalam 50 tahun (MCER). Kedua parameter tersebut dapat diambil dari peta gempa yang dapat dilihat 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, S1

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

3.5.4 Penentuan Koefisien Situs

Menurut SNI 03-1726-2019, dalam penentuan percepatan gempa MCE_R pada permukaan diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 1 detik. Faktor tersebut yaitu F_a (getaran periode pendek) dan F_v (Getaran periode 1 detik). Terdapat pula parameter respon spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) dirumuskan pada persamaan 3.1 dan 3.2 berikut

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

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

Sedangkan 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

Sesuai dengan SNI 03-1726-2019 Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan dan divalidas menggunakan web melalui perumusan berikut

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

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

Divalidasi melalui web <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id> dengan koordinat sitenya

3.5.6 Menentukan Kategori Desain Seismik

Setelah memperoleh nilai S_s dan S_I serta mengetahui kategori risiko bangunan, langkah selanjutnya adalah menentukan kategori desain seismik. Berikut adalah cara penentuan kategori desain berdasarkan S_s dan S_I :

1. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di daerah dengan S_s lebih besar dari 0,75 dan S_I lebih besar dari 0,75 harus dikategorikan dalam kategori desain seismik D atau lebih tinggi.
2. Struktur dengan kategori risiko IV akan mendapatkan kategori desain seismik F jika S_s dan S_I lebih besar dari 0,75.

Klasifikasi kategori desain seismik dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5

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**

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 Penentuan Jenis Struktur Penahan Beban

Dalam penentuannya diperlukannya analisis struktur terhadap gempa. Beberapa hal yang diperlukan seperti modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor pembesaran simpangan lateral (C_d). Ketiga hal tersebut berguna untuk menentukan gaya geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat desain. Semua poin ini bisa dilihat pada SNI 03-1726-2019 pada Tabel 12 halaman 49.

3.6 Analisis Tahap 1

3.6.1 *Checking* Kinerja Struktur (Statik Ekuivalen)

Berdasarkan SNI 03-1726-2019 *checking* yang dimaksud adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi apakah struktur bangunan dapat bertahan terhadap pembebanan gempa yang ditentukan tanpa mengalami kerusakan yang signifikan

3.6.2 Kombinasi Beban Gempa

Berdasarkan FEMA 751, kombinasi beban dapat menggunakan persamaan berikut

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

Menurut ASCE/SEI 7-16, beban hidup dapat dikurangi jika nilai beban hidup yang diterapkan lebih kecil dari 4,78 kN/m², dengan D, E, dan L masing-masing mewakili beban mati, beban gempa, dan beban hidup.

3.6.3 Menentukan Koefisien Batas Atas Periode dan Periode Pendekatan

Bangunan

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh dengan mempertimbangkan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang sudah terbukti akurat. Periode fundamental struktur tidak boleh melebihi hasil perkalian antara koefisien batas atas periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan (T_a) yang ditentukan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Sebagai alternatif, analisis untuk menentukan periode fundamental struktur dapat dilakukan dengan menggunakan langsung periode bangunan pendekatan (T_a) yang dihitung sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. C_u yang dimaksud dapat dilihat 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)

Untuk menentukan fundamental pendekatan (T_a) dalam detik ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut

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

C_t dan x adalah parameter pendekatan yang ditentukan dengan melihat Tabel 3.5 berikut

Tabel 3.7 Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x

Tipe struktur	Ct	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

Lanjutan Tabel 3.7 Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x

Tipe struktur	Ct	x
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 03-1726-2019, Hal. 72)

3.6.4 Koefisien Respon Seismik

Perhitungan pada koefisien respon sesimik dapat dihitung dengan persamaan berikut

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

Keterangan :

SDS = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang telah dihitung dengan persamaan 3.13 tidak perlu melebihi berikut ini

Untuk $T \leq T_L$

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

Untuk $T > T_L$

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

Harus tidak kurang dari persamaan berikut

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (3.17)$$

Sebagai informasi tambahan, untuk struktur yang terletak di wilayah dengan nilai S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka nilai C_s tidak boleh lebih kecil dari:

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

3.6.5 Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (V) dengan mengacu pada SNI 03-1726-2019 dapat dihitung dengan persamaan berikut

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

Keterangan :

C_s = Koefisien respon seismik

W = Berat Seismik Efektif

3.6.6 Distribusi Gaya Seismik

1. Arah Vertikal

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

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

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

C_{vx} adalah faktor distribusi vertikal, sedangkan V merupakan gaya lateral desain total atau gaya geser di dasar struktur dalam satuan kN. w_i dan w_x mengacu pada bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x , dengan h_i dan h_x yang merujuk pada tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x dalam satuan meter. Nilai k adalah eksponen yang terkait dengan periode struktur, dengan nilai yang berbeda-beda: untuk struktur dengan periode $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$, untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$, dan untuk struktur dengan periode $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara $k = 1$ dan $k = 2$.

2. Arah Horizontal

Pada seluruh tingkat untuk geser tingkat seismik V_x ditentukan dengan persamaan berikut

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

F_i bagian dari geser dasar seismik (V)

3.6.7 Ketidakberaturan Struktur yang Diidentifikasi

Menurut SNI 03-1726-2019, struktur perlu diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan dengan melihat kriteria yang dapat dilihat pada pasal 7.3.2. klasifikasi yang dimaksud didasarkan dengan konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur tersebut. Untuk ketidakberaturan horizontal dapat dilihat pada Tabel 13. Sedangkan ketidakberaturan vertikal dapat dilihat pada Tabel 14 pada SNI 03-1726-2019

3.6.8 Torsi Bawaan Tak Terduga

Jika diaphragma tidak fleksibel, desain bangunan harus memperhitungkan dua jenis momen torsi, momen torsi bawaan (M_i) yang dihasilkan oleh lokasi massa struktur, dan momen torsi tak terduga (M_{ta}) yang timbul akibat pergeseran pusat massa dari posisi sebenarnya. Pergeseran pusat massa ini diasumsikan sebesar 5% dari dimensi struktur yang tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan.

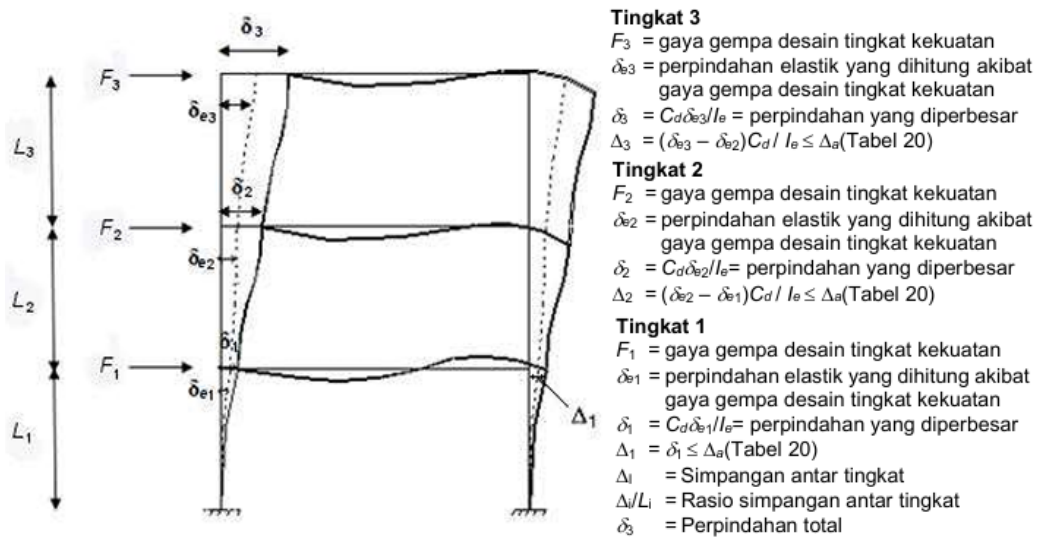
Jika gaya gempa diterapkan dalam dua arah ortogonal secara bersamaan, pergeseran pusat massa harus dihitung dalam arah yang memberikan pengaruh terbesar. Momen torsi tak terduga harus diterapkan pada seluruh struktur untuk mengevaluasi ketidakberaturan horizontal, sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam SNI. Namun, M_{ta} tidak perlu dihitung saat menentukan gaya seismik atau simpangan antar tingkat pada beberapa bagian perencanaan struktur, kecuali untuk struktur berikut:

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

3.6.9 Kontrol Simpangan Antar Tingkat (*Drift Rasio*)

Berdasarkan SNI 03-1726-2019 simpangan yang terjadi dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat masa diatas dan dibawah. Menghitung simpangan

di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya
dizinkan jika pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal. Penentuan simpangan
antar desain (Δ) dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

(Sumber : SNI 03-1726-2019, Hal. 75)

Sementara itu untuk simpangan pusat massa di tingkat- x (δ_x) (mm) dapat ditentukan dengan persamaan berikut

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

Dimana C_d sebagai faktor pembesaran simpang bisa dilihat pada SNI 03-1726-2019 Tabel 12, δ_{xe} simpangan di tingkat yang ditentukan dengan analisis elastik, dan I_e yaitu faktor keutamaan gempa

3.6.10 Kontrol P-Delta Effect

Efek P-Delta terjadi ketika gaya vertikal (seperti beban gravitasi atau beban permanen) diterapkan pada struktur yang mengalami pergeseran lateral akibat gaya horizontal (seperti gempa). Ketika struktur mengalami pergeseran lateral, beban

vertikal yang diterima akan menghasilkan torsi tambahan yang memperburuk pergeseran lateral tersebut. Efek ini semakin besar seiring dengan meningkatnya pergeseran lateral dan perbedaan kekakuan pada struktur. Namun semua itu tidak perlu diperhitungkan jika nilai koefisien stabilitasnya sama dengan atau kurang dari 0. Koefisien tersebut dapat dihitung dengan 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

$$\theta_{\max} = \frac{0.5}{\beta C_d} \quad (3.25)$$

Berdasarkan SNI 03-1726-2019, jika nilai koefisien stabilitas (θ) suatu struktur melebihi nilai $\theta_{\max}$, maka struktur tersebut dianggap tidak stabil. Oleh karena itu, desain struktur harus diperbaiki agar memenuhi nilai koefisien stabilitas (θ) yang dipersyaratkan.

3.7 Analisis Tahap 2

Pada tahap ini dilakukan analisis dengan metode linear dinamik spektrum respon ragam. Hasil dari analisis ini harus bisa memberikan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur

3.7.1 Kombinasi Beban Dasar

Dalam analisis struktur perlu diperhitungkan faktor redundansi dan efek gempa. Mangacu pada SNI 03-1726-2019 pengaruh beban gempa dapat ditentukan dengan persamaan berikut

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

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

Dimana masing-masing yaitu E_h dan E_v adalah pengaruh beban horizontal dan vertikal. Keduanya dikombinasikan menjadi pengaruh gempa vertikal dihitung dengan persamaan berikut

$$E = \rho Q_E \pm 0,2 S_{DS} D \quad (3.28)$$

Dimana ρ faktor redundansi, Q_E pengaruh gaya gempa horizontal, S_{DS} parameter percepatan spektral desain periode pendek, dan D beban mati

Pengaruh gaya gempa horizontal dan vertikal (E) dapat disubstitusikan ke dalam kombinasi beban dasar sebagai berikut

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

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

3.7.2 Faktor Redundansi

Mengacu pada SNI 03-1726-2019 disebutkan bahwa faktor redundansi (ρ) dengan pasal 7.3.4.2 diizinkan sebesar 1,0 untuk struktur yang dirancang dengan kategori desain seismik B atau C. Sementara itu, untuk struktur dengan kategori desain seismik D, E, atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1.b, nilai ρ harus ditetapkan sebesar 1,3.

3.7.3 Pengaplikasian Kombinasi Beban Ortogonal

Struktur dengan kategori desain seismik C hingga F wajib mengaplikasikan kombinasi beban dengan cara menerapkan 100% gaya pada satu arah, ditambah 30% gaya pada arah tegak lurus, sesuai dengan ketentuan yang dijelaskan pada butir 7.5.1 dalam SNI 03-1726-2019. Mengacu pada FEMA 451 B bahwa kombinasi

beban ortogonal harus dijabarkan melalui persamaan (3.29) dan (3.30). persamaan untuk kombinasi sebagai berikut

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

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

Setelah itu untuk penerapan esentrisitas tambahan dapat digunakan persamaan sebagai berikut

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

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

Peninjauan kombinasi beban ortogonal melalui persamaan (3.30) dapat dilakukan dengan mengikuti tahapan yang serupa. Berdasarkan penjelasan sebelumnya, total kombinasi beban ortogonal yang harus dipertimbangkan adalah 32 kombinasi. Kombinasi beban ortogonal tersebut harus dihitung menggunakan persamaan yang telah ditentukan sebagai berikut

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.7.4 Amplifikasi Torsi tak terduga

Torsi tak terduga yang dimaksud tetap harus mengacu pada yang sudah dijelaskan pada poin 3.6.8 dimana dua hal perlu yang perlu ditinjau yaitu momen torsi bawaan (M_t) yang dihasilkan oleh lokasi massa struktur, dan momen torsi tak terduga (M_{ta}) yang timbul akibat pergeseran pusat massa dari posisi sebenarnya

3.7.5 Faktor Skala Pembebanan Gempa

Pada tahap analisis, gaya geser yang diperoleh dari analisis respons spektrum harus diskalakan dengan gaya geser yang dihitung menggunakan metode analisis statik ekuivalen, apabila hasil analisis gaya geser metode respons spektrum lebih kecil dari 100% gaya geser yang dihitung dengan metode analisis statik ekuivalen. Persyaratan ini dijelaskan dalam SNI 03-1726-2019 pada butir 7.9.1.4.1. Di sisi lain, jika nilai gaya geser dasar dari analisis respons spektrum (V_t) lebih kecil dari $C_s W$, maka simpangan antar tingkat hasil analisis respons spektrum harus dikalikan dengan $C_s W / V_t$.

3.7.6 Kontrol Drift-Rasio

Rasio simpangan antar tingkat harus dianalisis menggunakan persamaan (3.24) dan (3.25). Untuk penjelasan lebih lanjut mengenai rasio simpangan antar tingkat, dapat merujuk pada sub-sub bab 3.6.9

3.7.7 Kontrol P-delta

Peninjauan efek P-Delta berdasarkan koefisien stabilitas (θ) yang dihitung dengan persamaan (3.24) tidak diperbolehkan melebihi nilai $\theta_{\max}$ yang dihitung dengan persamaan (3.25). Pembahasan lebih lanjut mengenai efek P-Delta dapat ditemukan pada sub-sub bab 3.6.10

3.8 Kebutuhan Tulangan Longitudinal Balok

Tahap awal dalam perencanaan balok beton bertulang adalah desain tulangan balok, yang bertujuan untuk memastikan balok dapat menahan beban lentur, geser, dan torsi sesuai dengan peraturan yang berlaku. Proses desain ini mengacu pada SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, yang menyatakan bahwa kapasitas momen, geser, dan torsi yang direncanakan harus lebih besar atau setidaknya sama dengan kebutuhan yang ditimbulkan oleh beban terfaktor.

3.8.1 Desain Tulangan

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

1. Kondisi *Balance*

Ketika baja dan beton berada dalam kondisi seimbang, kekuatan baja dan regangan beton (ϵ_c) bekerja bersama secara simultan. Berikut persamaan yang harus di penuhi

$$\rho = \rho_b \quad (3.67)$$

2. Kondisi *Over-reinforced*

Ketika baja berada dalam kondisi yang kuat, beton dapat retak dan hancur secara tiba-tiba. Hal ini berbahaya karena tidak ada tanda-tanda peringatan sebelumnya. Berikut persamaan yang harus di penuhi

$$\rho > \rho_b \quad (3.68)$$

3. Kondisi *Under-reinforced*

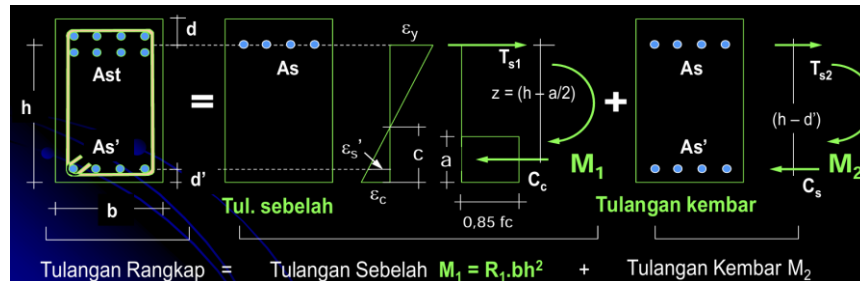
Karena baja memiliki kekuatan yang relatif lebih rendah, baja akan mengalami pelenturan terlebih dahulu, sehingga balok melentur dan memberikan peringatan sebelum terjadi kegagalan. Berikut persamaan yang harus di penuhi

$$\rho < \rho_b \quad (3.69)$$

Desain tulangan balok bertujuan untuk memastikan balok dapat menahan beban lentur, geser, dan torsi sesuai dengan peraturan yang berlaku. Berdasarkan SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, kapasitas momen, geser, dan torsi yang direncanakan harus setidaknya sama atau

lebih besar dari kebutuhan yang disebabkan oleh beban terfaktor. Desain tulangan balok mengikuti prinsip-prinsip perancangan sebagai berikut.

1. Tulangan rangkap adalah skema gabungan antara tulangan sebelah ditambah dengan tulangan kembar yang dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut



Gambar 3.9 Skema Gabungan dari Tulangan Rangkap

(Sumber: Prof. Ir. Widodo. MSCE., Ph.d., Bahan Ajar Disain Balok Beton Tulangan Rangkap Tahan Gempa, 2025.)

2. Nilai R_1 ditentukan untuk memastikan jumlah dan komposisi tulangan dapat menghasilkan kekuatan yang dibutuhkan untuk momen negatif dan momen positif. Berikut nilai R_1 dapat ditentukan dengan persamaan-persamaan berikut

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c} \quad (3.70)$$

$$\rho = \frac{\beta_1}{m} \times \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \quad (3.71)$$

$$R_b = \rho b \times f_y \times (1 - 0.5 \rho b m) \quad (3.72)$$

$$R_1 = C \times R_b \quad (3.73)$$

3. Mencari nilai M_1 yaitu kontribusi momen dari tulangan sebelah dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$M_1 = R_1 \times (b \times h^2) \quad (3.74)$$

Lalu dilanjutkan penentuan jumlah tulangan sebelah dengan menggunakan persamaan berikut

$$n_s = \frac{A_s}{A_{s1}d} \quad (3.75)$$

4. Menentukan nilai M_2 yaitu momen yang harus ditahan oleh tulangan kembar dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$M_2 = M_n - M_{1p} \quad (3.76)$$

Lalu dilanjutkan dengan menentukan jumlah tulangan kembar dengan persamaan-persamaan berikut

$$T_s2 = \frac{M_2}{(h-d')} \quad (3.77)$$

$$A_s2 = \frac{T_s2}{f_y} \quad (3.78)$$

$$n_k = \frac{A_s2}{A_{s1}d} \quad (3.79)$$

Gabungan dari kedua tulangan tersebut didapatkan sebagai tulangan rangkpa balok. Dilanjutkan dengan tahap cek jarak antar tulangan (s) yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$\frac{b-2(sb+ds)-(N dp)}{N-1} > 2,5 \quad (3.80)$$

3.8.2 Analisis Momen Balok

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

1. Analisis Momen Negatif (M^-)

Momen negatif biasanya terjadi di area tumpuan balok, di mana serat bagian atas mengalami tarikan sementara serat bagian bawah mengalami tekanan. Dalam kondisi gempa, momen negatif umumnya muncul di ujung balok yang terhubung dengan kolom, sehingga perencanaan tulangan bagian atas harus dirancang untuk dapat menahan gaya tarik yang terjadi. Pengecekan pada analisis ini dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$M1 = 0,85 f'c a b \left(h - \frac{a}{2} \right) \quad (3.81)$$

$$M2 = As' fs (h - d') \quad (3.82)$$

$$Mn = M1 + M2 \quad (3.83)$$

$$Mt = Mn \quad (3.84)$$

Lalu di cek dan harus memenuhi $Mt > Mu(-)$ maka OK.

2. Analisis Momen Positif (M^+)

Momen positif terjadi di bagian tengah atau lapangan balok, di mana serat pada bagian bawah mengalami tarikan sementara serat pada bagian atas berada dalam kondisi tekan. Pada kondisi ini, tulangan bagian bawah berfungsi sebagai tulangan utama untuk menahan tarik, sementara tulangan bagian atas berperan sebagai tulangan tekan. Pengecekan pada analisis ini dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$M1 = 0,85 \times f'c \times a \times b \times \left(h' - \frac{a}{2}\right) \quad (3.85)$$

$$M2 = As \times fs \times (h' - d) \quad (3.86)$$

$$Mn = M1 + M2 \quad (3.87)$$

$$Mt = Mn \quad (3.88)$$

Lalu di cek dan harus memenuhi $Mt > Mu(+)$ maka OK.

3.8.2 Analisis Momen Kapasitas

Analisis momen kapasitas dilakukan untuk menentukan kemampuan maksimum (Mn) penampang balok dalam menahan momen lentur.

1. Momen Kapasitas Negatif (Mn^-).

Momen kapasitas negatif dihitung berdasarkan keseimbangan gaya pada penampang ketika tulangan bagian atas berperan sebagai tulangan tarik. Pengecekan pada momen ini dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$M1 = 0,85 \times f'c \times a \times b \times \left(h - \frac{a}{2}\right) \quad (3.89)$$

$$M2 = As' \times fs \times (h - d') \quad (3.90)$$

$$Mn = M1 + M2 \quad (3.91)$$

Lalu di cek dan harus memenuhi $Mt_k > Mt(-)$ maka OK

$$1,5 > \frac{Mt_k}{Mt(-)} > 1,2$$

2. Momen Kapasitas Positif (M_n^+).

Pada momen kapasitas positif, tulangan bawah (A_s) berfungsi sebagai elemen utama untuk menahan tarik, sedangkan tulangan atas berperan sebagai elemen tekan. Nilai kapasitas momen positif ini perlu dibandingkan dengan momen yang dibutuhkan (M_u) yang diperoleh dari analisis struktur, untuk memastikan bahwa persyaratan $M_n \geq M_u$ terpenuhi, guna menjamin keamanan dan kekuatan struktur balok. Pengecekan pada momen ini dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$M1 = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times \left(h' - \frac{a}{2}\right) \quad (3.92)$$

$$M2 = A_s \times f_s \times (h' - d) \quad (3.93)$$

$$M_n = M1 + M2 \quad (3.94)$$

Lalu di cek dan harus memenuhi $M_{t_k} > M_{t(+)}$ maka OK

$$1,5 > \frac{M_{t_k}}{M_{t(+)}} > 1,2$$

3.8.3 Desain Tulangan Geser Balok

Desain geser pada balok bertujuan untuk memastikan bahwa mekanisme keruntuhan elemen struktur berlangsung secara duktail melalui lentur, bukan getas akibat kegagalan geser. Oleh karena itu, penting untuk memahami distribusi gaya geser yang timbul akibat beban gravitasi, beban gempa, serta kombinasi dari keduanya.

1. Gaya Geser Akibat Beban Gravitasi

Gaya geser yang dihasilkan oleh beban gravitasi dihitung berdasarkan diagram geser yang disebabkan oleh beban mati (D) dan beban hidup (L). Selanjutnya, perhitungan ini disesuaikan dengan faktor beban yang tercantum dalam SNI

2847-2019, sehingga gaya geser ultimit akibat beban gravitasi ($V_{G,u}$) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$V_{G,u} = (1,2V_D + V_L) \quad (3.95)$$

2. Gaya Geser Akibat Beban Gempa

Gaya geser yang diakibatkan oleh beban gempa (V_E) dihitung berdasarkan momen balok serta momen kapasitas positif (M_{kap+}) dan momen kapasitas negatif (M_{kap-}). V_E dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$V_E = \frac{M_{kap+} + M_{kap-}}{L_n} \quad (3.96)$$

3. Kombinasi Gaya Geser Total (V_u)

Gaya geser total ultimit yang disebabkan oleh beban gravitasi dan beban gempa dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$V_u = (1,2 \times V_D + V_L) + \frac{M_{kap+} + M_{kap-}}{L_n} \quad (3.97)$$

4. Tulangan Geser Pada Daerah Sendi Plastis

Gaya yang harus ditahan oleh tulangan sengkang dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$V_s = \frac{V_{up}}{\phi} \quad (3.98)$$

Lalu melakukan penentuan terhadap jarak sengkang dengan persamaan berikut

$$s = \frac{A_v f_{ys} h}{V_s} \quad (3.99)$$

Syarat-syarat yang perlu dipenuhi sebagai berikut

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

5. Tulangan Geser Pada Daerah Luas Sendi Plastis

Pengerahan kekuatan geser balok pada luar sendi geser dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b h \quad (3.100)$$

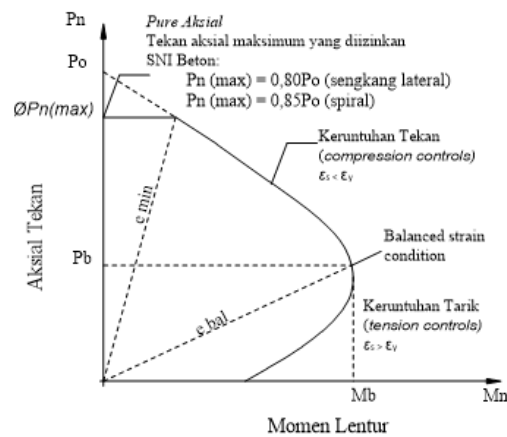
Lalu menentukan gaya yang harus ditahan senggang dengan persamaan berikut

$$V_s = \frac{V_{up}}{\phi} - V_c \quad (3.101)$$

3.9 Kebutuhan Tulangan Kolom

Beragam metode analisis dan perancangan digunakan untuk menentukan kebutuhan tulangan kolom. Untuk tulangan pokok (longitudinal), pendekatan yang biasa dipakai adalah diagram interaksi Mn-Pn kolom. Penyusunan diagram Mn-Pn akan melalui peninjauan beberapa kondisi tertentu guna membentuk konfigurasi diagram sebelum tahap analisis dan desain elemen kolom dilakukan. Sementara itu, perancangan tulangan transversal kolom mengacu pada SNI 03-2847-2019 Pasal 18.7.5, sedangkan perhitungan tulangan transversal pada daerah sambungan (joint) menggunakan pasal yang sama, yaitu Pasal 18.8.3. Kedua pasal tersebut memuat ketentuan mengenai persyaratan tulangan transversal. Kondisi-kondisi yang

dibahas di atas menghasilkan diagram interaksi M_n - P_n tipikal yang umum digunakan perencana dalam mendesain elemen kolom. Diagram dimaksud ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.10 Diagram Interaksi M_n - P_n

3.9.1 Kondisi-Kondisi Elemen Kolom

Terdapat enam kondisi yang dimaksud untuk membentuk diagram M_n - P_n kolom sebagai berikut.

1. Kondisi aksial tekan sentris ($M_n = 0$)

Kondisi ini dari diagram kolom dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$P_0 = (0.85 \times f'_c \times b_t \times h_t) + (A_{st} \times 2) \times (f_y - 0.85 \times f'_c) \quad (3.102)$$

Keterangan :

f'_c = Kuat tekan beton (kg/cm²)

f_y = Kuat leleh tulangan (kg/cm²)

$b_t = B$ = Lebar kolom (cm)

$h_t = H$ = Tebal kolom (cm)

A_{st} = Luas tulangan longitudinal/pokok total (mm²)

P_n = Gaya aksial nominal (kg)

2. Kondisi regangan seimbang ($f_s = f_y$)

P_n yang dihitung pada kondisi ini dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut

$$P_n = C_c + C_s - T_s \quad (3.103)$$

Dimana C_c , C_s , dan T_s dapat dihitung dengan persamaan berikut ini

$$C_c = 0.85 \times f'_c \times \beta_1 \times c_b \times b_t \quad (3.104)$$

$$C_s = A'_s \times (f_y - 0.85 \times f'_c) \quad (3.105)$$

$$T_s = A_s \times f_y \quad (3.106)$$

Keterangan :

β_1 = faktor reduksi kuat tekan beton

c_b = jarak garis netral dengan tepi luar daerah tekan kondisi *balance*

Kedua pada keterangan tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{f'_c - 28}{7} \times 0.05 \quad (3.107)$$

$$c_b = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_y} \times h \quad (3.108)$$

Keterangan :

ε_c = Regangan leleh beton (0,003)

ε_y = Regangan leleh baja tulangan

h = Tinggi efektif penampang (cm)

dalam menentukan nilai kuat leleh baja tulangan (f_s) yang bekerja di daerah tarik dan daerah desak dapat menggunakan persamaan berikut

$$\varepsilon'_s = \frac{(c-d')}{c} \times \varepsilon_c \quad (3.109)$$

$$\varepsilon_s = \frac{(h-c)}{c} \times \varepsilon_c \quad (3.110)$$

Nilai regangan baja pada daerah desak dan tarik masing-masing dilambangkan dengan ε'_s dan ε_s . Jika nilai regangan baja lebih besar daripada nilai regangan baja leleh ε_y , maka tegangan baja yang digunakan dihitung berdasarkan kuat leleh tegangan baja f_y . Sebaliknya, jika nilai regangan baja kurang dari nilai regangan baja leleh, maka tegangan baja yang digunakan harus ditentukan dengan mempertimbangkan hubungan antara regangan baja dan modulus elastisitas baja E_s . Di mana nilai ε_y dihitung dengan perbandingan antara f_y dan E_s ($\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$).

Selanjutnya, eksentrisitas e , yang menggambarkan beban aksial yang terjadi pada penampang kolom, dapat dihitung dengan menggunakan perbandingan antara M_n dan P_n , yaitu $\frac{M_n}{P_n}$. Dengan demikian, perhitungan M_n pada kondisi *balance* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$M_n = C_c \times \left(\frac{h_t}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \times \left(\frac{h_t}{2} - d' \right) + T_s \times \left(\frac{h_t}{2} - d \right) \quad (3.111)$$

a pada persamaan tersebut berupa pembagian antara cb dengan faktor reduksi kuat tekan beton (β_1).

3. Kondisi keruntuhan tekan ($\varepsilon_s < \varepsilon_y$)

Perhitungan M_n - P_n pada kondisi keruntuhan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.68 hingga 3.76. Pada kondisi ini, jarak antara posisi garis netral dengan tepi luar daerah tekan (c) yang digunakan harus lebih besar dari nilai c_b untuk menghasilkan nilai M_n - P_n dalam kondisi keruntuhan tarik.

Dengan demikian, tulangan yang bekerja pada daerah desak berada dalam kondisi leleh, dengan $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$, sehingga $f'_s = f_y$.

4. Kondisi keruntuhan tekan ($\varepsilon_s > \varepsilon_y$)

Perhitungan M_n-P_n pada kondisi keruntuhan tarik dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.68 hingga 3.76. Pada kondisi ini, jarak antara posisi garis netral dengan tepi luar daerah tekan (c) yang digunakan harus lebih kecil dari c_b agar menghasilkan nilai M_n-P_n dalam kondisi keruntuhan tarik. Oleh karena itu, tulangan yang bekerja pada daerah tarik berada dalam kondisi leleh, dengan $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$, sehingga $f'_s = f_y$.

