TUGAS AKHIR

PENERAPAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* SEBAGAI UPAYA OPTIMALISASI STRUKTUR KOLOM PADA PROYEK PERLUASAN LOMBOK EPICENTRUM MALL DAN PODIUM PARKIR (*IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AS AN EFFORT TO OPTIMIZE COLUMN STRUCTURES ON LOMBOK EPICENTRUM MALL EXPANSION AND PARKING PODIUM PROJECT*)

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

Alhalim Syafiq

20511130

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024

TUGAS AKHIR

PENERAPAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* SEBAGAI UPAYA OPTIMALISASI STRUKTUR KOLOM PADA PROYEK PERLUASAN LOMBOK EPICENTRUM MALL DAN PODIUM PARKIR (*IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AS AN EFFORT TO OPTIMIZE COLUMN STRUCTURES ON LOMBOK EPICENTRUM MALL EXPANSION AND PARKING PODIUM PROJECT*)

Disusun oleh

Alhalim Syafiq

20511130

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

Diuji pada tanggal

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
	12/8 2024	
Prof., Ir. Widodo, MSCE., Ph.D.	Astriana Hardawati, S.T.,M.Eng.	Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D
NIP : 785110201	NIP : 165111301	NIP : 855110201

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

14/8/2024

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T. Ph.D. (Eng)

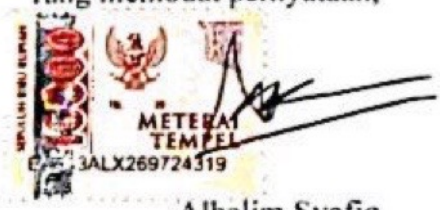
NIP : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian Program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan 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 ditemui 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 perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta,

Yang membuat pernyataan,



Alhalim Syafiq

20511130

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Penerapan *Artificial Neural Network* Sebagai Upaya Optimalisasi Struktur Kolom Pada Proyek Perluasan Lombok Epicentrum Mall dan Podium Parkir". Penyusunan Tugas Akhir ini ditujukan untuk memenuhi persyaratan akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari terdapat beberapa kekurangan. Namun dengan saran, kritik, doa, serta, dukungan secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak, alhamdulillah penyusunan Tugas Akhir dapat diselesaikan. Berkaitan dengan itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, ST., MT., Ph.D. (Eng) selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan dan dukungan yang diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Seluruh pihak proyek Perluasan Lombok Epicentrum Mall dan Podium Parkir atas ketersediaannya dalam memberikan data proyek untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir
4. Kedua orang tua penulis atas dukungan, pemberian, dan pengorbanan baik secara material maupun spiritual untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan waktu untuk diskusi dalam penyusunan Tugas Akhir.

Dengan ini penulis berharap penyusunan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak.

Yogyakarta, Juli 2024

Alhalim Syafiq
20511130

DAFTAR ISI

Halaman Judul i
Halaman Pengesahan ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xxvi
DAFTAR LAMPIRAN xxix
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xxx
ABSTRAK xxxiv
ABSTRACT xxxv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 4
1.3. Tujuan Penelitian 5
1.4. Manfaat Penelitian 5
1.5. Batasan Penelitian 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 8
2.1 Umum 8
2.2 Penelitian Terdahulu 8
2.2.1 Jauhari Prasetiawan (2022) 8
2.2.2 Harahap, Aminullah, & Priyosulistyo (2022) 10
2.2.3 Harahap, Aminullah, & Priyosulistyo (2022) 11
2.3 Keaslian Penelitian 20
BAB III LANDASAN TEORI 21
3.1. Umum 21
3.2. Gedung 21
3.2.1. Definisi gedung 22
3.2.2. Pembangunan gedung 22

3.3. Struktur Gedung Tahan Gempa 23
3.3.1. Sistem Struktur 24
3.3.2. Filosofi desain bangunan tahan gempa 27
3.3.3. Desain kapasitas 29
3.3.4. Mekanisme keruntuhan 30
3.3.5. *Strong Column and Weak Beam* (SCWB) 31
3.4. Pembebanan Struktur 32
3.4.1. Beban mati 32
3.4.2. Beban hidup 32
3.4.3. Beban gempa 33
3.4.4. Kombinasi pembebanan dasar 37
3.5. *Trial* 1 38
3.5.1. Analisis Tahap 1 untuk *Checking* Kinerja Struktur (Statik Ekivalen) 38
3.5.1.1. Kombinasi Beban Gempa 38
3.5.1.2. Penentuan periode dan periode fundamental pendekatan 38
3.5.1.3. Koefisien respons seismik 40
3.5.1.4. Geser dasar seismik 40
3.5.1.5. Distribusi gaya seismik 41
3.5.1.6. Ketidakberaturan struktur 42
3.5.1.7. Torsi bawaan tak terduga dan faktor amplifikasi torsi 42
3.5.1.8. Rasio simpangan antar tingkat (*drift ratio*) 43
3.5.1.9. *P-delta* efek 44
3.5.2. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur (Respons Spektrum) 45
3.5.2.1. Kombinasi Beban Gempa 45
3.5.2.2. Faktor Redundansi 46
3.5.2.3. Desain respons spektrum 47
3.5.2.4. Partisipasi massa ragam 48
3.5.2.5. Detail kombinasi beban ortogonal 48
3.5.2.6. Penggunaan faktor skala 51
3.5.2.7. Torsi bawaan tak terduga dan faktor amplifikasi torsi 51

3.5.2.8. Rasio simpangan antar tingkat (*drift ratio*) 51
3.5.2.9. *P-delta* efek 52
3.6. *Trial* 2 52
3.6.1. Analisis Tahap 1 untuk Checking Kinerja Struktur (Statik Ekivalen) 52
3.6.2. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur (Respons Spektrum) 52
3.7. *Trial* 3 52
3.7.1. Analisis Tahap 1 untuk Checking Kinerja Struktur (Statik Ekivalen) 52
3.7.2. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur (Respons Spektrum) 53
3.8. *Trial* 4 53
3.8.1. Analisis Tahap 1 untuk Checking Kinerja Struktur (Statik Ekivalen) 53
3.8.2. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur (Respons Spektrum) 53
3.9. Desain dan Analisis Kebutuhan Tulangan Kolom 53
3.10. *Artificial Neural Network* (ANN) 57
3.10.1. Model Neuron 59
3.10.2. Transfer function 61
3.10.3. Model arsitektur jaringan pada Artificial Neural Network 62
3.10.4. Algoritma backpropagation 66
3.10.5. Pemodelan Artificial Neural Network untuk optimalisasi 67
BAB IV METODE PENELITIAN 73
4.1 Umum 73
4.2 Subjek dan Objek Penelitian 74
4.3 Data dan Metode Pengumpulan Data 74
4.4 Metode Analisis dan Desain 77
4.5 Tahapan Penelitian 79
4.6 Bagan Alir 80
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 86
5.1. Konfigurasi Bangunan 86
5.2. Sistem Pembebanan 86

5.2.1. Beban Mati 87
5.2.2. Beban Hidup 89
5.3. Pemodelan Struktur 89
5.3.1. Pemodelan Struktur *Existing* 92
5.3.2. Pemodelan Struktur *Trial* 1 111
5.3.3. Pemodelan Struktur *Trial* 2 149
5.3.4. Pemodelan Struktur *Trial* 3 157
5.3.5. Pemodelan Struktur *Trial* 4 165
5.3.6. Hasil Analisis dan Desain Model *Trial* 173
5.4. *Artificial Neural Network* untuk Optimalisasi Struktur 174
5.4.1. Normalisasi Data *Input* dan *Ouput* 174
5.4.2. *Function Neural Network* pada MATLAB 192
5.4.3. Penggunaan Bahasa Pemrograman untuk Pembentukan Rumus Empiris 206
5.4.4. Pemodelan Struktur Berdasarkan Hasil Optimalisasi 215
5.5. Hasil Optimalisasi Menggunakan Metode ANN 227
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 230
6.1. Kesimpulan 230
6.2. Saran 231
DAFTAR PUSTAKA 232

DAFTAR TABEL

Table 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan	13
Tabel 3.1	Faktor Keutamaan Gempa	33
Tabel 3.2	Koefisien Situs, Fa	35
Tabel 3.3	Koefisien Situs Fv	36
Tabel 3.4	Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	39
Tabel 3.5	Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x	39
Tabel 5.1	Tinggi Tingkat Bangunan	86
Tabel 5.2	Beban Mati untuk Pelat Area Mal Lantai UGL 1	88
Tabel 5.3	Beban Mati untuk Pelat Area Mal Lantai L1 dan L2	88
Tabel 5.4	Beban Mati untuk Pelat Area Parkir	89
Tabel 5.5	Beban Hidup yang Diterapkan	89
Tabel 5.6	Variasi Konfigurasi Elemen Struktur untuk Pemodelan ANN	91
Tabel 5.7	Berat Bangunan Struktur Existing	92
Tabel 5.8	Distribusi Gaya Seismik Struktur Existing Sumbu x	93
Tabel 5.9	Distribusi Gaya Seismik Struktur Existing Sumbu y	94
Tabel 5.10	Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 a dan b Struktur Existing Arah x Positif	95
Tabel 5.11	Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 a dan b Struktur Existing Arah x Negatif	95
Tabel 5.12	Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 a dan b Struktur Existing Arah y Positif	95
Tabel 5.13	Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 a dan b Struktur Existing Arah y Negatif	96
Tabel 5.14	Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur Existing Arah x Positif	96

Tabel 5.15	Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur Existing Arah x Negatif	97
Tabel 5.16	Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur Existing Arah y Positif	97
Tabel 5.17	Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur Existing Arah y Negatif	97
Tabel 5.18	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Existing Sumbu x	98
Tabel 5.19	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Existing Sumbu y	99
Tabel 5.20	Ketidakberaturan Tipe Vertikal 2 Struktur Existing	99
Tabel 5.21	Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur Eksisiting Sumbu x	100
Tabel 5.22	Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur Eksisiting Sumbu y	100
Tabel 5.23	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur Existing Arah x Positif	101
Tabel 5.24	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur Existing Arah x Negatif	101
Tabel 5.25	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur Existing Arah y Positif	101
Tabel 5.26	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur Existing Arah y Negatif	102
Tabel 5.27	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur Existing Arah x Positif	102
Tabel 5.28	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur Existing Arah x Negatif	103
Tabel 5.29	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur Existing Arah y Positif	103
Tabel 5.30	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur Existing Arah y Negatif	103

Tabel 5.31	Penggunaan Skala Gaya Geser Dasar Struktur Existing	105
Tabel 5.32	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur Existing Arah x Positif	105
Tabel 5.33	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur Existing Arah x Negatif	106
Tabel 5.34	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur Existing Arah y Positif	106
Tabel 5.35	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur Existing Arah y Negatif	106
Tabel 5.36	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur Existing Arah x Positif	107
Tabel 5.37	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur Existing Arah x Negatif	107
Tabel 5.38	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur Existing Arah y Positif	108
Tabel 5.39	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur Existing Arah y Negatif	108
Tabel 5.40	Spesifikasi Mutu Material Struktur Existing	108
Tabel 5.41	Rekapitulasi Spesifikasi Elemen Struktur Existing	109
Tabel 5.42	Rekapitulasi Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Struktur Existing	109
Tabel 5.43	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Struktur Kolom Existing	110
Tabel 5.44	Berat Bangunan Struktur *Trial* 1	111
Tabel 5.45	Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 1 Sumbu x	117
Tabel 5.46	Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 1 Sumbu y	117
Tabel 5.47	Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 1 Arah x Positif	119
Tabel 5.48	Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 1 Arah x Negatif	119

Tabel 5.49	Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 1 Arah y Positif	119
Tabel 5.50	Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 a dan b Struktur *Trial* 1 Arah y Negatif	120
Tabel 5.51	Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 1 Arah x Positif	120
Tabel 5.52	Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 1 Arah x Negatif	121
Tabel 5.53	Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 1 Arah y Positif	121
Tabel 5.54	Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 1 Arah y Negatif	122
Tabel 5.55	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 1 Sumbu x	123
Tabel 5.56	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 1 Sumbu y	124
Tabel 5.57	Ketidakberaturan Tipe Vertikal 2 Struktur *Trial* 1	125
Tabel 5.58	Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Struktur *Trial* 1	126
Tabel 5.59	Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 1 Sumbu x	127
Tabel 5.60	Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 1 Sumbu y	127
Tabel 5.61	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah x Positif	128
Tabel 5.62	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah x Negatif	129
Tabel 5.63	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah y Positif	129
Tabel 5.64	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah y Negatif	129

Tabel 5.65	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah x Positif	130
Tabel 5.66	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah x Negatif	130
Tabel 5.67	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah y Positif	131
Tabel 5.68	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah y Negatif	131
Tabel 5.69	Rekapitulasi Peninjauan Gaya Geser Tingkat untuk Penentuan Nilai Faktor Redundansi *Trial* 1	132
Tabel 5.70	Penggunaan Skala Gaya Geser Dasar Struktur *Trial* 1	135
Tabel 5.71	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah x Positif	135
Tabel 5.72	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah x Negatif	136
Tabel 5.73	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah y Positif	136
Tabel 5.74	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah y Negatif	136
Tabel 5.75	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah x Positif	137
Tabel 5.76	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah x Negatif	137
Tabel 5.77	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah y Positif	137
Tabel 5.78	Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah y Negatif	138
Tabel 5.79	Spesifikasi Mutu Material Struktur *Trial* 1	139
Tabel 5.80	Rekapitulasi Spesifikasi Elemen Struktur *Trial* 1	147
Tabel 5.81	Rekapitulasi Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Struktur *Trial* 1	148

Tabel 5.82	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Struktur Kolom *Trial* 1	149
Tabel 5.83	Berat Bangunan Struktur *Trial* 2	150
Tabel 5.84	Rekapitulasi Peninjauan Gaya Geser Tingkat untuk Penentuan Nilai Faktor Redundansi *Trial* 2	153
Tabel 5.85	Penggunaan Skala Gaya Geser Dasar Struktur *Trial* 2	154
Tabel 5.86	Spesifikasi Mutu Material Struktur *Trial* 2	155
Tabel 5.87	Rekapitulasi Spesifikasi Elemen Struktur *Trial* 2	155
Tabel 5.88	Rekapitulasi Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Struktur *Trial* 2	156
Tabel 5.89	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Kolom Struktur Kolom *Trial* 2	157
Tabel 5.90	Berat Bangunan Struktur *Trial* 3	158
Tabel 5.91	Rekapitulasi Peninjauan Gaya Geser Tingkat untuk Penentuan Nilai Faktor Redundansi *Trial* 3	161
Tabel 5.92	Penggunaan Skala Gaya Geser Dasar Struktur *Trial* 3	162
Tabel 5.93	Spesifikasi Mutu Material Struktur *Trial* 3	163
Tabel 5.94	Rekapitulasi Spesifikasi Elemen Struktur *Trial* 3	163
Tabel 5.95	Rekapitulasi Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Struktur *Trial* 3	164
Tabel 5.96	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Struktur Kolom *Trial* 3	165
Tabel 5.97	Berat Bangunan Struktur *Trial* 4	166
Tabel 5.98	Rekapitulasi Peninjauan Gaya Geser Tingkat untuk Penentuan Nilai Faktor Redundansi *Trial* 4	169
Tabel 5.99	Penggunaan Skala Gaya Geser Dasar Struktur *Trial* 4	170
Tabel 5.100	Spesifikasi Mutu Material Struktur *Trial* 4	171
Tabel 5.101	Rekapitulasi Spesifikasi Elemen Struktur *Trial* 4	171
Tabel 5.102	Rekapitulasi Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Struktur *Trial* 4	172

Tabel 5.103	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Struktur Kolom *Trial* 4	173
Tabel 5.104	Data Input dan Ouput untuk Menentukan Lebar Kolom (*B*)	174
Tabel 5.105	Normalisasi Data Input untuk Menentukan Lebar Kolom (*B*)	176
Tabel 5.106	Data Input dan Ouput untuk Menentukan Tebal Kolom (*H*)	177
Tabel 5.107	Normalisasi Data Input untuk Menentukan Tebal Kolom (*H*)	178
Tabel 5.108	Data Input dan Ouput untuk Menentukan Rasio Tulangan Kolom (ρ)	179
Tabel 5.109	Normalisasi Data Input untuk Menentukan Rasio Tulangan Kolom (ρ)	181
Tabel 5.110	Data Input dan Ouput untuk Menentukan Sengkang Tumpuan Kolom (*St*)	182
Tabel 5.111	Normalisasi Data Input untuk Menentukan Sengkang Tumpuan Kolom (*St*)	184
Tabel 5.112	Data Input dan Ouput untuk Menentukan Sengkang Lapangan Kolom (*Sl*)	186
Tabel 5.113	Normalisasi Data Input untuk Menentukan Sengkang Lapangan Kolom (*Sl*)	188
Tabel 5.114	Normalisasi Data Input untuk Menentukan Biaya Pekerjaan Kolom (*C*)	190
Tabel 5.115	Pembobotan untuk Menentukan Nilai Lebar Kolom (*B*)	207
Tabel 5.116	Pembobotan untuk Menentukan Nilai Tebal Kolom (*H*)	210
Tabel 5.117	Pembobotan untuk Menentukan Nilai Rasio Tulangan Kolom (ρ)	211
Tabel 5.118	Pembobotan untuk Menentukan Nilai Jarak Tulangan Transversal Tumpuan Kolom (St)	212
Tabel 5.119	Pembobotan untuk Menentukan Nilai Jarak Tulangan Transversal Lapangan Kolom (*Sl*)	213
Tabel 5.120	Pembobotan untuk Menentukan Biaya Pekerjaan Kolom (*C*)	214
Tabel 5.121	Berat Bangunan Struktur Hasil Optimalisasi	216

Tabel 5.122	Rekapitulasi Peninjauan Gaya Geser Tingkat untuk Penentuan Nilai Faktor Redundansi Model ANN	220
Tabel 5.123	Penggunaan Skala Gaya Geser Dasar Struktur Hasil Optimalisasi	221
Tabel 5.124	Spesifikasi Mutu Material Struktur Hasil Optimalisasi	222
Tabel 5.125	Rekapitulasi Spesifikasi Elemen Struktur Hasil Optimalisasi	222
Tabel 5.126	Rekapitulasi Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Struktur Hasil Optimalisasi	223
Tabel 5.127	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Struktur Kolom Hasil Optimalisasi	224
Tabel 5.128	Perbandingan Biaya Prediksi Pekerjaan Kolom ANN dengan Perhitungan Sebenarnya	226
Tabel 5.129	Perbandingan Nilai Faktor Pembesaran Torsi Pada Model ANN dan Model *Trial* Pada Arah x Positif	227
Tabel 5.130	Perbandingan Hasil Analisis Struktur dan Biaya Pekerjaan Kolom Pada Setiap Model	228
Tabel L-3.1	Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 2 Sumbu x	246
Tabel L-3.2	Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 2 Sumbu y	246
Tabel L-3.3	Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 3 Sumbu x	246
Tabel L-3.4	Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 3 Sumbu y	247
Tabel L-3.5	Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 4 Sumbu x	247
Tabel L-3.6	Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 4 Sumbu y	247
Tabel L-3.7	Distribusi Gaya Seismik Struktur Hasil Optimalisasi Sumbu x	248
Tabel L-3.8	Distribusi Gaya Seismik Struktur Hasil Optimalisasi Sumbu y	248
Tabel L-4.1	Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 2 Arah x Positif	249
Tabel L-4.2	Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 2 Arah x Negatif	249
Tabel L-4.3	Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 2 Arah y Positif	249

Tabel L-4.4 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 2 Arah y Negatif 250
Tabel L-4.5 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 3 Arah x Positif 250
Tabel L-4.6 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 3 Arah x Negatif 250
Tabel L-4.7 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 3 Arah y Positif 251
Tabel L-4.8 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 3 Arah y Negatif 251
Tabel L-4.9 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 4 Arah x Positif 251
Tabel L-4.10 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 4 Arah x Negatif 252
Tabel L-4.11 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 4 Arah y Positif 252
Tabel L-4.12 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 4 Arah y Negatif 252
Tabel L-4.13 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Positif 253
Tabel L-4.14 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Negatif 253
Tabel L-4.15 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Positif 253
Tabel L-4.16 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Negatif 254
Tabel L-5.1 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 2 Arah x Positif 255
Tabel L-5.2 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 2 Arah x Negatif 255

Tabel L-5.3	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 2 Arah y Positif	255
Tabel L-5.4	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 2 Arah y Negatif	256
Tabel L-5.5	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 3 Arah x Positif	256
Tabel L-5.6	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 3 Arah x Negatif	256
Tabel L-5.7	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 3 Arah y Positif	257
Tabel L-5.8	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 3 Arah y Negatif	257
Tabel L-5.9	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 4 Arah x Positif	257
Tabel L-5.10	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 4 Arah x Negatif	258
Tabel L-5.11	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 4 Arah y Positif	258
Tabel L-5.12	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 4 Arah y Negatif	258
Tabel L-5.13	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur Hasil Optimalisasi ANN Arah x Positif	259
Tabel L-5.14	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur Hasil Optimalisasi ANN Arah x Negatif	259
Tabel L-5.15	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur Hasil Optimalisasi ANN Arah y Positif	259
Tabel L-5.16	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur Hasil Optimalisasi ANN Arah y Negatif	260
Tabel L-6.1	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 2 Sumbu x	261

Tabel L-6.2	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 2 Sumbu y	261
Tabel L-6.3	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 3 Sumbu x	261
Tabel L-6.4	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 3 Sumbu y	262
Tabel L-6.5	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 4 Sumbu x	262
Tabel L-6.6	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 4 Sumbu y	262
Tabel L-6.7	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Hasil Optimalisasi Sumbu x	263
Tabel L-6.8	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Hasil Optimalisasi Sumbu y	263
Tabel L-7.1	Hasil Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Struktur *Trial* 2	264
Tabel L-7.2	Hasil Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Struktur *Trial* 3	264
Tabel L-7.3	Hasil Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Struktur *Trial* 4	264
Tabel L-7.4	Hasil Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Struktur Hasil Optimalisasi ANN	265
Tabel L-8.1	Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 2 Sumbu x	266
Tabel L-8.2	Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 2 Sumbu y	266
Tabel L-8.3	Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 3 Sumbu x	266
Tabel L-8.4	Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 3 Sumbu y	267
Tabel L-8.5	Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 4 Sumbu x	267
Tabel L-8.6	Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 4Sumbu y	267

Tabel L-8.7	Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur Hasil Optimalisasi Sumbu x	268
Tabel L-8.8	Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur Hasil Optimalisasi Sumbu y	268
Tabel L-9.1	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah x Positif	269
Tabel L-9.2	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah x Negatif	269
Tabel L-9.3	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah y Positif	269
Tabel L-9.4	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah y Negatif	270
Tabel L-9.5	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah x Positif	270
Tabel L-9.6	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah x Negatif	270
Tabel L-9.7	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah y Positif	271
Tabel L-9.8	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah y Negatif	271
Tabel L-9.9	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah x Positif	271
Tabel L-9.10	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah x Negatif	272
Tabel L-9.11	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah y Positif	272
Tabel L-9.12	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah y Negatif	272
Tabel L-9.13	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Positif	273

Tabel L-9.14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Negatif 273
Tabel L-9.15 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Positif 273
Tabel L-9.16 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Negatif 274
Tabel L-10.1 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah x Positif 275
Tabel L-10.2 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah x Negatif 275
Tabel L-10.3 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah y Positif 275
Tabel L-10.4 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah y Negatif 276
Tabel L-10.5 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah x Positif 276
Tabel L-10.6 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah x Negatif 276
Tabel L-10.7 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah y Positif 277
Tabel L-10.8 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah y Negatif 277
Tabel L-10.9 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah x Positif 277
Tabel L-10.10 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah x Negatif 278
Tabel L-10.11 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah y Positif 278
Tabel L-10.12 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah y Negatif 278

Tabel L-10.13 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Positif 279
Tabel L-10.14 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Negatif 279
Tabel L-10.15 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Positif 279
Tabel L-10.16 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Negatif 280
Tabel L-11.1 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 2 Arah x Positif 281
Tabel L-11.2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 2 Arah x Negatif 281
Tabel L-11.3 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 2 Arah y Positif 281
Tabel L-11.4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 2Arah y Negatif 282
Tabel L-11.5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah x Positif 282
Tabel L-11.6 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah x Negatif 282
Tabel L-11.7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah y Positif 283
Tabel L-11.8 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah y Negatif 283
Tabel L-11.9 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah x Positif 283
Tabel L-11.10 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah x Negatif 284
Tabel L-11.11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah y Positif 284

Tabel L-11.12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah y Negatif 284
Tabel L-11.13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Positif 285
Tabel L-11.14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Negatif 285
Tabel L-11.15 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Positif 285
Tabel L-11.16 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Negatif 286
Tabel L-12.1 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 2 Arah x Positif 287
Tabel L-12.2 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 2 Arah x Negatif 287
Tabel L-12.3 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 2 Arah y Positif 287
Tabel L-12.4 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 2 Arah y Negatif 288
Tabel L-12.5 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah x Positif 288
Tabel L-12.6 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah x Negatif 288
Tabel L-12.7 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah y Positif 289
Tabel L-12.8 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah y Negatif 289
Tabel L-12.9 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah x Positif 289
Tabel L-12.10 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah x Negatif 290

Tabel L-12.11 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah y Positif 290
Tabel L-12.12 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah y Negatif 290
Tabel L-12.13 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Positif 291
Tabel L-12.14 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Negatif 291
Tabel L-12.15 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Positif 291
Tabel L-12.16 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Negatif 292

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Contoh Penulangan Sistem Struktur Bangunan Beton Bertulang Tahan Gempa	25
Gambar 3.2	Tingkat Kerusakan Bangunan	28
Gambar 3.3	Mekanisme Runtuh Pada Portal Terbuka	31
Gambar 3.4	Parameter Gerak Tanah Periode Pendek, *Ss*	34
Gambar 3.5	Parameter Gerak Tanah Periode 1 Detik, *S1*	34
Gambar 3.6	*Spektrum Respons Desain*	48
Gambar 3.7	Pengaruh Beban Ortogonal	49
Gambar 3.8	Tipikal Diagram Interaksi Mn-Pn Kolom	54
Gambar 3.9	Ilustrasi Model Neuron	59
Gambar 3.10	Model *Single-Input Neuron*	60
Gambar 3.11	Model *Multiple-Input Neuron*	61
Gambar 3.12	*Transfer Function*	62
Gambar 3.13	*A Layer of Neurons*	63
Gambar 3.14	*A Layer of Neurons, Abbreviated Notatio*n	64
Gambar 3.15	*Multiple Layers of Neurons*	64
Gambar 3.16	*Multiple Layers of Neurons, Abbreviated Notation*	65
Gambar 3.17	*Recurrent Network*	66
Gambar 3.18	*Model Arsitektur Jaringan Backpropagation*	66
Gambar 3.19	Model Optimalisasi Lebar Kolom	67
Gambar 3.20	Model Optimalisasi Tebal Kolom	68
Gambar 3.21	Model Optimalisasi Rasio Tulangan Lentur Kolom	69
Gambar 3.22	Model Optimalisasi Jarak Tulangan Transversal Tumpuan Kolom	70
Gambar 3.23	Model Optimalisasi Jarak Tulangan Transversal Lapangan Kolom	71
Gambar 3.24	Model Optimalisasi Biaya Pekerjaan Kolom	72
Gambar 4.1	Lokasi Proyek Objek Penelitian	74

Gambar 4.2	Denah Rencana Lantai 1 -P4	75
Gambar 4.3	Potongan Struktur Gedung	75
Gambar 4.4	Data Hasil Pengujian Tanah Lapangan Objek Penelitian	76
Gambar 4.5	Bagan Alir Pokok Penelitian	81
Gambar 4.6	Bagan Analisis Model Struktur	82
Gambar 4.7	Bagan Alir Desain dan Analisis Komponen Struktur	83
Gambar 4.8	Bagan Alir Optimalisasi	84
Gambar 4.9	Gambar Keterangan Simbol Pada Bagan Alir	85
Gambar 5.1	Model Struktur Objek Penelitian	90
Gambar 5.2	Penentuan Titik Ketidakberaturan Lantai UGL 2 arah x	118
Gambar 5.3	Nilai Respons Spektrum Desain (Sa) Pada Setiap Periode	133
Gambar 5.4	Grafik Mn-Pn kolom K44A *Trial* 1	143
Gambar 5. 5	Grafik Plotting Data Untuk Training	206
Gambar 5.6	Grafik Plotting Data Untuk Testing	206
Gambar 5.7	Grafik Perbandingan *Drift Ratio* Tahap 2 Arah x Positif	225
Gambar 5.8	Grafik Perbandingan *Drift Ratio* Tahap 2 Arah x Negatif	225
Gambar 5.9	Grafik Perbandingan *Drift Ratio* Tahap 2 Arah y Positif	225
Gambar 5.10	Grafik Perbandingan *Drift Ratio* Tahap 2 Arah y Negatif	226
Gambar 5.11	Grafik Perbandingan Faktor Pembesaran Torsi Pada Model ANN dan Model *Trial* Pada Arah x Positif	226
Gambar 5.12	Grafik Perbandingan Biaya Pekerjaan Kolom Setiap Pemodelan	226
Gambar L-2.1	Denah Struktur Objek Penelitian Lantai UGL 1	237
Gambar L-2.2	Denah Struktur Objek Penelitian Lantai UGL 2	238
Gambar L-2. 3	Denah Struktur Objek Penelitian Lantai L1	239
Gambar L-2.4	Denah Struktur Objek Penelitian Lantai UL1	240
Gambar L-2.5	Denah Struktur Objek Penelitian Lantai L2	241
Gambar L-2.6	Denah Struktur Objek Penelitian Lantai UL2	242
Gambar L-2.7	Denah Struktur Objek Penelitian Lantai *Mezzanine*	243
Gambar L-2.8	Denah Struktur Objek Penelitian Lantai *Roof*	244
Gambar L-2.9	Denah Struktur Objek Penelitian Lantai *Upper Roof*	245

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Time Schedule Tugas Akhir	236
Lampiran 2	Denah Struktur Objek Penelitian	237
Lampiran 3	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Distribusi Gaya Seismik	246
Lampiran 4	Rekapitulasi Hasil Identifikasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1	249
Lampiran 5	Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi	255
Lampiran 6	Rekapitulasi Hasil Identifikasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1	261
Lampiran 7	Rekapitulasi Hasil Identifikasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2	264
Lampiran 8	Rekapitulasi Hasil Identifikasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5	266
Lampiran 9	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1	269
Lampiran 10	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *P-delta Effect* Tahap 1	275
Lampiran 11	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2	281
Lampiran 12	Rekapitulasi Hasil Perhitungan *P-delta Effect* Tahap 2	287

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ANN = *Artificial neural network*

ADL = *Additional dead load*, Beban mati tambahan

Ad = Luas 1 tulangan longitudinal (mm^2)

A_{st} = Luas tulangan longitudinal/pokok total (mm^2)

Ag = Luas kotor penampang (cm^2)

Ach = Luas bersih penampang (cm^2)

a = *Output*

a = Tinggi blok tegangan tekan (cm)

A_x = Faktor pembesaran torsi tak terduga

B = Lebar kolom (mm)

b = Bias

C_c = *Compression concrete* (gaya desak yang ditahan oleh beton)

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral

C_s = Koefisien respons seismik dengan mengasumsikan dasar struktur fleksibel pada pertemuan tanah-struktur

Cs = *Compression steel* (gaya desak yang ditahan oleh baja tulangan)

C_t = Parameter periode pendekatan berdasarkan tipe sistem rangka pemikul

C_u = Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

c = Jarak garis netral diagram regangan penampang beton

D = Pengaruh beban mati

Dp = Diameter tulangan pokok (mm)

Ds = Diameter tulangan sengkang (mm)

d = Jarak titik berat baja tulangan tarik dari tepi tarik penampang (mm)

d' = Jarak titik berat baja tulangan desak dari tepi desak penampang (mm)

E = Pengaruh beban seismik horizontal dan vertikal

E_h = Pengaruh gempa seismik horizontal

E_s = Elastisitas baja tulangan

E_v = Pengaruh gempa seismik vertikal

e_{0x}, e_{0y} = Eksentrisitas bawaan (mm)

e_x, e_y = Eksentrisitas tambahan (mm)

f = Fungsi aktivasi

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

F_a = Faktor amplifikasi percepatan getaran pada getaran periode pendek (0,2 detik)

F_v = Faktor amplifikasi percepatan getaran pada getaran periode satu detik

F_x = Gaya seismik lateral pada tingkat-x (kN)

fy = Kuat leleh tulangan (MPa)

fs = Kuat tarik baja tulangan sebelum leleh

H = Tebal kolom (mm)

h = Tebal pelat (m)

h = Tinggi efektif penampang

h_n = Ketinggian struktur yang dihitung dari dasar sampai tingkat tertinggi (m)

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat ke-x

ht = Tinggi total penampang

I_e = Faktor keutamaan gempa

K = Kekakuan efektif sistem struktur pada arah yang ditinjau (kN/mm)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur

L = Pengaruh beban hidup

L_r = Pengaruh beban hidup di atap

M_n = Momen nominal

M_t = Momen torsi bawaan

M_{ta} = Momen torsi tak terduga

M_u = Gaya momen *ultimate* (kNm)

n = *Net input*

P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat ke-x (kN)

P_u = Gaya aksial *ultimate* (kN)

P_n = Gaya aksial nominal (kN)

p = Data *input*

R = Beban air hujan

R = Koefisien modifikasi respons

SNI = Standar Nasional Indonesia

S_1 = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode satu detik (g)

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

S_{D1} = Parameter percepatan spektral desain pada periode pendek (0,2 detik)

S_{M1} = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode satu detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

S_{MS} = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs

S_s = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek (g)

T = Periode fundamental struktur (detik)

T_0 = Periode detik ke-0 (detik)

T_a = Periode fundamental pendekatan struktur (detik)

T_s = Periode pendek (detik)

T_L = Peta transisi periode panjang

V = Gaya geser dasar seismik dalam arah yang ditinjau (kN)

V_c = Gaya geser yang dapat ditahan oleh beton (kN)

V_n = Gaya geser nominal (kN)

V_t = Gaya geser dari analisis respons spektrum (kN)

V_u = Gaya geser *ultimate* (kN)

V_s = Gaya geser yang dapat ditahan oleh baja tulangan

V_x = Gaya geser seismik pada tingkat ke-x (kN)

W = Pengaruh beban angin

W = Berat seismik efektif (kN)

w = *Weight* atau pembobot

β = rasio kebutuhan geser pada terhadap kapasitas geser pada dan di bawah tingkat ke-x

β_1 = Faktor reduksi kuat tekan beton

Ω_0 = Faktor kuat lebih sistem

Δ = Simpangan antar tingkat desain (mm)

Δ_α = Simpangan antar tingkat yang diizinkan (mm)

δ_{avg} = Rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat x (mm)

δ_{max} = Perpindahan maksimum di tingkat x (mm)

δ_x = Simpangan pada tingkat ke-x (mm)

εy = Regangan leleh baja tulangan

εc = Regangan leleh beton (0,003)

$\varepsilon s'$ = Regangan leleh baja tulangan desak

εs = Regangan leleh baja tulangan tarik

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

ρ = Faktor redundansi

ρ = Rasio Tulangan

θ = Koefisien stabilitas untuk pengaruh *p-delta*

θ_{max} = Koefisien stabilitas maksimum

ABSTRAK

Beberapa daerah di Indonesia berada di atas area cincin api. Dengan begitu perencanaan struktur gedung yang dilakukan perlu mempertimbangkan pengaruh beban gempa. Di Indonesia analisis beban gempa dilakukan berdasarkan SNI-1726-2019. Desain dan struktur analisis pada umumnya menggunakan beberapa asumsi untuk menentukan dimensi dan properti untuk merencanakan struktur suatu gedung. Dengan begitu, data dan variabel yang digunakan dalam desain dan analisis yang dilakukan tidak sepenuhnya efisien. Untuk itu, diperlukan prosedur dan metode yang mendukung efisiensi perencanaan struktur gedung. Berdasarkan kontrol ulang respons struktur yang dilakukan, proyek perluasan gedung dan podium parkir Lombok Epicentrum Mal tidak memenuhi persyaratan simpangan antar tingkat tahap dua. Maka dari itu struktur gedung yang dimaksud perlu didesain ulang dengan dimensi dan properti yang optimal.

Optimalisasi pada penelitian ini hanya memperhitungkan kolom struktur. Desain dan analisis struktur dilakukan dengan alat bantu ETABS dan Microsoft Excel. Optimalisasi dilakukan menggunakan *software* MATLAB. Untuk meningkatkan objektivitas dalam perbandingan, gaya gempa yang sama digunakan pada model *existing* dan 4 model *trial*. Keseluruhan model *trial* harus memenuhi persyaratan simpangan antar tingkat dan pengaruh *p-delta*. Dalam kasus ini, dikarenakan terjadinya ketidakberaturan torsi berlebihan pada model *existing*, keseluruhan model *trial* dan hasil optimalisasi harus diperbaiki menjadi ketidakberaturan torsi dengan nilai yang serupa untuk meningkatkan objektivitas perbandingan dan menyederhanakan proses analisis dan desain. Pemrograman ANN dilakukan setelah keseluruhan mode *trial* telah dianalisis dan kolom struktur telah didesain. Variabel *input* dalam pemrograman ANN menggunakan mutu beton, mutu baja, dan diameter tulangan untuk memberi variasi pada keseluruhan model *trial*. Sementara itu, dimensi kolom, rasio tulangan longitudinal kolom, jarak tulangan transversal kolom dan biaya pekerjaan kolom digunakan sebagai *output* dalam pemrograman ANN.

Hasil Optimalisasi berdasarkan nilai prediksi ANN perlu dianalisis untuk dilakukan kontrol ulang terkait persyaratan simpangan antar tingkat, pengaruh *p-delta*, dan nilai ketidakberaturan torsi untuk mengkonfirmasi bahwa hasil prediksi ANN dapat dibandingkan dengan keseluruhan model *trial*. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan biaya termurah dari ke-empat *trial* adalah pada model *trial* 1. Pada model tersebut, biaya untuk pekerjaan kolom adalah Rp12.169.806.672 dan setelah dilakukan optimalisasi menggunakan program ANN biaya pekerjaan kolom yang diperlukan adalah Rp 10.747.790.267. Nilai tersebut dapat mengkonfirmasi bahwa model program ANN merupakan model optimal apabila dibandingkan dengan ke-empat *trial* dengan nilai ketidakberaturan torsi yang serupa. Biaya hasil optimalisasi program ANN perlu dibandingkan dengan biaya prediksi berdasarkan rumus empiris dari program ANN untuk mengkonfirmasi nilai *error* dari prediksi masih berada pada kondisi yang wajar. Nilai *error* antara biaya prediksi berdasarkan rumus empiris dengan biaya model prediksi ANN adalah 1,78%. Nilai tersebut dapat menggambarkan performa dari prediksi program ANN.

Kata kunci : Struktur Gedung, Optimalisasi Kolom, *Artificial Neural Network* (ANN)

ABSTRACT

Certain areas in Indonesia are located on ring of fire area. Therefore, building structure planning used to consider earthquake load effect. In Indonesia earthquake load analysis is follow the guidelines outlined in SNI-1726-2019. Structure design and analysis usually use some assumptions to define dimension and properties to plan building structure. As a result, data or variable that used in building structure design and analysis are not truly efficient. Procedure and method are needed to support efficiency of building structure planning. Based on response structure re-control in this research, Lombok Epicentrum Mall & Parking Podium Expansion project is not fulfilling drift ratio stage two requirement. Consequently, redesigning the structure with optimized dimensions and properties section became necessary

In this study, optimalization only calculate column structure design. Design and analysis structure was support by ETABS and Microsoft Excel software. The optimalization was carried out with MATLAB software. To increase comparative objectivity, the same earthquake load was used to existing and 4 trials models. The all-trials models must fulfil drift ratio and p-delta effect requirement. In this case, because of extreme torsional irregularity existed at the existing model, the all trials models and optimalization model must be fixed to torsional irregularity with similar value to improve comparative objectivity and simplify analysis and design process. The ANN programming was used after the all trials was analysed also column structure was designed. Input variable for ANN programming include concrete quality, steel quality, and diameter of reinforcing steel to variated across trials models. On the other hand, dimension of column structure, longitudinal reinforcement ratio, transversal reinforcement space, and cost of column cost construction were used for ANN programming output.

The model of optimalization from ANN prediction value must be analysed to re-control the requirement such as drift ratio, p-delta effect and torsional irregularity value to confirm that the result from ANN prediction can be compared with the all trials models. According to the research, the cheapest cost of column construction between the all trials was on the first trial. It cost Rp Rp 12.169.806.672 and after optimizing used ANN programming the cost of column construction is Rp Rp 10.747.790.267. This validated that ANN programming model was an optimal model by comparing the cost between the cheapest trial model and ANN optimalization model with similar torsional irregularity condition. That cost must be compared with ANN prediction according to empirical formula to confirm that ANN programming prediction error was still stand on reasonable error value. The error value between empirical formula prediction of cost and ANN prediction model cost is 1,78%. That value can present the performance of ANN programming prediction.

Keywords: Building Structure, Column Optimalization, Artificial Neural Network (ANN)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki jumlah wisatawan daerah maupun mancanegara yang cukup tinggi adalah Lombok, Nusa Tenggara Barat. Berdasarkan data Dinas Kominfo Provinsi Nusa Tenggara Barat (2023), jumlah wisatawan nusantara pada Agustus 2022 mengalami peningkatan sebanyak 89% dari tahun sebelumnya yaitu 102.707 wisatawan. Di sisi lain, Lombok yang merupakan salah satu destinasi wisata favorit di Indonesia juga merupakan daerah yang dilewati *ring of fire.* Selain itu Widodo dkk. (2022) menyebutkan bahwa Kepulauan Nusa Tenggara cenderung rawan akan gempa *deep intra-slab*. Gempa ini dapat menyebabkan kerusakan yang cukup luas di sekitar lokasi pusat gempa.

Pada tahap perencanaan maupun analisis, perencana biasanya menggunakan beberapa asumsi untuk menentukan dimensi dan properti dalam merencanakan struktur sebuah gedung. Selain itu, pada tahap ini desain dan analisis yang dilakukan belum menggunakan data ataupun variabel yang dapat menunjang efisiensi perencanaan. Hal ini menyebabkan perencanaan yang dihasilkan belum dapat dinilai ekonomis sepenuhnya.

Di Indonesia sendiri, analisis kesesuaian struktur terhadap beban gempa termuat dalam SNI 03-1726-2019 yang mana pedoman analisis ini merupakan pembaruan atas pedoman sebelumnya yaitu SNI 03-1726-2012. Pembaruan ini didasari atas terbitnya beberapa penelitian yang menyebutkan semakin banyaknya gedung yang rusak akibat respons gempa beberapa tahun ke belakang (Nulhakim, 2021).

P.T. Sriwijaya Propindo Utama selaku perusahaan pendiri salah satu pusat pembelanjaan yang ada di pulau Lombok tepatnya di Kota Mataram, merencanakan perluasan Lombok Epicentrum Mall untuk mengakomodasi kebutuhan masyarakat sekitar dan wisatawan yang terus meningkat. Perluasan gedung dan pembangunan podium parkir seluas 6.000 meter persegi tersebut akan dibangun pada sisi barat

gedung *existing* seluas 18.400 meter Pembangunan proyek yang dimaksud telah selesai pada tahun 2023 dan telah beroperasi hingga saat ini. Perencanaan struktur gedung perluasan ini telah menggunakan standar terbaru terkait perencanaan struktur beton bertulang yaitu SNI 03-2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1727-2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain, serta SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung. Spesifikasi dan detail struktur yang merupakan hasil dari penggunaan kombinasi dalam perencanaan tersebut dinilai dapat menekan biaya pelaksanaan pembangunan gedung ini.

Peneliti mengindikasi adanya momen puntir diakibatkan struktur gedung termasuk struktur tidak beraturan dikarenakan desain yang cukup kompleks dan adanya penekanan terhadap biaya pekerjaan. Di sisi lain, perlu ditinjau lebih lanjut, apakah kombinasi tersebut merupakan kombinasi dengan efisiensi tertinggi untuk menghasilkan spesifikasi dan detail yang optimum. Oleh karena itu, struktur gedung yang ada perlu didesain ulang berdasarkan hasil dari analisis struktur *existing*. Pada penelitian ini dilakukan empat percobaan (*trial*) yang mana setiap *trial* didesain ulang dengan dimensi dan geometri yang berbeda dan tetap menitikberatkan kekuatan struktur dengan analisis dua tahap. Secara umum metode optimalisasi dengan menggunakan ANN dapat dilakukan untuk keseluruhan elemen struktur gedung bertingkat. Dalam penelitian tugas akhir ini optimalisasi struktur hanya dilakukan pada elemen kolom dilakukan untuk menjaga kekuatan struktur yang telah dijelaskan mengingat apabila dimensi balok hasil optimalisasi yang kecil dapat mengakibatkan momen yang besar, sehingga *joint* antara kolom dengan balok juga dapat melemah. Hasil *redesign* yang ada, tentunya belum tentu menghasilkan struktur optimum, sehingga data hasil analisis dan desain digunakan untuk melakukan optimalisasi struktur gedung objek penelitian.

Peninjauan efisiensi struktur terkait struktur optimum pada objek penelitian dilakukan berdasarkan tingkat ketahanan struktur yang dapat dinilai dari ketidakberaturan struktur, *drift ratio,* dan *p-delta effect* terhadap konfigurasi struktur hasil optimalisasi. Peninjauan tersebut dilakukan pada analisis 2 tahap yaitu

pada analisis *serviceability limits* dan analisis untuk kebutuhan desain elemen struktur Selanjutnya, dari hasil optimalisasi tersebut disajikan perbandingan antara biaya perencanaan yang digunakan dengan biaya dari hasil optimalisasi yang dilakukan. Dengan demikian, penelitian ini dapat dinilai penting dengan adanya perbandingan biaya yang dipaparkan.

Artificial Neural Network (ANN) atau jaringan saraf tiruan merupakan metode peramalan dengan basis bahasa pemrograman yang biasa digunakan dalam mengenali data-data untuk memberikan keputusan terhadap data yang belum dipelajari (Hariawan, 2007). Jaringan saraf tiruan memungkinkan perencana untuk mendapatkan estimasi akurat terkait kombinasi optimum yang akan digunakan dengan keterbatasan data yang ada. Hal ini didukung dengan terdapat penelitian yang menyebutkan bahwa penggunaan metode *Artificial Neural Network* menghasilkan akurasi estimasi yang lebih akurat dibandingkan dengan metode tradisional (Setyawati dkk., 2002). Berdasarkan penelitian tersebut penggunaan metode *Artificial Neural Network* (ANN) menghasilkan beberapa persamaan rumus empiris yang digunakan untuk mengestimasi dimensi dan properti optimum dari komponen struktur dalam perencanaan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jauhari (2022) penerapan metode *Artificial Neural Network* (ANN) dapat mengestimasi dimensi balok dan kolom. Estimasi yang dilakukan pada pemodelan struktur masjid dua tingkat ini memiliki nilai *error* sebesar 0.88% terhadap rumus empiris yang digunakan. Namun, dengan keterbatasan jumlah lantai tersebut pengaruh penggunaan metode *Artificial Neural Network* (ANN) tidak begitu signifikan. Selain itu, optimalisasi yang dilakukan hanya menghasilkan dimensi pada struktur kolom dan balok dari 3 persamaan empiris yang diperoleh.

Pengaruh jumlah lantai terhadap estimasi dimensi struktur kolom dan balok dijelaskan pada penelitian yang dilakukan oleh Kinanti dkk. (2022). Dalam penelitian tersebut dipaparkan hubungan antara jumlah lantai dengan luas dimensi balok yang disajikan dalam bentuk grafik. Selain itu terdapat juga hubungan antara jumlah lantai dengan rasio tulangan (ρ) yang telah disajikan dalam bentuk luas tulangan minimum. Pada penelitian ini juga dipaparkan bahwa terdapat hubungan

antara kuat tekan beton (*f'c*) yang berpengaruh terhadap kebutuhan dimensi kolom dan balok. Pada penelitian ini terdapat keterbatasan yang mana analisis struktur yang dilakukan hanya menggunakan analisis dinamik dengan berdasar pada nilai *drift ratio* yang dihitung. Sementara, pada penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya terdapat dua metode analisis yang digunakan yaitu analisis dinamik dan juga analisis statik, sehingga perhitungan terkait kekuatan struktur yang dilakukan lebih akurat.

Selain kedua penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya, pada penelitian yang juga dilakukan oleh Kinanti dkk. (2022) dijelaskan bahwa perencanaan memiliki keterbatasan waktu dalam menentukan struktur yang aman dan ekonomis. Pada penelitian ini, terdapat kesimpulan bahwa semakin banyak jumlah neuron yang dihasilkan dari banyaknya variabel yang digunakan maka semakin akurat estimasi yang dihasilkan didasari dengan nilai *error* yang semakin kecil. Namun, sama seperti penelitian sebelumnya analisis yang digunakan hanya menggunakan analisis dinamik dengan berdasar pada nilai *drift ratio* yang dihitung.

Dengan adanya beberapa hasil penelitian yang telah disebutkan sebelumnya penelitian ini menerapkan ANN untuk mengoptimalisasi struktur kolom pada proyek perluasan gedung Lombok Epicentrum Mall dan podium parkir dengan menggunakan beberapa variabel yang dapat mempengaruhi kebutuhan dimensi dan properti struktur pada proyek tersebut. Untuk melanjutkan penelitian terkait, digunakan beberapa variabel yang belum digunakan pada penelitian yang disebutkan seperti kuat leleh baja tulangan dan jarak tulangan transversal pada tumpuan dan lapangan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan dari latar belakang sebelumnya perumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Seperti apa hasil kontrol ulang respons struktur perluasan gedung dan podium parkir Lombok Epicentrum Mall?

2. Bagaimana penerapan *Artificial Neural Network* (ANN) dalam pemilihan kombinasi optimum untuk perencanaan struktur pada perluasan gedung dan podium parkir Lombok Epicentrum Mall?
3. Bagaimana biaya dari hasil optimalisasi struktur perluasan gedung dan podium parkir Lombok Epicentrum Mal dengan kombinasi optimum berdasarkan rumus empiris metode *Artificial Neural Network* (ANN)?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang dibentuk, tujuan penelitian ini mencakup berupa hal berikut.

1. Kontrol ulang respons struktur perluasan gedung dan podium parkir Lombok Epicentrum Mall.
2. Penerapan *Artificial Neural Network* (ANN) dalam pemilihan kombinasi optimum untuk perencanaan struktur pada perluasan gedung dan podium parkir Lombok Epicentrum Mall.
3. Memperoleh biaya hasil optimalisasi komponen struktur perluasan gedung dan podium parkir Lombok Epicentrum Mal dengan kombinasi optimum berdasarkan hasil rumus empiris dari metode *Artificial Neural Network* (ANN).

1.4. Manfaat Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan tujuan dilakukannya penelitian ini, diharapkan memberikan manfaat antara lain :

1. Memperkenalkan efektivitas pengaplikasian metode *Artificial Neural Network* (ANN) khususnya kepada praktisi bidang konstruksi bangunan gedung dalam optimalisasi struktur konstruksi pada tahap perencanaan dan mempertegas variabel atau parameter yang dapat menunjang tingginya akurasi dari hasil optimalisasi.
2. Bagi pihak yang ikut berkontribusi terhadap jalannya proyek, memberikan gambaran terkait perbandingan hasil optimalisasi struktur dengan menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN) terhadap perencanaan yang telah dilakukan untuk memperkecil biaya pekerjaan pelaksanaan struktur.
3. Memberikan hasil optimalisasi biaya pekerjaan kolom

1.5. Batasan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa batasan antara lain :

1. Pemodelan struktur yang digunakan merupakan hasil dari perencanaan struktur proyek Lombok Epicentrum Phase 1A-(Mall Expansion & Parking Podium) Facelift of *Existing* Façade dengan beberapa detail *as bulit drawing* yang digunakan pada saat pelaksanaan.
2. Penelitian ini menggunakan beberapa objek dari komponen struktur *existing* yaitu keseluruhan tipe kolom pada struktur gedung *existing* mengingat keterbatasan waktu yang ada selama proses penelitian
3. Struktur yang dianalisis pada penelitian ini adalah struktur atas beton bertulang yang mana *joint* antara struktur atas dengan pondasi diasumsikan terkekang sempurna (*fixed*).
4. Struktur pondasi, *ramp*, tangga, dan atap baja tidak termasuk dalam perhitungan analisis struktur penelitian.
5. Beban struktur yang diterapkan yaitu beban mati, baban mati tambahan, beban hidup, dan beban gempa.
6. Analisis struktur dilakukan berdasarkan hasil perhitungan struktur dari *software* ETABS dengan metode statik ekivalen dan respons spektrum dengan melakukan kontrol nilai *drift* dengan simpangan ijin antar lantai.
7. Rumus empiris hasil dari penggunaan metode *Artificial Neural Network* (ANN) diperoleh dari *output* pemrograman yang dilakukan dengan *software* MATLAB.
8. Perhitungan biaya pekerjaan objek penelitian mengacu pada Keputusan Walikota Mataram Nomor 1026/ IX/ 2018, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2023, serta harga pasar untuk material baja tulangan dengan spesifikasi kuat leleh baja tulangan tertentu.
9. Pedoman dalam proses analisis struktur penelitian ini antara lain :
    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.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dikarenakan topik pada penelitian ini merupakan perkembangan dari metode optimalisasi pada bidang konstruksi maka dibutuhkan beberapa jurnal penelitian terdahulu yang dapat digunakan sebagai bahan referensi. Dengan peninjauan terhadap penelitian terdahulu, peneliti dapat menentukan parameter dan mempelajari teori terkait penggunaan metode *Artificial Neural Network* dari hasil penelitian sebelumnya yang memiliki relevansi dengan topik penelitian yang dipilih. Disisi lain dengan adanya peninjauan terhadap penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, orisinalitas penelitian ini dapat di konfirmasi.

Penelitian ini dilakukan untuk mempertegas hasil dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan mengombinasikan parameter dan analisis dari penelitian terdahulu. Kombinasi tersebut dilakukan untuk meningkatkan akurasi dari hasil penggunaan metode yang dipilih. Untuk itu dipaparkan perbandingan dari tinjauan penelitian-penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu yang digunakan sebagai tinjauan pustaka dalam penelitian ini untuk dijadikan sebagai bahan referensi sekaligus untuk mengkonfirmasi orisinalitas dari penelitian yang akan dilakukan.

2.2.1 Jauhari Prasetiawan (2022)

Prediksi Optimalisasi Dimensi Balok Kolom Bangunan Masjid dengan Metode *Artificial Neural Network* yang dilakukan oleh Jauhari (2022) dengan menghasilkan rumus empiris berdasarkan pemodelan struktur masjid yang sering digunakan oleh masyarakat Lombok. Hal ini dikarenakan masyarakat masih sulit untuk menerapkan bangunan tahan gempa. Dengan didapatkannya rumus empiris dari hasil prediksi optimalisasi, diharapkan dapat memudahkan masyarakat untuk melakukan perencanaan khususnya perencanaan bangunan masjid yang

menyerupai model masjid penelitian (tipikal). Model struktur dari bangunan yang digunakan adalah masjid dua tingkat dengan selisih elevasi empat meter.

Penelitian ini telah menggunakan beberapa *code* terbaru dalam analisis struktur yang dilakukan, *code*/pedoman tersebut antara lain: SNI 03-2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, dan SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung. Selain itu pada penelitian ini, terdapat beberapa variabel yang digunakan sebagai parameter untuk menghasilkan persamaan empiris dalam penggunaan metode *Artificial Neural Network*. Percepatan geser tanah (S_S), parameter jenis tanah, variasi bentang balok (4 m, 6 m, dan 8 m), dan variasi bentang kolom (4 m dan 4.5 m) merupakan parameter yang digunakan pada penelitian ini.

Pemodelan struktur pada penelitian ini dibantu dengan *software* Autocad yang nantinya pemodelan tersebut di *input* ke *software* SAP 2000 untuk dapat melakukan analisis struktur terhadap pemodelan yang telah dihasilkan. Analisis struktur tersebut dilakukan dengan cara membandingkan hasil analisis dinamik dan analisis statik. Dengan model struktur yang ada, data-data beserta parameter yang telah ditentukan, di *input* ke *software* MATLAB untuk memodelkan program *Artificial Neural Network*. Dari pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN) yang dilakukan, dihasilkan tiga persamaan empiris berdasarkan *Artificial Neural Network* (ANN) yaitu rumus empiris balok, rumus empiris kolom persegi, dan rumus empiris kolom spiral (lingkaran). Berdasarkan hasil penelitian tersebut rumus empiris yang diperoleh memiliki nilai *error* paling besar yaitu 0.88%. Berdasarkan hal tersebut rumus empiris yang diperoleh dapat digunakan dalam melakukan prediksi untuk memperoleh dimensi optimum dengan variasi berbeda pada pemodelan struktur bangunan tipikal.

Namun, pemodelan yang digunakan pada penelitian ini merupakan pemodelan pada gedung dua tingkat dengan selisih elevasi tertinggi empat meter sehingga perlu ditinjau lebih lanjut penggunaan metode *Artificial Neural Network* (ANN) pada bangunan dengan elevasi dan jumlah lantai di atasnya. Selain itu parameter/variabel yang digunakan pada penelitian ini kurang bervariasi

dikarenakan variasi yang ditentukan hanya pada bentang balok dan bentang kolom sehingga keakuratan penggunaan *Artificial Neural Network* (ANN) pada optimalisasi struktur perlu ditinjau lebih lanjut dengan parameter yang lebih beragam. Disisi lain pada penelitian ini tidak disebutkan pedoman tentang desain pembebanan minimum yang digunakan dalam melakukan pemodelan struktur .

2.2.2 Harahap, Aminullah, & Priyosulistyo (2022)

Penelitian dengan judul Estimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung Hotel Yogyakarta dengan *Artificial Neural Network* yang dilakukan oleh Harahap dkk. (2022) didasari atas keterbatasannya komputasi yang tinggi dalam proses optimalisasi desain bangunan terlebih untuk bangunan berskala besar. Dengan dilakukannya penelitian ini praktisi bidang konstruksi khususnya perencana mendapatkan gambaran tahap desain konseptual gedung hotel Yogyakarta terkait dimensi optimum dan rasio tulangan minimum.

Penggunaan *code*/pedoman terbaru yang ada di Indonesia pada penelitian ini membantu pihak perencana untuk memastikan tingginya tingkat akurasi penggunaan metode *Artificial Neural Network* (ANN) dari segi kekuatan struktur terhadap hasil optimalisasi yang dilakukan. Pedoman yang digunakan tersebut antara lain: SNI 03-2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung. Namun pedoman yang digunakan terkait pembebanan minimum struktur gedung masih menggunakan *code* lama yaitu SNI 03-1727-2018. Kelas situs tanah (SC, SD dan SE), bentang balok (4, 6, dan 8 meter), jumlah lantai (3, 5, dan 7), mutu beton (f’c (25, 30 dan 35 MPa), serta diameter baja tulangan (D16 – D25) merupakan parameter yang digunakan dalam penelitian ini.

Dengan bantuan Microsoft Excel, dihasilkan 27 variasi pemodelan berdasarkan parameter yang ditentukan. Pemodelan struktur tersebut dianalisis dengan bantuan *software* SANSPRO untuk melakukan kontrol pada aspek keamanan struktur dengan metode analisis dinamik. Pemodelan arsitektur *Artificial Neural Network* pada penelitian ini dibantu dengan *software* MATLAB. Dari hasil

oleh data menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN) diperoleh 18 rumus empiris yang dapat digunakan untuk mengestimasi dimensi optimum dan rasio tulangan minimum pada tahap desain konseptual pada model gedung tipikal. Hal ini didukung dengan persentase *error* maksimum rumus empiris yang dihasilkan terbilang kecil. Rumus empiris untuk dimensi optimum dan rasio tulangan minimum pada balok tipe B1 memiliki persentase *error* maksimum sebesar 8,23% dan 2,92% sedangkan pada rumus empiris untuk dimensi optimum dan rasio tulangan minimum kolom dengan tipe kolom K1 memiliki persentase *error* maksimum sebesar 0,34% dan 9 %.