5. Kondisi lentur murni ($P_n = 0$)

Kondisi lentur murni perhitungan M_n untuk diagram M_n-P_n kolom dilakukan dengan asumsi kolom bekerja dengan balok. Maka dari itu M_n dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$M_n = C_c \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \times f'_s \times (h - d') \quad (3.112)$$

a adalah tinggi tegangan tekan dalam (cm) yang diperoleh dari persamaan keseimbangan regangan dan tegangan balok yang dirumuskan menjadi sebagai berikut

$$A_s \times f_s = 0.85 \times f'_c \times a \times b_t + A'_s \times f'_s \quad (3.113)$$

6. Kondisi tarik murni

Kondisi tarik murni tidak terjadi gaya momen ($M_n = 0$). Di kondisi ini gaya yang ada ditahan oleh baja tulangan pada kedua sisi penampang kolom. Lalu nilai P_n dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$P_n = -(A_{\text{Tul pakai} \times 2}) \times f_y \quad (3.114)$$

3.9.2 Kebutuhan Tulangan Transversal

Tulangan transversal atau sering disebut tulangan geser memiliki peran yang sangat penting pada stabilitas kolom. Untuk desain penulangannya mengacu pada SNI 03-2847-2019. Pada pasal 18.7.5.1 disebutkan bahwa tulangan transversal yang disyaratkan harus dipasang sepanjang L_o dari masing-masing muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat perpindahan lateral yang melampaui perilaku elastik. Panjang L_o tidak boleh kurang dari nilai terbesar dari ketiga persyaratan berikut

1. Tinggi kolom pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi
2. Seperenam tinggi bersih kolom
3. 450 mm

Spasi tulangan transversal dapat di hitung sesuai dengan pasal 18.7.5.3 bahwa nilainya tidak boleh melebihi nilai terkecil dari tiga nilai yaitu,

1. Seperempat dimensi terkecil penampang kolom
2. Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
3. $s_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right)$ (3.115)

Nilai s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm.

Setelah itu karena digunakan sengkang pengekan persegi maka berlaku rumus sebagai berikut

1. Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis (Tumpuan)
Menghitung A_{sh1} dan A_{sh2} dengan persamaan berikut

$$n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \quad (3.116)$$

Lalu didapatkan nilai A_{sh1}/s dan A_{sh2}/s sebagai berikut

$$\frac{A_{sh}}{s} \quad (3.117)$$

Dengan s yaitu spasi yang digunakan.

2. Kekangan Zona Sendi Plastis

Berdasarkan pasal R18.7.5.2 , mencari nilai lebar penampang inti beton, b_c dengan persamaan berikut

$$b_c = b - 2c_c \quad (3.118)$$

lalu menghitung penampang inti beton, h_c

$$h_c = h - 2c \quad (3.119)$$

mencari nilai luas penampang kolom, A_g

$$A_g = b \times h \quad (3.120)$$

Lalu mencari nilai luas penampang inti beton, A_{ch}

$$A_{ch} = b_c \times h_c \quad (3.121)$$

3. Sisi pendek atau sumbu lemah

Menghitung nilai A_{sh}/s , 1

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \times \left\{ \frac{b_c \cdot f_c}{f_y} \right\} \times \left\{ \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right\} \quad (3.122)$$

Lalu nilai A_{sh}/s , 2

$$0.09 \times b_c \times \frac{f'_c}{f_{yv}} \quad (3.123)$$

4. Sisi panjang atau sumbu kuat

Menghitung nilai A_{sh}/s , 1

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \times \left\{ \frac{h_c \cdot f'_c}{f_y} \right\} \times \left\{ \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right\} \quad (3.124)$$

Lalu nilai A_{sh}/s , 2

$$0.09 \times h_c \times \frac{f'_c}{f_{yv}} \quad (3.125)$$

5. Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis (Lapangan)

Mencari nilai A_v sumbu lemah dan sumbu kuat dengan persamaan berikut

$$n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \quad (3.126)$$

6. Kekangan Luar Zona Sendi Plastis

Mencari spasi maksimal 1 dengan persamaan berikut

$$6 d_b \quad (3.127)$$

Lalu spasi maksimal 2 digunakan nilai 150 mm

Lalu jika spasi yang digunakan lebih kecil dari nilai terkecil dari dua nilai tersebut maka spasi yang digunakan sudah aman

3.10 Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) adalah metode komputasi yang terinspirasi oleh cara otak manusia memproses informasi. Jaringan saraf buatan ini terdiri dari sejumlah neuron yang terhubung dalam jaringan berlapis. Setiap neuron menerima

sinyal dari neuron lain, memproses informasi, dan menghasilkan *output*. ANN dapat digunakan untuk berbagai tugas kompleks, seperti klasifikasi, regresi, pengenalan pola, dan pengolahan data besar. Dalam proses pembelajaran, ANN dapat menyesuaikan diri berdasarkan data yang diberikan, tanpa memerlukan instruksi eksplisit mengenai aturan yang harus dikenali (Ikhsan et al., 2022)

Pada umumnya, ANN terdiri dari tiga lapisan utama yaitu lapisan *input* yang menerima data, lapisan tersembunyi yang memproses informasi, dan lapisan *output* yang menghasilkan hasil akhir. Dalam proses pelatihan, data *input* diproses melalui lapisan-lapisan tersembunyi untuk menghasilkan *output* yang sesuai dengan target yang diinginkan. Proses ini dilakukan menggunakan algoritma seperti *backpropagation*, yang memungkinkan jaringan memperbaiki bobot-bobotnya berdasarkan kesalahan yang terdeteksi antara *output* yang dihasilkan dan target (Fantara et al., 2018)

Keunggulan utama dari ANN adalah kemampuannya untuk mempelajari pola dari data yang tidak terstruktur dan mengadaptasi keputusan atau prediksi berdasarkan pola yang ditemukan. Dengan arsitektur yang fleksibel, ANN mampu menangani berbagai jenis data besar dan kompleks, seperti gambar atau data sekuensial. ANN telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk pengolahan citra, analisis suara, dan bahkan prediksi dalam berbagai sektor seperti kesehatan, keuangan, dan industri (Yudono, 2023)

3.10.1 Arsitektur dan Komponen ANN

Artificial Neural Networks (ANN) adalah sistem komputasi yang terinspirasi oleh cara kerja otak manusia dalam memproses informasi. Jaringan ini terdiri dari unit pemrosesan yang disebut neuron yang saling terhubung dan membentuk lapisan-lapisan. Pada dasarnya, ANN terdiri dari tiga lapisan utama yaitu lapisan *input*, lapisan tersembunyi, dan lapisan *output*. Setiap lapisan ini berfungsi untuk memproses informasi secara bertahap dan menghasilkan *output* yang diinginkan (Rajasekaran & Vijayalakshmi Pai, 2003).

1. Lapisan *Input*

Lapisan *input* menerima data mentah dari dunia luar yang kemudian diteruskan ke lapisan tersembunyi. Setiap neuron dalam lapisan input mewakili satu fitur atau atribut dari data yang akan diproses. Informasi yang diterima diubah menjadi bentuk yang dapat dimengerti dan diproses lebih lanjut oleh lapisan tersembunyi.

2. Lapisan Tersembunyi

Lapisan tersembunyi memegang peranan penting dalam memproses informasi yang diterima dari lapisan input. Neuron-neuron dalam lapisan ini bekerja untuk mengeksplorasi hubungan yang lebih kompleks dalam data dan menghasilkan informasi yang lebih terstruktur. Fungsi aktivasi seperti sigmoid atau ReLU digunakan untuk memberikan non-linearitas pada model, memungkinkan ANN untuk menangani masalah yang lebih kompleks. Lapisan tersembunyi ini juga berfungsi untuk melakukan pemetaan dan menggeneralisasi pola dari data yang diterima, yang memungkinkan ANN untuk membuat prediksi yang lebih akurat pada data yang belum terlihat (Rajasekaran & Vijayalakshmi Pai, 2003)

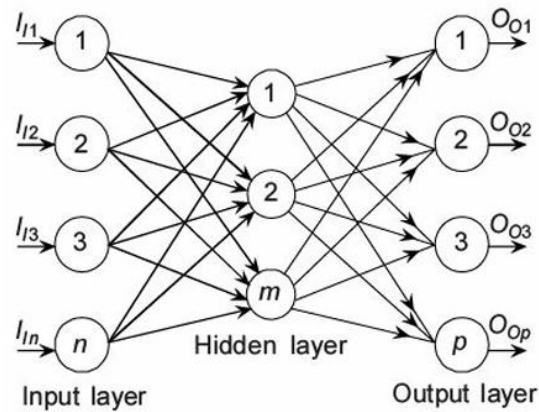
3. Lapisan *Output*

Lapisan *output* adalah lapisan terakhir dalam ANN yang menghasilkan hasil dari proses yang dilakukan oleh lapisan-lapisan sebelumnya. Neuron di lapisan *output* menyajikan informasi hasil akhir setelah pemrosesan data melalui lapisan input dan tersembunyi. *Output* dari jaringan ini dapat berupa nilai prediksi dalam kasus regresi atau kategori dalam kasus klasifikasi.

4. Bobot dan Bias

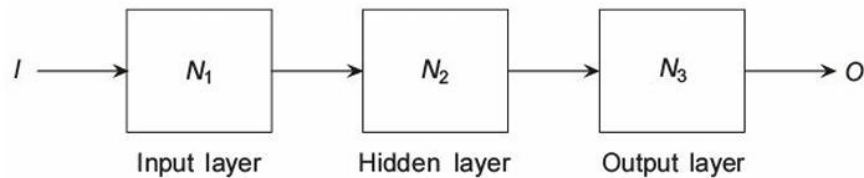
Bobot merupakan parameter yang menghubungkan setiap neuron dengan neuron lain, mempengaruhi seberapa besar pengaruh setiap input terhadap output dari neuron tersebut. Bias berfungsi untuk menyesuaikan *output* dari neuron, memberikan fleksibilitas lebih dalam model. Proses pelatihan ANN melibatkan pengaturan bobot dan bias ini menggunakan algoritma optimasi seperti *backpropagation*. Melalui *backpropagation*, ANN dapat menyesuaikan bobot dan biasnya untuk meminimalkan kesalahan output berdasarkan target yang diinginkan (Rajasekaran & Vijayalakshmi Pai, 2013)

Ketiga lapisan tersebut lalu di integrasikan seperti pada Gambar berikut



Gambar 3.11 Arsitektur Dasar Multilayer Perceptron (MLP)

(Sumber : Rajasekaran & Vijayalakshmi Pai, 2003)



Gambar 3.12 Diagram Blok dari Three-layer ANN

(Sumber : Rajasekaran & Vijayalakshmi Pai, 2003)

3.10.2 Metode Pembelajaran dalam ANN (*Backpropagation*)

Backpropagation adalah algoritma yang digunakan untuk melatih *Artificial Neural Networks* (ANN) dengan cara mengoptimalkan bobot dan bias yang ada di dalam jaringan saraf. Algoritma ini berfungsi untuk memperbaiki kesalahan pada output dengan menghitung gradien kesalahan dan menyebarkannya kembali melalui jaringan. Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk meminimalkan kesalahan antara *output* yang dihasilkan dan target yang diinginkan, dan memungkinkan jaringan untuk belajar dan mengadaptasi diri berdasarkan data yang diberikan.

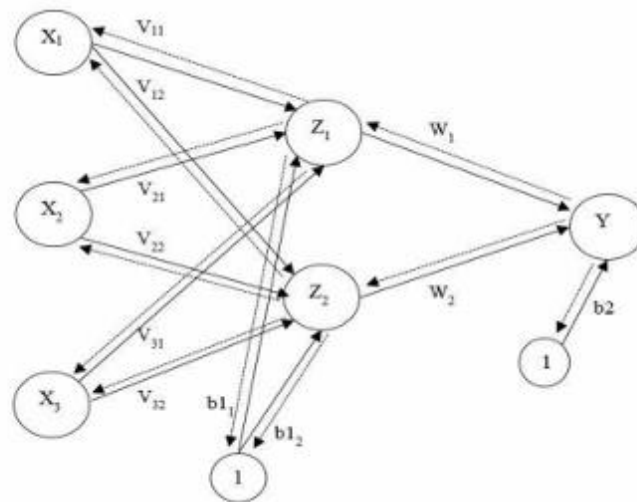
1. Proses Pembelajaran dengan *Backpropagation*

Pada inti dari *backpropagation* adalah proses *forward propagation* dan *backward propagation*. Proses pertama, *forward propagation*, melibatkan penerimaan data *input* pada lapisan *input*, yang kemudian diproses melalui lapisan tersembunyi hingga menghasilkan *output* di lapisan akhir. Kemudian, kesalahan antara *output* yang dihasilkan dan target dihitung. Pada tahap *backward propagation*, kesalahan ini disebarkan kembali melalui jaringan untuk memperbarui bobot dengan menggunakan *gradient descent*. Pembaruan bobot ini dilakukan secara iteratif untuk meminimalkan kesalahan selama pelatihan, yang mengarah pada peningkatan akurasi model ANN (Rajasekaran & Vijayalakshmi Pai, 2013).

2. Algoritma Optimasi dalam *Backpropagation*

Untuk memperbarui bobot, *Gradient Descent* adalah algoritma optimasi dasar yang sering digunakan dalam *backpropagation*. Pada dasarnya, algoritma ini mencari nilai minimum dari fungsi kerugian (*loss function*) dengan menghitung turunan (gradien) dari fungsi tersebut terhadap bobot jaringan. Proses ini dilakukan dalam langkah-langkah kecil yang disebut *learning rate*. Namun, *Stochastic Gradient Descent* (SGD) dan Adam adalah varian dari algoritma ini yang lebih efisien, terutama ketika menangani dataset besar. SGD melakukan pembaruan bobot berdasarkan subset acak dari data (mini-batch), sementara Adam menggabungkan manfaat dari momentum dan rata-rata kuadrat gradien untuk melakukan pembaruan bobot yang lebih cepat dan stabil (Rajasekaran & Vijayalakshmi Pai, 2013)

Berikut ditunjukkan model jaringan *backpropagation* yang dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut



Gambar 3.13 Model Arsitektur Jaringan Backpropagation

(Sumber: Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan MATLAB dan Excel Link, 2012)

3.10.3 Perangkat Lunak MATLAB dalam Pemodelan ANN

MATLAB (*Matrix Laboratory*) merupakan perangkat lunak komputasi numerik berbasis matriks yang banyak digunakan dalam bidang rekayasa untuk melakukan perhitungan, pemodelan, analisis data, dan visualisasi. MATLAB menyediakan pustaka khusus jaringan saraf tiruan sehingga sesuai untuk membangun dan melatih model *Artificial Neural Network* (ANN) dengan data dalam jumlah besar (Kusumadewi, 2004).

Dalam pemodelan ANN, MATLAB menyediakan antarmuka grafis *Neural Network Fitting Tool* yang dijalankan melalui perintah *nftool*. Antarmuka ini memudahkan pengguna untuk membangun dan mengevaluasi ANN, yaitu mengatur topologi jaringan, memilih fungsi aktivasi dan fungsi pelatihan, memasukkan data pelatihan dan validasi, serta menentukan jumlah lapisan dan jumlah neuron pada tiap lapisan. Dalam penerapannya, *nftool* dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan regresi dan *function fitting*, yaitu memetakan sekumpulan data *input* numerik menjadi data *output* numerik (Prasetyo, 2023).

Kemampuan ini yang dimanfaatkan pada penelitian ini untuk memprediksi kebutuhan tulangan kolom.

Peran MATLAB dalam pemodelan ANN pada penelitian ini mencakup beberapa hal berikut (Kusumadewi, 2004); (Prasetyo, 2023).

1. Menyusun arsitektur jaringan *feedforward multilayer perceptron* (MLP), termasuk penetapan jumlah lapisan tersembunyi dan jumlah neuron.
2. Membagi data secara otomatis menjadi data pelatihan (*training*), validasi (*validation*), dan pengujian (*testing*).
3. Melatih jaringan menggunakan algoritma *backpropagation*, umumnya dengan metode *Levenberg-Marquardt* (*trainlm*), untuk mengatur bobot dan bias agar kesalahan minimum.
4. Menampilkan hasil pelatihan secara visual, seperti *performance plot* (grafik *Mean Squared Error* terhadap *epoch*) dan *regression plot* (hubungan nilai prediksi dan target).

3.10.4 Indikator Evaluasi Kinerja Model ANN

Kinerja model *Artificial Neural Network* dinilai berdasarkan tingkat kesesuaian antara nilai keluaran prediksi model dan nilai target (aktual) hasil perhitungan manual. Indikator yang digunakan pada penelitian ini adalah *Mean Squared Error* (MSE) dan koefisien korelasi (R). Indikator inilah yang menjadi dasar perbandingan antara hasil analisis ANN dan hasil perhitungan konvensional.

MSE menyatakan rata-rata kuadrat selisih antara nilai prediksi dan nilai target (Chai & Draxler, 2014). MSE dan RMSE dihitung dengan Persamaan 3.128 dan Persamaan 3.129.

$$\text{MSE} = (1/n) \times \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (3.128)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{[(1/n) \times \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2]} \quad (3.129)$$

Koefisien korelasi (R) menyatakan kekuatan hubungan linear antara nilai prediksi dan nilai target, dengan rentang nilai 0 sampai 1. Nilai R yang mendekati 1 menunjukkan hubungan yang sangat kuat sehingga model dinilai akurat (Prasetyo, 2023). Koefisien korelasi dihitung dengan Persamaan 3.130.

$$R = [n \sum Y_i \hat{Y}_i - \sum Y_i \times \sum \hat{Y}_i] / \sqrt{\{ [n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2] \times [n \sum \hat{Y}_i^2 - (\sum \hat{Y}_i)^2] \}} \quad (3.130)$$

Keterangan:

- n = jumlah data;
- Y_i = nilai target (aktual) hasil perhitungan manual;
- $\hat{Y}_i$ = nilai prediksi hasil model ANN;
- Σ = penjumlahan atas seluruh data.

Berdasarkan ketiga indikator tersebut, model ANN dinyatakan layak dan hasilnya dianggap sesuai dengan perhitungan manual apabila memperoleh nilai MSE dan RMSE yang kecil serta nilai koefisien korelasi (R) yang mendekati 1 (Chai & Draxler, 2014).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan tujuan untuk menganalisis kebutuhan tulangan kolom beton bertulang pada struktur bangunan gedung melalui penerapan model *Artificial Neural Network* (ANN). Pemilihan metode kuantitatif dalam penelitian ini didasari oleh sifat permasalahan yang mengharuskan pengolahan data numerik untuk menghasilkan prediksi yang akurat. Metode kuantitatif dipilih karena dapat memberikan analisis yang objektif dan dapat diukur secara statistik, yang sangat sesuai untuk menangani variabel-variabel teknis yang terkait dengan perhitungan kebutuhan material bangunan, seperti dimensi balok, beban struktural, dan jenis material yang digunakan (Sugiyono, 2016)). Dengan menggunakan pendekatan ini, penelitian dapat menghasilkan model prediksi yang berbasis data numerik yang sangat relevan untuk aplikasi praktis dalam dunia konstruksi.

Desain penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah penelitian deskriptif korelasional. Penelitian deskriptif bertujuan untuk menggambarkan fenomena yang ada, yaitu kebutuhan tulangan pada kolom beton bertulang pada bangunan. Penelitian ini tidak bertujuan untuk merubah atau memanipulasi kondisi yang ada, melainkan untuk memetakan kebutuhan material dengan menggunakan data yang tersedia. Pendekatan korelasional diterapkan untuk melihat hubungan antara variabel-variabel yang ada, seperti dimensi kolom, percepatan gempa, dan jenis tanah. Dalam hal ini, penggunaan model ANN memungkinkan untuk mendeteksi hubungan yang mungkin tidak terlihat dengan metode analisis tradisional dan memberikan hasil yang lebih presisi (Sugiono, 2013)

4.2 Subjek dan Objek Penelitian

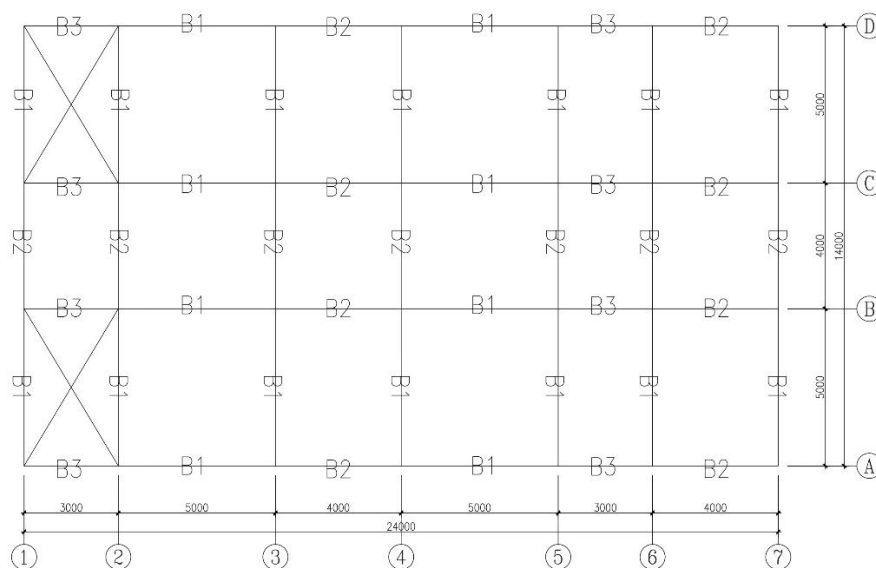
Subjek pada penelitian ini adalah penggunaan pendekatan kuantitatif melalui penerapan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk menganalisa kebutuhan tulangan kolom pada suatu bangunan. Tentu penelitian ini memerlukan objek. Objek penelitian ini menggunakan objek bangunan *imajiner* yang dibuat dengan objektivitas untuk mendapatkan variasi data yang diperlukan.

4.3 Data dan Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis sumber data utama, yaitu data primer dan data sekunder. Kedua jenis data ini saling melengkapi untuk memperoleh hasil penelitian yang benar dan lengkap. Data primer digunakan untuk memperoleh informasi yang langsung dari objek penelitian, sedangkan data sekunder digunakan untuk memperkuat analisis dan interpretasi hasil penelitian dengan memanfaatkan sumber-sumber yang relevan dari literatur yang sudah ada.

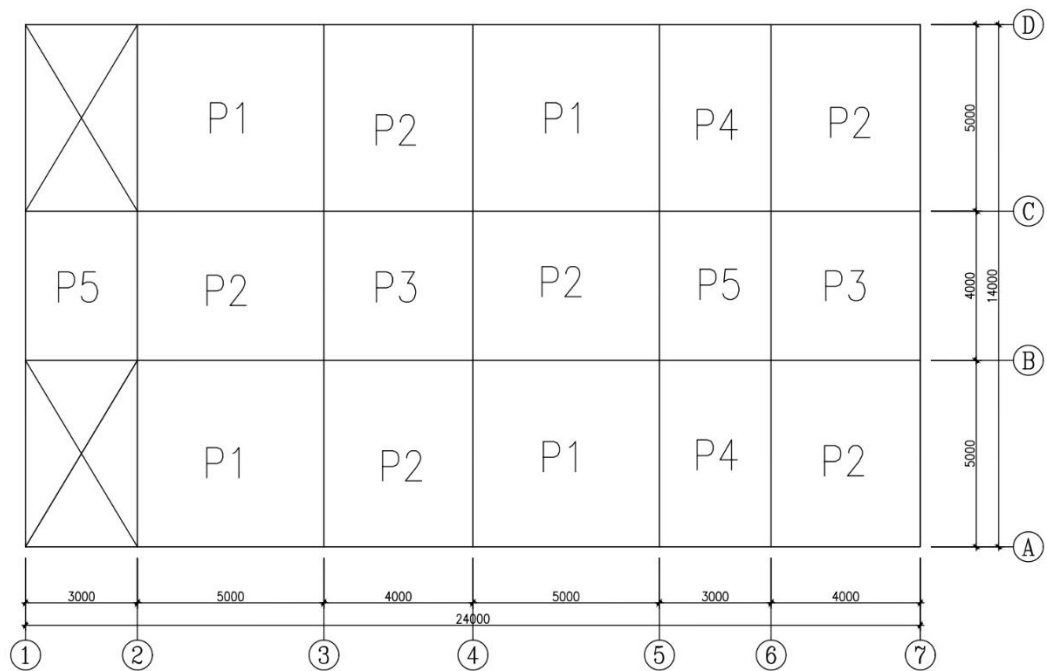
1. Data Primer

- a. Data perencanaan struktur Gedung imajiner yang sudah ditentukan
- b. Gambar Kerja dari objek penelitian seperti Denah balok, Denah Pelat, dan Denah Kolom yang dapat dilihat pada Gambar berikut.



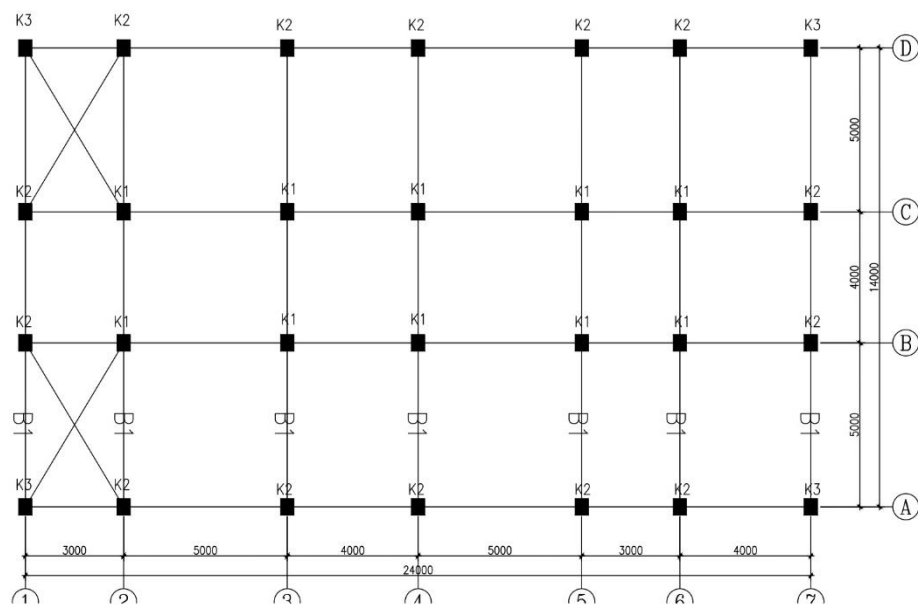
Gambar 4.1 Gambar Denah Balok

(Sumber: Gambar Pribadi)



Gambar 4.2 Gambar Denah Pelat

(Sumber: Gambar Pribadi)



Gambar 4.3 Gambar Denah Kolom

(Sumber: Gambar Pribadi)

2. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari berbagai sumber pendukung yang telah ada, seperti jurnal, buku, laporan penelitian sebelumnya, dan dokumen resmi terkait konstruksi dan perencanaan struktur bangunan. Sumber data sekunder ini sangat penting untuk memperkuat analisis yang dilakukan dengan menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN). Data sekunder mencakup referensi mengenai teori-teori yang berkaitan dengan perhitungan kebutuhan tulangan beton, penggunaan ANN dalam perencanaan struktural, serta standar-standar teknik yang relevan dengan desain balok beton bertulang. Selain itu, laporan-laporan penelitian sebelumnya yang membahas penerapan ANN dalam bidang teknik sipil juga digunakan untuk membandingkan hasil penelitian ini dengan studi-studi yang telah dilakukan sebelumnya. Selain itu ada beberapa peraturan yang diadopsi sebagai data sekunder yang digunakan pada penelitian ini yaitu,

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

4.4 Metode Analisis dan Desain

Dalam penelitian ini, metode analisis yang diterapkan terdiri dari dua tahap berdasarkan pedoman-pedoman yang telah dijelaskan sebelumnya. Tahap pertama adalah analisis struktur tiga dimensi yang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ETABS, serta perhitungan manual yang menggunakan *Microsoft Excel*. Tahap kedua melibatkan penggunaan metode *Artificial Neural Network* yang diterapkan dengan perangkat lunak MATLAB. Untuk memberikan penjelasan lebih lanjut mengenai proses analisis, sub bab ini akan menjelaskan teori yang digunakan pada setiap tahapan analisis.

1. Pembebanan Analisis Struktur

Pada tahap ini analisis yang dilakukan merujuk pada pedoman yang ada pada subbab 3.4 yaitu SNI 03-1727-2020. Dari pedoman terkait ada beberapa kategori analisis yang diterapkan, yaitu:

- a. Beban mati yang dibahas pada sub-sub bab 3.4.1
- b. Beban hidup yang diterangkan dalam sub bab 3.4.2
- c. Kombinasi pembebanan dasar yang dijelaskan pada sub bab 3.4.3

2. Pembebanan gempa

Pembebanan yang dilakukan mengacu pada SNI 03-1726 2019 dan sudah dibahas berdasarkan subbab 3.5. ada beberapa aspek yang diperhatiakn antara lain sebagai berikut

- a. Peruntukan Bangunan yang akan dibangun yang dibahas pada sub-sub bab 3.5.1
- b. Penentuan kategori risiko dan faktor keutamaan yang dibahas pada sub-sub bab 3.5.2
- c. Penentuan kategori situs yang dibahas pada sub-sub bab 3.5.4
- d. Penentuan faktor amplifikasi F_a , F_v yang dibahas pada sub-sub bab 3.5.4
- e. Respon spektrum yang dibahas pada sub-sub bab 3.5.5
- f. Penentuan kategori desain seismik (KDS) yang dibahas pada sub-sub bab 3.5.6
- g. Penentuan jenis struktur penahan beban yang dibahas pada sub-sub bab 3.5.7

3. Analisis Tahap 1

Metode statik ekuivalen menjadi analisis yang dilakukan pada tahap ini. Tujuan dari dilakukannya analisis pada tahap ini adalah untuk melakukan pemeriksaan terhadap kinerja struktur sesuai dengan pembahasan yang ada pada sub bab 3.6. Analisis ini juga mengacu pada SNI 03-1726-2019 dimana ada beberapa hal yang diperhatikan pada analisis tahap ini antara lain sebagai berikut.

- a. Koefisien batas atas periode dibahas pada sub-sub bab 3.6.1
- b. Periode pendekatan bangunan dibahas pada sub-sub bab 3.6.3
- c. Koefisien respon seismik dibahas pada sub-sub bab 3.6.4
- d. Gaya geser dasar seismik dibahas pada sub-sub bab 3.6.5

- e. Distribusi gaya seismik dibahas pada sub-sub bab 3.6.6
 - f. Ketidakberaturan struktur yang diidentifikasi dibahas pada sub-sub bab 3.6.7
 - g. Torsi bawaan tak terduga dibahas pada sub-sub bab 3.6.8
 - h. Kontrol rasio simpangan antar tingkat dibahas pada sub-sub bab 3.6.9
 - i. Kontrol P-delta efek dibahas pada sub-sub bab 3.6.10
4. Analisis Tahap 2

Pada analisis tahap ini berfokus pada penerapan pada analisis dinamik spektrum respon yang mengacu pada SNI 03 1726-2019 dan dibahas pada sub bab 3.7

Berikut beberapa tahapan yang ada pada analisis tahap ini.