Pada penelitian ini memiliki keterbatasan yang mana analisis struktur yang digunakan hanya menggunakan analisis dinamik sementara pada penelitian yang dilakukan oleh (Prasetiawan, 2022) terdapat dua analisis struktur yaitu analisis dinamik dan statik. Selain itu pedoman dalam penentuan beban minimum untuk perencanaan gedung yang digunakan pada penelitian ini masih menggunakan *code*/pedoman lama yaitu SNI 03-1727-2018 sementara pada pedoman tersebut terdapat pembaruan pada SNI 03-1727-2020. Disisi lain, masih terdapat parameter yang berdampak pada respons struktur untuk dapat lebih ditinjau untuk meningkatkan akurasi estimasi.

2.2.3 Harahap, Aminullah, & Priyosulistyo (2022)

Pada penelitian yang berjudul Pendekatan *Artificial Neural Network* untuk Mengestimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung yang juga dilakukan oleh Harahap dkk. (2022) dilatarbelakangi oleh keterbatasan waktu dalam perencanaan untuk menentukan desain yang ekonomis dan aman dari suatu struktur gedung. Dengan dilakukannya penelitian ini perencana dapat mempersingkat waktu dalam uji coba dimensi optimum dan rasio tulangan minimum.

Penelitian ini telah menggunakan pedoman terbaru tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung yaitu SNI 03-2847-2019 serta SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung. Namun pada desain pembebanan minimum yang dilakukan masih menggunakan pedoman SNI 03-1727-2018. Pada penelitian ini terdapat

keunggulan dibandingkan dengan penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu penerapan parameter gerak tanah (S_S = 1 g, 1,2 g; 1,5 g.) (S_1 = 0,4g; 0,45g; 0,5g)) sebagai parameter. Selain itu terdapat parameter lain yang digunakan antara lain: jenis tanah (SC, SD, SE), jenis tumpuan (sendi dan jepit), bentang balok (4m, 6m, dan 8m), jumlah lantai (2, 4, dan 6), tinggi lantai (3,5m, 4m, dan 5m), mutu beton (f'c 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa), serta diameter tulangan (D16-D25). Parameter tersebut digunakan untuk mencapai *output* target dimensi optimum balok dan kolom, serta rasio tulangan minimum dari struktur balok dan kolom.

Pemodelan struktur pada penelitian ini menggunakan *software* SANSPRO yang mana model struktur tersebut dilakukan analisis terhadap aspek keamanan dengan metode analisis dinamik Dari pemodelan yang telah dilakukan diperoleh beberapa variasi data untuk pelatihan dan pengujian sebanyak 36 dan 10 data. Terdapat 16 rumus empiris yang didapat dari hasil pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk memperoleh dimensi optimum dan rasio tulangan minimum. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, rumus empiris tersebut memiliki nilai regresi pada dimensi balok dan kolom sebesar 98,53% dan nilai regresi pada rasio tulangan sebesar 96,06%. Selain itu persentase *error* maksimum dari rumus empiris untuk estimasi dimensi optimum terjadi pada balok tipe B1 dengan persentase *error* sebesar 6,60% dan rasio tulangan minimum balok pada balok tipe B1 lantai 2 sebesar 0,46%. Sementara itu persentase *error* maksimum dari rumus empiris untuk estimasi rasio tulangan minimum kolom terjadi pada kolom tipe K2 lantai 2 dengan persentase *error* sebesar 7,80%.

Namun, pada penelitian ini terdapat keterbatasan yang mana penggunaan pedoman terkait pembebanan minimum yang digunakan penelitian ini masih terbatas dalam analisis struktur yang masih menggunakan 1 metode analisis yaitu analisis dinamik sehingga validasi struktur yang dilakukan dapat ditinjau pula dengan metode analisis statik. Berikut merupakan perbandingan dari penelitian yang sudah dijelaskan dan penelitian yang akan dilakukan yang disajikan pada tabel 2.1 berikut.

Table 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu			Penelitian yang Akan Dilakukan
	Prasetiawan (2022)	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Alhalim Syafiq**
Judul	Prediksi Optimalisasi Dimensi Balok Kolom Bangunan Masjid dengan Metode *Artificial Neural Network*	Estimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung Hotel Yogyakarta dengan *Artificial Neural Network*	Pendekatan *Artificial Neural Network* untuk Mengestimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung	Penerapan *Artificial Neural Network* sebagai Upaya Optimalisasi Struktur Beton Bertulang pada Proyek Perluasan Lombok Epicantrum Mall dan Podium Parkir
Latar Belakang	Masyarakat masih sulit untuk merencanakan struktur bangunan tahan gempa	Keterbatasannya komputasi yang tinggi dalam proses optimalisasi desain bangunan terlebih untuk bangunan berskala besar	Keterbatasan waktu dalam perencanaan untuk menentukan desain yang ekonomis dan aman dari suatu struktur gedung	Perencanaan yang dilakukan belum menggunakan variabel atau data yang menunjang efisiensi perencanaan dan belum ada metode dalam pemilihan kombinasi dimensi dan properti struktur untuk menghasilkan struktur yang ekonomis dan efisien.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu			Penelitian yang Akan Dilakukan
	Prasetiawan (2022)	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Alhalim Syafiq**
Tujuan	Memudahkan masyarakat untuk melakukan perencanaan khususnya perencanaan bangunan masjid yang menyerupai model masjid penelitian (tipikal)	Perencana mendapatkan gambaran tahap desain konseptual gedung hotel Yogyakarta terkait dimensi optimum dan rasio tulangan minimum	Perencana dapat mempersingkat waktu dalam uji coba dimensi optimum dan rasio tulangan minimum	Memberikan gambaran terkait perbandingan dari penggunaan metode *Artificial Neural Network* terhadap perencanaan yang telah dilakukan dengan memaparkan perbandingan biaya hasil perencanaan.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu			Penelitian yang Akan Dilakukan
	Prasetiawan (2022)	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Alhalim Syafiq**
Parameter/ variabel	Parameter gerak tanah (S_s), parameter jenis tanah, variasi bentang balok (4 m, 6 m, dan 8 m), dan variasi bentang kolom (4 m dan 4.5 m)	Kelas situs tanah (SC, SD dan SE), bentang balok (4, 6, dan 8 meter), jumlah lantai (3, 5, dan 7), mutu beton (*f'c* (25, 30 dan 35 MPa), serta diameter baja tulangan (D16 – D25)	Parameter gerak tanah (S_s) dengan variasi 0,4 g; 0,8 g; 1,2 g; dan 1,6 g. Jenis tanah (SC, SD, SE), jenis tumpuan (sendi dan jepit), bentang balok (4m, 6m, dan 8m), jumlah lantai (2, 4, dan 6), tinggi lantai (3,5m, 4m, dan 5m), mutu beton (*f'c* (25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa)), serta diameter tulangan (D16-D25).	Dimensi kolom, Rasio Tulangan Lentur (ρ), mutu beton (25, 30, 35 MPa), mutu baja (280, 400, 420 MPa), dan diameter tulangan (D10-D25).

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu			Penelitian yang Akan Dilakukan
	Prasetiawan (2022)	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Alhalim Syafiq**
Output Target	Dimensi kolom (Penampang persegi dan lingkaran) dan dimensi balok	Dimensi optimum dan jumlah tulangan hasil konversi rasio tulangan minimum untuk gedung hotel Yogyakarta	Dimensi optimum dan jumlah tulangan hasil konversi rasio tulangan minimum	Dimensi Optimum Kolom, Kebutuhan tulangan pokok kolom dan jarak tulangan transversal kolom dengan hasil akhir berupa perbandingan biaya penggunaan metode *Artificial Neural Network* dengan hasil perencanaan sebelumnya.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu			Penelitian yang Akan Dilakukan
	Prasetiawan (2022)	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Prasetiawan (2022)**
Code/ Pedoman	-SNI 03-2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung -SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung	-SNI 03-2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung -SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung -SNI 03-1727-2018 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain	-SNI 03-2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung -SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung -SNI 03-1727-2018 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain	-SNI 03-2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung -SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung -SNI 03-1727-2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain
Metode Analisis Struktur	Analisis Dinamik dan Analisis Statik	Analisis Dinamik	Analisis Dinamik	Analisis Dinamik Spektrum Respons Ragam dan Analisis Statik

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu			Penelitian yang Akan Dilakukan
	Prasetiawan (2022)	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Alhalim Syafiq**
Alat Bantu/ S*oftware*	Autocad, SAP 2000, dan MATLAB	SANSPRO dan MATLAB	SANSPRO dan MATLAB	Autocad, ETABS, dan MATLAB
Hasil penelitian	-Tiga persamaan dari penggunaan metode *Artificial Neural Network* (ANN) yaitu rumus empiris balok, rumus empiris kolom persegi, dan rumus empiris kolom spiral (lingkaran). -Rumus empiris yang diperoleh dapat digunakan dalam melakukan prediksi untuk memperoleh dimensi optimum dengan variasi berbeda pada pemodelan struktur bangunan tipikal didukung dengan nilai *error* paling besar yaitu 0.88%.	-Diperoleh 18 rumus empiris untuk mengestimasi dimensi optimum dan rasio tulangan minimum. - Rumus empiris untuk dimensi optimum dan rasio tulangan minimum pada balok tipe B1 dan kolom tipe K1 memiliki persentase *error* maksimum berturut-turut sebesar 8,23%, 2,92%, 0,34% dan 9%.	-Terdapat 16 rumus empiris dengan nilai regresi pada dimensi balok dan kolom sebesar 98,53% dan pada rasio tulangan sebesar 96,06% - Rumus empiris untuk estimasi dimensi optimum pada balok tipe B1 dengan persentase *error* sebesar 6,60% - Rumus empiris untuk estimasi rasio tulangan minimum kolom pada kolom tipe K2 lantai 2 dengan persentase *error* sebesar 7,80%.	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu			Penelitian yang Akan Dilakukan
	Prasetiawan (2022)	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Harahap , Aminullah, Priyosulistyo (2022)**	**Alhalim Syafiq**
Keterbatasan	-Parameter/variabel yang digunakan pada penelitian ini kurang bervariasi dikarenakan variasi yang ditentukan hanya pada bentang balok dan bentang kolom -Tidak disebutkan pedoman tentang desain pembebanan minimum yang digunakan dalam melakukan pemodelan struktur .	-Pedoman dalam penentuan beban minimum untuk perencanaan gedung yang digunakan masih menggunakan *code*/pedoman lama yaitu SNI 03-1727-2018. -Analisis struktur yang digunakan hanya menggunakan analisis dinamik -Masih terdapat parameter yang mempengaruhi respons struktur untuk dapat lebih ditinjau	-Pedoman dalam penentuan beban minimum untuk perencanaan gedung yang digunakan masih menggunakan *code*/pedoman lama yaitu SNI 03-1727-2018. -Analisis struktur yang digunakan hanya menggunakan analisis dinamik	

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini menggunakan model dari perencanaan proyek perluasan gedung Lombok Epicentrum Mall dan podium parkir dengan beberapa detail *as built drawing* yang dilakukan pada pelaksanaan struktur *existing* proyek. Pada penelitian ini digunakan pedoman/*code* terbaru dalam analisis maupun desain *trial* struktur untuk menerapkan beberapa parameter yang ditentukan. Pedoman tersebut antara lain: SNI 03-2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung dan SNI 03-1727-2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain.

Dari hasil tinjauan terhadap penelitian yang dilakukan sebelumnya terdapat beberapa parameter/variabel dalam mengestimasi struktur optimum dengan metode *Artificial Neural Network.* Parameter dalam penelitian ini dipilih berdasarkan hubungan parameter tersebut dengan hasil dari estimasi struktur optimum yang dipaparkan dalam bentuk persentase *error* dan nilai regresi dari hubungan yang ada. Parameter tersebut antara lain Rasio tulangan lentur (ρ), kuat tekan beton ($f'c$), kuat leleh tulangan (fy^y), dan diameter tulangan seperti yang dipaparkan pada Tabel 2.1. Variasi dari parameter yang ditentukan bertujuan untuk meningkatkan akurasi dari hasil optimalisasi struktur optimum berdasarkan rumus empiris yang dihasilkan. Untuk memaksimalkan hasil penelitian, di akhir akan dipaparkan perbandingan biaya dari hasil perencanaan proyek *existing* dengan biaya struktur dari hasil optimalisasi dimensi dan properti berdasarkan penggunaan metode *Artificial Neural Network* (ANN).

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1. Umum

Selain berdasarkan penelitian terdahulu yang dicantumkan pada bab tinjauan pustaka, penelitian ini juga memerlukan beberapa teori lain untuk memperkuat hasil penelitian. Landasan teori yang merupakan kumpulan hasil pemikiran teoritis terkait topik penelitian yang diambil pada penelitian juga dapat digunakan sebagai acuan dalam mengumpulkan dan mengolah data, serta membantu dalam menjalankan analisis yang dilakukan (Sari dkk., 2022).

Landasan teori pada umumnya mencakup beberapa konsep, prinsip, definisi, dan referensi yang dijadikan sebagai literatur dalam melakukan penelitian yang memiliki relevansi dengan topik penelitian. Menurut Sari dkk. (2022) fungsi dari landasan teori antara lain:

1. Memperjelas variabel yang ditentukan dalam penelitian.
2. Memperkirakan hipotesis dan instrumen penelitian yang akan digunakan.
3. Mengendalikan permasalahan yang diangkat pada penelitian.

Dengan begitu landasan teori dapat mengarahkan jalannya penelitian mulai dari pengumpulan data hingga melakukan analisis data. Oleh karena itu, diperlukan beberapa kerangka teoritis yang berkaitan dengan topik penelitian yaitu perihal perencanaan konstruksi dan penggunaan *Artificial Neural Network* (ANN).

3.2. Gedung

Dalam dunia ketekniksipilan, terdapat berbagai macam tipe bangunan yang mana setiap bangunan memiliki metode perencanaan masing-masing. Berdasarkan fungsi dan tujuannya, setiap tipe bangunan memiliki pedoman perencanaan yang berbeda. Gedung yang merupakan salah satu bentuk bangunan memiliki metode perencanaan dan pedoman perencanaan tersendiri. Pada umumnya, prinsip perencanaan bangunan gedung didesain untuk tahan akan beban yang bekerja pada bangunan tersebut termasuk beban gempa.

3.2.1. Definisi gedung

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 45/PRT/M/2007, gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat dan kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatan, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus. Berdasarkan hal tersebut gedung harus memiliki nilai fungsi sebagai sarana maupun prasarana manusia. Nilai fungsi pada gedung sebagai sarana dan prasarana manusia perlu didukung dengan aspek kenyamanan dan keamanan gedung itu sendiri. Maka dari itu, struktur suatu bangunan gedung harus didesain seaman mungkin berdasarkan pedoman yang ada untuk memenuhi nilai fungsi gedung sebagai tempat aktivitas manusia yang memiliki tingkat kenyamanan dan keamanan yang tinggi.

Adapun pedoman perencanaan struktur gedung di Indonesia antara lain 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.

3.2.2. Pembangunan gedung

Pembangunan gedung merupakan kegiatan mendirikan suatu gedung yang mana pelaksanaannya telah melewati perencanaan teknis yang sesuai dengan yang disyaratkan. Proses pembangunan gedung pada dasarnya harus melewati beberapa tahap. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 45/PRT/M/2007 tahapan pembangunan gedung meliputi persiapan, perencanaan, hingga pelaksanaan. Seluruh tahapan tersebut harus memenuhi poin-poin asas pembangunan yang tercantum dalam dokumen peraturan perundang-undangan yang ada.

Adapun asas pembangunan gedung berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 45/PRT/M/2007 antara lain:

1. Kemanfaatan, keselamatan, keseimbangan, serta keserasian/keselarasan bangunan gedung dengan lingkungannya
2. Hemat, tidak berlebihan, efektif dan efisien, serta sesuai dengan kebutuhan dan ketentuan teknis yang disyaratkan
3. Terarah dan terkendali sesuai rencana, program/satuan kerja, serta fungsi setiap kementerian/lembaga/instansi pemilik/pengguna bangunan gedung
4. Semaksimal mungkin menggunakan hasil produksi dalam negeri dengan memperhatikan kemampuan/potensi nasional

Berdasarkan hal tersebut tahap perencanaan yang termasuk salah satu langkah dalam pembangunan gedung harus menitikberatkan aspek efektivitas untuk meningkatkan fungsi dan manfaat suatu gedung agar pelaksanaan pembangunan gedung lebih terarah sehingga proses konstruksi gedung khususnya struktur pada memiliki nilai efisiensi yang tinggi untuk meningkatkan keamanan dari gedung tersebut untuk menahan beban yang bekerja pada struktur termasuk beban gempa.

3.3. Struktur Gedung Tahan Gempa

Menurut Pawirodikromo (2012), struktur gedung tahan gempa diwujudkan untuk memenuhi kebutuhan kekuatan struktur dalam menahan beban gempa yang mengakibatkan struktur bergetar. Prinsip desain bangunan, pada dasarnya terdapat hubungan antara analisis dan desain yang juga diartikan sebagai hubungan antara kebutuhan (*demand*) kekuatan struktur dengan tersedianya kekuatan pada struktur gedung. Kebutuhan kekuatan struktur ini meliputi kebutuhan dalam menahan gaya lentur, geser, aksial, maupun, puntir. Dengan terpenuhinya kebutuhan kekuatan struktur tersebut maka struktur gedung dapat dikatakan terjamin keamanannya

Berdasarkan prinsip desain bangunan, terdapat beberapa kasus yang perlu dihindari salah satunya adalah *earthquake proof building*. Pada kasus ini struktur bangunan yang didesain jauh melebihi kebutuhan struktur yang diperlukan. Dengan kata lain struktur bangunan pada kasus tersebut merupakan struktur yang melawan gempa. Hal ini dapat menyebabkan ketidakefektifan desain dari segi ekonomis pada

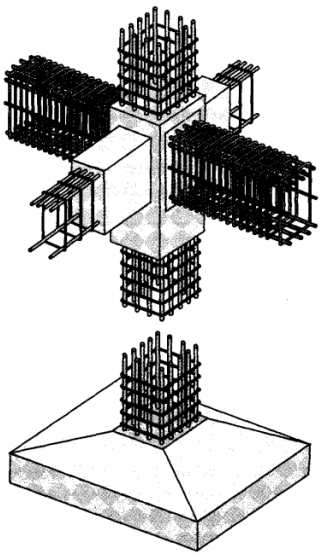
saat pembangunan walaupun dari segi keamanan struktur terjamin. Di sisi lain, bangunan yang lemah atau *fragile building* juga perlu dihindari dikarenakan bangunan dengan kondisi tersebut selain memakan biaya dalam pembangunan ulang, struktur bangunan tersebut juga membahayakan pengguna bangunan dan lingkungan sekitar bangunan. Dengan demikian hubungan antara kebutuhan dan *supply* pada struktur yang terdapat pada prinsip desain bangunan perlu diperhatikan untuk meninjau keefektifan struktur bangunan.

Dalam meninjau kekuatan struktur terhadap beban gempa terdapat beberapa metode yang digunakan sebagai alat dalam menganalisis kebutuhan struktur akibat beban gempa yang bekerja. Statik ekivalen yang merupakan penyederhanaan dari respons spektrum adalah hasil dari pendekatan dalam analisis respons spektrum untuk mengekivalenkan beban gempa menjadi gaya yang bekerja secara horizontal pada struktur gedung pada tiap-tiap masa. Kedua metode analisis tersebut merupakan alat untuk mengestimasi kebutuhan struktur terhadap beban gempa sehingga struktur dapat memenuhi kekuatan yang dibutuhkan untuk menahan beban gempa.

3.3.1. Sistem Struktur

Berdasarkan SNI 03-2847-2019 sistem pada suatu elemen struktur beton harus didesain secara keseluruhan sebagai satu kesatuan sistem. Satu kesatuan pada sistem struktur yang berbahan material beton bertulang difungsikan untuk menyalurkan beban yang bekerja pada struktur bangunan gedung untuk diteruskan ke dalam tanah. Pada penerapannya sistem struktur bangunan juga didesain untuk dapat menahan beban gempa yang bekerja pada struktur gedung.

Sistem struktur sendiri terdiri dari beberapa komponen struktur, joint, dan sambungan yang mana setiap elemen tersebut memiliki peran dan fungsinya masing-masing. Suatu sistem struktur harus dapat menyalurkan gaya akibat beban yang bekerja dari satu komponen ke komponen struktur lainya. Maka dari itu setiap elemen pada suatu sistem struktur harus memenuhi persyaratan pendetailan untuk dapat menahan beban terfaktor termasuk beban gempa.



Gambar 3.1 Contoh Penulangan Sistem Struktur Bangunan Beton Bertulang Tahan Gempa
(Sumber: Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan, 2012)

Dalam sistem struktur terdapat 2 bagian komponen struktur yang dikelompokkan berdasarkan letak komponen struktur tersebut antara lain struktur atas dan struktur bawah.

1. Sistem struktur atas

   Berdasarkan SNI 03-1726-2019 struktur atas bangunan adalah komponen struktur yang letaknya berada di atas permukaan tanah. Dengan adanya komponen-komponen yang ada pada struktur atas bangunan, gaya yang bekerja akibat pada bangunan akan disalurkan menuju struktur bawah bangunan. Struktur atas bangunan sendiri terdiri dari, balok, kolom, plat, tangga, dan ramp. Berikut merupakan deskripsi dari masing-masing yang ada pada struktur atas bangunan.

   a. Balok

      Berdasarkan SNI 03-2847-2019 balok merupakan komponen struktur yang fungsi utamanya adalah menahan momen lentur atau gaya geser dengan atau tanpa gaya aksial atau torsi. Balok bekerja dengan menyalurkan beban lateral dari komponen pelat yang akan diteruskan menuju kolom. Selain menyalurkan beban menuju elemen kolom penopang, balok juga berfungsi sebagai pengikat struktur antar kolom.

b. Kolom

Kolom merupakan komponen struktur yang pada umunya tersusun secara vertikal (SNI 03-2847-2019). Pada dasarnya kolom berfungsi untuk menahan beban aksial. Namun kolom yang digunakan sebagai sistem rangka pemikul gaya lateral juga berfungsi menahan momen dan gaya geser atau torsi.

c. Pelat

Pelat merupakan salah satu komponen struktur utama dalam struktur atas bangunan. Menurut Pawirodikromo (2012), pelat pada dasarnya adalah komponen struktur bidang tegak lurus yang berfungsi khusus menahan beban gravitasi. Beban gravitasi yang ditahan pada komponen pelat akan diteruskan menuju balok. Terdapat sistem pelat lantai yang umum digunakan pada tahap desain yang mana pemilihan sistem ini didasari atas kebutuhan dari fungsi pelat itu sendiri. Berikut merupakan penjelasan dari sistem yang umum digunakan pada pelat.

1) Sistem pelat satu arah (*one way slab*)

Pelat lantai dengan sistem satu arah ditumpu oleh balok-balok memanjang. Penggunaan sistem pelat satu arah diterapkan apabila perbandingan antara bentang panjang dan bentang pendek lebih dari 2, (ly/lx > 2,0).

2) Sistem pelat dua arah (*two way slab*)

Penerapan sistem pelat dua arah digunakan apabila bentang panjang (ly) tidak lebih panjang dari 2,5 kali bentang pendek. Pada sistem pelat 2 arah umunya menggunakan balok anak untuk memperpendek jarak pada balok induk. Dengan begitu beban yang disalurkan oleh balok anak menuju beban induk menjadi beban titik.

d. Tangga

Berdasarkan Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat tangga merupakan fasilitas berupa akses vertikal dengan pijakan pada gedung bertingkat. Kemiringan tangga tidak boleh melebih 35-60 derajat dengan mempertimbangkan luasan gedung. Pada struktur tangga dimensi komponen pijak perlu diperhitungkan untuk memperhatikan kenyamanan dan keselamatan pengguna.

e. Ram

Pada gedung bertingkat, pada umumnya ram merupakan akses vertikal bagi pejalan kaki yang tidak menggunakan tangga sekaligus pengguna kendaraan bermotor. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 45/PRT/M/2007 kemiringan struktur pada ram tidak boleh melebihi 6 derajat. Perbandingan antara ketinggian dan kelandaian struktur ram bekisar 1:8.

2. Sistem struktur bawah

Berdasarkan SNI 03-1726-2019 sistem struktur bawah merupakan struktur yang terletak di bawah permukaan tanah. Pada gedung bertingkat, umunya sistem struktur bawah menggunakan komponen pondasi dan *pile cap* yang diikat dengan *tie beam.*

a. Pondasi

Pondasi merupakan struktur penopang bangunan yang mana berfungsi menerima beban total gedung untuk diteruskan ke tanah. Dengan begitu, pondasi harus dapat menjamin stabilitas bangunan dalam menahan seluruh beban yang bekerja pada struktur bangunan.

b. *Pilecap*

Dalam sistem struktur bawah, pada umumnya *pile cap* berfungsi untuk menyatukan pondasi yang menerima beban pada satu struktur kolom. *Pile cap* berfungsi menerima beban yang disalurkan oleh kolom untuk dibagi sejumlah banyaknya pondasi dalam satu *pile cap*.

c. *Tie beam*

Tie beam merupakan struktur berbentuk balok yang letaknya di bawah permukaan tanah. *Tie beam* berfungsi untuk mengikat struktur bawah pada suatu gedung sehingga meningkatkan kekakuan struktur.

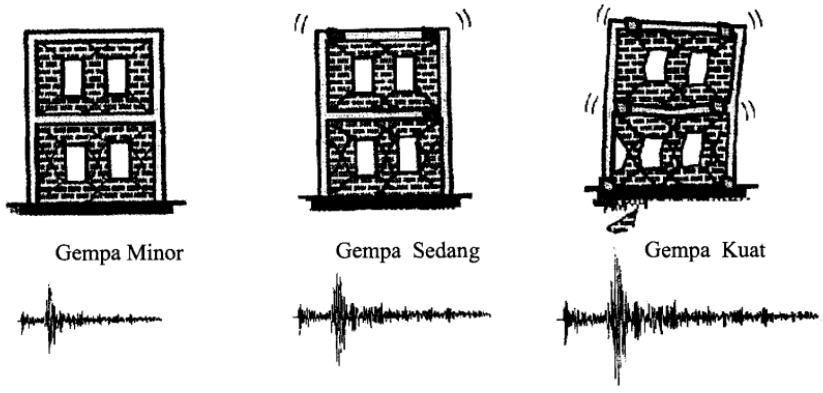
3.3.2. Filosofi desain bangunan tahan gempa

Pada prinsipnya desain filosofi didasarkan atas fungsi dari bangunan yang akan didesain. Fungsi dari jenis bangunan telah dikelompokkan berdasarkan faktor keutamaan yang bergantung pada kategori risiko dari bangunan yang direncanakan. Selain berdasarkan tingkat kekuatan gempa yang akan diterima bangunan, perencanaan bangunan tahan gempa juga mempertimbangkan kategori risiko

bangunan tersebut. Menurut Pawirodikromo (2012), penting atau tidaknya sebuah bangunan berhubungan dengan beban rencana bangunan yang berlanjut pada periode ulang gempa. Dengan kata lain bangunan dengan faktor keutamaan tinggi perlu didesain agar bertahan lama sehingga beban gempa yang diperhitungkan pada saat perencanaan semakin besar.

Berdasarkan kompleksnya pertimbangan yang harus diperhitungkan pada saat perencanaan Pawirodikromo (2012) telah mengelompokkan pertimbangan perencanaan bangunan terhadap beban gempa berdasarkan kekuatan gempa (periode ulang gempa dan tingkat pentingnya bangunan), performa bangunan dalam melindungi manusia, dan tingkat ekonomis pembangunan. Pengelompokan tersebut terdapat dalam Desain Filosofi (*Earthquake Design Philosophy*) berikut.

1. Pada gempa kecil (*light* atau *minor earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non-struktur.
2. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tetapi masih dapat/ekonomis untuk diperbaiki. Elemen non-struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti dengan yang baru.
3. Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka struktur bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*). Kondisi seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (*great earthquake*), yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.



Gambar 3.2 Tingkat Kerusakan Bangunan
(Sumber: Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan, 2012)

Berdasarkan desain filosofi tersebut, bangunan yang menerima gempa dengan skala kecil masih harus dapat berfungsi dengan baik. Kerusakan yang terjadi pada tingkat ini masih dalam kategori kerusakan yang mudah dan cepat perbaiki. Selain itu biaya yang dikeluarkan juga relatif ekonomis. Untuk bangunan yang mengalami gempa sedang, kerusakan pada struktur bangunan masih ditoleransi. Namun, bangunan masih harus berfungsi dengan baik setelah diperbaiki. Pada bangunan yang menerima gempa dengan skala besar diharapkan struktur utama bangunan tidak runtuh seluruhnya.

Maka dari itu bangunan dengan fungsi yang signifikan perlu didesain dengan perhitungan beban gempa yang besar agar kerusakan yang terjadi diharapkan tidak berdampak pada struktur utama. Dengan kata lain bangunan dengan fungsi yang penting harus lebih dilindungi dari bahaya akibat beban gempa yang bekerja. Keputusan ini telah dituangkan dalam faktor keutamaan yang telah disebutkan sebelumnya.

3.3.3. Desain kapasitas

Berdasarkan penjelasan sebelumnya suatu gedung harus direncanakan berdasarkan kekuatan yang dibutuhkan. Desain kekuatan struktur gedung yang dilakukan didasarkan atas beban yang akan bekerja pada gedung, termasuk beban gempa. Berdasarkan SNI 03-1726-2019 suatu gedung disyaratkan mampu menahan beban gempa yang bekerja secara horizontal. Maka dari itu, untuk menjamin kekuatan struktur yang dibutuhkan dilakukan perencanaan yang sesuai dengan kapasitas yang diperhitungkan.

Desain kapasitas ditujukan untuk menghindari kemungkinan keruntuhan total pada gedung akibat beban gempa yang bekerja. Pada dasarnya, konsep desain kapasitas dilakukan dengan merencanakan elemen-elemen utama pada struktur bangunan untuk menahan gempa dengan prinsip setiap elemen struktur yang ada dapat mendistribusikan gaya gempa yang bekerja pada portal tanpa mengalami keruntuhan sehingga bangunan dapat bertahan pada saat terjadi kondisi kritis yaitu pada kondisi gempa kuat maupun gempa besar. Kondisi tersebut merupakan kondisi yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Hal tersebut dilakukan untuk menghindari kasus-kasus terjadinya keruntuhan pada

bangunan terdahulu. Menurut Pawirodikromo (2012), keruntuhan bangunan tersebut disebabkan oleh beberapa hal antara lain:

1. Konsep bangunan tahan gempa yang digunakan pada saat perencanaan tidak jelas sehingga pembangunan gedung yang dilakukan tidak memakai prinsip yang benar dan jelas.
2. Berdasarkan literatur yang ditulis oleh Paulay (1988) Buruknya desain dan detail penulangan balok dan kolom. Kombinasi antara penyebab pertama dan penyebab ini menjelaskan bahwa tidak ada kejelasan tentang penggunaan hierarki kerusakan yang digunakan pada tahap desain.
3. Tidak diwujudkannya sistem penyerapan energi yang baik pada saat perencanaan. Hal ini dapat menyebabkan elemen struktur yang didesain dapat mengalami kelelehan secara langsung setelah tingkat beban yang diterima terlampaui sehingga bangunan akan segera runtuh dikarenakan tidak terjadinya penyerapan energi yang baik.
4. Selain perencanaan penyerapan energi yang tidak baik, akibat dari tidak jelasnya hierarki kerusakan struktur yang digunakan adalah kurang baiknya pendetailan pada elemen-elemen yang harus diperkuat. Elemen yang dimaksud adalah daerah sendi plastis yang mana di dalamnya termasuk join-join pertemuan antar komponen struktur.

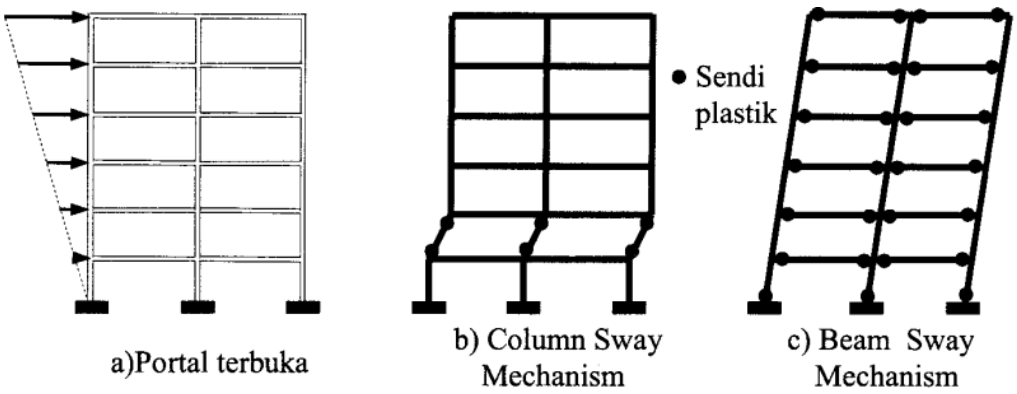
Dengan adanya penerapan prinsip desain kapasitas pada tahap perencanaan penyebab-penyebab terjadinya keruntuhan yang telah disebutkan di atas dapat dihindari. Selain itu penerapan desain kapasitas juga dapat menghindari terjadinya kasus *earthquake proof building* seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

3.3.4. Mekanisme keruntuhan

Berdasarkan penjelasan sebelumnya suatu struktur terdiri atas, pondasi, *pile cap*, *tie beam*, kolom, balok, dan pelat. Sederhananya keruntuhan pada suatu struktur gedung diharapkan terjadi terbalik berurutan dari komponen struktur yang telah disebutkan. Namun, di lapangan beberapa kasus keruntuhan bangunan berlangsung menurut mekanisme *column sway mechanism*. Keruntuhan ini terjadi apabila terdapat pembentukan sendi plastik pada kedua ujung struktur vertikal yaitu kolom. *Column sway mechanism* sangat dihindari oleh perencana dikarenakan

dapat menyebabkan keruntuhan total bangunan. Mekanisme ini terjadi akibat hasil perencanaan *waek column strong beam.*

Selain *column sway mechanism* terdapat keruntuhan bangunan dapat terjadi menurut *beam sway mechanism.* Pembentukan sendi plastik pada mekanisme ini terjadi pada kedua ujung bentang balok. Mekanisme keruntuhan ini merupakan mekanisme yang diharapkan perencana karena tidak menyebabkan keruntuhan secara total. Perencanaan yang menghasilkan struktur pada balok sedikit lebih lemah dari pada struktur kolom merupakan penyebab dari *beam sway mechanism*. sehingga apabila terjadi gempa besar, struktur tetap akan runtuh namun tidak runtuh total.



Gambar 3.3 Mekanisme Runtuh Pada Portal Terbuka
(Sumber: Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan, 2012)

3.3.5. *Strong Column and Weak Beam* (SCWB)

Prinsip perencanaan yang merupakan penyebab dari *beam sway mechanism* disebut *Strong Column Waek Beam* (*SCWB*). Prinsip desain kolom kuat balok lemah atau lebih dikenal dengan *SCWB* merupakan salah satu inovasi desain struktur untuk menghasilkan struktur yang dapat berdeformasi saat terjadi gempa besar. Sehingga, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya penggunaan prinsip ini tidak mengakibatkan struktur runtuh total saat terjadi gempa besar maupun kuat. Pada dasarnya struktur beton bertulang direncanakan harus memiliki sifat daktail. 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.

3.4. Pembebanan Struktur

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya perhitungan pembebanan pada analisis struktur gedung dilakukan berdasarkan jenis dan fungsi bangunan yang dianalisis. Selain SNI 03-1726-2019 dan SNI 03-1727-2020, penelitian ini juga menggunakan pedoman lain untuk dijadikan sebagai bahan literatur dalam perencanaan beban minimum yang digunakan yaitu Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun 1983.

3.4.1. Beban mati

Beban mati merupakan beban material dari semua komponen gedung sehingga bersifat tetap, termasuk komponen-komponen pendukung gedung dengan intensitas tetap dan tidak berpindah posisi selama usia bangunan gedung. Beberapa contoh bentuk beban mati antara lain: kolom, balok, pelat, dinding bata, parapet, *finishing* pelat, *plafond*, dan sebagainya. Perhitungan pembebanan pada beban mati mempertimbangkan ukuran, bentuk, dan jenis materialnya. Penentuan nilai beban mati diambil berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun (1983). Rincian beban mati atau berat sendiri bahan dan komponen bangunan gedung dapat dilihat pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 halaman 11 – 12 (Tabel 2.1).

3.4.2. Beban hidup

Berdasarkan SNI 03-1727-2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain, beban hidup merupakan beban yang diterima suatu struktur gedung akibat penggunaan oleh penghuni gedung yang diklasifikasikan berdasarkan fungsi dari gedung yang direncanakan. Dengan demikian penentuan beban rencana pada suatu gedung harus mempertimbangkan fungsi dari setiap area dari gedung yang direncanakan, sehingga terdapat perbedaan perencanaan antara beban pada suatu area dengan area lainya dalam satu struktur gedung yang sama. Perencanaan beban hidup bangunan pada penelitian ini ditentukan berdasarkan SNI 03-1727-2020 dan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun 1983. Nominal yang digunakan pada perencanaan beban hidup dapat dilihat pada SNI 03-1727-2020 halaman 26 – 29 (Tabel 4.3.1).

3.4.3. Beban gempa

Beban gempa merupakan akibat dari adanya gerakan tanah sehingga gedung menerima beban yang diekivalenkan menjadi beban yang bekerja secara lateral atau horizontal. Dengan kata lain adanya gerakan tanah di bawah gedung merupakan sebab dari adanya beban gempa (seismik). Untuk meninjau hal tersebut, perlu dilakukan peninjauan terhadap parameter yang merupakan dasar dalam perencanaan beban gempa berdasarkan SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung. Berikut merupakan rincian dari parameter yang dimaksud.

1. Menentukan Kategori Risiko Bangunan

   Berdasarkan SNI 03-1726-2019 klasifikasi kategori risiko bangunan dikelompokkan berdasarkan fungsi atau jenis pemanfaatan dari gedung yang direncanakan. Pengelompokan kategori risiko bangunan dilakukan untuk eskalasi beban gempa yang akan diperhitungkan pada struktur gedung. Hal ini dilakukan agar gedung dengan tingkat kepentingan yang tinggi diharapkan akan tetap berdiri kokoh dengan beberapa kerusakan kecil pada saat terjadi gempa besar atau gempa kuat. Klasifikasi kategori risiko bangunan berdasarkan jenis pemanfaatannya dapat dilihat pada SNI 03-1726-2019 halaman 24 (Tabel 3).

2. Menentukan Faktor Keutamaan Bangunan

   Seperti yang dijelaskan sebelumnya beban gempa rencana yang diperhitungkan perlu dieskalasi dengan tujuan meningkatkan kemampuan struktur gedung terhadap beban gempa besar dan kuat. Faktor keutamaan bangunan ditentukan berdasarkan kelompok kategori risiko dari gedung yang direncanakan. Nilai faktor keutamaan bangunan (I_e) dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

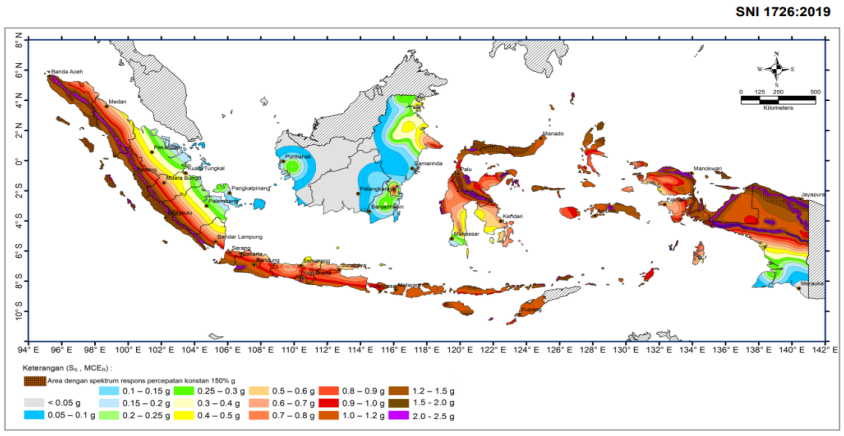
Tabel 3.1 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber: SNI 03-1726-2019, halaman 25

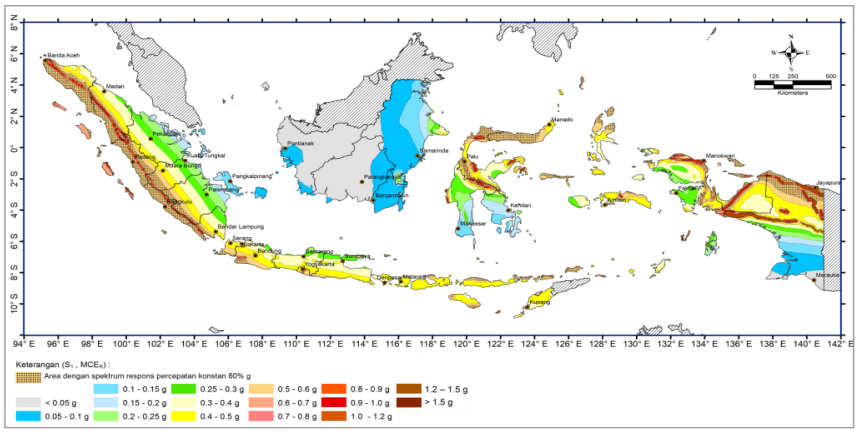
3. Menentukan Parameter Gerak Tanah

Berdasarkan SNI 03-1726-2019, dalam menentukan parameter gerak tanah akibat gempa, terdapat dua nilai parameter gerak yaitu S_s dan S_1. S_s adalah parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek. Sedangkan S_1 adalah parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik. Nilai kedua parameter tersebut diambil berdasarkan SNI 03-1726-2019 pada peta gempa maksimum yang mempertimbangkan risiko tertarget MCE_R yang dicantumkan pada Gambar 3.4 dan 3.5 berikut.



Gambar 15 – Parameter gerak tanah S_s, gempa maksium yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5 %)

Gambar 3.4 Parameter Gerak Tanah Periode Pendek, S_s
(Sumber: SNI 03-1726-2019, halaman 234)



Gambar 16 – Parameter gerak tanah, S_1, gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2- detik (redaman kritis 5 %)

Gambar 3.5 Parameter Gerak Tanah Periode 1 Detik, S_1
(Sumber: SNI 03-1726-2019, halaman 234)

4. Menentukan Klasifikasi Situs

   Klasifikasi situs dilakukan untuk menentukan faktor amplifikasi beban gempa bangunan berdasarkan jenis tanah pada bangunan yang direncanakan. Faktor amplifikasi ini dibutuhkan karena vibrasi yang dihasilkan gempa cenderung lebih besar pada tanah lunak dibandingkan pada tanah keras. Klasifikasi situs dapat dilakukan berdasarkan nilai uji SPT di lapangan yang mana nilai tersebut akan menentukan jenis tanah di lapangan. Klasifikasi situs dilakukan berdasarkan SNI 03-1726-2019 halaman 29 – 30 (Tabel 5).

5. Menentukan Koefisien Situs

   Faktor amplifikasi terdiri atas faktor amplifikasi percepatan getaran pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi percepatan getaran pada getaran periode satu detik (F_v). Dari faktor amplifikasi tersebut dihasilkan parameter percepatan respons spektral pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode satu detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh dari klasifikasi situs yang telah dilakukan sebelumnya. Faktor amplifikasi yang dimaksud dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan 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, halaman 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 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0{,}1$	$S_1 = 0{,}2$	$S_1 = 0{,}3$	$S_1 = 0{,}4$	$S_1 = 0{,}5$	$S_1 \geq 0{,}6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS					

Sumber: SNI 03-1726-2019, halaman 34

Untuk menentukan parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}) yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs digunakan dengan persamaan berikut.

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

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

6. Menentukan Parameter Percepatan Gempa

Berdasarkan SNI 03-1726-2019 parameter percepatan gempa atau parameter percepatan spektral desain harus ditentukan dengan persamaan berikut.

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

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

Yang mana S_{DS} adalah nilai parameter percepatan spektral desain pada periode pendek (0,2 detik) dan S_{D1} adalah nilai parameter percepatan spektral desain pada periode 1 detik. Setelah didapatkannya nilai parameter percepatan spektral desain berdasarkan persamaan 3.3 dan 3.4, nilai tersebut dapat divalidasi melalui *web* http://rsa.ciptakarya.pu.go.id dengan memasukkan titik koordinat lokasi.

7. Menentukan kategori desain seismik

   Pada prinsip analisis struktur terdapat kategori desain seismik digunakan untuk menggambarkan tingkat risiko akibat beban gempa yang dirancang. Klasifikasi kategori desain seismik dilakukan berdasarkan SNI 03-1726-2019 halaman 37 (Tabel 8 dan Tabel 9).

8. Penentuan sistem struktur

   Dalam analisis suatu struktur terhadap beban gempa, diperlukan koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor pembesaran simpangan lateral (C_d) yang harus digunakan dalam menentukan gaya geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat desain. Nilai yang dimaksud dapat dilihat pada SNI 03-1726-2019 halaman 49 – 51 (Tabel 12).

3.4.4. Kombinasi pembebanan dasar

Berdasarkan desain kapasitas suatu struktur, bangunan harus memperhitungkan beban yang akan direncanakan secara akurat. Terdapat beberapa kombinasi pembebanan dasar untuk metode *ultimate* yang diambil dari SNI 03-2847-2019. Kombinasi yang dimaksud harus menggunakan persamaan berikut.

1. $U = 1{,}4D$ (3.5)
2. $U = 1{,}2D + 1{,}6L + 0{,}5(Lr \text{ atau } R)$ (3.6)
3. $U = 1{,}2D + 1{,}6(Lr \text{ atau } R) + (1{,}0L \text{ atau } 0{,}5W)$ (3.7)
4. $U = 1{,}2D + 1{,}0W + 1{,}0L + 0{,}5(Lr \text{ atau } R)$ (3.8)
5. $U = 1{,}2D + 1{,}0E + 1{,}0L$ (3.9)
6. $U = 0{,}9D + 1{,}0W$ (3.10)
7. $U = 0{,}9D + 1{,}0E$ (3.11)

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. *Trial* 1

3.5.1. Analisis Tahap 1 untuk *Checking* Kinerja Struktur (Statik Ekivalen)

Pada analisis tahap 1 metode yang digunakan dalam peninjauan beban gempa adalah metode statik ekivalen. Analisis beban gempa metode statik ekivalen merupakan penyederhanaan dari metode analisis dinamik untuk keperluan praktis di lapangan. Pada dasarnya konsep analisis statik hanya memperhitungkan masa saja. Menurut Widodo (2001) prinsip statik ekivalen hanya memperhitungkan *mode* ke 1.

3.5.1.1. Kombinasi Beban Gempa

Analisis statik ekivalen dilakukan untuk meninjau kinerja dari suatu struktur gedung. Berdasarkan FEMA 751, kombinasi beban pada tahap 1 dengan pengaruh beban gempa dapat menggunakan persamaan berikut.

$$1{,}0\,D + 1{,}0\,L + E \tag{3.12}$$

Yang mana D, E, dan L adalah beban mati beban gempa dan beban hidup. Berdasarkan ASCE/SEI 7-16 beban hidup dapat direduksi apabila beban hidup yang digunakan bernilai kurang dari 4,78 kN/m^2.

3.5.1.2. Penentuan periode dan periode fundamental pendekatan

Periode fundamental struktur (T) dalam arah yang ditinjau pada tahap analisis harus diperoleh berdasarkan tipe struktur dan karakteristik deformasi dari sistem rangka pemikul dari analisis yang diuji. Periode fundamental struktur tidak boleh lebih dari periode desain yang dipengaruhi oleh koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (C_u). Sebagai alternatif dalam menentukan periode fundamental struktur, diizinkan secara langsung menggunakan periode fundamental pendekatan (T_a). Nilai koefisien C_u yang dimaksud dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien *Cu*
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

Sumber: SNI 03-1726-2019, halaman 72

Untuk memperoleh nilai periode bangunan pendekatan (T_a) harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

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

Yang mana nilai C_t, dan x adalah nilai parameter periode pendekatan berdasarkan tipe sistem rangka pemikul yang digunakan dalam analisis yang dapat dilihat pada Tabel 3.5 sedangkan h_n adalah ketinggian struktur dalam satuan meter yang dihitung dari dasar sampai tingkat tertinggi.

Tabel 3.5 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	0,0724	0,8
- Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: SNI 03-1726-2019, halaman 72

3.5.1.3. Koefisien respons seismik

Koefisien respons seismik (C_s), harus ditentukan dengan persamaan berikut

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

Yang mana S_{DS}, R, dan I_e berturut-turut adalah parameter respons percepatan pada periode pendek, koefisien modifikasi respons, dan faktor keutamaan gempa.

Nilai C_s yang dihitung berdasarkan persamaan (3.14) tidak perlu melebihi nilai berikut.

Untuk $T \leq T_L$

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

Untuk $T > T_L$

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

C_s harus tidak kurang dari

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

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana $S_1 \geq 0{,}6g$, maka C_s harus tidak kurang dari

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

3.5.1.4. Geser dasar seismik

Berdasarkan SNI 03-1726-2019, Gaya geser dasar seismik (*V*), dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan persamaan berikut.

$$V = C_s W \tag{3.19}$$

Yang mana C_s adalah koefisien respons seismik dan W adalah berat seismik efektif.

3.5.1.5. Distribusi gaya seismik

1. Distribusi vertikal

   Gaya seismik lateral (F_x), pada setiap tingkat harus dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$F_x = C_{vx} V \tag{3.20}$$

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

   Yang mana C_{vx} dan V secara urut adalah Faktor distribusi vertikal dan Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (KN), sedangkan W_i dan W_x adalah Bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x. Sementara itu, h_i dan h_x adalah tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m). Terakhir k adalah eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai :untuk struktur dengan T ≤ 0,5 detik , k = 1; untuk struktur dengan T ≥ 2,5 detik , k = 2; dan untuk struktur dengan 0,5 < T < 2,5 detik , k = 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

2. Distribusi horizontal

   Gaya geser tingkat seismik (V_x), pada setiap tingkat harus dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$V_x = \sum_{i=x}^{n} F_i \tag{3.22}$$

   Yang mana F_i adalah nilai gaya geser desain seismik pada tingkat ke-i.

3.5.1.6. Ketidakberaturan struktur

Menurut SNI SNI 03-1726-2019 pada butir 7.3.2, analisis suatu struktur harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Klasifikasi yang dimaksud didasarkan atas konfigurasi horizontal dan konfigurasi vertikal dari struktur yang dianalisis.

Ketidakberaturan struktur berdasarkan konfigurasi horizontal dan konfigurasi vertikal dapat diklasifikasikan berdasarkan SNI 03-1726-2019 pada Tabel 13 dan Tabel 14. Berdasarkan klasifikasi yang dilakukan, suatu struktur yang memiliki satu atau lebih ketidakberaturan dari masing-masing konfigurasi pada saat pengelompokan harus didefinisikan struktur dengan ketidakberaturan. Mengacu pada kategori desain seismik yang dimiliki struktur tersebut harus didesain untuk memenuhi syarat pada pasal-pasal yang ditetapkan pada Tabel 13 dan Tabel 14 SNI 03-1726-2019.

3.5.1.7. Torsi bawaan tak terduga dan faktor amplifikasi torsi

Pada tahap analisis ketidakberaturan struktur. Penerapan torsi tak terduga harus diaplikasikan untuk menentukan keberadaan ketidakberaturan struktur horizontal. Ketidakberaturan ini diatur dalam Tabel 13 SNI 03-1726-2019. Terjadinya perpindahan pusat massa dari posisi aktualnya mengakibatkan tahap desain harus menyertakan momen torsi bawaan (M_t) yang dihasilkan dari lokasi massa struktur ditambah momen torsi tak terduga (M_{ta}) dengan jarak sebesar 5% dimensi tegak lurus dari arah gaya yang diterapkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$e_x = e_{0x} + (0{,}05\ L_y\ A_x) \tag{3.23}$$

$$e_y = e_{0y} + (0{,}05\ L_x\ A_y) \tag{3.24}$$

Yang mana e_{0x} dan e_{0y} adalah eksentrisitas bawaan.

Penerapan gaya gempa yang dilakukan secara serentak dalam dua arah ortogonal, perpindahan pusat massa yang disyaratkan tidak perlu diterapkan ke dua arah ortogonal pada saat bersamaan tetapi harus diterapkan dalam arah yang memiliki pengaruh lebih besar.

Momen torsi tak terduga (M_{ta}) tidak perlu dipertimbangkan saat menentukan gaya seismik *E* pada saat perencanaan struktur, pada saat menentukan simpangan antar tingkat, atau pada saat menentukan batasan kecuali pada struktur dengan karakteristik berikut.

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

Struktur dengan karakteristik seperti yang disebutkan pada poin 2 di atas memiliki momen torsi tak terduga (M_{ta}) yang dikalikan dengan faktor pembesaran torsi tak terduga (A_x) yang diperhitungkan dengan persamaan berikut.

$$A_x = \left(\frac{\delta \max}{1{,}2\ \delta \text{ avg}}\right)^2 \tag{3.25}$$

$$\delta_{avg} = \frac{\delta A + \delta B}{2} \tag{3.26}$$

Yang mana δ_{max} adalah perpindahan maksimum di tingkat x (dalam mm) yang dihitung dengan mengasumsikan $\underline{A_x}$ = 1 (dalam mm) sedangkan δ_{avg} adalah rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan A_x = 1 (dalam mm).

3.5.1.8. Rasio simpangan antar tingkat (*drift ratio*)

Drift ratio adalah perbandingan antara simpangan antar tingkat (*story drift*) dengan tinggi tingkat gedung pada titik yang ditinjau (Δ_x/h_x). Untuk meninjau hal tersebut diperlukan nilai simpangan pada tingkat ke-x (δ_x) yang telah teramplifikasi dengan faktor defleksi dan faktor keutamaan gempa. Berdasarkan FEMA P-751 perhitungan simpangan antar tingkat harus menggunakan persamaan berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d\ \delta_{xe}}{I_e} \tag{3.27}$$

Yang mana C_d, δ_e, dan I_e, berturut-turut adalah faktor amplifikasi defleksi, defleksi yang terjadi pada tingkat x dari hasil analisis elastis, dan faktor keutamaan gempa. Simpangan yang terjadi pada tingkat pertama senilai dengan nilai defleksi pada tingkat tersebut ($\Delta_1=\delta_1$). Untuk perhitungan simpangan yang terjadi pada tingkat 2 dan di atasnya harus menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta_1 = \frac{\delta_{xe}-\delta_{(x-1)e}}{I_e}\ C_d \tag{3.28}$$

Yang mana $\delta_{(x-1)e}$ adalah defleksi yang terjadi di bawah tingkat yang akan ditinjau. Pada gambar 10 SNI-03-1726-2019 dijelaskan lebih lanjut gambaran simpangan antar tingkat pada suatu struktur disajikan. Di sisi lain terdapat batasan pada simpangan antar tingkat agar tidak melebihi batas izin yang dapat dilihat pada SNI 03-1726-2019 halaman 88 (Tabel 20).

3.5.1.9. *P-delta* efek

Pengaruh *p-delta* disebabkan adanya gaya aksial yang diterima oleh kolom dan simpangan pada struktur akibat goyangan yang bekerja secara bersamaan. Berdasarkan SNI 03-1726-2019, *p-delta* efek yang mengakibatkan gaya geser, gaya momen, dan simpangan antar tingkat tidak perlu diperhitungkan apabila nilai koefisien stabilitas sama dengan atau kurang dari 0 ($\theta \leq 0{,}10$). Koefisien stabilitas harus dihitung dengan persamaan berikut.

$$\theta = \frac{P_x\ \Delta\ I_e}{V_x\ h_x\ C_d} \tag{3.29}$$

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh lebih dari (θ_{max}) yang ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0{,}5}{\beta\ C_d} \tag{3.30}$$

Keterangan :

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat ke-x (kN)

Δ = simpangan antar tingkat desain

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya geser seismik yang bekerja pada dan di bawah tingkat ke-x

h_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat ke-x

C_d = faktor amplifikasi defleksi

β = rasio kebutuhan geser pada terhadap kapasitas geser pada dan di bawah tingkat ke-x

Menurut SNI 03-1726-2019 struktur dengan nilai koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari ($\theta_{\max}$) struktur tersebut dinyatakan tidak stabil. Berdasarkan hal tersebut struktur harus didesain ulang untuk memenuhi nilai koefisien stabilitas (θ) yang disyaratkan.

3.5.2. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur (Respons Spektrum)

Salah satu metode elastik (linier) pada analisis struktur adalah analisis dinamik spektrum respons ragam. Menurut Widodo (2001) analisis statik ekuivalen hanya cocok untuk bangunan yang cenderung kaku dan bertingkat tinggi. Dikarenakan hal tersebut analisis struktur perlu dilanjutkan pada tahap dinamik (respons spektrum).

3.5.2.1. Kombinasi Beban Gempa

Kombinasi beban gempa diperhitungkan berdasarkan pengaruh beban gempa terhadap suatu struktur. Menurut SNI 03-1726-2019 pengaruh beban gempa dapat dinyatakan sebagai berikut.

1. Untuk kombinasi berdasarkan persamaan (3.9)

$$E = E_h + E_v \tag{3.31}$$

2. Untuk kombinasi berdasarkan persamaan (3.11)

$$E = E_h - E_v \tag{3.32}$$

Yang mana E_h dan E_v secara berturut turut adalah pengaruh gempa seismik vertikal dan pengaruh gempa seismik horizontal.

Berdasarkan SNI 03-1726-2019, pengaruh beban gempa (E) harus dinyatakan berdasarkan pengaruh beban gempa secara horizontal dan vertikal. Untuk Kombinasi beban pada persamaan (3.9) dan (3.11) nilai E harus diambil berdasarkan persamaan berikut ini.

1. Pengaruh beban seismik horizontal

$$E_h = \rho\, Q_E \tag{3.33}$$

2. Pengaruh beban seismik vertikal

$$E_v = 0.2\, S_{DS}\, D \tag{3.34}$$

Kombinasi dari pengaruh beban gempa yang dinyatakan pada persamaan (3.31) dan (3.32) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$E = \rho\, Q_E \pm 0.2\, S_{DS}\, D \tag{3.35}$$

Yang mana ρ, Q_E, S_{DS} dan D secara berturut turut adalah faktor redundansi, beban gempa, dan beban mati

Pengaruh beban gempa terhadap persamaan (3.9) dan (3.11) apabila disubtitusikan dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$(1{,}2 + 0{,}2\, S_{DS})D + 1{,}0\, \rho\, Q_E + L \tag{3.36}$$

$$(0{,}9D - 0{,}2\, S_{DS})\, D + 1{,}0\, \rho\, Q_E \tag{3.37}$$

3.5.2.2. Faktor Redundansi

Berdasarkan SNI 03-1726-2019 faktor redundansi (ρ) yang digunakan pada persamaan (3.36) dan (3.37) harus ditinjau pada kedua arah ortogonal. Menurut pada 7.4.3 nilai faktor redundansi (ρ) diizinkan sama dengan 1,0 untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik B atau C. Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, dengan ketidakberaturan horizontal tipe 1.b, ρ harus sama dengan 1,3.

3.5.2.3. Desain respons spektrum

Dalam perencanaan kurva respons spektrum untuk analisis beban gempa pada perencanaan suatu struktur gedung harus berpedoman pada persamaan yang tercantum pada SNI 03-1726-2019 pada butir 6.4. Pedoman desain respons spektrum yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan spektrum respons desain (S_a) pada periode yang lebih kecil dari T_0, harus menggunakan persamaan berikut :

$$S_a = S_{ds}\,(0{,}4 + 0{,}6\frac{T}{T_0}) \tag{3.38}$$

2. Perhitungan spektrum respons desain (S_a) pada periode yang lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s menggunakan nilai (sama dengan) S_{DS}.
3. Perhitungan spektrum respons percepatan desain (S_a) pada periode yang lebih kecil dari T_s tetapi lebih kecil dari T_L harus menggunakan persamaan berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \tag{3.39}$$

4. Perhitungan spektrum respons percepatan desain (S_a) pada periode yang lebih besar dari T_L harus menggunakan persamaan berikut :

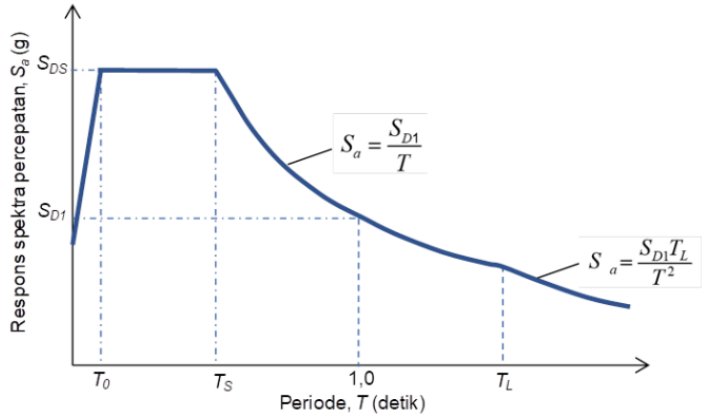
$$S_a = \frac{S_{D1}\,T_L}{T^2} \tag{3.40}$$

Yang mana T, T_0, T_s, dan T_L, berturut turut adalah, periode fundamental getar struktur, periode detik ke – 0, periode pendek, dan periode panjang. Untuk T_0, T_s, dan T_L ditentukan dengan ketentuan berikut.

$$T_0 = 0{,}2\ \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3.41}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3.42}$$

T_L = Peta transisi periode panjang yang nilainya diambil dari Gambar 20 SNI 03-1726-2019 (Gambar 20).



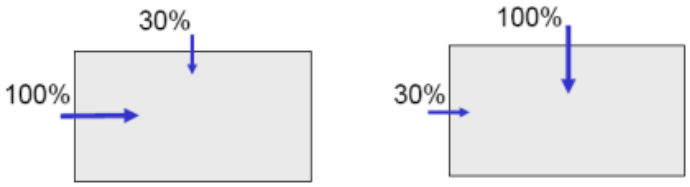
Gambar 3.6 Spektrum Respons Desain
(Sumber: SNI 03-1726-2019, halaman 36)

3.5.2.4. Partisipasi massa ragam

Berdasarkan SNI 03-1726-2019 pada butir 7.9.1.1 dijelaskan bahwa analisis suatu struktur harus melibatkan jumlah massa ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 %. Namun, terdapat alternatif yang mana analisis diizinkan untuk menggunakan jumlah ragam minimum dalam mencapai partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual pada masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons spektrum yang ditinjau oleh model.

3.5.2.5. Detail kombinasi beban ortogonal

Kategori desain seismik C hingga F diharuskan untuk menerapkan kombinasi beban 100% gaya satu arah ditambah 30% gaya untuk arah tegak lurus seperti yang dijelaskan pada SNI 03-1726-2019 pada butir 7.5.1. Berdasarkan FEMA 451 B pengaruh beban ortogonal yang dimaksud dapat dijelaskan lebih lanjut pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Pengaruh Beban Ortogonal
(Sumber : FEMA 451 B)

Berdasarkan pernyataan di atas kombinasi beban ortogonal harus dijabarkan melalui persamaan (3.36) dan (3.37) dimana nilai beban hidup dapat direduksi sebesar 50% berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.1. Persamaan untuk menyatakan kombinasi yang dimaksud dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D\ \pm 1{,}0\ \rho\ Qx \pm 0{,}3\ \rho\ Qy + 0{,}5\ L \tag{3.43}$$

$$(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D\ \pm 1{,}0\ \rho\ Qy \pm 0{,}3\rho\ Qx + 0{,}5\ L \tag{3.45}$$

Yang mana persamaan (3.43) adalah kombinasi pembebanan untuk peninjauan model pada arah sumbu x dari persamaan (3.36) dan persamaan (3.45) adalah kombinasi pembebanan untuk peninjauan model pada arah sumbu y dari persamaan (3.36).

Untuk penerapan esentrisitas tambahan berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.6.7, maka persamaan (3.43) dan (3.45) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D \pm 1{,}0\ \rho\ Qx \pm TT \pm 0{,}3\rho\ Qy + 0{,}5\ L \tag{3.47}$$

$$(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D \pm 1{,}0\ \rho\ Qy \pm TT \pm 0{,}3\rho\ Qx + 0{,}5\ L \tag{3.48}$$

Penjabaran untuk peninjauan kombinasi beban ortogonal melalui persamaan (3.37) dapat dilakukan dengan tahapan yang sama. Berdasarkan penjabaran di atas keseluruhan kombinasi beban ortogonal adalah 32 kombinasi. Kombinasi beban ortgonal yang dimaksud harus menggunakan persamaan berikut.

`

1. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qx + TT + 0{,}3\ \rho\ Qy + 0.5\ L$ (3.49)
2. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qx + TT + 0{,}3\ \rho\ Qy + 0.5\ L$ (3.50)
3. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})D + 1\ \rho\ Qx + TT - 0{,}3\ \rho\ Qy + 0.5\ L$ (3.51)
4. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qx + TT - 0{,}3\ \rho\ Qy + 0.5\ L$ (3.52)
5. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qx - TT + 0{,}3\ \rho\ Qy + 0.5\ L$ (3.53)
6. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qx - TT + 0{,}3\ \rho\ Qy + 0.5\ L$ (3.54)
7. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qx - TT - 0{,}3\ \rho\ Qy + 0.5\ L$ (3.55)
8. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qx - TT - 0{,}3\ \rho\ Qy + 0.5\ L$ (3.56)
9. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qy + TT + 0{,}3\ \rho\ Qx + 0.5\ L$ (3.57)
10. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qy + TT + 0{,}3\ \rho\ Qx + 0.5\ L$ (3.58)
11. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qy + TT - 0{,}3\ \rho\ Qx + 0.5\ L$ (3.59)
12. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qy + TT - 0{,}3\ \rho\ Qx + 0.5\ L$ (3.60)
13. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qy - TT + 0{,}3\ \rho\ Qx + 0.5\ L$ (3.61)
14. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qy - TT + 0{,}3\ \rho\ Qx + 0.5\ L$ (3.62)
15. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qy - TT - 0{,}3\ \rho\ Qx + 0.5\ L$ (3.63)
16. $(1{,}2 + 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qy - TT - 0{,}3\ \rho\ Qx + 0.5\ L$ (3.64)
17. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qx + TT + 0{,}3\ \rho\ Qy$ (3.65)
18. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qx + TT + 0{,}3\ \rho\ Qy$ (3.66)
19. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qx + TT - 0{,}3\ \rho\ Qy$ (3.67)
20. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qx + TT - 0{,}3\ \rho\ Qy$ (3.68)
21. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qx - TT + 0{,}3\ \rho\ Qy$ (3.69)
22. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qx - TT + 0{,}3\ \rho\ Qy$ (3.70)
23. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qx - TT - 0{,}3\ Qy$ (3.71)
24. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qx - TT - 0{,}3\ \rho\ Qy$ (3.72)
25. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qy + TT + 0{,}3\ \rho\ Qx$ (3.73)
26. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qy + TT + 0{,}3\ \rho\ Qx$ (3.74)
27. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qy + TT - 0{,}3\ \rho\ Qx$ (3.75)
28. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ Qy + TT - 0{,}3\ \rho\ Qx$ (3.76)

29. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qy\text{-}TT + 0{,}3\ \rho\ Qx$ (3.77)

30. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qy\text{-}TT + 0{,}3\ \rho\ Qx$ (3.78)

31. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D + 1\ \rho\ Qy\text{-}TT - 0{,}3\ \rho\ Qx$ (3.79)

32. $(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D - 1\ \rho\ Qy\text{-}TT - 0{,}3\ \rho\ Qx$ (3.80)

Keterangan :

D = pengaruh beban mati

L = pengaruh beban hidup

Qy = Beban gempa arah sumbu y

Qx = Beban gempa arah sumbu x

TT = Eksentrisitas Tambahan

ρ = Faktor Redundansi

S_{DS} = parameter percepatan spektral desain periode pendek

3.5.2.6. Penggunaan faktor skala

Pada tahap analisis, gaya geser hasil analisis respons spektrum harus diskalakan dengan gaya geser dari hasil analisis statik ekivalen apabila terjadi kondisi dimana hasil analisis gaya geser metode respons spektrum lebih kecil dari 100% gaya geser yang dihitung menggunakan metode analisis statik ekivalen. Persyaratan tersebut dijelaskan pada SNI 03-1726-2019 pada butir 7.9.1.4.1. Disisi lain, apabila nilai gaya geser dasar dari analisis respons spektrum (V_t) lebih kecil dari CsW maka simpangan antar tingkat dari hasil analisis respons spektrum perlu dikali dengan CsW/V_t.

3.5.2.7. Torsi bawaan tak terduga dan faktor amplifikasi torsi

Pembahasan torsi tak terduga dapat dilihat pada sub-sub bab 3.6.7. dimana nilai esentrisitas tamabahan harus ditinjau dengan persamaan (3.23) dan (3.24)

3.5.2.8. Rasio simpangan antar tingkat (*drift ratio*)

Nilai rasio simpangan antar tingkat harus ditinjau dengan menggunakan persamaan (3.27) dan (3.28). Untuk pembahasan lebih lanjut terkait rasio simpangan antar tingkat dapat dilihat pada sub-sub bab 3.5.8.

3.5.2.9. *P-delta* efek

Peninjauan efek *p-delta* berdasarkan koefisien stabilitas (θ) yang dihitung berdasarkan persamaan (3.29) tidak boleh melebihi (θ_{max}) berdasarkan persamaan (3.30). Untuk pembahasan terkait *p-delta* efek dapat dilihat pada sub-sub bab 3.6.9

3.6. *Trial* 2

Model struktur *trial* 2 dilakukan dengan model yang sama seperti pada model *trial* 1. Pada model ini dilakukan variasi terkait dimensi, geometri dan spesifikasi pada elemen struktur kolom yang akan dioptimalisasi. Model struktur *trial* 2 perlu memenuhi persyaratan yang ditentukan.

3.6.1. Analisis Tahap 1 untuk *Checking* Kinerja Struktur (Statik Ekivalen)

Proses analisis tahap 1 pada *trial* 2 dilakukan seperti pada model *trial* 1. Pada tahap 1 dilakukan analisis berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.1.1 hingga 3.5.1.9. Analisis pada tahap ini dilakukan untuk melakukan peninjauan terhadap kinerja struktur (*serviceability limit*) seperti ketidakberaturan struktur, *drift ratio,* dan *p-delta effect*.

3.6.2. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur (Respons Spektrum)

Proses analisis tahap 2 pada *trial* 2 dilakukan seperti pada model *trial* 1. Pada tahap 2 dilakukan analisis berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.2.1 hingga 3.5.2.9. Analisis pada tahap ini dilakukan peninjauan kekuatan struktur final dan untuk memperoleh gaya dalam untuk desain elemen struktur.

3.7. *Trial* 3

Model struktur *trial* 3 dilakukan dengan model yang sama seperti pada model *trial* 1. Pada model ini dilakukan variasi terkait dimensi, geometri dan spesifikasi pada elemen struktur kolom yang akan dioptimalisasi. Model struktur *trial* 3 perlu memenuhi persyaratan yang ditentukan.

3.7.1. Analisis Tahap 1 untuk *Checking* Kinerja Struktur (Statik Ekivalen)

Proses analisis tahap 1 pada *trial* 3 dilakukan seperti pada model *trial* 1. Pada tahap 1 dilakukan analisis berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.1.1

hingga 3.5.1.9. Analisis pada tahap ini dilakukan untuk melakukan peninjauan terhadap kinerja struktur (*serviceability limit*) seperti ketidakberaturan struktur, *drift ratio,* dan *p-delta effect*.

3.7.2. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur (Respons Spektrum)

Proses analisis tahap 2 pada *trial* 3 dilakukan seperti pada model *trial* 1. Pada tahap 2 dilakukan analisis berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.2.1 hingga 3.5.2.9. Analisis pada tahap ini dilakukan peninjauan kekuatan struktur final dan untuk memperoleh gaya dalam untuk desain elemen struktur.

3.8. *Trial* 4

Model struktur *trial* 4 dilakukan dengan model yang sama seperti pada model *trial* 1. Pada model ini dilakukan variasi terkait dimensi, geometri dan spesifikasi pada elemen struktur kolom yang akan dioptimalisasi. Model struktur *trial* 4 perlu memenuhi persyaratan yang tentukan.

3.8.1. Analisis Tahap 1 untuk *Checking* Kinerja Struktur (Statik Ekivalen)

Proses analisis tahap 1 pada *trial* 4 dilakukan seperti pada model *trial* 1. Pada tahap 1 dilakukan analisis berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.1.1 hingga 3.5.1.9. Analisis pada tahap ini dilakukan untuk melakukan peninjauan terhadap kinerja struktur (*serviceability limit*) seperti ketidakberaturan struktur, *drift ratio,* dan *p-delta effect*.

3.8.2. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur (Respons Spektrum)

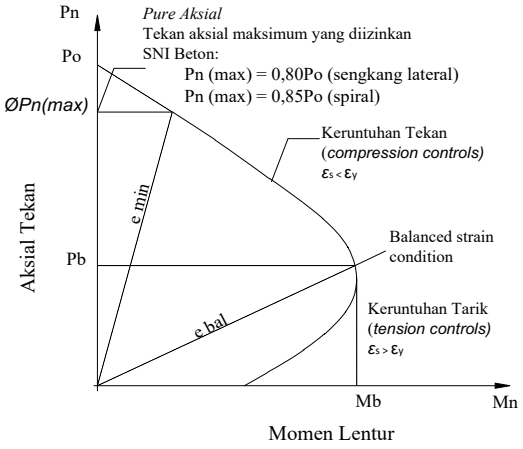
Proses analisis tahap 2 pada *trial* 4 dilakukan seperti pada model *trial* 1. Pada tahap 2 dilakukan analisis berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.2.1 hingga 3.5.2.9. Analisis pada tahap ini dilakukan peninjauan kekuatan struktur final dan untuk memperoleh gaya dalam untuk desain elemen struktur.

3.9. Desain dan Analisis Kebutuhan Tulangan Kolom

Terdapat beberapa metode analisis dan desain yang digunakan untuk menentukan kebutuhan tulangan kolom. Pada tulangan pokok kolom, metode yang umum digunakan yaitu dengan menggunakan diagram M_n-P_n kolom. Pada diagram

M_n-P_n kolom terdapat beberapa kondisi yang perlu ditinjau untuk membentuk diagram M_n-P_n kolom dengan konfigurasi tertentu sebelum melakukan tahap analisis dan desain elemen kolom. Disisi lain, desain tulangan transversal kolom dilakukan berdasarkan SNI 03-2847-2019 pada pasal 18.7.5. Adapun perhitungan tulangan transversal pada *joint* menggunakan SNI yang sama pada pasal 18.8.3. Pada kedua pasal tersebut sudah dijelaskan terkait syarat untuk tulangan transversal.

Kondisi yang dimaksud pada pembahasan di atas dapat membentuk diagram interaksi M_n-P_n tipikal yang umum digunakan perencana dalam melakukan desain elemen kolom. Diagram yang dimaksud dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Tipikal Diagram Interaksi M_n-P_n Kolom
(Sumber : J.Saintis, Vol. 16. No. 2, 2016: 40 – 53)

Selain kondisi seperti pada gambar di atas terdapat kondisi tarik murni dimana elemen kolom bekerja hanya untuk menahan gaya tarik. Untuk menentukan kondisi-kondisi yang dimaksud dalam membentuk diagram interaksi M_n-P_n kolom, digunakan perhitungan sebagai berikut.

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

   Kondisi aksial tekan sentris pada diagram kolom dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$P_0 = (0{,}85 \,.\, f'c \,.\, bt \,.\, ht) + ((A_{st} \,.\, 2) \,.\, (fy - 0{,}85 \,.\, f'c) \qquad (3.81)$$

   Keterangan :

   $f'c$ = Kuat tekan beton (kg/cm^2)

fy = Kuat leleh tulangan (kg/cm^2)

$bt = B$ = Lebar kolom (cm)

$ht = H$ = Tebal kolom (cm)

A_{st} = Luas tulangan longitudinal/pokok total (mm^2)

P_n = Gaya aksial nominal (kg)

2. Kondisi regangan seimbang ($fs = fy$)

Perhitungan P_n pada saat kondisi regangan seimbang dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

$$P_n = C_c + C_s - T_s \tag{3.82}$$

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

$$C_c = 0{,}85\, f'c \,.\, \beta 1.\, cb.\, bt \tag{3.83}$$

$$C_s = \text{A's}\ (fy - 0{,}85 \,.\, f'c) \tag{3.84}$$

$$T_s = As\, fy \tag{3.85}$$

Yang mana $\beta 1$ dan cb secara berturut-turut adalah faktor reduksi kuat tekan beton dan jarak garis netral dengan tepi luar daerah tekan dalam kondisi *balance* yang dapat dihitung dengan persamaan berikut. Sementara C_c, C_s, dan T_s dihasilkan dalam satuan kg.

$$\beta 1 = 0{,}85 - \frac{f'c-28}{7} \,.\, 0{,}05 \tag{3.86}$$

$$cb = \frac{\varepsilon c}{(\varepsilon c + \varepsilon y)} \,.\, h \tag{3.87}$$

Keterangan :

εc = Regangan leleh beton (0,003)

εy = Regangan leleh baja tulangan

h = Tinggi efektif penampang (cm)

Untuk menentukan nilai kuat leleh baja tulangan (fs) yang bekerja pada daerah tarik dan daerah desak digunakan persamaan berikut

$$\varepsilon s' = \frac{(c - d')}{c} \cdot \varepsilon c \quad (3.88)$$

$$\varepsilon s = \frac{(h - c)}{c} \cdot \varepsilon c \quad (3.89)$$

Yang mana *εs'* dan *εs* adalah nilai regangan baja pada daerah desak dan tarik. Apabila nilai regangan baja lebih dari lebih dari nilai regangan baja leleh (*εy*). Maka tegangan baja yang digunakan senilai dengan kuat leleh tegangan baja (*fy*). Sementara itu, apabila nilai regangan baja kurang dari nilai regangan baja leleh. Maka tegangan baja yang digunakan harus ditentukan dengan perkalian antara regangan baja dan modulus elasitisitas baja (E_s). Dimana *εy* ditentukan dengan pembagian antara *fy* dan E_s ($\varepsilon y = \frac{fy}{Es}$).

Dikeranakan eksentrisitas (*e*) beban aksial yang terjadi pada penampang kolom dirumuskan dengan perbandingan M_n dan P_n ($\frac{Mn}{Pn}$). Maka perhitungan M_n pada kondisi *balance* dapat menggunakan persamaan berikut.

$$Mn = Cc \cdot \left(\frac{ht}{2} - \frac{a}{2}\right) + Cs \cdot \left(\frac{ht}{2} - d'\right) + Ts \cdot \left(\frac{ht}{2} - d\right) \quad (3.90)$$

Yang mana *a* merupakan hasil pembagian antara *cb* dengan faktor reduksi kuat tekan beton (*β1*). Sementara itu *d* dan *d'* merupakan jarak titik berat baja tulangan tarik dari tepi tarik penampang dan titik berat baja tulangan desak dari tepi desak penampang dalam satuan cm.

3. Kondisi keruntuhan tekan ($\varepsilon s < \varepsilon y$)

   Untuk perhitungan M_n-P_n pada kondisi keruntuhan tekan dapat dilakukan dengan persamaan 3.82 hingga 3.90. Pada kondisi ini, jarak posisi garis netral dengan tepi luar daerah tekan (*c*) yang digunakan harus lebih besar dari *cb* untuk menghasilkan nilai M_n-P_n dalam kondisi keruntuhan tarik. Dengan demikian tulangan yang bekerja pada daerah desak berada pada kondisi leleh ($\varepsilon s' > \varepsilon y$) sehingga $fs' = fy$.
4. Kondisi keruntuhan tarik ($\varepsilon s > \varepsilon y$)

Untuk perhitungan M_n-P_n pada kondisi keruntuhan tarik dapat dilakukan dengan persamaan 3.82 hingga 3.90. Pada kondisi ini, jarak posisi garis netral dengan tepi luar daerah tekan (c) yang digunakan harus lebih kecil dari cb untuk menghasilkan nilai M_n-P_n dalam kondisi keruntuhan tarik. Dengan demikian tulangan yang bekerja pada daerah tarik berada pada kondisi leleh ($\varepsilon s > \varepsilon y$) sehingga $fs = fy$.

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

   Pada kondisi lentur murni perhitungan M_n untuk diagram interaksi M_n-P_n kolom dilakukan dengan mengasumsikan kolom bekerja sama seperti balok. Maka dari itu M_n dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$M_n = Cc \,.\, (d - a/2\,) + As'\,.\, fs'\,.\, (\,h - d'\,) \qquad (3.91)$$

   Dimana a adalah tinggi blok tegangan tekan dalam cm yang diperoleh dari persamaan keseimbangan regangan dan tegangan balok yang dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$As \,.\, fs = 0{,}85 \,.\, f'c \,.\, a \,.\, bt + As'\,.\, fs' \qquad (3.92)$$

6. Kondisi tarik murni

   Pada kondisi ini tidak terjadi gaya momen ($M_n = 0$). Pada kondisi tarik murni, gaya yang bekerja hanya ditahan oleh baja tulangan pada kedua sisi penampang kolom. Dengan begitu, nilai P_n dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$Pn = -(\text{A.Tul pakai x 2}) \text{ x } fy \qquad (3.93)$$

3.10. *Artificial Neural Network* (ANN)

Jaringan syaraf tiruan (ANN) merupakan salah satu teknik yang termasuk dalam kelompok bidang ilmu *artificial intelligence*. *Neural network* dibentuk dengan prinsip yang sama seperti cara kerja otak manusia yaitu dengan mengumpulkan informasi yang akan dikelola untuk menentukan hasil yang dibutuhkan. Haykin (2009) menjelaskan bahwa konsep dari pembentukan jaringan syaraf tiruan disusun untuk dapat merumuskan suatu permasalahan dengan cara pengenalan pola, pengelolaan informasi dan identifikasi. Jaringan syaraf tiruan

memerlukan beberapa pelatihan dalam mengenali informasi yang diberikan. Berdasarkan informasi yang ada, program yang dimodelkan akan melakukan perhitungan untuk menentukan algoritma dari pola yang dilatih pada setiap data Dengan mengenali algoritma dari permasalahan yang ada, diharapkan pemodelan ANN yang dibentuk dapat hasil yang diinginkan.

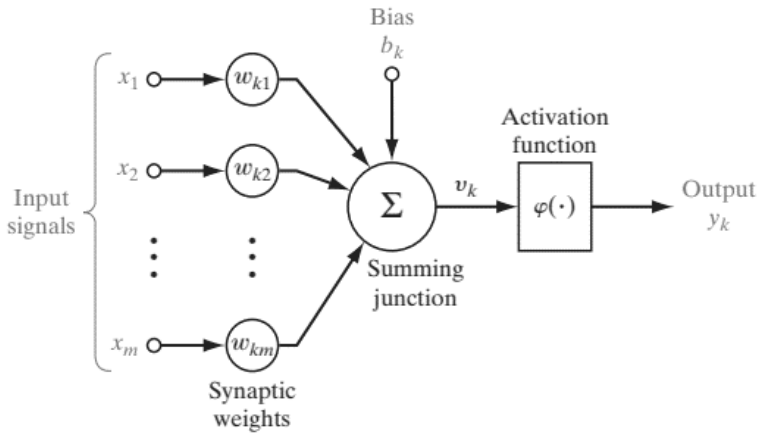
Dalam penerapannya metode jaringan syaraf tiruan (ANN) digunakan untuk melakukan prediksi dari suatu data hingga mengoptimalisasi hasil yang akan diperoleh. Penggunaan jaringan syaraf tiruan dapat mengelola permasalahan yang kompleks agar dibentuk menjadi permasalahan yang lebih sederhana. Pada umumnya pemilihan penggunaan metode *artificial neural network* dipilih karena metode ini dapat menghasilkan tingkat akurasi yang cukup tinggi dalam melakukan prediksi suatu data. Namun, seperti yang dijelaskan sebelumnya, *artificial neural network* memerlukan pelatihan dari data atau informasi yang diberikan. Banyaknya data yang dikumpulkan dalam penggunaan metode (ANN) dapat mempengaruhi akurasi dari hasil yang dikeluarkan. Dengan begitu pengguna metode jaringan syaraf tiruan memerlukan data yang cukup dengan korelasi antar data yang tinggi sehingga model jaringan syaraf tiruan yang dibentuk dapat mengelola informasi secara berulang dengan variasi informasi yang berbeda.

Penggunaan metode *artificial neural network* memiliki beberapa tahapan dan beberapa komponen yang perlu dipahami. Komponen yang dimaksud terdiri dari *input*, *layer*, dan *output*. Informasi atau data yang digunakan untuk memecahkan permasalahan akan dikelola dan dikenali oleh komponen *input* yang mana proses identifikasi tersebut dilakukan oleh beberapa program jaringan yang terkumpul dalam layer sehingga informasi dengan korelasi tinggi yang dikumpulkan dapat menghasilkan algoritma dengan tingkat akurasi yang tinggi. Data atau informasi yang digunakan untuk memodelkan suatu jaringan syaraf tiruan perlu dinormalisasi agar model yang dibentuk dapat mengenali informasi tersebut, dengan begitu jaringan syaraf tiruan dapat mengeluarkan hasil yang dibutuhkan berdasarkan algoritma yang dibentuk oleh data yang digunakan. Tahapan penggunaan metode jaringan syaraf tiruan diawali dengan pemodelan, dilanjutkan dengan pengenalan data oleh model melalui pelatihan, hingga pengujian dari hasil yang dikeluarkan

untuk menentukan persentase kesalahan hasil dari pemodelan yang dibentuk. Pada sub bab ini akan dijelaskan penggunaan komponen yang ada serta bentuk jaringan yang digunakan dan telah disesuaikan hasil yang dibutuhkan

3.10.1. Model Neuron

Pada jaringan syaraf tiruan, terdapat komponen lain yang dapat mempengaruhi hasil dari pemodelan selain beberapa komponen yang telah dijelaskan sebelumnya. Komponen *bias* pada jaringan syaraf tiruan dapat mempengaruhi hasil dari model neuron yang dibentuk. Menurut Haykin (2009) *bias* dapat mengurangi atau menambah hasil dari neuron yang dibentuk berdasarkan data yang di *input* tergantung pada nilai bias itu sendiri. Selain itu terdapat pembobot (*w*) yang akan mempengaruhi nilai *input* yang digunakan. Untuk mengilustrasikan pernyataan tersebut disajikan gambar tentang ilustrasi model neuron pada Gambar 3.9 berikut.



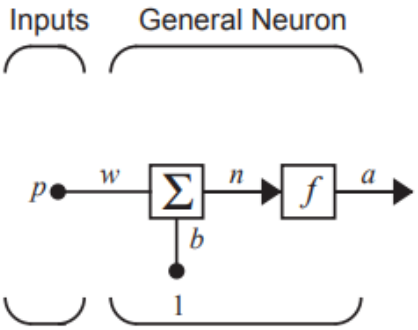
Gambar 3.9 Ilustrasi Model Neuron
(Sumber : Neural Networks and Learning Machines, 2009)

Menurut Hagan (2002) terdapat dua model neuron. Klasifikasi Model neuron yang dimaksud adalah sebagai berikut.

7. *Single-Input Neuron*

   Disebut *Single-Input Neuron* dikarenakan pada model neuron ini *input* yang digunakan hanya satu dan langsung diproses untuk menghasilkan *output* melalui serangkaian pembobot atau *weight* (*w*). Secara sederhana oprasi untuk menghasilkan *output* melalui model ini dilakukan dengan mengali *input* dengan

pembobot dan menjumlahkannya dengan biar. Berikut merupakan ilustrasi pemodelan dari *Single-Input Neuron* yang disajikan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Model *Single-Input Neuron*
(Sumber: Neural Network Design, 2002)

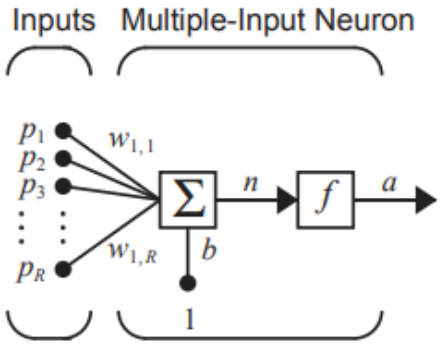
Berdasarkan Gambar 3.9 diketahui bahwa *input neuron* dinotasikan dengan simbol *p* yang akan dikalikan dengan pembobot (*w*) dan akan dijumlahkan dengan bias (*b*). Secara matematik bias (*b*) sama setara dengan pembobot (*w*), hanya yang membedakan antara kedua komponen tersebut adalah nilai bias selalu dikalikan dengan 1 dan terdapat opsi untuk dihilangkan. *Output* dari penjumlahan tersebut dinamakan *net input* (*n*) dan akan dilanjutkan menuju *transfer function* (*f*) dan akan menghasilkan *output, a.*

Untuk menjelaskan lebih lanjut pemodelan *Single-Input Neuron* dapat dibentuk dalam persamaan berikut.

$$a = f(wp + b) \tag{3.94}$$

8. *Multiple-Input Neuron*

   Konsep dari *Multiple-Input Neuron* merupai konsep pemodelan *single-Input Neuron.* Hanya saja, *Multiple-Input Neuron* merupakan model neuron yang memiliki beberapa *input* yang digunakan untuk pemodelannya. Berikut merupakan ilustrasi pemodelan *Multiple-Input Neuron* yang disajikan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.11 Model *Multiple-Input Neuron*
(Sumber: Neural Network Design, 2002)

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, dengan konsep pemodelan yang sama dengan *Single-Input Neuron*, *net input* pemodelan *Multiple-Input Neuron* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$n = w_{1\ 1}P_1 + w_{2\ 2}P_2 + \ldots + w_{1\ R}P_R + b \tag{3.95}$$

Persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi persamaan berikut.

$$n = Wp + b \tag{3.96}$$

3.10.2. *Transfer function*

Fungsi transfer/aktivasi atau lebih dikenal dengan *transfer function* ditentukan untuk menyesuaikan secara spesifik dari permasalahan yang akan dimodelkan dalam bentuk jaringan syaraf tiruan sehingga algoritma dari permasalahan tersebut dapat ditentukan oleh program yang dibentuk. Terdapat beberapa jenis *transfer function* dalam pemodelan *neural network*. Jenis *transfer function* yang dimaksud disajikan pada gambar 3.12 berikut.

Name	Input/Output Relation	Icon	MATLAB Function
Hard Limit	$a = 0 \quad n < 0$ $a = 1 \quad n \geq 0$		hardlim
Symmetrical Hard Limit	$a = -1 \quad n < 0$ $a = +1 \quad n \geq 0$		hardlims
Linear	$a = n$		purelin
Saturating Linear	$a = 0 \quad n < 0$ $a = n \quad 0 \leq n \leq 1$ $a = 1 \quad n > 1$		satlin
Symmetric Saturating Linear	$a = -1 \quad n < -1$ $a = n \quad -1 \leq n \leq 1$ $a = 1 \quad n > 1$		satlins
Log-Sigmoid	$a = \frac{1}{1+e^{-n}}$		logsig
Hyperbolic Tangent Sigmoid	$a = \frac{e^{n}-e^{-n}}{e^{n}+e^{-n}}$		tansig
Positive Linear	$a = 0 \quad n < 0$ $a = n \quad 0 \leq n$		poslin
Competitive	$a = 1$ neuron with max n $a = 0$ all other neurons		compet

Gambar 3.12 *Transfer Function*
(Sumber: Neural Network Design, 2002)

Dari beberapa fungsi aktivasi yang dipaparkan pada Gambar 3.12 di atas terdapat 3 fungsi yang umum digunakan dalam penggunaan jaringan syaraf tiruan antara lain *Hard Limit Transfer Functions*, *Linier Transfer Function*, dan *Log-Sigmoid Transfer Function*. Fungsi *Log-Sigmoid* sering digunakan dalam *Multiple-Input Neuron*. Hal ini dilakukan untuk melatih pemodelan yang telah dibentuk menggunakan algoritma *backpropagation*.

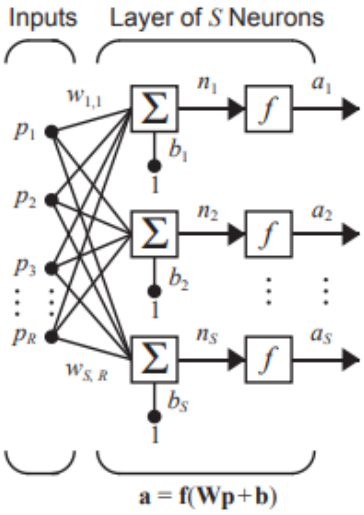
3.10.3. Model arsitektur jaringan pada *Artificial Neural Network*

Pemodelan jaringan syaraf tiruan pada dasarnya menggunakan algoritma untuk membentuk *network* yang dapat mempelajari informasi atau data yang diberikan. Untuk menyederhanakan algoritma jaringan syaraf tiruan, dibentuk

model arsitektur jaringan. Arsitektur jaringan dibentuk dengan mengumpulkan data yang di*input* hingga membentuk *layer* dengan jumlah yang sesuai dengan data yang ada. Menurut Hagan (2002), secara umum terdapat tiga klasifikasi bentuk arsitektur jaringan berdasarkan cara kerja dan jumlah *layer* yang ada. Klasifikasi yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. *A Layer of Neurons*

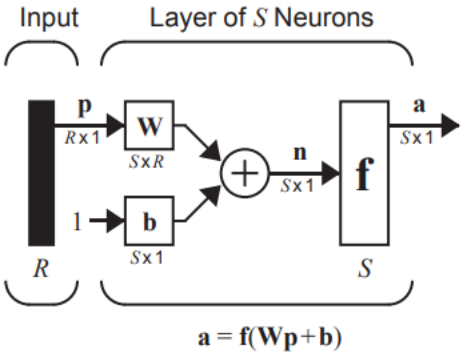
   Neuron dengan satu *layer* terhubung dengan *input* (*p*) melalui pembobot (*w*) sehingga membentuk *layer* (*S*) dalam satu baris. Dengan konsep yang telah dijelaskan pada sub-sub bab 3.8.1, perhitungan algoritma yang dibentuk pada neuron satu *layer* dapat dilihat pada penjelasan tersebut. penjelasan yang dimaksud dapat diilustrasikan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 ***A Layer of Neurons***
(Sumber: Neural Network Design, 2002)

Berdasarkan Gambar 3.13 dapat diketahui bahwa setiap *input* (*p*) yang dihubungkan dengan pembobot (*w*) dapat membentuk satu neuron utuh untuk memiliki satu fungsi aktivasi (*f*) dalam menghasilkan *output* dengan dipengaruhi oleh bias (*b*). Setiap *input* yang membentuk neuronnya sendiri tidak harus memiliki fungsi aktivasi yang sama dengan neuron yang dibentuk oleh *input* lainnya. Fungsi aktivasi dari setiap neuron yang terbentuk menghasilkan *vektor output* (*a*).

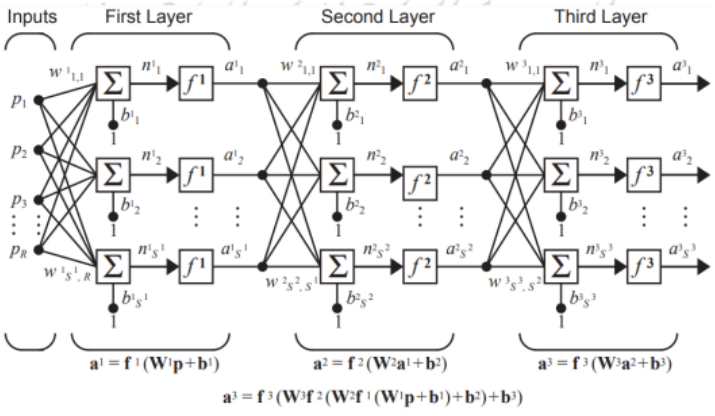
Pada umumnya neuron dapat memiliki *input* yang sama dimana setiap neuron tersebut akan menghasilkan fungsi aktivasi berdasarkan jumlah neuron yang ada. Berdasarkan pernyataan tersebut jumlah *input* yang digunakan tidak sama dengan jumlah neuron yang dihasilkan. Untuk menyederhanakan model arsitektur yang telah dijelaskan sebelumnya dipaparkan notasi ringkas dari model arsitektur neuron dengan satu *layer* pada Gambar 3.14 berikut.



Gambar 3.14 ***A Layer of Neurons, Abbreviated Notation***
(Sumber: Neural Network Design, 2002)

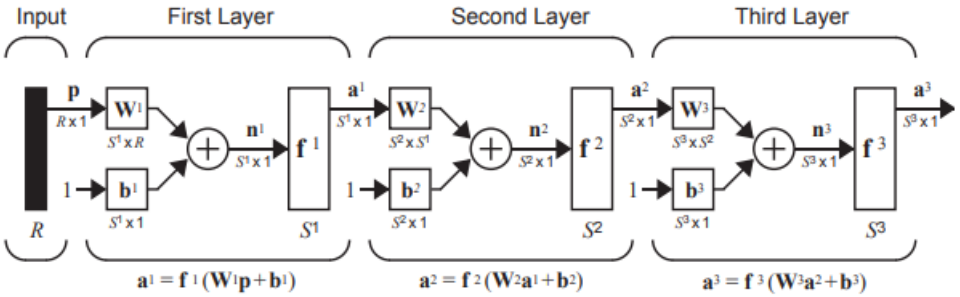
2. *Multiple Layers of Neurons*

Pada penerapannya prinsip *Multiple Layers of Neurons* sama dengan neuron dengan satu *layer*. Berdasarkan penyebutannya yang membedakan model jaringan arsitektur ini dengan model yang telah dijelaskan sebelumnya adalah model ini memiliki beberapa layer dalam satu jaringan arsitektur. Ilustrasi yang dimaksud dapat dipaparkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 ***Multiple Layers of Neurons***
(Sumber: Neural Network Design, 2002)

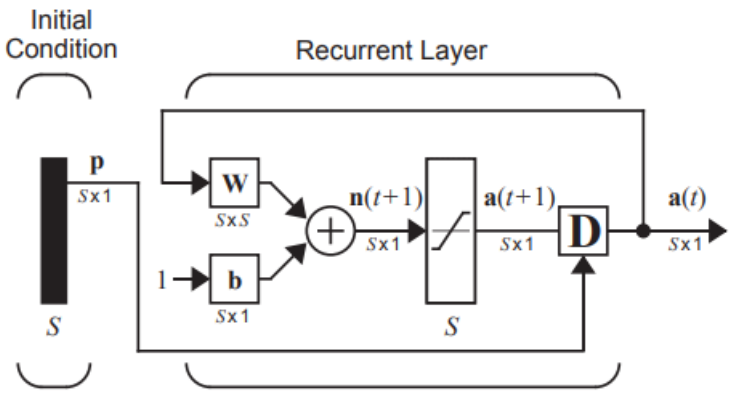
Pada model arsitektur jaringan ini terdapat kemungkinan dimana fungsi aktivasi yang digunakan pada suatu jaringan memiliki fungsi aktivasi yang berbeda dengan jaringan lainnya. Yang mana hal ini tidak dapat dilakukan pada mode arsitektur jaringan dengan satu layer. Berdasarkan Gambar 3.14 diatas dapat diketahui *outout* (*a*) yang dihasilkan pada dari neuron pada *layer* pertama (S^1), akan digunakan sebagai *input* dari neuron pada *layer* kedua (S^2) dan begitu juga seterusnya. Dengan konsep yang sama pada model arsitektur jaringan yang telah dijelaskan sebelumnya, ilustrasi pernyataan tersebut dapat disederhanakan dengan notasi ringkas pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 ***Multiple Layers of Neurons, Abbreviated Notation***
(Sumber: Neural Network Design, 2002)

3. *Recurrent Networks*

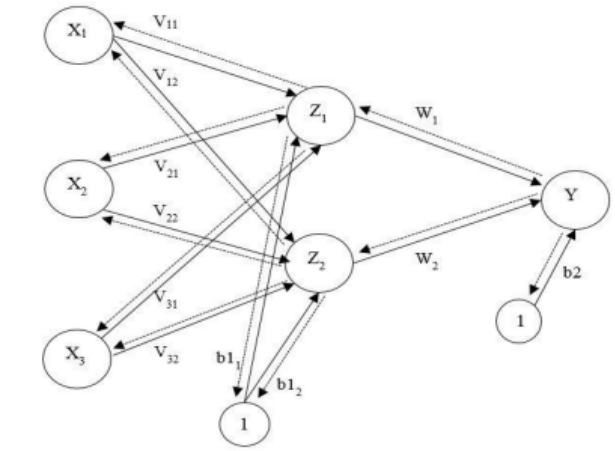
Pada model arsitektur *Recurrent Networks* terdapat *neuron delay* dan *integrator block* dimana *net input* yang dikeluarkan oleh fungsi aktivasi pada layer sebelumnya dapat ditunda untuk menghasilkan *output* dengan beberapa kondisi dengan fungsi tertentu sehingga *net input* yang dihasilkan memungkinkan untuk diolah kembali pada neuron dengan fungsi aktivasi sebelumnya. Untuk dapat menjelaskan lebih lanjut pernyataan yang dimaksud dipaparkan ilustrasi model *Recurrent Networks* pada Gambar 3.17 berikut.



Gambar 3.17 *Recurrent Network*
(Sumber: Neural Network Design, 2002)

3.10.4. Algoritma *backpropagation*

Backpropagation adalah salah satu algoritma yang umum digunakan dalam runag lingkup *neural network*. Konsep kerja algoritma ini merupai dengan konsep kerja dari beberapa model arsitektur yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada algoritma ini pembobot (*w*) pada neuron yang difungsikan akan dijalankan dengan arah mundur (*backword*) oleh *error output* yang dihasilkan dari fungsi aktivasi. Untuk memperoleh *error output* yang dimaksud, fungsi dijalankan dengan arah maju, lalu diarahkan mundur kembali dengan bias (*b*) pada fungsi tersebut. Untuk menjelaskan konsep tersebut dipaparkan model jaringan arsitektur dari algoritma *backpropagation* pada Gambar 3.18 berikut.



Gambar 3.18 Model Arsitektur Jaringan *Backpropagation*
(Sumber: Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan MATLAB dan Excel Link, 2012)

3.10.5. Pemodelan *Artificial Neural Network* untuk optimalisasi

Pada penerapannya pengguna metode jaringan syaraf tiruan (ANN) perlu menentukan model arsitektur yang digunakan dalam melakukan pemrograman *artificial neural network*. Hal tersebut dilakukan agar program yang dijalankan dapat membentuk algoritma yang sesuai dengan hasil yang dibutuhkan. Menurut Menurut Hagan (2002) terdapat solusi spesifik yang ada untuk menentukan model arsitektur yang tepat yaitu menentukan *input* yang akan digunakan lalu enentukan *output* yang diharapkan dan memilih fungsi aktivasi yang tepat bedasarkan *output* yang diharapkan.

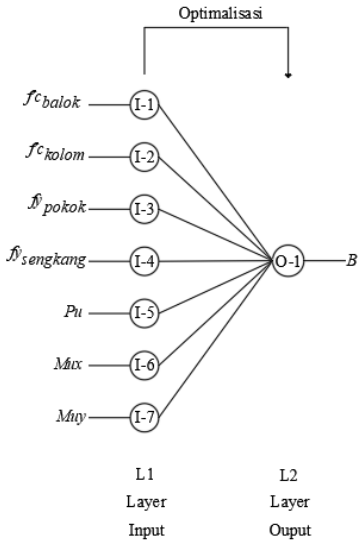
Pada penelitian ini terdapat beberapa model rencana yang digunakan untuk pemodelan jaringan syaraf tiruan. Berikut merupakan penjabaran rencana model pengaplikasian dalam penggunaan *Artificial Neural Network*.

1. Model untuk menentukan lebar kolom

   Data *input* : mutu beton balok ($f'c_{balok}$), mutu beton kolom ($f'c_{kolom}$), mutu baja tulangan pokok (fy_{pokok}), tulangan pokok ($fy_{sengkang}$), gaya aksial kolom (Pu), gaya momen kolom arah sumbu x (Mux), gaya momen kolom arah sumbu y (Muy).

   Data *output* : lebar kolom (B).

   Berdasarkan data tersebut maka konfigurasi untuk menentukan lebar kolom dapat ditentukan seperti gambar 3.19 berikut.



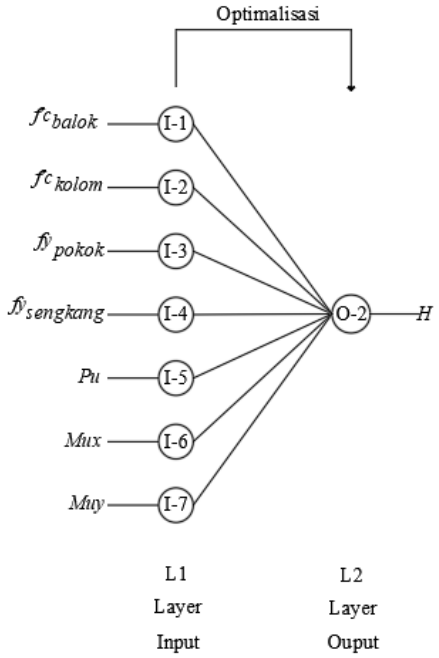
Gambar 3.19 Model Optimalisasi Lebar Kolom

2. Model untuk menentukan tebal kolom

   Data *input* : mutu beton balok ($f'c_{balok}$), mutu beton kolom ($f'c_{kolom}$), mutu baja tulangan pokok (fy_{pokok}), tulangan pokok ($fy_{sengkang}$), gaya momen kolom arah sumbu x (*Mux*), gaya momen kolom arah sumbu y (*Muy*).

   Data *output* : tebal kolom (*H*)

   Berdasarkan data tersebut maka konfigurasi untuk menentukan tebal kolom dapat ditentukan seperti gambar 3.20 berikut.



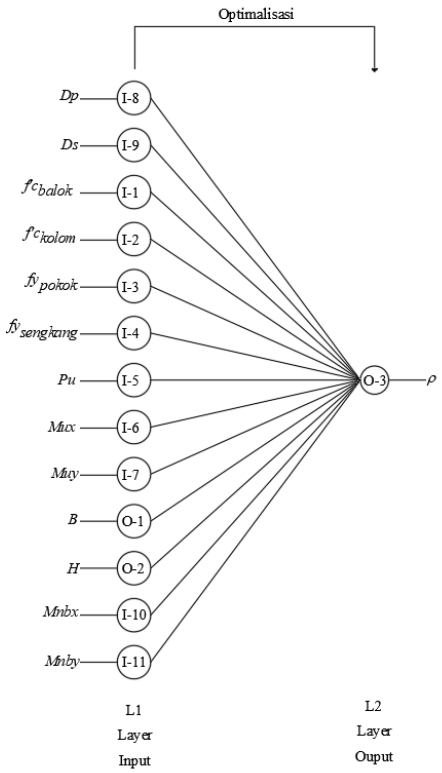
Gambar 3.20 Model Optimalisasi Tebal Kolom

3. Model untuk menentukan rasio tulangan pokok kolom

   Data *input* : diameter tulangan pokok (*Dp*), diameter tulangan sengkang (*Ds*), mutu beton balok ($f'c_{balok}$), mutu beton kolom ($f'c_{kolom}$), mutu baja tulangan pokok (fy_{pokok}), tulangan pokok ($fy_{sengkang}$), gaya aksial kolom (*Pu*), gaya momen kolom arah sumbu x (*Mux*), gaya momen kolom arah sumbu y (*Muy*), tebal kolom (*H*), lebar kolom (*B*), 1,2 momen nominal balok arah x (*Mnbx*), 1.2 momen nominal balok arah y (*Mnby*).

Data *output* : rasio tulangan pokok (ρ)

Berdasarkan data tersebut maka konfigurasi untuk menentukan rasio tulangan kolom dapat ditentukan seperti gambar 3.21 berikut.



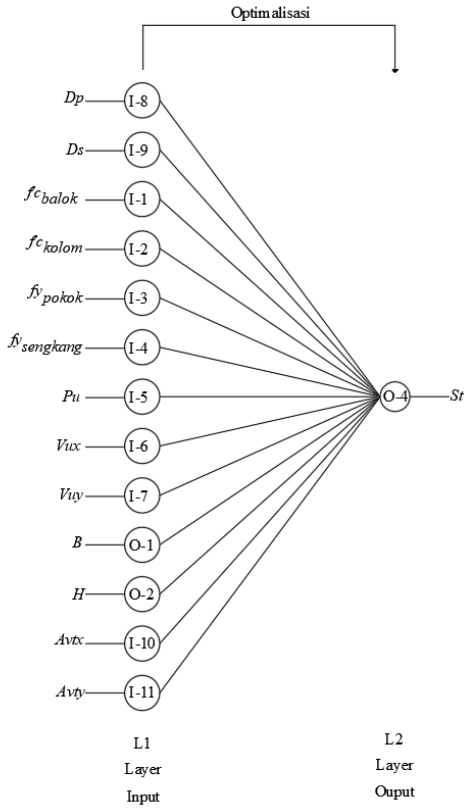
Gambar 3.21 Model Optimalisasi Rasio Tulangan Lentur Kolom

4. Model untuk menentukan jarak sengkang tumpuan kolom

   Data *input* : diameter tulangan pokok (*Dp*), diameter tulangan sengkang (*Ds*), mutu beton balok ($f'c_{balok}$), mutu beton kolom ($f'c_{kolom}$), mutu baja tulangan pokok (fy_{pokok}), tulangan pokok ($fy_{sengkang}$), gaya aksial kolom (*Pu*), gaya geser kolom arah sumbu x (*Vux*), gaya geser kolom arah sumbu y (*Vuy*), tebal kolom (*H*), lebar kolom (*B*), luas tulangan transversal desain tumpuan arah x (*Avtx*), luas tulangan desain perlu tumpuan arah y (*Avty*)

   Data *output* : jarak tulangan transversal tumpuan (*St*)

   Berdasarkan data tersebut maka konfigurasi untuk menentukan jarak sengkang tumpuan kolom dapat ditentukan seperti gambar 3.22 berikut.



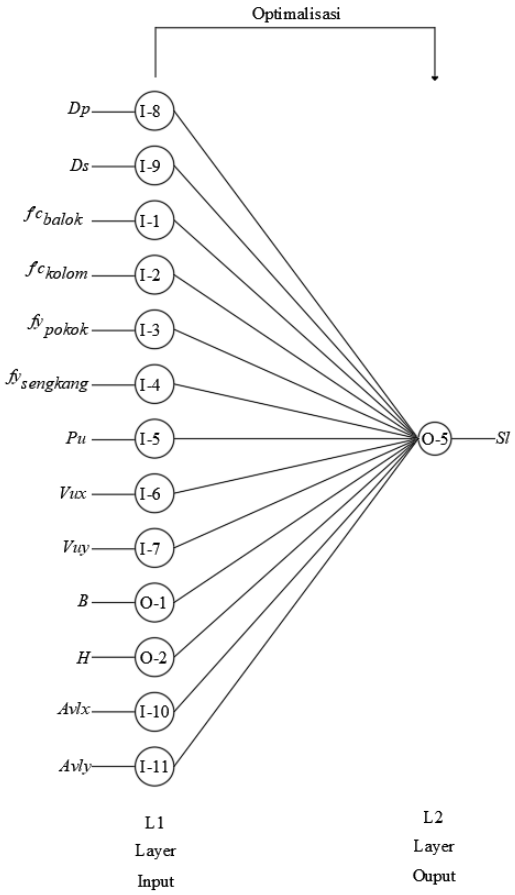
Gambar 3.22 Model Optimalisasi Jarak Tulangan Transversal Tumpuan Kolom

5. Model untuk menentukan jarak sengkang lapangan kolom

   Data *input* : diameter tulangan pokok (*Dp*), diameter tulangan sengkang (*Ds*), mutu beton balok ($f'c_{balok}$), mutu beton kolom ($f'c_{kolom}$), mutu baja tulangan pokok (fy_{pokok}), tulangan pokok ($fy_{sengkang}$), gaya aksial kolom (*Pu*), gaya geser kolom arah sumbu x (*Vux*), gaya geser kolom arah sumbu y (*Vuy*), tebal kolom (*H*), lebar kolom (*B*), luas tulangan transversal desain lapangan arah x (*Avlx*), luas tulangan transversal desain lapangan arah y (*Avly*)

   Data *output* : jarak tulangan transversal lapangan (*Sl*)

   Berdasarkan data tersebut maka konfigurasi untuk menentukan jarak sengkang lapangan kolom dapat ditentukan seperti gambar 3.23 berikut.



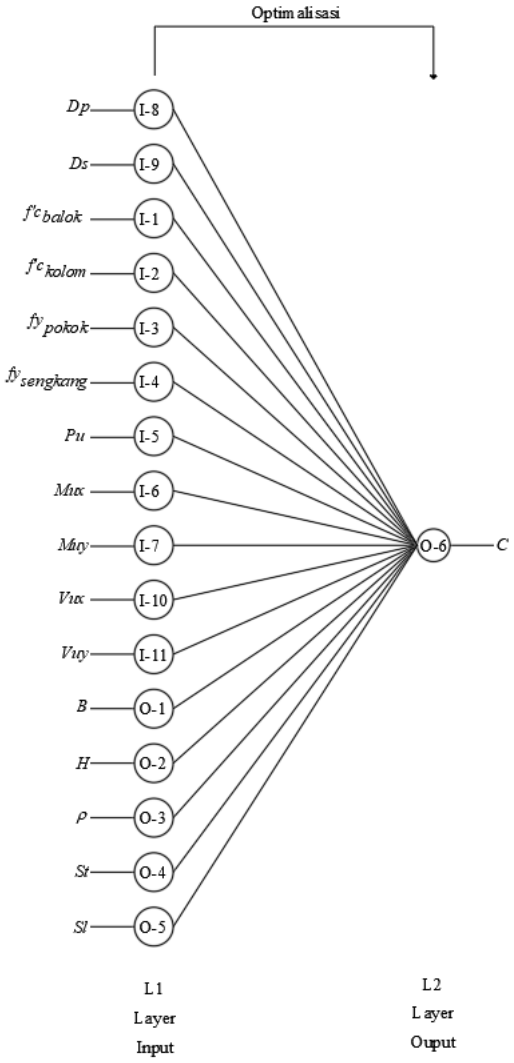
Gambar 3.23 Model Optimalisasi Jarak Tulangan Transversal Lapangan Kolom

6. Model untuk menentukan biaya pekerjaan kolom

   Data *input* : diameter tulangan pokok (*Dp*), diameter tulangan sengkang (*Ds*), mutu beton balok ($f'c_{balok}$), mutu beton kolom ($f'c_{kolom}$), mutu baja tulangan pokok (fy_{pokok}), tulangan pokok ($fy_{sengkang}$), gaya aksial kolom (*Pu*), gaya geser kolom arah sumbu x (*Vux*), gaya geser kolom arah sumbu y (*Vuy*), tebal kolom (*H*), lebar kolom (*B*), rasio tulangan lentur (ρ), jarak tulangan transversal tumpuan (*St*), jarak tulangan transversal lapangan (*Sl*).

   Data *output* : biaya pekerjaan kolom (*C*).

   Berdasarkan data tersebut maka konfigurasi untuk menentukan total biaya pekerjaan kolom dapat ditentukan seperti gambar 3.24 berikut.



Gambar 3.24 Model Optimalisasi Biaya Pekerjaan Kolom

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Umum

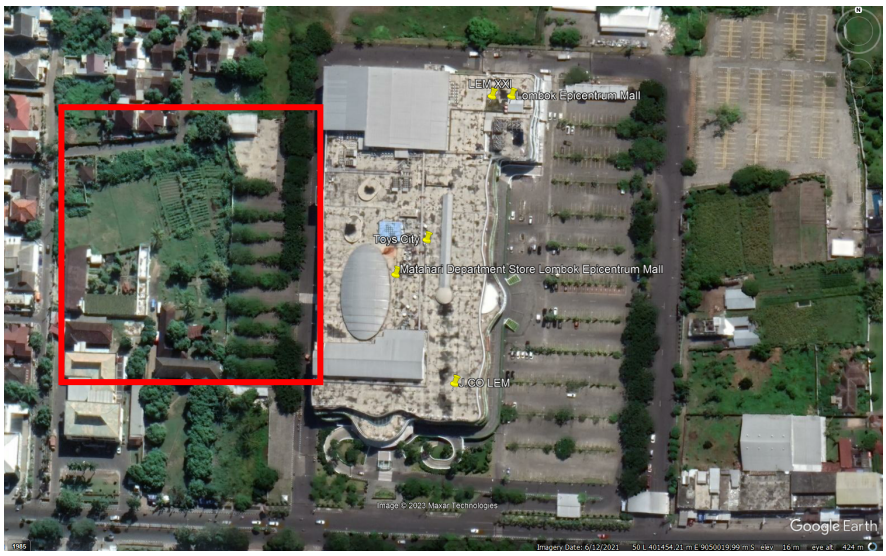
Beberapa ahli menyebutkan penelitian merupakan terjemahan dari kata *research* dan beberapa juga menyebutkan riset yang mana *research* sendiri memiliki arti mencari kembali. Penelitian itu sendiri biasanya menggunakan beberapa metode spesifik dalam pelaksanaannya. Menurut Ramdhan (2021), metode penelitian merupakan cara ilmiah dalam mengumpulkan data untuk menghasilkan sesuatu untuk tujuan tertentu. Dengan demikian metode penelitian dapat memberikan gambaran terkait langkah-langkah dalam pengumpulan data terkait informasi tentang topik yang dipilih untuk memperoleh pemahaman tentang permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian.

Dalam metode penelitian terdapat subjek dan objek penelitian yang ditentukan agar penelitian lebih spesifik dan terperinci. Menurut Abubakar (2021) subjek penelitian dapat berupa wilayah, orang, benda atau hal. Disisi lain objek penelitian merupakan sesuatu yang menjadi pusat, perhatian, atau sasaran dari penelitian yang dilakukan. Dengan adanya subjek dan objek penelitian dalam metodologi penelitian proses pengumpulan data dan kegiatan analisis pada penelitian akan lebih terarah.

Penelitian ini merupakan penelitian jenis komparatif yang mana penelitian ini bersifat membandingkan permasalahan yang ada dengan hasil yang akan dicapai dari analisis permasalahan yang diangkat. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi struktur pada proyek perluasan gedung Lombok Epicentrum Mall dan podium parkir dengan menggunakan metode *Artificial Neural Network*. Pemilihan metode tersebut ditujukan untuk memperoleh kombinasi optimum dari dimensi dan properti struktur gedung Lombok Epicentrum Mall dan podium parkir. Dengan memperoleh kombinasi optimum tersebut peneliti dapat memperoleh hasil berupa perbandingan biaya pelaksanaan dari hasil estimasi yang dilakukan pada objek penelitian dengan hasil perencanaan sebelumnya.

4.2 Subjek dan Objek Penelitian

Berdasarkan penjelasan sebelumnya subjek pada penelitian ini adalah metode *Artificial Neural Network* (ANN) yang digunakan sebagai metode analisis dalam mengolah data untuk memperoleh kombinasi optimum dari dimensi dan properti struktur gedung objek penelitian. Sementara itu, objek pada penelitian ini menggunakan data dari proyek Lombok Epicentrum Phase 1A-(Mall Expansion & Parking Podium) Facelift of *Existing* Façade. Lokasi dari objek penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Lokasi Proyek Objek Penelitian
(Sumber: Google Earth Pro, 2022)

4.3 Data dan Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian yang akan dilakukan, pengumpulan data merupakan hal yang tidak kalah penting untuk meningkatkan validitas dan reliabilitas penelitian. Terdapat dua data yang dikumpulkan dalam penelitian ini, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data diperoleh langsung di lapangan sedangkan data sekunder merupakan data yang dikumpulkan melalui peninjauan ulang dari sumber-sumber yang telah ada. Berikut merupakan rincian data yang dikumpulkan.