- a. Kombinasi Beban Dasar dibahas pada sub-sub bab 3.7.1
 - b. Faktor Redundansi dibahas pada sub-sub bab 3.7.2
 - c. Efek gempa vertikal dibahas pada sub-sub bab 3.7.2
 - d. Pengaplikasian kombinasi beban ortogonal dibahas pada sub-sub bab 3.7.3
 - e. Amplifikasi torsi tak terduga dibahas pada sub-sub bab 3.7.4
 - f. Faktor skala pembebanan gempa dibahas pada sub-sub bab 3.7.5
 - g. Kontrol drift-rasio dibahas pada sub-sub bab 3.7.6
 - h. Kontrol P-delta dibahas pada sub-sub bab 3.7.7
5. Perhitungan kebutuhan tulangan balok dibahas pada sub-bab 3.8
6. Pembuatan model fungsi aktivasi/*transfer function (f)* dengan melakukan penerapan dari algoritma *backpropagation* dibahas pada sub-bab 3.9
7. Mengulang pemodelan dengan mengedepankan variasi lantai dari objek penelitian yang dipakai

4.5 Tahapan Penelitian

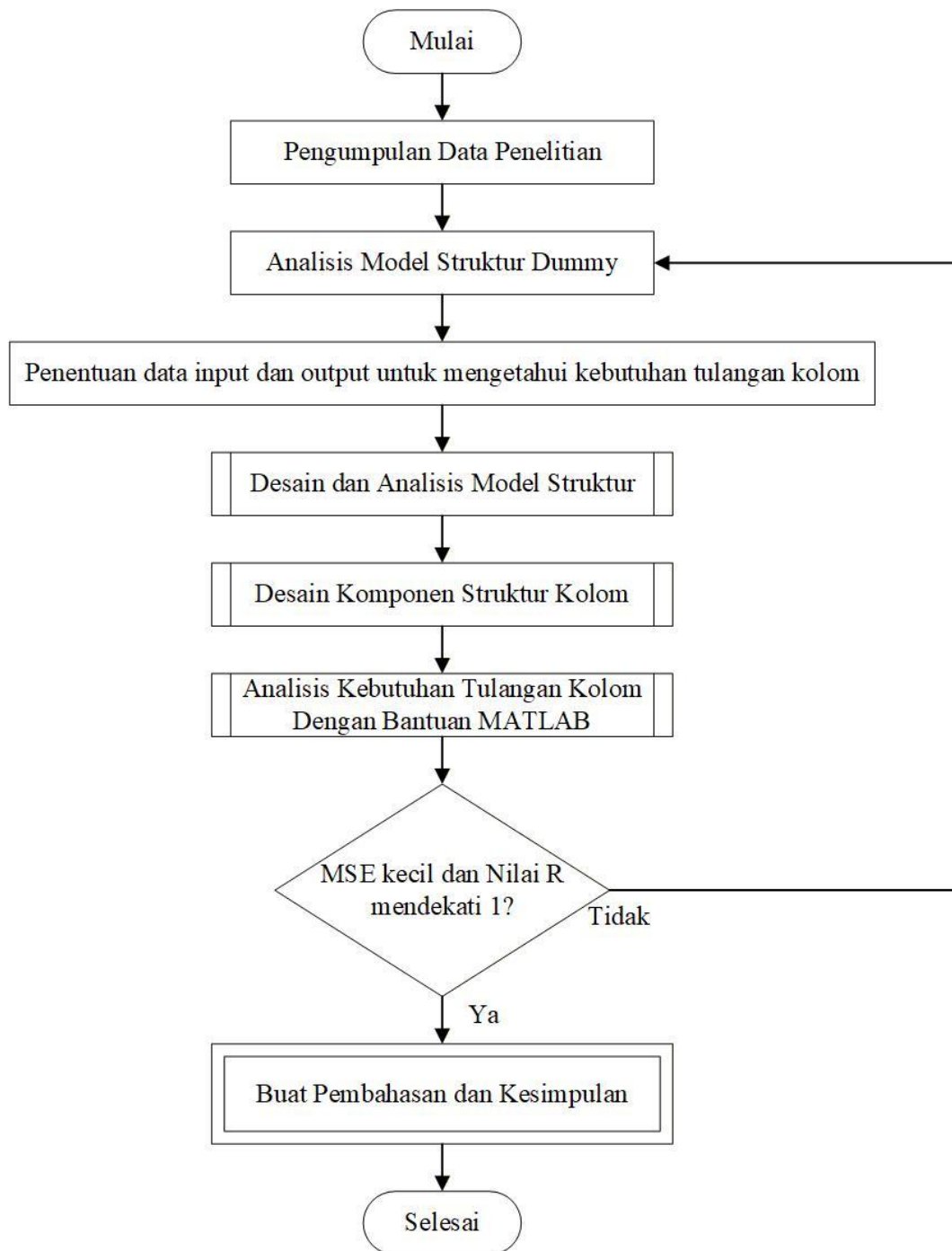
Penelitian ini melalui beberapa tahapan untuk mendapatkan *output* yang diinginkan. Berikut tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini

1. Melakukan pemodelan *existing* sebagai objek penelitian yang akan di *trial* dengan bantuan *software* Autocad 2024
2. Perhitungan beban pada struktur meliputi beban hidup, beban mati, dan beban gempa

3. Analisis respon struktur gedung dengan bantuan *software* ETABS
4. Melakukan *input* pemodelan dan perhitungan yang sudah dilakukan ke dalam *software* ETABS dengan dimensi struktur yang sudah ditetapkan sebelumnya
5. Melakukan analisis respon spektrum dan metode analisis statik
6. Melihat persyaratan ada *drift ratio* dan *p-delta effect*. Jika tidak memenuhi maka dilakukan pengulangan pemodelan namun jika memenuhi maka dilanjutkan perhitungan desain dan analisis elemen balok dan kolom
7. Analisis dan desain kebutuhan tulangan balok dan kolom
8. Data kebutuhan tulangan pada kolom dikumpulkan dan melakukan pengulangan *trial* berikutnya dengan pemodelan dari poin 1
9. Input data dan parameter yang ada ke dalam *software* MATLAB lalu melakukan pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN)
10. Melakukan analisis dengan menggunakan pemodelan *artificial neural network* (ANN) dan pemodelan dengan perhitungan manual menggunakan *software* MATLAB dengan parameter yang sama
11. Melakukan perbandingan hasil antara kedua analisis yang dilakukan
12. Membuat pembahasan dan kesimpulan dari hasil yang telah dilakukan

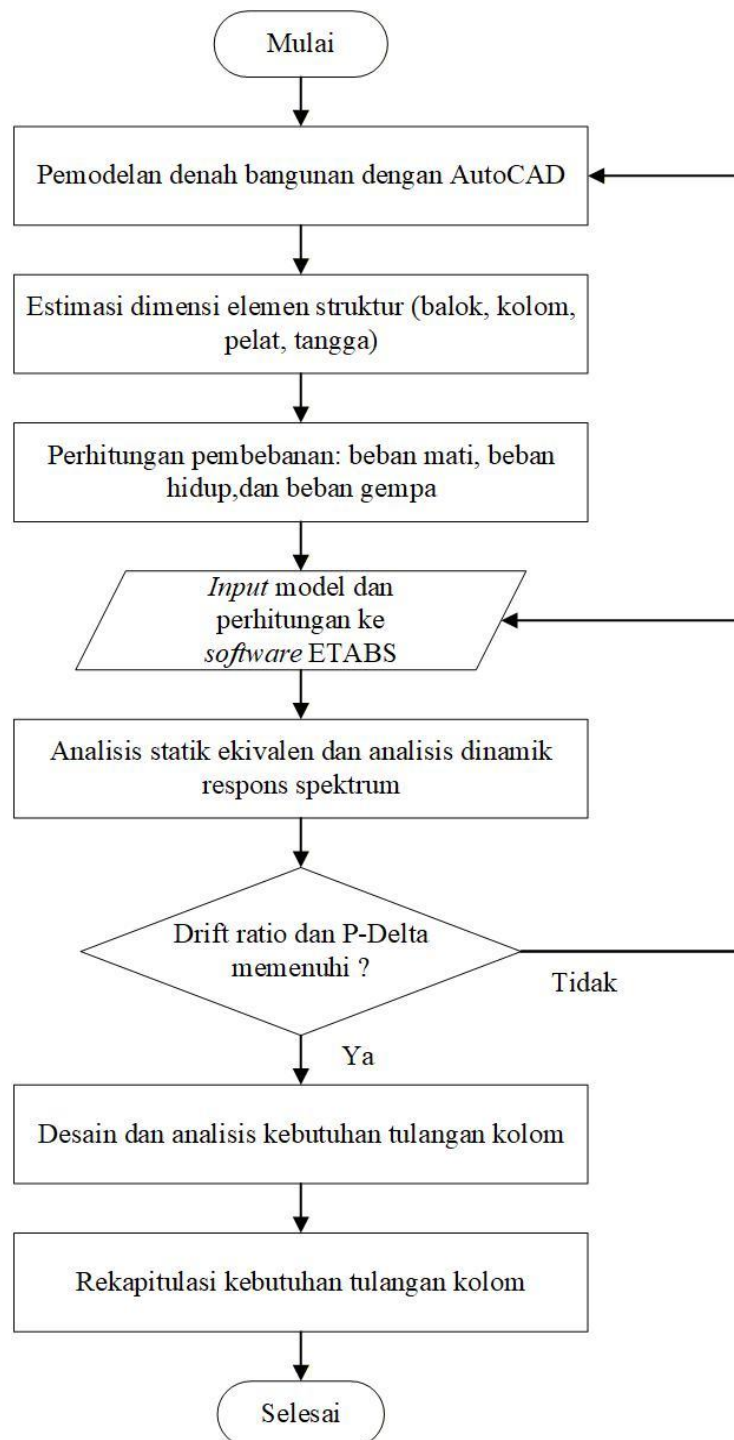
4.6 Bagan Alir

Berikut bagan alir umum untuk penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut



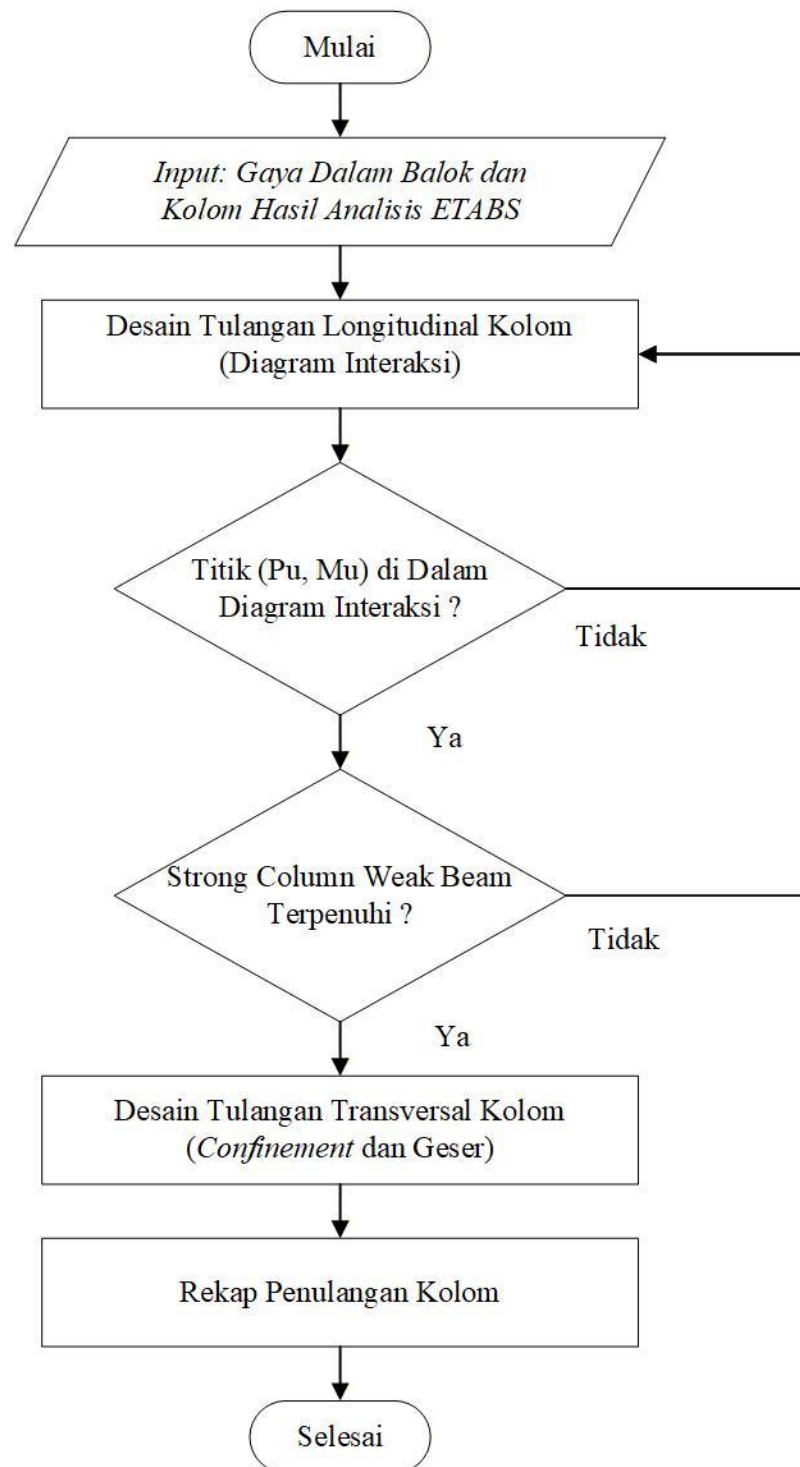
Gambar 4.4 Bagan Alir Umum Penelitian

Lalu dilanjutkan dengan bagan alir desain dan analisis model struktur yang dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut



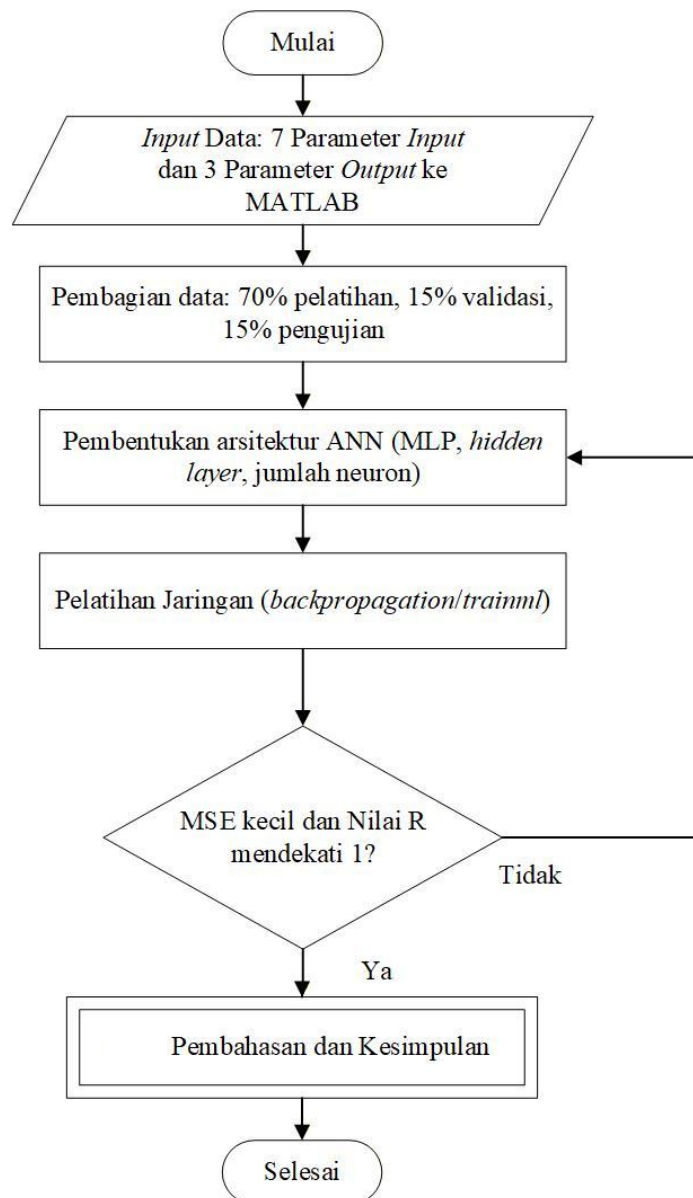
Gambar 4.5 Bagan Alir Desain dan Analisis Model Struktur Penelitian

Lalu untuk bagan alir desain komponen struktur balok dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut



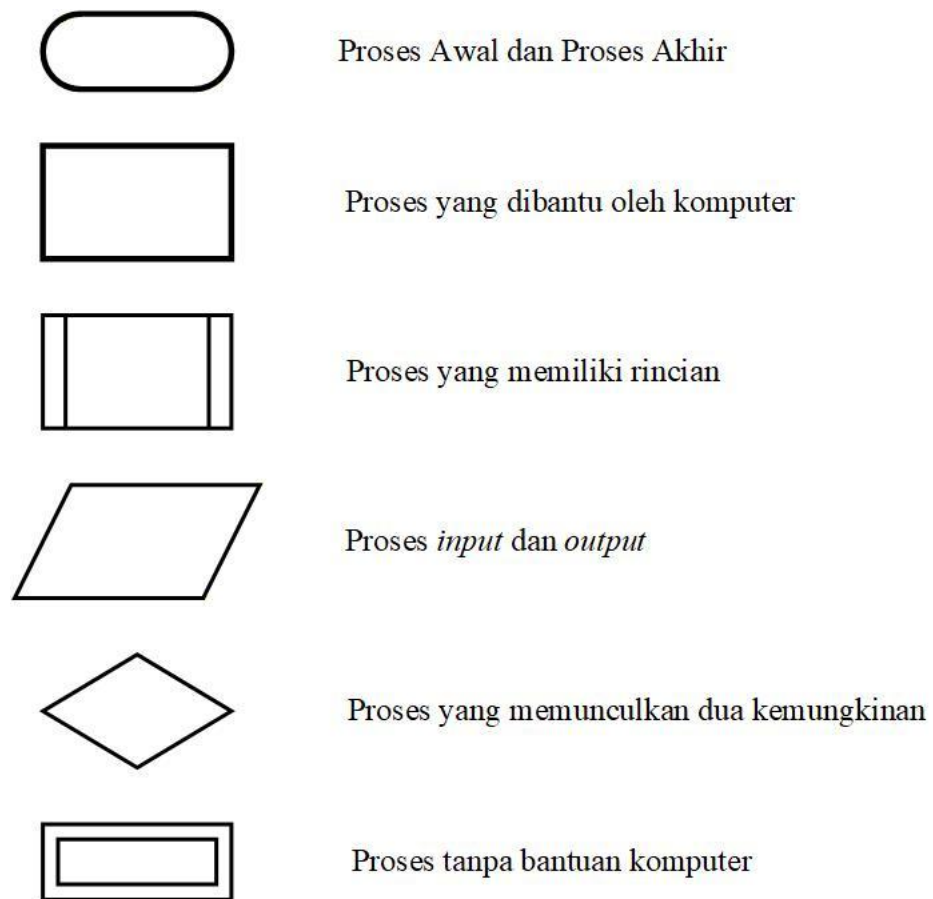
Gambar 4.6 Bagan Alir Desain Komponen Struktur Kolom

Lalu untuk bagan alir analisis dengan menggunakan *Artificial Neural Network* dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut



Gambar 4.7 Bagan Alir Analisis Dengan Menggunakan *Artificial Neural Network*

Berikut ditampilkan sebagai penjelasan untuk penggunaan *flowchart* yang telah dibuat pada Gambar 4.8 berikut



Gambar 4.8 Gambar Keterangan Simbol pada *Flowchart*

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Bab ini berisi tentang hasil analisis dan pembahasan yang digunakan untuk mendapatkan data yang diperlukan. Perhitungan meliputi seluruh langkah analisis seperti pengumpulan dan penentuan data, estimasi dimensi elemen struktur, perhitungan pembebanan dan massa bangunan, penentuan parameter kegempaan, pemodelan serta analisis struktur menggunakan program ETABS, hingga perhitungan desain penulangan balok dan perekapan data masukan (input) dan keluaran (output) yang akan digunakan sebagai basis data pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN). Fokus Penelitian ada pada elemen kolom sehingga pembahasan mengarah pada elemen kolom terkhusus pada kebutuhan tulangan kolom

Seluruh perhitungan manual pada penelitian ini dikerjakan menggunakan bantuan Microsoft Excel. Sedangkan analisis respons struktur tiga dimensi dilakukan dengan program ETABS. Standar acuan yang digunakan meliputi SNI 1727:2020 untuk pembebanan, SNI 1726:2019 untuk perencanaan ketahanan gempa, dan SNI 2847:2020 untuk perencanaan struktur beton bertulang.

5.2 Pengumpulan dan Penentuan Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data yang didapatkan dari lima puluh kali analisis untuk keperluan training model ANN agar prediksi yang didapatkan terkait dengan kebutuhan tulangan kolom memiliki akurasi yang tinggi. Diambil sebagai contoh perhitungan adalah data analisis ke-34

5.2.1 Data Umum Bangunan

Data Bangunan yang digunakan bisa dilihat pada Tabel 5.1 berikut

Tabel 5.1 Data Umum Bangunan

Data	Nilai	Satuan
Fungsi bangunan	Museum	-
Lokasi	Klaten	-
Jenis struktur	Beton bertulang (SRPMK)	-
Jumlah lantai	6 (5 lantai + atap)	lantai
Tinggi antar lantai	4,0	m
Tinggi total struktur	24,0	m

5.2.2 Data Material

Mutu material yang digunakan pada analisis ini diterapkan sama untuk semua elemen yang dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut

Tabel 5.2 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

5.3 Pembebanan Struktur

Pembebanan yang dilakukan pada struktur objek penelitian mengikuti ketentuan dari SNI 1727-2020 dan SKBI 1987

5.3.1 Dead Load

Perhitungan *DL* meliputi beberapa komponen seperti pelat lantai, pelat atap, tangga, dan dinding bata yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut

Tabel 5.3 Dead Load

No	Komponen	Berat Volume	Tebal Komp	Berat	Q
		(kg/m ³)	(m)	(kg/m ²)	(kN/m ²)
1	Pelat Lantai				
a	Berat Sendiri	2400	0.15	360	3.53
b	Partisi	1700	0.15	255	2.50
c	Pasir	1702.92572	0.05	85.15	0.84
d	Spesi	2080.22064	0.02	41.60	0.41
e	Keramik			24	0.24
f	Plafon + Rangka			20	0.20
g	MEP			100	0.98
2	Pelat Atap				
a	Berat Sendiri	2400	0.12	288	2.83
b	Spesi	2080.22064	0.02	41.60	0.41
c	Waterproof			0	0.26
d	Plafon + Rangka			20	0.20
e	MEP			100	0.981
3	Tangga				
a	Berat Sendiri	2400	0.15	360	3.53
b	Anak Tangga	2400	0.08	192	1.88
c	Pasir	1700	0.01	17	0.167
d	Spesi	2080.22064	0.03	62.41	0.61
e	Keramik			24	0.235
4	Dinding Bata				
a	Bata Merah			190.622	1.87
b	Plesteran + Acian			48.9297	0.48

5.3.2 Live Load

Pembebanan *LL* pada objek penelitian mengikuti ketentuan yang tercantum pada SNI 1727 - 2020 berdasarkan fungsi ruang. Karena gedung acuan pada analisis ini diperuntukan untuk Museum maka ruangan yang digunakan tentu diperuntukan untuk museum. Pembebanan *LL* dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut

Tabel 5.4 Live Load

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
B	Lantai 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	Lantai 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

Lanjutan Tabel 5.4 Live Load

No.	Fungsi Ruang	Q (kN/m ²)
D	Lantai 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	Lantai 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
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	Lantai ATAP	
1	Dak Atap	0.96

5.3.3 Super Imposed Dead Load (SIDL)

Beban mati tambahan selain berat sendiri elemen struktur atau beton bertulang dapat dilihat di Tabel 5.6 berikut ini

Tabel 5.6 Super Imposed Dead Load

No	Komponen	Berat (kg/m ²)	Q (kN/m ²)
1	Jumlah SIDL Plat Lantai (Tanpa Partisi)	270.75	2.66
2	Jumlah SIDL Plat Lantai (Dengan Partisi)	525.75	5.16
3	Jumlah SIDL Plat Atap	161.60	1.85
4	Jumlah SIDL Tangga	295.41	6.43
5	Jumlah SIDL Dinding Bata	239.55	2.35

5.4 Estimasi Dimensi

Estimasi dimensi untuk setiap elemen struktur mengikuti ketentuan dari SNI 2847 - 2020 dengan tujuan dimensi yang di estimasikan tidak menyalahi aturan yang berlaku

5.4.1 Estimasi Dimensi Balok

Pada Estimasi dimensi balok memerlukan beberapa data seperti bentang balok, tinggi balok, dan lebar balok. Perhitungan tinggi minimum balok 2 mengacu pada asumsi yang dapat dilihat pada Tabel 5.7

Tabel 5.7 Ketentuan Asumsi Awal untuk Tinggi Balok Minimum 2

Jenis	Ketentuan
Balok Induk	12
Balok Anak	18
Balok Atap	16
Balok Induk Atap	16
Balok Anak Atap	18

Berikut Perhitungan data balok

1. Estimasi Balok B1(Balok Induk)

a. Tinggi Balok

- 1) Bentang Balok : 5000 mm
- 2) Hmin 1 : $\frac{\text{Bentang Balok}}{16}$

$$: \frac{5000}{16}$$

$$: 313 \text{ mm}$$
- 3) Hmin 2 : $\frac{\text{Bentang Balok}}{12}$

$$: \frac{5000}{12}$$

$$: 417 \text{ mm}$$

Dengan perhitungan tersebut diambil dimensi yang dipakai dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut

Tabel 5.8 Dimensi Bentang dan Tinggi Balok Pakai

Parameter	Nilai	Satuan
Bentang Balok	5000	mm
H Pakai	700	mm

b. Lebar Balok

Lebar balok minimum dan maksimum mengacu pada rumus sesuai ketentuan pada SNI 2847 - 2020 sebagai berikut

$$B_{\min} = 0.3 \times H_{\text{pakai}} \quad (5.1)$$

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

$$B_{\max} = 0.75 \times H_{\text{pakai}} \quad (5.2)$$

Jika hasil $0.3 \times H_{\text{pakai}}$ kurang dari sama dengan 250 mm maka nilai $B_{\min}$ yang diambil 250 mm. Jika lebih dari 250 mm maka yang diambil nilai $0.3 \times H_{\text{pakai}}$. Sehingga perhitungan yang digunakan sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 1) \ B_{\min} &= 0.3 \times H_{\text{pakai}} \\
 &= 0.3 \times 700 \\
 &= 210 \text{ mm} \\
 &= 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \ B_{\max} &= 0.75 \times H_{\text{pakai}} \\
 &= 0.75 \times 700 \\
 &= 525 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat ditentukan dimensi lebar balok yang dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut

Tabel 5.9 Lebar Balok Pakai

B min	B max	B Pakai
250	525	350

Sehingga dapat dilakukan perhitungan untuk semua dimensi balok pada objek penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 5.10

Tabel 5.10 Rekapitulasi Dimensi Pakai Balok

Kode	L	H Pakai	B Pakai	Nama
	(mm)	(mm)	(mm)	
B1	5000	700	350	B1 (350 mm x 700 mm)
B2	4000	650	300	B2 (300 mm x 650 mm)
B3	3000	550	300	B3 (300 mm x 550 mm)
B1A	5000	600	350	B1A (350 mm x 600 mm)
B2A	4000	500	300	B2A (300 mm x 500 mm)
B3A	3000	500	300	B3A (300 mm x 500 mm)

5.4.2 Estimasi Dimensi Pelat

Pada perhitungan dimensi pelat, penting untuk menentukan jenis pelat yaitu pelat satu arah atau pelat dua arah. Untuk menentukan jenisnya mengikuti rumus berikut

$$\text{Tipe Plat} = \frac{L_y}{L_x} \quad (5.3)$$

Keterangan:

L_x = Bentang Pelat Arah Pendek

L_y = Bentang Pelat Arah Panjang

Untuk hasil dari persamaan 5.3 tersebut nilainya kurang dari 2 maka pelat tersebut termasuk pelat dua arah, jika hasilnya adalah lebih dari 2 maka pelat tersebut pelat satu arah.

1. Estimasi Pelat P1 (Pelat Lantai)

Data awal pelat lantai P1 dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut

Tabel 5.11 Data Pelat Lantai P1

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Bentang Pelat Arah Pendek	L_x	5000	mm
Bentang Pelat Arah Panjang	L_y	5000	mm
Tebal Pelat Rencana	h	130	mm

Dari data tersebut dapat dihitung nilai beberapa parameter untuk estimasi tebal pelat

a. Tipe Pelat

Perhitungan mengacu pada rumus 5.3 sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Tipe Pelat} &= \frac{5000}{5000} \\ &= 1 \text{ mm}\end{aligned}$$

Nilai yang didapat kurang dari 2 maka pelat P1 termasuk pelat dua arah.

Untuk semua pelat lantai dan atap yang digunakan pada objek penelitian dapat dilihat jenisnya pada Tabel 5.12 berikut

Tabel 5.12 Rekapitulasi Jenis Pelat

No	Kode	Tipe Pelat
1	P1	2 Arah
2	P2	2 Arah
3	P3	2 Arah
4	P4	2 Arah
5	P5	2 Arah
6	P1A	2 Arah
7	P2A	2 Arah
8	P3A	2 Arah
9	P4A	2 Arah
10	P5A	2 Arah

b. Inersia Balok

Inersia balok diperlukan untuk mencari rasio kekakuan balok. Rumus untuk mencari inersia balok sebagai berikut

$$\text{Inersia balok} = \frac{1}{12} \times \text{Lebar Balok} \times \text{Tinggi Balok}^3 \quad (5.4)$$

Sehingga dapat dihitung inersia balok yang menjadi sisi pendek dan panjang dari pelat lantai P1

$$\begin{aligned}\text{Inersia Balok B1(I)} &= \frac{1}{12} \times 350 \times 700^3 \\ &= 10004166667 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

Dan nilai inersia balok yang mengitari pelat lantai P1 yang dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut

Tabel 5.13 Inersia Balok pada Sisi Pendek dan Panjang Pelat P1

Parameter	Kode	Inersia	Satuan
Geometri Balok Sisi Pendek 1	B1	10004166667	mm ⁴
Geometri Balok Sisi Pendek 2	B1	10004166667	mm ⁴
Geometri Balok Sisi Panjang 1	B1	10004166667	mm ⁴
Geometri Balok Sisi Panjang 2	B1	10004166667	mm ⁴

c. Inersia Pelat

Setelah mengetahui inersia balok, bisa dilakukan perhitungan inersia pelat menggunakan rumus berikut

$$\text{Inersia Pelat (I)} = \frac{1}{12} \times \text{Bentang Bersih Pelat} \times \text{Tebal Pelat}^3 \quad (5.5)$$

Sehingga dapat dihitung untuk inersia pelat sisi pendek seperti berikut

$$\begin{aligned}\text{Inersia Pelat (Ix)} &= \frac{1}{12} \times 4650 \times 130^3 \\ &= 851337500 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia Pelat (Iy)} &= \frac{1}{12} \times 4650 \times 130^3 \\ &= 851337500 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

d. Rasio Kekakuan

Setelah mengetahui Inersia Pelat, dihitung untuk rasio kekakuan balok dan pelat sesuai dengan SNI 2847 - 2020 sebagai berikut

$$\alpha_{f1} = \frac{\text{Inersia Belok}}{\text{Inersia Pelat}} \quad (5.6)$$

dengan menyesuaikan balok dan pelat sesuai dengan sisinya α_{f1} dapat dihitung sebagai berikut

$$\begin{aligned} \alpha_{f1} &= \frac{10004166667}{851337500} \\ &= 11,75 \end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung rasio kekakuan untuk ke empat sisi pelat yang dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut

Tabel 5.14 Rasio Kekakuan Seluruh Sisi Pelat Lantai P1

Parameter	Notasi	Nilai
Rasio Kekakuan Balok dan Plat Sisi Panjang 1	α_{f1}	11.75112
Rasio Kekakuan Balok dan Plat Sisi Panjang 2	α_{f2}	11.75112
Rasio Kekakuan Balok dan Plat Sisi Pendek 1	α_{f3}	11.75112
Rasio Kekakuan Balok dan Plat Sisi Pendek 2	α_{f4}	11.75112

Lalu didapatkan Rasio Kekakuan Balok dan Pelat Rerata dengan rumus berikut

$$\begin{aligned} A_{fm} &= \frac{\alpha_{f1} + \alpha_{f2} + \alpha_{f3} + \alpha_{f4}}{4} \\ &= \frac{11.751121 + 11.75112 + 11.75112 + 11.75112}{4} \\ &= 11,75 \end{aligned} \quad (5.7)$$

Setelah itu menghitung Rasio Kekakuan Bentang Bersih sebagai berikut

$$\beta = \frac{Lny}{Lnx} \quad (5.8)$$

Keterangan:

Lny = Bentang Bersih Pelat Arah Panjang

Lnx = Bentang Bersih Pelat Arah Pendek

Maka Rasio Kekakuan Bentang Bersih P1 dihitung sebagai berikut

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{4650}{4650} \\ &= 1 \end{aligned}$$

e. Cek Persyaratan

Pada SNI 2847 - 2020 mengatur persyaratan pada tinggi minimum balok yang dapat dilihat pada persamaan berikut ini

$$H_{min \ 1a} = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}, \quad 0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0 \quad (5.9)$$

$$H_{min \ 1b} = 125 \text{ mm}, \quad 0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0 \quad (5.10)$$

Lalu diambil hasil yang lebih besar dari kedua persamaan tersebut

$$H_{min \ 2} = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}, \quad \alpha_{fm} > 2,0 \quad (5.11)$$

Dikarenakan nilai α_{fm} didapatkan nilai sebesar 11,75 maka persamaan yang digunakan adalah persamaan 5.11, maka perhitungan untuk Hmin pelat sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 H_{\min 2} &= \frac{l_n \left(0,8 + \frac{420}{1400} \right)}{36 + 9(1)} \\
 &= 133,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka ketebalan untuk pelat disyaratkan minimum sebesar 133,67 mm

Dikarenakan tebal pelat rencana yang digunakan adalah 130 mm maka asumsi yang telah diperhitungkan sudah memenuhi syarat minimum atau dikatakan aman

dengan menggunakan perhitungan dan langkah yang sama untuk setiap pelat lantai dan atap pada objek penelitian, dapat dilihat tebal pelat yang digunakan pada Tabel 5.15 berikut

Tabel 5.15 Rekapitulasi Pelat Lantai dan Atap Seluruh Gedung

No	Kode	Type	Lny	Ln timer	h	Tipe Plat
1	P1	Pelat Lantai	5	5	0.13	2 Arah
2	P2	Pelat Lantai	5	4	0.13	2 Arah
3	P3	Pelat Lantai	4	4	0.13	2 Arah
4	P4	Pelat Lantai	5	3	0.13	2 Arah
5	P5	Pelat Lantai	4	3	0.13	2 Arah
6	P1A	Pelat Atap	5	5	0.13	2 Arah
7	P2A	Pelat Atap	5	4	0.13	2 Arah
8	P3A	Pelat Atap	4	4	0.13	2 Arah
9	P4A	Pelat Atap	5	3	0.13	2 Arah
10	P5A	Pelat Atap	4	3	0.13	2 Arah

5.4.3 Estimasi Dimensi Kolom

Untuk menentukan estimasi kolom, ada beberapa data yang diperlukan dalam perhitungannya. Berikut adalah data-data yang diperlukan untuk kolom K1

1. Luas Tumpu Pelat

Luasan yang ditumpu oleh pelat di sekeliling kolom di hitung dengan mengikuti arah gaya atau *Tributary Area*, dimana disesuaikan dengan jenis balok yang mengitari pelat tersebut. Perhitungan luasan area tersebut dapat dihitung mengikuti rumus berikut

$$A_p = \left(\frac{L_{\text{kanan}} + L_{\text{kiri}}}{2} \right) \left(\frac{L_{\text{atas}} + L_{\text{bawah}}}{2} \right) \quad (5.12)$$

Keterangan:

L_{kanan} = Bentang Balok Kanan

L_{kiri} = Bentang Balok Kiri

L_{Atas} = Bentang Balok Atas

L_{Bawah} = Bentang Balok Bawah

Maka untuk Kolom K1 dapat dilihat untuk balok yang menumpu pada kolom tersebut pada Tabel 5.16 berikut

Tabel 5.16 Rekap Kolom yang Menumpu pada Kolom K1

Arah	Kode Balok	L Balok	Satuan
Kiri	B1	5000	mm
Kanan	B2	4000	mm
Atas	B1	5000	mm
Bawah	B1	5000	mm

Maka perhitungan luasan tumpu pelat sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 A_p &= \left(\frac{4000 + 5000}{2} \right) \left(\frac{5000 + 5000}{2} \right) \\
 &= 22500000 \text{ mm}^2 \\
 &= 22,5 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

2. Beban Aksial Pelat Lantai dan Atap

Beban aksial dapat dihitung melalui perhitungan sebagai berikut

$$P = Q_u \times A_p \quad (5.13)$$

Berikut adalah rekapitulasi dari beban aksial dengan perhitungan pada persamaan 5.13 untuk pelat lantai dan atap yang ditumpu oleh kolom K1 yang dapat dilihat pada Tabel 5.17

Tabel 5.17 Rekapitulasi Beban Aksial Pelat Lantai dan Atap yang Ditumpu Kolom K1

No	Parameter	Notasi	Pelat Lantai	Pelat Atap	Satuan
1.	Beban Mati	Q_D	5,16	1,85	kN/m ²
2.	Beban Hidup	Q_L	11,97	0,96	kN/m ²
3.	Beban Ultimit	Q_u	25,34	3,75	kN/m ²
4.	Beban Aksial	P	513,6	75,95	kN
5.	Jumlah Tingkat	N	5	1	lantai

3. Cek Persyaratan

Untuk pengecekan membutuhkan data untuk beban aksial total dengan persamaan sebagai berikut

$$P_u = (P_L \times N) + (P_A \times N) \quad (5.14)$$

Keterangan:

P_L = Beban aksial pelat lantai

P_A = Beban aksial pelat atap

N = Jumlah Tingkat

Dengan persamaan berikut maka dapat dihitung beban aksial total seperti dibawah ini

$$\begin{aligned}
 P_u &= (P_L \times N) + (P_A \times N) \\
 &= (513,6 \times 5) + (75,95 \times 1) \\
 &= 2641,74 \text{ kN} \\
 &= 2641735,889 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Setelah perhitungan tersebut, selanjutnya mencari nilai Luas Penampang minimum dengan mengikuti persamaan berikut

$$A_g = \frac{P_u}{0,8 \times 0,65 \times 0,85 \times f'_c} \quad (5.15)$$

Jika diketahui f'_c yang dipakai adalah 35 Mpa maka persamaan 5.15 dapat dihitung sebagai berikut

$$\begin{aligned} A_g &= \frac{2641735,889}{0,8 \times 0,65 \times 0,85 \times 35} \\ &= 170765,0865 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka karena kolom dianggap persegi bisa didapatkan nilai lebar minimum yaitu

$$B = \sqrt{A_g} \quad (5.16)$$

Maka perhitungannya menjadi

$$\begin{aligned} B &= \sqrt{170765,0865} \\ B &= 413 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka untuk kolom K1 diketahui dimensi minimumnya sehingga diambil untuk lebar balok kedua sisi adalah 650 mm. Lalu dicek persyaratannya

$$\text{Cek rasio} = B/H \geq 0,3 \quad (5.17)$$

Maka rasio untuk K1 didapatkan

$$\begin{aligned} \text{Cek rasio} &= 650/650 \geq 0,3 \\ &= 1 \geq 0,3 \end{aligned}$$

Dengan begitu untuk persyaratan rasio dikatakan aman untuk digunakan. Setelah itu dicek juga untuk persyaratan luasan yang berlaku sebagai berikut

$$\text{Cek Luasan} = B \times H \geq A_g \quad (5.18)$$

Maka persamaan tersebut dapat dikerjakan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Cek Luasan} &= 650 \times 650 \geq 170765,0865 \\ &= 422500 \geq 170765,0865 \end{aligned}$$

Dengan nilai tersebut untuk persyaratan luasan telah terpenuhi atau dikatakan aman.

Dengan perhitungan dan langkah yang sama dilakukan untuk melakukan estimasi dimensi untuk semua jenis balok pada objek penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut

Tabel 5.18 Rekapitulasi Estimasi Dimensi Kolom pada Objek Penelitian

Kode	B	H
K1	650	650
K2	550	550
K3	450	450

5.4.4 Estimasi dan Pembebanan Tangga

Tangga pada objek penelitian terdapat di dua tempat yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut



Gambar 5.1 Denah Letak Tangga Pada Objek Penelitian

Untuk tangga dianggap sama untuk semua objek penelitian yang digunakan yaitu lebar ruang tangga adalah 3000 mm. Yang berubah adalah panjang ruangan untuk tangganya, sehingga untuk pembebanan tangga dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut ini

Tabel 5.19 Pembebanan Tangga

Parameter	Nilai	Satuan
$DL + SIDL$	9.96	kN/m^2
LL	4.79	kN/m^2
DL di balok	17.93	kN/m
LL di balok	8.622	kN/m

5.4.5 Estimasi Panjang dan Pembebanan Dinding

Pada perhitungan dinding objek penelitian, dinding yang digunakan adalah bata dan dianggap pemasangannya penuh tanpa bukaan atau semua hal seperti kusen pintu dianggap digantikan bata dengan begitu berikut adalah perhitungan untuk beban dari bata tersebut atau $SIDL$

1. Tinggi Dinding Bersih

Dibutuhkan untuk menghitung tinggi dinding bersih tersebut sebagai berikut

$$H_{\text{bersih Dinding}} = \text{Tinggi Lantai} - \text{Tinggi Balok} \quad (5.19)$$

Sehingga perhitungannya dapat dilakukan seperti berikut

$$\begin{aligned} H_{\text{bersih Dinding}} &= 4 - 0,58 \\ &= 3,42 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Berat Dinding

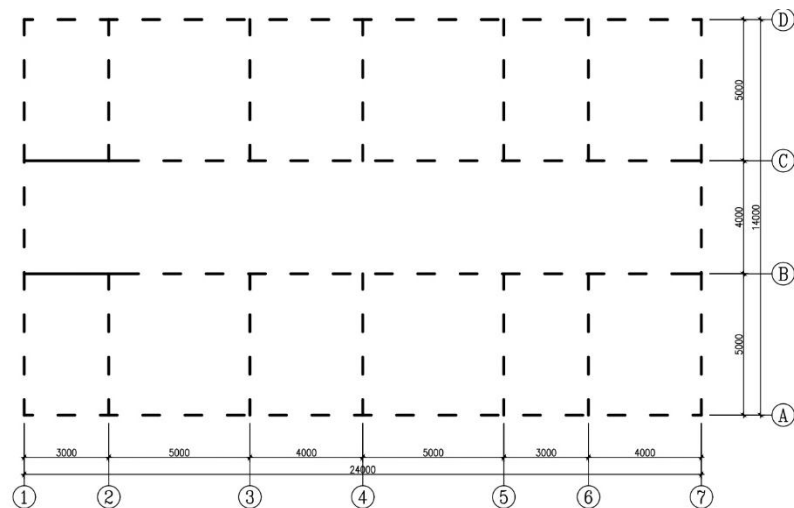
Lalu dapat dilanjutkan untuk menghitung berat dindingnya dengan persamaan berikut

$$W_{\text{Dinding}} = \text{SIDL}_{\text{Bata}} * H_{\text{bersih Dinding}} \quad (5.20)$$

Maka persamaan tersebut dapat dikerjakan menjadi

$$\begin{aligned} W_{\text{Dinding}} &= 239,55 * 3,42 \\ &= 818,47 \text{ kg/m} \\ &= 8,03 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan berat dinding yang akan di *input*, berikut adalah denah untuk dinding yang diberikan bata pada Gambar berikut



Gambar 5.2 Denah Perletakkan Bata Untuk Dinding

Perletakan bata pada dinding ditandai dengan garis putus-putus seperti pada gambar.

Sehingga dapat dihitung berat dinding untuk setiap lantai yang dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut ini

Tabel 5.20 Berat Dinding Setiap Lantai

Lantai	Kode	Keterangan	Berat (kN/m)
Tinjau	Dinding Bata		
1	DB2	Dinding Bata Lantai 2	8.03
2	DB3	Dinding Bata Lantai 3	8.03
3	DB4	Dinding Bata Lantai 4	8.03
4	DB5	Dinding Bata Lantai 5	8.03

5.5 Massa Bangunan

Massa bangunan merupakan besaran yang diperlukan sebagai sumber massa (*mass source*) pada analisis dinamik respons spektrum, karena besarnya gaya gempa yang bekerja pada struktur berbanding lurus dengan massa bangunan itu sendiri. Oleh karena itu, sebelum analisis kegempaan dilakukan, massa seluruh komponen bangunan perlu dihitung terlebih dahulu secara menyeluruh. Massa bangunan pada penelitian ini dihitung dari kontribusi komponen struktural, yaitu balok, pelat, kolom, dan tangga, serta komponen non-struktural berupa dinding

pasangan bata, ditambah kontribusi beban gravitasi berupa beban hidup (*LL*) dan beban mati tambahan (*SIDL*) pada tiap lantai.

Perhitungan massa dilakukan per lantai agar distribusi massa di sepanjang ketinggian bangunan dapat diketahui, mengingat setiap lantai memiliki komposisi komponen yang dapat berbeda, khususnya antara lantai tipikal dan lantai atap. Untuk memberikan gambaran proses perhitungan tanpa pengulangan yang berlebihan, tahapan perhitungan massa diuraikan secara rinci pada satu lantai sebagai contoh, yaitu Lantai 1, kemudian hasil untuk seluruh lantai disajikan dalam bentuk rekapitulasi. Uraian selengkapnya disajikan pada subbab-subbab berikut.

5.5.1 Perhitungan Massa Setiap Komponen

Massa tiap elemen diperoleh dengan mengalikan volume elemen terhadap berat volume beton bertulang sebesar 2.400 kg/m^3 dan jumlah unit elemen, sebagaimana dinyatakan pada Persamaan 5.21

$$M = V \times \gamma \times n \quad (5.21)$$

Keterangan:

V	= volume elemen (m^3)
γ	= berat volume material (kg/m^3)
n	= Jumlah Elemen

oleh karena itu berikut beberapa elemen yang dihitung untuk mengetahui massa bangunan

1. Elemen Balok

Pada perhitungan balok tentu mempertimbangkan semua balok yang ada pada denah objek penelitian. Dengan mengikuti persamaan 5.21 dan data balok pada subbab 5.4.1, berikut adalah perhitungan untuk elemen balok diambil balok balok dengan kodefikasi B1

$$\text{Volume B1} = B \times H \times L \quad (5.22)$$

dengan mengikuti persamaan 5.22, volume balok B1 dapat dihitung sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Volume B1} &= 0.35 \times 0.7 \times 5 \\ &= 1,23 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Setelah itu bisa dihitung massa nya jika diketahui untuk balok B1 terdapat 22 balok pada lantai 1 sehingga massa nya menjadi sebagai berikut

$$\begin{aligned}M &= 1,23 \times 2400 \times 22 \\ &= 64680 \text{ kg}\end{aligned}$$

Dengan tahapan yang sama dapat dihitung semua balok yang digunakan pada objek penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut

Tabel 5.21 Massa Komponen Balok

Kode	B	H	L	V	Berat Volume	Qty	M
	(m)	(m)	(m)	(m ³)	(kg/m ³)	(unit)	(kg)
B1	0.35	0.7	5	1.225	2400	22	64680
B2	0.3	0.65	4	0.78	2400	15	28080
B3	0.3	0.55	3	0.495	2400	8	9504

2. Elemen Pelat

Dengan data pelat lantai dan Atap pada subbab 5.4.2 maka perhitungan volume pelat P1 sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Volume P1} &= 5 \times 5 \times 0,13 \\ &= 3,25 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Setelah itu bisa dihitung massa nya jika diketahui untuk pelat P1 terdapat 4 unit pada lantai 1 sehingga massa nya menjadi sebagai berikut

$$M = 3,25 \times 2400 \times 4$$

$$= 31200 \text{ kg}$$

Dengan tahapan yang sama dapat dihitung semua pelat yang digunakan pada lantai 1 objek penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut

Tabel 5.22 Massa Komponen Pelat

Kode	Lny (m)	Ln timer	h (m)	V (m ³)	Berat Volume (kg/m ³)	Qty (unit)	M (kg)
P1	5	5	0.13	3.25	2400	4	31200
P2	5	4	0.13	2.6	2400	6	37440
P3	4	4	0.13	2.08	2400	2	9984
P4	5	3	0.13	1.95	2400	2	9360
P5	4	3	0.13	1.56	2400	2	7488

3. Elemen Kolom

Dengan data kolom pada subbab 5.4.3 maka perhitungan volume kolom K1 sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Volume K1} &= 0,65 \times 0,65 \times 4 \\ &= 1,69 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Setelah itu bisa dihitung massa nya jika diketahui untuk kolom K1 terdapat 10 unit pada lantai 1 sehingga massa nya menjadi sebagai berikut

$$\begin{aligned} M &= 1,69 \times 2400 \times 10 \\ &= 40560 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dengan tahapan yang sama dapat dihitung semua kolom yang digunakan pada lantai 1 objek penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut

Tabel 5.23 Massa Komponen Kolom

Kode	B	H	L	V	Berat Volume	Qty	M
	(m)	(m)	(m)	(m ³)	(kg/m ³)	(unit)	(kg)
K1	0.65	0.65	4	1.69	2400	10	40560
K2	0.55	0.55	4	1.21	2400	14	40656
K3	0.45	0.45	4	0.81	2400	4	7776

4. Elemen Tangga

Dengan data tangga pada subbab 5.4.4 maka perhitungan volume tangga sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Volume Tangga} &= 1,4 \times 0,15 \times 8.236504113 \\ &= 1,73 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Setelah itu bisa dihitung massa nya jika diketahui untuk tangga terdapat 2 unit pada lantai 1 sehingga massa nya menjadi sebagai berikut

$$\begin{aligned}M &= 1,73 \times 2400 \times 2 \\ &= 8302.40 \text{ kg}\end{aligned}$$

5. Elemen Dinding Bata

Dengan data dinding pada subbab 5.4.5 maka perhitungan volume dinding bata sebagai berikut

$$L = 168 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}V &= L \\ &= 168 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Berat Volume} = 818,47 \text{ kg/m}$$

$$\text{Qty} = 1 \text{ unit}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa} &= V \times \text{Berat Volume} \times \text{Qty} \\ &= 168 \times 818,47 \times 1 \\ &= 137502,55 \text{ kg}\end{aligned}$$

6. Beban Gravitasi

Fungsi Ruangan = Lobi Utama Museum

A = 25 m²

Q LL = 4,79 kN/m²

Q SIDL = 2,66 kN/m²

Q Total = 2,66 kN/m²

$$\begin{aligned} \text{Massa} &= \frac{A \times Q \text{ Total}}{0,00981} \\ &= \frac{25 \times 2,66}{0,00981} \\ &= 6768,77 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dengan tahapan yang sama dapat dihitung semua ruangan yang digunakan pada lantai 1 objek penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut

Tabel 5.24 Beban Gravitasi Ruangan

Ruangan	Luas Total	Q LL	Q SIDL	Q Total	M
	(m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kg)
Lobi Utama Museum	25	4.79	2.66	2.66	6768.77
Galeri Pameran Temporer	20	4.79	2.66	2.66	5415.01
Toko Suvenir Museum	25	4.79	2.66	2.66	6768.77
Kafe Museum	15	4.79	2.66	2.66	4061.26
Ruang Tiket dan Registrasi	20	2.4	5.16	5.16	10515.01
Ruang Informasi Pengunjung	20	2.4	5.16	5.16	10515.01
Ruang Penitipan Barang	15	6	2.66	2.66	4061.26
Ruang Keamanan dan CCTV	25	2.4	5.16	5.16	13143.77
Toilet Pria	20	2.4	5.16	5.16	10515.01
Toilet Wanita	25	2.4	5.16	5.16	13143.77
Koridor Lantai 1	96	4.79	2.66	2.66	25992.07

5.5.2 Rekapitulasi Massa Bangunan

Setelah melakukan perhitungan terhadap semua komponen setiap lantai objek penelitian, hasil total massa yang didapat akan di bandingkan dengan hasil perhitungan pemodelan pada *software* ETABS. Berikut rekapitulasi massa bangunan yang dapat dilihat pada Tabel 5.25

Tabel 5.25 Massa Bangunan Manual

Lantai	Balok	Pelat	Kolom	Tangga	Dinding Bata	Gravitasi	Massa Manual
	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
ATAP	85680	95472	44496	0	0	160880	386528
5	102264	95472	88992	8302	137503	104446	536979
4	102264	95472	88992	8302	137503	104446	536979
3	102264	95472	88992	8302	137503	118471	551004
2	102264	95472	88992	8302	137503	96796	529329
1	102264	95472	88992	8302	137503	110900	543433
Total							3084251

Setelah itu dibandingkan dengan perhitungan menggunakan *software* dengan penentuan persyaratan hasil perbandingan total massa manual dengan massa dengan menggunakan *software* harus $\leq 5\%$. Perbandingan dapat dilihat pada tabel 5.26 berikut

Tabel 5.26 Perbandingan Massa Bangunan Manual vs *Software*

Lantai	Massa Manual	Massa Software	Selisih
	(Kg)	(Kg)	
ATAP	386528	375575	3%
5	536979	527985	2%
4	536979	527985	2%
3	551004	543281	1%
2	529329	520337	2%
1	543433	533084	2%
TOTAL	3084251	3028247	2%

Begitu juga dengan perbandingan *self mass* yang dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut

Tabel 5.27 Perbandingan *Self Mass* Manual vs *Software*

<i>Self Mass</i>	Massa Manual (Kg)	Massa Software (Kg)	Selisih
	1700799.98	1626646.79	4%

Dengan didapatkan massa bangunan setiap lantai dan *selfmass* sama-sama dibawah 5% maka perhitungan dapat dilanjutkan namun dipilih menggunakan *software* agar perhitungan selanjutnya tetap konsisten

5.6 Parameter Kegempaan dan Respons Spektrum

Parameter kegempaan ditentukan berdasarkan data percepatan batuan dasar (S_s dan S_1) dan kelas situs, mengacu pada SNI 1726:2019. Bangunan museum ini termasuk kategori risiko IV dengan faktor keutamaan gempa $I_e = 1,5$, dan berdiri pada kelas situs SC. Untuk memperjelas proses, berikut diuraikan contoh perhitungan penentuan parameter respons spektrum.

Berikut diperlihatkan beberapa parameter gempa yang mengacu pada persamaan yang sudah dijelaskan pada subbab 3.5 pembebanan gempa yang ditampilkan pada Tabel 5.28 berikut

Tabel 5.28 Parameter Gempa Tapak

Parameter	Notasi	Nilai	
Kategori resiko bangunan		IV	
Faktor keutamaan	I_e	1.50	
Tinggi struktur	h	24.0	m
Spektral gempa periode pendek	S_s	1.2177	
Spektral gempa periode 1 detik	S_1	0.5255	
Koefisien situs periode pendek	F_a	1.20	
Koefisien situs periode 1 detik	F_v	1.474	
Spektrum percepatan periode pendek	$S M_s$	1.461	
Spektrum percepatan periode 1 detik	$S M_1$	0.775	
Percepatan spektral desain periode pendek	$S D_s$	0.974	
Percepatan spektral desain periode 1 detik	$S D_1$	0.517	

Lanjutan Tabel 5.28 Parameter Gempa Tapak

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Koefisien resiko terpetakan periode pendek	CRs	1.000	
Koefisien resiko terpetakan periode 1 detik	CR1	0.950	
$SDS_r = SDS \times CRS$	SDS_r	0.974	
$SD1_r = SD1 \times CR1$	$SD1_r$	0.491	
Periode puncak awal	To	0.106	Detik
Periode puncak akhir	Ts	0.530	Detik
Periode Panjang	TL	20.000	Detik
Kategori desain seismik	KDS	D	

Lalu diketahui parameter-parameter sistem struktur sesuai SNI 1726-2019 dimana objek penelitian di analisis dengan sistem struktur SRPMK sehingga parameter sistem strukturnya dapat dilihat pada Tabel 5.29 berikut

Tabel 5.29 Parameter Sistem Struktur

Parameter	Notasi	Nilai
Koefisien modifikasi respon arah X	Rx	8.000
Koefisien modifikasi respon arah Y	Ry	8.000
Faktor kuat lebih sistem arah X	Ω_x	3.000
Faktor kuat lebih sistem arah Y	Ω_y	3.000
Faktor Pembesaran Defleksi arah X	Cdx	5.500
Faktor Pembesaran Defleksi arah Y	Cdy	5.500
Parameter periode pendekatan ct arah X	Ctx	0.0466
Parameter periode pendekatan ct arah Y	Cty	0.0466
Parameter periode pendekatan x arah X	Xx	0.900
Parameter periode pendekatan x arah Y	Xy	0.900

Lalu dihitung untuk koefisien-koefisien seismiknya yang dapat dilihat pada Tabel 5.30 berikut

Tabel 5.30 Koefisien Respon Seismik

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Periode fundamental pendekatan arah X	Ta x	0.814	Detik
Periode fundamental pendekatan arah Y	Ta y	0.814	Detik
Periode getar model SAP2000/Etabs Arah X	Tc x	1.161	Detik

Lanjutan Tabel 5.30 Koefisien Respon Seismik

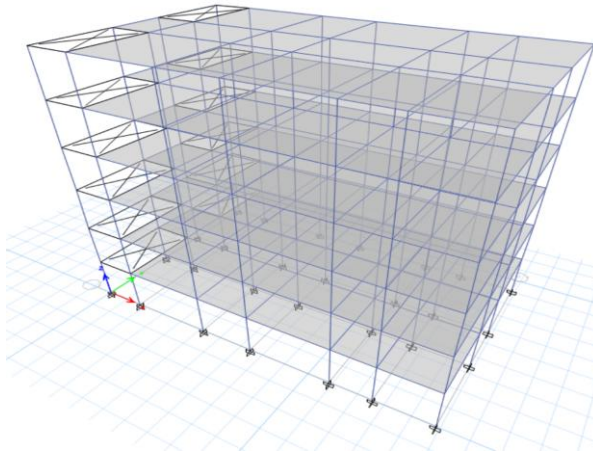
Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Periode getar model SAP2000/Etabs Arah Y	$T_c y$	1.173	Detik
Periode pendekatan maksimum arah X	$T_{max x}$	1.139	Detik
Periode pendekatan maksimum arah Y	$T_{max y}$	1.139	Detik
Periode pakai arah X	$T_x pakai$	1.139	Detik
Periode pakai arah y	$T_y pakai$	1.139	Detik
Koefisien respon seismik arah X	$C_s x$	0.183	
Koefisien respon seismik arah Y	$C_s y$	0.183	
Koefisien respon seismik maksimum X	$C_s max X$	0.085	
Koefisien respon seismik maksimum Y	$C_s max Y$	0.085	
Koefisien respon seismik minimum arah X	$C_s min X$	0.064	
Koefisien respon seismik minimum arah Y	$C_s min Y$	0.064	
Koefisien respon seismik pakai arah X	$C_s pakai X$	0.085	
Koefisien respon seismik pakai arah Y	$C_s pakai Y$	0.085	
Eksponen periode struktur arah X	$k x$	1.320	
Eksponen periode struktur arah Y	$k y$	1.320	

5.7 Pemodelan dan Analisis Struktur

Struktur dimodelkan secara tiga dimensi pada program ETABS menggunakan dimensi elemen hasil estimasi, mutu material yang telah ditetapkan, serta pembebanan dan sumber massa yang telah dihitung. Setelah model dijalankan, dilakukan serangkaian pemeriksaan kelayakan struktur sebelum gaya dalam digunakan sebagai dasar desain penulangan balok dan kolom.

5.7.1 Pemodelan Struktur pada ETABS

Pemodelan diawali dengan pendefinisian material beton ($f_c = 35$ MPa) dan baja tulangan ($f_y = 420$ MPa), penampang balok dan kolom sesuai hasil estimasi, serta pelat lantai dan atap. Beban mati tambahan, beban hidup, dan sumber massa didefinisikan sesuai hasil perhitungan pada subbab sebelumnya, sedangkan beban gempa dimasukkan melalui fungsi respons spektrum. Tampilan model tiga dimensi ditunjukkan pada Gambar 5.3



Gambar 5.3 Pemodelan 3D pada *Software* ETABS

5.7.2 Ketidakberaturan Horizontal

Terdapat beberapa tipe ketidakberaturan horizontal yang di analisis terhadap bangunan objek penelitian. Berikut adalah analisisnya

1. Tipe 1a dan 1b (Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebihan)

Ketidakberaturan torsi ditinjau dari perbandingan simpangan maksimum terhadap simpangan rata-rata ($\Delta_{max}/\Delta_{avg}$) pada tiap tingkat. Struktur digolongkan Tipe 1a apabila $1,2 < \Delta_{max}/\Delta_{avg} \leq 1,4$ dan Tipe 1b apabila $\Delta_{max}/\Delta_{avg} > 1,4$. Ketentuan ini berkaitan dengan torsi tak terduga yang telah dibahas pada Sub-subbab 3.6.8 (Bab III). Hasil pemeriksaan untuk arah X dan Y disajikan pada Tabel 5.31 dan Tabel 5.32

Tabel 5.31 Pemeriksaan Ketidakberaturan Torsi (Tipe 1a dan 1b) Arah X

Lantai	$\Delta_{max} X$	$\Delta_{avg} X$	$\Delta_{max}/\Delta_{avg} X$	Ket. X
Atap	4,203	4,179	1,006	Reguler
5	6,702	6,697	1,001	Reguler
4	9,095	9,090	1,000	Reguler
3	10,706	10,694	1,001	Reguler
2	10,929	10,891	1,004	Reguler
1	6,831	6,792	1,006	Reguler

Tabel 5.32 Pemeriksaan Ketidakberaturan Torsi (Tipe 1a dan 1b) Arah Y

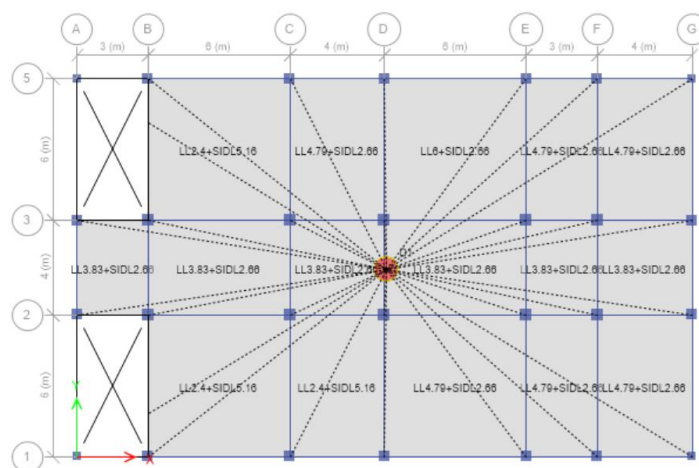
Lantai	$\Delta_{\max} Y$	$\Delta_{\text{avg}} Y$	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}} Y$	Ket. Y
Atap	4,626	4,352	1,063	Reguler
5	7,166	6,891	1,040	Reguler
4	9,585	9,292	1,032	Reguler
3	11,242	10,889	1,032	Reguler
2	11,391	11,015	1,034	Reguler
1	7,151	6,911	1,035	Reguler

2. Tipe 2 (Ketidakberaturan Sudut Dalam)

Ketidakberaturan ini terjadi apabila terdapat sudut dalam (re-entrant corner) dengan proyeksi denah melebihi 15% dari dimensi denah pada arah yang ditinjau. Denah bangunan objek penelitian berbentuk persegi panjang beraturan tanpa sudut dalam yang menonjol, sehingga ketidakberaturan sudut dalam tidak berlaku dan struktur digolongkan beraturan.