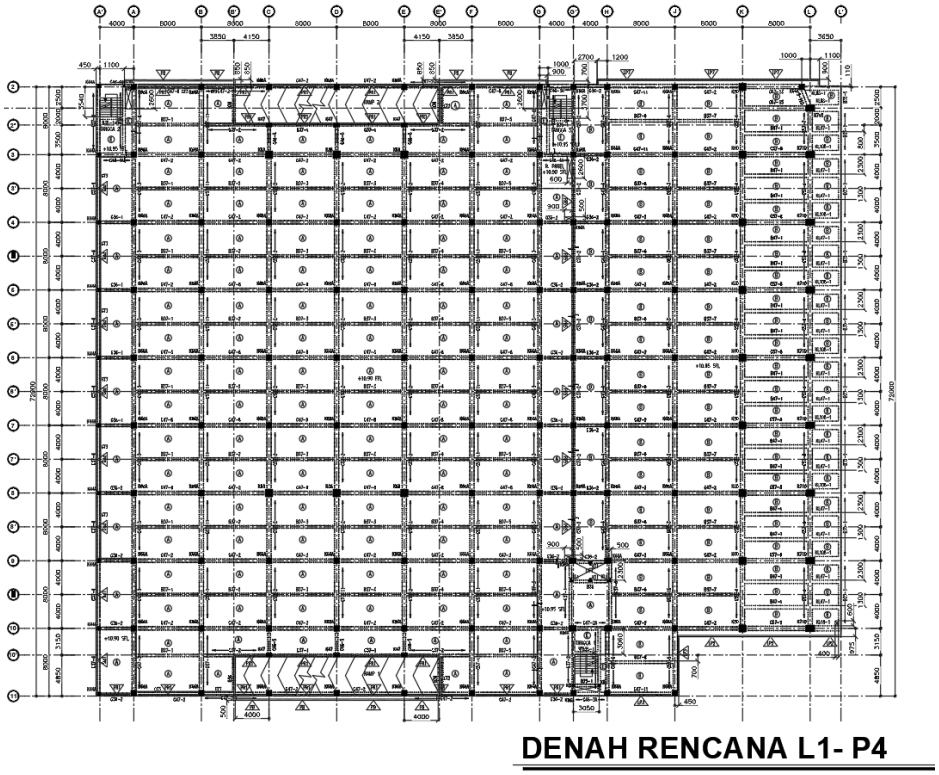
1. Data Primer

   Pada penelitian ini data primer yang digunakan antara lain:

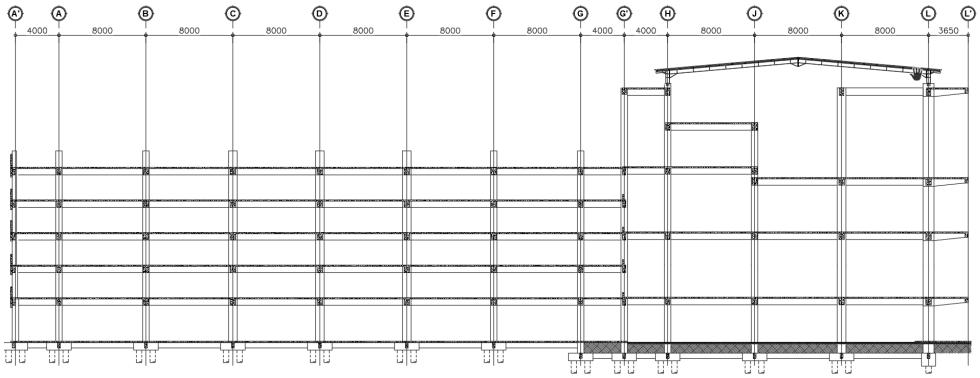
   a. Hasil perencanaan struktur gedung oleh konsultan struktur.

b. *As built drawing* oleh kontraktor pelaksana.

Data struktur dari objek penelitian ini merupakan data dari spesifikasi struktur gedung untuk pelaksanaan konstruksi dari objek yang diteliti. Untuk denah keseluruhan bangunan dapat dilihat pada lampiran 2 hingga 10. Berikut merupakan contoh denah dan potongan struktur gedung objek penelitian.



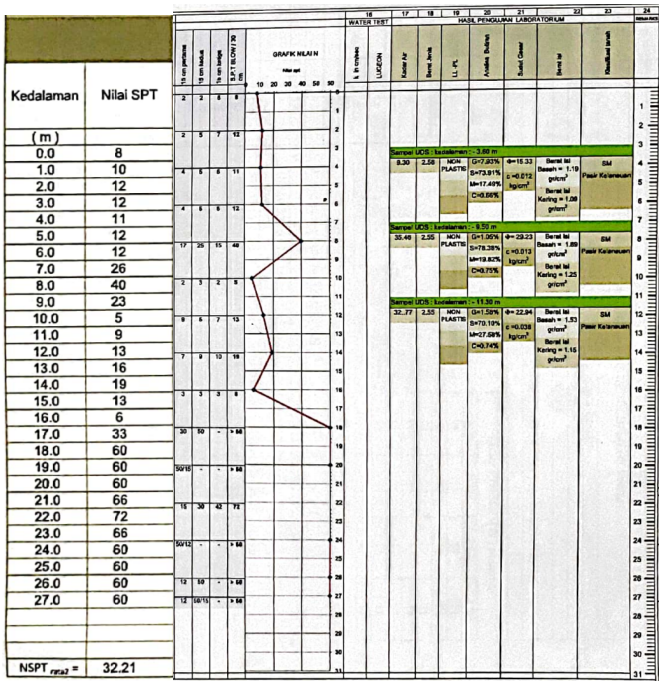
Gambar 4.2 Denah Rencana Lantai 1 -P4
(Sumber : PT. Sriwijaya Propindo Utama, 2023)



Gambar 4.3 Potongan Struktur Gedung
(Sumber : PT. Sriwijaya Propindo Utama, 2023)

c. Hasil pengujian tanah lapangan.

Pengujian tanah perlu dilakukan untuk menentukan klasifikasi tanah pada lokasi pembangunan yang mana berdasarkan data dari hasil pengujian tersebut digunakan untuk melakukan analisis respons struktur gedung. Berikut merupakan hasil dari pengujian tanah pada lokasi objek penelitian yang dicantumkan dalam Gambar 4.4 di bawah ini.



Kedalaman	Nilai SPT
(m)	
0.0	8
1.0	10
2.0	12
3.0	12
4.0	11
5.0	12
6.0	12
7.0	26
8.0	40
9.0	23
10.0	5
11.0	9
12.0	13
13.0	16
14.0	19
15.0	13
16.0	6
17.0	33
18.0	60
19.0	60
20.0	60
21.0	66
22.0	72
23.0	66
24.0	60
25.0	60
26.0	60
27.0	60
$NSPT_{rata2}$ =	32.21

Gambar 4.4 Data Hasil Pengujian Tanah Lapangan Objek Penelitian
(Sumber : PT. Sriwijaya Propindo Utama, 2022)

2. Data Sekunder

Pada penelitian ini data sekunder yang digunakan antara lain:

a. Studi literatur terkait penggunaan *Artificial Neural Network* untuk optimalisasi balok dan kolom.
b. SNI 03-2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
c. SNI 03-1727-2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain.
d. SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung.

e. Keputusan Walikota Mataram Nomor 1026/ IX/ 2018 tentang Standar Satuan Harga Pemerintah Kota Mataram Tahun Anggaran 2019.
f. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2023

4.4 Metode Analisis dan Desain

Pada penelitian ini metode analisis yang digunakan adalah analisis dua tahap berdasar pada pedoman-pedoman yang telah disebutkan sebelumnya. Proses analisis struktur dilakukan dengan analisis 3 dimensi dibantu dengan *software* ETABS dengan perhitungan manual menggunakan *Microsoft Excel*. Penggunaan metode *Artificial Neural Network* dijalankan dengan alat bantu *software* MATLAB. Untuk menjelaskan lebih lanjut terkait analisis yang dijalankan, pada sub bab ini dijabarkan teori yang digunakan pada setiap tahap analisis.

1. Pembebanan pada analisis struktur dilakukan berdasarkan pembahasan yang dijelaskan pada sub bab 3.4 yang mana pembahasan tersebut mengacu pada SNI 03-1727-2020. Pembebanan yang dimaksud terdiri dari beberapa aspek berikut.
   a. Beban mati dijelaskan pada sub-sub bab 3.4.1
   b. Beban hidup dijelaskan pada sub-sub bab 3.4.2
   c. Kombinasi pembebanan dasar pada sub-sub bab 3.4.4
2. Pembebanan gempa dilakukan berdasarkan pembahasan yang dijelaskan pada sub-sub bab 3.4.3 yang mana pembahasan tersebut mengacu pada SNI 03-1726-2019. Pembebanan gempa perlu mengacu pada beberapa ketentuan. Berikut ketentuan yang dimaksud.
   a. Penentuan kategori risiko bangunan berdasarkan penjelasan sub-sub bab 3.4.3 poin 1
   b. Penentuan faktor keutamaan bangunan berdasarkan Tabel 3.1
   c. Penentuan parameter gerak tanah berdasarkan Gambar 3.4 dan Gambar 3.5
   d. Penentuan klasifikasi situs berdasarkan penjelasan sub-sub bab 3.4.3 poin 4
   e. Penentuan koefisien situs berdasarkan Tabel 3.2 dan Tabel 3.3
   f. Perhitungan parameter percepatan respons spektral berdasarkan persamaan (3.1) dan (3.2)

g. Perhitungan parameter percepatan gempa berdasarkan persamaan (3.3) dan (3.4)

3. Analisis tahap 1 metode statik ekuivalen untuk *checking* kinerja struktur dilakukan berdasarkan pembahasan yang dijelaskan pada sub bab 3.5.1 yang mana pembahasan tersebut mengacu pada SNI 03-1726-2019. Dalam analisis statik ekuivalen terdapat beberapa tahap yang harus dilakukan. Tahapan yang dimaksud antara lain sebagai berikut.
   a. Penentuan koefisien batas atas periode ditentukan berdasarkan Tabel 3.4
   b. Perhitungan periode pendekatan bangunan dilakukan berdasarkan persamaan (3.13)
   c. Penentuan koefisien respons seismik ditentukan berdasarkan persamaan (3.14) hingga persamaan (3.18)
   d. Perhitungan gaya geser dasar seismik dilakukan berdasarkan persamaan (3.19)
   e. Distribusi gaya seismik dihitung berdasarkan persamaan (3.20), (3.21), dan (3.22)
   f. Identifikasi ketidakberaturan struktur dilakukan berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.6
   g. Penggunaan torsi bawaan tak terduga dan faktor amplifikasi torsi dilakukan berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.7
   h. Kontrol rasio simpangan antar tingkat dihitung berdasarkan persamaan (3.27) dan (3.28)
   i. Kontrol *P-delta* efek dapat dihitung berdasarkan persamaan (3.29) dan (3.30)
4. Analisis tahap 2 untuk desain elemen struktur mengacu pada pedoman SNI 03-1726-2019 yang telah dijelaskan pada sub bab 3.5.2. Penerapan analisis dinamik spektrum respons ragam memiliki beberapa tahap. Berikut tahapan yang dimaksud.
   a. Desain respons spektrum struktur gedung dilakukan berdasarkan pembahan pada sub-sub bab 3.6.3
   b. Peninjauan partisipasi massa ragam dilakukan berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.6.4

c. Penerapan kombinasi beban ortogonal menggunakan persamaan (3.49) hingga (3.80)
d. Penggunaan faktor skala pada pembebanan gempa dilakukan berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.6.4
e. Penggunaan torsi bawaan tak terduga dan faktor amplifikasi torsi dilakukan berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.7
f. Kontrol rasio simpangan antar tingkat dihitung berdasarkan persamaan (3.27) dan (3.28)
g. Kontrol *P-delta* efek dapat dihitung berdasarkan persamaan (3.29) dan (3.30)

5. Perhitungan kebutuhan tulangan kolom berdasarkan pembahasan sub bab 3.9 untuk tulangan pokok dan transversal kolom.
6. Perhitungan volume pekerjaan untuk menentukan anggaran yang dibutuhkan berdasarkan Keputusan Walikota Mataram Nomor 1026/ IX/ 2018 tentang Standar Satuan Harga Pemerintah Kota Mataram Tahun Anggaran 2019.
7. Pembentukan model arsitektur untuk menentukan fungsi aktivasi/*transfer function* (*f*). Pembentukan model dilakukan dengan menerapkan algoritma *backpropagation* dan mengacu pada pembahasan yang sudah dijelaskan pada sub bab 3.8.
8. Pemrograman *artificial neural network* berdasarkan model struktur yang dibentuk berdasarkan variabel yang telah ditentukan pada Tabel 2.1.
9. Pemodelan ulang berdasarkan hasil pemrograman untuk menjelaskan analisis struktur seperti yang dijabarkan pada poin 1 hingga poin 4 pada sub bab ini.

4.5 Tahapan Penelitian

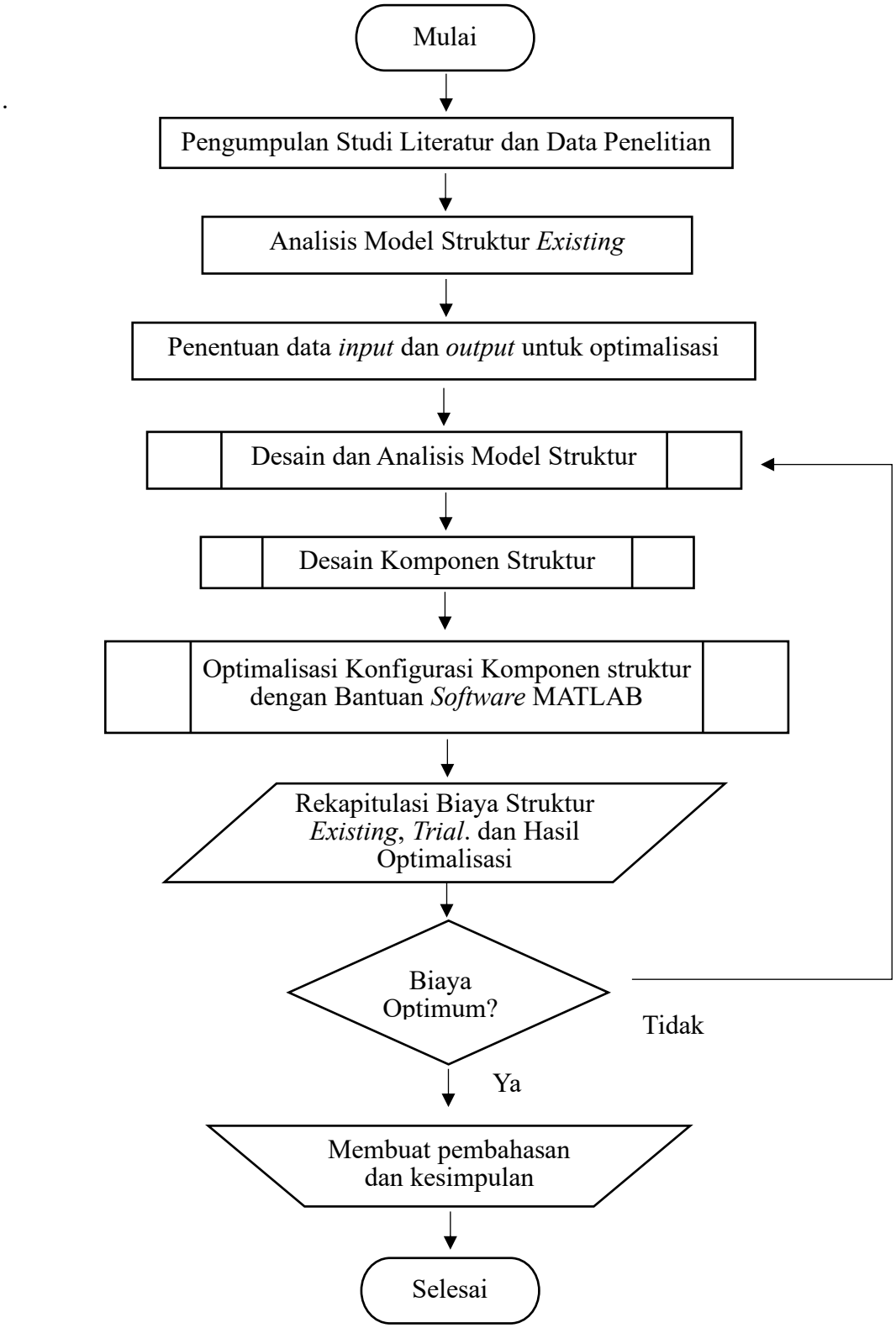
Adapun tahapan dalam pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Pemodelan struktur *existing* dan beberapa struktur *trial* sebanyak 4 percobaan dengan bantuan *software* Autocad 2021.
2. Perhitungan beban struktur: beban hidup, beban mati, dan beban gempa.
3. Analisis respons struktur gedung *existing* dengan bantuan *software* ETABS untuk dijadikan landasan terhadap estimasi dimensi elemen struktur pada struktur *trial*.

4. *Input* pemodelan dan perhitungan beban ke *software* ETABS untuk memperoleh perhitungan struktur gedung dengan mengondisikan dimensi struktur pada setiap *trial* untuk memenuhi syarat dengan konfigurasi dimensi dan properti material pada elemen balok dan kolom sesuai dengan yang telah ditetapkan.
5. Analisis respons struktur gedung pada masing-masing pemodelan struktur dengan metode analisis spektrum respons ragam dan metode analisis statik.
6. Apabila terindikasi ketidakberaturan horizontal tipe 1.b serta persyaratan *drift ratio* dan *p-delta effect* tidak memenuhi pada pemodelan *trial* lakukan pemodelan ulang. Apabila keseluruhan kategori yang dijelaskan memenuhi maka dilanjutkan perhitungan desain dan analisis elemen kolom.
7. Analisis dan desain kebutuhan tulangan kolom berdasarkan pembahasan sub bab 3.9.
8. Perhitungan biaya pada masing-masing sampel komponen struktur.
9. *Input* data dan parameter yang digunakan ke *software* MATLAB untuk melakukan pemodelan pemrograman arsitektur *Artificial Neural Network* (ANN).
10. Memperoleh rumus empiris berdasarkan pemrograman *Artificial Neural Network* dengan data *input* yang telah dinormalisasi.
11. Pemodelan struktur optimum berdasarkan rumus empiris yang diperoleh.
12. Melakukan perhitungan seperti pada poin 5 untuk model hasil optimalisasi ANN.
13. Analisis lentur dan transversal pada sampel komponen struktur sesuai pembahasan pada sub 3.9.
14. Perhitungan biaya pada masing-masing sampel komponen struktur.
15. Membandingkan biaya sampel komponen struktur *existing* dengan sampel komponen struktur optimum.
16. Membuat pembahasan dan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang dilakukan.

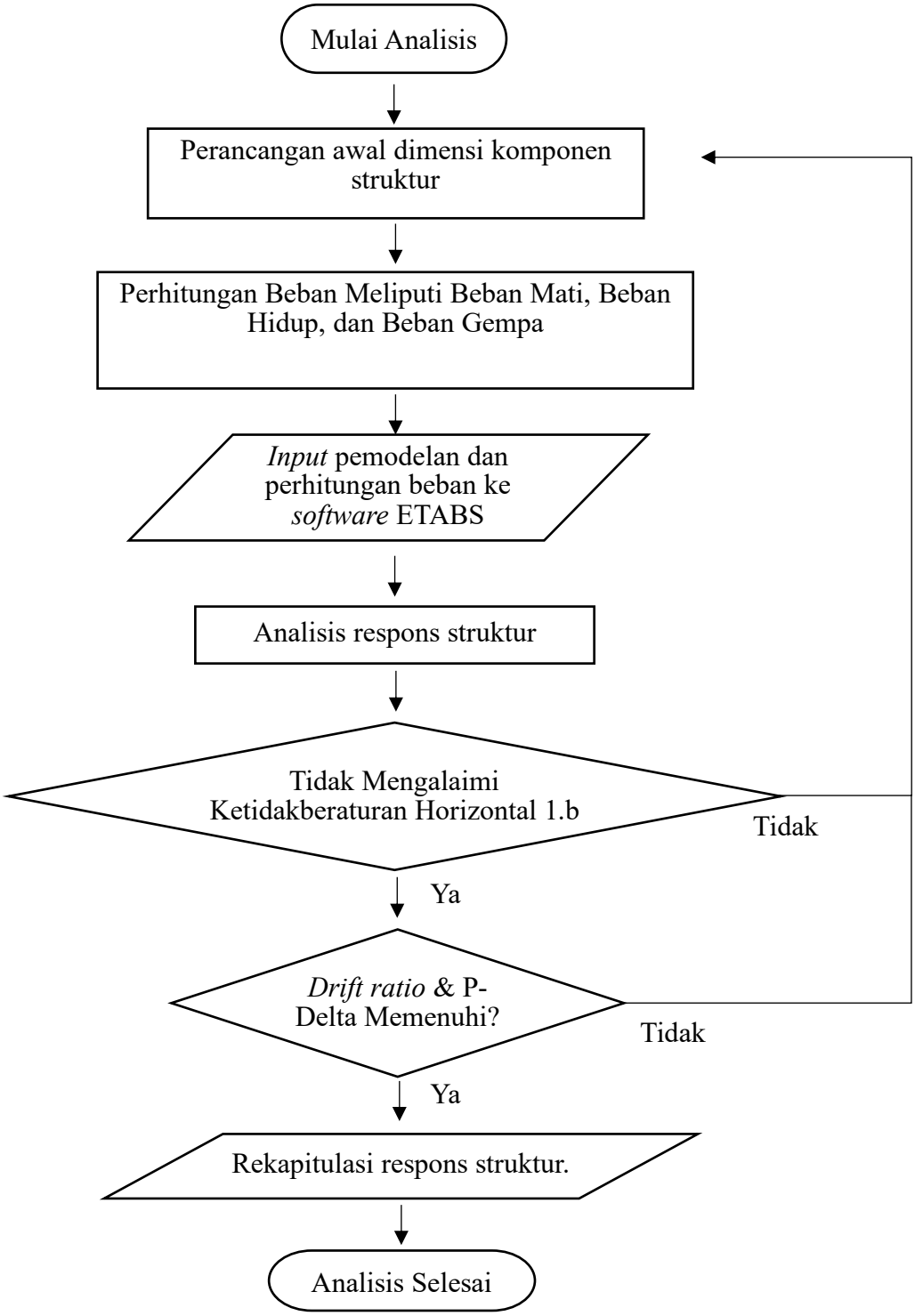
4.6 Bagan Alir

Berikut merupakan bagan alir pokok penelitian pada Gambar 4.5



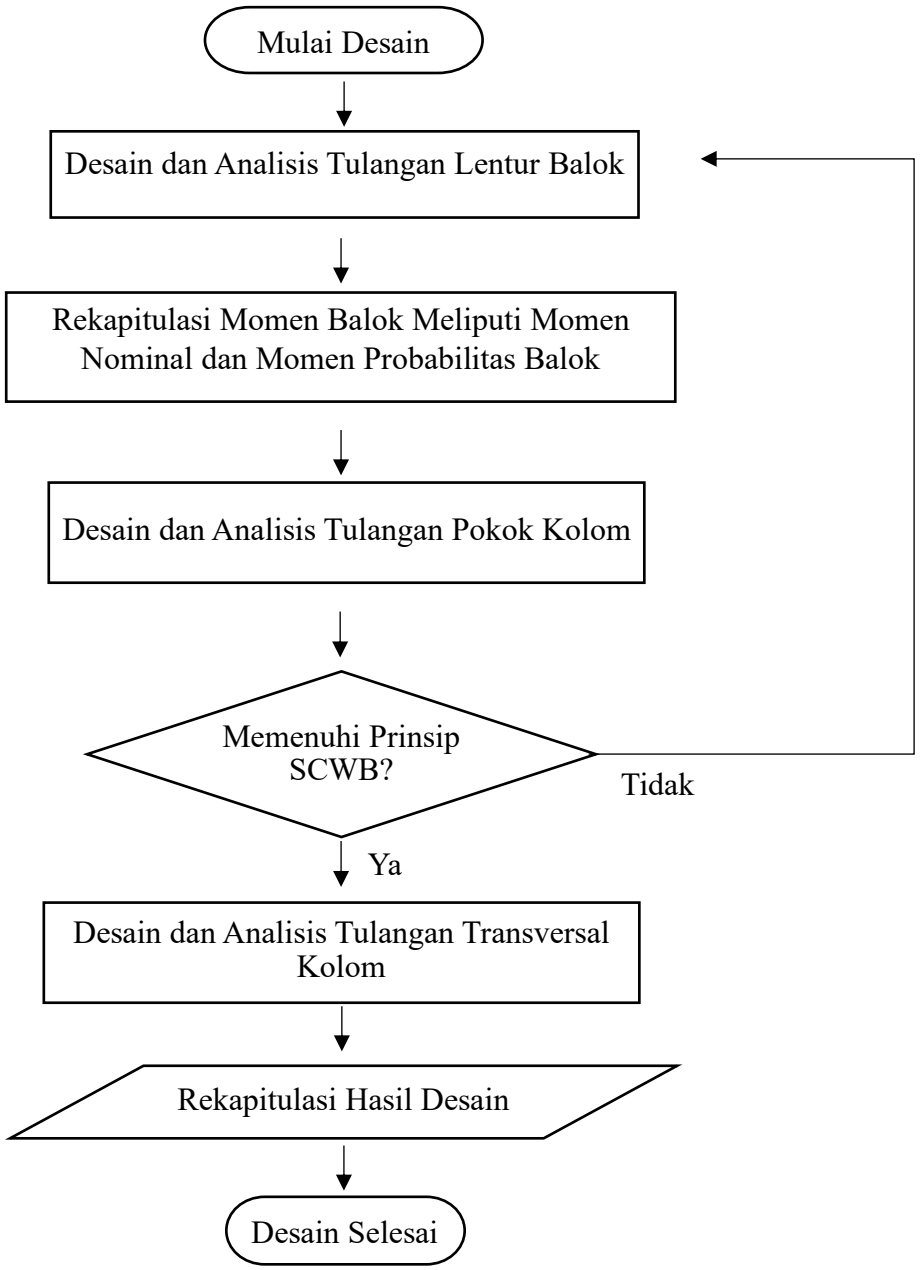
Gambar 4.5 Bagan Alir Pokok Penelitian

Tahapan desain dan analisis model struktur *trial* maupun hasil optimalisasi memiliki rincian tahapan tersendiri. Berikut merupakan bagan alir yang dimaksud ditampilkan pada Gambar 4.6.



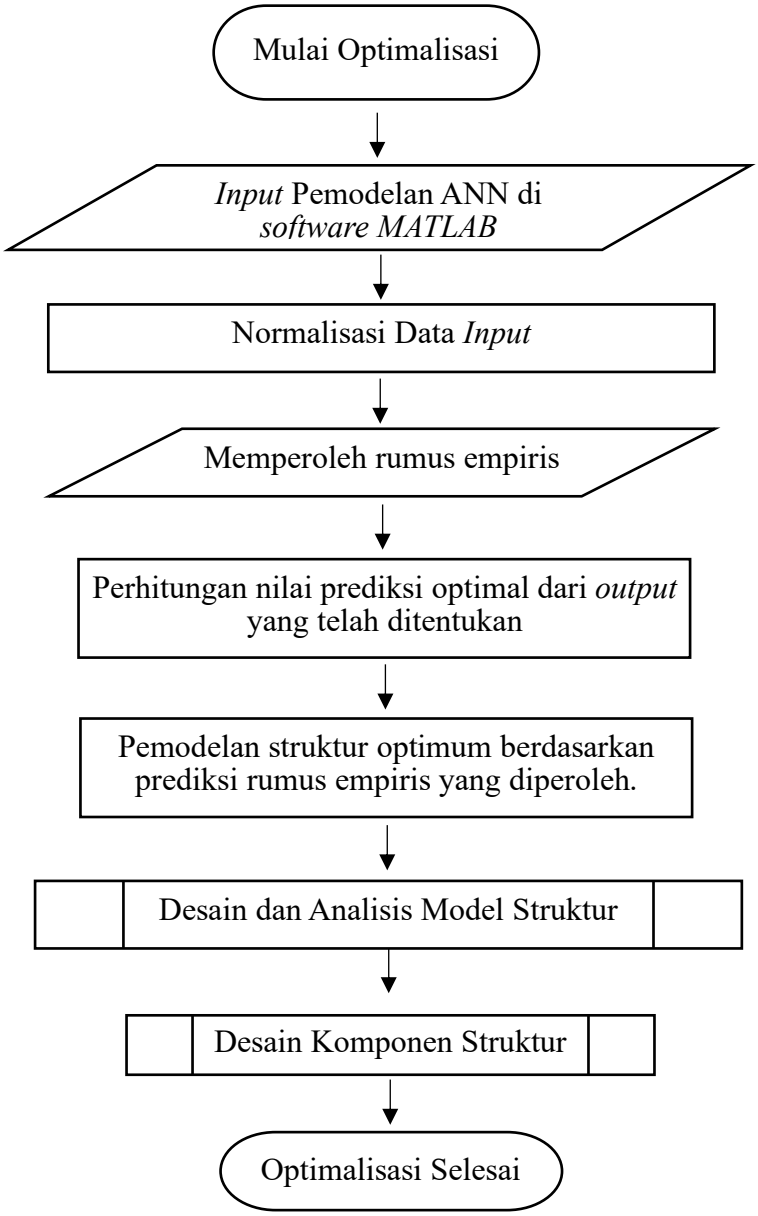
Gambar 4.6 Alir Bagan Analisis Model Struktur

Tahapan desain dan analisis komponen struktur *trial* dan optimalisasi memiliki rincian tahapan tersendiri. Berikut merupakan bagan alir yang dimaksud ditampilkan pada Gambar 4.7.



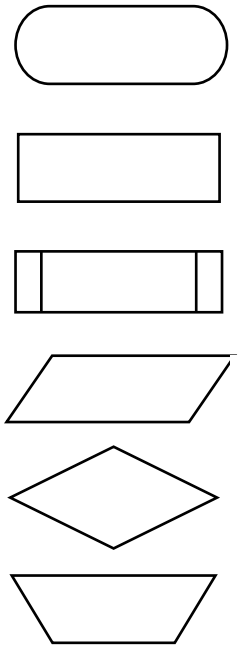
Gambar 4.7 Bagan Alir Desain dan Analisis Komponen Struktur

Tahapan optimalisasi komponen struktur memiliki rincian tahapan tersendiri. Berikut merupakan bagan alir yang dimaksud ditampilkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Bagan Alir Optimalisasi

Untuk menerangkan lebih lanjut terkait bentuk yang digunakan pada bagan alir ditampilkan gambar 4.9 berikut.



= Awal dan Akhir Proses

= Proses yang dibantu oleh komputer

= Proses yang memiliki rincian proses tersendiri pada bagan alir terpisah

= Proses *input* atau *output*

= Proses yang menghasilkan dua kemungkinan

= Proses yang tidak dibantu oleh komputer

Gambar 4.9 Gambar Keterangan Simbol Pada Bagan Alir

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Konfigurasi Bangunan

Objek yang ditinjau pada penelitian ini bangunan gedung yang berlokasi di Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat. Bangunan gedung yang dimaksud memiliki total 9 tingkat dengan fungsi bangunan yang akan ditampilkan pada sub-sub bab 5.2.2. Untuk tingkat dan elevasi pada masing-masing tingkat yang dimaksud dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Tinggi Tingkat Bangunan

Tingkat	Tinggi Tingkat (m)	Elevasi (m)
Upper Roof	2,8	26
Roof	3,2	23,2
Mezzanine	4	20
UL2	1	16
L2	2	15
UL1	3	13
L1	3	10
UGL2	3	7
UGL1	4	4
Lantai Dasar	0	0

5.2. Sistem Pembebanan

Dasar pembebanan pada penelitian ini mengacu pada peraturan SNI 03-1727-2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain dan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun 1983. Berdasarkan batasan penelitian yang telah disebutkan pada poin 5, pembebanan yang diterapkan yaitu beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup yang akan dijabarkan pada sub bab ini dikarenakan pembebanan yang diterapkan berlaku untuk setiap pemodelan. Untuk beban gempa akan dijabarkan pada masing-masing pemodelan.

5.2.1. Beban Mati

Selain beban mati sendiri komponen struktur, pada beban mati terdapat beban mati tambahan yang membebani sistem struktur seperti *finishing* pelat, plafon, dinding, dan sebagainya. Beban mati sendiri komponen struktur dihitung melalui program analisis struktur sedangkan beban mati tambahan dihitung terlebih dahulu sebelum masuk perhitungan program. Berikut merupakan contoh perhitungan beban mati dan beban mati tambahan salah satu fungsi pada pelat tipe A.

1. Berat sendiri pelat

   Tebal pelat (h) = 0,12 m

   Berat volume beton bertulang = 2,4 $^{\text{Ton}}/_{\text{m}^3}$

   Beban pelat = tebal (h) x berat volume beton bertulang

   = 0,12 x 2,4

   Beban Pelat = 0,29 $^{\text{Ton}}/_{\text{m}^2}$

2. Berat spesi

   Tebal spesi = 0,03 m

   Berat volume Beton (spesi) = 2,2 $^{\text{Ton}}/_{\text{m}^3}$

   Beban spesi = tebal (h) x berat volume beton (spesi)

   = 0,03 x 2,2

   Beban spesi = 0,07 $^{\text{Ton}}/_{\text{m}^2}$

3. Berat marmer

   Berat jenis = 0,16 $^{\text{Ton}}/_{\text{m}^2}$

4. Berat *ceiling*

   Berat jenis = 0,02 $^{\text{Ton}}/_{\text{m}^2}$

5. Berat *ducting* dan *mechanical*

   Berat jenis = 0,02 $^{\text{Ton}}/_{\text{m}^2}$

6. Beban mati tambahan pelat lantai = beban spesi + beban marmer + beban *ceiling* beban *ducting* dan *mechanical*

Beban mati tambahan pelat lantai = 0,07 + 0,16 + 0,02 + 0,02

$= 0{,}26 \ {}^{\text{Ton}}/_{\text{m}^2}$

7. Beban mati pelat lantai = beban pelat + beban mati tambahan

$= 0{,}29 + 0{,}26$

$= 0{,}55 \ {}^{\text{Ton}}/_{\text{m}^2}$

Untuk fungsi pelat lantai lainnya digunakan cara yang sama untuk memperhitungkan beban mati yang digunakan. Berikut merupakan rangkuman hasil perhitungan pembebanan mati pelat lantai pada tiap fungsi lantai yang disajikan pada tabel 5.2 hingga 5.3 berikut.

Tabel 5.2 Beban Mati untuk Pelat Area Mal Lantai UGL 1

Komponen	**Tebal (m)**	**Berat Volume / Berat Jenis**	**Beban** (${}^{\text{Ton}}/_{\text{m}^2}$)
Beton	0,12	2,4	0,29
Berat volume spesi	0,03	2,2	0,07
Marmer		0,16	0,16
Mechanical Duct Allowance		0,02	0,02
Ceiling + Support + Frame		0,02	0,02
Beban Mati dan Beban Mati Tambahan, ADL (${}^{\text{Ton}}/_{\text{m}^2}$)			0,55

Tabel 5.3 Beban Mati untuk Pelat Area Mal Lantai L1 dan L2

Komponen	**Tebal (m)**	**Berat Volume / Berat Jenis**	**Beban** (${}^{\text{Ton}}/_{\text{m}^2}$)
Beton	0,12	2,4	0,29
Berat volume spesi	0,04	2,2	0,09
Keramik		0,11	0,11
Mechanical Duct Allowance		0,02	0,02
Ceiling + Support + Frame		0,02	0,02
Beban Mati dan Beban Mati Tambahan, ADL (${}^{\text{Ton}}/_{\text{m}^2}$)			0,52

Tabel 5.4 Beban Mati untuk Pelat Area Parkir

Komponen	Tebal (m)	Berat Volume / Berat Jenis	Beban ($^{Ton}/_{m^2}$)
Beton	0,12	2,4	0,29
Mechanical Duct Allowance			0,02
Beban Mati dan Beban Mati Tambahan, ADL ($^{Ton}/_{m^2}$)			0,31

5.2.2. Beban Hidup

Beban hidup yang diterapkan pada pelat untuk struktur gedung objek penelitian didasarkan pada peraturan SNI 03-1727-2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain dan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun 1983 berdasarkan fungsi dari masing-masing luasan. Berikut merupakan beban hidup yang digunakan pada pemodelan struktur yang disajikan pada tabel 5.5.

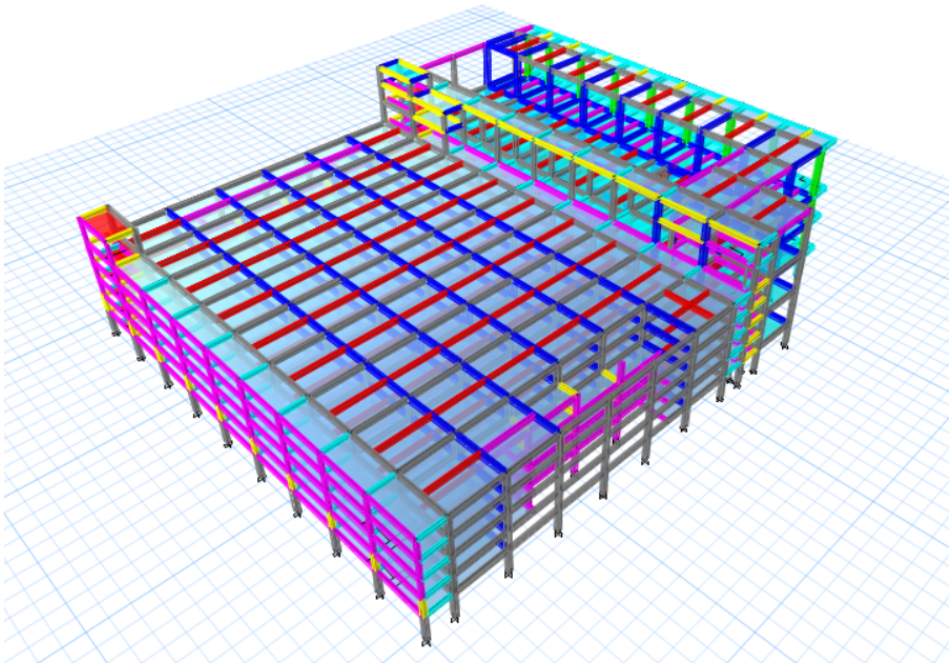
Tabel 5.5 Beban Hidup yang Diterapkan

Fungsi Luasan Pelat	Beban ($^{Ton}/_{m^2}$)
Atap	0,098
Toko Lantai 1	0,489
Toko di atas Lantai 1	0,366
Zona Bermain	0,366
Koridor	0,489
Ruang Makan	0,489
Toilet	0,292
AHU	0,489
Panel	0,489

5.3. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan dengan bantuan *software* ETABS dan *Microsoft Excel* untuk melakukan perhitungan terkait kontrol dan desain komponen struktur. Pemodelan struktur diawali dengan memodelkan struktur *existing*

berdasarkan hasil perencanaan oleh perencana proyek objek penelitian dan *as built drawing* oleh kontraktor pelaksana. Berikut merupakan model bangunan objek penelitian yang ditampilkan pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Model Struktur Objek Penelitian

Model struktur bangunan yang dimaksud digunakan dalam analisis dan kontrol syarat bangunan baik pada model *existing* dan *trial*. Berdasarkan penjelasan sebelumnya, pada penelitian ini model *trial* dengan beberapa variabel yang divariasikan, ditujukan untuk memperoleh hasil optimum. Maka dari itu dibutuhkan data yang cukup untuk meningkatkan akurasi prediksi konfigurasi optimum yang akan dihasilkan oleh program *Artificial Neural Network* (ANN). Berikut merupakan variasi dari elemen struktur kolom dengan konfigurasi tertentu yang disajikan pada tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Variasi Konfigurasi Elemen Struktur untuk Pemodelan ANN

Tipe Kolom	No. *Trial*	Diameter Tulangan (mm)		Mutu Material (MPa)				Dimensi Kolom (mm)	
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	H (y)	B (x)
K44A	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	300	400
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	300	400
	Trial 3	19	13	30	35	400	400	400	400
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	400	400
K47	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	400	700
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	400	700
	Trial 3	19	13	30	35	400	400	400	700
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	400	700
K55A	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	400	500
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	400	500
	Trial 3	19	13	30	35	400	400	500	500
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	500	500
K66	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	900	600
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	900	700
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	1000	700
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	1000	650
K80	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	950	950
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	1000	1000
	Trial 3	25	13	30	35	400	400	1000	1000
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	1200	1200
K710	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	900	700
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	1000	650
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	900	700
	Trial 4	22	10	30	30	400	280	1100	800
K712	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	1000	700
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	1200	650
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	1000	700
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	1300	800
K68	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	600	600
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	600	600
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	600	600
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	700	700
K88	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	900	900
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	1000	1000
	Trial 3	25	13	30	35	400	400	1000	1000
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	1200	1200

5.3.1. Pemodelan Struktur *Existing*

Model struktur *existing* diambil berdasarkan *Detail Engineering Design* dari hasil perencanaan oleh perencana dan beberapa *as built drawing* oleh kontraktor. Dari hasil pemodelan yang dilakukan akan dianalisis beberapa syarat untuk menjadi bahan perencanaan ulang dari beberapa *trial* yang dilakukan sebanyak 4 kali untuk menjadi dasar dalam menentukan model struktur optimum. Syarat yang dimaksud yaitu ketidakberaturan, *drift ratio*, dan *P-delta effect*. Sementara itu, berdasarkan data perencanaan yang ada akan dihitung volume untuk menentukan biaya yang diperlukan sebagai bahan perbandingan dengan model optimum yang dihasilkan. Pada sub-sub bab ini akan dijabarkan tahapan pemodelan *existing* hingga perhitungan biaya.

1. Berat bangunan

   Penentuan berat bangunan pada model *existing* menggunakan metode yang sama dengan model *trial* 1 pada sub bab berikutnya. Berat bangunan hasil pemodelan yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Berat Bangunan Struktur *Existing*

Lantai	**Berat Per Lantai (Kg)**	**Berat Per Lantai (T)**
Upper Roof	25647,19	25,64719
Roof	813134,2	813,1342
Mezzanine	387447,58	387,44758
UL2	2778295,47	2778,29547
L2	1814413,49	1814,41349
UL1	2632224,91	2632,22491
L1	4510997,62	4510,99762
UGL2	2733407,16	2733,40716
UGL1	4640075,71	4640,07571
Total	**20335643,33**	**20335,64333**

2. Perhitungan Beban Gempa

   Beban gempa yang diterapkan pada struktur *existing* sama dengan beban gempa yang diterapkan pada struktur *trial* 1. Hal tersebut dilakukan agar meningkatkan objektivitas pada saat membandingkan struktur *existing*, struktur *trial*, dan struktur hasil optimalisasi pada model ANN.

3. Analisis Tahap 1 *Checking* Kinerja Struktur

Proses analisis tahap 1 dilakukan sesuai dengan penjelasan pada sub bab 3.5. Berikut merupakan tahap penentuan beban gempa statik ekivalen yang bekerja pada model struktur objek penelitian.

a. Penentuan periode dan periode fundamental pendekatan struktur

   Contoh perhitungan periode dan periode fundamental pendekatan struktur dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan bahwa periode fundamental pendekatan struktur senilai 0,875 detik dengan periode batas atas (C_uT_a) senilai 1,22 detik

b. Koefisien respons seismik

   Contoh perhitungan koefisien respons seismik dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan nilai yang digunakan untuk koefisien seismik untuk kedua sumbu adalah 0,0641 untuk sumbu x dan 0,0523 untuk sumbu y.

c. Gaya geser dasar seismik

   Contoh perhitungan gaya geser dasar seismik dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan nilai gaya geser dasar seismik untuk kedua sumbu adalah 1302,86 Ton untuk sumbu x dan 1128,02 Ton untuk sumbu y.

d. Distribusi gaya seismik

   Untuk perhitungan distribusi gaya seismik pada model *existing* dilakukan dengan cara yang sama seperti model *trial* 1. Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan distribusi gaya seismik pada kedua sumbu yang ditampilkan pada tabel 5.8 dan 5.9 berikut.

Tabel 5.8 Distribusi Gaya Seismik Struktur *Existing* Sumbu x

Lantai	Wt (kN)	ht (m)	Wt.ht^k	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
Upper Roof	251,6	26,0	14772	0,00	48	47,6
Roof	7976,8	23,2	406154,5	0,10	1308,8	1356,4
Mezzanine	3800,9	20,0	160756,8	0,04	518,0	1874,4
UL2	27255,1	16,0	872162,5	0,22	2810,4	4684,7
L2	17799,4	15,0	525435,4	0,13	1693,1	6377,8
UL1	25822,1	13,0	637413,4	0,16	2053,9	8431,8
L1	44252,9	10,0	786940,0	0,20	2535,8	10967,5

Lanjutan Tabel 5.8 Distribusi Gaya Seismik Struktur *Existing* Sumbu x

Lantai	Wt (kN)	ht (m)	Wt.ht^k	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
UGL2	26814,7	7,0	305313,4	0,08	983,8	11951,4
UGL1	45519,1	4,0	257495,2	0,06	829,7	12781,1
	199492,7		3966443	1,00	12781,1	

Tabel 5.9 Distribusi Gaya Seismik Struktur *Existing* Sumbu y

Lantai	Wt (kN)	ht (m)	Wt.ht^k	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
Upper Roof	251,6	26,0	14772	0,00	41	41,2
Roof	7976,8	23,2	406154,5	0,10	1133	1174,3
Mezzanine	3800,9	20,0	160756,8	0,04	448	1622,8
UL2	27255,1	16,0	872162,5	0,22	2433	4056,0
L2	17799,4	15,0	525435,4	0,13	1466	5521,9
UL1	25822,1	13,0	637413,4	0,16	1778	7300,2
L1	44252,9	10,0	786940,0	0,20	2195	9495,7
UGL2	26814,7	7,0	305313,4	0,08	852	10347,5
UGL1	45519,1	4,0	257495,2	0,06	718	11065,9
	199492,7		3966443	1,00	11065,9	

e. Ketidakberaturan struktur

Identifikasi ketidakberaturan struktur pada model *existing* dilakukan dengan cara yang sama seperti model *trial* 1. Berikut merupakan hasil identifikasi ketidakberaturan struktur yang dimaksud..

1) Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan horizontal diklasifikasikan menjadi beberapa kategori yaitu ketidakberaturan horizontal tipe 1.a, 1.b, 2, 3, 4, dan 5. Berikut penjabaran identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal.

a) Identifikasi ketidakberaturan horizontal struktur tipe 1.a dan 1.b dilakukan seperti pada model *trial* 1. Berikut merupakan hasil identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1.a dan 1.b dapat dilihat pada tabel 5.10 hingga tabel 5.13

Tabel 5.10 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 a dan b Struktur *Existing* Arah x Positif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	4,048	3,904	1,036885	Beraturan
Roof	6,224	5,606	1,110173	Beraturan
Mezzanine	7,731	7,492	1,03197	Beraturan
UL2	1,609	1,303	1,234527	1.a
L2	3,664	3,022	1,212576	1.a
UL1	6,349	5,097	1,245553	1.a
L1	7,437	5,960	1,247749	1.a
UGL2	7,259	5,916	1,226942	1.a
UGL1	5,495	4,720	1,164113	Beraturan

Tabel 5.11 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 a dan b Struktur *Existing* Arah x Negatif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	2,541	2,444	1,039689	Beraturan
Roof	3,627	2,985333	1,21494	1.a
Mezzanine	5,735	5,471	1,048254	Beraturan
UL2	1,156	0,885667	1,305231	1.a
L2	2,853	2,259333	1,262762	1.a
UL1	5,303	4,14	1,280918	1.a
L1	6,521	5,111667	1,275709	1.a
UGL2	6,444	5,146333	1,252154	1.a
UGL1	4,838	4,087	1,183753	Beraturan

Tabel 5.12 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 a dan b Struktur *Existing* Arah y Positif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	1,694	1,663	1,018641	Beraturan
Roof	4,575	3,953	1,157349	Beraturan
Mezzanine	5,588	5,477	1,020267	Beraturan
UL2	1,395	0,923	1,511785	1.b
L2	3,842	3,389	1,133668	Beraturan
UL1	5,653	4,311	1,311449	1.a
L1	8,211	6,308	1,30168	1.a
UGL2	6,824	5,300	1,287669	1.a
UGL1	5,901	5,088	1,159902	Beraturan

Tabel 5.13 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 a dan b Struktur *Existing* Arah y Negatif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	2,871	2,817	1,019350257	Beraturan
Roof	4,529	3,924	1,154277462	Beraturan
Mezzanine	5,731	5,627	1,018572825	Beraturan
UL2	1,411	0,907	1,55524938	1.b
L2	3,896	3,423	1,138182881	Beraturan
UL1	5,701	4,303	1,324966591	1.a
L1	8,294	6,338	1,308614705	1.a
UGL2	6,863	5,307	1,293197663	1.a
UGL1	5,936	5,105	1,162724646	Beraturan

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa struktur memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1.b untuk arah y, dan 1.a untuk arah x. Maka dari itu peninjauan *drift ratio* dilakukan di titik-titik segaris pada tepi struktur. Dikarenakan struktur memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1.a dan 1.b maka gaya gempa yang bekerja pada pusat masa dipengaruhi eksentrisitas tambahan berdasarkan faktor pembesaran torsi (A_x). Berikut merupakan perhitungan faktor pembesaran torsi (A_x) yang dapat dilihat pada tabel 5.14 hingga 5.17.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Existing* Arah x Positif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	49,816	48,914	1,018	0,720	1,000
Roof	45,768	41,222	1,110	0,856	1,000
Mezzanine	39,544	34,605	1,143	0,907	1,000
UL2	31,813	27,107	1,174	0,957	1,000
L2	30,204	25,346	1,192	0,986	1,000
UL1	26,540	21,997	1,207	1,011	1,011
L1	20,191	16,597	1,217	1,028	1,028
UGL2	12,754	10,637	1,199	0,998	1,000
UGL1	5,495	4,720	1,164	0,941	1,000

Tabel 5.15 Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Existing* Arah x Negatif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	39,018	38,178	1,022	0,725	1,000
Roof	36,477	32,018	1,139	0,901	1,000
Mezzanine	32,850	28,041	1,171	0,953	1,000
UL2	27,115	22,662	1,196	0,994	1,000
L2	25,959	21,156	1,227	1,046	1,046
UL1	23,106	18,774	1,231	1,052	1,052
L1	17,803	14,345	1,241	1,070	1,070
UGL2	11,282	9,233	1,222	1,037	1,037
UGL1	4,838	4,087	1,184	0,973	1,000

Tabel 5.16 Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Existing* Arah y Positif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	39,051	38,389	1,017	0,719	1,000
Roof	45,885	39,779	1,154	0,924	1,000
Mezzanine	41,310	35,826	1,153	0,923	1,000
UL2	34,226	25,813	1,326	1,221	1,221
L2	32,843	25,234	1,302	1,176	1,176
UL1	29,001	22,487	1,290	1,155	1,155
L1	22,155	17,236	1,285	1,147	1,147
UGL2	13,944	11,556	1,207	1,011	1,011
UGL1	5,901	5,088	1,160	0,934	1,000

Tabel 5.17 Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Existing* Arah y Negatif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	40,503	39,810	1,017	0,719	1,000
Roof	46,257	40,081	1,154	0,925	1,000
Mezzanine	41,728	36,157	1,154	0,925	1,000
UL2	34,582	25,894	1,336	1,239	1,239
L2	33,177	25,335	1,310	1,191	1,191
UL1	29,281	22,581	1,297	1,168	1,168
L1	22,337	17,302	1,291	1,157	1,157
UGL2	14,043	11,605	1,210	1,017	1,017
UGL1	5,936	5,105	1,163	0,939	1,000

b) Untuk identifikasi ketidakberaturan horizontal tipe 2 dapat dilihat pada model *trial* 1. Berdasarkan perhitungan pada model *existing*, model struktur yang ditinjau memiliki ketidakberaturan struktur tipe 2 untuk seluruh lantai dikarenakan memiliki denah yang tipikal untuk setiap lantainya.

c) Untuk identifikasi ketidakberaturan horizontal tipe 3 dapat dilihat pada model *trial* 1. Berdasarkan perhitungan pada model *existing*, model struktur yang ditinjau memiliki ketidakberaturan struktur tipe 3 untuk seluruh lantai dikarenakan memiliki denah yang tipikal untuk setiap lantainya.

d) Ketidakberaturan horizontal tipe 4 tidak terjadi pada model struktur objek penelitian dikarenakan elemen vertikal struktur menerus mulai dari elevasi tertinggi elemen vertikal hingga dasar bangunan.

e) Ketidakberaturan horizontal tipe 5 tidak terjadi pada model struktur objek penelitian dikarenakan elemen struktur berorientasi tepat pada sumbu x dan sumbu y.

2) Ketidakberturan vertikal

Ketidakberaturan vertikal pada struktur diklasifikasikan meliputi ketidakberaturan struktur tipe 1.a, 1.b, 2, 3, 4, 5.a, dan 5.b. Berikut merupakan penjabaran ketidakberaturan struktur vertikal.

a) Identifikasi ketidakberturan vertikal struktur tipe 1.a dan 1.b dijalankan dengan *software* ETABS. Berikut merupakan hasil identifikasi ketidakberaturan struktur yang dimaksud dapat dilihat pada tabel 5.18 dan 5.19.

Tabel 5.18 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Existing* Sumbu x

Lantai	Fx	Vx	ΔX	K	K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$	Keterangan	
	kN	kN	mm	kN/mm			K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$
Upper Roof	1	1	0,016	62,5				
Roof	1	2	0,006	333,33	533%		Beraturan	
Mezzanine	1	3	0,007	428,57	129%		Beraturan	
UL2	1	4	0,001	4000	933%	1456%	Beraturan	Beraturan

LanjutanTabel 5.18 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Existing* Sumbu x

Lantai	Fx	Vx	ΔX	K	K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$	Keterangan	
	kN	kN	mm	kN/mm			K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$
L2	1	5	0,002	2500	63%	158%	1.a	Beraturan
UL1	1	6	0,004	1500	60%	65%	1.a	1.b
L1	1	7	0,004	1750	117%	66%	Beraturan	1.b
UGL2	1	8	0,004	2000	114%	104%	Beraturan	Beraturan
UGL1	1	9	0,003	3000	150%	171%	Beraturan	Beraturan

Tabel 5.19 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Existing* Sumbu y

Lantai	Fx	Vx	ΔX	K	K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$	Keterangan	
	kN	kN	mm	kN/mm			K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$
Upper Roof	1	1	0,014	71,42857				
Roof	1	2	0,007	285,7143	4,000		Beraturan	
Mezzanine	1	3	0,008	375	1,313		Beraturan	
UL2	1	4	0,001	4000	10,667	16,390	Beraturan	Beraturan
L2	1	5	0,002	2500	0,625	1,609	1.a	Beraturan
UL1	1	6	0,004	1500	0,600	0,655	1.a	1.b
L1	1	7	0,005	1400	0,933	0,525	Beraturan	1.b
UGL2	1	8	0,005	1600	1,143	0,889	Beraturan	Beraturan
UGL1	1	9	0,004	2250	1,406	1,500	Beraturan	Beraturan

b) Untuk identifikasi ketidakberaturan vertikal tipe 2 dapat dilihat pada model *trial* 1. Berikut merupakan rekapitulasi identifikasi yang dimaksud disajikan pada tabel 5.20

Tabel 5.20 Ketidakberaturan Tipe Vertikal 2 Struktur *Existing*

Lantai	Massa Efektif	Persentase		Keterangan	
	kN	W_{i+1}	W_{i-1}	W_{i+1}	W_{i-1}
Upper Roof	251,599				
Roof	7976,85		210%		2
Mezzanine	3800,86	48%	14%	Beraturan	Beraturan
UL2	27255,1	717%	153%	2	2
L2	17799,4	65%	69%	Beraturan	Beraturan
UL1	25822,1	145%	58%	Beraturan	Beraturan
L1	44252,9	171%	165%	2	2
UGL2	26814,7	61%	59%	Beraturan	Beraturan
UGL1	45519,1	170%		2	

c) Pada model struktur objek penelitian tidak teridentifikasi ketidakberaturan tipe 4 dikarenakan elemen struktur vertikal pemikul gaya lateral seismik menerus dari elevasi tertinggi elemen struktur hingga dasar.

d) Perhitungan ketidakberturan vertikal tipe 5 pada model *existing* dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Berikut rekapitulasi hasil identifikasi ketidakberaturan vertikal tipe 5.a dan 5.b ditampilkan pada tabel 5.21 dan 5.22.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur Eksisiting Sumbu x

Lantai	V_X kN	V_i/V_{i+1}	Keterangan
Upper Roof	47,6		
Roof	1356,35	2850%	Beraturan
Mezzanine	1874,36	138%	Beraturan
UL2	4684,73	250%	Beraturan
L2	6377,84	136%	Beraturan
UL1	8431,78	132%	Beraturan
L1	10967,54	130%	Beraturan
UGL2	11951,35	109%	Beraturan
UGL1	12781,08	107%	Beraturan

Tabel 5.22 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur Eksisiting Sumbu y

Lantai	V_y kN	V_i/V_{i+1}	Keterangan
Upper Roof	41,21		
Roof	1174,33	2850%	Beraturan
Mezzanine	1622,82	138%	Beraturan
UL2	4056,04	250%	Beraturan
L2	5521,94	136%	Beraturan
UL1	7300,24	132%	Beraturan
L1	9495,7	130%	Beraturan
UGL2	10347,49	109%	Beraturan
UGL1	11065,87	107%	Beraturan

f. Peninjauan *Drift ratio*

Perhitungan *drfit ratio* pada model *existing* dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Berikut merupakan hasil peninjauan *drift ratio* yang ditampilkan pada tabel 5.23 hingga 5.26.

Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Existing* Arah x Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqx	δ Eqx	Δx	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	50,902	279,961	24,233	43,077	Aman
Roof	23,2	23200	46,496	255,728	35,200	49,231	Aman
Mezzanine	20	20000	40,096	220,528	43,560	61,538	Aman
UL2	16	16000	32,176	176,968	8,993	15,385	Aman
L2	15	15000	30,541	167,976	20,438	30,769	Aman
UL1	13	13000	26,825	147,538	35,360	46,154	Aman
L1	10	10000	20,396	112,178	41,344	46,154	Aman
UGL2	7	7000	12,879	70,835	40,326	46,154	Aman
UGL1	4	4000	5,547	30,509	30,509	61,538	Aman

Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Existing* Arah x Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	40,174	220,957	15,950	43,077	Aman
Roof	23,2	23200	37,274	205,007	20,933	49,231	Aman
Mezzanine	20	20000	33,468	184,074	32,599	61,538	Aman
UL2	16	16000	27,541	151,476	6,512	15,385	Aman
L2	15	15000	26,357	144,964	16,005	30,769	Aman
UL1	13	13000	23,447	128,959	29,667	46,154	Aman
L1	10	10000	18,053	99,292	36,394	46,154	Aman
UGL2	7	7000	11,436	62,898	35,932	46,154	Aman
UGL1	4	4000	4,903	26,967	26,967	61,538	Aman

Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Existing* Arah y Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	39,144	215,292	9,862	43,077	Aman
Roof	23,2	23200	37,351	205,431	19,938	49,231	Aman

Lanjutan Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Existing* Arah y Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Mezzanine	20	20000	33,726	185,493	30,542	61,538	Aman
UL2	16	16000	28,173	154,952	6,847	15,385	Aman
L2	15	15000	26,928	148,104	16,506	30,769	Aman
UL1	13	13000	23,927	131,599	30,179	46,154	Aman
L1	10	10000	18,44	101,420	36,493	46,154	Aman
UGL2	7	7000	11,805	64,928	36,487	46,154	Aman
UGL1	4	4000	5,171	28,441	28,441	61,538	Aman

Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Existing* Arah y Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	40,613	223,372	16,335	43,077	Aman
Roof	23,2	23200	37,643	207,037	19,811	49,231	Aman
Mezzanine	20	20000	34,041	187,226	31,339	61,538	Aman
UL2	16	16000	28,343	155,887	6,881	15,385	Aman
L2	15	15000	27,092	149,006	16,605	30,769	Aman
UL1	13	13000	24,073	132,402	30,421	46,154	Aman
L1	10	10000	18,542	101,981	36,724	46,154	Aman
UGL2	7	7000	11,865	65,258	36,702	46,154	Aman
UGL1	4	4000	5,192	28,556	28,556	61,538	Aman

g. Peninjauan *p-delta effect*

Perhitungan *p-delta effect* pada model *existing* pada model *trial* 1. Berikut merupakan hasil perhitungan koefisien stabilitas yang ditampilkan pada tabel 5.27 hingga 5.30.

Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Existing* Arah x Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	282,33	47,598	1	5,5	0,009	0,091	Aman
Roof	8878,1	1356,4	1	5,5	0,013	0,091	Aman
Mezzanine	4090,3	1874,4	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UL2	42499	4684,7	1	5,5	0,015	0,091	Aman
L2	24573	6377,8	1	5,5	0,007	0,091	Aman

Lanjutan Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Existing* Arah x Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
UL1	40459	8431,8	1	5,5	0,010	0,091	Aman
L1	66834	10968	1	5,5	0,015	0,091	Aman
UGL2	41726	11951	1	5,5	0,009	0,091	Aman
UGL1	70109	12781	1	5,5	0,008	0,091	Aman

Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Existing* Arah x Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	282,33	47,598	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Roof	8878,1	1356,4	1	5,5	0,008	0,091	Aman
Mezzanine	4090,3	1874,4	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	42499	4684,7	1	5,5	0,011	0,091	Aman
L2	24573	6377,8	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UL1	40459	8431,8	1	5,5	0,009	0,091	Aman
L1	66834	10968	1	5,5	0,013	0,091	Aman
UGL2	41726	11951	1	5,5	0,008	0,091	Aman
UGL1	70109	12781	1	5,5	0,007	0,091	Aman

Tabel 5.29 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Existing* Arah y Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	282,33	41,21	1	5,5	0,004	0,091	Aman
Roof	8878,1	1174,33	1	5,5	0,009	0,091	Aman
Mezzanine	4090,3	1622,82	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	42499	4056,04	1	5,5	0,013	0,091	Aman
L2	24573	5521,94	1	5,5	0,007	0,091	Aman
UL1	40459	7300,24	1	5,5	0,010	0,091	Aman
L1	66834	9495,71	1	5,5	0,016	0,091	Aman
UGL2	41726	10347,49	1	5,5	0,009	0,091	Aman
UGL1	70109	11065,87	1	5,5	0,008	0,091	Aman

Tabel 5.30 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Existing* Arah y Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	282,33	41,211	1	5,5	0,007	0,091	Aman
Roof	8878,1	1174,3	1	5,5	0,009	0,091	Aman
Mezzanine	4090,3	1622,8	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UL2	42499	4056	1	5,5	0,013	0,091	Aman

Lanjutan Tabel 5.30 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Existing* Arah y Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
L2	24573	5521,9	1	5,5	0,007	0,091	Aman
UL1	40459	7300,2	1	5,5	0,010	0,091	Aman
L1	66834	9495,7	1	5,5	0,016	0,091	Aman
UGL2	41726	10347	1	5,5	0,009	0,091	Aman
UGL1	70109	11066	1	5,5	0,008	0,091	Aman

4. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur

   Proses analisis tahap 2 dilakukan sesuai dengan penjelasan pada sub bab 3.6. Berikut penjabaran tahapan analisis tahap 2 yang dilakukan.

   a. Faktor redundansi

      Faktor redundansi pada model struktur ini bernilai 1,3 dikarenakan terdapat ketidakberaturan torsi berlebihan (1.b) pada identifikasi ketidakberaturan horizontal yang telah dilakukan.

   b. Desain respons spektrum

      Respons spektrum desain pada model *existing* memiliki perhitungan yang sama dengan model *trial* 1. Hal ini dilakukan untuk memberi beban gempa yang sama dengan model *existing* untuk meningkatkan objektivitas pada saat membandingkan antara model *existing*, *trial*, dan model hasil optimalisasi ANN.

   c. Detail Kombinasi Beban Ortogonal

      Sesuai dengan pembahasan sebelumnya kombinasi beban ortogonal dipengaruhi oleh efek gempa vertikal dan efek gempa horizontal. Untuk efek gempa vertikal nilai kombinasi yang digunakan pada beban ortogonal dipengaruhi oleh parameter percepatan gempa pada periode pendek. Berdasarkan perhitungan parameter percepatan gempa pada periode pendek yang telah dihitung sebelumnya, berikut merupakan detail kombinasi ortogonal yang digunakan sesuai dengan pembahasan sub-sub bab 3.6.1.

      $(1,2 + 0,2\ S_{DS})\ D \pm 1\ \rho\ Qx \pm TT \pm 0,3\ \rho\ Qy \pm 0.5\ L \rightarrow$ persamaan 3.3.6

      $= (1,2 + 0,2\ .\ 0,752)\ D \pm 1\ \rho\ Qx \pm TT \pm 0,3\ \rho\ Qy \pm 0.5\ L$

      $= 1,3504\ D \pm 1,3\ Qx \pm TT \pm 0,39\ \rho\ Qy \pm 0.5\ L$

$(0{,}9D - 0{,}2\ S_{DS})\ D \pm 1\ \rho\ Qx \pm TT \pm 0{,}3\ \rho\ Qy \rightarrow$ persamaan 3.3.7
$= (0{,}9D - 0{,}2\ .\ 0{,}752)\ D \pm 1\ \rho\ Qx \pm TT \pm 0{,}3\ \rho\ Qy$
$= 0{,}7496\ D \pm 1{,}3\ Qx \pm TT \pm 0{,}39\ Qy$

Kedua persamaan tersebut apabila didetailkan sesuai dengan persamaan 3.49 hingga persamaan 3.80. Kombinasi sejumlah 32 persamaan tersebut akan digunakan pada tahap ini untuk *checking* kinerja final dan untuk memperoleh gaya dalam elemen struktur.

d. Penggunaan Skala Gaya

Contoh penggunaan skala gaya dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Berikut merupakan hasil penggunaan skala gaya yang dimaksud ditampilkan pada tabel 5.31.

Tabel 5.31 Penggunaan Skala Gaya Geser Dasar Struktur *Existing*

Arah Sumbu	Gaya Geser Dasar Statik (kN)	Skala Gaya	Skala baru, *I/R* . g (mm/s^2)
Sumbu x	12783,113	1,233511442	1512,593406
Sumbu y	11068,062	1,403199792	516,2021235

e. Peninjauan *drift ratio*

Peninjauan *drift ratio* pada tahap ini dilakukan seperti peninjauan pada *trial* 1 tahap 1. Berikut merupakan hasil peninjauan *drift ratio* yang ditampilkan pada tabel 5.32 hingga 5.35.

Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Existing* Arah x Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqx	δ Eqx	Δx	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	67,928	373,604	31,004	43,077	Aman
Roof	23,2	23200	62,291	342,6005	44,605	49,231	Aman
Mezzanine	20	20000	54,181	297,9955	54,263	61,538	Aman
UL2	16	16000	44,315	243,7325	11,270	15,385	Aman
L2	15	15000	42,266	232,463	26,296	30,769	Aman
UL1	13	13000	37,485	206,1675	47,234	46,154	Tidak Aman
L1	10	10000	28,897	158,9335	57,189	46,154	Tidak Aman
UGL2	7	7000	18,499	101,7445	57,068	46,154	Tidak Aman
UGL1	4	4000	8,123	44,6765	44,677	61,538	Aman

Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Existing* Arah x Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	58,049	319,2695	22,737	43,077	Aman
Roof	23,2	23200	53,915	296,5325	30,844	49,231	Aman
Mezzanine	20	20000	48,307	265,6885	43,830	61,538	Aman
UL2	16	16000	40,338	221,859	9,075	15,385	Aman
L2	15	15000	38,688	212,784	22,380	30,769	Aman
UL1	13	13000	34,619	190,4045	42,251	46,154	Aman
L1	10	10000	26,937	148,1535	52,949	46,154	Tidak Aman
UGL2	7	7000	17,31	95,205	53,427	46,154	Tidak Aman
UGL1	4	4000	7,596	41,778	41,778	61,538	Aman

Tabel 5.34 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Existing* Arah y Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	48,724	267,982	13,519	43,077	Aman
Roof	23,2	23200	46,266	254,463	22,864	49,231	Aman
Mezzanine	20	20000	42,109	231,5995	35,305	61,538	Aman
UL2	16	16000	35,69	196,295	8,201	15,385	Aman
L2	15	15000	34,199	188,0945	20,097	30,769	Aman
UL1	13	13000	30,545	167,9975	37,400	46,154	Aman
L1	10	10000	23,745	130,5975	46,475	46,154	Tidak Aman
UGL2	7	7000	15,295	84,1225	47,102	46,154	Tidak Aman
UGL1	4	4000	6,731	37,0205	37,021	61,538	Aman

Tabel 5.35 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Existing* Arah y Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	50,54	277,97	16,792	43,077	Aman
Roof	23,2	23200	47,487	261,1785	23,293	49,231	Aman
Mezzanine	20	20000	43,252	237,886	36,471	61,538	Aman
UL2	16	16000	36,621	201,4155	8,410	15,385	Aman
L2	15	15000	35,092	193,006	20,598	30,769	Aman
UL1	13	13000	31,347	172,4085	38,352	46,154	Aman
L1	10	10000	24,374	134,057	47,619	46,154	Tidak Aman
UGL2	7	7000	15,716	86,438	48,318	46,154	Tidak Aman
UGL1	4	4000	6,931	38,1205	38,121	61,538	Aman

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat *drift ratio* struktur *existing* tidak memenuhi persyaratan simpangan antar tingkat izin sehingga elemen struktur *existing* perlu didesain ulang untuk memenuhi persyaratan tersebut.

f. Peninjauan *p-delta effect*

Berdasarkan nilai simpangan antar tingkat yang telah dihitung maka dapat dihitung koefisien stabilitas struktur untuk meninjau *P-delta effect*. Berikut merupakan hasil perhitungan koefisien stabilitas yang ditampilkan pada tabel 5.36 hingga 5.39.

Tabel 5.36 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Existing* Arah x Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	282,33	47,598	1	5,5	0,012	0,091	Aman
Roof	8878,1	1356,4	1	5,5	0,017	0,091	Aman
Mezzanine	4090,3	1874,4	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL2	42499	4684,7	1	5,5	0,019	0,091	Aman
L2	24573	6377,8	1	5,5	0,009	0,091	Aman
UL1	40459	8431,8	1	5,5	0,014	0,091	Aman
L1	66834	10968	1	5,5	0,021	0,091	Aman
UGL2	41726	11951	1	5,5	0,012	0,091	Aman
UGL1	70109	12781	1	5,5	0,011	0,091	Aman

Tabel 5.37 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Existing* Arah x Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	282,33	47,598	1	5,5	0,009	0,091	Aman
Roof	8878,1	1356,4	1	5,5	0,011	0,091	Aman
Mezzanine	4090,3	1874,4	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UL2	42499	4684,7	1	5,5	0,015	0,091	Aman
L2	24573	6377,8	1	5,5	0,008	0,091	Aman
UL1	40459	8431,8	1	5,5	0,012	0,091	Aman
L1	66834	10968	1	5,5	0,020	0,091	Aman
UGL2	41726	11951	1	5,5	0,011	0,091	Aman
UGL1	70109	12781	1	5,5	0,010	0,091	Aman

Tabel 5.38 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Existing* Arah y Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	282,33	41,21	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Roof	8878,1	1174,33	1	5,5	0,010	0,091	Aman
Mezzanine	4090,3	1622,82	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UL2	42499	4056,04	1	5,5	0,016	0,091	Aman
L2	24573	5521,94	1	5,5	0,008	0,091	Aman
UL1	40459	7300,24	1	5,5	0,013	0,091	Aman
L1	66834	9495,71	1	5,5	0,020	0,091	Aman
UGL2	41726	10347,49	1	5,5	0,012	0,091	Aman
UGL1	70109	11065,87	1	5,5	0,011	0,091	Aman

Tabel 5.39 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Existing* Arah y Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	282,33	41,211	1	5,5	0,007	0,091	Aman
Roof	8878,1	1174,3	1	5,5	0,010	0,091	Aman
Mezzanine	4090,3	1622,8	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UL2	42499	4056	1	5,5	0,016	0,091	Aman
L2	24573	5521,9	1	5,5	0,008	0,091	Aman
UL1	40459	7300,2	1	5,5	0,013	0,091	Aman
L1	66834	9495,7	1	5,5	0,020	0,091	Aman
UGL2	41726	10347	1	5,5	0,012	0,091	Aman
UGL1	70109	11066	1	5,5	0,011	0,091	Aman

5. Desain Elemen Struktur

Elemen struktur yang digunakan pada tahap analisis struktur *existing* merupakan elemen struktur hasil perencanaan dan beberapa hasil *as build drawing* oleh kontraktor pelaksana. Berdasarkan data yang diperoleh spesifikasi material elemen struktur *existing* ditampilkan pada tabel 5.40 berikut.

Tabel 5.40 Spesifikasi Mutu Material Struktur *Existing*

F'c Balok (Mpa)	F'c Kolom (Mpa)	Fy pokok (Mpa)	Fy sengkang (Mpa)
25	35	420	280

Berikut ini merupakan elemen kolom struktur *existing* yang akan di optimalisasi menggunakan metode ANN yang ditampilkan pada tabel 5.41 berikut.

Tabel 5.41 Rekapitulasi Spesifikasi Elemen Struktur *Existing*

No	Kodefikasi Kolom	Lebar kolom (mm)	Tebal Kolom (mm)	Tulangan Pokok	Tulangan Transversal Tumpuan (x)	Tulangan Transversal Tumpuan (y)	Tulangan Transversal Lapangan (x)	Tulangan Transversal Lapangan (y)
1	K44A	400	400	12 D19	2D10 – 100	2D10 – 100	2D10 – 200	2D10 – 200
2	K47	700	400	18 D25	2D10 – 100	4D10 – 100	2D10 – 200	4D10 – 200
3	K55A	500	500	16 D22	3D10 – 100	3D10 – 100	3D10 – 200	3D10 – 200
4	K66A	600	600	20 D25	3D10 – 100	3D10 – 100	3D10 – 200	3D10 – 200
5	K80	800	800	24 D25	4D10 – 100	4D10 – 100	4D10 – 200	4D10 – 200
6	K710	1000	700	30 D25	4D10 – 100	5D10 – 100	4D10 – 200	5D10 – 200
7	K712	1200	700	34 D25	4D10 – 100	6D10 – 100	4D10 – 200	6D10 – 200
8	K68	600	800	26 D19	4D10 – 50	6D10 – 50	4D10 – 100	6D10 – 100
9	K88	800	800	18 D25	D10 – 100	D10 – 100	D10 – 150	D10 – 150

6. Perhitungan biaya pekerjaan kolom

Perhitungan biaya pekerjaan kolom dilakukan berdasarkan volume pekerjaan dari hasil spesifikasi material dan spesifikasi elemen struktur kolom. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) ditentukan berdasarkan Keputusan Walikota Mataram Nomor 1026/ IX/ 2018 tentang Standar Satuan Harga Pemerintah Kota Mataram Tahun Anggaran 2019 dan harga di pasaran untuk material tulangan. Berikut merupakan hasil perhitungan AHSP yang ditampilkan pada tabel 5.42.

Tabel 5.42 Rekapitulasi Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Struktur *Existing*

No	Komponen Pekerjaan	Satuan	Koef	Harga Satuan	Jumlah Harga
1, Pembesian per kg dengan besi pokok untuk pembesian					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	0,007	Rp70.000,00	Rp490,00
	2) Tukang besi	OH	0,007	Rp95.500,00	Rp668,50
	3) Kepala tukang	OH	0,0007	Rp99.000,00	Rp69,30
	4) Mandor	OH	0,0004	Rp101.000,00	Rp40,40
	b. Bahan				
	1) Besi beton pokok	kg	1,05	Rp23.800	Rp24.990,00
	2) Kawat ikat	kg	0,015	Rp15.450	Rp231,75
	c. Alat Bantu				
	1) Mesin potong besi	Hari	0,0005	Rp225.000	Rp112,50
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp26.602,45
2, Pembesian per kg dengan besi sengkang untuk pembesian					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	0,007	Rp70.000,00	Rp490,00
	2) Tukang besi	OH	0,007	Rp95.500,00	Rp668,50
	3) Kepala tukang	OH	0,0007	Rp99.000,00	Rp69,30
	4) Mandor	OH	0,0004	Rp101.000,00	Rp40,40
	b. Bahan				
	1) Besi beton sengkang	kg	1,05	Rp22.700	Rp23.835,00
	2) Kawat ikat	kg	0,015	Rp15.450	Rp231,75
	c. Alat Bantu				
	1) Mesin Potong Besi	Hari	0,0005	Rp225.000	Rp112,50
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp25.447,45

Lanjutan Tabel 5.42 Rekapitulasi Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Struktur *Existing*

No	Komponen Pekerjaan	Satuan	Koef	Harga Satuan	Jumlah Harga
3, Pekerjaan Beton (M3) F'c 35					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	1	Rp70.000,00	Rp70.000,00
	2) Tukang batu	OH	0,25	Rp95.500,00	Rp23.875,00
	3) Kepala tukang	OH	0,025	Rp99.000,00	Rp2.475,00
	4) Mandor	OH	0,1	Rp101.000,00	Rp10.100,00
	b. Bahan				
	1) Semen Portland	Kg	509	Rp1.500,00	Rp763.500,00
	2) Pasir Beton	Kg	629	Rp125,00	Rp78.625,00
	3) Kerikil (Max 30 mm)	Kg	1009	Rp125,89	Rp127.021,89
	4) Air	Liter	202	Rp125,89	Rp25.429,56
	c. Alat Bantu				
	1) Molen 0.35 m3	Hari	0,2	Rp345.000	Rp69.000,00
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp1.170.026,44

Berdasarkan perhitungan AHSP tersebut maka dapat ditentukan biaya total dari pekerjaan elemen kolom struktur *existing*. Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan biaya pekerjaan kolom struktur *existing* yang ditampilkan pada tabel 5.43.

Tabel 5.43 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Struktur Kolom *Existing*

No	Jenis Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
Pekerjaan K44A					**Rp30.998.068**
1	Pembesian Tulangan Pokok	801,2522107	kg	Rp26.602	Rp21.315.272
2	Pembesian Tulangan Transversal	159,8065351	kg	Rp25.447	Rp4.066.669
3	Pekerjaan Pengecoran	4,8	m3	Rp1.170.026	Rp5.616.127
Pekerjaan K47					**Rp247.993.348**
1	Pembesian Tulangan Pokok	7074,768481	kg	Rp26.602	Rp188.206.175
2	Pembesian Tulangan Transversal	1036,300989	kg	Rp25.447	Rp26.371.218
3	Pekerjaan Pengecoran	28,56	m3	Rp1.170.026	Rp33.415.955
Pekerjaan K55A					**Rp55.972.476**
1	Pembesian Tulangan Pokok	1432,340055	kg	Rp26.602	Rp38.103.755
2	Pembesian Tulangan Transversal	357,3451688	kg	Rp25.447	Rp9.093.523
3	Pekerjaan Pengecoran	7,5	m3	Rp1.170.026	Rp8.775.198
Pekerjaan K66A					**Rp6.557.906.317**
1	Pembesian Tulangan Pokok	178352,7555	kg	Rp26.602	Rp4.744.620.261
2	Pembesian Tulangan Transversal	32950,33191	kg	Rp25.447	Rp838.501.924
3	Pekerjaan Pengecoran	833,13	m3	Rp1.170.026	Rp974.784.132
Pekerjaan K80					**Rp961.946.482**
1	Pembesian Tulangan Pokok	23235,75923	kg	Rp26.602	Rp618.128.123
2	Pembesian Tulangan Transversal	6117,630914	kg	Rp25.447	Rp155.678.107
3	Pekerjaan Pengecoran	160,8	m3	Rp1.170.026	Rp188.140.252
Pekerjaan K710					**Rp804.741.648**
1	Pembesian Tulangan Pokok	20027,83724	kg	Rp26.602	Rp532.789.539
2	Pembesian Tulangan Transversal	5110,812751	kg	Rp25.447	Rp130.057.152
3	Pekerjaan Pengecoran	121,275	m3	Rp1.170.026	Rp141.894.957
Pekerjaan K712					**Rp241.139.111**
1	Pembesian Tulangan Pokok	5895,640401	kg	Rp26.602	Rp156.838.479
2	Pembesian Tulangan Transversal	1574,760231	kg	Rp25.447	Rp40.073.632
3	Pekerjaan Pengecoran	37,8	m3	Rp1.170.026	Rp44.227.000
Pekerjaan K68					**Rp293.960.656**
1	Pembesian Tulangan Pokok	5451,185874	kg	Rp26.602	Rp145.014.900
2	Pembesian Tulangan Transversal	4628,470757	kg	Rp25.447	Rp117.782.778
3	Pekerjaan Pengecoran	26,63442252	m3	Rp1.170.026	Rp31.162.979

Lanjutan Tabel 5.43 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Struktur Kolom *Existing*

No	Jenis Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
Pekerjaan K88					**Rp331.361.351**
1	Pembesian Tulangan Pokok	5618,1985	kg	Rp26.602	Rp149.457.845
2	Pembesian Tulangan Transversal	5276,199846	kg	Rp25.447	Rp134.265.832
3	Pekerjaan Pengecoran	40,71504079	m3	Rp1.170.026	Rp47.637.674
Total Biaya Seluruh Pekerjaan Kolom					**Rp9.526.019.457**

5.3.2. Pemodelan Struktur *Trial* 1

Model struktur *trial* 1 diambil berdasarkan *Detail Engineering Design* dari hasil perencanaan oleh perencana dan beberapa *as built drawing* oleh kontraktor dan memberi perubahan pada spesifikasi material dan spesifikasi elemen struktur untuk mengubah kondisi kertidakberaturan berlebihan pada struktur *existing* dan memenuhi kondisi dari persyaratan *drift ratio* yang sebelumnya telah dilakukan. Tahapan-tahapan yang dilakukan untuk analisis dan desain pada struktur *trial* 1 sama dengan tahapan yang dilakukan pada struktur *existing*. Berikut merupakan penjabaran tahapan yang dilakukan untuk analisis, desain dan perhitungan biaya pekerjaan kolom model struktur *trial* 1.

1. Berat bangunan

   Perhitungan berat bangunan dilakukan dengan bantuan *software* ETABS berdasarkan hasil *mass and weight* yang telah didefinisikan oleh kalkulasi yang dilakukan program tersebut. Berat bangunan yang diperhitungkan meninjau berat struktur sendiri dan beban mati tambahan yang telah di *input.* Berat bangunan hasil pemodelan yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 5.44 berikut.

Tabel 5.44 Berat Bangunan Struktur *Trial* 1

Lantai	Berat Per Lantai (Kg)	Berat Per Lantai (T)
Upper Roof	27720,79	27,72079
Roof	930302,76	930,30276
Mezzanine	467606,14	467,60614
UL2	3110872,47	3110,87247
L2	1911981,39	1911,98139
UL1	3018547,51	3018,54751
L1	4966259,62	4966,25962
UGL2	3132966,17	3132,96617
UGL1	5116168,84	5116,16884

Total	**22682425,69**	**22682,42569**

2. Perhitungan Beban Gempa

Tahapan perhitungan beban gempa dilakukan berdasarkan pembahasan yang telah dijelaskan pada sub-sub bab 3.4.3. Berikut merupakan penjabaran perhitungan beban gempa pada pemodelan struktur *trial* 1.

a. Penentuan kategori risiko bangunan berdasarkan SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung pada halaman 24 tabel 3. Kategori risiko bangunan ditetapkan berdasarkan fungsi bangunan yang telah dikategorikan pada pedoman tersebut. Berdasarkan fungsi bangunan yang telah ditetapkan yaitu pusat pembelanjaan (mal) maka kategori risiko bangunan struktur objek penelitian ini adalah kelompok II.
b. Penentuan nilai faktor keutamaan gempa (*Ie*) dilakukan berdasarkan kategori risiko bangunan yang telah ditetapkan sebelumnya. Berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.4.3 pada tabel 3.1 nilai faktor keutamaan gempa didapatkan senilai 1,0.
c. Menentukan parameter gerak tanah (S_s dan S_1) berdasarkan wilayah gempa. Ditinjau dari lokasi proyek yang telah dikerjakan, wilayah gempa gedung objek penelitian berlokasi di kota Mataram, Nusa Tenggara Barat. Untuk memperoleh nilai spesifik parameter gerak tanah digunakan sumber *https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021* dengan menggunakan koordinat lokasi proyek objek penelitian. Berdasarkan sumber tersebut nilai paramater gerak tanah meliputi S_1 dan S_s secara beturut-turut didapat sebesar 1,0411 dan 0,4509.
d. Menentukan klasifikasi situs model struktur objek penelitian berdasarkan jenis tanah. Berdasarkan hasil tes SPT yang telah dilakukan (N-SPT = 32,21) struktur objek penelitian termasuk dalam kategori tanah sedang (*SD*).
e. Menentukan nilai koefisien situs (F_a dan Fv) struktur dilakukan dengan interpolasi nilai parameter gerak tanah yang telah didapatkan sebelumnya berdasarkan klasifikasi situs yang telah ditentukan. Nilai parameter gerak tanah yang didapat diinterpolasi dengan klasifikasi berdasarkan tabel 3.2 dan

3.3 di atas. Berikut perhitungan interpolasi untuk menentukan nilai koefisien situs yang dimaksud

S_s = 1,041 g

S_1 = 0,406 g

$y = y_1 + (x - x_1) \cdot \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$

$F_a = 1{,}1 + (1{,}041 - 1) \cdot \frac{1 - 1{,}1}{1{,}25 - 1} = 1{,}0836$

$F_v = 1{,}9 + (0{,}406 - 0{,}4) \cdot \frac{1{,}8 - 1{,}9}{0{,}5 - 0{,}4} = 1{,}8491$

Berdasarkan nilai koefisien di atas dapat ditentukan parameter percepatan respons spektral pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}) berdasarkan persamaan 3.1 dan 3.2. Berikut merupakan perhitungan parameter percepatan respons spektral pada periode pendek (S_{MS}) dan pada periode 1 detik (S_{M1}).

$S_{MS} = F_a S_s = 1{,}0836 \cdot 1{,}041 = 1{,}1281$ g

$S_{M1} = F_v S_1 = 0{,}406 \cdot 1{,}8491 = 0{,}7689$ g

f. Menentukan parameter percepatan gempa berdasarkan persamaan 3.3 dan 3.4. Berikut merupakan perhitungan parameter percepatan gempa yang dimaksud.

$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} 1{,}1281 = 0{,}752$ g

$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} 0{,}7689 = 0{,}512$ g

g. Menentukan kategori desain seismik berdasarkan nilai parameter percepatan gempa dan klasifikasi kategori desain seismik yang telah dibahas pada sub-sub bab 3.4.3. Berdasarkan nilai parameter percepatan gempa yang dimaksud maka kategori desain seismik struktur objek penelitian termasuk kategori desain seismik D.

h. Menentukan sistem struktur berdasarkan pembahasan yang ada pada sub-sub bab 3.4.3. Model struktur objek penelitian merupakan sistem struktur rangka beton bertulang dalam menahan atau memikul gaya seismik lateral. Berdasarkan kategori desain seismik yang ditinjau, model struktur objek penelitian termasuk dalam sistem rangka pemikul momen khusus.

3. Analisis Tahap 1 *Checking* Kinerja Struktur

Proses analisis tahap 1 dilakukan sesuai dengan penjelasan pada sub bab 3.5 Berikut merupakan tahap penentuan beban gempa statik ekivalen yang bekerja pada model struktur objek penelitian.

a. Penentuan periode dan periode fundamental pendekatan struktur

Perhitungan nilai periode fundamental struktur ditentukan berdasarkan persamaan 3.13. Berikut merupakan perhitungan periode fundamental struktur yang dimaksud.

$C_t = 0{,}0466$

$x = 0{,}9$

$T_a = C_t h_n^x = 0{,}0466 \,.\, 26^{0{,}9} = 0{,}875$ detik

Berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.2 batas atas periode yang dihitung dipengaruhi nilai koefisien batasan atas periode (C_u) berdasarkan nilai parameter percepatan gempa pada 1 detik (SD_1) yang mana senilai 1,4. Maka dari itu batas atas periode (C_u x T_a) adalah 1,22 detik.

b. Koefisien respons seismik

Menentukan nilai koefisien respons seismik berdasarkan persamaan 3.14. Berikut merupakan perhitungan nilai koefisien respons seismik.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0{,}752}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0{,}094$$

Nilai koefisien respons seismik dibatasi oleh persamaan 3.15 hingga persamaan 3.18. Nilai batas koefisien respons seismik yang dimaksud dipengaruhi oleh periode struktur yang bekerja. Penentuan batas koefisien

respons seismik juga dipengaruhi oleh nilai periode panjang yang telah dibahas pada sub-sub bab 3.6.3. Menurut lokasi objek penelitian nilai periode panjang struktur sebesar 8 detik

Berdasarkan analisis yang dilakukan dengan bantuan *software* ETABS nilai periode struktur adalah 0,798 detik untuk sumbu x dan 0,981 detik untuk sumbu y. Untuk periode sumbu x, dikarenakan kurang dari periode struktur fundamental pendekatan (T_a) sehingga untuk sumbu x nilai T yang digunakan adalah nilai T_a yaitu 0,875. Maka dari itu perhitungan batas koefisien respons seismik dapat dijabarkan sebagai berikut.

1) Sumbu x

$C_{s\,(cmin)} = 0{,}044\ S_{DS}\ I_e = 0{,}044\ .\ 0{,}752\ .\ 1 = 0{,}0331$

$$C_{s\,(max)} = \frac{S_{D1}}{T(\frac{R}{I_e})} = \frac{0{,}5125}{0{,}875\ (\frac{8}{1})} = 0{,}0732$$

2) Sumbu y

$C_{s\,(min)} = 0{,}044\ S_{DS}\ I_e = 0{,}044\ .\ 0{,}752\ .\ 1 = 0{,}0331$

$$C_{s\,(max)} = \frac{S_{D1}}{T(\frac{R}{I_e})} = \frac{0{,}5125}{0{,}981\ (\frac{8}{1})} = 0{,}0653$$

Dikarenakan nilai batas atas koefisien respons seismik ($C_{s\,(max)}$) lebih kecil dari nilai koefisien respons seismik (C_s) pada kedua sumbu maka nilai C_s yang digunakan adalah 0,0732 untuk sumbu x dan 0,0653 untuk sumbu y.

c. Gaya geser dasar seismik

Contoh perhitungan gaya geser dasar seismik dapat dilihat pada model *existing*. Berikut merupakan hasil perhitungan gaya geser dasar seismik yang dimaksud.

1) Sumbu x

$V = C_s\ W = 0{,}0732.\ 22682{,}42569 = 1661{,}38$ Ton

2) Sumbu y

V $= C_s W$ = 0,0653. 22682,42569 = 1481,36 Ton

d. Distribusi gaya seismik

Distribusi gaya seismik dihitung berdasarkan persamaan 3.20 hingga persamaan 3.21. Sesuai dengan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.5 terdapat eksponen terkait periode struktur (k). Berdasarkan periode struktur yang telah ditentukan sebelumnya maka berikut perhitungan nilai eksponen yang dimaksud

k (sumbu x) = 1 + (0,875 – 0,5) . $\frac{2-1}{2{,}5-0{,}5}$ = 1,19

k (sumbu y) = 1 + (0,981 – 0,5) . $\frac{2-1}{2{,}5-0{,}5}$ = 1,24

Kemudian dapat dihitung nilai faktor distribusi vertikal (C_{vx}) untuk kedua sumbu. Berikut merupakan contoh perhitungan nilai C_{vx} untuk sumbu x pada lantai UGL 1

1) Perhitungan nilai faktor distribusi vertikal (C_{vx})

W_t = 5116,16884. 9,81 = 50189,6 kN

C_{vx} $= \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i^k} = \frac{50189{,}6 \,.\, 4^{1{,}19}}{3786103}$ = 0,07

2) Perhitungan gaya seismik lateral (F_x)

F_x $= C_{vx} V$ = 0,07 . (1661,38. 9,81) = 1120,5 kN

3) Perhitungan gaya geser lantai

Vx_i $= \sum_{i=i}^{n} F_{xi}$

V_{UGL1} = 16298,1 kN

Untuk perhitungan pada sumbu ortogonal dan lantai di atasnya dilakukan dengan cara yang sama. Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan distribusi gaya seismik pada kedua sumbu yang ditampilkan pada tabel 5.45 dan 5.46 berikut.

Tabel 5.45 Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 1 Sumbu x

Lantai	Wt (kN)	ht (m)	Wt.ht^k	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
Upper Roof	271,9	26,0	13018	0,00	56	56,0
Roof	9126,3	23,2	381600,8	0,10	1642,7	1698,7
Mezzanine	4587,2	20,0	160816,6	0,04	692,3	2391,0
UL2	30517,7	16,0	820855,1	0,22	3533,6	5924,5
L2	18756,5	15,0	467291,6	0,12	2011,6	7936,1
UL1	29612,0	13,0	622459,1	0,16	2679,5	10615,6
L1	48719,0	10,0	749982,7	0,20	3228,5	13844,1
UGL2	30734,4	7,0	309780,6	0,08	1333,5	15177,6
UGL1	50189,6	4,0	260298,4	0,07	1120,5	16298,1
TOTAL	222514,6		3786103	1,00	16298,1	

Tabel 5.46 Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 1 Sumbu y

Lantai	Wt (kN)	ht (m)	Wt.ht^k	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
Upper Roof	271,9	26,0	13018	0,00	50	50,0
Roof	9126,3	23,2	381600,8	0,10	1465	1514,7
Mezzanine	4587,2	20,0	160816,6	0,04	617	2131,9
UL2	30517,7	16,0	820855,1	0,22	3151	5282,6
L2	18756,5	15,0	467291,6	0,12	1794	7076,2
UL1	29612,0	13,0	622459,1	0,16	2389	9465,4
L1	48719,0	10,0	749982,7	0,20	2879	12344,0
UGL2	30734,4	7,0	309780,6	0,08	1189	13533,1
UGL1	50189,6	4,0	260298,4	0,07	999	14532,2
TOTAL	222514,6		3786103	1,00	14532,2	

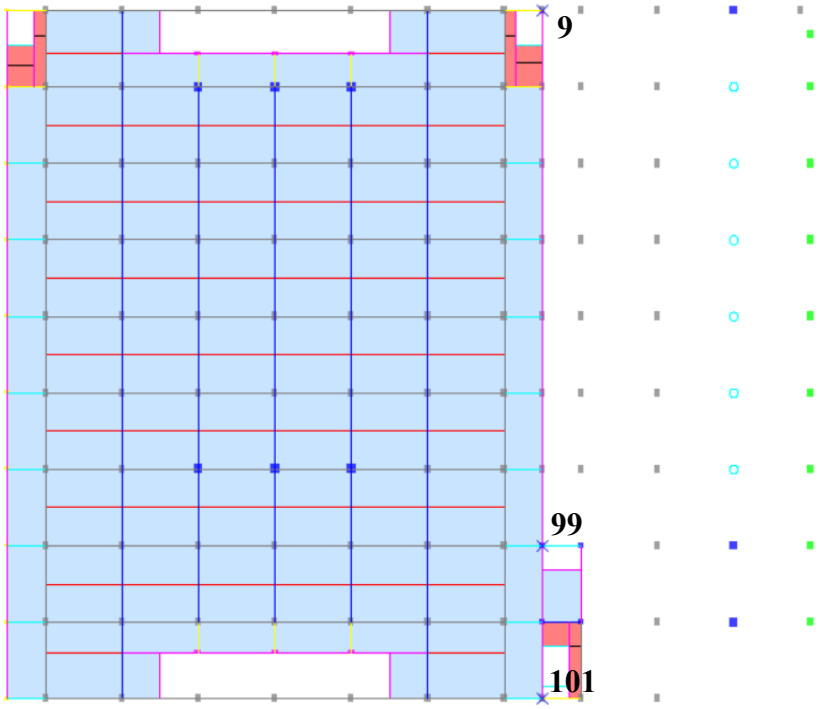
e. Ketidakberaturan struktur

Identifikasi ketidakberaturan struktur dilakukan sesuai dengan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.6. Identifikasi yang dimaksud meliputi ketidakberaturan struktur horizontal dan ketidakberaturan struktur vertikal. Berikut merupakan hasil identifikasi ketidakberaturan struktur yang dimaksud..

1) Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan horizontal diklasifikasikan menjadi beberapa kategori yaitu ketidakberaturan horizontal tipe 1.a, 1.b, 2, 3, 4, dan 5. Berikut penjabaran identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal.

a) Identifikasi ketidakberaturan horizontal struktur tipe 1.a dan 1.b dijalankan dengan *software* ETABS dan dilanjutkan dengan perhitungan manual. Untuk contoh perhitungan identifikasi ketidakberaturan struktur tipe 1.a dan 1.b dapat dilihat pada perhitungan pada lantai UGL 2 untuk arah x positif berikut.



Gambar 5.2 Penentuan Titik Ketidakberaturan Lantai UGL 2 arah x

Δ_9 = 7,023 - 3,536 = 3,487 mm

Δ_{99} = 7,644 - 3,779 = 3,865 mm

Δ_{101} = 9,819 - 4,629 = 5,190 mm

Max Δ = 5,190 mm

Avg Δ = $= \frac{3{,}487 + 3{,}865 + 5{,}190}{3}$ = 4,181 mm

Max Δ / Avg Δ = 1,241

Menurut perhitungan diatas, nilai Max Δ / Avg Δ lebih dari 1,2 dan kurang dari 1,4 atau dapat ditulis sebagai berikut (1,2 < Max Δ / Avg Δ ≤ 1,4). Maka dari itu untuk lantai UGL 2 dengan gempa arah x positif mengalami ketidakberaturan tipe 1.a. Untuk perhitungan pada

lantai, arah gempa, dan model *trial* lainya digunakan perhitungan yang sama.

Berikut merupakan hasil identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1.a dan 1.b dapat dilihat pada tabel 5.47 hingga tabel 5.50.

Tabel 5.47 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 1 Arah x Positif

Lantai	Max Δ mm	Avg Δ mm	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
Upper Roof	3,917	3,803	1,030	Beraturan
Roof	5,695	5,108	1,115	Beraturan
Mezzanine	6,237	6,030	1,034	Beraturan
UL2	1,055	0,796	1,326	1.a
L2	2,391	1,866	1,281	1.a
UL1	4,154	3,164	1,313	1.a
L1	5,015	3,911	1,282	1.a
UGL2	5,190	4,181	1,241	1.a
UGL1	4,629	3,981	1,163	Beraturan

Tabel 5.48 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 1 Arah x Negatif

Lantai	Max Δ mm	Avg Δ mm	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
Upper Roof	1,821	1,782	1,022	Beraturan
Roof	3,372	2,679	1,259	1.a
Mezzanine	4,814	4,114	1,170	Beraturan
UL2	0,756	0,598	1,265	1.a
L2	1,805	1,489	1,212	1.a
UL1	3,553	2,962	1,200	Beraturan
L1	4,471	3,799	1,177	Beraturan
UGL2	4,710	4,051	1,163	Beraturan
UGL1	4,305	3,783	1,138	Beraturan

Tabel 5.49 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 1 Arah y Positif

Lantai	Max Δ mm	Avg Δ mm	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
Upper Roof	1,836	1,820	1,009	Beraturan
Roof	3,440	2,983	1,153	Beraturan
Mezzanine	4,912	4,817	1,020	Beraturan

Lanjutan Tabel 5.49 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 1 Arah y Positif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
UL2	1,429	1,057	1,353	1.a
L2	3,675	3,312	1,110	Beraturan
UL1	5,360	4,275	1,254	1.a
L1	7,129	5,632	1,266	1.a
UGL2	5,733	4,490	1,277	1.a
UGL1	4,720	3,874	1,218	1.a

Tabel 5.50 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 a dan b Struktur *Trial* 1 Arah y Negatif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	2,270	2,235	1,016	Beraturan
Roof	3,409	2,939	1,160	Beraturan
Mezzanine	4,968	4,877	1,019	Beraturan
UL2	1,431	1,029	1,391	1.a
L2	3,698	3,315	1,116	Beraturan
UL1	5,356	4,220	1,269	1.a
L1	7,162	5,616	1,275	1.a
UGL2	5,732	4,457	1,286	1.a
UGL1	4,741	3,873	1,224	1.a

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa struktur memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1.a untuk arah x dan arah y. Maka *drift ratio* dilakukan di titik-titik segaris pada tepi struktur. Struktur ketidakberaturan horizontal tipe 1.a. maka gaya gempa yang bekerja pada pusat masa dipengaruhi eksentrisitas tambahan berdasarkan faktor pembesaran torsi (A_x). Berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.5.7. Berikut merupakan perhitungan faktor pembesaran torsi (A_x) yang dapat dilihat pada tabel 5.51 hingga 5.54.

Tabel 5.51 Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 1 Arah x Positif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	38,283	37,552	1,019	0,722	1,000
Roof	34,366	30,661	1,121	0,872	1,000

Lanjutan Tabel 5.51 Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 1 Arah x Positif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Mezzanine	28,671	24,730	1,159	0,933	1,000
UL2	22,434	18,746	1,197	0,995	1,000
L2	21,379	17,657	1,211	1,018	1,018
UL1	18,988	15,471	1,227	1,046	1,046
L1	14,834	12,073	1,229	1,048	1,048
UGL2	9,819	8,162	1,203	1,005	1,005
UGL1	4,629	3,981	1,163	0,939	1,000

Tabel 5.52 Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 1 Arah x Negatif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	20,653	20,049	1,030	0,737	1,000
Roof	27,880	21,094	1,322	1,213	1,213
Mezzanine	24,508	19,169	1,279	1,135	1,135
UL2	19,694	15,889	1,239	1,067	1,067
L2	18,938	15,766	1,201	1,002	1,002
UL1	17,039	14,372	1,186	0,976	1,000
L1	13,486	11,632	1,159	0,933	1,000
UGL2	9,015	7,834	1,151	0,920	1,000
UGL1	4,305	3,783	1,138	0,899	1,000

Tabel 5.53 Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 1 Arah y Positif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	34,428	33,891	1,016	0,717	1,000
Roof	39,629	34,590	1,146	0,911	1,000
Mezzanine	36,189	31,607	1,145	0,910	1,000
UL2	29,987	23,012	1,303	1,179	1,179
L2	28,576	22,249	1,284	1,146	1,146
UL1	24,901	19,451	1,280	1,138	1,138
L1	18,576	14,410	1,289	1,154	1,154
UGL2	11,447	9,317	1,229	1,048	1,048
UGL1	4,720	3,874	1,218	1,031	1,031

Tabel 5.54 Rekapitulasi Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 1 Arah y Negatif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	34,821	34,254	1,017	0,718	1,000
Roof	39,741	34,593	1,149	0,917	1,000
Mezzanine	36,332	31,653	1,148	0,915	1,000
UL2	30,138	22,893	1,316	1,204	1,204
L2	28,719	22,162	1,296	1,166	1,166
UL1	25,021	19,389	1,290	1,156	1,156
L1	18,655	14,369	1,298	1,171	1,171
UGL2	11,493	9,308	1,235	1,059	1,059
UGL1	4,741	3,873	1,224	1,041	1,041

Selain 2 kondisi yang sudah dijelaskan, ketidakberaturan horizontal tipe 1.a memiliki konsekuensi lain seperti penyertaan memperhitungkan pengaruh penampang retak elemen.

b) Identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 2 dilakukan dengan perhitungan berikut.

Lx = 87,65 m

Px = 19,65 m

Ly = 72 m

Py = 8 m

$\frac{Px}{Lx} . 100\% = \frac{19,65}{87,65} . 100\% = 22,42\% \rightarrow$ lebih dari 15%

$\frac{Py}{Ly} . 100\% = \frac{8}{72} . 100\% = 11,11\% \rightarrow$ kurang dari 15%

Berdasarkan perhitungan tersebut model struktur yang ditinjau memiliki ketidakberaturan struktur tipe 2 untuk seluruh lantai dikarenakan memiliki denah yang tipikal untuk setiap lantainya.

c) Identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 3 dilakukan berdasarkan perhitungan berikut.

A_{total} *(bruto)* = 4352 m^2

A_{bukaan} = 2056,817499 m^2

$\frac{Atotal\ (bruto)}{Abukaan}$. 100% = $\frac{4352}{2056,817499}$. 100% = 47% → kurang dari 50%

Berdasarkan perhitungan di atas model struktur tidak memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 3.

d) Ketidakberaturan horizontal tipe 4 tidak terjadi pada model struktur objek penelitian dikarenakan elemen vertikal struktur menerus mulai dari elevasi tertinggi elemen vertikal hingga dasar bangunan.

e) Ketidakberaturan horizontal tipe 5 tidak terjadi pada model struktur objek penelitian dikarenakan elemen struktur berorientasi tepat pada sumbu x dan sumbu y.

2) Ketidakberturan vertikal

Ketidakberaturan vertikal pada struktur diklasifikasikan meliputi ketidakberaturan struktur tipe 1.a, 1.b, 2, 3, 4, 5.a, dan 5.b. Berikut merupakan penjabaran ketidakberaturan struktur vertikal.

a) Identifikasi ketidakberturan vertikal struktur tipe 1.a dan 1.b dijalankan dengan *software* ETABS. Berikut merupakan hasil identifikasi ketidakberaturan struktur yang dimaksud dapat dilihat pada tabel 5.55 dan 5.56.

Tabel 5.55 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 1 Sumbu x

Lantai	Fx	Vx	ΔX	K	K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$	Keterangan	
	kN	kN	mm	kN/mm			K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$
Upper Roof	1	1	0,012	83,33				
Roof	1	2	0,005	400,00	480%		Beraturan	
Mezzanine	1	3	0,005	600,00	150%		Beraturan	
UL2	1	4	0,001	4000,00	667%	1108%	Beraturan	Beraturan
L2	1	5	0,001	5000,00	125%	300%	Beraturan	Beraturan
UL1	1	6	0,002	3000,00	60%	94%	1.a	Beraturan
L1	1	7	0,002	3500,00	117%	88%	Beraturan	Beraturan
UGL2	1	8	0,002	4000,00	114%	104%	Beraturan	Beraturan
UGL1	1	9	0,002	4500,00	113%	129%	Beraturan	Beraturan

Tabel 5.56 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 1 Sumbu y

Lantai	Fx	Vx	ΔX	K	K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$	Keterangan	
	kN	kN	mm	kN/mm			K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$
Upper Roof	1	1	0,007	142,86				
Roof	1	2	0,004	500,00	350%		Beraturan	
Mezzanine	1	3	0,005	600,00	120%		Beraturan	
UL2	1	4	0,001	4000,00	667%	966%	Beraturan	Beraturan
L2	1	5	0,002	2500,00	63%	147%	1.a	Beraturan
UL1	1	6	0,003	2000,00	80%	85%	Beraturan	Beraturan
L1	1	7	0,003	2333,33	117%	82%	Beraturan	Beraturan
UGL2	1	8	0,003	2666,67	114%	117%	Beraturan	Beraturan
UGL1	1	9	0,002	4500,00	169%	193%	Beraturan	Beraturan

b) Ketidakberturan vertikal tipe 2 diidentifikasi dengan meninjau rasio massa efektif suatu tingkat dengan massa efektif satu tingkat di dekatnya. Berikut contoh perhitungan identifikasi ketidakberaturan vertikal tipe 2 pada lantai L1.

W_{UL1} = 29611,951 kN

W_{L1} = 48719,007 kN

W_{UGL2} = 30734,398 kN

Maka rasio massa efektif lantai UGL2 dan lantai didekatnya adalah sebagai berikut.

Rasio UL1 dan L1 $= \frac{48719,007}{29611,951} . 100\% = 165\% \rightarrow$ lebih dari 150%

Rasio L1 dan UGL2 $= \frac{48719,007}{30734,398} . 100\% = 159\% \rightarrow$ lebih dari 150%

Dengan demikian, dikarenakan nilai selisih massa efektif lantai L1 dan lantai di sekitarnya lebih dari 150%, lantai L1 memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 2. Untuk identifikasi pada lantai-lantai lainya dilakukan dengan perhitungannya yang sama. Berikut merupakan rekapitulasi identifikasi yang dimaksud disajikan pada tabel 5.57.

Tabel 5.57 Ketidakberaturan Tipe Vertikal 2 Struktur *Trial* 1

Lantai	Massa Efektif	Persentase		Keterangan	
	kN	W_{i+1}	W_{i-1}	W_{i+1}	W_{i-1}
Upper Roof	271,941				
Roof	9126,270		199%		2
Mezzanine	4587,216	50%	15%	Beraturan	Beraturan
UL2	30517,659	665%	163%	2	2
L2	18756,537	61%	63%	Beraturan	Beraturan
UL1	29611,951	158%	61%	2	Beraturan
L1	48719,007	165%	159%	2	2
UGL2	30734,398	63%	61%	Beraturan	Beraturan
UGL1	50189,616	163%		2	

c) Ketidakberturan vertikal tipe 3 pada model *trial* 1 memiliki kondisi yang sama seperti pada model *existing*. Hal ini dikarenakan model (denah) struktur yang sama antara model *existing* dan *trial* 1. Berdasarkan hal tersebut model *trial* 1 memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 3. Identifikasi ketidakberaturan vertikal tipe 3 dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut pada lantai UL1 sumbu x.

$Lx_{Lantai\ UL1}$ = 87,65 m

$Lx_{Lantai\ L2}$ = 87,65 m

$Lx_{Lantai\ L1}$ = 87,65 m

130% *Lx* = 130% . 87.65 = 113,945 m

Dikarenakan dimensi total pemikul gaya seismik pada lantai UL1 tidak lebih besar dari tingkat di sekitarnya maka pada lantai UL1 tidak terindikasi memiliki ketidakberatruan vertikal tipe 3. Untuk identifikasi pada sumbu y dan tingkat lainnya dilakukan perhitungan yang sama. Berikut merupakan rekapitulasi hasil identifikasi yang dimaksud disajikan pada tabel 5.58.

Tabel 5.58 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 Struktur *Trial* 1

Lantai	di		130% di+1		Keterangan	
	x	y	x	y	x	y
Upper Roof	4	8			3	3
Roof	35,65	72	5,2	10,4	Beraturan	Beraturan
Mezzanine	35,65	72	46,345	93,6	3	Beraturan
UL2	87,65	72	46,345	93,6	Beraturan	Beraturan
L2	87,65	72	113,945	93,6	Beraturan	Beraturan
UL1	87,65	72	113,945	93,6	Beraturan	Beraturan
L1	87,65	72	113,945	93,6	Beraturan	Beraturan
UGL2	87,65	72	113,945	93,6	Beraturan	Beraturan
UGL1	87,65	72	113,945	93,6	Beraturan	Beraturan

d) Pada model struktur objek penelitian tidak teridentifikasi ketidakberaturan tipe 4 dikarenakan elemen struktur vertikal pemikul gaya lateral seismik menerus dari elevasi tertinggi elemen struktur hingga dasar.

e) Identifikasi ketidakberaturan vertikal struktur tipe 5 dilakukan berdasarkan perhitungan gaya geser lantai tabel 5.8 dan 5.9. Berikut merupakan contoh perhitungan identifikasi ketidakberatruan yang dimaksud pada lantai UGL1 sumbu x.

V_{xUGL1} = 16298,11 kN

V_{xUGL2} = 15177,60 kN

$\frac{VxUGL1}{VxUGL2} \cdot 100\% = \frac{16298,11}{15177,60} \cdot 100\%$

= 107 % → lebih dari 80%

Berdasarkan perhitungan tersebut maka pada lantai UGL1 tidak teridentifikasi ketidakberaturan vertikal tipe 5.a maupun 5.b. Untuk sumbu dan lantai-lantai lainnya dilakukan perhitungannya yang sama. Berikut rekapitulasi hasil identifikasi ketidakberaturan vertikal tipe 5.a dan 5.b ditampilkan pada tabel 5.59 dan 5.60.

Tabel 5.59 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 1 Sumbu x

Lantai	V_X kN	V_i/V_{i+1}	Keterangan
Upper Roof	56,04		
Roof	1698,72	3031%	Beraturan
Mezzanine	2390,99	141%	Beraturan
UL2	5924,54	248%	Beraturan
L2	7936,10	134%	Beraturan
UL1	10615,61	134%	Beraturan
L1	13844,08	130%	Beraturan
UGL2	15177,60	110%	Beraturan
UGL1	16298,11	107%	Beraturan

Tabel 5.60 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 1 Sumbu y

Lantai	V_y kN	V_i/V_{i+1}	Keterangan
Upper Roof	49,97		
Roof	1514,66	3031%	Beraturan
Mezzanine	2131,92	141%	Beraturan
UL2	5282,60	248%	Beraturan
L2	7076,20	134%	Beraturan
UL1	9465,38	134%	Beraturan
L1	12344,03	130%	Beraturan
UGL2	13533,06	110%	Beraturan
UGL1	14532,16	107%	Beraturan

f. Peninjauan *drift ratio*

Peninjauan *drift ratio* dilakukan dengan alat bantu *software* ETABS untuk menentukan simpangan maksimum tiap lantainya. Berdasarkan pembahasan sebelumnya terkait identifikasi ketidakberaturan struktur titik tinjauan *drift ratio* dilakukan pada titik-titik segaris di tepi struktur. Penerapan gaya lateral seismik juga tetapkan pada koordinat yang sudah dipengaruh oleh eksentrisitas tambahan yang dihitung sebelumnya. Perhitungan *drift ratio* dilakukan berdasarkan pembasahan sub-sub bab 3.6.8. dengan menggunakan persamaan 3.27 dan 3.28. Contoh perhitungan dalam meninjau *drift ratio* dapat dilihat sebagai berikut.

δe_x UGL 1 = 4,670 mm

δe_x UGL 2 = 9,916 mm

C_d = 5,5

I_e = 1

ρ = 1

Maka simpangan antar tingkat dapat dihitung sebagai berikut.

$$\delta_x \text{ UGL 1} = \frac{(\delta \text{ e UGL 1})}{Ie} C_D = \frac{(4{,}670)}{1} 5.5 = 25{,}685 \text{ mm}$$

$$\delta_x \text{ UGL 2} = \frac{(\delta \text{ e UGL 2})}{Ie} C_D = \frac{(9{,}916)}{1} 5.5 = 54{,}538 \text{ mm}$$

$$\Delta_x \text{ UGL 2} = \delta_x \text{ UGL 2} - \delta_x \text{ UGL 1} = 54{,}538 - 25{,}685 = 28{,}853 \text{ mm}$$

Untuk batas simpangan antar tingkat dapat dihitung sebagai berikut

h UGL 1 = 4 m = 4000 mm

h UGL 2 = 7 m = 7000 mm

$$\Delta_a \text{ UGL 2} = \frac{0.025\, h_{sx}}{\rho} = \frac{0.02\, x\, (7000-4000)}{1} = 80{,}000 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, simpangan antar tingkat pada lantai UGL 2 memenuhi simpangan antar tingkat izin pada lantai tersebut (Δ_x UGL 2 < Δ_a UGL 2). Untuk lantai dan arah lainnya diberlakukan perhitungan yang sama. Berikut merupakan hasil peninjauan *drift ratio* yang ditampilkan pada tabel 5.61 hingga 5.64.

Tabel 5.61 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah x Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqx	δ Eqx	Δx	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	39,143	215,287	23,095	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	34,944	192,192	32,142	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	29,100	160,050	35,123	80,000	Aman
UL2	16	16000	22,714	124,927	5,907	20,000	Aman
L2	15	15000	21,640	119,020	13,371	40,000	Aman
UL1	13	13000	19,209	105,650	23,183	60,000	Aman
L1	10	10000	14,994	82,467	27,929	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,916	54,538	28,853	60,000	Aman
UGL1	4	4000	4,670	25,685	25,685	80,000	Aman

Tabel 5.62 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah x Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	31,652	174,086	15,637	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	28,809	158,450	20,361	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	25,107	138,089	28,243	80,000	Aman
UL2	16	16000	19,972	109,846	4,455	20,000	Aman
L2	15	15000	19,162	105,391	10,879	40,000	Aman
UL1	13	13000	17,184	94,512	20,119	60,000	Aman
L1	10	10000	13,526	74,393	25,179	60,000	Aman
UGL2	7	7000	8,948	49,214	26,142	60,000	Aman
UGL1	4	4000	4,195	23,073	23,073	80,000	Aman

Tabel 5.63 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah y Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	34,560	190,080	10,335	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	32,681	179,746	14,966	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	29,960	164,780	26,895	80,000	Aman
UL2	16	16000	25,070	137,885	7,238	20,000	Aman
L2	15	15000	23,754	130,647	16,561	40,000	Aman
UL1	13	13000	20,743	114,087	28,848	60,000	Aman
L1	10	10000	15,498	85,239	32,533	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,583	52,707	30,822	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,979	21,885	21,885	80,000	Aman

Tabel 5.64 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah y Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	34,975	192,363	12,727	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	32,661	179,636	14,702	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	29,988	164,934	27,209	80,000	Aman
UL2	16	16000	25,041	137,726	7,194	20,000	Aman
L2	15	15000	23,733	130,532	16,489	40,000	Aman
UL1	13	13000	20,735	114,043	28,804	60,000	Aman
L1	10	10000	15,498	85,239	32,511	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,587	52,729	30,822	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,983	21,907	21,907	80,000	Aman

g. Peninjauan *p-delta effect*

Perhitungan dalam peninjauan *p-delta effect* dilakukan berdasarkan persamaan 3.29 dan 3.30. Berdasarkan nilai simpangan antar tingkat yang telah dihitung maka dapat dihitung koefisien stabilitas struktur. Perhitungan koefisien stabilitas dapat dilihat sebagai berikut.

Δ_x UGL 2 = 28,853 mm

P UGL 2 = 74779,5 kN

V_x UGL 2 = 16298,1 kN

$\theta_{maks} = \frac{0.5}{\beta Cd} = \frac{0.5}{1.5.5} = 0.091$

θ UGL 2 $= \frac{P.\Delta.Ie}{V.hsx.Cd} = \frac{74779{,}5\ .\ 28{,}853\ .\ 1}{16298{,}1\ .(\ 7000-4000)\ .\ 5.5} = 0{,}005\ (<\theta_{maks})$

Berdasarkan perhitungan di atas, koefisien stabilitas pada lantai UGL 2 memenuhi persyaratan yaitu θ UGL 2 < θ_{maks}. Untuk lantai dan arah lainnya diberlakukan perhitungan yang sama. Berikut merupakan hasil perhitungan koefisien stabilitas yang ditampilkan pada tabel 5.65 hingga 5.68.

Tabel 5.65 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah x Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	302,7	56,0	1	5,5	0,008	0,091	Aman
Roof	10027,6	1698,7	1	5,5	0,011	0,091	Aman
Mezzanine	4876,7	2391,0	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	45761,5	5924,5	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L2	25530,1	7936,1	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UL1	44249,2	10615,6	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L1	71300,4	13844,1	1	5,5	0,009	0,091	Aman
UGL2	45645,6	15177,6	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	74779,5	16298,1	1	5,5	0,005	0,091	Aman

Tabel 5.66 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah x Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	302,7	56,0	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Roof	10027,6	1698,7	1	5,5	0,007	0,091	Aman
Mezzanine	4876,7	2391,0	1	5,5	0,003	0,091	Aman

Lanjutan Tabel 5.66 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah x Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
UL2	45761,5	5924,5	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L2	25530,1	7936,1	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL1	44249,2	10615,6	1	5,5	0,005	0,091	Aman
L1	71300,4	13844,1	1	5,5	0,008	0,091	Aman
UGL2	45645,6	15177,6	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	74779,5	16298,1	1	5,5	0,005	0,091	Aman

Tabel 5.67 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah y Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	302,7	50,0	1	5,5	0,004	0,091	Aman
Roof	10027,6	1514,7	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Mezzanine	4876,7	2131,9	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	45761,5	5282,6	1	5,5	0,011	0,091	Aman
L2	25530,1	7076,2	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	44249,2	9465,4	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L1	71300,4	12344,0	1	5,5	0,011	0,091	Aman
UGL2	45645,6	13533,1	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UGL1	74779,5	14532,2	1	5,5	0,005	0,091	Aman

Tabel 5.68 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 1 Arah y Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	302,7	50,0	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Roof	10027,6	1514,7	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Mezzanine	4876,7	2131,9	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	45761,5	5282,6	1	5,5	0,011	0,091	Aman
L2	25530,1	7076,2	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	44249,2	9465,4	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L1	71300,4	12344,0	1	5,5	0,011	0,091	Aman
UGL2	45645,6	13533,1	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UGL1	74779,5	14532,2	1	5,5	0,005	0,091	Aman

4. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur

   Proses analisis tahap 2 dilakukan sesuai dengan penjelasan pada sub bab 3.6. Berikut penjabaran tahapan analisis tahap 2 yang dilakukan.

a. Faktor redundansi

Untuk penentuan faktor redundansi pada model *trial*, dikarenakan tidak ada ketidakberaturan horizontal berlebihan (horizontal tipe 1.b) maka faktor redundansi perlu ditentukan dengan cara meninjau gaya geser tingkat pada setiap lantai pada saat kehilangan tahanan momen pada sambungan balok-kolom di kedua ujung suatu balok tunggal pada setiap arah sumbu. Identifikasi ini dilakukan dengan bantuan *software* ETABS. Berikut merupakan hasil peninjauan yang dimaksud.

Tabel 5.69 Rekapitulasi Peninjauan Gaya Geser Tingkat untuk Penentuan Nilai Faktor Redundansi *Trial* 1

Lantai	$V_{x\ (awal)}$	$V_{x\ (tinjauan)}$	$V_{y(awal)}$	$V_{y(tinjauan)}$	Rasio	Rasio
	kN	kN	kN	kN	(x)	(y)
Upper Roof	61,83	62,97	66,37	69,35	2%	4%
Roof	1725,09	1707,99	1792,58	1812,45	1%	1%
Mezzanine	2331,93	2376,31	2439,64	2468,46	2%	1%
UL2	5361,79	5241,40	5122,92	5119,51	2%	0%
L2	7269,36	7067,96	6977,27	6955,03	3%	0%
UL1	9952,32	9619,17	9268,16	9216,60	3%	1%
L1	13409,69	12968,84	12287,60	12199,60	3%	1%
UGL2	14952,30	14402,06	13558,79	13463,38	4%	1%
UGL1	16298,11	15502,84	14532,16	14438,01	5%	1%

Berdasarkan tabel di atas nilai gaya geser tingkat yang ditinjau pada kondisi yang telah disebutkan sebelumnya tidak mengakibatkan reduksi kekuatan lebih dari 33% dan tidak mengakibatkan ketidakberaturan horizontal tipe 1.b. Maka dari itu nilai faktor redundansi yang digunakan bernilai 1.

b. Desain respons spektrum

Pada tahap ini desain respons spektrum dilakukan dengan menentukan periode detik ke – 0 dan periode pendek untuk menentukan respons spektrum desain yang akan diterapkan pada model struktur. Perhitungan periode detik ke – 0 hingga respons spektrum desain dilakukan berdasarkan pembahasan sub-sub bab 3.6.3. Berikut merupakan perhitungan yang dimaksud.

$$T_0 = 0{,}2\ \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0{,}2\ \frac{0{,}7521}{0{,}5125} = 0{,}136 \text{ detik}$$

T_s $= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,7521}{0,5125} = 0,68$ detik

T_L $= 8$ detik

Berdasarkan nilai periode detik ke-0 dan periode pendek yang diperoleh, dapat ditentukan respons spektrum desain (S_a). Perhitungan respons spektrum desain dilakukan pada tiga kondisi berdasarkan pembahasan pada sub-sub bab 3.6.3. berikut merupakan contoh perhitungan desain respons spektrum yang dimaksud.

1) S_a saat nilai $T < T_0$

$$S_a = S_{ds}\,(0,4 + 0,6\frac{T}{T_0}) = 0,7521\,(0,4 + 0,6\frac{0,135}{0,136}) = 0,748 \text{ g}$$

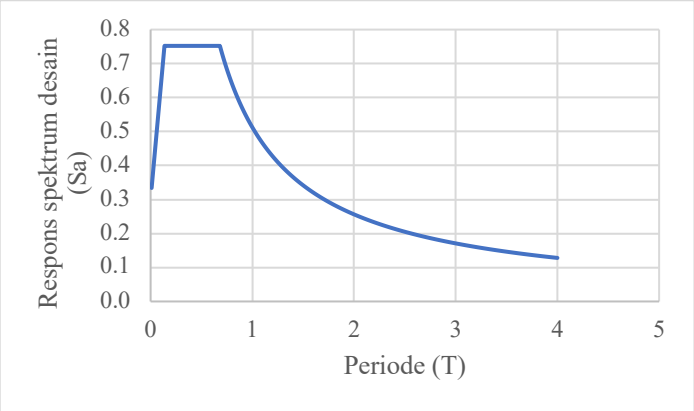
2) S_a saat nilai $Ts \geq T \geq T_0$

$$S_a = S_{DS} = 0,7521 \text{ g}$$

3) S_a saat nilai $T_L \geq T \geq T_s$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,7521}{0,7} = 0,732 \text{ g}$$

Perhitungan tersebut dilakukan di setiap nilai dari setiap periode pada 3 kondisi sesuai dengan pembahasan sebelumnya. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan nilai respons spektrum desain dapat diplot dalam 1 grafik. Berikut merupakan grafik antara nilai respons spektrum desain pada masing-masing periode yang ditampilkan pada gambar 5.2.



Gambar 5.3 Nilai Respons Spektrum Desain (Sa) Pada Setiap Periode

c. Detail Kombinasi Beban Ortogonal

Sesuai dengan pembahasan sebelumnya kombinasi beban ortogonal dipengaruhi oleh efek gempa vertikal dan efek gempa horizontal. Untuk efek gempa vertikal nilai kombinasi yang digunakan pada beban ortogonal dipengaruhi oleh parameter percepatan gempa pada periode pendek. Berdasarkan perhitungan parameter percepatan gempa pada periode pendek yang telah dihitung sebelumnya, berikut merupakan detail kombinasi ortogonal yang digunakan sesuai dengan pembahasan sub-sub bab 3.6.1.

$(1,2 + 0,2\ S_{DS})\ D \pm 1\ \rho\ Qx \pm TT \pm 0,3\ \rho\ Qy \pm 0.5\ L \rightarrow$ persamaan 3.3.6

$= (1,2 + 0,2\ .\ 0,752)\ D \pm 1\ \rho\ Qx \pm TT \pm 0,3\ \rho\ Qy \pm 0.5\ L$

$= 1,3504\ \mathrm{D} \pm 1\ Qx \pm TT \pm 0,3\ \ Qy \pm 0.5\ L$

$(0,9D - 0,2\ S_{DS})\ D \pm 1\ \rho\ Qx \pm TT \pm 0,3\ \rho\ Qy \rightarrow$ persamaan 3.3.7

$= (0,9D - 0,2\ .\ 0,752)\ D \pm 1\ \rho\ Qx \pm TT \pm 0,3\ \rho\ Qy$

$= 0,7496\ D \pm 1\ Qx \pm TT \pm 0,3\ Qy$

Kedua persamaan tersebut apabila didetailkan sesuai dengan persamaan 3.49 hingga persamaan 3.80. Kombinasi sejumlah 32 persamaan tersebut akan digunakan pada tahap ini untuk *checking* kinerja final dan untuk memperoleh gaya dalam elemen struktur.

d. Penggunaan Skala Gaya

Pada tahap ini gaya geser dasar yang dihasilkan oleh beban gempa respons spektrum akan diskalakan sejumlah 100% gaya geser dasar statik yang telah ditentukan sebelumnya. Gaya geser dasar dinamik (V_t) diperoleh dengan alat bantu *software* ETABS. Berikut merupakan perhitungan penggunaan skala gaya yang dimaksud.

$V_{(sumbu\ x)} = 16298,11$ kN

$V_{(sumbu\ y)} = 14532,16$ kN

$V_{t\ (sumbu\ x)} = 14686,4776$ kN

$V_{t\ (sumbu\ y)} = 9812,8778$ kN

$I/R \cdot g$ = 1226,25 mm/s^2

Berdasarkan nilai tersebut maka didapatkan gaya geser dasar dinamik (V_t) yang sudah diskalakan dengan gaya geser dasar statik (V). Maka nilai skala gaya yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\frac{V\ (sumbu\ x)}{Vt\ (sumbu\ x)} = \frac{16298{,}11}{14686{,}4776} = 1{,}109$$

Perhitungan tersebut dilakukan untuk kedua arah sumbu yang ditinjau. Berikut merupakan hasil penggunaan skala gaya yang dimaksud ditampilkan pada tabel 5.70.

Tabel 5.70 Penggunaan Skala Gaya Geser Dasar Struktur *Trial* 1

Arah Sumbu	Gaya Geser Dasar Statik (kN)	Skala Gaya	Skala baru, *I/R* . g (mm/s^2)
Sumbu x	16298,11	1,109735802	1360,813527
Sumbu y	14532,16	1,48092744	1815,987273

e. Peninjauan *drift ratio*

Perhitungan *drfit ratio* tahap 2 pada model *trial* 1 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada tahap 1 model ini. Berikut merupakan hasil peninjauan *drift ratio* yang ditampilkan pada tabel 5.71 hingga 5.74.

Tabel 5.71 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah x Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqx	δ Eqx	Δx	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	42,034	231,187	24,409	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	37,596	206,778	33,704	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	31,468	173,074	35,525	80,000	Aman
UL2	16	16000	25,009	137,550	6,149	20,000	Aman
L2	15	15000	23,891	131,401	14,069	40,000	Aman
UL1	13	13000	21,333	117,332	25,069	60,000	Aman
L1	10	10000	16,775	92,263	31,004	60,000	Aman
UGL2	7	7000	11,138	61,259	32,423	60,000	Aman
UGL1	4	4000	5,243	28,837	28,837	80,000	Aman

Tabel 5.72 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah x Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	35,101	193,056	17,067	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	31,998	175,989	22,358	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	27,933	153,632	28,881	80,000	Aman
UL2	16	16000	22,682	124,751	4,873	20,000	Aman
L2	15	15000	21,796	119,878	11,902	40,000	Aman
UL1	13	13000	19,632	107,976	22,413	60,000	Aman
L1	10	10000	15,557	85,564	28,655	60,000	Aman
UGL2	7	7000	10,347	56,909	30,190	60,000	Aman
UGL1	4	4000	4,858	26,719	26,719	80,000	Aman

Tabel 5.73 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah y Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	35,413	194,772	10,527	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	33,499	184,245	14,454	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	30,871	169,791	26,587	80,000	Aman
UL2	16	16000	26,037	143,204	7,293	20,000	Aman
L2	15	15000	24,711	135,911	16,847	40,000	Aman
UL1	13	13000	21,648	119,064	29,618	60,000	Aman
L1	10	10000	16,263	89,447	33,913	60,000	Aman
UGL2	7	7000	10,097	55,534	32,401	60,000	Aman
UGL1	4	4000	4,206	23,133	23,133	80,000	Aman

Tabel 5.74 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah y Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	35,718	196,449	12,238	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	33,493	184,212	14,179	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	30,915	170,033	26,840	80,000	Aman
UL2	16	16000	26,035	143,193	7,282	20,000	Aman
L2	15	15000	24,711	135,911	16,825	40,000	Aman
UL1	13	13000	21,652	119,086	29,618	60,000	Aman
L1	10	10000	16,267	89,469	33,913	60,000	Aman
UGL2	7	7000	10,101	55,556	32,401	60,000	Aman
UGL1	4	4000	4,210	23,155	23,155	80,000	Aman

f. Peninjauan *p-delta effect*

Perhitungan *p-delta effect* tahap 2 pada model *trial* 1 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada tahap model ini. Berikut merupakan hasil perhitungan koefisien stabilitas yang ditampilkan pada tabel 5.75 hingga 5.78.

Tabel 5.75 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah x Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	302,7	56,0	1	5,5	0,009	0,091	Aman
Roof	10027,6	1698,7	1	5,5	0,011	0,091	Aman
Mezzanine	4876,7	2391,0	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	45761,5	5924,5	1	5,5	0,009	0,091	Aman
L2	25530,1	7936,1	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UL1	44249,2	10615,6	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L1	71300,4	13844,1	1	5,5	0,010	0,091	Aman
UGL2	45645,6	15177,6	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UGL1	74779,5	16298,1	1	5,5	0,006	0,091	Aman

Tabel 5.76 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah x Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	302,7	56,0	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Roof	10027,6	1698,7	1	5,5	0,007	0,091	Aman
Mezzanine	4876,7	2391,0	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	45761,5	5924,5	1	5,5	0,007	0,091	Aman
L2	25530,1	7936,1	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL1	44249,2	10615,6	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L1	71300,4	13844,1	1	5,5	0,009	0,091	Aman
UGL2	45645,6	15177,6	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UGL1	74779,5	16298,1	1	5,5	0,006	0,091	Aman

Tabel 5.77 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah y Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	302,7	50,0	1	5,5	0,004	0,091	Aman
Roof	10027,6	1514,7	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Mezzanine	4876,7	2131,9	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	45761,5	5282,6	1	5,5	0,011	0,091	Aman

Lanjutan Tabel 5.77 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah y Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
L2	25530,1	7076,2	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UL1	44249,2	9465,4	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L1	71300,4	12344,0	1	5,5	0,012	0,091	Aman
UGL2	45645,6	13533,1	1	5,5	0,007	0,091	Aman
UGL1	74779,5	14532,2	1	5,5	0,005	0,091	Aman

Tabel 5.78 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 1 Arah y Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	302,7	50,0	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Roof	10027,6	1514,7	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Mezzanine	4876,7	2131,9	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	45761,5	5282,6	1	5,5	0,011	0,091	Aman
L2	25530,1	7076,2	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UL1	44249,2	9465,4	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L1	71300,4	12344,0	1	5,5	0,012	0,091	Aman
UGL2	45645,6	13533,1	1	5,5	0,007	0,091	Aman
UGL1	74779,5	14532,2	1	5,5	0,005	0,091	Aman

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat *drift ratio* struktur *trial* 1 memenuhi persyaratan simpangan antar tingkat izin dan persyaratan koefisien stabilitas maksimum sehingga dapat dilanjutkan untuk melakukan tahap desain elemen struktur.

5. Desain Elemen Struktur

Elemen struktur yang digunakan pada tahap analisis struktur *trial* 1 merupakan elemen struktur yang sudah dimodifikasi untuk dapat memenuhi persyaratan yang sudah dijelaskan sebelumnya. Setelah desain tulangan lentur balok di desain untuk keperluan data material dalam meninjau SCWB dilakukan perhitungan desain dan analisis tulangan pokok kolom. Berdasarkan desain yang sudah ditentukan spesifikasi material elemen struktur *trial* 1 ditampilkan pada tabel 5.79 berikut.

Tabel 5.79 Spesifikasi Mutu Material Struktur *Trial* 1

F'c Balok (MPa)	F'c Kolom (MPa)	Fy pokok (MPa)	Fy sengkang (MPa)
30	35	420	400

a. Perhitungan tulangan pokok kolom

Desain dan analisis kebutuhan tulangan pokok kolom dilakukan berdasrkan pembahasan sub -bab 3.7. Berikut merupakan contoh perhitungan desain kolom pada tipe kolom K44A untuk arah x.

Data Material :

Lebar kolom (B) untuk arah x = 30 cm = 300 mm

Tebal kolom (H) untuk arah x = 40 cm = 400 mm

Kuat tekan beton, $f'c$ = 35 MPa = 357 kg/cm^2

Kuat leleh baja tulangan, fy = 420 MPa = 4284 kg/cm^2

Modulus elastisitas baja, Es = 2100000 kg/cm^2

Regangan leleh beton, εc = 0,003

Regangan leleh baja, εy $= \frac{fy}{Es} = \frac{4284}{2100000} = 0{,}00204$

Diameter Tulangan Longitudinal, Dp = 25 mm

Luas 1 Tulangan Longitudinal, Ad = 4,908 cm^2

Jumlah Tulangan Pokok Pakai = 3 buah tulangna

Luas Tulangan Pakai = 3 x 4,90 = 14,73 cm^2

Diameter Sengkang Ds = 10 mm

Selimut Beton, Sb = 4 cm

$d = Sb + Ds + (0{,}5 \,.\, Dp) = 4 + 1 + (0{,}5 \,.\, 2{,}5) = 6{,}25$ cm

$d' = Sb + Ds + (0{,}5 \,.\, Dp) = 4 + 1 + (0{,}5 \,.\, 2{,}5) = 6{,}25$ cm

$h = ht$ – d = 400 – 6,25 = 33,75

Jumlah tul. 1-sisi n = 3

1) Kondisi aksial tekan sentris dilakukan berdasarkan persamaan 3.81.

Pn $= (0{,}85 \,.\, f'c \,.\, bt \,.\, ht) + ((\text{A.Tul pakai} \,.\, 2) \,.\, (fy - 0{,}85 \text{ x } f'c)$

$= (0{,}85 \,.\, 357 \,.\, 30 \,.\, 40) + ((14{,}73 \,.\, 2) \,.\, (4284 - 0{,}85 \,.\, 357)$

$= 481376{,}875$ kg = 481,377 T

Mn = 0

2) Kondisi *strain balance* (regangan seimbang) dilakukan berdasarkan persamaan 3.82 hingga 3.90.

$\beta 1 = 0{,}85 - \frac{f'c-28}{7} \cdot 0{,}05 = 0{,}85 - \frac{35-28}{7} \cdot 0{,}05 = 0{,}8$

$cb = \frac{\varepsilon c}{(\varepsilon c + \varepsilon y)} \cdot h = \frac{0{,}003}{(0{,}003 + 0{,}00204)} \cdot 33{,}75 = 20{,}08$ cm

$ab = \beta 1$ x $cb = 0{,}80 \cdot 20{,}08 = 16{,}071$ cm

$\varepsilon s' = \frac{(Cb-d')}{Cb} \cdot \varepsilon c = \frac{(22{,}08-6{,}25)}{22{,}08} \cdot 0{,}003 = 0{,}00207$ (Baja Desak Leleh)

maka $fs' = fy$

$\varepsilon s = \frac{(h-Cb)}{Cb} \cdot \varepsilon c = \frac{(33{,}75-22{,}08)}{22{,}08} \cdot 0{,}003 = 0{,}00204$ (Baja Tarik Leleh)

maka $fs = fy$

$C_{cb} = 0{,}85 \cdot f'c \cdot ab \cdot bt = 0{,}85 \cdot 357 \cdot 16{,}071 \cdot 30 = 146306{,}250$ kg

$C_{sb} =$ A Tul Pakai $\cdot (fy - 0{,}85 \cdot f'c) = 14{,}73 \cdot (4284 - 0{,}85 \cdot 357)$

$= 58618{,}43$ kg

$T_{sb} =$ A. Tul pakai $\cdot fy = 14{,}73 \cdot 4284 = 63087{,}107$ kg

$Pn = C_{cb} + C_{sb} - T_{sb} = 146306{,}250 + 58618{,}43 - 63087{,}107$

$= 141837{,}580$ kg $= 141{,}838$ T

$Mn = Cc \cdot \left(\frac{ht}{2} - \frac{a}{2}\right) + Cs \cdot \left(\frac{ht}{2} - d'\right) + Ts \cdot \left(\frac{ht}{2} - d\right)$

$= 146306{,}250 \cdot \left(\frac{40}{2} - \frac{16{,}071}{2}\right) + 58618{,}43 \cdot \left(\frac{40}{2} - 6{,}25\right) + 63087{,}107 \cdot \left(\frac{40}{2} - 6{,}25\right)$

$= 3423901{,}018$ Kgcm $= 34{,}239$ Tm

$eb = \frac{Mn}{Pn} = \frac{34{,}239}{141{,}838} = 0{,}24140$ m

3) Kondisi Patah Desak ditentukan berdasarkan persamaan 3.82 hingga 3.90. Agar terjadi pada desak, diambil faktor pengali Cb' > 1 digunakan 1,2.

$c = cb \cdot 1{,}2 = 20{,}089 \cdot 1{,}2 = 24{,}107$ cm

$a = \beta 1 \cdot cb = 0{,}8 \cdot 24{,}107 = 19{,}286$ cm

$\varepsilon s' = \frac{(C-d')}{C} \cdot \varepsilon c = \frac{(24{,}107-6{,}25)}{24{,}107} \cdot 0{,}003 = 0{,}00222$ (Baja Desak Leleh)

Maka maka $fs' = fy$

$\varepsilon s = \frac{(h-C)}{C} \cdot \varepsilon c = \frac{(33{,}75-24{,}107)}{24{,}107} \cdot 0{,}003 = 0{,}0012$ (Baja Tarik Belum Leleh)

Maka $fs = \varepsilon s \; Es$

C_c = 0,85 . $f'c$. a . bt = 0,85 . 357 . 19,286 . 30 = 175567,500 kg

C_s = A Tul Pakai . (fy – 0,85 . $f'c$) = 14,73 . (4284 – 0,85 . 357)

= 58618,43 kg

T_s = A. Tul pakai x εs x Es = 14,73 . 0,0012 . 2100000 = 37110,063 kg

Pn = C_c + C_s - T_s = 175567,500 + 58618,43 – 37110,063

= 197075,874 kg = 197,078 T

$$Mn = Cb \cdot \left(\frac{ht}{2} - \frac{a}{2}\right) + Cs \cdot \left(\frac{ht}{2} - d'\right) + Ts \cdot \left(\frac{ht}{2} - d\right)$$

$$= 175567{,}500 \cdot \left(\frac{40}{2} - \frac{19{,}286}{2}\right) + 58618{,}43 \cdot \left(\frac{40}{2} - 6{,}25\right) + 37110{,}063 \cdot \left(\frac{40}{2} - 6{,}25\right)$$

= 3134644,562 Kgcm = 31,346 Tm

$$e = \frac{Mn}{Pn} = \frac{31{,}346}{197{,}078} = 0{,}15906 \text{ m}$$

4) Kondisi Patah Tarik ditentukan berdasarkan persamaan 3.82 hingga 3.90. Agar terjadi patah tarik, maka diambil faktor pengali cb' < 1 digunakan 0,8.

c = cb . 0,8 = 20,089 . 0,8 = 16,071 cm

a = $\beta 1$. cb = 0,8 . 16,071 = 12,857 cm

$$\varepsilon s' = \frac{(C - d')}{C} \cdot \varepsilon c = \frac{(16{,}071 - 6{,}25)}{16{,}071} \cdot 0{,}003 = 0{,}0018$$ (Baja Desak Belum Leleh)

Maka $fs' = \varepsilon s' Es$

$$\varepsilon s = \frac{(h - C)}{C} \; x \; \varepsilon c = \frac{(33{,}75 - 16{,}071)}{16{,}071} \; x \; 0{,}003 = 0{,}00330$$ (Baja Tarik Leleh)

Maka $fs = fy$

C_c = 0,85 . $f'c$. a . bt = 0,85 . 357 . 12,857. 30 = 117045,00 kg

C_s = A Tul Pakai . (fs' – 0,85 . $f'c$)

= 14,73 . (0,00183 . 2100000 – 0,85 . 357) = 52227,259 kg

T_s = A. Tul pakai . fy = 14,73 . 4284 = 63087,107 kg

Pn = C_c + C_s - T_s

= 117045,00 + 52227,259 – 63087,107

= 106185,152 kg

= 106,185 T

$$Mn = Cc \cdot \left(\frac{ht}{2} - \frac{a}{2}\right) + Cs \cdot \left(\frac{ht}{2} - d'\right) + Ts \cdot \left(\frac{ht}{2} - d\right)$$

$= 117045{,}00 \cdot \left(\frac{40}{2} - \frac{12{,}857}{2}\right) + 52227{,}26 \cdot \left(\frac{40}{2} - 6{,}25\right) + 63087{,}11 \cdot \left(\frac{40}{2} - 6{,}25\right)$

$= 3174040{,}407$ Kgcm

$= 31{,}740$ Tm

$e = \frac{Mn}{Pn} = \frac{31{,}740}{106{,}185} = 0{,}2989\ m$

5) Kondisi Lentur Murni ditentukan berdasarkan persamaan 3.91 dan 3.92.

$Cc = 0{,}85 \cdot ht \cdot fy = 0{,}85 \cdot 40 \cdot 4284 = 12138{,}000$ a

Ts = A. Tul Pakai . $fy = 14{,}73 \cdot 4284 = 63087{,}108$ kg

Cs = A+B

A $= 0{,}85 \cdot f'c \cdot bt = 0{,}85 \cdot 357 \cdot 30 = 9103{,}500\ a^2$

B = -(A. Tul . n Tul pakai . fy) + (A. Tul . n Tul pakai . $\varepsilon c \cdot Es$)

$= -(4{,}90 \cdot 3 \cdot 4282) + (4{,}90 \cdot 3 \cdot 0{,}003 \cdot 2100000)$

$= 29688{,}051$ a

C = -(A. Tul pakai . $\beta \cdot d \cdot \varepsilon c \cdot Es$

$= -(14{,}73 \cdot 0{,}8 \cdot 6{,}25 \cdot 0{,}003 \cdot 2100000)$

$= -463875{,}791$

$a = 5{,}692$ cm

$c = \frac{a}{\beta} = \frac{5{,}692}{0{,}8} = 7{,}115$ cm

$\varepsilon s = \frac{(C - d')}{C} \cdot \varepsilon c = \frac{(7{,}115 - 6{,}25)}{7{,}115} \cdot 0{,}003 = 0{,}00036$ (Baja Desak Belum Leleh)

$Cc = 0{,}85 \cdot f'c \cdot a \cdot b = 0{,}85 \cdot 357 \cdot 5{,}962 \cdot 30 = 51813{,}595$ kg

Cs = A.Tul pakai . $\varepsilon s \cdot Es = 14{,}73 \cdot (0{,}00036)$ x $2100000 = 11273{,}512$ kg

$Mn = Cc \cdot \left(h' - \frac{a}{2}\right) + Cs \cdot (h - d')$

$= 51813{,}595 \cdot \left(33{,}25 - \frac{5{,}692}{2}\right) + 11273{,}512 \cdot (33{,}25 - 6{,}25)$

$= 1911278{,}970$ kgcm = 19,113 Tm

6) Kondisi Tarik Murni ditentukan berdasaran persamaan 3.93.

Pn = -(A.Tul pakai x 2) x fy = -(14,73 x 2) x 4284

= -126174,215 Kg = -126,174 T

Perhitungan tersebut digunakan juga untuk tulangan dengan jumlah 4 dan 5 pada satu sisi. Berdasarkan hasil analisis program ETABS didapatkan nilai *Mu* dan *Pu* kolom berturut-turut senilai 7,863 Tm dan 88,048 Ton maka nilai berdasarkan nilai eksesntrisitas gaya kondisi yang terjadi pada kolom yang didesain adalah sebagai berikut

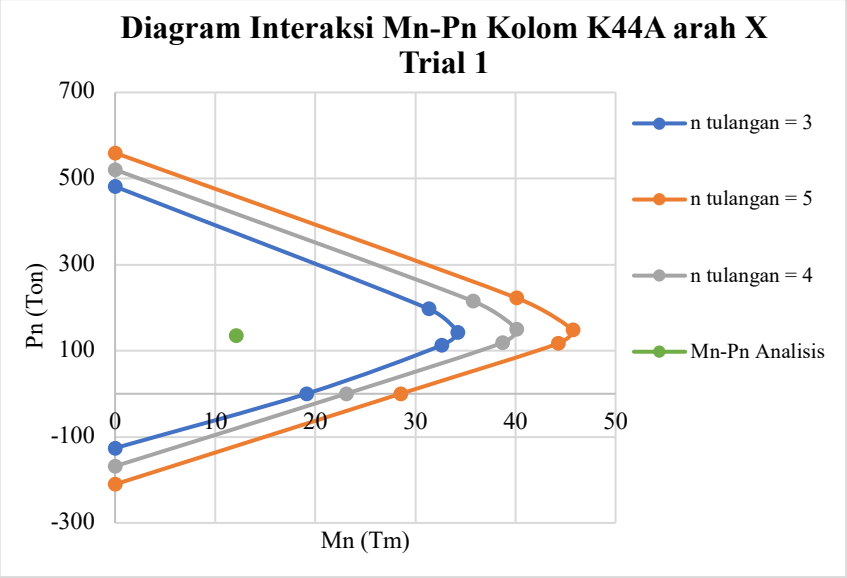
$e = \frac{Mu}{Pu} = \frac{7{,}863}{88{,}048} = 0{,}089$ m (Kondisi patah desak $e < eb$, baja tarik belum leleh)

Berdasarkan pembahasan pada sub bab 3.7 dapat dihitung nilai M_n-P_n hasil analisis program ETABS dengan menggunakan nilai faktor reduksi kekuatan, $\phi = 0{,}65$

$Mn = \frac{Mn}{\phi} = \frac{7{,}863}{0{,}65} = 12{,}097$

$Pn = \frac{Pn}{\phi} = \frac{88{,}048}{0{,}65} = 135{,}459$

Nilai-nilai tersebut apabila dibentuk dalam satu grafik maka menghasilkan diagram *Mn-Pn* kolom. Berikut merupakan grafik yang dimaksud yang ditampilkan pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik *Mn-Pn* kolom K44A *Trial* 1

Berdasarkan grafik *Mn-Pn* di atas maka jumlah 3 tulangan memenuhi kebutuhan dari kombinasi gaya aksial dan gaya momen yang bekerja. Maka dari itu jumlah

tulangan pada sisi dengan arah x digunakan sebanyak 3 buah tulangan. Berdasarkan perhitungan yang sama didapatkan jumlah tulangan untuk arah y pada satu sisi sejumlah 5 buah tulangan. Maka dari itu rasio tulangan (ρ) adalah sebagai berikut.

$$\rho = \frac{A\ tulangan\ pakai}{A\ kolom} = \frac{12\ .4{,}90}{40\ .30} = \frac{58{,}905}{1200} = 4{,}909\%$$

Kemudian ditinjau SCWB untuk arah x. Peninjauan SCWB dilakukan berdasarkan nilai nominal balok pada arah yang ditinjau. Berdasarkan hasil desain dan analisis yang dilakukan didapatkan nilai nominal balok yang ditinjau adalah 25,254 Tm pada satu sisi. Menurut NEHRP *Seismic Design Technical Brief* No. 1 pada sub-sub bab 5.5.2 nilai *Mn* kolom ditinjau berdasarkan gaya aksial maksimum. Maka peninjauan SCWB adalah sebagai berikut.

Mn kolom = 34.153 Tm (berdasarkan grafik *Mn-Pn*)

Mn balok = 25.254 Tm (pada satu sisi untuk arah x berdasarkan denah)

1,2 . Σ*Mn* balok = 30.305 Tm

ΣMn kolom = 2 . 34.153 = 68.308 Tm

Σ*Mn* kolom > 1,2 . Σ*Mn* balok

Menurut peninjauan SCWB di atas desain kolom yang dilakukan memenuhi prinsip SCWB. Perhitungan yang sama dilakukan pada setiap kolom untuk arah y sesuai denah pada model.

b.Perhitungan tulangan transversal kolom

Kemudian dilakukan desain tulangan transversal kolom. perhitungan tulangan transversal kolom dilakukan sesuai dengan pembasahan pada sub bab 3.7. Berikut merupakan contoh perhitungan desain tulangan transversal kolom pada kolom tipe K44A untuk arah x.

Data material :

Tinggi kolom = 3 m

h balok atas = 70 cm

h balok bawah = 70 cm

h arah x = ht – sb - $\frac{Ds}{10}$ – $\left(\frac{\frac{Dpokok}{10}}{2}\right)$ = 40 – 4 – $\frac{10}{10}$ – $\left(\frac{\frac{25}{10}}{2}\right)$ = 33,75 cm

b arah x = b – sb - $\frac{Ds}{10}$ – $\left(\frac{\frac{Dpokok}{10}}{2}\right)$ = 30 – 4 – $\frac{10}{10}$ – $\left(\frac{\frac{25}{10}}{2}\right)$ = 23,75 cm

Lu=Lb = Tinggi – 0,5 x h balok atas x 10^{-2} – 0,5 x h balok bawah x 10^{-2}

= 3 – 0,5 x 70 x 10^{-2} – 0,5 x 70 x 10^{-2} = 2,3 m

hx = ht – 2 x *sb* = 40 – 2 x 4 = 32 cm

hy = b – 2 x *sb* = 30 – 2 x 4 = 22 cm

hc = ht – 2 x *sb* – $\frac{Ds}{10}$ = 40 – 2 x 4 – $\frac{10}{10}$ = 31 cm

bc = b – 2 x *sb* – $\frac{Ds}{10}$ = 30 – 2 x 4 – $\frac{10}{10}$ = 21 cm

f'c/fy = $\frac{357}{4080}$ = 0,875

Ad = $\frac{1}{4}$ x π x Ds^2 = $\frac{1}{4}$ x π x $(\frac{10}{10})^2$ = 0,785 cm^2

Nu / Beban Pu dari ETABS = 88,05 ton

λ = 1 (beton biasa)

Ag = b x ht = 30 x 40= 1200 cm^2

Ach = hx x hy = 32 x 22 = 704 cm^2

Ag/Ach = $\frac{1200}{704}$ = 1,705

Syarat Jarak Spasi

¼ dimensi = $\frac{1}{4}$ x 30 = 7,5 cm

6 tul longitudinal = 6 x $\frac{25}{10}$ = 15 cm

100 mm = $\frac{100+\left(\frac{350-hx}{3}\right)}{10}$ = $\frac{100+\left(\frac{350-32}{3}\right)}{10}$ = 20,6 cm

S pakai = 10 cm

1)Perhitungan jarak sengkang untuk tumpuan

Untuk menentukan jarak sengkang yang dibutuhkan diperlukan kondisi *Pu*/(*f'c*.Ag).

Pu/(*f'c*.Ag) = $\frac{88,65}{357.1200}$ = 0,206 < 0,3

Maka luas tulangan transversal untuk tumpuan adalah nilai terbesar dari

a) 0,3 . (*s* . *bc*) . ($\frac{f'c}{fyt}$) . ($\frac{Ag}{Ach}$-1)

b) 0,9 . (*s* . *bc*) . ($\frac{f'c}{fyt}$)

Digunakan jarak sengkang 10 cm. Sehingga nilai luas tulangan sengkang (A_{sh}) adalah sebagai berikut.

a) 0,3 . (*s* . *bc*) . ($\frac{f'c}{fyt}$) . ($\frac{Ag}{Ach}$-1) = 0,3 (10 . 21) . 0,875 (1,705 - 1)

= 4,068 cm2

b) 0,9 . (*s* . *bc*) . ($\frac{f'c}{fyt}$) = 0,9 (10 . 21) . 0,875

= 1,732 cm2

Maka luas tulangan untuk sengkang pada tumpuan (A_{sh}) digunakan 4,068 cm2.

Kemudian ditentukan jumlah kaki yang digunakan pada sengkang adalah sebagai berikut.

$n = \frac{Ash}{Ad} = \frac{4,068}{0,785} = 5,180 \approx 6$ kaki

Maka untuk tulangan transversal kolom K44A pada tumpuan digunanakan 6D10 – 100 .

2)Perhitungan tulangan transversal pada lapangan

V = 13.56 Ton (Berdasarkan nilai $M_{prbalok}$)

V = 5,21 Ton (Berdasarkan nilai program analisis)

Peninjauan kondisi Vc

0,5 *V* Analisis = 0,5 . 5,21

= 2,6084

V $M_{prbalok}$ > 0,5 *V* Analisis (Memenuhi Vc = 0)

$$Pu < \frac{Ag\ .\ f'c}{20}$$

$$88,05\ .1000 < \frac{1200\ .\ 357}{20}$$

88050 > 21420 (Tidak Memenuhi $Vc = 0$)

maka Vc≠ 0

$\emptyset = 0{,}75$

$Vn = \frac{Vu}{\emptyset} = \frac{13.56}{0{,}75} = 18.085$ Ton

$$Vc = 0.17.\left(1 + \left(\frac{Nu}{14 \times Ag}\right)\right).\lambda\,.\,f'^{c^{0,5}}.b.h$$

$$= 0.17.\left(1 + \left(\frac{88050}{14\times1200}\right)/10{,}2\right).1.25'^{c^{0,5}}.40.10\,.\,33{,}75.10$$

$$= 205537.525\ N = 20.952\ \text{Ton}$$

$Vs = Vn - Vc = 18.085 - 20.952 = -2.867$ ton

$n = 2$ Kaki

$Av = 2\,.\,Ad = 4\,.\,0{,}7854 = 1{,}57$ cm2

Berdasarkan jumlah kaki (n) yang digunakan jarak antar kaki sengkang diketahui 21 cm (<35cm). Jarak antar kaki memenuhi. Dikarenakan Vs < 0 maka syarat jarak tulangan transversal ditentukan persyaratan jarak spasi dan jarak antar kaki.

Maka tulangan transversal yang digunakan adalah 2D10 – 100

Seluruh perhitungan kebutuhan tulangan di atas dilakukan untuk keseluruhan tipe kolom dengan pada kedua arah yang ditinjau. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan berikut ini merupakan rekapitulasi detail elemen kolom struktur *trial* 1 yang akan di optimalisasi menggunakan metode ANN yang ditampilkan pada tabel 5.80 berikut.

Tabel 5.80 Rekapitulasi Spesifikasi Elemen Struktur *Trial* 1

No	Kodefikasi Kolom	Lebar kolom (mm)	Tebal Kolom (mm)	Tulangan Pokok	Tulangan Transversal Tumpuan (x)	Tulangan Transversal Tumpuan (y)	Tulangan Transversal Lapangan (x)	Tulangan Transversal Lapangan (y)
1	K44A	400	300	12D25	6D10-100	8D10-100	2D10-100	4D10-100
2	K47	700	400	12D25	5D10-100	9D10-100	2D10-100	3D10-100
3	K55A	500	400	10D25	6D10-100	7D10-100	2D10-100	3D10-100
4	K66A	600	900	22D25	9D10-100	6D10-100	4D10-150	3D10-150
5	K80	950	950	28D25	9D10-100	9D10-100	4D10-150	4D10-150
6	K710	700	900	26D25	9D10-100	7D10-100	4D10-150	3D10-150
7	K712	700	1000	32D25	10D10-100	7D10-100	4D10-150	3D10-150
8	K68	600	600	12D25	6D10-100	6D10-100	3D10-150	3D10-150
9	K88	900	0	18D25	D13-100	D13-100	2D13-150	2D13-150

6. Perhitungan Biaya Pekerjaan Kolom

Perhitungan biaya pekerjaan kolom dilakukan berdasarkan volume pekerjaan dari hasil spesifikasi material dan spesifikasi elemen struktur kolom. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) ditentukan berdasarkan Keputusan Walikota Mataram Nomor 1026/ IX/ 2018 tentang Standar Satuan Harga Pemerintah Kota Mataram Tahun Anggaran 2019 dan harga di pasaran untuk material tulangan. Berikut merupakan hasil perhitungan AHSP yang ditampilkan pada tabel 5.81.

Tabel 5.81 Rekapitulasi Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Struktur *Trial* 1

No	Komponen Pekerjaan	Satuan	Koef	Harga Satuan	Jumlah Harga
1, Pembesian per kg dengan Tulangan Pokok untuk pembesian					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	0,007	Rp70.000,00	Rp490,00
	2) Tukang besi	OH	0,007	Rp95.500,00	Rp668,50
	3) Kepala tukang	OH	0,0007	Rp99.000,00	Rp69,30
	4) Mandor	OH	0,0004	Rp101.000,00	Rp40,40
	b. Bahan				
	1) Besi beton pokok	kg	1,05	Rp23.800	Rp24.990,00
	2) Kawat ikat	kg	0,015	Rp15.450	Rp231,75
	c. Alat Bantu				
	1) Mesin Potong Besi	Hari	0,0005	Rp225.000	Rp112,50
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp26.602,45
2, Pembesian per kg dengan Tulangan Transversal untuk pembesian					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	0,007	Rp70.000,00	Rp490,00
	2) Tukang besi	OH	0,007	Rp95.500,00	Rp668,50
	3) Kepala tukang	OH	0,0007	Rp99.000,00	Rp69,30
	4) Mandor	OH	0,0004	Rp101.000,00	Rp40,40
	b. Bahan				
	1) Besi beton sengkang	kg	1,05	Rp22.800	Rp23.940,00
	2) Kawat ikat	kg	0,015	Rp15.450	Rp231,75
	c. Alat Bantu				
	1) Mesin potong besi	Hari	0,0005	Rp225.000	Rp112,50
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp25.552,45
3,Pekerjaan Beton (M3) F'c 35					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	1	Rp70.000,00	Rp70.000,00
	2) Tukang batu	OH	0,25	Rp95.500,00	Rp23.875,00
	3) Kepala tukang	OH	0,025	Rp99.000,00	Rp2.475,00
	4) Mandor	OH	0,1	Rp101.000,00	Rp10.100,00
	b. Bahan				
	1) Semen Portland	Kg	509	Rp1.500,00	Rp763.500,00
	2) Pasir Beton	Kg	629	Rp125,00	Rp78.625,00
	3) Kerikil (Max 30 mm)	Kg	1009	Rp125,89	Rp127.021,89
	4) Air	Liter	202	Rp125,89	Rp25.429,56
	c. Alat Bantu				
	1) Molen 0.35 m3	Hari	0,2	Rp345.000	Rp69.000,00
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp1.170.026,44

Berdasarkan perhitungan AHSP tersebut dapat ditentukan biaya total pekerjaan elemen kolom struktur *trial* 1. Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan biaya pekerjaan kolom struktur *trial* 1 yang ditampilkan pada tabel 5.82.

Tabel 5.82 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Struktur Kolom *Trial* 1

No	Jenis Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
Pekerjaan K44A					**Rp52.458.179**
1	Pembesian Tulangan Pokok	1387,209506	kg	Rp26.602	Rp36.903.172
2	Pembesian Tulangan Transversal	443,907042	kg	Rp25.552	Rp11.342.912
3	Pekerjaan Pengecoran	3,6	m3	Rp1.170.026	Rp4.212.095
Pekerjaan K47					**Rp216.030.441**
1	Pembesian Tulangan Pokok	4716,512321	kg	Rp26.602	Rp125.470.783
2	Pembesian Tulangan Transversal	2236,329693	kg	Rp25.552	Rp57.143.703
3	Pekerjaan Pengecoran	28,56	m3	Rp1.170.026	Rp33.415.955
Pekerjaan K55A					**Rp51.535.535**
1	Pembesian Tulangan Pokok	1156,007922	kg	Rp26.602	Rp30.752.643
2	Pembesian Tulangan Transversal	538,6072109	kg	Rp25.552	Rp13.762.734
3	Pekerjaan Pengecoran	6	m3	Rp1.170.026	Rp7.020.159
Pekerjaan K66A					**Rp8.922.009.573**
1	Pembesian Tulangan Pokok	196188,0311	kg	Rp26.602	Rp5.219.082.287
2	Pembesian Tulangan Transversal	87692,22081	kg	Rp25.552	Rp2.240.751.088
3	Pekerjaan Pengecoran	1249,695	m3	Rp1.170.026	Rp1.462.176.197
Pekerjaan K80					**Rp1.350.366.250**
1	Pembesian Tulangan Pokok	27108,38577	kg	Rp26.602	Rp721.149.477
2	Pembesian Tulangan Transversal	14241,67233	kg	Rp25.552	Rp363.909.620
3	Pekerjaan Pengecoran	226,753125	m3	Rp1.170.026	Rp265.307.153
Pekerjaan K710					**Rp778.219.473**
1	Pembesian Tulangan Pokok	17357,45895	kg	Rp26.602	Rp461.750.934
2	Pembesian Tulangan Transversal	7387,279039	kg	Rp25.552	Rp188.763.078
3	Pekerjaan Pengecoran	109,1475	m3	Rp1.170.026	Rp127.705.461
Pekerjaan K712					**Rp237.757.522**
1	Pembesian Tulangan Pokok	5548,838024	kg	Rp26.602	Rp147.612.686
2	Pembesian Tulangan Transversal	2085,475283	kg	Rp25.552	Rp53.289.003
3	Pekerjaan Pengecoran	31,5	m3	Rp1.170.026	Rp36.855.833
Pekerjaan K68					**Rp199.125.591**
1	Pembesian Tulangan Pokok	4355,837849	kg	Rp26.602	Rp115.875.959
2	Pembesian Tulangan Transversal	2038,421137	kg	Rp25.552	Rp52.086.654
3	Pekerjaan Pengecoran	26,63442252	m3	Rp1.170.026	Rp31.162.979
Pekerjaan K88					**Rp362.304.108**
1	Pembesian Tulangan Pokok	5618,1985	kg	Rp26.602	Rp149.457.845
2	Pembesian Tulangan Transversal	5970,262391	kg	Rp25.552	Rp152.554.831
3	Pekerjaan Pengecoran	51,5299735	m3	Rp1.170.026	Rp60.291.432
Total Biaya Seluruh Pekerjaan Kolom					**Rp12.169.806.672**

5.3.3. Pemodelan Struktur *Trial* 2

Pemodelan struktur *trial* 2 dilakukan sama seperti *trial* 1. Berikut merupakan penjabaran tahapan yang dilakukan untuk analisis, desain dan perhitungan biaya pekerjaan kolom model struktur *trial* 2.

1. Berat bangunan

   Penentuan berat bangunan pada model *trial* 2 menggunakan metode yang sama dengan model *trial* 1. Berat bangunan hasil pemodelan yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 5.83 berikut.

Tabel 5.83 Berat Bangunan Struktur *Trial* 2

Lantai	Berat Per Lantai (Kg)	Berat Per Lantai (T)
Upper Roof	28858,39	28,85839
Roof	953031,03	953,03103
Mezzanine	497471,98	497,47198
UL2	3177273,87	3177,27387
L2	1978613,26	1978,61326
UL1	3109241,71	3109,24171
L1	5101873,44	5101,87344
UGL2	3238224,07	3238,22407
UGL1	5272113,94	5272,11394
Total	**23356701,69**	**23356,70169**

2. Perhitungan Beban Gempa

Beban gempa yang diterapkan pada struktur *trial* 2 sama dengan beban gempa yang diterapkan pada struktur *trial* 1. Hal tersebut dilakukan agar meningkatkan objektivitas pada saat membandingkan struktur *existing*, struktur *trial*, dan struktur hasil optimalisasi pada model ANN.

3. Analisis Tahap 1 *Checking* Kinerja Struktur

Proses analisis tahap 1 dilakukan sesuai dengan penjelasan pada sub bab 3.5. Berikut merupakan tahap penentuan beban gempa statik ekivalen yang bekerja pada model struktur objek penelitian.

a. Periode dan periode fundamental pendekatan struktur

Contoh perhitungan periode dan periode fundamental pendekatan struktur dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan bahwa periode fundamental pendekatan struktur senilai 0,875 detik dengan periode batas atas (C_uT_a) senilai 1,22 detik

b. Koefisien respons seismik

Contoh perhitungan koefisien respons seismik dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan, nilai yang digunakan adalah 0,0732 untuk sumbu x dan 0,0669 untuk sumbu y.

c. Gaya geser dasar seismik

Contoh perhitungan gaya geser dasar seismik dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan nilai gaya

geser dasar seismik untuk kedua sumbu adalah 1710,76 Ton untuk sumbu x dan 1562,02 Ton untuk sumbu y.

d. Distribusi gaya seismik

Untuk perhitungan distribusi gaya seismik pada model *trial* 2 dilakukan dengan cara yang sama seperti model *trial* 1. Hasil perhitungan distribusi gaya seimik *trial* 2 dapat dilihat pada lampiran tabel L-3.1 dan L-3.2.

e. Ketidakberaturan struktur

Identifikasi ketidakberaturan struktur pada model *trial* 2 dilakukan dengan cara yang sama seperti model *trial* 1. Berikut merupakan hasil identifikasi ketidakberaturan struktur yang dimaksud.

1) Ketidakberaturan Horizontal

a) Hasil identtifikasi ketidakberaturan horizontal tipe 1.a dan 1.b pada *trial* 2 dapat dilihat pada lampiran tabel L-4.1 hingga tabel L-4.4

Berdasarkan tersebut dapat dilihat bahwa struktur memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1.a untuk arah x dan arah y. Maka dari itu peninjauan *drift ratio* dilakukan di titik-titik segaris pada tepi struktur. Dikarenakan struktur memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1.a. maka gaya gempa yang bekerja pada pusat masa dipengaruhi eksentrisitas tambahan berdasarkan faktor pembesaran torsi (A_x). Untuk perhitungan faktor pembesaran torsi (A_x) dilakukan dengan cara yang sama seperti model *trial* 1. Nilai faktor pembesaran torsi dapat dilihat pada lampiran tabel L-5.1 hingga L-5.4. Selain 2 kondisi yang sudah dijelaskan, ketidakberaturan horizontal tipe 1.a memiliki konsekuensi lain seperti penyertaan memperhitungkan pengaruh penampang retak elemen.

b) Dikarenakan model (denah) struktur model *trial* 2 sama dengan model *trial* 1 maka hasil identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 2 pada model *trial* 2 memiliki sifat yang sama seperti model *trial* 1. Berdasarkan perhitungan pada model *trial* 1, model struktur yang ditinjau memiliki ketidakberaturan struktur tipe 2 untuk seluruh lantai dikarenakan memiliki denah yang tipikal untuk setiap lantainya.

c) Dikarenakan model (denah) struktur model *trial* 2 sama dengan model *trial* 1 maka hasil identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 3 pada model *trial* 2 memiliki sifat yang sama seperti model *trial* 1. Berdasarkan perhitungan pada model *trial* 1, model struktur yang ditinjau memiliki ketidakberaturan struktur tipe 3 untuk seluruh lantai dikarenakan memiliki denah yang tipikal untuk setiap lantainya.

d) Ketidakberaturan horizontal tipe 4 tidak terjadi pada model struktur objek penelitian dikarenakan elemen vertikal struktur menerus mulai dari elevasi tertinggi elemen vertikal hingga dasar bangunan.

e) Ketidakberaturan horizontal tipe 5 tidak terjadi pada model struktur objek penelitian dikarenakan elemen struktur berorientasi tepat pada sumbu x dan sumbu y.

2) Ketidakberturan vertikal

a) Hasil identifikasi ketidakberaturan vertikal tipe 1.a dan 1.b dapat *trial* 2 dilihat pada lampiran tabel L-6.1 dan 6.2.

b) Perhitungan ketidakberturan vertikal tipe 2 pada model *trial* 2 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan model struktur *trial* 2 memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 2. Untuk meninjau lebih lanjut disajikan tabel hasil ketidakberaturan vertikal tipe 2 struktur *trial* 2 pada lampiran tabel L-7.1. Pada identifikasi ini, konsensus yang terjadi dikarenakan adanya ketidakberaturan struktur vertikal tipe 2 memiliki konsekuensi yang sama seperti pada ketidakberaturan vertikal tipe 1

c) Ketidakberturan vertikal tipe 3 pada model *trial* 2 memiliki kondisi yang sama seperti pada model *trial* 1. Hal ini dikarenakan model (denah) struktur yang sama antara model *trial* 1 dan *trial* 2. Berdasarkan hal tersebut model *trial* 2 memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 3.

d) .Pada model struktur objek penelitian tidak teridentifikasi ketidakberaturan tipe 4 dikarenakan elemen struktur vertikal pemikul

gaya lateral seismik menerus dari elevasi tertinggi elemen struktur hingga dasar.

e) Perhitungan ketidakberturan vertikal tipe 5 pada model *trial* 2 sama seperti pada model *trial* 1. Hasil identifikasi ketidakberaturan tipe 5 mode *trial* 2 dapat dilihat pada lampiran tabel L-8.1 dan tabel L-8.2.

f. Peninjauan *drift ratio*

Perhitungan *drfit ratio* pada model *trial* 2 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil peninjauan *drift ratio* model struktur *trial* 2 dapat dilihat pada lampiran tabel L-9.1 hingga tabel L-9.4.

g. Peninjauan *p-delta effect*

Perhitungan *p-delta effect* pada model *trial* 2 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil peninjauan *p-delta effect* model struktur *trial* 2 dapat dilihat pada lampiran tabel L-10.1 hingga tabel L-10.4.

4. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur

Proses analisis tahap ini dilakukan sesuai dengan penjelasan pada sub bab 3.6 Berikut penjabaran tahapan analisis tahap 2 yang dilakukan.

a. Faktor redundansi

Penentuan faktor redundansi dilakukan sama seperti pada model *trial* 1. Berikut merupakan hasil peninjauan yang dimaksud yang disajikan pada tabel 5.84.

Tabel 5.84 Rekapitulasi Peninjauan Gaya Geser Tingkat untuk Penentuan Nilai Faktor Redundansi *Trial* 2

Lantai	$V_{x\ (awal)}$	$V_{x\ (tinjauan)}$	$V_{y(awal)}$	$V_{y(tinjauan)}$	Rasio (x)	Rasio (y)
	kN	kN	kN	kN		
Upper Roof	66,67	65,94	73,76	74,50	1%	1%
Roof	1829,23	1839,43	1953,03	1954,35	1%	0%
Mezzanine	2497,00	2503,72	2676,44	2672,55	0%	0%
UL2	5653,84	5616,75	5492,54	5455,42	1%	1%
L2	7642,95	7581,23	7498,98	7438,75	1%	1%
UL1	10418,65	10315,21	9889,61	9805,01	1%	1%
L1	13963,29	13798,18	13029,27	12904,31	1%	1%
UGL2	15515,93	15325,88	14331,27	14193,15	1%	1%
UGL1	16782,60	16574,69	15323,41	15176,47	1%	1%

Berdasarkan tabel di atas nilai gaya geser tingkat yang ditinjau pada kondisi yang telah disebutkan sebelumnya tidak mengakibatkan reduksi kekuatan lebih dari 33% dan tidak mengakibatkan ketidakbeturan horizontal tipe 1.b. Maka dari itu nilai faktor redundansi yang digunakan bernilai 1.

b. Desain respons spektrum

Respons spektrum desain pada model *trial* 2 memiliki perhitungan yang sama dengan model *trial* 1. Hal ini dilakukan untuk memberi beban gempa yang sama dengan model *trial* 1 untuk meningkatkan objektivitas pada saat membandingkan antara model *existing*, *trial*, dan model hasil optimalisasi ANN.

c. Detail Kombinasi Beban Ortogonal

Penggunaan kombinasi beban ortogonal pada model struktur *trial* 2 sama seperti pada model *trial* 1. Berikut merupakan kombinasi beban yang digunakan.

$1{,}3504\ \mathrm{D} \pm 1\ Qx \pm TT \pm 0{,}3\ Qy \pm 0.5\ L \rightarrow$ persamaan 3.3.6

$0{,}7496\ D \pm 1\ Qx \pm TT \pm 0{,}3\ Qy \rightarrow$ persamaan 3.3.7

Kedua persamaan tersebut apabila didetailkan sesuai dengan persamaan 3.49 hingga persamaan 3.80. Kombinasi sejumlah 32 persamaan tersebut akan digunakan pada tahap ini untuk *checking* kinerja final dan untuk memperoleh gaya dalam elemen struktur.

d. Penggunaan Skala Gaya

Contoh penggunaan skala gaya dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Berikut merupakan hasil penggunaan skala gaya yang dimaksud ditampilkan pada tabel 5.85.

Tabel 5.85 Penggunaan Skala Gaya Geser Dasar Struktur *Trial* 2

Arah Sumbu	Gaya Geser Dasar Statik (kN)	Skala Gaya	Skala baru, *I/R* . g (mm/s^2)
Sumbu x	16782,6	1,090495868	1337,220558
Sumbu y	15323,41	1,478549877	1813,071787

e. Peninjauan *drift ratio*

Perhitungan *drfit ratio* pada model *trial* 2 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil peninjauan *drift ratio* tahap 2 dapat dilihat pada lampiran lampiran tabel L-11.1 hingga tabel L-11.4.

f. Peninjauan *p-delta effect*

Perhitungan *p-delta effect* pada model *trial* 2 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil perhitungan koefisien stabilitas tahap 2 dapat dilihat di lampiran pada tabel L-12.1 hingga tabel L-12.4

Berdasarkan tabel yang dimaksud dapat dilihat *drift ratio* struktur *trial* 2 memenuhi persyaratan simpangan antar tingkat izin dan persyaratan koefisien stabilitas maksimum sehingga dapat dilanjutkan untuk melakukan tahap desain elemen struktur.

5. Desain Elemen Struktur

Berdasarkan desain yang sudah ditentukan spesifikasi material elemen struktur *trial* 2 ditampilkan pada tabel 5.86 berikut.

Tabel 5.86 Spesifikasi Mutu Material Struktur *Trial* 2

F'c Balok (Mpa)	F'c Kolom (Mpa)	Fy pokok (Mpa)	Fy sengkang (Mpa)
25	35	420	280

Desain dan analisis elemen struktur *trial* 2 dilakukan sama seperti pada *trial* 1. Berikut ini merupakan elemen kolom struktur *trial* 2 yang akan dioptimalisasi menggunakan metode ANN yang ditampilkan pada tabel 5.87 berikut.

Tabel 5.87 Rekapitulasi Spesifikasi Elemen Struktur *Trial* 2

No	Kodefikasi Kolom	Lebar kolom (mm)	Tebal Kolom (mm)	Tulangan Pokok	Tulangan Transversal Tumpuan (x)	Tulangan Transversal Tumpuan (y)	Tulangan Transversal Lapangan (x)	Tulangan Transversal Lapangan (y)
1	K44A	400	300	12D25	8D10-100	11D10-100	2D10-100	6D10-100
2	K47	700	400	12D25	7D10-100	13D10-100	3D10-100	4D10-100
3	K55A	500	400	10D25	8D10-100	10D10-100	2D10-100	3D10-100
4	K66A	700	900	20D25	12D10-100	9D10-100	4D10-100	3D10-100
5	K80	1000	1000	28D25	14D10-100	14D10-100	4D10-150	4D10-150
6	K710	650	1000	28D25	14D10-100	9D10-100	4D10-150	3D10-150
7	K712	650	1200	34D25	17D10-100	9D10-100	5D10-150	3D10-150
8	K68	600	600	12D25	9D10-100	9D10-100	4D10-100	4D10-100
9	K88	1000	0	22D25	D13-100	D13-100	2D13-150	2D13-150

6. Perhitungan Biaya Pekerjaan Kolom

Perhitungan biaya pekerjaan kolom dilakukan berdasarkan volume pekerjaan dari hasil spesifikasi material dan spesifikasi elemen struktur kolom. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) ditentukan berdasarkan Keputusan Walikota Mataram Nomor 1026/ IX/ 2018 tentang Standar Satuan Harga Pemerintah Kota Mataram Tahun Anggaran 2019 dan harga di pasaran untuk material tulangan. Berikut merupakan hasil perhitungan AHSP yang ditampilkan pada tabel 5.88.