3. Tipe 3 (Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma)

Pada Ketidakberaturan Tipe 3, dilakukan analisis juga dengan memodelkan diafragma pada ETABS yang dapat dilihat pada Gambar 5.4

**Gambar 5.4 Diafragma Bangunan**

Ketidakberaturan ini terjadi apabila terdapat bukaan pada diafragma dengan luas melebihi 50% luas diafragma bruto. Berikut hasil dari analisis ketidakberaturan diskontinuitas diafragma pada Tabel 5.33 berikut

Tabel 5.33 Analisis Ketidakberaturan Tipe 3

A total	306	m ²
A bukaan	30	m ²
Cek	Regular	

5.7.3 Ketidakberaturan Vertikal

Terdapat beberapa tipe ketidakberaturan vertikal yang di analisis terhadap bangunan objek penelitian. Berikut adalah analisisnya

1. Tipe 1a dan 1b (Kekakuan Tingkat Lunak dan Tingkat Lunak Berlebihan)

Ketidakberaturan ini ditinjau dari kekakuan lateral tiap tingkat. Struktur digolongkan Tipe 1a (tingkat lunak) apabila kekakuan suatu tingkat kurang dari 70% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya, dan Tipe 1b (tingkat lunak berlebihan) apabila kurang dari 60% atau 70% dari nilai tersebut. Hasil kekakuan tiap tingkat untuk arah X dan Y disajikan pada Tabel 5.34

Tabel 5.34 Pemeriksaan Kekakuan Tingkat (Tipe 1a dan 1b) Vertikal

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
Atap	152299.328		146245.48	
5	200060.056	Regular	194439.51	Regular
4	205030.091	Regular	200580.48	Regular
3	208769.138	Regular	205036.34	Regular
2	223984.872	Regular	221460.19	Regular
1	371628.831	Regular	365231.65	Regular

2. Tipe 2 (Ketidakberaturan Berat Massa)

Ketidakberaturan berat terjadi apabila massa suatu tingkat melebihi 150% massa tingkat di dekatnya. Massa atap yang lebih ringan dari tingkat di

bawahnya tidak perlu ditinjau. Rekapitulasi massa tiap tingkat disajikan pada Tabel 5.35 berikut

Tabel 5.35 Analisis Ketidakberaturan Berat Massa

Lantai	Massa (kg)	Cek
Atap	375575.23	Regular
5	527985	Regular
4	527985	Regular
3	543280.74	Regular
2	520337.13	Regular
1	533083.58	Regular

3. Tipe 3 (Ketidakberaturan Geometri Vertikal)

Ketidakberaturan geometri vertikal terjadi apabila dimensi horizontal sistem penahan gaya lateral pada suatu tingkat melebihi 130% dimensi tingkat di dekatnya. Denah bangunan seragam pada seluruh tingkat tanpa penonjolan (*setback*), sehingga struktur digolongkan beraturan.

4. Tipe 5a dan 5b (Diskontinuitas Kuat Lateral Tingkat Lemah)

Ketidakberaturan ini ditinjau dari kuat lateral tiap tingkat. Struktur digolongkan Tipe 5a (tingkat lemah) apabila kuat lateral suatu tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya, dan Tipe 5b (tingkat lemah berlebihan) apabila kurang dari 65%. Hasil kuat lateral tiap tingkat untuk arah X dan Y disajikan pada Tabel 5.36 berikut

Tabel 5.36 Analisis Diskontinuitas Kuat Lateral Tingkat Lemah

Lantai	Arah X	Cek	Arah Y	Cek
	Kekuatan		Kekuatan	
	kN		kN	
Atap	636.4836		636.4836	
5	1339.8678	Regular	1339.8678	Regular
4	1863.7956	Regular	1863.7956	Regular
3	2232.5651	Regular	2232.5651	Regular
2	2439.3768	Regular	2439.3768	Regular
1	2524.2412	Regular	2524.2412	Regular

Kuat lateral tiap tingkat meningkat dari atas ke bawah tanpa penurunan, sehingga struktur tidak mengalami ketidakberaturan tingkat lemah (Tipe 5a) maupun tingkat lemah berlebihan (Tipe 5b).

Berdasarkan seluruh pemeriksaan di atas, struktur objek penelitian tidak memiliki ketidakberaturan horizontal maupun vertikal pada kedua arah pembebanan, sehingga tergolong struktur beraturan (regular). Dengan demikian, penggunaan analisis dinamik respons spektrum telah memenuhi ketentuan dan struktur tidak dikenai pembatasan khusus akibat ketidakberaturan.

5.7.4 Periode Struktur dan Partisipasi Massa

Analisis ragam (modal) menghasilkan periode getar alami struktur dan partisipasi massa tiap ragam. Periode fundamental struktur (ragam pertama) sebesar 0,427 detik. Jumlah ragam yang ditinjau telah mencukupi karena partisipasi massa kumulatif pada arah X maupun Y telah melampaui 90% (mendekati 100%), sehingga memenuhi persyaratan SNI 1726:2019. Ringkasan beberapa ragam awal disajikan pada Tabel 5.37

Tabel 5.37 Ringkasan Periode dan Partisipasi Massa

Ragam	Periode (detik)	ΣUX	ΣUY
1	0,427	0,016	0,138
2	0,336	0,476	0,139
4	0,250	0,689	0,389
13	0,066	0,999	0,969
14	0,060	0,999	0,989

5.7.5 Analisis Statik Ekuivalen

Analisis statik ekuivalen digunakan sebatas tahap awal, yaitu untuk memperoleh gaya geser dasar statik yang menjadi pembanding dan dasar penskalaan hasil analisis dinamik, bukan sebagai basis desain akhir. Koefisien respons seismik (C_s) dihitung mengacu pada Persamaan 3.14 dengan batasan Persamaan 3.15 sampai 3.18 (Bab III), sedangkan gaya geser dasar seismik (V) dihitung mengacu pada Persamaan 3.19. Dengan berat seismik efektif $W = 29.707$ kN dan $C_s = 0,0850$, sehingga dapat dihitung

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \times W \\
 &= 0,0850 \times 29.707 \\
 &= 2525,13 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5.7.6 Analisis Dinamik Respons Spektrum

Pada objek penelitian, analisis statik maupun dinamik diperbolehkan oleh SNI namun semua objek penelitian menggunakan metode analisis dinamik respons spektrum. Analisis utama untuk memperoleh gaya dalam desain adalah analisis dinamik ragam respons spektrum (Modal Response Spectrum Analysis). Sesuai SNI 1726:2019, gaya geser dasar hasil analisis dinamik (V_t) harus diskalakan agar tidak kurang dari gaya geser dasar statik (V). Faktor penskalaan dihitung sebagai V/V_t , dengan hasil sebagaimana Tabel 5.38

Tabel 5.38 Penskalaan Gaya Geser Dinamik

Parameter	Arah X	Arah Y	Satuan
Gaya geser statik (V)	2.524	2.524	kN
Gaya geser dinamik (V_t)	2.124	2.075	kN
Faktor penskalaan (V/V_t)	1,189	1,217	-

Sehingga didapatkan hasil dari penskalaan yang dapat dilihat pada Tabel 5.39 berikut

Tabel 5.39 Output Penskalaan Gaya Gempa MRSA

Parameter	Notasi	Nilai Arah X	Nilai Arah Y	Satuan
Gaya Geser Statik ELF	V ELF	2524,2412	2524,2412	kN
Faktor Penskalaan Gaya <i>Unscaled</i>	SFi	1838,7469	1838,7469	kN
Gaya Geser Dinamik <i>Unscaled</i>	V	2123,8521	2074,5485	-
Faktor Penskalaan Gaya <i>Scaled</i>	SF	2185,3879	2237,3257	mm/s ²
Gaya Geser Dinamik <i>Scaled</i>	V RSA	2525	2525	kN
Cek $V_{dinamik} \geq 100\% V_{statik}$	-	OK	OK	-

Syarat terpenuhi dengan gaya geser dinamik *scaled* sudah yaga geser statik ELF nya

5.7.7 Kontrol Simpangan Antar Tingkat dan P-Delta

Setelah penskalaan, dilakukan kontrol simpangan antar tingkat (drift ratio) dengan batas simpangan izin $\Delta a = 0,01h$ (untuk kategori risiko IV) dan faktor pembesaran defleksi $C_d = 5,5$. Hasil menunjukkan simpangan antar tingkat pada seluruh lantai masih berada di bawah simpangan izin, sehingga struktur memenuhi persyaratan. Berikut dapat dilihat untuk data parameter untuk mengetahui simpangan antar Tingkat dan perhitungan simpangan itu sendiri pada Tabel 5.40 untuk arah x serta Tabel 5.41 untuk arah y

Tabel 5.40 Parameter Perhitungan Simpangan Antar Lantai

Parameter	Notasi	Nilai
Sistem struktur arah X		Rangka Momen
Sistem struktur arah Y		Rangka Momen
Kategori resiko bangunan		IV
Kategori desain seismik	KDS	D
Faktor keutamaan	I_e	1,5
Faktor pembesaran defleksi arah X	C_{dx}	5,5
Faktor pembesaran defleksi arah Y	C_{dy}	5,5
Faktor redudansi arah X	ρ_x	1.00
Faktor redudansi arah Y	ρ_y	1.00
Simpangan antar tingkat ijin arah X	Δa_x	0,01
Simpangan antar tingkat ijin arah Y	Δa_y	0,01
Simpangan antar tingkat maksimum arah X	$\Delta_{max\ x}$	,01
Simpangan antar tingkat maksimum arah X	$\Delta_{max\ x}$	0,01

Tabel 5.41 Pengecekan Simpangan Antar Lantai Arah X

Story	h	Elastic Displacement	Inelastic Displacement	Story Drift	Drift Limit X	Cek X
		δeX	δeX	ΔX		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap	4000	43.788	160.56	12.632	40	OK
5	4000	40.343	147.92	20.687	40	OK
4	4000	34.701	127.24	29.036	40	OK

Lanjutan Tabel 5.41 Pengecekan Simpangan Antar Lantai Arah X

Story	h	Elastic Displacement	Inelastic Displacement	Story Drift	Drift Limit X	Cek X
3	4000	δeX	δeX	ΔX		
2	4000	17.049	62.51	38.056	40	OK
1	4000	6.67	24.46	24.457	40	OK

Tabel 5.42 Pengecekan Simpangan Antar Lantai Arah Y

Story	h	Elastic Displacement	Inelastic Displacement	Story Drift	Drift Limit Y	Cek Y
		δeY	δeY	ΔY		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Atap	4000	45.566	167.0753333	16.258	40	OK
5	4000	41.132	150.8173333	21.336	40	OK
4	4000	35.313	129.481	28.681	40	OK
3	4000	27.491	100.8003333	37.187	40	OK
2	4000	17.349	63.613	38.760	40	OK
1	4000	6.778	24.85266667	24.853	40	OK

Pada *story drift* disetiap lantai telah memenuhi limit dari simpangan yang dizinka sehingga dikatakan aman untuk lanjut

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

Evaluasi pengaruh P-Delta dilakukan dengan mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7 serta Subbab 3.7.7. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai maksimum koefisien stabilitas yang diizinkan, yaitu (θ_{max}) adalah sebesar 0,0909. Apabila nilai koefisien stabilitas (θ) pada setiap lantai lebih kecil dari 0,10, maka pengaruh P-Delta tidak perlu diperhitungkan secara eksplisit dalam analisis struktur. Parameter perhitungan P-Delta dan Hasil evaluasi pengaruh P-Delta pada setiap lantai disajikan dalam tabel-tabel berikut

Tabel 5.43 Parameter Perhitungan P-Delta Antar Lantai

Parameter	Notasi	Nilai
Faktor keutamaan	Ie	1,5
Faktor pembesaran defleksi arah X	Cdx	5,5
Faktor pembesaran defleksi arah Y	Cdy	5,5

Lanjutan Tabel 5.43 Parameter Perhitungan P-Delta Antar Lantai

Parameter	Notasi	Nilai
Rasio kebutuhan geser	β	1
Batasan pengaruh P-delta		0,1
Koefisien stabilitas maksimum arah X	$\Theta_{\max X}$	0,0909
Koefisien stabilitas maksimum arah Y	$\Theta_{\max Y}$	0,0909

Tabel 5.44 P-Delta Effect

Story	h	Story Drift	Story Forces		Koefisien Stabilitas	Batas Stabilitas Arah X	Cek X
		ΔX	P	V_x	θX	$\theta_{\max X}$	
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)			
Atap	4000	12,6317	1872,720	636,4836	0,0025	0,0909	OK
5	4000	20,6873	5740,262	1339,8678	0,0060	0,0909	OK
4	4000	29,0363	9607,804	1863,7956	0,0102	0,0909	OK
3	4000	35,6877	13365,446	2232,5651	0,0146	0,0909	OK
2	4000	38,0563	17067,938	2439,3768	0,0182	0,0909	OK
1	4000	24,4567	20886,240	2524,2412	0,0138	0,0909	OK

5.7.9 Kombinasi Beban

Kombinasi beban disusun mengacu pada SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019 dan telah diuraikan lengkap pada Persamaan 3.29 sampai Persamaan 3.66 (Bab III), mencakup kombinasi beban gravitasi (1,4D dan 1,2D + 1,6L) serta kombinasi beban gempa dinamik dengan penerapan beban ortogonal 100% + 30% dan pengaruh torsi tak terduga. Pada kombinasi gempa, faktor beban mati menggunakan $(1,2 + 0,2 \cdot S_{DS}) = 1,395$ sesuai nilai S_{DS} model contoh. Seluruh kombinasi diterapkan pada model ETABS untuk memperoleh gaya dalam maksimum pada balok. Berikut rekap kombinasi beban yang digunakan pada Tabel 5.45

Tabel 5.45 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
Comb 2			Live	1,600
Comb 6 (a)	Linear Add	No	Dead	1,395
Comb 6 (a)			SIDL	1,395
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	1,395
Comb 6 (b)			SIDL	1,395
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	1,395
Comb 6 (c)			SIDL	1,395
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	1,395
Comb 6 (d)			SIDL	1,395
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	1,395
Comb 6 (e)			SIDL	1,395
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	1,395
Comb 6 (f)			SIDL	1,395
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	1,395
Comb 6 (g)			SIDL	1,395

Lanjutan Tabel 5.45 Kombinasi Beban Dinamik

Name	Type	Is Auto	Load Name	SF
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	1,395
Comb 6 (h)			SIDL	1,395
Comb 6 (h)			Ex RSA - TT	-1,000
Comb 6 (i)			Ex RSA	0,300
Comb 6 (i)			Live	1,000
Comb 6 (j)	Linear Add	No	Dead	1,395
Comb 6 (j)			SIDL	1,395
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	1,395
Comb 6 (k)			SIDL	1,395
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	1,395
Comb 6 (l)			SIDL	1,395
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	1,395
Comb 6 (m)			SIDL	1,395
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	1,395
Comb 6 (n)			SIDL	1,395
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	1,395
Comb 6 (o)			SIDL	1,395

Lanjutan Tabel 5.45 Kombinasi Beban Dinamik

Name	Type	Is Auto	Load Name	SF
Comb 6 (o)			Ey RSA - TT	1,000
Comb 6 (o)			Ex RSA	-0,300
Comb 6 (o)			Live	1,000
Comb 6 (p)	Linear Add	No	Dead	1,395
Comb 6 (p)			SIDL	1,395
Comb 6 (p)			Ey RSA - TT	-1,000
Comb 6 (p)			Ex RSA	-0,300
Comb 6 (p)			Live	1,000
Comb 7 (a)			Ey RSA	0,705
Comb 7 (b)	Linear Add	No	Dead	0,705
Comb 7 (b)			SIDL	1,000
Comb 7 (b)			Ex RSA + TT	0,300
Comb 7 (b)			Ey RSA	0,705
Comb 7 (c)	Linear Add	No	Dead	0,705
Comb 7 (c)			SIDL	-1,000
Comb 7 (c)			Ex RSA + TT	0,300
Comb 7 (c)			Ey RSA	0,705
Comb 7 (d)	Linear Add	No	Dead	0,705
Comb 7 (d)			SIDL	1,000
Comb 7 (d)			Ex RSA + TT	-0,300
Comb 7 (d)			Ey RSA	0,705
Comb 7 (e)	Linear Add	No	Dead	0,705
Comb 7 (e)			SIDL	-1,000
Comb 7 (e)			Ex RSA - TT	-0,300
Comb 7 (e)			Ey RSA	0,705
Comb 7 (f)	Linear Add	No	Dead	0,705
Comb 7 (f)			SIDL	1,000
Comb 7 (f)			Ex RSA - TT	0,300
Comb 7 (f)			Ey RSA	0,705
Comb 7 (g)	Linear Add	No	Dead	0,705
Comb 7 (g)			SIDL	-1,000
Comb 7 (g)			Ex RSA - TT	0,300
Comb 7 (g)			Ey RSA	0,705
Comb 7 (h)	Linear Add	No	Dead	0,705
Comb 7 (h)			SIDL	1,000
Comb 7 (h)			Ex RSA - TT	-0,300
Comb 7 (h)			Ey RSA	0,705

Lanjutan Tabel 5.45 Kombinasi Beban Dinamik

Name	Type	Is Auto	Load Name	SF
Comb 7 (i)	Linear Add	No	Dead	0,705
Comb 7 (i)			SIDL	-1,000
Comb 7 (i)			Ey RSA + TT	-0,300
Comb 7 (i)			Ex RSA	0,705
Comb 7 (j)	Linear Add	No	Dead	0,705
Comb 7 (j)			SIDL	1,000
Comb 7 (j)			Ey RSA + TT	0,300
Comb 7 (j)			Ex RSA	0,705
Comb 7 (k)			SIDL	0,705
Comb 7 (k)			Ey RSA + TT	0,705
Comb 7 (k)			Ex RSA	1,000
Comb 7 (l)	Linear Add	No	Dead	-0,300
Comb 7 (l)			SIDL	0,705
Comb 7 (l)			Ey RSA + TT	0,705
Comb 7 (l)			Ex RSA	-1,000
Comb 7 (m)	Linear Add	No	Dead	-0,300
Comb 7 (m)			SIDL	0,705
Comb 7 (m)			Ey RSA - TT	0,705
Comb 7 (m)			Ex RSA	1,000
Comb 7 (n)	Linear Add	No	Dead	0,300
Comb 7 (n)			SIDL	0,705
Comb 7 (n)			Ey RSA - TT	0,705
Comb 7 (n)			Ex RSA	-1,000
Comb 7 (o)	Linear Add	No	Dead	0,300
Comb 7 (o)			SIDL	0,705
Comb 7 (o)			Ey RSA - TT	0,705
Comb 7 (o)			Ex RSA	1,000
Comb 7 (p)	Linear Add	No	Dead	-0,300
Comb 7 (p)			SIDL	0,705
Comb 7 (p)			Ey RSA - TT	0,705
Comb 7 (p)			Ex RSA	-1,000

5.8 Komponen Struktur Balok

Setelah memasukkan kombinasi beban, masuk pada komponen struktur pertama yaitu balok dimana sebelum masuk pada tahap *design*, harus diketahui gaya dalam

yang bekerja pada balok. Hasil gaya dalam balok didapatkan dari hasil perhitungan *software* ETABS lalu akan digunakan untuk mendesain balok tersebut

5.8.1 Gaya Dalam Balok

Gaya dalam balok berupa momen lentur pada daerah tumpuan dan lapangan diperoleh dari hasil analisis kombinasi beban pada ETABS. Momen ditinjau untuk kondisi negatif (M-) dan positif (M+). Rekapitulasi momen desain untuk setiap tipe balok pada model contoh disajikan pada Tabel 5.46

Tabel 5.46 Gaya Dalam Balok

Kode Balok	Momen Tumpuan (kNm)		Momen Lapangan (kNm)		Gaya Geser (kN)		
	Momen Negatif (M-)	Momen Positif (M+)	Momen Negatif (M-)	Momen Positif (M+)	Vu Tumpuan	Vu Lapangan	Vg Tump.
B1	-295,95	231,83	-87,06	123,02	186,73	32,11	83,22
B2	-224,87	196,06	-53,63	78,45	168,52	20,98	56,18
B3	-170,09	150,85	-30,69	34,99	172,35	4,11	44,74
B1A	-86,28	40,77	-25,54	42,54	71,62	43,10	43,10
B2A	-48,85	25,29	-17,50	25,29	48,74	26,21	26,21
B3A	-44,68	32,74	-14,55	19,35	46,91	14,69	14,69

5.8.2 Redistribusi Momen Balok

Redistribusi momen dilakukan pada balok induk mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 6.6.5 untuk menyeimbangkan momen tumpuan dan lapangan sehingga penulangan lebih efisien, dengan tetap menjaga keseimbangan total momen. Balok anak tidak didistribusi. Sebagai contoh, pada balok B1 penjumlahan momen tumpuan dan lapangan menghasilkan total momen $\Sigma M = 527,8$ kNm yang menjadi acuan pemeriksaan redistribusi. Momen hasil redistribusi inilah yang digunakan sebagai momen ultimit (M_u) pada desain lentur. Rekapitulasi total momen tiap balok disajikan pada Tabel 5.47

Tabel 5.47 Hasil Redistribusi Momen

Kode	Tump. M-	Tump. M+	Lap. M-	Lap. M+	ΣM (kNm)
B1	295,9	231,8	87,06	123,0	527,8
B2	224,9	196,1	53,63	78,44	420,9
B3	170,1	150,8	30,69	34,99	320,9
B1A	86,28	40,77	25,54	42,54	127,1
B2A	48,85	25,29	17,50	25,29	74,14
B3A	44,68	32,74	14,55	19,35	77,41

5.8.3 Desain Penulangan Lentur Balok

Setelah gaya dalam dan momen hasil redistribusi diperoleh, dilakukan desain penulangan balok yang meliputi penulangan lentur (longitudinal) dan penulangan geser (transversal). Seluruh persamaan yang digunakan pada tahap ini telah diuraikan pada Bab III, yaitu Persamaan 3.67 sampai Persamaan 3.101, sehingga pada bab ini persamaan tersebut cukup dirujuk dan langsung diterapkan dengan angka. Sebagai contoh perhitungan diambil balok B1, sedangkan hasil balok lainnya diperoleh dengan prosedur yang sama dan disajikan dalam rekapitulasi. Untuk data awal B1 dapat dilihat pada Tabel 5.48 berikut

Tabel 5.48 Data Awal Balok B1

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Momen ultimit negatif	$M_u -$	295,95 (30,178)	kNm (Tm)
Momen ultimit positif	$M_u +$	231,83 (23,640)	kNm (Tm)
Momen nominal negatif	$M_n -$	33,531	Tm
Momen nominal positif	$M_n +$	26,267	Tm
Mutu beton	f_c	35	MPa
Mutu baja tulangan	f_y	420	MPa
Faktor reduksi kekuatan	ϕ	0,9	
Faktor blok tegangan	β_1	0,8	
Regangan tekan beton	ϵ_c	0,003	
Regangan leleh baja	ϵ_y	0,00204	
Modulus elastisitas baja	E_s	2.100.000	kg/cm ²
Diameter tulangan pokok	D_p	19	mm
Diameter sengkang	D_{sk}	10	mm

Lanjutan Tabel 5.48 Data Awal Balok B1

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Selimut beton	Sb	40	mm
Lebar balok	b	350	mm
Tinggi balok	h	700	mm
Jarak pusat tul. tekan ke tepi	d'	59,5	mm
Tinggi efektif (M-)	h (M-)	618,5	mm
Tinggi efektif (M+)	h (M+)	640,5	mm
Luas 1 tulangan D19	Asd	2,835	cm ²

Pada *design* balok mengenal tulangan kembar dan tulangan sebelah dimana penentuan tulangan longitudinal menggunakan metode tulangan rangkap mengacu pada Sub-subbab 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 koefisien tahanan momen hingga M_1 dihitung berturut-turut melalui m , ρ_b , R_b , R_1 , dan M_1 sesuai Persamaan 3.70 sampai 3.74. Dari M_1 diperoleh luas tulangan sebelah A_{s1} dan jumlah batang n_1 sesuai Persamaan 3.75. Kemudian nilai M_2 dihitung dan diperoleh luas tulangan kembar A_{s2} serta jumlah batang n_2 sesuai persamaan 3.76 sampai 3.79.

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 3.80. Hasil penentuan tulangan longitudinal dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.49 Tulangan Longitudinal Balok B1

n1 sebelah	n2 kembar	n atas pakai	n bawah pakai	Tulangan Atas	Tulangan Bawah	Cek Spasi	Perletakan
5	2	7	5	7D19	5D19	OK	Tumpuan
2	2	3	4	3D19	4D19	OK	Lapangan

5.8.4 Verifikasi Momen Balok

Konfigurasi tulangan yang telah ditentukan diverifikasi dengan menghitung momen nominal tereduksi (ϕM_n), kemudian dibandingkan terhadap momen ultimit (M_u). Konfigurasi dinyatakan aman apabila $\phi M_n \geq M_u$. Perhitungan momen negatif mengacu pada Persamaan 3.81 sampai Persamaan 3.84, sedangkan momen positif mengacu pada Persamaan 3.85 sampai Persamaan 3.88 (Bab III). Hasil verifikasi balok B1 daerah tumpuan disajikan pada Tabel 5.50

Tabel 5.50 Verifikasi Momen Tumpuan Balok B1

Kondisi	M_u (Tm)	ϕM_n (Tm)	Keterangan
Momen negatif (M^-)	30,178	44,466	OK
Momen positif (M^+)	23,640	33,042	OK

Lalu untuk verifikasi untuk bagian lapangan dapat dilihat pada Tabel 5.51 berikut

Tabel 5.51 Verifikasi Momen Lapangan Balok B1

Kondisi	M_u (Tm)	ϕM_n (Tm)	Keterangan
Momen negatif (M^-)	8,88	19,89	OK
Momen positif (M^+)	12,54	24,47	OK

Kedua kondisi menunjukkan $\phi M_n \geq M_u$, sehingga konfigurasi tulangan lentur balok B1 dinyatakan mampu menahan momen ultimit yang bekerja.

5.8.5 Analisis Momen Kapasitas

Analisis momen kapasitas dilakukan untuk memastikan pembentukan sendi plastis yang daktail pada balok, dengan menerapkan faktor kuat lebih (*overstrength*) $O_s = 1,25$. Momen kapasitas negatif dihitung mengacu pada persamaan 3.89 sampai Persamaan 3.91, sedangkan momen kapasitas positif mengacu pada persamaan 3.92 sampai Persamaan 3.94 (Bab III). Rasio antara momen kapasitas dan momen nominal reduksi harus berada pada rentang $1,2 < \text{rasio} < 1,5$. Hasil analisis balok B1 daerah tumpuan disajikan pada Tabel 5.52

Tabel 5.52 Analisis Momen Kapasitas Balok B1 (Daerah Tumpuan)

Kondisi	Mn (Tm)	Mkap (Tm)	Rasio
Momen kapasitas negatif	49,407	61,212	1,24
Momen kapasitas positif	36,713	45,86	1,25

Lalu untuk daerah lapangan dapat dilihat pada Tabel 5.53 berikut

Tabel 5.53 Analisis Momen Kapasitas Balok B1 (Daerah Lapangan)

Kondisi	Mn (Tm)	Mkap (Tm)	Rasio
Momen kapasitas negatif	22,095	27,240	1,23
Momen kapasitas positif	27,187	37,249	1,37

Rasio momen kapasitas terhadap momen nominal berada pada rentang yang disyaratkan, sehingga mekanisme sendi plastis pada balok B1 terjamin berperilaku daktail.

5.8.6 Desain Penulangan Geser (Transversal)

Desain tulangan geser bertujuan menjamin keruntuhan struktur berlangsung daktail melalui lentur, bukan getas akibat geser. Gaya geser desain memperhitungkan gaya geser akibat beban gravitasi dan gaya geser akibat momen kapasitas balok pada daerah sendi plastis. Seluruh persamaan telah diuraikan pada Bab III, sehingga tahapannya dijelaskan satu per satu dengan merujuk persamaan tersebut.

Pertama, gaya geser akibat beban gravitasi ($V_{G,u}$) dihitung mengacu pada Persamaan 3.95. Kedua, gaya geser akibat beban gempa (V_E) yang bersumber dari momen kapasitas positif dan negatif balok dihitung mengacu pada Persamaan 3.96. Ketiga, gaya geser total ultimit (V_u) merupakan penjumlahan keduanya, dihitung mengacu pada Persamaan 3.97.

Selanjutnya, pada daerah sendi plastis (daerah tumpuan) gaya yang harus ditahan sengkang (V_s) dihitung mengacu pada Persamaan 3.98 dan jarak sengkang (s) mengacu pada Persamaan 3.99, dengan syarat spasi tidak melebihi $d/4$, 8 kali diameter tulangan pokok, 24 kali diameter sengkang, dan 300 mm. Pada daerah di luar sendi plastis (daerah lapangan), kontribusi kuat geser beton (V_c) diperhitungkan mengacu pada Persamaan 3.100 dan kebutuhan sengkang mengacu

pada Persamaan 3.101. sehingga untuk penulangan geser pada balok B1 dapat dilihat pada Tabel 5.54 berikut

Tabel 5.54 Penulangan Geser Balok B1

Tipe	B1
Vu Tumpuan (kN)	298,0649
Vu Lapangan (kN)	32,1104
Vg (kN)	83,2181
Diameter Sengkang (mm)	10
Spasi Tumpuan (mm)	100
Sengkang Pakai Tumpuan	2D10 - 100
Sengkang Pakai Lapangan	2D10 - 150

Lalu dicek untuk persyaratan $\phi V_n > V_n$ yang dapat dilihat pada Tabel 5.55 berikut

Tabel 5.55 Pengecekan Kuat Geser Balok B1

	Vu	ϕV_n	Status
Tumpuan	298	306	OK
Lapangan	32	367	OK

Dimana untuk tumpuan dan lapangan yang dipasang tulangan geser telah memenuhi syarat sehingga dikatakan aman.