Tabel 5.88 Rekapitulasi Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Struktur *Trial* 2

No	Komponen Pekerjaan	Satuan	Koef	Harga Satuan	Jumlah Harga
1, Pembesian per kg dengan Tulangan Pokok untuk pembesian					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	0,007	Rp70.000,00	Rp490,00
	2) Tukang besi	OH	0,007	Rp95.500,00	Rp668,50
	3) Kepala tukang	OH	0,0007	Rp99.000,00	Rp69,30
	4) Mandor	OH	0,0004	Rp101.000,00	Rp40,40
	b. Bahan				
	1) Besi beton pokok	kg	1,05	Rp23.800	Rp24.990,00
	2) Kawat ikat	kg	0,015	Rp15.450	Rp231,75
	c. Alat Bantu				
	1) Mesin Potong Besi	Hari	0,0005	Rp225.000	Rp112,50
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp26.602,45
2, Pembesian per kg dengan Tulangan Transversal untuk pembesian					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	0,007	Rp70.000,00	Rp490,00
	2) Tukang besi	OH	0,007	Rp95.500,00	Rp668,50
	3) Kepala tukang	OH	0,0007	Rp99.000,00	Rp69,30
	4) Mandor	OH	0,0004	Rp101.000,00	Rp40,40
	b. Bahan				
	1) Besi beton sengkang	kg	1,05	Rp22.700	Rp23.835,00
	2) Kawat ikat	kg	0,015	Rp15.450	Rp231,75
	c. Alat Bantu				
	1) Mesin potong besi	Hari	0,0005	Rp225.000	Rp112,50
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp25.447,45
3,Pekerjaan Beton (M3) F'c 35					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	1	Rp70.000,00	Rp70.000,00
	2) Tukang batu	OH	0,25	Rp95.500,00	Rp23.875,00
	3) Kepala tukang	OH	0,025	Rp99.000,00	Rp2.475,00
	4) Mandor	OH	0,1	Rp101.000,00	Rp10.100,00
	b. Bahan				
	1) Semen Portland	Kg	509	Rp1.500,00	Rp763.500,00
	2) Pasir Beton	Kg	629	Rp125,00	Rp78.625,00
	3) Kerikil (Max 30 mm)	Kg	1009	Rp125,89	Rp127.021,89
	4) Air	Liter	202	Rp125,89	Rp25.429,56
	c. Alat Bantu				
	1) Molen 0.35 m3	Hari	0,2	Rp345.000	Rp69.000,00
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp1.170.026,44

Berdasarkan perhitungan AHSP tersebut dapat ditentukan biaya total pekerjaan elemen kolom struktur *trial* 2. Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan biaya pekerjaan kolom struktur *trial* 2 yang ditampilkan pada tabel 5.89.

Tabel 5.89 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Kolom Struktur Kolom *Trial 2*

No	Jenis Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
Pekerjaan K44A					**Rp56.214.657**
1	Pembesian Tulangan Pokok	1387,209506	kg	Rp26.602	Rp36.903.172
2	Pembesian Tulangan Transversal	593,3557461	kg	Rp25.447	Rp15.099.391
3	Pekerjaan Pengecoran	3,6	m3	Rp1.170.026	Rp4.212.095
Pekerjaan K47					**Rp239.857.692**
1	Pembesian Tulangan Pokok	4716,512321	kg	Rp26.602	Rp125.470.783
2	Pembesian Tulangan Transversal	3181,888684	kg	Rp25.447	Rp80.970.953
3	Pekerjaan Pengecoran	28,56	m3	Rp1.170.026	Rp33.415.955
Pekerjaan K55A					**Rp55.244.416**
1	Pembesian Tulangan Pokok	1156,007922	kg	Rp26.602	Rp30.752.643
2	Pembesian Tulangan Transversal	686,5762249	kg	Rp25.447	Rp17.471.614
3	Pekerjaan Pengecoran	6	m3	Rp1.170.026	Rp7.020.159
Pekerjaan K66A					**Rp9.924.204.278**
1	Pembesian Tulangan Pokok	178352,7555	kg	Rp26.602	Rp4.744.620.261
2	Pembesian Tulangan Transversal	136505,2996	kg	Rp25.447	Rp3.473.711.786
3	Pekerjaan Pengecoran	1457,9775	m3	Rp1.170.026	Rp1.705.872.230
Pekerjaan K80					**Rp1.561.317.428**
1	Pembesian Tulangan Pokok	27108,38577	kg	Rp26.602	Rp721.149.477
2	Pembesian Tulangan Transversal	21463,79329	kg	Rp25.447	Rp546.198.807
3	Pekerjaan Pengecoran	251,25	m3	Rp1.170.026	Rp293.969.144
Pekerjaan K710					**Rp881.225.435**
1	Pembesian Tulangan Pokok	18692,64809	kg	Rp26.602	Rp497.270.236
2	Pembesian Tulangan Transversal	9910,446665	kg	Rp25.447	Rp252.195.596
3	Pekerjaan Pengecoran	112,6125	m3	Rp1.170.026	Rp131.759.603
Pekerjaan K712					**Rp276.383.231**
1	Pembesian Tulangan Pokok	5895,640401	kg	Rp26.602	Rp156.838.479
2	Pembesian Tulangan Transversal	3083,877709	kg	Rp25.447	Rp78.476.824
3	Pekerjaan Pengecoran	35,1	m3	Rp1.170.026	Rp41.067.928
Pekerjaan K68					**Rp231.103.508**
1	Pembesian Tulangan Pokok	4355,837849	kg	Rp26.602	Rp115.875.959
2	Pembesian Tulangan Transversal	3303,45756	kg	Rp25.447	Rp84.064.571
3	Pekerjaan Pengecoran	26,63442252	m3	Rp1.170.026	Rp31.162.979
Pekerjaan K88					**Rp426.695.074**
1	Pembesian Tulangan Pokok	6866,687055	kg	Rp26.602	Rp182.670.699
2	Pembesian Tulangan Transversal	6664,341965	kg	Rp25.447	Rp169.590.509
3	Pekerjaan Pengecoran	63,61725124	m3	Rp1.170.026	Rp74.433.866
Total Biaya Seluruh Pekerjaan Kolom					**Rp13.652.245.719**

5.3.4. Pemodelan Struktur *Trial* 3

Pemodelan struktur *trial 3* dilakukan sama seperti model *trial* 1. Berikut merupakan penjabaran tahapan yang dilakukan untuk analisis, desain dan perhitungan biaya pekerjaan kolom struktur *trial* 3.

1. Berat bangunan

   Penentuan berat bangunan pada model *trial* 3 menggunakan metode yang sama dengan model *trial* 1. Berat bangunan hasil pemodelan yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 5.90 berikut.

Tabel 5.90 Berat Bangunan Struktur *Trial* 3

Lantai	Berat Per Lantai (Kg)	Berat Per Lantai (T)
Upper Roof	29683,99	29,68399
Roof	978777,28	978,77728
Mezzanine	516973,78	516,97378
UL2	3253009,47	3253,00947
L2	2017350,27	2017,35027
UL1	3204898,51	3204,89851
L1	5224161,65	5224,16165
UGL2	3341752,87	3341,75287
UGL1	5401751,78	5401,75178
Total	**23968359,6**	**23968,3596**

2. Perhitungan Beban Gempa

   Beban gempa yang diterapkan pada struktur *trial* 3 sama dengan beban gempa yang diterapkan pada struktur *trial* 1. Hal tersebut dilakukan agar meningkatkan objektivitas pada saat membandingkan struktur *Existing*, struktur *trial*, dan struktur hasil optimalisasi pada model ANN.

3. Analisis Tahap 1 *Checking* Kinerja Struktur

   Proses analisis pada tahap ini dilakukan sesuai dengan penjelasan pada sub bab 3.5. Berikut merupakan tahap penentuan beban gempa statik ekivalen yang bekerja pada model struktur objek penelitian.

   a. Periode dan periode fundamental pendekatan struktur

      Contoh perhitungan periode dan periode fundamental pendekatan struktur dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan bahwa periode fundamental pendekatan struktur senilai 0,875 detik dengan periode batas atas (C_uT_a) senilai 1,22 detik

   b. Koefisien respons seismik

      Contoh perhitungan koefisien respons seismik dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan nilai yang digunakan adalah 0,0732 untuk sumbu x dan 0,0702 untuk sumbu y.

   c. Gaya geser dasar seismik

      Contoh perhitungan gaya geser dasar seismik dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan nilai gaya

geser dasar seismik untuk kedua sumbu adalah 1755,5657 Ton untuk sumbu x dan 1683,7755 Ton untuk sumbu y.

d. Distribusi gaya seismik

Untuk perhitungan distribusi gaya seismik pada model *trial* 3 dilakukan dengan cara yang sama seperti model *trial* 1 Hasil perhitungan distribusi gaya seimik *trial* 2 dapat dilihat pada lampiran tabel L-3.3 dan L-3.4.

e. Ketidakberaturan struktur

Identifikasi ketidakberaturan struktur pada model *trial* 3dilakukan dengan cara yang sama seperti model *trial* 1. Berikut merupakan hasil identifikasi ketidakberaturan struktur yang dimaksud..

1) Ketidakberaturan Horizontal

a) Hasil identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1.a dan 1.b dapat dilihat pada lampiran tabel L-4.5 hingga tabel L-4.8.

Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa struktur memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1.a untuk arah y, dan 1.a untuk arah x. Maka dari itu peninjauan *drift ratio* dilakukan di titik-titik segaris pada tepi struktur. Dikarenakan struktur memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1.a maka gaya gempa yang bekerja pada pusat masa dipengaruhi eksentrisitas tambahan berdasarkan faktor pembesaran torsi (A_x). Untuk perhitungan faktor pembesaran torsi (A_x) dilakukan dengan cara yang sama seperti model *trial* 1. Nilai faktor pembesaran torsi dapat dilihat pada tabel L-5.5 hingga L-5.8 Selain 2 kondisi yang sudah dijelaskan, ketidakberaturan horizontal tipe 1.a memiliki konsekuensi lain seperti penyertaan memperhitungkan pengaruh penampang retak elemen.

b) Dikarenakan model (denah) struktur model *trial* 3 sama dengan model *trial* 1 maka hasil identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 2 pada model *trial* 2 memiliki sifat yang sama seperti model *trial* 1. Berdasarkan perhitungan pada model *trial* 1, model struktur yang ditinjau memiliki ketidakberaturan struktur tipe 2 untuk seluruh lantai dikarenakan memiliki denah yang tipikal untuk setiap lantainya.

c) Dikarenakan model (denah) struktur model *trial* 3 sama dengan model *trial* 1 maka hasil identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 3 pada model *trial* 2 memiliki sifat yang sama seperti model *trial* 1. Berdasarkan perhitungan pada model *trial* 1, model struktur yang ditinjau memiliki ketidakberaturan struktur tipe 3 untuk seluruh lantai dikarenakan memiliki denah yang tipikal untuk setiap lantainya.
d) Ketidakberaturan horizontal tipe 4 tidak terjadi pada model struktur objek penelitian dikarenakan elemen vertikal struktur menerus mulai dari elevasi tertinggi elemen vertikal hingga dasar bangunan.
e) Ketidakberaturan horizontal tipe 5 tidak terjadi pada model struktur objek penelitian dikarenakan elemen struktur berorientasi tepat pada sumbu x dan sumbu y.

2) Ketidakberturan vertikal
a) Hasil identifikasi ketidakberaturan vertikal tipe 1.a dan 1.b dapat dilihat pada lampiran tabel L-6.3 dan 6.4.
b) Perhitungan ketidakberturan vertikal tipe 2 pada model *trial* 3 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, model struktur *trial* 3 memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 2. Untuk meninjau lebih lanjut disajikan tabel hasil ketidakberaturan vertikal tipe 2 struktur *trial* 3 pada tabel L-7.2. Pada identifikasi ini, konsensus yang terjadi dikarenakan adanya ketidakberaturan struktur vertikal tipe 2 memiliki konsekuensi yang sama seperti pada ketidakberaturan vertikla tipe 1.
c) Ketidakberturan vertikal tipe 3 pada model *trial* 3 memiliki kondisi yang sama seperti pada model *trial* 1. Hal ini dikarenakan model (denah) struktur yang sama antara model *trial* 1 dan *trial* 3. Berdasarkan hal tersebut model *trial* 3 memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 3.
d) Pada model struktur objek penelitian tidak teridentifikasi ketidakberaturan tipe 4 dikarenakan elemen struktur vertikal pemikul

gaya lateral seismik menerus dari elevasi tertinggi elemen struktur hingga dasar.

e) Perhitungan ketidakberturan vertikal tipe 5 pada model *trial* 3 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil identifikasi ketidakberaturan vertikal tipe 5.a dan 5.b ditampilkan pada tabel lampiran L-8.3 dan tabel L-8.4.

f. Peninjauan *drift ratio*

Perhitungan *drfit ratio* pada model *trial* 3 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil peninjauan *drift ratio* yang ditampilkan pada lampiran tabel L-9.5 hingga tabel L-9.8.

g. Peninjauan *p-delta effect*

Perhitungan *p-delta effect* pada model *trial* 3 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil perhitungan koefisien stabilitas yang ditampilkan pada lampiran tabel L-10.5 hingga tabel L-10.8.

4. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur

Proses analisis pada tahap ini dilakukan sesuai dengan penjelasan pada sub bab 3.6. Berikut penjabaran tahapan analisis tahap 2 yang dilakukan.

a. Faktor redundansi

Penentuan faktor redundansi dilakukan sama seperti pada model *trial* 1. Berikut merupakan hasil peninjauan yang dimaksud yang disajikan pada tabel 5.91.

Tabel 5.91 Rekapitulasi Peninjauan Gaya Geser Tingkat untuk Penentuan Nilai Faktor Redundansi *Trial* 3

Lantai	$V_{x\ (awal)}$	$V_{x\ (tinjauan)}$	$V_{y(awal)}$	$V_{y(tinjauan)}$	Rasio (x)	Rasio (y)
	kN	kN	kN	kN		
Upper Roof	66,81	66,82	76,38	79,29	0%	4%
Roof	1836,45	1860,22	2044,74	2060,27	1%	1%
Mezzanine	2522,29	2547,55	2818,57	2841,93	1%	1%
UL2	5733,41	5734,69	5889,37	5879,96	0%	0%
L2	7744,17	7734,66	8007,21	7981,47	0%	0%
UL1	10583,67	10550,20	10651,19	10592,65	0%	1%
L1	14197,41	14125,75	14055,72	13958,66	1%	1%
UGL2	15793,71	15706,81	15481,79	15374,00	1%	1%
UGL1	17092,81	16995,92	16517,83	16409,09	1%	1%

Berdasarkan tabel di atas nilai gaya geser tingkat yang ditinjau pada kondisi yang telah disebutkan sebelumnya tidak mengakibatkan reduksi kekuatan lebih dari 33% dan tidak mengakibatkan ketidakbeturan horizontal tipe 1.b. Maka dari itu nilai faktor redundansi yang digunakan bernilai 1.

b. Desain respons spektrum

Respons spektrum desain pada model *trial* 3 memiliki perhitungan yang sama dengan model *trial* 1. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan objektivitas pada saat membandingkan antara model *existing*, *trial*, dan model hasil optimalisasi ANN.

c. Detail Kombinasi Beban Ortogonal

Penggunaan kombinasi beban ortogonal pada model struktur *trial* 3 sama seperti pada model *trial* 1. Berikut merupakan kombinasi beban yang digunakan.

$1{,}3504\ D \pm 1\ Qx \pm TT \pm 0{,}3\ Qy \pm 0.5\ L \rightarrow$ persamaan 3.3.6

$0{,}7496\ D \pm 1\ Qx \pm TT \pm 0{,}3\ Qy \rightarrow$ persamaan 3.3.7

Kedua persamaan tersebut apabila didetailkan sesuai dengan persamaan 3.49 hingga persamaan 3.80. Kombinasi sejumlah 32 persamaan tersebut akan digunakan pada tahap ini untuk *checking* kinerja final dan untuk memperoleh gaya dalam elemen struktur.

d. Penggunaan Skala Gaya

Contoh penggunaan skala gaya dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Berikut merupakan hasil penggunaan skala gaya yang dimaksud ditampilkan pada tabel 5.92.

Tabel 5.92 Penggunaan Skala Gaya Geser Dasar Struktur *Trial* 3

Arah Sumbu	Gaya Geser Dasar Statik (kN)	Skala Gaya	Skala baru, I/R . g (mm/s2)
Sumbu x	17222,09	1,0323	1265,8912
Sumbu y	16517,8	1,5040	553,3001

e. Peninjauan *drift ratio*

Perhitungan *drfit ratio* pada model *trial* 3 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil peninjauan *drift ratio* yang dimaksud ditampilkan pada lampiran tabel L-11.5 hingga tabel L-11.8.

f. Peninjauan *p-delta effect*

Perhitungan *p-delta effect* pada model *trial* 3 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil perhitungan koefisien stabilitas yang dimaksud ditampilkan pada lampiran tabel L-12.5 hingga tabel L-12.8.

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat *drift ratio* struktur *trial* 3 memenuhi persyaratan simpangan antar tingkat izin dan persyaratan koefisien stabilitas maksimum sehingga dapat dilanjutkan untuk melakukan tahap desain elemen struktur.

5. Desain Elemen Struktur

Berdasarkan desain yang sudah ditentukan spesifikasi material elemen struktur *trial* 3 ditampilkan pada tabel 5.93 berikut.

Tabel 5.93 Spesifikasi Mutu Material Struktur *Trial* 3

F'c Balok (Mpa)	F'c Kolom (Mpa)	Fy pokok (Mpa)	Fy sengkang (Mpa)
30	35	400	400

Desain dan analisis elemen struktur *trial* 3 dilakukan sama seperti pada *trial* 1. Berikut ini merupakan elemen kolom stuktur *trial* 3 yang akan di optimalisasi menggunakan metode ANN yang ditampilkan pada tabel 5.94 berikut.

Tabel 5.94 Rekapitulasi Spesifikasi Elemen Struktur *Trial* 3

No	Kodefikasi Kolom	Lebar kolom (mm)	Tebal Kolom (mm)	Tulangan Pokok	Tulangan Transversal Tumpuan (x)	Tulangan Transversal Tumpuan (y)	Tulangan Transversal Lapangan (x)	Tulangan Transversal Lapangan (y)
1	K44A	400	400	16D19	4D13-100	4D13-100	2D13-100	2D13-100
2	K47	700	400	18D19	3D13-100	6D13-100	2D13-100	3D13-100
3	K55A	500	500	16D19	4D13-100	4D13-100	3D13-100	3D13-100
4	K66A	700	1000	26D22	6D13-100	4D13-100	4D13-100	3D13-100
5	K80	1000	1000	24D25	6D13-100	6D13-100	4D13-150	4D13-150
6	K710	700	900	22D22	5D13-100	4D13-100	4D13-100	3D13-100
7	K712	700	1000	24D22	6D13-100	4D13-100	4D13-100	3D13-100
8	K68	600	600	16D22	4D13-100	4D13-100	3D13-100	4D13-100
9	K88	1000	0	22D25	D13-100	D13-100	2D13-150	2D13-150

6. Perhitungan Biaya Pekerjaan Kolom

Perhitungan biaya pekerjaan kolom dilakukan berdasarkan volume pekerjaan dari hasil spesifikasi material dan spesifikasi elemen struktur kolom. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) ditentukan berdasarkan Keputusan Walikota Mataram Nomor 1026/ IX/ 2018 tentang Standar Satuan Harga Pemerintah Kota Mataram Tahun Anggaran 2019 dan harga di pasaran untuk material tulangan. Berikut merupakan hasil perhitungan AHSP yang ditampilkan pada tabel 5.95.

Tabel 5.95 Rekapitulasi Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Struktur *Trial* 3

No	Komponen Pekerjaan	Satuan	Koef	Harga Satuan	Jumlah Harga
1, Pembesian per kg dengan Tulangan Pokok untuk pembesian					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	0,007	Rp70.000,00	Rp490,00
	2) Tukang besi	OH	0,007	Rp95.500,00	Rp668,50
	3) Kepala tukang	OH	0,0007	Rp99.000,00	Rp69,30
	4) Mandor	OH	0,0004	Rp101.000,00	Rp40,40
	b. Bahan				
	1) Besi beton pokok	kg	1,05	Rp22.800	Rp23.940,00
	2) Kawat ikat	kg	0,015	Rp15.450	Rp231,75
	c. Alat Bantu				
	1) Mesin Potong Besi	Hari	0,0005	Rp225.000	Rp112,50
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp25.552,45
2, Pembesian per kg dengan Tulangan Transversal untuk pembesian					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	0,007	Rp70.000,00	Rp490,00
	2) Tukang besi	OH	0,007	Rp95.500,00	Rp668,50
	3) Kepala tukang	OH	0,0007	Rp99.000,00	Rp69,30
	4) Mandor	OH	0,0004	Rp101.000,00	Rp40,40
	b. Bahan				
	1) Besi beton sengkang	kg	1,05	Rp22.800	Rp23.940,00
	2) Kawat ikat	kg	0,015	Rp15.450	Rp231,75
	c. Alat Bantu				
	1) Mesin potong besi	Hari	0,0005	Rp225.000	Rp112,50
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp25.552,45
3, Pekerjaan Beton (M3) F'c 35					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	1	Rp70.000,00	Rp70.000,00
	2) Tukang batu	OH	0,25	Rp95.500,00	Rp23.875,00
	3) Kepala tukang	OH	0,025	Rp99.000,00	Rp2.475,00
	4) Mandor	OH	0,1	Rp101.000,00	Rp10.100,00
	b. Bahan				
	1) Semen Portland	Kg	509	Rp1.500,00	Rp763.500,00
	2) Pasir Beton	Kg	629	Rp125,00	Rp78.625,00
	3) Kerikil (Max 30 mm)	Kg	1009	Rp125,89	Rp127.021,89
	4) Air	Liter	202	Rp125,89	Rp25.429,56
	c. Alat Bantu				
	1) Molen 0.35 m3	Hari	0,2	Rp345.000	Rp69.000,00
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp1.170.026,44

Berdasarkan perhitungan AHSP tersebut dapat ditentukan biaya total pekerjaan elemen kolom struktur *trial* 3. Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan biaya pekerjaan kolom struktur *trial* 3 yang ditampilkan pada tabel 5.96.

Tabel 5.96 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Struktur Kolom *Trial* 3

No	Jenis Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
Pekerjaan K44A					**Rp46.716.792**
1	Pembesian Tulangan Pokok	1068,336281	kg	Rp25.552	Rp27.298.609
2	Pembesian Tulangan Transversal	540,1460886	kg	Rp25.552	Rp13.802.056
3	Pekerjaan Pengecoran	4,8	m3	Rp1.170.026	Rp5.616.127
Pekerjaan K47					**Rp208.463.240**
1	Pembesian Tulangan Pokok	4086,386275	kg	Rp25.552	Rp104.417.181
2	Pembesian Tulangan Transversal	2764,122588	kg	Rp25.552	Rp70.630.104
3	Pekerjaan Pengecoran	28,56	m3	Rp1.170.026	Rp33.415.955
Pekerjaan K55A					**Rp56.649.095**
1	Pembesian Tulangan Pokok	1068,336281	kg	Rp25.552	Rp27.298.609
2	Pembesian Tulangan Transversal	805,2177803	kg	Rp25.552	Rp20.575.287
3	Pekerjaan Pengecoran	7,5	m3	Rp1.170.026	Rp8.775.198
Pekerjaan K66A					**Rp10.243.803.713**
1	Pembesian Tulangan Pokok	179551,286	kg	Rp25.552	Rp4.587.975.259
2	Pembesian Tulangan Transversal	147164,5523	kg	Rp25.552	Rp3.760.414.865
3	Pekerjaan Pengecoran	1619,975	m3	Rp1.170.026	Rp1.895.413.589
Pekerjaan K80					**Rp1.369.647.065**
1	Pembesian Tulangan Pokok	23235,75923	kg	Rp25.552	Rp593.730.576
2	Pembesian Tulangan Transversal	18861,1012	kg	Rp25.552	Rp481.947.345
3	Pekerjaan Pengecoran	251,25	m3	Rp1.170.026	Rp293.969.144
Pekerjaan K710					**Rp664.793.275**
1	Pembesian Tulangan Pokok	11373,67525	kg	Rp25.552	Rp290.625.268
2	Pembesian Tulangan Transversal	9645,358697	kg	Rp25.552	Rp246.462.546
3	Pekerjaan Pengecoran	109,1475	m3	Rp1.170.026	Rp127.705.461
Pekerjaan K712					**Rp189.423.337**
1	Pembesian Tulangan Pokok	3222,765125	kg	Rp25.552	Rp82.349.545
2	Pembesian Tulangan Transversal	2747,993226	kg	Rp25.552	Rp70.217.960
3	Pekerjaan Pengecoran	31,5	m3	Rp1.170.026	Rp36.855.833
Pekerjaan K68					**Rp228.387.492**
1	Pembesian Tulangan Pokok	4497,547774	kg	Rp25.552	Rp114.923.365
2	Pembesian Tulangan Transversal	3220,871121	kg	Rp25.552	Rp82.301.148
3	Pekerjaan Pengecoran	26,63442252	m3	Rp1.170.026	Rp31.162.979
Pekerjaan K88					**Rp420.184.809**
1	Pembesian Tulangan Pokok	6866,687055	kg	Rp25.552	Rp175.460.678
2	Pembesian Tulangan Transversal	6664,341965	kg	Rp25.552	Rp170.290.265
3	Pekerjaan Pengecoran	63,61725124	m3	Rp1.170.026	Rp74.433.866
Total Biaya Seluruh Pekerjaan Kolom					**Rp13.428.068.819**

5.3.5. Pemodelan Struktur *Trial* 4

Pemodelan *trial* 4 dilakukan sama seperti model *trial* 1. Berikut merupakan penjabaran tahapan yang dilakukan untuk analisis, desain dan perhitungan biaya pekerjaan kolom model struktur *trial* 4.

1. Berat Bangunan

   Penentuan berat bangunan pada model *trial* 4 menggunakan metode yang sama dengan model *trial* 1. Berat bangunan hasil pemodelan yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 5.97 berikut.

Tabel 5.97 Berat Bangunan Struktur *Trial* 4

Lantai	Berat Per Lantai (Kg)	Berat Per Lantai (T)
Upper Roof	29047,990	29,048
Roof	1012704,850	1012,705
Mezzanine	569432,980	569,433
UL2	3352035,870	3352,036
L2	2047725,230	2047,725
UL1	3297016,510	3297,017
L1	5335825,030	5335,825
UGL2	3435287,720	3435,288
UGL1	5515834,380	5515,834
Total	**24594910,560**	**24594,911**

2. Perhitungan Beban Gempa

   Beban gempa yang diterapkan pada struktur *trial* 4 sama dengan beban gempa yang diterapkan pada struktur *trial* 1. Hal tersebut dilakukan agar meningkatkan objektivitas pada saat membandingkan struktur *Existing*, struktur *trial*, dan struktur hasil optimalisasi pada model ANN.

3. Analisis Tahap 1 *Checking* Kinerja Struktur

   Proses analisis tahap 1 dilakukan sesuai dengan penjelasan pada sub bab 3.5. Berikut merupakan tahap penentuan beban gempa statik ekivalen yang bekerja pada model struktur objek penelitian.

   a. Periode dan periode fundamental pendekatan struktur

      Contoh perhitungan periode dan periode fundamental pendekatan struktur dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan bahwa periode fundamental pendekatan struktur senilai 0,875 detik dengan periode batas atas (C_uT_a) senilai 1,22 detik

   b. Koefisien respons seismik

      Contoh perhitungan koefisien respons seismik dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan nilai yang digunakan adalah 0,0732 untuk sumbu x dan 0,0731 untuk sumbu y.

   c. Gaya geser dasar seismik

      Contoh perhitungan gaya geser dasar seismik dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan nilai gaya

geser dasar seismik untuk kedua sumbu adalah 1801,4575 Ton untuk sumbu x dan 1798,7957 Ton untuk sumbu y.

d. Distribusi gaya seismik

Untuk perhitungan distribusi gaya seismik pada model *trial* 4 dilakukan dengan cara yang sama seperti model *trial* 1. Hasil perhitungan distribusi gaya seismik pada kedua sumbu yang ditampilkan pada lampiran tabel L-3.5 dan L-3.6.

e. Ketidakberaturan struktur

Identifikasi ketidakberaturan struktur pada model *trial* 4 dilakukan dengan cara yang sama seperti model *trial* 1. Berikut merupakan hasil identifikasi ketidakberaturan struktur yang dimaksud.

1) Ketidakberaturan Horizontal

a) Hasil identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1.a dan 1.b dapat dilihat pada lampiran tabel L-4.9 hingga tabel L-4.12.

Berdasarkan tersebut dapat dilihat bahwa struktur memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1.a untuk arah x dan y. Maka dari itu peninjauan *drift ratio* dilakukan di titik-titik segaris pada tepi struktur. Dikarenakan struktur memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1.a maka gaya gempa yang bekerja pada pusat masa dipengaruhi eksentrisitas tambahan berdasarkan faktor pembesaran torsi (A_x). Nilai faktor pembesaran torsi dapat dilihat pada tabel L-5.9 hingga L-5.12. Selain 2 kondisi yang sudah dijelaskan, ketidakberaturan horizontal tipe 1.a memiliki konsekuensi lain seperti penyertaan memperhitungkan pengaruh penampang retak elemen.

b) Dikarenakan model (denah) struktur model *trial* 4 sama dengan model *trial* 1 maka hasil identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 2 pada model *trial* 4 memiliki sifat yang sama seperti model *trial* 1. Berdasarkan perhitungan pada model *trial* 1, model struktur yang ditinjau memiliki ketidakberaturan struktur tipe 2 untuk seluruh lantai dikarenakan memiliki denah yang tipikal untuk setiap lantainya.

c) Dikarenakan model (denah) struktur model *trial* 4 sama dengan model *trial* 1 maka hasil identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 3 pada model *trial* 4 memiliki sifat yang sama seperti model *trial* 1. Berdasarkan perhitungan pada model *trial* 1, model struktur yang ditinjau memiliki ketidakberaturan struktur tipe 3 untuk seluruh lantai dikarenakan memiliki denah yang tipikal untuk setiap lantainya.
d) Ketidakberaturan horizontal tipe 4 tidak terjadi pada model struktur objek penelitian dikarenakan elemen vertikal struktur menerus mulai dari elevasi tertinggi elemen vertikal hingga dasar bangunan.
e) Ketidakberaturan horizontal tipe 5 tidak terjadi pada model struktur objek penelitian dikarenakan elemen struktur berorientasi tepat pada sumbu x dan sumbu y.

2) Ketidakberturan vertikal
a) Hasil identifikasi ketidakberaturan struktur vertikal tipe 1.a dan 1.b dapat dilihat pada lampiran tabel L-6.5 dan 6.6.
b) Perhitungan ketidakberturan vertikal tipe 2 pada model *trial* 4 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, model struktur *trial* 4 memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 2. Untuk meninjau lebih lanjut disajikan tabel hasil ketidakberaturan vertikal tipe 2 struktur *trial* 4 pada tabel L-7.3. Pada identifikasi ini, konsensus yang terjadi dikarenakan adanya ketidakberaturan struktur vertikal tipe 2 memiliki konsekuensi yang sama seperti pada ketidakberaturan vertikla tipe 1.
c) Ketidakberturan vertikal tipe 3 pada model *trial* 4 memiliki kondisi yang sama seperti pada model *trial* 1. Hal ini dikarenakan model (denah) struktur yang sama antara model *trial* 1 dan *trial* 4. Berdasarkan hal tersebut model *trial* 4 memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 3.
d) Pada model struktur objek penelitian tidak teridentifikasi ketidakberaturan tipe 4 dikarenakan elemen struktur vertikal pemikul

gaya lateral seismik menerus dari elevasi tertinggi elemen struktur hingga dasar.

e) Perhitungan ketidakberturan vertikal tipe 5 pada model *trial* 4 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Berikut rekapitulasi hasil identifikasi ketidakberaturan vertikal tipe 5.a dan 5.b ditampilkan pada tabel lampiran L-8.5 dan tabel L-8.6.

f. Peninjauan *drift ratio*

Perhitungan *drfit ratio* pada model *trial* 4 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil peninjauan *drift ratio* yang dimaksud ditampilkan pada lampiran tabel L-9.9 hingga tabel L-9.12.

g. Peninjauan *p-delta effect*

Perhitungan *p-delta effect* pada model *trial* 4 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil perhitungan koefisien stabilitas yang ditampilkan pada lampiran tabel L-10.9 hingga tabel L-10.12.

4. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur

Proses analisis pada tahap ini dilakukan sesuai dengan penjelasan pada sub bab 3.6. Berikut penjabaran tahapan analisis tahap 2 yang dilakukan.

a. Faktor redundansi

Penentuan faktor redundansi dilakukan sama seperti pada model *trial* 1. Berikut merupakan hasil peninjauan yang dimaksud yang disajikan pada tabel 5.98.

Tabel 5.98 Rekapitulasi Peninjauan Gaya Geser Tingkat untuk Penentuan Nilai Faktor Redundansi *Trial* 4

Lantai	$V_{x\ (awal)}$	$V_{x\ (tinjauan)}$	$V_{y(awal)}$	$V_{y(tinjauan)}$	Rasio (x)	Rasio (y)
	kN	kN	kN	kN		
Upper Roof	67,33	66,30	80,88	80,55	2%	0%
Roof	1915,75	1918,35	2257,92	2236,42	0%	1%
Mezzanine	2680,82	2673,89	3176,80	3141,76	0%	1%
UL2	6034,56	5959,86	6457,21	6364,50	1%	1%
L2	8092,87	7985,21	8706,79	8577,81	1%	1%
UL1	11033,51	10868,58	11491,17	11327,50	1%	1%
L1	14738,82	14490,83	15056,22	14844,24	2%	1%
UGL2	16373,74	16098,77	16556,85	16333,09	2%	1%
UGL1	17672,29	17394,98	17646,19	17419,90	2%	1%

Berdasarkan tabel di atas nilai gaya geser tingkat yang ditinjau pada kondisi yang telah disebutkan sebelumnya tidak mengakibatkan reduksi kekuatan lebih dari 33% dan tidak mengakibatkan ketidakbeturan horizontal tipe 1.b. Maka dari itu nilai faktor redundansi yang digunakan bernilai 1.

b. Desain respons spektrum

Respons spektrum desain pada model *trial* 4 memiliki perhitungan yang sama dengan model *trial* 1. Hal ini dilakukan untuk memberi beban gempa yang sama dengan model *trial* 1 untuk meningkatkan objektivitas pada saat membandingkan antara model *existing*, *trial*, dan model hasil optimalisasi ANN.

c. Detail Kombinasi Beban Ortogonal

Penggunaan kombinasi beban ortogonal pada model struktur *trial* 4 sama seperti pada model *trial* 1. Berikut merupakan kombinasi beban yang digunakan.

$1{,}3504\ D \pm 1\ Qx \pm TT \pm 0{,}3\ Qy \pm 0.5\ L \rightarrow$ persamaan 3.3.6

$0{,}7496\ D \pm 1\ Qx \pm TT \pm 0{,}3\ Qy \rightarrow$ persamaan 3.3.7

Kedua persamaan tersebut apabila didetailkan sesuai dengan persamaan 3.49 hingga persamaan 3.80. Kombinasi sejumlah 32 persamaan tersebut akan digunakan pada tahap ini untuk *checking* kinerja final dan untuk memperoleh gaya dalam elemen struktur.

d. Penggunaan Skala Gaya

Contoh penggunaan skala gaya dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Berikut merupakan hasil penggunaan skala gaya yang dimaksud ditampilkan pada tabel 5.99.

Tabel 5.99 Penggunaan Skala Gaya Geser Dasar Struktur *Trial* 4

Arah Sumbu	Gaya Geser Dasar Statik (kN)	Skala Gaya	Skala baru, I/R . g (mm/s2)
Sumbu x	17672,29	1,0298	1262,7905
Sumbu y	17646,19	1,4941	1832,07338

e. Peninjauan *drift ratio*

Perhitungan *drfit ratio* pada model *trial* 4 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil peninjauan *drift ratio* yang dimaksud ditampilkan pada lampiran tabel L-11.9 hingga tabel L-11.12.

f. Peninjauan *p-delta effect*

Perhitungan *p-delta effect* pada model *trial* 4 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil perhitungan koefisien stabilitas yang dimaksud ditampilkan pada lampiran tabel L-12.9 hingga tabel L-12.12.

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat *drift ratio* struktur *trial* 4 memenuhi persyaratan simpangan antar tingkat izin dan persyaratan koefisien stabilitas maksimum sehingga dapat dilanjutkan untuk melakukan tahap desain elemen struktur.

5. Desain Elemen Struktur

Berdasarkan desain yang sudah ditentukan spesifikasi material elemen struktur *trial* 4 ditampilkan pada tabel 5.100 berikut.

Tabel 5.100 Spesifikasi Mutu Material Struktur *Trial* 4

F'c Balok (Mpa)	F'c Kolom (Mpa)	Fy pokok (Mpa)	Fy sengkang (Mpa)
30	30	400	280

Desain dan analisis elemen struktur *trial* 4 dilakukan sama seperti pada *trial* 1. Berikut ini merupakan elemen kolom struktur *trial* 4 yang akan di optimalisasi menggunakan metode ANN yang ditampilkan pada tabel 5.101 berikut.

Tabel 5.101 Rekapitulasi Spesifikasi Elemen Struktur *Trial* 4

No	Kodefikasi Kolom	Lebar kolom (mm)	Tebal Kolom (mm)	Tulangan Pokok	Tulangan Transversal Tumpuan (x)	Tulangan Transversal Tumpuan (y)	Tulangan Transversal Lapangan (x)	Tulangan Transversal Lapangan (y)
1	K44A	400	400	16D19	8D10-100	8D10-100	3D10-100	3D10-100
2	K47	700	400	18D25	6D10-100	11D10-100	3D10-100	4D10-100
3	K55A	500	500	16D19	8D10-100	8D10-100	3D10-100	3D10-100
4	K66A	650	1000	28D19	12D10-100	7D10-100	5D10-100	3D10-100
5	K80	1200	1200	44D25	14D10-100	14D10-100	5D10-150	5D10-150
6	K710	800	1100	28D22	13D10-100	9D10-100	4D10-100	4D10-100
7	K712	800	1300	46D25	15D10-100	9D10-100	5D10-100	4D10-100
8	K68	700	700	28D19	8D10-100	8D10-100	4D10-100	4D10-100
9	K88	1200	0	26D25	D13-100	D13-100	2D13-150	2D13-150

6. Perhitungan Biaya Pekerjaan Kolom

Perhitungan biaya pekerjaan kolom dilakukan berdasarkan volume pekerjaan dari hasil spesifikasi material dan spesifikasi elemen struktur kolom. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) ditentukan berdasarkan Keputusan Walikota Mataram Nomor 1026/ IX/ 2018 tentang Standar Satuan Harga Pemerintah Kota Mataram Tahun Anggaran 2019 dan harga di pasaran untuk material tulangan. Berikut merupakan hasil perhitungan AHSP yang ditampilkan pada tabel 5.102.

Tabel 5.102 Rekapitulasi Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Struktur *Trial* 4

No	Komponen Pekerjaan	Satuan	Koef	Harga Satuan	Jumlah Harga
1, Pembesian per kg dengan Tulangan Pokok untuk pembesian					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	0,007	Rp70.000,00	Rp490,00
	2) Tukang besi	OH	0,007	Rp95.500,00	Rp668,50
	3) Kepala tukang	OH	0,0007	Rp99.000,00	Rp69,30
	4) Mandor	OH	0,0004	Rp101.000,00	Rp40,40
	b. Bahan				
	1) Besi beton pokok	kg	1,05	Rp22.800	Rp23.940,00
	2) Kawat ikat	kg	0,015	Rp15.450	Rp231,75
	c. Alat Bantu				
	1) Mesin Potong Besi	Hari	0,0005	Rp225.000	Rp112,50
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp25.552,45
2, Pembesian per kg dengan Tulangan Transversal untuk pembesian					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	0,007	Rp70.000,00	Rp490,00
	2) Tukang besi	OH	0,007	Rp95.500,00	Rp668,50
	3) Kepala tukang	OH	0,0007	Rp99.000,00	Rp69,30
	4) Mandor	OH	0,0004	Rp101.000,00	Rp40,40
	b. Bahan				
	1) Besi beton sengkang	kg	1,05	Rp17.500	Rp18.375,00
	2) Kawat ikat	kg	0,015	Rp15.450	Rp231,75
	c. Alat Bantu				
	1) Mesin potong besi	Hari	0,0005	Rp225.000	Rp112,50
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp25.447,45
3,Pekerjaan Beton (M3) F'c 30					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	1	Rp70.000,00	Rp70.000,00
	2) Tukang batu	OH	0,25	Rp95.500,00	Rp23.875,00
	3) Kepala tukang	OH	0,025	Rp99.000,00	Rp2.475,00
	4) Mandor	OH	0,1	Rp101.000,00	Rp10.100,00
	b. Bahan				
	1) Semen Portland	Kg	457	Rp1.500,00	Rp685.500,00
	2) Pasir Beton	Kg	681	Rp125,00	Rp85.125,00
	3) Kerikil (Max 30 mm)	Kg	1009	Rp125,89	Rp127.021,89
	4) Air	Liter	202	Rp125,89	Rp25.429,56
	c. Alat Bantu				
	1) Molen 0.35 m3	Hari	0,2	Rp345.000	Rp69.000,00
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp1.098.526,44

Berdasarkan perhitungan AHSP tersebut dapat ditentukan biaya total pekerjaan elemen kolom struktur *trial* 4. Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan biaya pekerjaan kolom struktur *trial* 4 yang ditampilkan pada tabel 5.103.

Tabel 5.103 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Struktur Kolom *Trial* 4

No	Jenis Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
Pekerjaan K44A					**Rp47.482.655**
1	Pembesian Besi Ulir	1068,336281	kg	Rp25.552	Rp27.298.609
2	Pembesian Besi Polos	585,9572954	kg	Rp25.447	Rp14.911.119
3	Pekerjaan Pengecoran	4,8	m3	Rp1.098.526	Rp5.272.927
Pekerjaan K47					**Rp284.332.130**
1	Pembesian Besi Ulir	7074,768481	kg	Rp25.552	Rp180.777.668
2	Pembesian Besi Polos	2836,455021	kg	Rp25.447	Rp72.180.547
3	Pekerjaan Pengecoran	28,56	m3	Rp1.098.526	Rp31.373.915
Pekerjaan K55A					**Rp54.590.654**
1	Pembesian Besi Ulir	1068,336281	kg	Rp25.552	Rp27.298.609
2	Pembesian Besi Polos	748,7232108	kg	Rp25.447	Rp19.053.096
3	Pekerjaan Pengecoran	7,5	m3	Rp1.098.526	Rp8.238.948
Pekerjaan K66A					**Rp8.660.031.999**
1	Pembesian Besi Ulir	144223,1722	kg	Rp25.552	Rp3.685.255.397
2	Pembesian Besi Polos	130555,4964	kg	Rp25.447	Rp3.322.304.466
3	Pekerjaan Pengecoran	1504,2625	m3	Rp1.098.526	Rp1.652.472.136
Pekerjaan K80					**Rp2.172.332.565**
1	Pembesian Besi Ulir	42598,89192	kg	Rp25.552	Rp1.088.506.056
2	Pembesian Besi Polos	26972,43307	kg	Rp25.447	Rp686.379.642
3	Pekerjaan Pengecoran	361,8	m3	Rp1.098.526	Rp397.446.868
Pekerjaan K710					**Rp861.600.162**
1	Pembesian Besi Ulir	14475,58668	kg	Rp25.552	Rp369.886.705
2	Pembesian Besi Polos	12741,24187	kg	Rp25.447	Rp324.232.115
3	Pekerjaan Pengecoran	152,46	m3	Rp1.098.526	Rp167.481.342
Pekerjaan K712					**Rp353.331.733**
1	Pembesian Besi Ulir	7976,45466	kg	Rp25.552	Rp203.817.959
2	Pembesian Besi Polos	3855,110706	kg	Rp25.447	Rp98.102.737
3	Pekerjaan Pengecoran	46,8	m3	Rp1.098.526	Rp51.411.038
Pekerjaan K68					**Rp281.284.951**
1	Pembesian Besi Ulir	5870,507864	kg	Rp25.552	Rp150.005.859
2	Pembesian Besi Polos	3593,871412	kg	Rp25.447	Rp91.454.863
3	Pekerjaan Pengecoran	36,25240843	m3	Rp1.098.526	Rp39.824.229
Pekerjaan K88					**Rp512.913.826**
1	Pembesian Besi Ulir	8115,175611	kg	Rp25.552	Rp207.362.619
2	Pembesian Besi Polos	8052,534587	kg	Rp25.447	Rp204.916.471
3	Pekerjaan Pengecoran	91,60884178	m3	Rp1.098.526	Rp100.634.735
Total Biaya Seluruh Pekerjaan Kolom					**Rp13.227.900.676**

5.3.6. Hasil Analisis dan Desain Model *Trial*

Dari ke empat *trial* yang dilakukan, seluruh model *trial* memenuhi persyaratan *drift ratio* dan *P-delta effect.* Selain itu, keritdakberaturan horizontal tipe 1.b yang dijadikan batasan pada penelitian ini juga tidak terjadi pada setiap model. Dengan begitu penelitian ini dapat lebih fokus terhadap pengaruh optimalisasi dengan menggunakan ANN.

Berdasarkan perhitungan biaya pekerjaan kolom yang telah dijabarkan pada setiap model, biaya pekerjaan kolom ke-empat *trial* lebih mahal dibandingkan dengan model *existing*. Hal ini dikarenakan terdapat pembesaran dimensi komponen struktur untuk memenuhi persyaratan dan batasan penelitian yang telah disebutkan sebelumnya. Selain itu, didapatkan bahwa *trial* 1 memiliki biaya

pekerjaan kolom dengan harga termurah. Dengan demikian konfigurasi yang tidak dimodelkan pada ANN untuk menjadi data *output* akan menggunakan konfigurasi pada *trial* 1.

5.4. *Artificial Neural Network* untuk Optimalisasi Struktur

5.4.1. Normalisasi Data *Input* dan *Ouput*

Untuk data *input* dan *output* yang digunakan untuk pemodelan ANN dapat dilihat pada sub-sub bab 3.8.5. Data yang dimaksud perlu dinormalisasi untuk menyesuaikan program bahasa berbentuk konstanta yang dihasilkan oleh MATLAB.

1. Data untuk menentukan lebar kolom (*B*)

   Data *input* dan *ouput* yang digunakan untuk menentukan lebar kolom (*B*) sesuai dengan pembahasan pada sub-sub bab 3.8.5. Berikut merupakan data *input* dan *output* yang digunakan untuk menentukan lebar kolom (*B*) disajikan pada tabel 5.104.

Tabel 5.104 Data *Input* dan *Ouput* untuk Menentukan Lebar Kolom (*B*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*							Ouput
		Mutu Material (MPa)				Gaya Dalam			Dimensi Kolom
		F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Mux (Tm)	Muy (Tm)	B_x (mm)
K44A	*Trial* 1	30	35	420	400	88,048	7,863	6,033	400
	Trial 2	25	35	420	280	87,675	7,958	6,036	400
	Trial 3	30	35	400	400	90,677	10,336	6,511	400
	Trial 4	30	30	400	280	90,595	10,300	6,533	400
K47	*Trial* 1	30	35	420	400	121,482	11,634	25,723	700
	Trial 2	25	35	420	280	118,186	11,011	21,068	700
	Trial 3	30	35	400	400	117,878	10,692	20,004	700
	Trial 4	30	30	400	280	118,135	10,559	18,729	700
K55A	*Trial* 1	30	35	420	400	116,999	8,508	8,651	500
	Trial 2	25	35	420	280	116,180	8,284	7,973	500
	Trial 3	30	35	400	400	119,807	11,006	8,629	500
	Trial 4	30	30	400	280	119,446	10,884	8,640	500
K66A	*Trial* 1	30	35	420	400	389,949	77,620	48,750	600
	Trial 2	25	35	420	280	397,427	77,245	58,187	700
	Trial 3	30	35	400	400	410,672	105,528	60,913	700
	Trial 4	30	30	400	280	414,285	83,004	49,497	650
K80	*Trial* 1	30	35	420	400	369,479	93,093	135,429	950
	Trial 2	25	35	420	280	428,148	103,946	133,829	1000
	Trial 3	30	35	400	400	382,327	95,280	127,879	1000
	Trial 4	30	30	400	280	412,449	183,978	228,661	1200
K710	*Trial* 1	30	35	420	400	287,266	62,601	31,643	700

Lanjutan Tabel 5.104 Data *Input* dan Ouput untuk Menentukan Lebar Kolom (*B*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*							Ouput
		Mutu Material (MPa)				Gaya Dalam			Dimensi Kolom
		F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Mux (Tm)	Muy (Tm)	B_x (mm)
K710	*Trial* 2	25	35	420	280	294,004	73,850	30,753	650
	Trial 3	30	35	400	400	293,903	62,919	31,181	700
	Trial 4	30	30	400	280	309,005	95,988	33,603	800
K712	*Trial* 1	30	35	420	400	394,902	134,921	58,963	700
	Trial 2	25	35	420	280	404,438	181,928	49,279	650
	Trial 3	30	35	400	400	403,852	122,602	47,882	700
	Trial 4	30	30	400	280	421,958	234,152	78,002	800
K68	*Trial* 1	30	35	420	400	434,680	31,887	35,263	600
	Trial 2	25	35	420	280	428,148	28,850	34,459	600
	Trial 3	30	35	400	400	433,717	29,522	33,460	600
	Trial 4	30	30	400	280	474,746	37,499	42,256	700
K88	*Trial* 1	30	35	420	400	364,946	64,563	70,945	900
	Trial 2	25	35	420	280	377,622	84,213	85,485	1000
	Trial 3	30	35	400	400	381,485	85,705	82,377	1000
	Trial 4	30	30	400	280	416,083	138,763	143,919	1200

Dari data pada tabel di atas dilakukan normalisasi dalam rentang -1 hingga 1. Normalisasi dilakukan untuk keseluruhan *input* dalam memperoleh nilai minimum dan maksimum yang sama pada setiap data. Untuk menormalisasi *input* digunakan persamaan berikut.

$$p_{normalisasi} = 2 . \frac{(p - p_{min})}{(p_{max} - p_{min})} - 1$$

Maka untuk menghitung nilai normalisasi untuk *input f'c* balok dengan data *input* (*p*) = 30 adalah sebagai berikut.

$$p_{normalisasi} = 2 . \frac{(30-25)}{(30-25)} - 1 = 1$$

Seluruh data *input* yang digunakan dilakukan normalisasi yang serupa dengan rentang -1 hingga -1. Untuk perhitungan nilai data *input* (*p*) lainnya digunakan cara yang sama seperti perhitungan di atas. Berikut merupakan data normalisasi *input* yang digunakan untuk menentukan lebar kolom (*B*) disajikan pada tabel 5.105.

Tabel 5.105 Normalisasi Data *Input* untuk Menentukan Lebar Kolom (*B*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*						
		Mutu Material				Gaya Dalam		
		F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial	Mux	Muy
K44A	*Trial* 1	1	1	1	1	-0,998	-1,000	-1,000
	Trial 2	-1	1	1	-1	-1,000	-0,999	-1,000
	Trial 3	1	1	-1	1	-0,984	-0,978	-0,996
	Trial 4	1	-1	-1	-1	-0,985	-0,978	-0,996
K47	*Trial* 1	1	1	1	1	-0,825	-0,967	-0,823
	Trial 2	-1	1	1	-1	-0,842	-0,972	-0,865
	Trial 3	1	1	-1	1	-0,844	-0,975	-0,874
	Trial 4	1	-1	-1	-1	-0,843	-0,976	-0,886
K55A	*Trial* 1	1	1	1	1	-0,848	-0,994	-0,976
	Trial 2	-1	1	1	-1	-0,853	-0,996	-0,983
	Trial 3	1	1	-1	1	-0,834	-0,972	-0,977
	Trial 4	1	-1	-1	-1	-0,836	-0,973	-0,977
K66A	*Trial* 1	1	1	1	1	0,562	-0,383	-0,616
	Trial 2	-1	1	1	-1	0,600	-0,387	-0,531
	Trial 3	1	1	-1	1	0,669	-0,137	-0,507
	Trial 4	1	-1	-1	-1	0,688	-0,336	-0,610
K80	*Trial* 1	1	1	1	1	0,456	-0,247	0,162
	Trial 2	-1	1	1	-1	0,759	-0,151	0,148
	Trial 3	1	1	-1	1	0,522	-0,227	0,095
	Trial 4	1	-1	-1	-1	0,678	0,557	1,000
K710	*Trial* 1	1	1	1	1	0,031	-0,516	-0,770
	Trial 2	-1	1	1	-1	0,066	-0,417	-0,778
	Trial 3	1	1	-1	1	0,066	-0,513	-0,774
	Trial 4	1	-1	-1	-1	0,144	-0,221	-0,752
K712	*Trial* 1	1	1	1	1	0,587	0,123	-0,524
	Trial 2	-1	1	1	-1	0,637	0,538	-0,611
	Trial 3	1	1	-1	1	0,634	0,014	-0,624
	Trial 4	1	-1	-1	-1	0,727	1,000	-0,353
K68	*Trial* 1	1	1	1	1	0,793	-0,788	-0,737
	Trial 2	-1	1	1	-1	0,759	-0,815	-0,745
	Trial 3	1	1	-1	1	0,788	-0,809	-0,754
	Trial 4	1	-1	-1	-1	1,000	-0,738	-0,675
K88	*Trial* 1	1	1	1	1	0,433	-0,499	-0,417
	Trial 2	-1	1	1	-1	0,498	-0,325	-0,286
	Trial 3	1	1	-1	1	0,518	-0,312	-0,314
	Trial 4	1	-1	-1	-1	0,697	0,157	0,239

2. Data untuk menentukan tebal kolom (*H*)

   Data *input* dan *ouput* yang digunakan untuk menentukan tebal kolom (*H*) sesuai dengan pembahasan pada sub-sub bab 3.8.5. Berikut merupakan data *input* dan *output* yang digunakan untuk menentukan tebal kolom (*H*) disajikan pada tabel 5.106.

Tabel 5.106 Data *Input* dan *Ouput* untuk Menentukan Tebal Kolom (*H*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*							Ouput
		Mutu Material (MPa)				Gaya Dalam			Dimensi Kolom
		F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Mux (Tm)	Muy (Tm)	H_y (mm)
K44A	*Trial* 1	30	35	420	400	88,048	7,863	6,033	300
	Trial 2	25	35	420	280	87,675	7,958	6,036	300
	Trial 3	30	35	400	400	90,677	10,336	6,511	400
	Trial 4	30	30	400	280	90,595	10,300	6,533	400
K47	*Trial* 1	30	35	420	400	121,482	11,634	25,723	400
	Trial 2	25	35	420	280	118,186	11,011	21,068	400
	Trial 3	30	35	400	400	117,878	10,692	20,004	400
	Trial 4	30	30	400	280	118,135	10,559	18,729	400
K55A	*Trial* 1	30	35	420	400	116,999	8,508	8,651	400
	Trial 2	25	35	420	280	116,180	8,284	7,973	400
	Trial 3	30	35	400	400	119,807	11,006	8,629	500
	Trial 4	30	30	400	280	119,446	10,884	8,640	500
K66A	*Trial* 1	30	35	420	400	389,949	77,620	48,750	900
	Trial 2	25	35	420	280	397,427	77,245	58,187	900
	Trial 3	30	35	400	400	410,672	105,528	60,913	1000
	Trial 4	30	30	400	280	414,285	83,004	49,497	1000
K80	*Trial* 1	30	35	420	400	369,479	93,093	135,429	950
	Trial 2	25	35	420	280	428,148	103,946	133,829	1000
	Trial 3	30	35	400	400	382,327	95,280	127,879	1000
	Trial 4	30	30	400	280	412,449	183,978	228,661	1200
K710	*Trial* 1	30	35	420	400	287,266	62,601	31,643	900
	Trial 2	25	35	420	280	294,004	73,850	30,753	1000
	Trial 3	30	35	400	400	293,903	62,919	31,181	900
	Trial 4	30	30	400	280	309,005	95,988	33,603	1100
K712	*Trial* 1	30	35	420	400	394,902	134,921	58,963	1000
	Trial 2	25	35	420	280	404,438	181,928	49,279	1200
	Trial 3	30	35	400	400	403,852	122,602	47,882	1000
	Trial 4	30	30	400	280	421,958	234,152	78,002	1300
K68	*Trial* 1	30	35	420	400	434,680	31,887	35,263	600
	Trial 2	25	35	420	280	428,148	28,850	34,459	600
	Trial 3	30	35	400	400	433,717	29,522	33,460	600
	Trial 4	30	30	400	280	474,746	37,499	42,256	700
K88	*Trial* 1	30	35	420	400	364,946	64,563	70,945	900
	Trial 2	25	35	420	280	377,622	84,213	85,485	1000
	Trial 3	30	35	400	400	381,485	85,705	82,377	1000
	Trial 4	30	30	400	280	416,083	138,763	143,919	1200

Dari data pada tabel di atas dilakukan normalisasi dalam rentang -1 hingga 1. Berikut merupakan data normalisasi *input* yang digunakan untuk menentukan tebal kolom (*H*) disajikan pada tabel 5.107.

Tabel 5.107 Normalisasi Data *Input* untuk Menentukan Tebal Kolom (*H*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*						
		Mutu Material				Gaya Dalam		
		F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial	Mux	Muy
K44A	*Trial* 1	1	1	1	1	-0,842	-0,972	-0,865
	Trial 2	-1	1	1	-1	-0,844	-0,975	-0,874
	Trial 3	1	1	-1	1	-0,843	-0,976	-0,886
	Trial 4	1	-1	-1	-1	-0,848	-0,994	-0,976
K47	*Trial* 1	1	1	1	1	-0,853	-0,996	-0,983
	Trial 2	-1	1	1	-1	-0,834	-0,972	-0,977
	Trial 3	1	1	-1	1	-0,836	-0,973	-0,977
	Trial 4	1	-1	-1	-1	0,562	-0,383	-0,616
K55A	*Trial* 1	1	1	1	1	0,600	-0,387	-0,531
	Trial 2	-1	1	1	-1	0,669	-0,137	-0,507
	Trial 3	1	1	-1	1	0,688	-0,336	-0,610
	Trial 4	1	-1	-1	-1	0,456	-0,247	0,162
K66A	*Trial* 1	1	1	1	1	0,759	-0,151	0,148
	Trial 2	-1	1	1	-1	0,522	-0,227	0,095
	Trial 3	1	1	-1	1	0,678	0,557	1,000
	Trial 4	1	-1	-1	-1	0,031	-0,516	-0,770
K80	*Trial* 1	1	1	1	1	0,066	-0,417	-0,778
	Trial 2	-1	1	1	-1	0,066	-0,513	-0,774
	Trial 3	1	1	-1	1	0,144	-0,221	-0,752
	Trial 4	1	-1	-1	-1	0,587	0,123	-0,524
K710	*Trial* 1	1	1	1	1	0,637	0,538	-0,611
	Trial 2	-1	1	1	-1	0,634	0,014	-0,624
	Trial 3	1	1	-1	1	0,727	1,000	-0,353
	Trial 4	1	-1	-1	-1	0,793	-0,788	-0,737
K712	*Trial* 1	1	1	1	1	0,759	-0,815	-0,745
	Trial 2	-1	1	1	-1	0,788	-0,809	-0,754
	Trial 3	1	1	-1	1	1,000	-0,738	-0,675
	Trial 4	1	-1	-1	-1	0,433	-0,499	-0,417
K68	*Trial* 1	1	1	1	1	0,498	-0,325	-0,286
	Trial 2	-1	1	1	-1	0,518	-0,312	-0,314
	Trial 3	1	1	-1	1	0,697	0,157	0,239
	Trial 4	1	-1	-1	-1	-0,842	-0,972	-0,865
K88	*Trial* 1	1	1	1	1	-0,844	-0,975	-0,874
	Trial 2	-1	1	1	-1	-0,843	-0,976	-0,886
	Trial 3	1	1	-1	1	-0,848	-0,994	-0,976
	Trial 4	1	-1	-1	-1	-0,853	-0,996	-0,983

3. Data untuk menentukan rasio tulangan kolom (ρ)

Data *input* dan *ouput* yang digunakan untuk menentukan rasio tulangan kolom (ρ) sesuai dengan pembahasan pada sub-sub bab 3.8.5. Berikut merupakan data *input* dan *output* yang digunakan untuk menentukan rasio tulangan kolom (ρ) disajikan pada tabel 5.108.