5.8.7 Rekapitulasi Penulangan Longitudinal dan Tranversal Balok

Untuk semua balok yang dipakai pada objek penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.56 berikut

Tabel 5.56 Rekapitulasi *Design* Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Lentur (Pokok)				Tul. Geser (Sengkang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	350	700	7D19	5D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150

Lanjutan Tabel 5.56 Rekapitulasi Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B2	300	650	4D19	4D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3	300	550	4D19	4D19	3D19	4D19	3D10 - 100	2D10 - 150
B1A	350	600	4D19	4D19	4D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B2A	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150
B3A	300	500	4D19	3D19	3D19	4D19	2D10 - 100	2D10 - 150

5.9 Komponen Struktur Kolom

Selain balok, elemen kolom juga didesain sebagai bagian dari analisis struktur. Desain penulangan kolom meliputi penulangan longitudinal (pokok) dan penulangan transversal (senggang/pengekang), dengan penulangan longitudinal ditentukan melalui diagram interaksi gaya aksial-momen (M_n-P_n) menggunakan bantuan program spColumn. Persamaan penyusun diagram interaksi M_n-P_n dan persamaan tulangan transversal telah diuraikan pada Bab III (persamaan 3.102 sampai persamaan 3.127), sehingga pada bab ini cukup dirujuk. Persamaan yang belum tercantum pada Bab III, yaitu pengecekan strong column weak beam dan pengecekan geser kolom, dicantumkan pada bab ini. Sebagai contoh perhitungan diambil kolom K1, sedangkan hasil kolom lainnya disajikan dalam rekapitulasi

5.9.1 Data Awal Kolom

Data awal desain kolom K1 mencakup dimensi penampang, properti material, dan gaya dalam hasil analisis, sebagaimana disajikan pada Tabel 5.57

Tabel 5.57 Data Awal Kolom K1

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Panjang/tinggi kolom	L	4000	mm
Sisi pendek kolom	b	600	mm
Sisi panjang kolom	h	600	mm
Tinggi balok	hb	700	mm
Tinggi bersih kolom	$L_n = L - hb$	3300	mm
Diameter tulangan longitudinal	Dp	19	mm
Diameter tulangan sengkang	ds	13	mm
Selimut bersih	cc	40	mm
Mutu beton	f _c	35	MPa
Mutu baja longitudinal	f _y	420	MPa
Mutu baja transversal	f _y	420	MPa

Lalu bersumber dari hasil analisis *software* ETABS didapatkan gaya-gaya kolom yang dapat dilihat pada Tabel 5.59 untuk aksial lentur dan Tabel 5.58 untuk gaya gesernya

Tabel 5.58 Gaya Dalam Kolom Aksial Lentur

Jenis Kolom		P	M _x	M _y
K1	P _{max}	-44,7277	-1,0207	48,6072
	P _{min}	-1542,28	-10,5466	-6,7329
	M _x Max	-1108,66	482,7025	139,6724
	M _x Min	-1300,13	-482,051	-143,9362
	M _y Max	-1434,27	38,5815	526,3903
	M _y Min	-1469,79	-0,2453	-525,1607

Tabel 5.59 Gaya Dalam Kolom Geser

Tumpuan	
V2 (kN)	183,4738
V3 (kN)	169,8363
Lapangan	
V2 (kN)	183,4738
V3 (kN)	169,8363

Sebelum penulangan, dilakukan pemeriksaan syarat gaya dan geometri sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2, yaitu gaya aksial terfaktor melampaui sebagai berikut

$$P_u = 0,1 \times A_g \times f'_c \quad (5.22)$$

Dengan persamaan tersebut dapat dihitung untuk syarat geometri seperti dibawah ini

$$\begin{aligned} P_u &= 0,1 \times 360000 \times 35 \\ &= 1260000 \end{aligned}$$

Hasil nilai P_u sudah melebihi dari gaya dalam kolom kondisi P minimum sehingga dikatakan aman. Lalu diikuti persyaratan sisi terpendek harus lebih dari 300 mm dan terpenuhi dan juga rasio antar sisi kolom lebih dari 0,4

5.9.2 Desain Penulangan Longitudinal

Penulangan longitudinal ditentukan secara trial dengan meninjau rasio tulangan (ρ) yang harus berada pada rentang $1\% \leq \rho \leq 6\%$ sesuai SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.1. Untuk kolom K1 digunakan 16 tulangan D19 sehingga pengecekan persyaratan dapat dilihat pada Tabel 5.60 berikut

Tabel 5.60 Pengecekan Rasio Tulangan Kolom

Jumlah Tulangan, n	16
Luas Tulangan Longitudinal, A_s	4536,46
Rasio Tulangan, ρ	1,26%
Cek $\rho_{\min}$ dan $\rho_{\max}$	OK

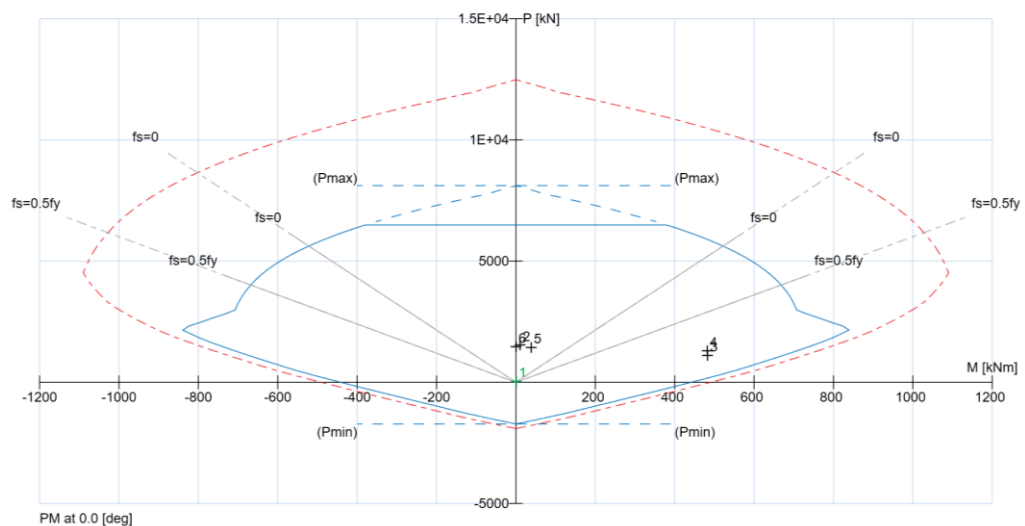
Kapasitas penampang diperiksa melalui diagram interaksi Mn-Pn yang disusun berdasarkan Persamaan 3.102 sampai Persamaan 3.114 (Bab III), yang mencakup kondisi tekan sentris, regangan seimbang, keruntuhan tekan, keruntuhan tarik, lentur murni, dan tarik murni. Penyusunan diagram dibantu program *spColumn*.

Titik-titik gaya dalam (P_u , M_u) hasil analisis kemudian diplot pada diagram, penampang dinyatakan aman apabila seluruh titik berada di dalam kurva interaksi, atau setara dengan $\phi M_n \geq M_u$ untuk setiap kombinasi. Hasil pemeriksaan disajikan pada Tabel 5.61 dan diagram interaksinya ditunjukkan pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5

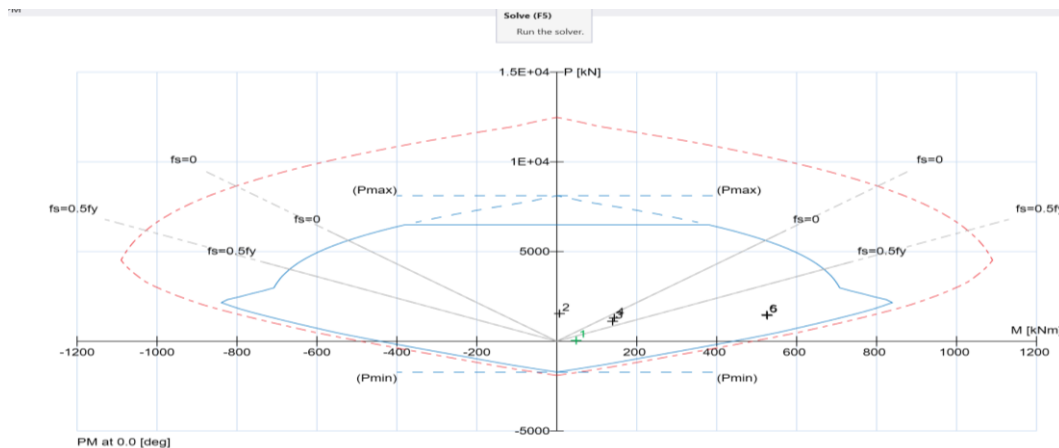
Tabel 5.61 Pengecekan Kapasitas Kolom K1 terhadap Diagram Interaksi

Kombinasi	P_u (kN)	M_{ux} (kNm)	ϕM_{nx} (kNm)	M_{uy} (kNm)	ϕM_{ny} (kNm)	Keterangan
1	44,73	1,02	452,34	48,61	452,34	Aman
3	1108,7	482,70	673,44	139,67	673,44	Aman
4	1300,1	482,05	708,43	143,94	708,43	Aman
5	1434,3	38,58	732,23	526,39	732,23	Aman
6	1469,8	0,25	738,43	525,16	738,43	Aman

Seluruh kombinasi menunjukkan $\phi M_n \geq M_u$, sehingga konfigurasi 16D19 mampu menahan kombinasi aksial-momen yang bekerja pada kolom K1.



Gambar 5.4 Diagram Interaksi Mn-Pn Arah X



Gambar 5.5 Diagram Interaksi Mn-Pn Arah Y

5.9.3 Pengecekan *Strong Column Weak Beam* (SCWB)

Prinsip strong column weak beam (SCWB) sebagaimana diuraikan pada Sub-subbab 3.3.3 (Bab III) mensyaratkan kolom lebih kuat dari balok agar sendi plastis terbentuk pada balok, bukan pada kolom. Persamaan pengecekan SCWB belum tercantum pada Bab III sehingga dinyatakan pada Persamaan 5.23 mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2.

$$2 \times M_{nc} \geq 1,2 \times (M_{nb}^- + M_{nb}^+) \quad (5.23)$$

Keterangan:

M_{nc} = momen nominal kolom

M_{nb} = momen nominal balok

Untuk kolom K1 dengan $M_{nc} = 1005,2$ kNm, hasil pengecekan pada arah X dan Y disajikan pada Tabel 5.62.

Tabel 5.62 Pengecekan SCWB

Arah / Sisi	$2 \cdot M_{nc}$ (kNm)	$M_{nb}^- + M_{nb}^+$ (kNm)	$1,2 \cdot \Sigma M_{nb}$ (kNm)	Ket.
X - kanan	2010,4	464,76	557,71	OK
X - kiri	2010,4	760,36	912,43	OK

Lanjutan Tabel 5.62 Pengecekan SCWB

Arah / Sisi	$2 \cdot M_{nc}$ (kNm)	$M_{nb}^- + M_{nb}^+$ (kNm)	$1,2 \cdot \Sigma M_{nb}$ (kNm)	Ket.
Y - atas	2010,4	760,36	912,43	OK
Y - bawah	2010,4	464,76	557,71	OK

Nilai $2 \cdot M_{nc}$ lebih besar dari $1,2 \cdot \Sigma M_{nb}$ pada seluruh sisi, sehingga syarat SCWB terpenuhi dan mekanisme keruntuhan diarahkan pada balok.

5.9.4 Desain Tulangan Transversal (Confinement)

Tulangan transversal dirancang sebagai sengkang pengekan pada zona sendi plastis dan sengkang biasa di luar zona tersebut, mengacu pada persamaan 3.115 sampai persamaan 3.127 (Bab III). Panjang zona sendi plastis (l_o) diambil nilai terbesar dari tinggi penampang kolom, seperenam tinggi bersih, dan 450 mm. Panjang zona sendi plastis dapat dilihat pada Tabel 5.63 berikut

Tabel 5.63 Panjang Zona Sendi Plastis

Parameter	Nilai	Satuan
l_{o1}	600	mm
l_{o2}	550	mm
l_{o3}	450	mm
l_o Pakai	600	mm

Kebutuhan luas tulangan pengekan ($A_{sh/s}$) dihitung dari Persamaan 3.116 sampai Persamaan 3.125 dan dibandingkan terhadap nilai minimumnya. Hasil untuk kolom K1 disajikan pada Tabel 5.64

Tabel 5.64 Pengecekan Tulangan Transversal (Confinement) Kolom K1

Parameter	Nilai	Satuan	Ket.
Spasi terpasang, s	100	mm	
Jumlah kaki (pendek $\times$ panjang)	4×4		
$A_{sh/s}$ terpasang	5,309	mm ² /mm	
$A_{sh/s}$ min-1	4,308	mm ² /mm	OK

Lanjutan Tabel 5.64 Pengecekan Tulangan Transversal (Confinement)**Kolom K1**

Parameter	Nilai	Satuan	Ket.
Ash/s min-2	3,900	mm ² /mm	OK
smax	114	mm	OK

Nilai Ash/s terpasang lebih besar dari kedua nilai minimum dan spasi terpasang (100 mm) tidak melebihi spasi maksimum (114 mm), sehingga kebutuhan pengekan terpenuhi. Digunakan sengkang 4D13-100 pada zona sendi plastis dan 2D13-100 di luar zona sendi plastis.

5.9.5 Pengecekan Geser Kolom

Gaya geser desain kolom diambil dari nilai terbesar antara gaya geser akibat momen *probable* (Mpr) kolom dan gaya geser hasil analisis. Persamaan geser kolom belum tercantum pada Bab III sehingga dinyatakan pada Persamaan 5.24 sampai Persamaan 5.26 berikut, mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 18.7.6 dan Pasal 22.5.

$$V_u = 2 \times M_{pr} / L_n \quad (5.24)$$

$$V_c = 0,17 \times (1 + N_u / (14 \times A_g)) \times \sqrt{f_c} \times b \times d \quad (5.25)$$

$$V_s = V_u / \phi - V_c \quad (5.26)$$

Sehingga untuk kolom K1 dengan $M_{pr} = 913,22$ kNm, $L_n = 3300$ mm, dan $\phi = 0,75$ diperoleh:

$$\begin{aligned} V_u &= 2 \times 913,22 / 3,3 \\ &= 553,47 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_c = 0,17 \times (1 + 44,72 / (14 \times 360000)) \times \sqrt{35} \times 600 \times 537,5$$

$$= 327,23 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_s &= (553,47 / 0,75) - 327,23 \\ &= 410,73 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser tersebut dipenuhi oleh konfigurasi sengkang hasil desain confinement, sehingga kapasitas geser kolom K1 dinyatakan aman.

5.9.6 Rekapitulasi Penulangan Kolom

Rekapitulasi hasil desain penulangan seluruh tipe kolom pada model contoh disajikan pada Tabel 5.65, mencakup tulangan longitudinal serta tulangan transversal pada zona sendi plastis (tumpuan) dan di luar zona sendi plastis (lapangan).

Tabel 5.65 Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Sengkang tumpuan	Sengkang lapangan
K1	600 × 600	16D19	4D13-100	2D13-100
K2	550 × 550	12D19	4D13-100	2D13-100
K3	400 × 400	12D19	4D13-100	2D13-100

5.10 Rekapitulasi *Input* dan *Output*

Setiap baris data terdiri atas tujuh variabel *input* dan enam variabel *output* yang selanjutnya dihimpun dalam satu rekapitulasi. Variabel *input* meliputi $S_{DS} \times I_e$, $S_{D1} \times I_e$, sisi pendek kolom (b), jumlah lantai, mutu beton (f'_c), tinggi balok (H), dan bentang balok (L). Sementara itu, variabel *output* dibatasi pada kebutuhan tulangan kolom, yang mencakup luas tulangan longitudinal kolom dan luas tulangan transversal pada daerah tumpuan dan lapangan. Rekapitulasi keseluruhan variabel *input* dan *output* disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5.66 Data Input

Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f'c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	1,46124	0,775	600	6	35	700	5000
K1-B2	1,46124	0,775	600	6	35	650	4000
K1-B3	1,46124	0,775	600	6	35	550	3000
K1-B1A	1,46124	0,775	600	6	35	600	5000
K1-B2A	1,46124	0,775	600	6	35	500	4000
K1-B3A	1,46124	0,775	550	6	35	500	3000
K2-B1	1,46124	0,775	550	6	35	700	5000
K2-B2	1,46124	0,775	550	6	35	650	4000
K2-B3	1,46124	0,775	550	6	35	550	3000
K2-B1A	1,46124	0,775	550	6	35	600	5000
K2-B2A	1,46124	0,775	550	6	35	500	4000
K2-B3A	1,46124	0,775	550	6	35	500	3000
K3-B1	1,46124	0,775	400	6	35	700	5000
K3-B2	1,46124	0,775	400	6	35	650	4000
K3-B3	1,46124	0,775	400	6	35	550	3000
K3-B1A	1,46124	0,775	400	6	35	600	5000
K3-B2A	1,46124	0,775	400	6	35	500	4000
K3-B3A	1,46124	0,775	400	6	35	500	3000

Tabel 5.67 Data Output

Pasangan	As Longitudinal kolom (cm ²)	As Transversal Kolom Tumpuan (cm ²)	As Transversal Kolom Lapangan (cm ²)
K1-B1	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B1A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B1	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B2	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B3	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B1A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B2A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B3A	3402,344844	6,63662	1,32733
K3-B1	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B2	3402,344844	5,3093	1,32733

Lanjutan Tabel 5.67 Data Output

Pasangan	As Longitudinal kolom (cm ²)	As Transversal Kolom Tumpuan (cm ²)	As Transversal Kolom Lapangan (cm ²)
K3-B3	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B1A	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B2A	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733

5.10.1 Rekapitulasi Total Dataset ANN

Prosedur yang sama diulang untuk keseluruhan 50 analisis yang dilakukan. Jumlah pasangan data antar analisis tidak selalu sama karena sebagian konfigurasi bangunan hanya memiliki dua tipe kolom, sehingga menghasilkan pasangan kolom-balok yang lebih sedikit. Dari keseluruhan 50 analisis diperoleh total 866 baris data yang terdiri dari 7 variabel input dan 3 variabel output. Dataset inilah yang selanjutnya digunakan sebagai data pelatihan dan pengujian model ANN menggunakan MATLAB. Rekapitulasi total dataset ditampilkan pada Lampiran.

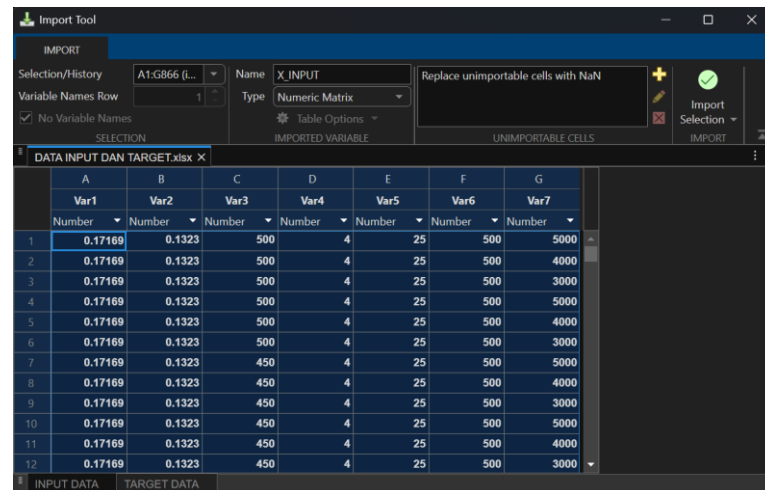
5.11 Pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN)

Setelah dataset dikumpulkan pada Subbab 5.10, tahap selanjutnya adalah membangun dan melatih model *Artificial Neural Network* (ANN) menggunakan *software* MATLAB.

5.11.1 Persiapan Data ke MATLAB

Data *input* dan *output* yang telah dihimpun dalam Microsoft Excel disusun menjadi dua matriks terpisah. Matriks *input* memiliki dimensi (866 x 7), yang terdiri atas 866 baris data dan tujuh variabel *input*, sedangkan matriks *output* berukuran (866 x 3), yang memuat 866 baris data dan tiga variabel *output* tulangan kolom. Selanjutnya, kedua matriks tersebut dimasukkan ke dalam workspace MATLAB menggunakan fitur *Import Data*. Pada jendela *Import Tool*, matriks input ditetapkan dengan nama X_INPUT, sedangkan matriks *output* diberi nama Y_TARGET, dengan keduanya menggunakan tipe data *Numeric Matrix*. Proses

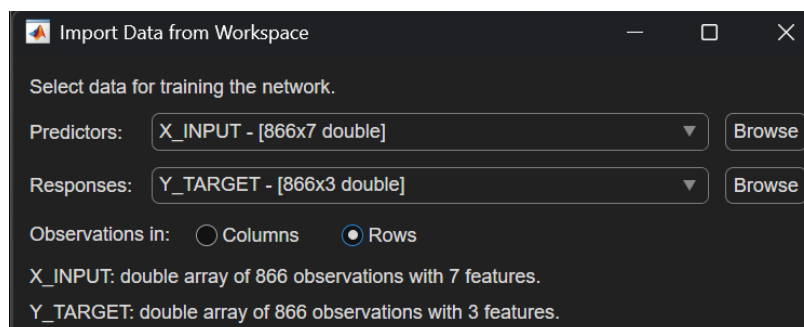
Import Selection kemudian dilakukan agar kedua variabel tersebut dapat digunakan dalam tahapan pelatihan model. Tahap ini dapat dilihat pada Gambar berikut



Gambar 5.6 Tahap *Import* Data ke MATLAB

5.11.2 Parameter Pelatihan ANN

Proses pelatihan model *Artificial Neural Network* (ANN) dilakukan menggunakan fitur *Neural Network Fitting* yang diakses melalui perintah `nftool`. Fitur tersebut merupakan antarmuka grafis bawaan MATLAB yang dirancang untuk menyelesaikan permasalahan regresi dan *function fitting* dengan menerapkan jaringan saraf tiruan. Dalam penelitian ini, `nftool` dimanfaatkan untuk membangun model yang dapat memprediksi luas tulangan kolom sebagai *output* numerik berdasarkan sejumlah variabel *input* numerik. Setelah itu pada menu `nftool` dimasukkan data *input* dan *ouput* nya yang dapat dilihat seperti Gambar berikut



Gambar 5.7 Tahap *Import* Data ke *Neural Network Fitting*

Variabel *X_INPUT* ditetapkan sebagai Predictors (data *input*) dan *Y_TARGET* sebagai *Responses* (data target *output*), dengan orientasi observasi ditetapkan sebagai baris (*rows*). Arsitektur jaringan yang digunakan adalah *feedforward multilayer perceptron* dengan satu lapisan tersembunyi (*hidden layer*) berisi 10 neuron, mengacu pada Sub-subbab 3.9.1 (Bab III). Pembagian data dilakukan secara acak dengan komposisi 70% data pelatihan, 15% data validasi, dan 15% data pengujian. Fungsi evaluasi kinerja menggunakan indikator *Mean Squared Error* (MSE). Parameter pelatihan ditetapkan maksimal 1.000 epoch dengan *validation checks* sebanyak 6 kali berturut-turut tanpa perbaikan. Konfigurasi pelatihan disajikan pada Tabel 5.68

Tabel 5.68 Konfigurasi Pelatihan Model ANN

Parameter	Nilai
Jumlah data	866 data
Jumlah variabel input	7 <i>input</i>
Jumlah variabel output	3 <i>output</i>
Arsitektur	<i>Feedforward</i> MLP, 1 <i>hidden layer</i> (10 neuron)
Data pelatihan	70% (606 data)
Data validasi	15% (130 data)
Data pengujian	15% (130data)
Fungsi kinerja	<i>Mean Squared Error</i> (MSE), R (<i>Regression</i>)
Epoch maksimum	1.000
Validation checks	6

Data yang digunakan dalam pelatihan, validasi, dan pengujian dapat dilihat pada lampiran 1 - 27

5.11.3 Hasil Pelatihan Model ANN

Setelah melakukan proses pelatihan pada *model* ANN yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan hasil pelatiahannya pada Tabel 5.69 berikut

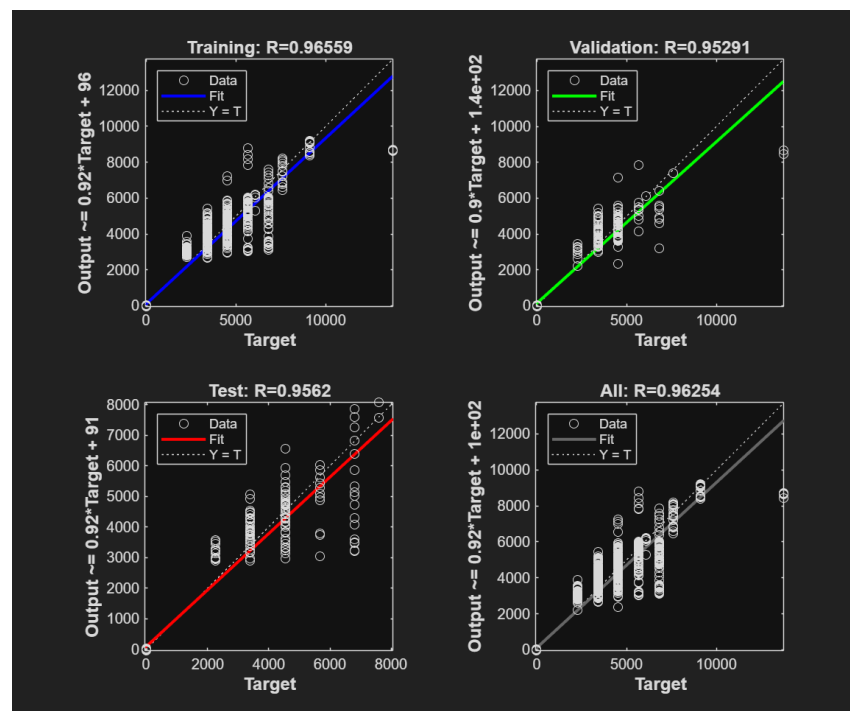
Training Progress			
Unit	Initial Value	Stopped Value	Target Value
Epoch	0	15	1000
Elapsed Time	-	00:00:01	-
Performance	1.03e+08	2.86e+05	0
Gradient	1.59e+08	3.01e+05	1e-07
Mu	0.001	10	1e+10
Validation Checks	0	6	6

Gambar 5.8 Hasil Pelatihan Model ANN

Tabel 5.69 Hasil Proses Pelatihan Model ANN

Data	Jumlah Data Observasi	MSE	R
Pelatihan (Training)	606	3.8897e+05	0,9656
Validasi (Validation)	130	4.8381e+05	0,9529
Pengujian (Test)	130	3.8897e+05	0,9562

Evaluasi kinerja model ANN dilakukan melalui *Regression Plot* yang menampilkan hubungan antara nilai *output* prediksi model dan nilai target aktual. Grafik regresi hasil pelatihan ditunjukkan pada Gambar 5.9

**Gambar 5.9 Regression Plot hasil pelatihan ANN**

Berdasarkan grafik regresi yang dihasilkan, nilai koefisien korelasi (R) pada setiap subset data ditampilkan dalam Tabel 5.69. Nilai (R) yang mendekati satu atau lebih besar dari 0,95 pada seluruh *subset* menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara hasil prediksi model ANN dan nilai target aktual. Dengan demikian, model ANN yang dikembangkan memiliki tingkat ketepatan yang baik dan dinilai layak digunakan untuk memprediksi kebutuhan tulangan kolom beton bertulang dalam lingkup penelitian ini.

5.11.4 Persamaan Empiris Model ANN

Berdasarkan hasil 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

Berdasarkan pemeriksaan data target, diketahui bahwa output ketiga, yaitu luas tulangan transversal kolom di luar zona sendi plastis atau daerah lapangan, memiliki nilai konstan pada seluruh data, yaitu sebesar 1,32733. Nilai minimum dan maksimum pada *output* tersebut sama, sehingga tidak terdapat variasi pola yang dapat dipelajari oleh jaringan. Oleh karena itu, MATLAB secara otomatis memproses dua *output* aktif yang memiliki variasi nilai, sedangkan *output* ketiga dinyatakan sebagai nilai tetap.

Dengan demikian, arsitektur model empiris ANN yang digunakan dalam penyusunan persamaan adalah 7 – 10 – 2, yaitu 7 variabel input, 10 neuron pada hidden layer, dan 2 *output* aktif. *Output* ketiga tetap dicantumkan sebagai hasil model, tetapi dinyatakan dalam bentuk konstanta. Untuk mempermudah perhitungan rumus untuk 7 *input* yang ada di definisikan agar bisa mudah terbaca oleh *software* MATLAB. Definisi yang diterapkan pada setiap *input* dapat dilihat pada Tabel 5.70 berikut

Tabel 5.70 Definisi *Input* Pakai

Parameter <i>Input</i>	Satuan	Definisi
SDS×I _e		X ₁
SD1×I _e		X ₂
b kolom	mm	X ₃
Lantai	lantai	X ₄
f _c	Mpa	X ₅
Tinggi Balok	mm	X ₆
Bentang Balok	mm	X ₇

Lalu tahap pertama adalah dapat menghitung rumus normalisasi *input* dengan persamaan berikut

$$x_i = \frac{2(X_i - X_{i,\min})}{X_{i,\max} - X_{i,\min}} - 1 \quad (5.27)$$

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

$$z_j = b_{1j} + \sum_{i=1}^7 I W_{ji} x_i \quad (5.28)$$

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

$$h_j = \frac{2}{1+e^{-2z_j}} - 1 \quad (5.29)$$

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*

lalu dengan didapatkan sesuai keterangan yang telah dijelaskan bahwa *output* aktif yang dipakai ada 2 maka dapat digunakan rumus *output* layer sebagai berikut

$$y_k = b_{2k} + \sum_{j=1}^{10} L W_{kj} h_j \quad (5.30)$$

Dengan Batas Indeks

$$k = 1, 2$$

Keterangan:

y_k = nilai output ANN ke- k dalam bentuk normalisasi

b_{2k} = bias output layer ke- k

LW_{kj} = bobot dari neuron hidden layer ke- j menuju output ke- k

h_j = hasil aktivasi neuron hidden layer ke- j

k = indeks output aktif ANN, yaitu output 1 dan output 2

Lalu untuk *output* pertama dengan rumus

$$y_1 = b_{21} + \sum_{j=1}^{10} L W_{1j} h_j \quad (5.31)$$

Keterangan:

- y_1 = *output* ANN pertama dalam bentuk normalisasi
 b_{21} = bias pada *output* pertama
 LW_{1j} = bobot dari hidden neuron ke- j menuju *output* pertama
 h_j = hasil aktivasi neuron hidden layer ke- j

Dan *output* kedua dengan rumus

$$y_2 = b_{22} + \sum_{j=1}^{10} L W_{2j} h_j \quad (5.32)$$

Keterangan:

- y_2 = *output* ANN pertama dalam bentuk normalisasi
 b_{22} = bias pada *output* pertama
 LW_{2j} = bobot dari hidden neuron ke- j menuju *output* pertama
 h_j = hasil aktivasi neuron hidden layer ke- j

Lalu tahap terakhir menghitung denormalisasi *output* dengan rumus berikut

$$Y_k = \frac{(y_k+1)(Y_{k,\max}-Y_{k,\min})}{2} + Y_{k,\min} \quad (5.33)$$

Dengan batas indeks

$$k = 1,2$$

Keterangan:

- Y_k = *output* prediksi ke- k dalam satuan asli
 y_k = *output* ANN ke- k dalam bentuk normalisasi

$Y_{k,\min}$	= nilai minimum <i>output</i> ke- k
$Y_{k,\max}$	= nilai maksimum <i>output</i> ke- k
k	= indeks <i>output</i> aktif ANN, yaitu 1 dan 2

Selanjutnya dapat dihitung hasil *output*nya dengan rumus - rumus berikut

$$Y_1 = \frac{(y_1+1)(Y_{1,\max}-Y_{1,\min})}{2} + Y_{1,\min} \quad (5.34)$$

Keterangan:

Y_1	= hasil prediksi luas tulangan longitudinal kolom
y_1	= <i>output</i> normalisasi pertama dari ANN
$Y_{1,\min}$	= nilai minimum target <i>output</i> pertama
$Y_{1,\max}$	= nilai maksimum target <i>output</i> pertama

$$Y_2 = \frac{(y_2+1)(Y_{2,\max}-Y_{2,\min})}{2} + Y_{2,\min} \quad (5.35)$$

Keterangan:

Y_2	= hasil prediksi luas tulangan longitudinal kolom
y_2	= <i>output</i> normalisasi pertama dari ANN
$Y_{2,\min}$	= nilai minimum target <i>output</i> kedua
$Y_{2,\max}$	= nilai maksimum target <i>output</i> kedua

Dan untuk *output* ketiga tetap sama

Setelah didapat semua rumus empiris nya, ada beberapa tahapan untuk menghitung langsung semua nilai parameter rumus empiris tersebut dari MATLAB dengan menjalankan beberapa *code* pada *workspace* MATLAB. Berikut tahapan dalam mengeluarkan nilai-nilai tersebut

1. Pemeriksaan Ukuran Data awal

Tahap awal dilakukan dengan memeriksa dimensi data *input* dan target yang telah diimpor ke MATLAB. Pemeriksaan ukuran data diperlukan untuk memastikan bahwa jumlah data dan jumlah variabel telah sesuai sebelum dilakukan proses pelatihan model ANN. Dapat dilakukan dengan menjalankan *code* berikut

```
disp(size(X_INPUT))
disp(size(Y_TARGET))
```

nama disesuaikan dengan penamaan yang dilakukan pada subbab 5.11.1

2. *Transpose* data *input* dan target

Data yang diimpor dari Microsoft Excel memiliki format baris sebagai jumlah data dan kolom sebagai variabel. Pada *Neural Network Fitting* di MATLAB, data *input* dan target disusun dalam format jumlah variabel sebagai baris dan jumlah data sebagai kolom. Oleh karena itu, data *input* dan target perlu dilakukan *transpose* agar format data menjadi sesuai dengan kebutuhan pelatihan jaringan. Tahap ini dapat dilakukan dengan menjalankan *code* berikut

```
if size(X_INPUT,1) > size(X_INPUT,2)
    X_INPUT = X_INPUT';
end

if size(Y_TARGET,1) > size(Y_TARGET,2)
    Y_TARGET = Y_TARGET';
end
```

3. Pemeriksaan nilai minimum, maksimum, dan rentang target

Pemeriksaan nilai minimum, maksimum, dan rentang data target dilakukan untuk mengetahui karakteristik masing-masing variabel *output*. Berdasarkan hasil pemeriksaan, terdapat satu variabel output yang memiliki nilai minimum dan maksimum yang sama, sehingga variabel tersebut bersifat konstan pada seluruh data. Tahap ini dapat dilakukan dengan menjalankan *code* berikut

```

Ymin_all = min(Y_TARGET,[],2);
Ymax_all = max(Y_TARGET,[],2);
Yrange_all = Ymax_all - Ymin_all;

```

4. Pelatihan model menggunakan *nftool*

Pada tahap ini mengulang tahapan pada subbab 5.11.2

5. Pengambilan model hasil *training*

Model ANN hasil pelatihan dari *nftool* diekspor ke *Workspace* MATLAB dengan nama *net3*. Karena hasil *export* berbentuk struktur data, jaringan ANN yang telah dilatih diambil dari bagian *Network*. Tahap ini dapat dilakukan dengan menjalankan *code* berikut

```
model = net3.Network;
```

6. Melakukan pengambilan dan pemeriksaan bobot dan bias, pemeriksaan fungsi aktivasi lalu mengambil nilai maksimum dan minimum *input* dan *output*

Tahap ini dapat dilakukan dengan menjalankan *code* berikut

```

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))

funksi_hidden = model.layers{1}.transferFcn;
funksi_output = model.layers{2}.transferFcn;

disp(funksi_hidden)
disp(funksi_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

disp(size(X_data))
disp(size(Y_data))

Xmin = min(X_data,[],2);
Xmax = max(X_data,[],2);

Ymin_all = min(Y_data,[],2);
Ymax_all = max(Y_data,[],2);

```

```
Yrange_all = Ymax_all - Ymin_all;
```

```
Ymin = min(Y_data(1:2,:),[],2);
```

```
Ymax = max(Y_data(1:2,:),[],2);
```

```
Ykonstan = Y_data(3,1);
```

```
disp(Xmin)
```

```
disp(Xmax)
```

```
disp(Ymin_all)
```

```
disp(Ymax_all)
```

```
disp(Yrange_all)
```

```
disp(Ymin)
```

```
disp(Ymax)
```

```
disp(Ykonstan)
```

```
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)'
```

```

};

T_Xminmax = table((1:7)', Nama_Input, Xmin, Xmax, ...
    'VariableNames', {'Input_ke','Variabel_Input','Xmin','Xmax'});

Nama_Output = {
    'As longitudinal kolom';
    'As transversal kolom tumpuan'
};

T_Yminmax = table((1:2)', 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_Rumus_Empiris_ANN.xlsx','Sheet
','Xmin_Xmax');
writetable(T_Yminmax,'Parameter_Rumus_Empiris_ANN.xlsx','Sheet
','Ymin_Ymax');
writetable(T_IW,'Parameter_Rumus_Empiris_ANN.xlsx','Sheet','IW');
writetable(T_b1,'Parameter_Rumus_Empiris_ANN.xlsx','Sheet','b1');

```

```
writetable(T_LW,'Parameter_Rumus_Empiris_ANN.xlsx','Sheet','LW'
);
writetable(T_b2,'Parameter_Rumus_Empiris_ANN.xlsx','Sheet','b2');
```

dari codingan-codingan tersebut bisa didapat hasil-hasil yang dibutuhkan dalam bentuk *xlsx*. Yang dapat dilihat pada tabel-tabel berikut

Tabel 5.71 Nilai Minimum dan Maksimum Variabel *Input*

<i>Input</i>	Xmin	Xmax
1	0,10044667	1,678
2	0,0765	1,02
3	350	850
4	4	11
5	25	35
6	400	800
7	3000	8000

Tabel 5.72 Nilai Minimum dan Maksimum *Output* Aktif

<i>Output</i>	Ymin	Ymax
1	2268,2299	13744,468
`12	3,98197	7,96394

Tabel 5.73 Bobot *Input-Hidden Layer* (IW)

IW1	IW2	IW3	IW4	IW5	IW6	IW7
-1,262	1,223	-3,576	-1,557	-0,214	0,415	0,185
-4,215	3,739	-3,718	2,296	13,830	2,279	-1,865
-1,444	2,146	-1,984	1,055	-0,008	0,204	0,015
4,428	-3,974	-6,449	4,195	7,330	-0,436	5,813
13,592	-17,586	-1,789	1,522	-1,673	0,947	-0,040
-71,412	30,725	10,639	3,307	24,992	4,701	1,381
146,717	-294,138	-57,604	-82,722	409,666	121,984	248,142
6,072	-1,039	-2,958	-4,824	-23,077	6,742	7,515
20,840	-8,759	14,113	-0,557	-6,305	-17,626	3,615
1224,629	3767,106	-3119,21	-4424,57	716,733	-5858,731	-9756,598

Tabel 5.74 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 5.75 Bobot *Hidden-Output Layer* 1-5(LW)

LW1	LW2	LW3	LW4	LW5
-0,267	0,067	-0,369	0,044	-0,137
-4,968	-4,925	41,807	-2,168	-39,065

Tabel 5.76 Bobot *Hidden-Output Layer* 6-10(LW)

LW6	LW7	LW8	LW9	LW10
-0,017	-0,012	0,049	-0,038	-0,021
4,805	18,910	13,102	-3,587	11,235

Tabel 5.77 Bias *Output Layer* (b2)

b2
-0,20147184
12,47090988

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada penelitian penerapan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk menganalisis kebutuhan tulangan kolom beton bertulang pada struktur bangunan gedung, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Penerapan *Artificial Neural Network* (ANN) dalam menentukan kebutuhan tulangan kolom dilakukan dengan membangun model jaringan saraf tiruan berdasarkan data hasil analisis struktur. Data dikumpulkan dari 50 model bangunan yang menghasilkan 866 baris pasangan data *input-output*. Model menggunakan 7 parameter input, yaitu $SDS \times I_e$, $SD1 \times I_e$, sisi pendek kolom (b), jumlah lantai, mutu beton (f_c), tinggi balok (H), dan bentang balok (L), serta 3 parameter output berupa kebutuhan tulangan kolom, yang mencakup luas tulangan longitudinal kolom dan luas tulangan transversal pada daerah tumpuan dan lapangan. Model dibangun menggunakan arsitektur *feedforward multilayer perceptron* dengan satu lapisan tersembunyi berisi 10 neuron pada *software* MATLAB, dengan pembagian data 70% pelatihan, 15% validasi, dan 15% pengujian. Hasil pelatihan memperoleh nilai koefisien korelasi (R) lebih dari 0,95 atau mendekati nilai 1 dan *Mean Squared Error* (MSE) yang kecil sehingga menunjukkan bahwa model ANN mampu mempelajari hubungan antara parameter input dan kebutuhan tulangan balok dengan tingkat kesesuaian yang kuat
2. Hasil analisis kebutuhan tulangan kolom menggunakan ANN dibandingkan terhadap hasil perhitungan manual (konvensional). Perbandingan tersebut ditinjau melalui nilai koefisien korelasi (R) mendekati 1 dan nilai *Mean Squared Error* (MSE) kecil. Nilai R yang mendekati 1 dan nilai MSE yang kecil menunjukkan bahwa hasil prediksi ANN mendekati hasil perhitungan manual.

Dengan demikian, metode ANN dapat digunakan sebagai alternatif yang lebih cepat dan efisien dalam mengestimasi kebutuhan tulangan kolom tanpa mengurangi ketepatan hasil, sekaligus dapat mempersingkat proses perancangan dibandingkan metode konvensional.

3. Mendapatkan rumus empiris dari hasil penggunaan ANN sehingga dapat menghitung secara manual

6.2 Saran

Berdasarkan pelaksanaan dan hasil penelitian, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Jumlah dan variasi data pelatihan dapat diperbanyak agar model ANN memiliki kemampuan generalisasi yang lebih baik dan hasil prediksi yang lebih stabil pada rentang parameter yang lebih luas.
2. Parameter *input* dapat diperluas, misalnya dengan menambahkan kelas situs/jenis tanah, tinggi antar lantai, atau mutu baja tulangan, sehingga model dapat menangkap pengaruh faktor lain terhadap kebutuhan tulangan balok.
3. Arsitektur ANN dapat dikembangkan dengan meninjau variasi jumlah lapisan tersembunyi dan jumlah neuron, serta membandingkan beberapa algoritma pelatihan untuk memperoleh model dengan akurasi yang lebih optimal.
4. Model dapat dikembangkan untuk memprediksi kebutuhan tulangan elemen struktur lain, seperti balok dan pelat, agar cakupan penelitian menjadi lebih menyeluruh.
5. Hasil model ANN dapat divalidasi menggunakan data proyek nyata untuk menguji keandalannya pada kondisi praktis di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Lagaros, N. D., & Cotsovos, D. M. (2021). Neural network-based prediction: The case of reinforced concrete members under simple and complex loading. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/app11114975>
- Al-Gburi, M., Alhayani, A. A., & Almssad, A. (2025). Artificial Neural Network Model for Evaluating Load Capacity of RC Deep Beams. *Buildings*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/buildings15081371>
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error ({RMSE}) or mean absolute error ({MAE})? -- Arguments against avoiding {RMSE} in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247–1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- 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-PTIHK) Universitas Brawijaya*, 2(11), 5577–5586.
- 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>
- Iba, Z., & Wardhana, A. (2024). Landasan Teori, Kerangka Pemikiran, Penelitian Terdahulu, & Hipotesis. In *Metode Penelitian* (Issue July).
- 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>
- Kusumadewi, S. (2004). *Membangun Jaringan Saraf Tiruan Menggunakan {MATLAB} \& {Excel Link}*. Graha Ilmu.
- Prasetyo, Y. P. W. (2023). Simulasi Jaringan Saraf Tiruan dengan Neural Network Fitting Tool ({NFTool}). *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(4), 1722–1731. <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i4.3381>

- Sugiono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D* (Issue January).
- Sugiyono. (2016). *Pdf-Buku-Metode-Penelitian-Sugiyono _Compress.Pdf* (p. 62).
- Umum, M. P. (2010). *Menteri Pekerjaan Umum Perubahan Peraturan Menteri Pu Tentang*.
- Vannucci, P., Masi, F., & Stefanou, I. (2019). A nonlinear approach to the wind strength of Gothic Cathedrals: The case of Notre Dame of Paris. *Engineering Structures*, 183(November 2018), 860–873.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.030>
- 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

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 timer	h	Type 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 Design 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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	500 × 500	16 D19	4D13-100	2D13-100
K2	450 × 450	12D19	4D13-100	2D13-100
K3	400 × 400	8D19	4D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B1A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3A	4536,459792	5,3093	1,32733
K2-B1	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B1A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B1	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B1A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3A	2268,229896	5,3093	1,32733

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

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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	600 × 600	16 D19	4D13-100	2D13-100
K2	500 × 500	12D19	4D13-100	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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B1A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2A	4536,459792	5,3093	1,32733
K2-B1	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B1A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2A	3402,344844	5,3093	1,32733

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

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
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 _x	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 Design 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	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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	600 × 600	16 D19	6D13-100	2D13-100
K2	550 × 550	12D19	4D13-100	2D13-100
K3	500 × 500	12 D19	4D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B2	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B3	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B1A	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B2A	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B3A	4536,459792	7,96394	1,32733
K2-B1	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B1A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B1	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B2	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B3	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B1A	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B2A	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733

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

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
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	Lnx	h	Tipe 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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	600 × 600	24 D19	5D13-100	2D13-100
K2	550 × 550	20 D19	4D13-100	2D13-100
K3	500 × 500	16 D19	4D13-100	2D13-100

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
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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	6804,689688	6,63662	1,32733
K1-B2	6804,689688	6,63662	1,32733
K1-B3	6804,689688	6,63662	1,32733
K1-B1A	6804,689688	6,63662	1,32733
K1-B2A	6804,689688	6,63662	1,32733
K1-B3A	6804,689688	6,63662	1,32733
K2-B1	5670,57474	5,3093	1,32733
K2-B2	5670,57474	5,3093	1,32733
K2-B3	5670,57474	5,3093	1,32733
K2-B1A	5670,57474	5,3093	1,32733
K2-B2A	5670,57474	5,3093	1,32733
K2-B3A	5670,57474	5,3093	1,32733
K3-B1	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B2	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B3	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B1A	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B2A	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B3A	4536,459792	5,3093	1,32733

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

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
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	Ln timer	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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkan)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Sengkan tumpuan	Sengkan lapangan
K1	500 × 500	16 D19	5D13-100	2D13-100
K2	450 × 450	12 D19	5D13-100	2D13-100
K3	400 × 400	8 D19	5D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	6,63662	1,32733
K1-B2	4536,459792	6,63662	1,32733
K1-B1A	4536,459792	6,63662	1,32733
K1-B2A	4536,459792	6,63662	1,32733
K2-B1	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B2	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B1A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B2A	3402,344844	6,63662	1,32733
K3-B1	2268,229896	6,63662	1,32733
K3-B2	2268,229896	6,63662	1,32733
K3-B1A	2268,229896	6,63662	1,32733
K3-B2A	2268,229896	6,63662	1,32733

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

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
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
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	Ln timer	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 Design 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	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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	550 × 550	20 D19	3D13-100	2D13-100
K2	450 × 450	12 D19	3D13-100	2D13-100
K3	400 × 400	24 D19	3D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	5670,57474	3,98197	1,32733
K1-B2	5670,57474	3,98197	1,32733
K1-B3	5670,57474	3,98197	1,32733
K1-B1A	5670,57474	3,98197	1,32733
K1-B2A	5670,57474	3,98197	1,32733
K1-B3A	5670,57474	3,98197	1,32733
K2-B1	3402,344844	3,98197	1,32733

K2-B2	3402,344844	3,98197	1,32733
K2-B3	3402,344844	3,98197	1,32733
K2-B1A	3402,344844	3,98197	1,32733
K2-B2A	3402,344844	3,98197	1,32733
K2-B3A	3402,344844	3,98197	1,32733
K3-B1	6804,689688	3,98197	1,32733
K3-B2	6804,689688	3,98197	1,32733
K3-B3	6804,689688	3,98197	1,32733
K3-B1A	6804,689688	3,98197	1,32733
K3-B2A	6804,689688	3,98197	1,32733
K3-B3A	6804,689688	3,98197	1,32733

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

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

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
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 Design 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	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
BA1 A	250	500	3D19	3D19	3D19	3D19	2D10 - 100	2D10 - 150

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	700 × 700	20 D19	4D13-100	2D13-100
K2	650 × 650	20 D22	4D13-100	2D13-100
K3	550 × 550	16 D19	4D13-100	2D13-100

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
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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	7602,654222	5,3093	1,32733
K1-B2	7602,654222	5,3093	1,32733
K1-B3	7602,654222	5,3093	1,32733
K1-B1A	7602,654222	5,3093	1,32733
K1-B2A	7602,654222	5,3093	1,32733
K1-B3A	7602,654222	5,3093	1,32733
K2-B1	7602,654222	5,3093	1,32733
K2-B2	7602,654222	5,3093	1,32733
K2-B3	7602,654222	5,3093	1,32733
K2-B1A	7602,654222	5,3093	1,32733
K2-B2A	7602,654222	5,3093	1,32733
K2-B3A	7602,654222	5,3093	1,32733
K3-B1	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B2	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B3	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B1A	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B2A	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B3A	4536,459792	5,3093	1,32733

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

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
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
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	Ln _x	h	Tipe 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 Design 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	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	3D1 9	3D19	2D19	3D19	2D10 - 100	2D10 - 200
BA1	300	500	3D1 6	3D16	3D16	4D16	2D10 - 150	2D10 - 150
BA2	300	400	2D1 6	2D16	2D16	2D16	2D10 - 150	2D10 - 150
BA1A	300	500	3D1 6	3D16	3D16	3D16	2D10 - 150	2D10 - 150
BA2A	300	400	2D1 6	2D16	2D16	2D16	2D10 - 150	2D10 - 150

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	800 × 800	24 D19	4D13-100	2D13-100
K2	600 × 600	20 D19	3D13-100	2D13-100
K3	500 × 500	16 D19	3D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B2	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B3	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B1A	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B2A	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B3A	6804,689688	5,3093	1,32733
K2-B1	5670,57474	3,98197	1,32733
K2-B2	5670,57474	3,98197	1,32733
K2-B3	5670,57474	3,98197	1,32733
K2-B1A	5670,57474	3,98197	1,32733
K2-B2A	5670,57474	3,98197	1,32733
K2-B3A	5670,57474	3,98197	1,32733
K3-B1	4536,459792	3,98197	1,32733
K3-B2	4536,459792	3,98197	1,32733
K3-B3	4536,459792	3,98197	1,32733
K3-B1A	4536,459792	3,98197	1,32733
K3-B2A	4536,459792	3,98197	1,32733
K3-B3A	4536,459792	3,98197	1,32733

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

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
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
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 timer	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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkang)	
			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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	850 × 850	24 D22	4D13-100	2D13-100
K2	800 × 800	20 D22	4D13-100	2D13-100
K3	750 × 750	16 D22	4D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	9123,185066	5,3093	1,32733
K1-B2	9123,185066	5,3093	1,32733
K1-B3	9123,185066	5,3093	1,32733
K1-B1A	9123,185066	5,3093	1,32733
K1-B2A	9123,185066	5,3093	1,32733
K1-B3A	9123,185066	5,3093	1,32733
K2-B1	7602,654222	5,3093	1,32733
K2-B2	7602,654222	5,3093	1,32733
K2-B3	7602,654222	5,3093	1,32733
K2-B1A	7602,654222	5,3093	1,32733
K2-B2A	7602,654222	5,3093	1,32733
K2-B3A	7602,654222	5,3093	1,32733
K3-B1	6082,123377	5,3093	1,32733
K3-B2	6082,123377	5,3093	1,32733
K3-B3	6082,123377	5,3093	1,32733
K3-B1A	6082,123377	5,3093	1,32733
K3-B2A	6082,123377	5,3093	1,32733
K3-B3A	6082,123377	5,3093	1,32733

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

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
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 timer	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 Design 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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	600 × 600	16 D19	3D13-100	2D13-100
K2	550 × 550	12 D19	3D13-100	2D13-100
K3	500 × 500	24 D19	3D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	3,98197	1,32733
K1-B2	4536,459792	3,98197	1,32733
K1-B3	4536,459792	3,98197	1,32733
K1-B1A	4536,459792	3,98197	1,32733
K1-B2A	4536,459792	3,98197	1,32733
K1-B3A	4536,459792	3,98197	1,32733
K2-B1	3402,344844	3,98197	1,32733

K2-B2	3402,344844	3,98197	1,32733
K2-B3	3402,344844	3,98197	1,32733
K2-B1A	3402,344844	3,98197	1,32733
K2-B2A	3402,344844	3,98197	1,32733
K2-B3A	3402,344844	3,98197	1,32733
K3-B1	6804,689688	3,98197	1,32733
K3-B2	6804,689688	3,98197	1,32733
K3-B3	6804,689688	3,98197	1,32733
K3-B1A	6804,689688	3,98197	1,32733
K3-B2A	6804,689688	3,98197	1,32733
K3-B3A	6804,689688	3,98197	1,32733

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

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
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	Lnx	h	Tipe 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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkan)	
	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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	450 × 450	12 D19	5D13-100	2D13-100
K2	400 × 400	8 D19	5D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	3402,344844	6,63662	1,32733
K1-B2	3402,344844	6,63662	1,32733
K1-B3	3402,344844	6,63662	1,32733
K1-B1A	3402,344844	6,63662	1,32733
K1-B2A	3402,344844	6,63662	1,32733

K1-B3A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B1	2268,229896	6,63662	1,32733
K2-B2	2268,229896	6,63662	1,32733
K2-B3	2268,229896	6,63662	1,32733
K2-B1A	2268,229896	6,63662	1,32733
K2-B2A	2268,229896	6,63662	1,32733
K2-B3A	2268,229896	6,63662	1,32733

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

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 timer	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 Design 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
-----	-----	-----	------	------	------	------	---------------	---------------

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Sengkang tumpuan	Sengkang lapangan
K1	450 × 450	16 D19	4D13-100	2D13-100
K2	400 × 400	12 D19	4D13-100	2D13-100
K3	350 × 350	8 D19	4D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B1A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B1	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B1A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B1	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B1A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3A	2268,229896	5,3093	1,32733

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

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 timer	h	Tipe 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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkang)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			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
-----	-----	-----	------	------	------	------	--------------	--------------

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	500 × 500	16 D19	4D13-100	2D13-100
K2	450 × 450	12 D19	4D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3	4536,459792	5,3093	1,32733

K1-B1A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B1	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B1A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733

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

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
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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkan)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Sengkan tumpuan	Sengkan lapangan
K1	600 × 600	16 D19	4D13-100	2D13-100
K2	550 × 550	12 D19	5D13-100	2D13-100
K3	450 × 450	8 D19	4D13-100	2D13-100

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
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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B1A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B1	3402,344844	6,63662	1,32733

K2-B2	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B3	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B1A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B2A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B3A	3402,344844	6,63662	1,32733
K3-B1	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B1A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3A	2268,229896	5,3093	1,32733

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

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
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 timer	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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkan)	
	B pakai	H pakai	Tumpuan		Lapangan			
			Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B1	400	600	5D19	4D19	5D19	6D19	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	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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Sengkan tumpuan	Sengkan lapangan
K1	500 × 500	16 D19	5D13-100	2D13-100
K2	450 × 450	12 D19	5D13-100	2D13-100
K3	400 × 400	8 D19	5D13-100	2D13-100

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
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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	6,63662	1,32733
K1-B2	4536,459792	6,63662	1,32733
K1-B3	4536,459792	6,63662	1,32733
K1-B1A	4536,459792	6,63662	1,32733
K1-B2A	4536,459792	6,63662	1,32733
K1-B3A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B1	3402,344844	6,63662	1,32733

K2-B2	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B3	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B1A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B2A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B3A	3402,344844	6,63662	1,32733
K3-B1	2268,229896	6,63662	1,32733
K3-B2	2268,229896	6,63662	1,32733
K3-B3	2268,229896	6,63662	1,32733
K3-B1A	2268,229896	6,63662	1,32733
K3-B2A	2268,229896	6,63662	1,32733
K3-B3A	2268,229896	6,63662	1,32733

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

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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	500 × 500	12 D19	4D13-100	2D13-100
K2	450 × 450	16 D19	5D13-100	2D13-100
K3	400 × 400	20 D19	4D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	3402,344844	5,3093	1,32733
K1-B2	3402,344844	5,3093	1,32733
K1-B3	3402,344844	5,3093	1,32733
K1-B1A	3402,344844	5,3093	1,32733
K1-B2A	3402,344844	5,3093	1,32733
K1-B3A	4536,459792	6,63662	1,32733
K2-B1	4536,459792	6,63662	1,32733

K2-B2	4536,459792	6,63662	1,32733
K2-B3	4536,459792	6,63662	1,32733
K2-B1A	4536,459792	6,63662	1,32733
K2-B2A	4536,459792	6,63662	1,32733
K2-B3A	4536,459792	6,63662	1,32733
K3-B1	5670,57474	5,3093	1,32733
K3-B2	5670,57474	5,3093	1,32733
K3-B3	5670,57474	5,3093	1,32733
K3-B1A	5670,57474	5,3093	1,32733
K3-B2A	5670,57474	5,3093	1,32733
K3-B3A	5670,57474	5,3093	1,32733

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

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
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 timer	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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkang)	
			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
BA1 A	250	500	3D19	4D19	4D19	3D19	2D10 - 150	2D10 - 150
BA1	350	500	3D19	3D19	3D19	3D19	2D10 - 150	2D10 - 150

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	550 × 550	16 D19	6D13-100	2D13-100
K2	500 × 500	12 D19	4D13-100	2D13-100
K3	400 × 400	8 D19	4D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B2	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B3	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B1A	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B2A	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B1	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B1A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B1	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B1A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3A	2268,229896	5,3093	1,32733

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

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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	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
BA1 A	300	450	2D16	2D16	2D16	2D16	2D10 - 150	2D10 - 150

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Sengkang tumpuan	Sengkang lapangan
K1	450 × 450	16 D19	4D13-100	2D13-100
K2	400 × 400	24 D19	4D13-100	2D13-100
K3	350 × 350	8 D19	4D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B1A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3A	6804,689688	5,3093	1,32733
K2-B1	6804,689688	5,3093	1,32733
K2-B2	6804,689688	5,3093	1,32733
K2-B3	6804,689688	5,3093	1,32733
K2-B1A	6804,689688	5,3093	1,32733
K2-B2A	6804,689688	5,3093	1,32733
K2-B3A	6804,689688	5,3093	1,32733
K3-B1	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B1A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3A	2268,229896	5,3093	1,32733

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

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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	600 × 600	16 D19	6D13-100	2D13-100
K2	550 × 550	12 D19	6D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B2	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B3	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B1A	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B2A	4536,459792	7,96394	1,32733
K1-B3A	3402,344844	7,96394	1,32733
K2-B1	3402,344844	7,96394	1,32733
K2-B2	3402,344844	7,96394	1,32733
K2-B3	3402,344844	7,96394	1,32733
K2-B1A	3402,344844	7,96394	1,32733
K2-B2A	3402,344844	7,96394	1,32733
K2-B3A	3402,344844	7,96394	1,32733

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

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
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 timer	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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Sengkang tumpuan	Sengkang lapangan
K1	600 × 600	24 D19	4D13-100	2D13-100
K2	550 × 550	20 D19	5D13-100	2D13-100
K3	450 × 450	24 D19	4D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B2	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B3	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B1A	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B2A	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B3A	5670,57474	6,63662	1,32733
K2-B1	5670,57474	6,63662	1,32733

K2-B2	5670,57474	6,63662	1,32733
K2-B3	5670,57474	6,63662	1,32733
K2-B1A	5670,57474	6,63662	1,32733
K2-B2A	5670,57474	6,63662	1,32733
K2-B3A	5670,57474	6,63662	1,32733
K3-B1	6804,689688	5,3093	1,32733
K3-B2	6804,689688	5,3093	1,32733
K3-B3	6804,689688	5,3093	1,32733
K3-B1A	6804,689688	5,3093	1,32733
K3-B2A	6804,689688	5,3093	1,32733
K3-B3A	6804,689688	5,3093	1,32733

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

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
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 timer	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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkan)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Sengkan tumpuan	Sengkan lapangan
K1	550 × 550	16 D19	5D13-100	2D13-100
K2	500 × 500	12 D19	4D13-100	2D13-100
K3	450 × 450	8 D19	4D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	6,63662	1,32733
K1-B2	4536,459792	6,63662	1,32733
K1-B3	4536,459792	6,63662	1,32733
K1-B1A	4536,459792	6,63662	1,32733
K1-B2A	4536,459792	6,63662	1,32733
K1-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B1	3402,344844	5,3093	1,32733

K2-B2	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B1A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B1	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B1A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3A	2268,229896	5,3093	1,32733

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

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 timer	h	Tipe 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 Design 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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Sengkan tumpuan	Sengkan lapangan
K1	600 × 600	24 D19	4D13-100	2D13-100
K2	500 × 500	20 D19	4D13-100	2D13-100
K3	450 × 450	24 D19	4D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B2	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B3	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B1A	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B2A	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B3A	5670,57474	5,3093	1,32733
K2-B1	5670,57474	5,3093	1,32733
K2-B2	5670,57474	5,3093	1,32733
K2-B3	5670,57474	5,3093	1,32733
K2-B1A	5670,57474	5,3093	1,32733
K2-B2A	5670,57474	5,3093	1,32733
K2-B3A	5670,57474	5,3093	1,32733
K3-B1	6804,689688	5,3093	1,32733
K3-B2	6804,689688	5,3093	1,32733
K3-B3	6804,689688	5,3093	1,32733
K3-B1A	6804,689688	5,3093	1,32733
K3-B2A	6804,689688	5,3093	1,32733
K3-B3A	6804,689688	5,3093	1,32733

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

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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	650 × 650	20 D19	6D13-100	2D13-100
K2	600 × 600	16 D19	6D13-100	2D13-100
K3	550 × 550	16 D19	6D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	5670,57474	7,96394	1,32733
K1-B2	5670,57474	7,96394	1,32733
K1-B3	5670,57474	7,96394	1,32733
K1-B1A	5670,57474	7,96394	1,32733
K1-B2A	5670,57474	7,96394	1,32733
K1-B3A	4536,459792	7,96394	1,32733
K2-B1	4536,459792	7,96394	1,32733

K2-B2	4536,459792	7,96394	1,32733
K2-B3	4536,459792	7,96394	1,32733
K2-B1A	4536,459792	7,96394	1,32733
K2-B2A	4536,459792	7,96394	1,32733
K2-B3A	4536,459792	7,96394	1,32733
K3-B1	4536,459792	7,96394	1,32733
K3-B2	4536,459792	7,96394	1,32733
K3-B3	4536,459792	7,96394	1,32733
K3-B1A	4536,459792	7,96394	1,32733
K3-B2A	4536,459792	7,96394	1,32733
K3-B3A	4536,459792	7,96394	1,32733

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

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
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 timer	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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	500 × 500	16 D19	3D13-100	2D13-100
K2	450 × 450	12 D19	5D13-100	2D13-100
K3	400 × 400	12 D19	3D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	3,98197	1,32733
K1-B2	4536,459792	3,98197	1,32733
K1-B3	4536,459792	3,98197	1,32733
K1-B1A	4536,459792	3,98197	1,32733
K1-B2A	4536,459792	3,98197	1,32733
K1-B3A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B1	3402,344844	6,63662	1,32733

K2-B2	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B3	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B1A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B2A	3402,344844	6,63662	1,32733
K2-B3A	3402,344844	6,63662	1,32733
K3-B1	3402,344844	3,98197	1,32733
K3-B2	3402,344844	3,98197	1,32733
K3-B3	3402,344844	3,98197	1,32733
K3-B1A	3402,344844	3,98197	1,32733
K3-B2A	3402,344844	3,98197	1,32733
K3-B3A	3402,344844	3,98197	1,32733

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

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 timer	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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Sengkan)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	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
-----	-----	-----	------	------	------	------	--------------	--------------

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Sengkang tumpuan	Sengkang lapangan
K1	550 × 550	16 D19	4D13-100	2D13-100
K2	500 × 500	12 D19	4D13-100	2D13-100
K3	450 × 450	8 D19	4D13-100	2D13-100

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 kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B1A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B2A	4536,459792	5,3093	1,32733
K1-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B1	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B1A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B2A	3402,344844	5,3093	1,32733
K2-B3A	3402,344844	5,3093	1,32733
K3-B1	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B1A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B2A	2268,229896	5,3093	1,32733
K3-B3A	2268,229896	5,3093	1,32733

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 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

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
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 timer	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 Design Balok

Kode Balok	Dimensi Balok (mm)		Tul. Geser (Pokok)				Tul. Geser (Senggang)	
			Tumpuan		Lapangan			
	B pakai	H pakai	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

Rekapitulasi Penulangan Kolom

Kode	Dimensi (mm)	Longitudinal	Senggang tumpuan	Senggang lapangan
K1	700 × 700	24 D19	4D13-100	2D13-100
K2	600 × 600	20 D19	5D13-100	2D13-100
K3	550 × 550	16 D19	4D13-100	2D13-100

Data Input

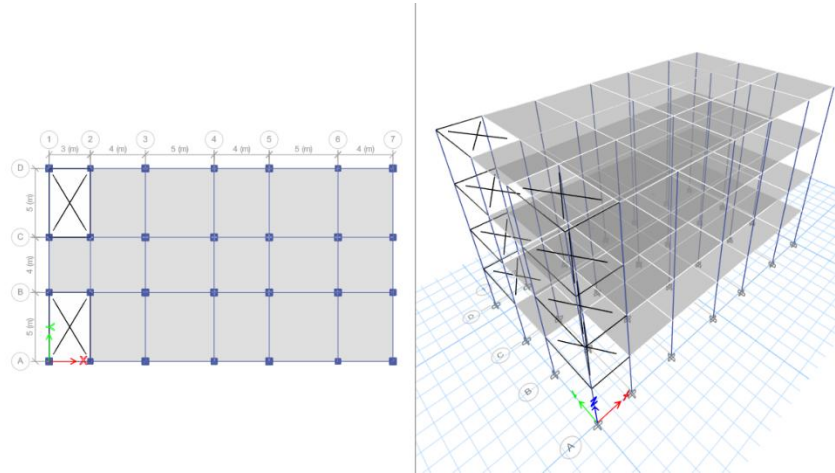
Pasangan	SDS×Ie	SD1×Ie	b (mm)	Lantai	f _c (MPa)	H (mm)	L (mm)
K1-B1	1,374	0,755	700	6	30	800	6000
K1-B2	1,374	0,755	700	6	30	650	5000
K1-B3	1,374	0,755	700	6	30	550	3000
K1-B1A	1,374	0,755	700	6	30	600	6000
K1-B2A	1,374	0,755	700	6	30	500	5000
K1-B3A	1,374	0,755	600	6	30	500	3000
K2-B1	1,374	0,755	600	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

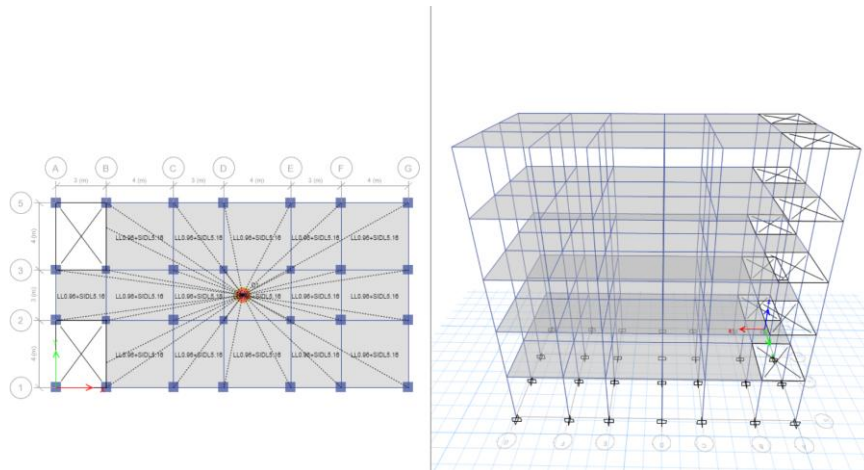
Pasangan	As Longitudinal kolom	As Transversal Kolom Tumpuan	As Transversal Kolom Lapangan
K1-B1	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B2	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B3	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B1A	6804,689688	5,3093	1,32733

K1-B2A	6804,689688	5,3093	1,32733
K1-B3A	5670,57474	6,63662	1,32733
K2-B1	5670,57474	6,63662	1,32733
K2-B2	5670,57474	6,63662	1,32733
K2-B3	5670,57474	6,63662	1,32733
K2-B1A	5670,57474	6,63662	1,32733
K2-B2A	5670,57474	6,63662	1,32733
K2-B3A	5670,57474	6,63662	1,32733
K3-B1	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B2	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B3	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B1A	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B2A	4536,459792	5,3093	1,32733
K3-B3A	4536,459792	5,3093	1,32733

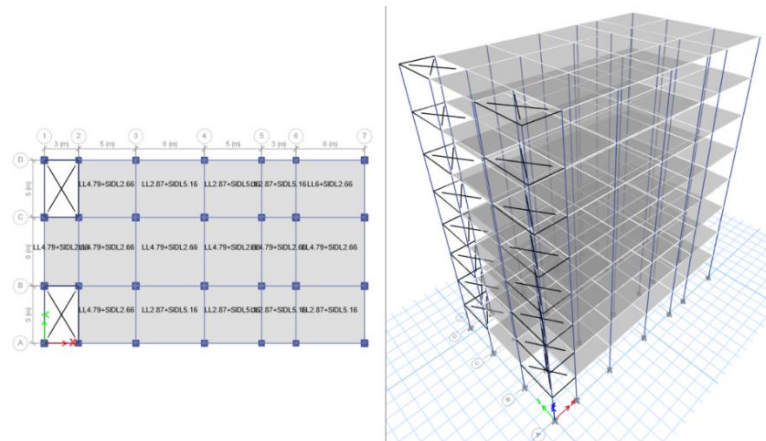
Lampiran 27 Pemodelan 3D ETABS



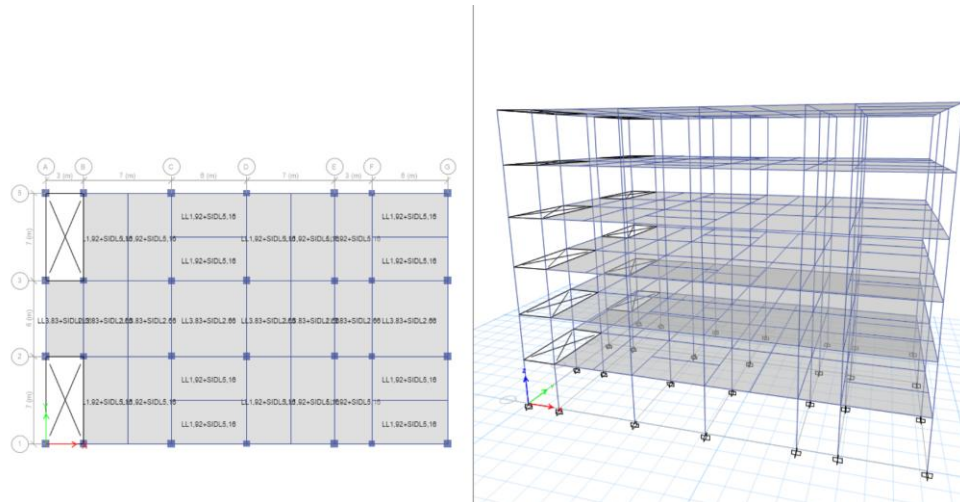
Pemodelan 3D ETABS Data 1



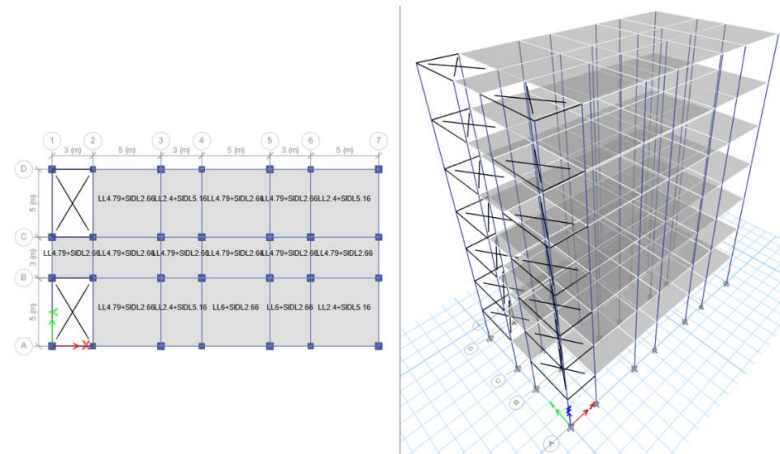
Pemodelan 3D ETABS Data 2



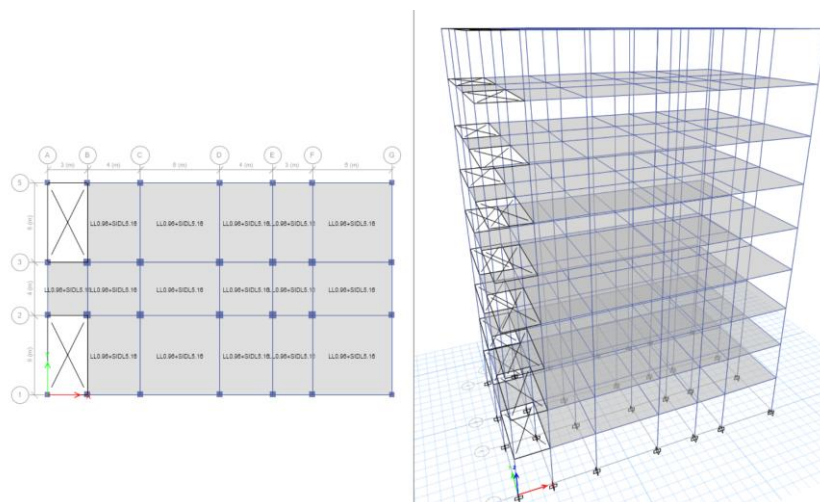
Pemodelan 3D ETABS Data 3



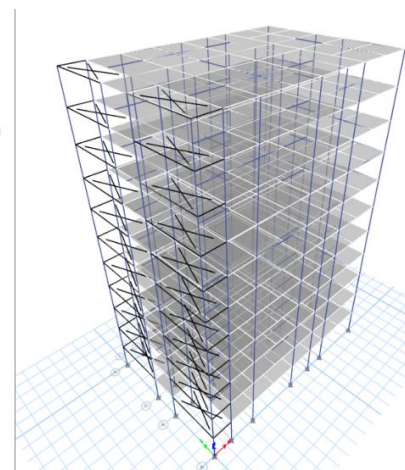
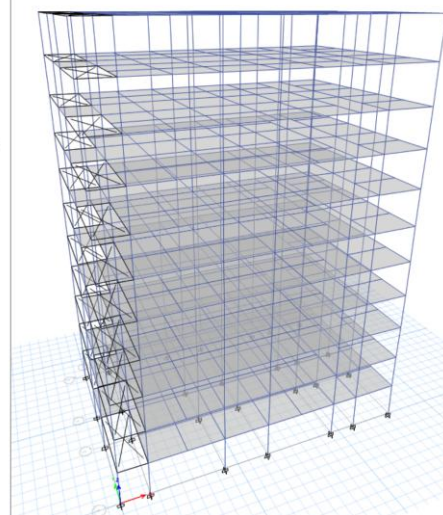
Pemodelan 3D ETABS Data 4

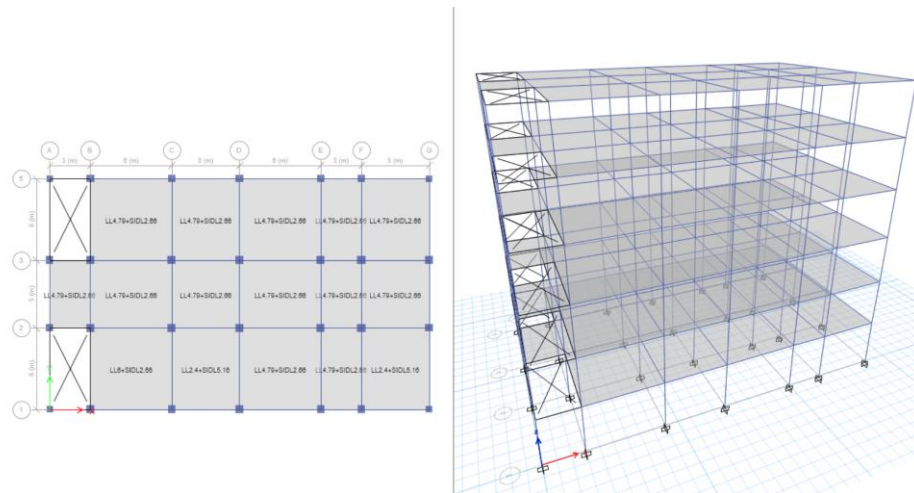


Pemodelan 3D ETABS Data 5

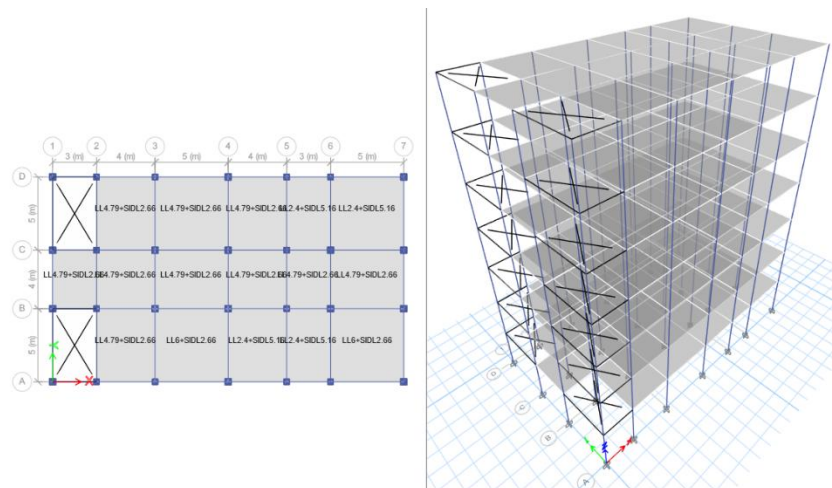


Pemodelan 3D ETABS Data 6

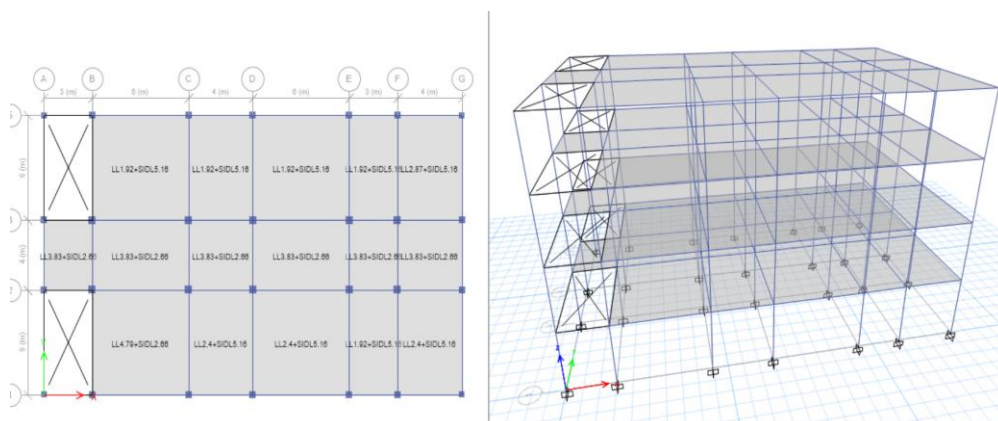




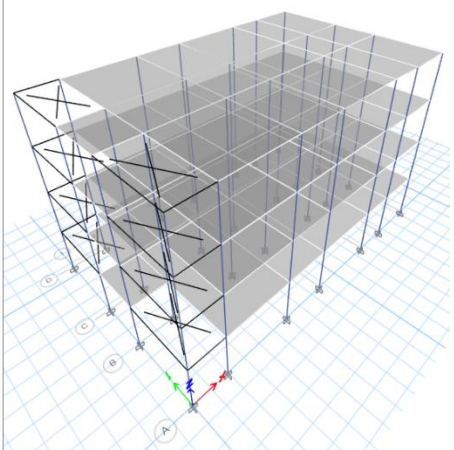
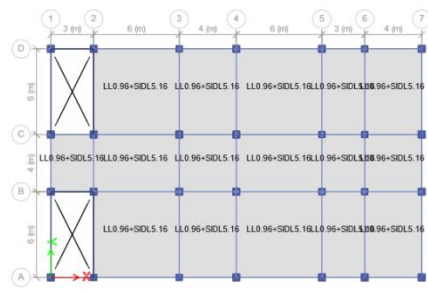
Pemodelan 3D ETABS Data 10



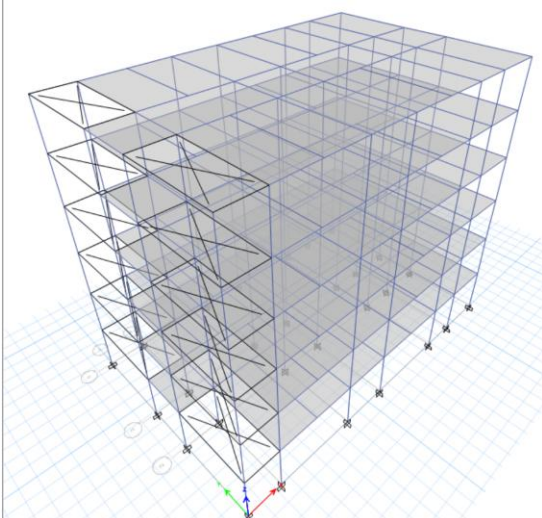
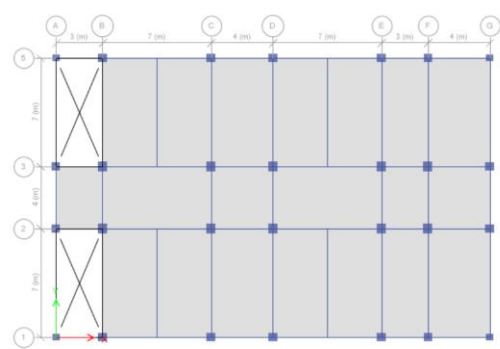
Pemodelan 3D ETABS Data 11



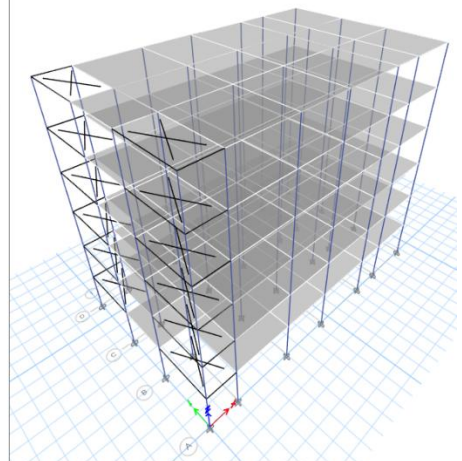
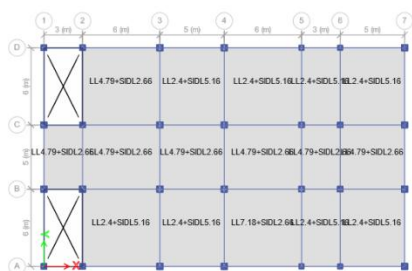
Pemodelan 3D ETABS Data 12



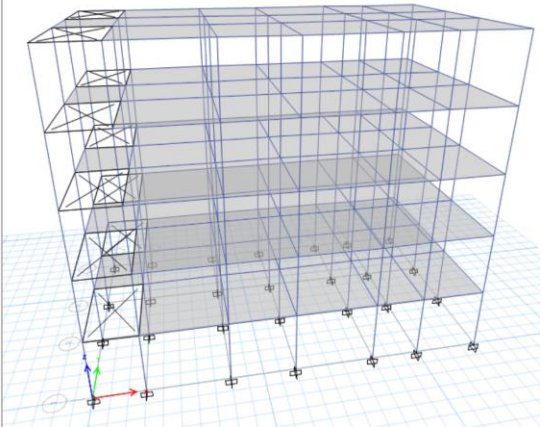
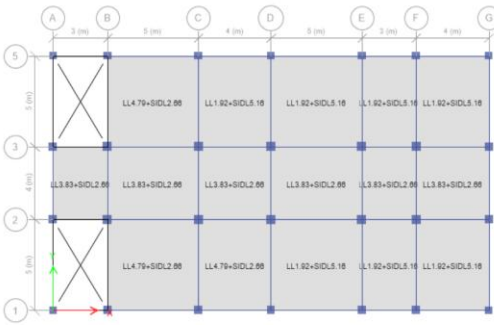
Pemodelan 3D ETABS Data 13



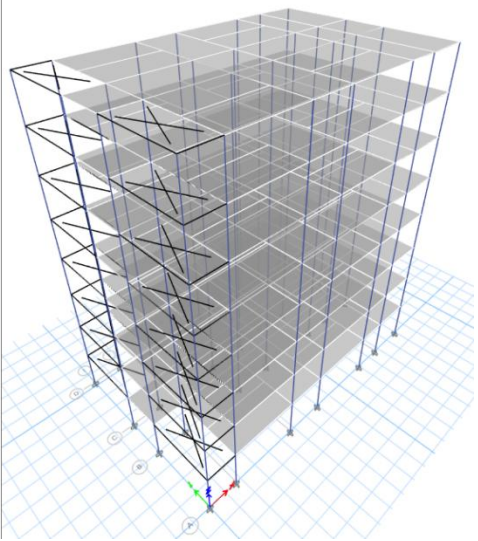
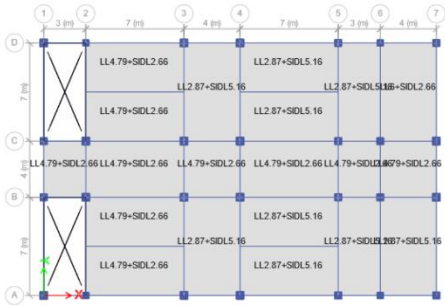
Pemodelan 3D ETABS Data 14



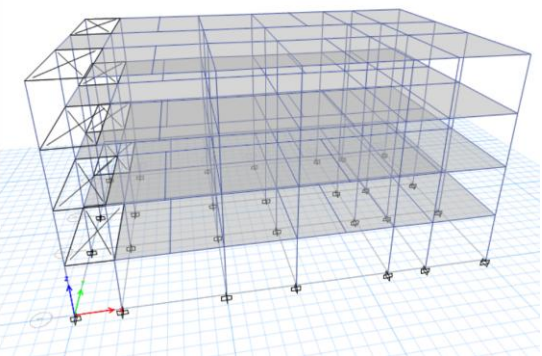
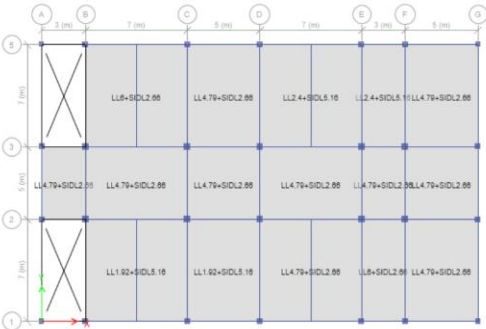
Pemodelan 3D ETABS Data 15



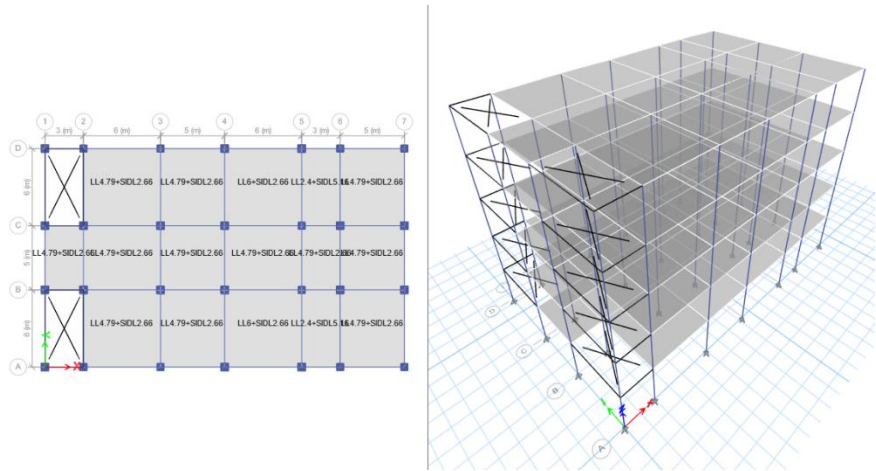
Pemodelan 3D ETABS Data 16



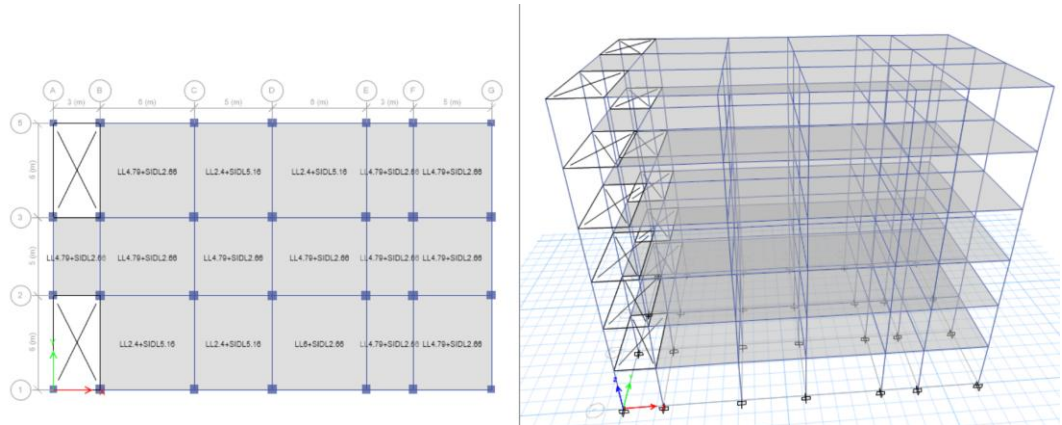
Pemodelan 3D ETABS Data 17



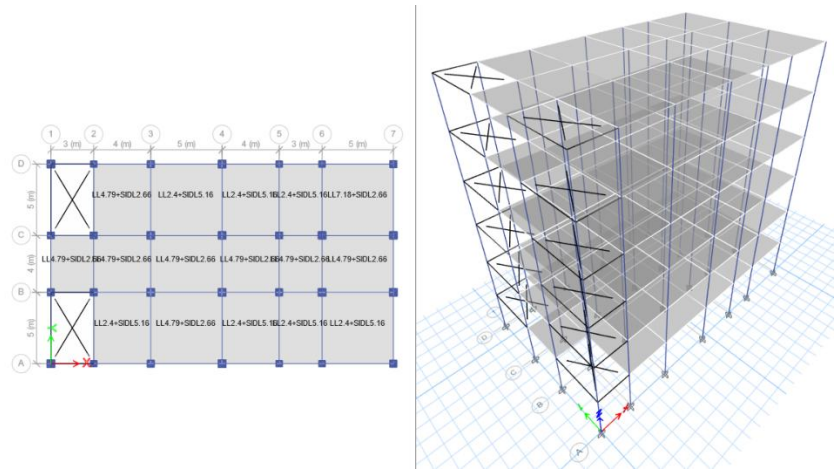
Pemodelan 3D ETABS Data 18



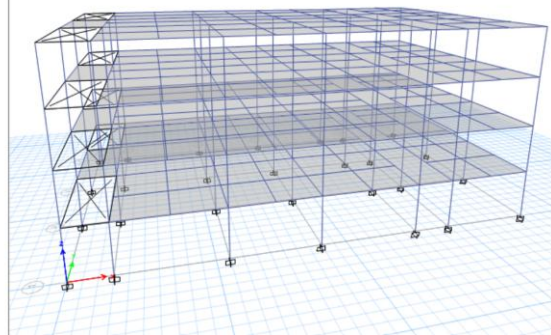
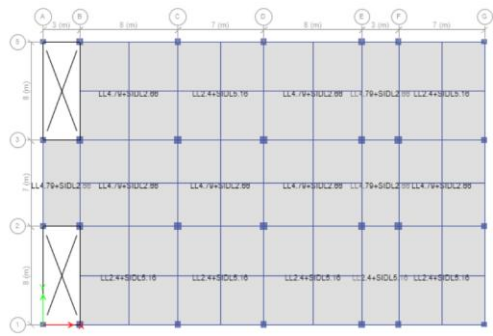
Pemodelan 3D ETABS Data 19



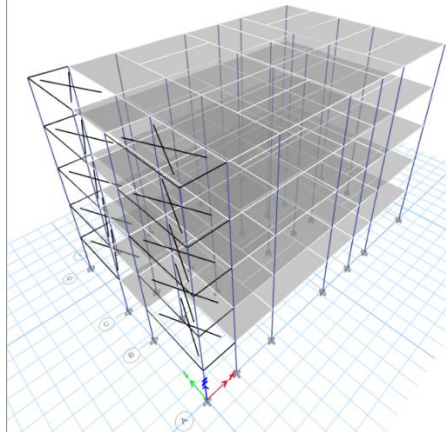
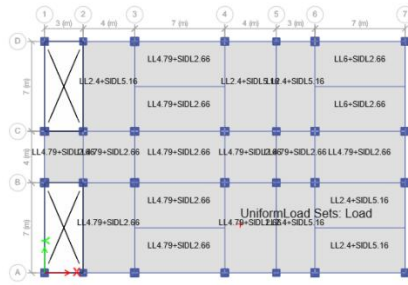
Pemodelan 3D ETABS Data 20



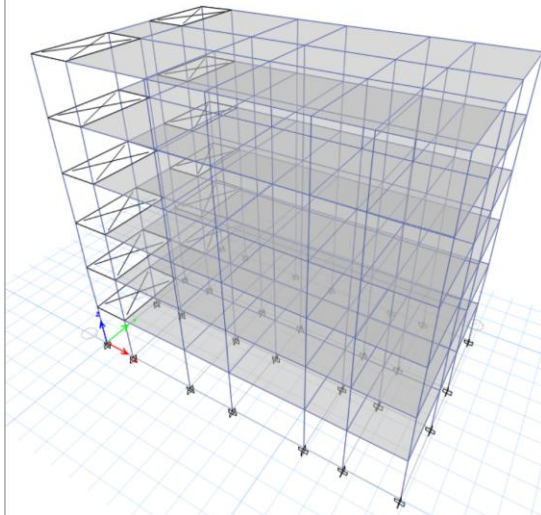
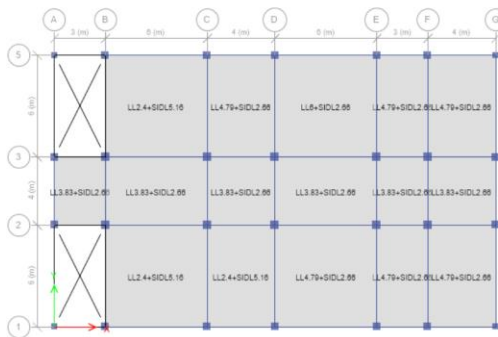
Pemodelan 3D ETABS Data 21



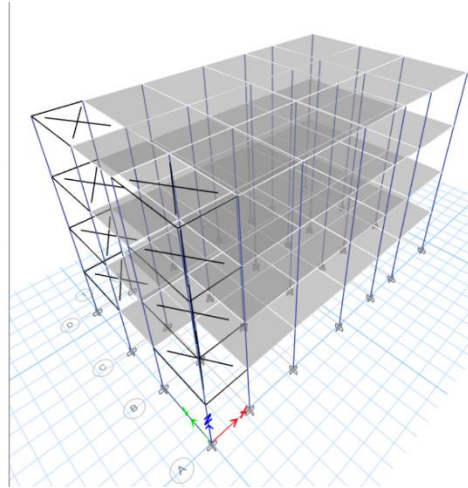
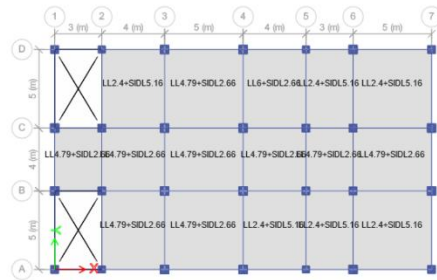
Pemodelan 3D ETABS Data 22



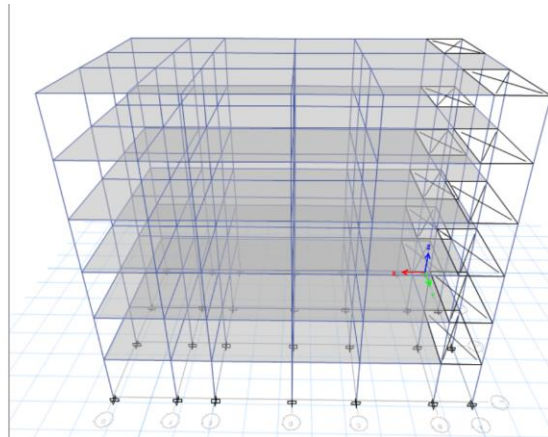
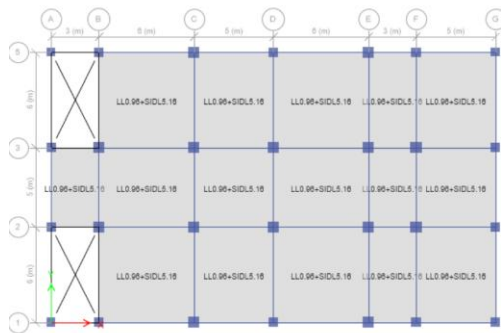
Pemodelan 3D ETABS Data 23



Pemodelan 3D ETABS Data 24



Pemodelan 3D ETABS Data 25



Pemodelan 3D ETABS Data 26