Tabel 5.108 Data *Input* dan *Ouput* untuk Menentukan Rasio Tulangan Kolom (ρ)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*													Ouput
		Diameter Tulangan (mm)		Mutu Material (MPa)				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom (mm)		1,2 Mn Balok (Tm)		Rasio Tulangan Pokok Kolom (%)
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Mux (Tm)	Muy (Tm)	H_y	B_x	Arah x	Arah y	
K44A	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	88,048	7,863	6,033	300	400	30,3	50,7	4,909%
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	87,675	7,958	6,036	300	400	41,3	44,2	4,909%
	Trial 3	19	13	30	35	400	400	90,677	10,336	6,511	400	400	28,9	65,2	2,835%
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	90,595	10,300	6,533	400	400	39,8	65,2	2,835%
K47	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	121,482	11,634	25,723	400	700	68,3	55,6	2,104%
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	118,186	11,011	21,068	400	700	67,6	48,6	2,104%
	Trial 3	19	13	30	35	400	400	117,878	10,692	20,004	400	700	68,3	53,1	1,823%
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	118,135	10,559	18,729	400	700	65,2	46,8	3,156%
K55A	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	116,999	8,508	8,651	400	500	30,3	50,7	2,454%
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	116,180	8,284	7,973	400	500	41,3	44,2	2,454%
	Trial 3	19	13	30	35	400	400	119,807	11,006	8,629	500	500	28,9	65,2	1,815%
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	119,446	10,884	8,640	500	500	39,8	65,2	1,815%
K66A	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	389,949	77,620	48,750	900	600	141,5	141,5	2,000%
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	397,427	77,245	58,187	900	700	155,5	155,5	1,558%
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	410,672	105,528	60,913	1000	700	167,6	167,6	1,412%
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	414,285	83,004	49,497	1000	650	179,5	179,5	1,221%
K80	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	369,479	93,093	135,429	950	950	141,5	141,5	1,523%
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	428,148	103,946	133,829	1000	1000	155,5	155,5	1,374%
	Trial 3	25	13	30	35	400	400	382,327	95,280	127,879	1000	1000	167,6	167,6	1,178%
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	412,449	183,978	228,661	1200	1200	179,5	179,5	1,500%

Lanjutan Tabel 5.108 Data *Input* dan *Ouput* untuk Menentukan Rasio Tulangan Kolom (ρ)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*													Ouput
		Diameter Tulangan (mm)		Mutu Material (MPa)				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom (mm)		1,2 Mn Balok (Tm)		Rasio Tulangan Pokok Kolom (%)
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Mux (Tm)	Muy (Tm)	H_y	B_x	Arah x	Arah y	
K710	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	287,266	62,601	31,643	900	700	145,5	113,0	2,026%
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	294,004	73,850	30,753	1000	650	140,6	113,0	2,115%
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	293,903	62,919	31,181	900	700	144,3	134,7	1,327%
	Trial 4	22	10	30	30	400	280	309,005	95,988	33,603	1100	800	135,8	109,5	1,210%
K712	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	394,902	134,921	58,963	1000	700	145,5	113,0	2,244%
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	404,438	181,928	49,279	1200	650	140,6	113,0	2,140%
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	403,852	122,602	47,882	1000	700	144,3	134,7	1,303%
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	421,958	234,152	78,002	1300	800	135,8	109,5	2,171%
K68	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	434,680	31,887	35,263	600	600	135,9	117,7	1,636%
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	428,148	28,850	34,459	600	600	131,3	116,9	1,636%
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	433,717	29,522	33,460	600	600	156,5	133,8	1,689%
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	474,746	37,499	42,256	700	700	155,4	141,2	1,620%
K88	*Trial* 1	25	13	30	35	420	400	364,946	64,563	70,945	900	900	141,5	113,0	1,389%
	Trial 2	25	13	25	35	420	280	377,622	84,213	85,485	1000	1000	155,5	113,0	1,375%
	Trial 3	25	13	30	35	400	400	381,485	85,705	82,377	1000	1000	167,6	134,7	1,375%
	Trial 4	25	13	30	30	400	280	416,083	138,763	143,919	1200	1200	179,5	109,5	1,128%

Dari data pada tabel di atas dilakukan normalisasi dalam rentang -1 hingga 1. Berikut merupakan data normalisasi *input* yang digunakan untuk rasio tulangan kolom (ρ) disajikan pada tabel 5.109.

Tabel 5.109 Normalisasi Data *Input* untuk Menentukan Rasio Tulangan Kolom (ρ)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*												
		Diameter Tulangan		Mutu Material				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom		1,2 Mn Balok	
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Mux (Tm)	Muy (Tm)	H_y	B_x	Arah x	Arah y
K4A4	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-0,98	-0,90
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-0,84	-1,00
	Trial 3	-1	1	1	1	-1	1	-0,98	-0,98	-1,00	-0,80	-1,00	-1,00	-0,69
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	-0,98	-0,98	-1,00	-0,80	-1,00	-0,86	-0,69
K47	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	-0,83	-0,97	-0,82	-0,80	-0,25	-0,48	-0,83
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	-0,84	-0,97	-0,86	-0,80	-0,25	-0,49	-0,94
	Trial 3	-1	1	1	1	-1	1	-0,84	-0,98	-0,87	-0,80	-0,25	-0,48	-0,87
	Trial 4	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,84	-0,98	-0,89	-0,80	-0,25	-0,52	-0,96
K55A	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	-0,85	-0,99	-0,98	-0,80	-0,75	-0,98	-0,90
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	-0,85	-1,00	-0,98	-0,80	-0,75	-0,84	-1,00
	Trial 3	-1	1	1	1	-1	1	-0,83	-0,97	-0,98	-0,60	-0,75	-1,00	-0,69
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	-0,84	-0,97	-0,98	-0,60	-0,75	-0,86	-0,69
K66A	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,56	-0,38	-0,62	0,20	-0,50	0,50	0,44
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,60	-0,39	-0,53	0,20	-0,25	0,68	0,65
	Trial 3	0	1	1	1	-1	1	0,67	-0,14	-0,51	0,40	-0,25	0,84	0,82
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	0,69	-0,34	-0,61	0,40	-0,38	1,00	1,00
K80	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,46	-0,25	0,16	0,30	0,38	0,50	0,44
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,76	-0,15	0,15	0,40	0,50	0,68	0,65
	Trial 3	1	1	1	1	-1	1	0,52	-0,23	0,09	0,40	0,50	0,84	0,82
	Trial 4	1	-1	1	-1	-1	-1	0,68	0,56	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00
K710	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,03	-0,52	-0,77	0,20	-0,25	0,55	0,02
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,07	-0,42	-0,78	0,40	-0,38	0,48	0,02
	Trial 3	0	1	1	1	-1	1	0,07	-0,51	-0,77	0,20	-0,25	0,53	0,34
	Trial 4	0	-1	1	-1	-1	-1	0,14	-0,22	-0,75	0,60	0,00	0,42	-0,04
K712	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,59	0,12	-0,52	0,40	-0,25	0,55	0,02
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,64	0,54	-0,61	0,80	-0,38	0,48	0,02

Lanjutan Tabel 5.109 Normalisasi Data *Input* untuk Menentukan Rasio Tulangan Kolom (ρ)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*												
		Diameter Tulangan		Mutu Material				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom		1,2 Mn Balok	
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Mux (Tm)	Muy (Tm)	H_y	B_x	Arah x	Arah y
K712	*Trial* 3	0	1	1	1	-1	1	0,63	0,01	-0,62	0,40	-0,25	0,53	0,34
	Trial 4	1	-1	1	-1	-1	-1	0,73	1,00	-0,35	1,00	0,00	0,42	-0,04
K68	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,79	-0,79	-0,74	-0,40	-0,50	0,42	0,09
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,76	-0,81	-0,74	-0,40	-0,50	0,36	0,07
	Trial 3	0	1	1	1	-1	1	0,79	-0,81	-0,75	-0,40	-0,50	0,69	0,32
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	1,00	-0,74	-0,67	-0,20	-0,25	0,68	0,43
K88	*Trial* 1	1	1	1	1	1	1	0,43	-0,50	-0,42	0,20	0,25	0,50	0,02
	Trial 2	1	1	-1	1	1	-1	0,50	-0,33	-0,29	0,40	0,50	0,68	0,02
	Trial 3	1	1	1	1	-1	1	0,52	-0,31	-0,31	0,40	0,50	0,84	0,34
	Trial 4	1	1	1	-1	-1	-1	0,70	0,16	0,24	0,80	1,00	1,00	-0,04

4. Data untuk menentukan jarak sengkang tumpuan kolom (*St*)

   Berikut merupakan data *input* dan *output* yang digunakan untuk menentukan jarak sengkang tumpuan kolom (*St*) disajikan pada tabel 5.110.

Tabel 5.110 Data *Input* dan *Ouput* untuk Menentukan Sengkang Tumpuan Kolom (*St*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*													Ouput
		Diameter Tulangan (mm)		Mutu Material (MPa)				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom (mm)		Luas Tulangan Tumpuan Pakai (cm^2)		Jarak Tulangan (cm)
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Vux (T)	Vuy (T)	H_y	B_x	Arah x	Arah y	Tumpuan
K44A	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	88,048	50,153	51,578	300	400	2,03	2,96	5

Lanjutan Tabel 5.110 Data *Input* dan *Ouput* untuk Menentukan Sengkang Tumpuan Kolom (*St*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*													Ouput
		Diameter Tulangan (mm)		Mutu Material (MPa)				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom (mm)		Luas Tulangan Tumpuan Pakai (cm^2)		Jarak Tulangan (cm)
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Vux (T)	Vuy (T)	H_y	B_x	Arah x	Arah y	Tumpuan
K44A	*Trial* 2	25	10	25	35	420	280	87,675	45,386	53,499	300	400	4,07	5,92	10
	Trial 3	19	13	30	35	400	400	90,677	49,025	61,463	400	400	5,81	8,45	10
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	90,595	56,110	54,320	400	400	4,73	4,73	10
K47	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	121,482	8,882	7,788	400	700	5,79	5,79	10
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	118,186	8,037	7,397	400	700	3,45	6,69	10
	Trial 3	19	13	30	35	400	400	117,878	8,029	7,238	400	700	4,94	9,56	10
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	118,135	8,082	7,279	400	700	3,45	6,69	10
K55A	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	116,999	6,503	6,537	400	500	4,23	8,20	10
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	116,180	5,982	6,333	400	500	5,86	7,69	10
	Trial 3	19	13	30	35	400	400	119,807	6,252	7,745	500	500	5,86	7,69	10
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	119,446	6,278	7,661	500	500	4,60	4,60	10
K66A	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	389,949	50,153	51,578	900	600	5,63	5,63	10
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	397,427	45,386	53,499	900	700	8,22	5,21	10
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	410,672	49,025	61,463	1000	700	11,75	8,88	10
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	414,285	56,110	54,320	1000	650	5,49	3,70	10
K80	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	369,479	52,642	61,843	950	950	11,30	7,00	10
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	428,148	53,374	62,756	1000	1000	8,72	8,72	10
	Trial 3	25	13	30	35	400	400	382,327	50,514	63,055	1000	1000	13,18	13,18	10
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	412,449	79,971	70,839	1200	1200	5,46	5,46	10
K710	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	287,266	49,017	58,788	900	700	13,75	13,75	10
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	294,004	42,755	58,461	1000	650	8,22	6,22	10
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	293,903	43,684	55,489	900	700	13,18	8,16	10
	Trial 4	22	10	30	30	400	280	309,005	51,138	59,763	1100	800	5,15	3,89	10
K712	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	394,902	21,435	38,438	1000	700	12,52	8,84	10
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	404,438	20,306	48,524	1200	650	9,22	6,22	10

Lanjutan Tabel 5.110 Data *Input* dan *Ouput* untuk Menentukan Sengkang Tumpuan Kolom (*St*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*													Ouput
		Diameter Tulangan (mm)		Mutu Material (MPa)				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom (mm)		Luas Tulangan Tumpuan Pakai (cm^2)		Jarak Tulangan (cm)
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Vux (T)	Vuy (T)	H_y	B_x	Arah x	Arah y	Tumpuan
K712	*Trial* 3	22	13	30	35	400	400	403,852	17,835	35,832	1000	700	5,49	3,70	10
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	421,958	24,742	54,439	1300	800	14,98	8,84	10
K68	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	434,680	37,608	21,715	600	600	5,21	5,21	10
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	428,148	37,629	21,971	600	600	7,45	7,45	10
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	433,717	36,670	22,952	600	600	4,52	4,52	10
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	474,746	46,396	27,731	700	700	7,61	7,61	10
K88	*Trial* 1	25	13	30	35	420	400	364,946	23,930	16,222	900	900	2,65	2,65	10
	Trial 2	25	13	25	35	420	280	377,622	33,035	19,521	1000	1000	2,65	2,65	10
	Trial 3	25	13	30	35	400	400	381,485	25,380	20,445	1000	1000	2,65	2,65	10
	Trial 4	25	13	30	30	400	280	416,083	38,393	25,170	1200	1200	2,65	2,65	10

Dari data pada tabel di atas dilakukan normalisasi dalam rentang -1 hingga 1. Berikut merupakan data normalisasi *input* yang digunakan untuk jarak sengkang tumpuan kolom (*St*) disajikan pada tabel 5.111.

Tabel 5.111 Normalisasi Data *Input* untuk Menentukan Sengkang Tumpuan Kolom (*St*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*												
		Diameter Tulangan		Mutu Material				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom		Luas Tulangan Tumpuan Pakai	
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Vux (T)	Vuy (T)	H_y	B_x	Arah x	Arah y
K44A	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	-1,00	0,19	0,40	-1,00	-1,00	-0,88	-0,61
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	-1,00	0,07	0,46	-1,00	-1,00	-0,65	-0,26
	Trial 3	-1	1	1	1	-1	1	-0,98	0,16	0,71	-0,80	-1,00	-0,18	-0,12
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	-0,98	0,35	0,49	-0,80	-1,00	-0,65	-0,63

Lanjutan Tabel 5.111 Normalisasi Data *Input* untuk Menentukan Sengkang Tumpuan Kolom (*St*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*												
		Diameter Tulangan		Mutu Material				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom		Luas Tulangan Tumpuan Pakai	
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Vux (T)	Vuy (T)	H_y	B_x	Arah x	Arah y
K47	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	-0,83	-0,92	-0,95	-0,80	-0,25	-0,79	-0,41
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	-0,84	-0,94	-0,97	-0,80	-0,25	-0,53	0,05
	Trial 3	-1	1	1	1	-1	1	-0,84	-0,94	-0,97	-0,80	-0,25	-0,69	-0,63
	Trial 4	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,84	-0,94	-0,97	-0,80	-0,25	-0,53	-0,44
K55A	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	-0,85	-0,99	-0,99	-0,80	-0,75	-0,88	-0,27
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	-0,85	-1,00	-1,00	-0,80	-0,75	-0,66	0,25
	Trial 3	-1	1	1	1	-1	1	-0,83	-0,99	-0,96	-0,60	-0,75	-0,88	-0,27
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	-0,84	-0,99	-0,96	-0,60	-0,75	-0,76	0,00
K66A	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,56	0,19	0,40	0,20	-0,50	-0,52	-0,09
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,60	0,07	0,46	0,20	-0,25	-0,52	-0,09
	Trial 3	0	1	1	1	-1	1	0,67	0,16	0,71	0,40	-0,25	-0,71	-0,65
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	0,69	0,35	0,49	0,40	-0,38	-0,56	-0,46
K80	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,46	0,26	0,72	0,30	0,38	-0,17	-0,54
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,76	0,28	0,75	0,40	0,50	0,36	0,12
	Trial 3	1	1	1	1	-1	1	0,52	0,20	0,76	0,40	0,50	-0,58	-0,81
	Trial 4	1	-1	1	-1	-1	-1	0,68	1,00	1,00	0,80	1,00	0,29	-0,22
K710	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,03	0,16	0,63	0,20	-0,25	-0,09	0,09
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,07	-0,01	0,62	0,40	-0,38	0,57	0,90
	Trial 3	0	1	1	1	-1	1	0,07	0,02	0,52	0,20	-0,25	-0,58	-0,49
	Trial 4	0	-1	1	-1	-1	-1	0,14	0,22	0,66	0,60	0,00	0,66	1,00
K712	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,59	-0,58	0,00	0,40	-0,25	-0,17	-0,36
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,64	-0,61	0,31	0,80	-0,38	0,57	-0,01
	Trial 3	0	1	1	1	-1	1	0,63	-0,68	-0,09	0,40	-0,25	-0,63	-0,78
	Trial 4	1	-1	1	-1	-1	-1	0,73	-0,49	0,49	1,00	0,00	0,47	0,11
K68	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,79	-0,15	-0,52	-0,40	-0,50	-0,02	-0,36
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,76	-0,14	-0,52	-0,40	-0,50	1,00	-0,01

Lanjutan Tabel 5.111 Normalisasi Data *Input* untuk Menentukan Sengkang Tumpuan Kolom (*St*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*												
		Diameter Tulangan		Mutu Material				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom		Luas Tulangan Tumpuan Pakai	
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Vux (T)	Vuy (T)	H_y	B_x	Arah x	Arah y
K68	*Trial* 3	0	1	1	1	-1	1	0,79	-0,17	-0,48	-0,40	-0,50	-0,72	-0,66
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	1,00	0,09	-0,34	-0,20	-0,25	-0,26	-0,11
K88	*Trial* 1	1	1	1	1	1	1	0,43	-0,51	-0,69	0,20	0,25	-1,00	-1,00
	Trial 2	1	1	-1	1	1	-1	0,50	-0,27	-0,59	0,40	0,50	-1,00	-1,00
	Trial 3	1	1	1	1	-1	1	0,52	-0,48	-0,56	0,40	0,50	-1,00	-1,00
	Trial 4	1	1	1	-1	-1	-1	0,70	-0,12	-0,42	0,80	1,00	-1,00	-1,00

5. Data untuk menentukan jarak sengkang lapangan kolom (*Sl*)

   Berikut merupakan data *input* dan *output* yang digunakan untuk menentukan jarak sengkang lapangan kolom (*Sl*) disajikan pada tabel 5.112.

Tabel 5.112 Data *Input* dan *Ouput* untuk Menentukan Sengkang Lapangan Kolom (*Sl*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*													Ouput
		Diameter Tulangan (mm)		Mutu Material (MPa)				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom (mm)		Luas Tulangan Lapangan Pakai (cm^2)		Jarak Tulangan (cm)
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Vux (T)	Vuy (T)	H_y	B_x	Arah x	Arah y	Lapangan
K44A	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	88,048	50,153	51,578	300	400	1,57	2,36	10
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	87,675	45,386	53,499	300	400	1,57	2,36	10
	Trial 3	19	13	30	35	400	400	90,677	49,025	61,463	400	400	2,65	2,65	10
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	90,595	56,110	54,320	400	400	1,57	1,57	10
K47	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	121,482	8,882	7,788	400	700	1,57	2,36	10
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	118,186	8,037	7,397	400	700	2,36	3,14	10

Lanjutan Tabel 5.112 Data *Input* dan *Ouput* untuk Menentukan Sengkang Lapangan Kolom (*Sl*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*													Ouput
		Diameter Tulangan (mm)		Mutu Material (MPa)				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom (mm)		Luas Tulangan Lapangan Pakai (cm^2)		Jarak Tulangan (cm)
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Vux (T)	Vuy (T)	H_y	B_x	Arah x	Arah y	Lapangan
K47	*Trial* 3	19	13	30	35	400	400	117,878	8,029	7,238	400	700	2,65	3,98	10
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	118,135	8,082	7,279	400	700	2,36	3,14	10
K55A	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	116,999	6,503	6,537	400	500	1,57	2,36	10
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	116,180	5,982	6,333	400	500	1,57	2,36	10
	Trial 3	19	13	30	35	400	400	119,807	6,252	7,745	500	500	3,98	3,98	10
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	119,446	6,278	7,661	500	500	2,36	2,36	15
K66A	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	389,949	50,153	51,578	900	600	3,14	2,36	15
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	397,427	45,386	53,499	900	700	3,14	2,36	10
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	410,672	49,025	61,463	1000	700	5,31	3,98	10
	Trial 4	19	10	30	30	400	280	414,285	56,110	54,320	1000	650	3,93	2,36	10
K80	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	369,479	52,642	61,843	950	950	3,14	2,36	15
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	428,148	53,374	62,756	1000	1000	3,14	2,36	15
	Trial 3	25	13	30	35	400	400	382,327	50,514	63,055	1000	1000	5,31	3,98	15
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	412,449	79,971	70,839	1200	1200	3,93	2,36	15
K710	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	287,266	49,017	58,788	900	700	3,14	2,36	15
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	294,004	42,755	58,461	1000	650	3,14	2,36	15
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	293,903	43,684	55,489	900	700	5,31	3,98	10
	Trial 4	22	10	30	30	400	280	309,005	51,138	59,763	1100	800	3,14	3,14	10
K712	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	394,902	21,435	38,438	1000	700	4,71	2,36	15
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	404,438	20,306	48,524	1200	650	3,93	2,36	15
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	403,852	17,835	35,832	1000	700	5,31	3,98	10
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	421,958	24,742	54,439	1300	800	3,93	3,14	10
K68	*Trial* 1	25	13	30	35	420	400	434,680	37,608	21,715	600	600	2,36	2,36	15
	Trial 2	25	13	25	35	420	280	428,148	37,629	21,971	600	600	3,14	3,14	10
	Trial 3	22	13	30	35	400	400	433,717	36,670	22,952	600	600	3,98	5,31	10
	Trial 4	19	13	30	30	400	280	474,746	46,396	27,731	700	700	3,14	3,14	10

Lanjutan Tabel 5.112 Data *Input* dan *Ouput* untuk Menentukan Sengkang Lapangan Kolom (*Sl*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*													Ouput
		Diameter Tulangan (mm)		Mutu Material (MPa)				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom (mm)		Luas Tulangan Lapangan Pakai (cm^2)		Jarak Tulangan (cm)
K88	*Trial* 1	25	10	30	35	420	400	364,946	23,930	16,222	900	900	1,57	1,57	15
	Trial 2	25	10	25	35	420	280	377,622	33,035	19,521	1000	1000	1,57	1,57	15
	Trial 3	25	13	30	35	400	400	381,485	25,380	20,445	1000	1000	2,65	2,65	15
	Trial 4	25	10	30	30	400	280	416,083	38,393	25,170	1200	1200	1,57	1,57	15

Dari data pada tabel di atas dilakukan normalisasi dalam rentang -1 hingga 1. Berikut merupakan data normalisasi *input* yang digunakan untuk jarak sengkang lapangan kolom (*Sl*) disajikan pada tabel 5.113.

Tabel 5.113 Normalisasi Data *Input* untuk Menentukan Sengkang Lapangan Kolom (*Sl*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*												
		Diameter Tulangan		Mutu Material				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom		Luas Tulangan Lapangan Pakai	
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Vux (T)	Vuy (T)	H_y	B_x	Arah x	Arah y
K44A	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	-1,00	0,19	0,40	-1,00	-1,00	-1,00	-0,47
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	-1,00	0,07	0,46	-1,00	-1,00	-1,00	0,60
	Trial 3	-1	1	1	1	-1	1	-0,98	0,16	0,71	-0,80	-1,00	-0,42	-0,80
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	-0,98	0,35	0,49	-0,80	-1,00	-0,58	-1,00
K47	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	-0,83	-0,92	-0,95	-0,80	-0,25	-1,00	-1,00
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	-0,84	-0,94	-0,97	-0,80	-0,25	-0,58	-0,47
	Trial 3	-1	1	1	1	-1	1	-0,84	-0,94	-0,97	-0,80	-0,25	-0,42	0,10
	Trial 4	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,84	-0,94	-0,97	-0,80	-0,25	-0,58	-0,47
K55A	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	-0,85	-0,99	-0,99	-0,80	-0,75	-1,00	-1,00
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	-0,85	-1,00	-1,00	-0,80	-0,75	-1,00	-1,00
	Trial 3	-1	1	1	1	-1	1	-0,83	-0,99	-0,96	-0,60	-0,75	0,29	0,10
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	-0,84	-0,99	-0,96	-0,60	-0,75	-0,58	-1,00

Lanjutan Tabel 5.113 Normalisasi Data *Input* untuk Menentukan Sengkang Lapangan Kolom (*Sl*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	*Input*												
		Diameter Tulangan		Mutu Material				Gaya Dalam Hasil ETABS			Dimensi Kolom		Luas Tulangan Lapangan Pakai	
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial (T)	Vux (T)	Vuy (T)	H_y	B_x	Arah x	Arah y
K66A	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,56	0,19	0,40	0,20	-0,50	-0,16	-1,00
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,60	0,07	0,46	0,20	-0,25	-0,16	-1,00
	Trial 3	0	1	1	1	-1	1	0,67	0,16	0,71	0,40	-0,25	1,00	0,10
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	0,69	0,35	0,49	0,40	-0,38	0,26	-1,00
K80	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,46	0,26	0,72	0,30	0,38	-0,16	-1,00
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,76	0,28	0,75	0,40	0,50	-0,16	-1,00
	Trial 3	1	1	1	1	-1	1	0,52	0,20	0,76	0,40	0,50	1,00	0,10
	Trial 4	1	-1	1	-1	-1	-1	0,68	1,00	1,00	0,80	1,00	0,26	-1,00
K710	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,03	0,16	0,63	0,20	-0,25	-0,16	-1,00
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,07	-0,01	0,62	0,40	-0,38	-0,16	-1,00
	Trial 3	0	1	1	1	-1	1	0,07	0,02	0,52	0,20	-0,25	1,00	0,10
	Trial 4	0	-1	1	-1	-1	-1	0,14	0,22	0,66	0,60	0,00	-0,16	-0,47
K712	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,59	-0,58	0,00	0,40	-0,25	-0,16	-1,00
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,64	-0,61	0,31	0,80	-0,38	0,26	-1,00
	Trial 3	0	1	1	1	-1	1	0,63	-0,68	-0,09	0,40	-0,25	1,00	0,10
	Trial 4	1	-1	1	-1	-1	-1	0,73	-0,49	0,49	1,00	0,00	0,26	-0,47
K68	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,79	-0,15	-0,52	-0,40	-0,50	-0,58	-1,00
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,76	-0,14	-0,52	-0,40	-0,50	-0,16	-0,47
	Trial 3	0	1	1	1	-1	1	0,79	-0,17	-0,48	-0,40	-0,50	0,29	1,00
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	1,00	0,09	-0,34	-0,20	-0,25	-0,16	-0,47
K88	*Trial* 1	1	1	1	1	1	1	0,43	-0,51	-0,69	0,20	0,25	-0,42	-0,80
	Trial 2	1	1	-1	1	1	-1	0,50	-0,27	-0,59	0,40	0,50	-0,42	-0,80
	Trial 3	1	1	1	1	-1	1	0,52	-0,48	-0,56	0,40	0,50	-0,42	-0,80
	Trial 4	1	1	1	-1	-1	-1	0,70	-0,12	-0,42	0,80	1,00	-0,42	-0,80

6. Data untuk menentukan biaya pekerjaan kolom (*C*)

   Untuk data yang digunakan dalam menentukan total biaya pekerjaan kolom dengan menggunakan ANN adalah data yang sama dari data pada tabel di atas. Dengan *input* yang sudah ditentukan berikut merupakan hasil normalisasi data *input* untuk menentukan total biaya pekerjaan kolom dengan ANN. Berikut merupakan data normalisasi *input* yang digunakan untuk menentukan biaya pekerjaan kolom (*C*) disajikan pada tabel 5.114.

Tabel 5.114 Normalisasi Data *Input* untuk Menentukan Biaya Pekerjaan Kolom (*C*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	Diameter Tulangan		Mutu Material				Gaya Dalam Hasil ETABS					Dimensi Kolom		Spesifikasi Tulangan		
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial	Mux	Muy	Vux	Vuy	H (y)	B (x)	Pokok (*r*)	S (L)	S (BCJ)
K44A	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	-0,998	-1,000	-1,000	0,194	0,403	-1,000	-1,000	1,000	-1,000	1,000
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	-1,000	-0,999	-1,000	0,065	0,462	-1,000	-1,000	1,000	-1,000	1,000
	Trial 3	-1	1	1	1	-1	1	-0,984	-0,978	-0,996	0,163	0,709	-0,800	-1,000	-0,097	-1,000	1,000
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	-0,985	-0,978	-0,996	0,355	0,488	-0,800	-1,000	-0,097	-1,000	1,000
K47	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	-0,825	-0,967	-0,823	-0,922	-0,955	-0,800	-0,250	-0,484	-1,000	1,000
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	-0,842	-0,972	-0,865	-0,944	-0,967	-0,800	-0,250	-0,484	-1,000	1,000
	Trial 3	-1	1	1	1	-1	1	-0,844	-0,975	-0,874	-0,945	-0,972	-0,800	-0,250	-0,633	-1,000	1,000
	Trial 4	1	-1	1	-1	-1	-1	-0,843	-0,976	-0,886	-0,943	-0,971	-0,800	-0,250	0,072	-1,000	1,000
K55A	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	-0,848	-0,994	-0,976	-0,986	-0,994	-0,800	-0,750	-0,299	-1,000	1,000
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	-0,853	-0,996	-0,983	-1,000	-1,000	-0,800	-0,750	-0,299	-1,000	1,000
	Trial 3	-1	1	1	1	-1	1	-0,834	-0,972	-0,977	-0,993	-0,956	-0,600	-0,750	-0,637	-1,000	1,000
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	-0,836	-0,973	-0,977	-0,992	-0,959	-0,600	-0,750	-0,637	1,000	1,000
K66A	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,562	-0,383	-0,616	0,194	0,403	0,200	-0,500	-0,539	1,000	1,000
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,600	-0,387	-0,531	0,065	0,462	0,200	-0,250	-0,773	-1,000	1,000
	Trial 3	0	1	1	1	-1	1	0,669	-0,137	-0,507	0,163	0,709	0,400	-0,250	-0,850	-1,000	1,000
	Trial 4	-1	-1	1	-1	-1	-1	0,688	-0,336	-0,610	0,355	0,488	0,400	-0,375	-0,951	0,000	1,000
K80	*Trial* 1	1	-1	1	1	1	1	0,456	-0,247	0,162	0,261	0,721	0,300	0,375	-0,791	1,000	1,000
	Trial 2	1	-1	-1	1	1	-1	0,759	-0,151	0,148	0,281	0,749	0,400	0,500	-0,870	1,000	1,000

Lanjutan Tabel 5.114 Normalisasi Data *Input* untuk Menentukan Biaya Pekerjaan Kolom (*C*)

Tipe Kolom	No. *Trial*	Diameter Tulangan		Mutu Material				Gaya Dalam Hasil ETABS					Dimensi Kolom		Spesifikasi Tulangan		
		Pokok	Sengkang	F'c Balok	F'c Kolom	Fy pokok	Fy sengkang	Gaya Aksial	Mux	Muy	Vux	Vuy	H (y)	B (x)	Pokok (*r*)	S (L)	S (BCJ)
K80	***Trial* 3**	1	1	1	1	-1	1	0,522	-0,227	0,095	0,204	0,759	0,400	0,500	-0,974	1,000	1,000
	***Trial* 4**	1	-1	1	-1	-1	-1	0,678	0,557	1,000	1,000	1,000	0,800	1,000	-0,803	1,000	1,000
K710	***Trial* 1**	1	-1	1	1	1	1	0,031	-0,516	-0,770	0,163	0,626	0,200	-0,250	-0,525	1,000	1,000
	***Trial* 2**	1	-1	-1	1	1	-1	0,066	-0,417	-0,778	-0,006	0,616	0,400	-0,375	-0,478	1,000	1,000
	***Trial* 3**	0	1	1	1	-1	1	0,066	-0,513	-0,774	0,019	0,524	0,200	-0,250	-0,895	-1,000	1,000
	***Trial* 4**	0	-1	1	-1	-1	-1	0,144	-0,221	-0,752	0,221	0,657	0,600	0,000	-0,957	-1,000	1,000
K712	***Trial* 1**	1	-1	1	1	1	1	0,587	0,123	-0,524	-0,582	-0,005	0,400	-0,250	-0,410	1,000	1,000
	***Trial* 2**	1	-1	-1	1	1	-1	0,637	0,538	-0,611	-0,613	0,308	0,800	-0,375	-0,465	1,000	1,000
	***Trial* 3**	0	1	1	1	-1	1	0,634	0,014	-0,624	-0,680	-0,085	0,400	-0,250	-0,907	-1,000	1,000
	***Trial* 4**	1	-1	1	-1	-1	-1	0,727	1,000	-0,353	-0,493	0,492	1,000	0,000	-0,448	-1,000	1,000
K68	***Trial* 1**	1	-1	1	1	1	1	0,793	-0,788	-0,737	-0,145	-0,523	-0,400	-0,500	-0,731	1,000	1,000
	***Trial* 2**	1	-1	-1	1	1	-1	0,759	-0,815	-0,745	-0,145	-0,515	-0,400	-0,500	-0,731	-1,000	1,000
	***Trial* 3**	0	1	1	1	-1	1	0,788	-0,809	-0,754	-0,170	-0,485	-0,400	-0,500	-0,703	-1,000	1,000
	***Trial* 4**	-1	-1	1	-1	-1	-1	1,000	-0,738	-0,675	0,092	-0,337	-0,200	-0,250	-0,740	-1,000	1,000
K88	***Trial* 1**	1	1	1	1	1	1	0,433	-0,499	-0,417	-0,515	-0,693	0,200	0,250	-0,862	1,000	1,000
	***Trial* 2**	1	1	-1	1	1	-1	0,498	-0,325	-0,286	-0,269	-0,591	0,400	0,500	-0,870	1,000	1,000
	***Trial* 3**	1	1	1	1	-1	1	0,518	-0,312	-0,314	-0,476	-0,562	0,400	0,500	-0,870	1,000	1,000
	***Trial* 4**	1	1	1	-1	-1	-1	0,697	0,157	0,239	-0,124	-0,416	0,800	1,000	-1,000	1,000	1,000

5.4.2. *Function Neural Network* pada MATLAB

Data *input* dan *output* yang telah ditampilkan sebelumnya akan digunakan sebagai data yang akan dianalisis dalam pemrograman MATLAB. Dalam pemrograman tersebut terdapat bahasa tersendiri yang terdiri dari fungsi transfer *layer input,* dan *layer output* dalam bentuk konstanta yang dapat digunakan dalam pengelolaan data *layer input* dan *layer output*. Ketiga bagian tersebut merupakan bahasa pemrograman yang digunakan *software* MATLAB untuk memperoleh fungsi dari *neural network* yang dijalankan. Keseluruhan data yang digunakan program untuk mempelajari data akan diacak untuk memperoleh fungsi transfer dan *layer* selanjutnya akan diolah dalam melakukan prediksi nilai optimum pada setiap *ouput*. Bahasa pemrograman yang digunakan untuk setiap model ANN yang dijalankan dapat dilihat pada poin-poin berikut.

1. Bahasa pemrograman untuk menentukan lebar kolom (*B*)

```
% Input 1
x1_step1.xoffset =
[25;30;400;280;88.04829766;7.863302752;6.033353721];
x1_step1.gain =
[0.4;0.4;0.1;0.0166666666666667;0.00535439475314201;0.008012359126513
15;0.00804574873301205];
x1_step1.ymin = -1;
% Layer 1
b1 =[
1.3867575043076956209;
0.54209421402128377121;
0.94154109046922618287;
-0.052250490471611565901;
0.12366949717170250267;
0.5348719225122613441;
0.57199778290350855592;
-1.267944849189615697;
-2.285563650308246153];
IW1_1 = [
```

```
0.38748308003375986353 -0.086780903528387826062
0.51673433542348112812 2.2962880381096435478    -2.001032400148861079
0.22828908272611780905 2.5130049028588965498;
1.7588920356397939049  2.1671817524036929292  -0.62791757010596627175
1.3638809620808238776  -0.59905718250266370983 0.80467109683327120 44
-1.5931717060925913998;
-0.25969364469181982491 0.20076780177082689804 -1.5216438065476105557
1.1444170573126888346  -0.33390298522798755876  3.0213539360038832449
0.71889890046996562933;
2.582096981698856375   0.30285708101373171042   1.8881918100113783687
0.94217420852584110591 -0.27697746393389344188 -0.55876282372479690874
1.5441412538902723472;
0.33569591996583275639 0.72270006552821175472 0.25307099502943897207
1.149133988349949842 -0.15020013691379494047 -0.36797792351082819762
-1.3273448083913841344;
-0.33655293127754259963 0.98812100111884904052 0.70155768672089924287
-0.12863768198390981845 -1.553666355775972896 -1.0278526753066123955
-4.2930807239117250163;
-0.23517144385802563056 0.71579471100847236187 -0.92148338825866593638
0.70213313731059190381 -2.708123758520385671  -1.3513422064021516356
-0.58613406277071655737;
-0.62131920253361694328 0.10875692419312485426 -1.0584000120288308278
1.3547321801591356571  -0.25502576447085395506 0.84602410696480701002
-2.1695014419661591276;
-0.76613242115064772442 -0.75556017408877795827 0.64100287782181319951
-0.40440462954086753289-0.039853984328885760924
0.95083497042016440481 1.0885112331148605325];
% Layer 2
b2 = -0.31946027438616059202;
LW2_1 = [
-0.17794551839297909068 -1.4285369863903210064 1.475623309659620519
1.6566602082508550264 -1.0197092290097897749 0.82910884687264474469
1.0157798203462100606 -1.7891778965000018076
-0.17898285680792075381];
% Output 1
y1_step1.ymin = -1;
```

```
y1_step1.gain = 0.0025;
y1_step1.xoffset = 400;
% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n,~)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
```

2. Bahasa pemrograman untuk menentukan tebal kolom (*H*)

```
% Input 1
x1_step1.xoffset =
[25;30;400;280;88.04829766;7.863302752;6.033353721];
x1_step1.gain =
[0.4;0.4;0.1;0.0166666666666667;0.00535439475314201;0.008012359126513
15;0.00804574873301205];
x1_step1.ymin = -1;
% Layer 1
b1 = [
3.0822717642726384923;
2.8419514422449072555;
1.1187219917421156179;
-2.2871945501332735518;
1.2196760247676974309;
1.1550999102306072075;
-1.5290798112576498013;
1.2023113111260492758;
-1.8976603607309832089];
IW1_1 = [
0.58125164036998555606  0.32859494874333161629  1.8255817131749241256
0.057007488392180616366 -0.18787603061458127418 2.0501172620565513149
-0.12226350641750317882;
0.041124207445513705217-0.11756710622132023059
-0.11730720779506816076 0.14373577247930172107 0.38026513103033182661
-0.98247080481163540089 0.30148977651404978984;
-1.3756197032715804518 1.5555148491060140081 -0.057097252528290502738
1.4971047054696560163  -0.37583991528482141309  2.0198853120516173654
0.23665414980647980769;
```

```
-2.0000733821099876408 -0.35934106137685251081 -0.97865622344269931343
-0.51046977679966132335 -2.0879451812116491816 -1.8434349230846127643
0.093171910148488634729;
-0.41388370107068189752 2.5089648982305621239 -0.044586080711801041876
0.39644336829704190928 0.67547453929352840873 -0.76187350497775996327
-1.2048493180534023406;
0.14245413962827402354  1.8497004085098605053  1.7789429219874215438
0.50995890282465439203  1.1513630766259217442  0.17940173270501927338
0.98010285064831303981;
-0.63973438238513657961 -0.092052123297900106946
-0.17405658475356400317 0.30138458500872200574 -1.6468293179817956595
-1.2006969111359528934 1.0181254865988851321;
-0.35798110293802248849 1.8975503156742161703 0.28946623986245340054
0.78640812570496454459 -0.84359081489038878487 -2.5105215645792799961
1.2408055738118723976;
-1.8276306437147646911  1.2006026440082815387  -1.313271623943978339
0.71495833863873881064 -0.11335667544971633758 1.2262399608994607458
0.83370151561537275686];
% Layer 2
b2 = -0.31398419925113224549;
LW2_1 = [
0.71528067851168641855 -0.14612603148948030696 1.7332740507031993982
0.54160335191849340308 -0.40954710704304481128
-0.42630058064412801322 -1.2640513413595493297 -1.1511485759512110061
0.32290831278826903628];
% Output 1
y1_step1.ymin = -1;
y1_step1.gain = 0.002;
y1_step1.xoffset = 300;
% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n,~)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
```

3. Bahasa pemrograman untuk menentukan rasio tulangan kolom (ρ)

```
% Input 1
```

```
x1_step1.xoffset =
[19;10;25;30;400;280;87.67506626;7.863302752;6.033353721;300;400;28.9
4; 44,2];
x1_step1.gain =
[0.333333333333333;0.666666666666667;0.4;0.4;0.1;0.0166666666666667;0
.00516700690647596;0.00883825626096688;0.00898360286298878;0.002;0.00
25;0.0132837407013815;0.0150704543741994];
x1_step1.ymin = -1;
% Layer 1
b1 = [
1.7026166045564599116;
1.2135140117543457006;
-0.82620175375831605979;
0.54394023811733682727;
-0.11797945698131755143;
-0.24130131867616494423;
-1.5364724868511574485;
1.2648144174624667002;
-1.7731628939467460881];
IW1_1 = [
-0.34190815365528404168 0.12394454764512516376 -0.87618951324185634366
0.058697489432991502289  0.1343879074900845294   0.75928662183788386833
0.80499355235862449856   0.39120325922278875573   0.10535038166855414943
0.031824942138561553018 0.26887513741148022506 -0.53842768525785345002
0.26277827323283797778;
-0.63014079008128509596 0.044460736893269563186
-0.51155674645751103569 0.57040802063661999455 -0.19587027393450096024
0.26539572123395471781 0.56157377901967397982 0.26345015050073178342
-0.058264515634799146637 -0.68763106865261858225
-0.50267265446398556872 0.67881760761089937617
-0.38024263862476792575;
-0.01704081409224852961  -0.015592236430190239971
0.51980652656659775968 0.96160723446699758465 -0.29894530991423740041
0.7363538617638824002  -0.21074983015090431593  0.44819236427921538279
0.10871222396991932213 -0.63470126047111929957 -0.38772352243266805516
-0.25765420170302433256 -0.35694985354419789259;
```

```
-0.13430309492352110468 0.066814951458002300178 0.69964814125490315533
0.20391729030762426045 -0.945948566390114709 0.39260315764546604989 -
0.2955530851726128061 -0.085296991625722837216 0.21161881860816519896
-0.34420722170622480851 -0.77557952700422705394
-0.38910794880375976224 -0.54950908329525671725;
-0.82600636561228490962 -0.036678089682531028748
-0.56535185693527278961 0.18253377624424060865 0.39964081034116755164
-0.049716998395918143849 0.14579478624305178269
-0.61224945316335843692 -1.0055831174249589832 0.42258575298308104218
0.11971845419100229924 -0.65258901604737151736
-0.11050411916274174851;
0.12101823824612106817  0.5302601251357743628  0.54667875563246315362
0.53861928913006973385 -0.30429191936457278267
-0.00072110060656018978853 0.58399842796400192046
0.61796460774864236942  0.20940985575182519129  0.37544952899944256108
0.10142634849509067629 0.66775140136985322581 0.78316095291800635891;
0.30469958188071155636  0.49432321808544815722  0.30944426462236152009
0.039609237789073069302 0.24010478201219753736
-0.062671595298570900723 -0.84758865432370389392 1.0580624760352852487
0.069848614990772328603 -0.76698778589499760905 -1.6211003755819191063
0.87702726411628639802 -0.11080436777352808964;
0.18963694182858925608 -0.37225819527592624025 0.47785349996172832299
-0.031404219859563681227 -0.76784647893181112721
-0.11122321757261391384 -0.11469895691901668688 0.40977620405162812345
-0.38930525325520237701 -0.61569161095131508254
-0.68502741298908120804 -0.63970706439140334609
-0.58856441726509822754;
-0.47024209341534822792 0.60096360968996431762 -0.17961524708463971756
-0.067087552529825900116 -0.47094697434279164661
-0.4704902874108112254 0.094436780007654957947 0.27166302244005002819
0.1936528449495985571 0.53262774214911801085 -0.24400588631391573191
-0.37878819274674990769 0.72252215189298507614];
% Layer 2
b2 = -0.017404431274677986674;
LW2_1 = [
```

```
-0.3056697080044203374 0.42994587236502146421 -0.27641065458106034436
-0.22415964347485198283 -0.55662812579389209233
-0.20979156337332338644 2.052165113410469921 0.21545576628411977627
-0.89639196418278532796];
% Output 1
y1_step1.ymin = -1;
y1_step1.gain = 43.4934892638714;
y1_step1.xoffset = 0.011284722;
% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n,~)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
```

4. Bahasa Pemrograman untuk menentukan jarak sengkang tumpuan kolom (*St*)

```
% Input 1
x1_step1.xoffset =
[19;10;25;30;400;280;87.675;5.982;6.333;300;400;1.57;1.57];
x1_step1.gain =
[0.333333333333333;0.666666666666667;0.4;0.4;0.1;0.0166666666666667;0
.00516701070346267;0.0270310451553609;0.031004867764239;0.002;0.0025;
0.261437908496732;0.27972027972028];
x1_step1.ymin = -1;
% Layer 1
b1 = [
-1.9903171426437549218;
-1.3280722731903962242;
0.92786008804961950247;
-0.39157869150953639181;
0.13351026267724866448;
0.58347619394412308935;
-0.72518821150705992107;
-1.3769767654356304121;
-1.3740541662131675604];
IW1_1 = [
0.028185747001916085924 0.27740742492420644716
-0.90530714689669466999 -0.90300037160943658066
-0.075006891015298324255 -0.41848074373699845063
```

-0.17157591458972665244 0.083470915607186058072
-0.53440815914598649439 0.39693101371189432047
 -0.26368318835902682107 -0.49721244444196321943
0.67964668077388312728;
0.48659433725622902589 0.46514671919528310928 -0.37939244598112498164
-0.44157050696341659801 0.40303091139389413122 0.32016686074844574739
-0.042222441568412150126 -0.13572734229484437196
-1.2726519683382446768 1.1641009928458343481
-0.374437122956390811 -0.19270977762691274271
-0.44555671320531753388;
-0.61347059595801345377 -0.30013380656703558813
0.34631623184516047154 -0.27027267600117060864 0.89973320115370192251
0.79590809224088376883 -0.12942297189895074494
0.072615877732399011779 -0.76109615678730435651
-0.58053229188885324685 0.21215769845932450077
-0.20367891088294032276 -0.4768782201410732835;
0.45973069183455067543 0.59298680394888192424 -0.73103281164919042823
-0.009136851086541266861 5 -0.78998876667203077329
-0.59858890750748727783 0.37156724996125350957 0.12381574453199702124
-0.4363028381163602254 -0.74434280224237736601 0.3196239530665518358
-0.015223881833928632618 -0.3624496220904904753;
-0.6349101795241414159 0.18671701645371049927 0.76444987361058558406
0.61737044349399550214 0.28908310625407773742 0.4797533478001660967
-0.63876849447252903591 -0.001574182916757444405 6
-0.28069013298431783054 0.35253929436318076629 0.5442069335200969693
1.2709754043305567794 0.2018107405380364372;
0.54750050136603944928 -0.4944259775939745527 -0.42696002498299345795
0.29904449934912397113 -0.73353337419732034252
-0.074792662372185556019 -0.52194453021656561642
0.34601437057148637377 -0.29532486083330694582
-0.80577674302708002241 -0.39025594211516345666
-0.17202546044491848209 -0.35647848098693862839;
-0.44479888544769208281 -0.75868615237854519773
0.79363526552241070444 -0.14135237148073592772
-0.40976786357785505155 0.54677992944736808489

```
-0.44008554989300041616 -0.098994701618700928214
0.46720700827077465966 0.20315287715391053269
-0.81892549490718247185 0.10170559848809547498
-0.87264576052649434068;
-0.43755028519938921061 0.32424875072616021754
-0.63117577864582918856 0.11736633211141712929 0.26399394867628822592
0.38596802282798992056 0.74627893036547310324 0.78241728558260148496
0.070337891906740696024 -0.034482624019668332849
0.1934839589571664964 -0.5519305120528789077 0.4276735872869893984;
-0.24058828099114457078 0.005289551783637129987 7
0.6090723750259748881 0.67366007449503750859 -0.11142959887213227388
-0.4552877282687152749 0.27461466232276071642 -0.50071464552874200837
0.38044219900451942129 0.56079783832985352632 -0.8161044914763567748
0.86456985738687253118 0.037294747998314004001];
% Layer 2
b2 = 0.5483451244792921786;
LW2_1 = [
0.85247317585668314077 -0.86635103398343782377 0.08953885590271977446
0.44295009521583339485 0.70430389132058279777 0.071188100491652944735
-0.10265456244978805878 -0.11349484347402034878
0.30545254618275552438];
% Output 1
y1_step1.ymin = -1;
y1_step1.gain = 0.222222222222222;
y1_step1.xoffset = 1;% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n,~)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
```

5. Bahasa pemrograman untuk menentukan jarak sengkang lapangan kolom (*Sl*)

```
% Input 1
x1_step1.xoffset = [19;10;25;30;400;280;87.67506626;5.98;-
20.45;300;400;1.57;1.57];
x1_step1.gain =
[0.333333333333333;0.666666666666667;0.4;0.4;0.1;0.0166666666666667;0
.00516700690647596;0.0270306798215975;0.0219082046226312;0.002;0.0025
;0.363636363636364;0.363636363636364];
```

```
x1_step1.ymin = -1;
% Layer 1
b1 = [
1.7566878788470290385;
-1.4668066836250321927;
-0.69654467872720771116;
0.11423138687513452461;
-0.07193597162624726371;
-0.029307381374075902603;
1.0635146639663317636;
-1.0539059664611003519;
-2.2932817427978759994];
IW1_1 = [
0.1178529400459245452 -1.0231486639044362619 0.43256274189550886211
0.065699337323650824905 0.47289981602628744506
-0.29387050049533125495 0.66303931004115479464
-0.19786897577525650038 0.99479709252626935534
-0.47178431332545567312 -0.12612863169874000135
0.56660441206021627814 -0.10355766330444202139;
-0.28827929923182071814 0.64786372221912225111 0.23322761584353307596
-0.92701210155310864724 0.60736533111186041811 0.53070752236276008684
-0.84715418194324054735 0.008939644284772313 4317
-0.17505663347082414671 -0.29368867863690845121
0.23779830688131337046 -0.93679333601320813329
-0.74431956283664557628;
0.47986343588902186097 0.47513468607836117918 -0.17546421781894488978
0.86034352925271595502 -0.31104058105170662163 0.88717048676223575487
-0.34105853113458228787 -0.47128339916367556484 0.54723758956863899 35
-0.080212945406635802192 1.1673799349992231011 0.52574286887033316873
0.78071810694105781003;
-1.3592660513107588383 -0.44008027214378742098 0.47833491544380846161
-0.44583213621485784373 -0.7293118626327530496 0.18682747348128253551
-0.17811558455231457643 -0.46181790715604764674
-0.028636970239537443139 -0.10999215837893502878
1.3918705779299265224 -0.37318688832343677175 0.22498822077870475611;
-0.10411077117990083507 0.10201339072993451107
```

```
-0.39271947652922595262 -0.5739829734221650881
-0.40319377573345827059 0.92557919676313504809 0.79315283959017779392
0.041562175153018840468 -0.13260593155680261424
-0.086321248557911511856 0.22078077113569349876
-0.94869430594364012599 -0.12500325334225773077;
0.33364124899862035445 0.45179441425387495412 0.59425407861699741652
-0.34267576557834211748 -0.34359154348585435601
0.38058520455318933795 -0.68987607245452786664 -1.069014831678618993
0.367021749778537687 0.62330583378473258804 -0.64957540211132480668
0.80948769282919541546 -0.48332574372617337355;
0.78035901881508984435 0.58902566410060741564 0.89058790400915766039
-0.67832654095141575734 0.20768876463560370649
-0.006055093270239023106 6 0.3381726870806652796
0.34667513625179258163 0.15564148550185444297 0.15639439988680481353
-1.0839025016833852 -0.72141568522899934823 0.31158146995210855845;
-0.76648522695787757453 0.73011803189818169635 0.50482699838916211821
0.34638657050876214827 -0.2615707137339912669 0.25672609231485260528
-0.48956899186072366792 0.37979071925986912506
-0.87831407054983468008 0.37118077318315290114
-0.76511895747342906215 -0.2507103659178092081
0.69787751600460967705;
-0.43337861531470889265 -0.28513441736991212982
-0.38291020415533949528 0.24346102245202946857
-0.52694281625783612188 0.65767621023894395904 0.14702846977205502599
-0.40297095020415985012 -0.81503126261796643437
-0.57025576678428568922 -1.8504895913265035912 -0.1998972966943168561
0.46015505089133273975];
% Layer 2
b2 = -0.48456108193369834547;
LW2_1 = [
0.52386020757739881759 -0.64426714969057374827 0.64859030089467761826
0.086927326514100483612 -0.3889232264926951177 0.75402486709907157181
-0.8086283736276314027 -0.85588105571386019488
0.71324918690192995463];
% Output 1
y1_step1.ymin = -1;
```

```
y1_step1.gain = 0.181818181818182;
y1_step1.xoffset = 4;
% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n,~)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
```

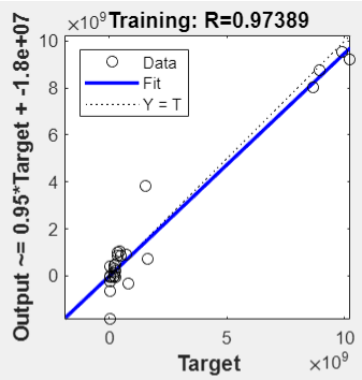
6. Bahasa pemrograman untuk menentukan total rancangan biaya pekerjaan kolom (*C*)

```
% Input 1
x1_step1.xoffset =
[19;10;25;30;400;280;87.7;7.9;6;6;6.3;300;400;0.011284722;5;1];
x1_step1.gain =
[0.333333333333333;0.666666666666667;0.4;0.4;0.1;0.0166666666666667;0
.00516795865633075;0.00883782589482987;0.00898069151324652;0.02702702
7027027;0.0310077519379845;0.002;0.0025;43.4934892638714;0.1818181818
18182;0.222222222222222];
x1_step1.ymin = -1;
% Layer 1
b1 = [
-1.6122279945994315575;
-1.14601152092519043;
-0.82872616153771772041;
0.55332237291730934636;
0.1404942328359025383;
0.37951483790364998194;
0.85932220266792636032;
1.5542268363822668853;
-1.59574516002098665271;
IW1_1 = [
0.49255082761590640583 0.15925886585434217979 0.43261354468461948874
-0.51310847901888256839 0.46298019813808188871 0.38372574074479648409
-0.41374299007186826627 -0.12246772412483364345
0.06632507790215626253 -0.1834296089636030247 0.57764106688340322027
0.61562030333238182411 -0.2584297109503919665 -0.38540383047767295954
0.23778888358129229852 -0.13344161883462402063;
0.18933839379777164802 0.49713046001181737665
```

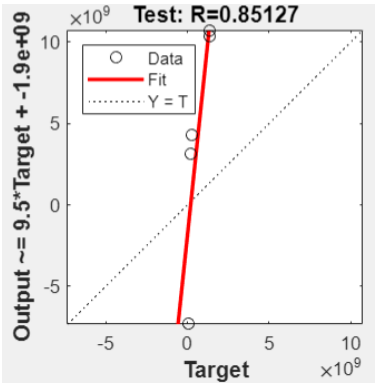
```
-0.083540801991833155138 0.4519104248313454697 0.12493373237859173308
-0.28840637038288102767 -0.58013287098298915723
-0.59245834259644969411 -0.16081786386854299287
0.067158009134829235731 -0.1023761025054824858
 -0.22356842195982692956 -0.47032803234391334923 0.542919046446893927
0.44195433660934435594 0.11111040482259224027;
0.38643869278192721772 -0.49142644929417839128
0.090954392258916716418 -0.6190162328925298274 0.50145583152876815891
0.52736108306258377976 -0.28695559035230389089 0.16026500562996881527
0.44584241647383449081 -0.37418664228804038308
-0.40090216346119034174 -0.22219368027150143696
0.52914555325631029703 0.23056110823108913466
-0.40445223566381249825 -0.11830134393006991322;
0.43665256315865474956 0.11313000043416705787 -0.4465155664101971289
0.071611970684568745926 -0.47004156597693652619
-0.062421736103849580213 -0.787049466230148153 66
-0.063701461565348005411 0.56143080821761903731
0.28528096240424621888 -0.060235886331261985494
0.55393649029253810845 -0.1284188811571902733
-0.23686119662461546653 -0.1063056335631961391
0.31335918192233264135;
0.48955546112704628747 -0.093360097943886971583
0.45103843395560039298 0.33099408565187887765 -0.14152344147210216274
-0.71957517113364444228 0.30768847816543526408
-0.31252529879477486396 0.21185953324244957696
-0.71618914608950834388 0.086009268359844348595
-0.49671141350105985079 -0.3013053410649040309
-0.11274731471068806521 -0.2944836692408288048
0.62821546136135653082;
0.1722224756518749289 0.59013564895179826397 0.62425085406851688052
0.14880434356326699419 -0.48920234797246392455 -0.3084991696626377955
-0.036990762767149104606 0.2893157243503509668
-0.46861374832812435764 -0.66348595385542585845
0.28901632420430029002 -0.54677778695096157513 0.16314426925547911851
0.20436280018517810619 0.30237643704801858702 0.46791993724561303791;
0.2787606738176205412 0.2054179215966067118 0.089244436024294812593
```

```
-0.076244833578974713362 -0.049493449656269353221
-0.6754601535323738748 -0.31700415384926733386 0.53223364353298818763
-0.52847588686914426237 -0.21161477426468158769
0.034735106387878765533 0.055528407921128862534
0.43226061714711333517 0.61989194489140975186 0.59609060437857208647
-0.44521784021108795626;
0.41316360245768074533 0.34852842159516894682 0.058262282115772841273
-0.29807702577381328668 0.19937188445876344312 0.32016771547071576354
-0.31853141016291258714 -0.40464198153683617054
0.081244968599370012696 -0.61526979168089879213
0.56180767248815932646 0.56912067293216850317
-0.091505887148428832756 -0.25782744661058309976
-0.096560579090103529354 -0.38006161713494696075;
-0.26822005283530997444 0.12340233820451927682 0.43386368117092627417
0.16217186266409958084 -0.50173468817614408355
-0.67743903520205495106 -0.5996571208906015249
-0.00105914747463986436161 -0.27639965851694420218
0.56054293324369275364 0.57770221817444877832 -0.15129278933855561107
0.25686508293833471006 0.18224043984143453723 0.43311635009223897752
0.39413431626516709505];
% Layer 2
b2 = 0.35515205226177615216;
LW2_1 = [
0.055796188293512488654 -0.034124725284659866709
0.078089532921346002659 0.23856429446114391091
-0.40780615528405150805 0.028131662121131831983
-0.015837770612824372124 -0.86406018892134828224
-0.070818877173111388634];
% Output 1
y1_step1.ymin = -1;
y1_step1.gain = 2.12618628053121e-10;
y1_step1.xoffset = 42240093.11;% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n,~)
a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
```

Bahasa pemrograman di atas merupakan hasil pelatihan data yang di *input.* Untuk mengetahui akurasi bahasa pemrograman yang dihasilkan, ditampilkan grafik regresi data untuk pelatihan dan *testing* beserta nilai regresi yang ditampilkan pada gambar 5.5 dan 5.6 berikut.



Gambar 5. 5 Grafik *Plotting* Data Untuk *Training*



Gambar 5.6 Grafik *Plotting* Data Untuk *Testing*

Pada gambar di atas diketahui nilai regresi untuk bahasa pemrograman antara data *output* dan target yang digunakan dalam pelatihan adalah senilai 0,973 sedangkan data yang digunakan untuk meninjau kinerja bahasa pemrograman memiliki nilai 0,851.

5.4.3. Penggunaan Bahasa Pemrograman untuk Pembentukan Rumus Empiris

Pada *layer input* dan *layer ouput* dalam pemrograman yang telah dijelaskan sebelumnya terdapat pembobotan dan bias untuk pembentukan rumus empiris. Rumus empiris tersebut digunakan untuk menentukan nilai dari hasil optimalisasi yang dilakukan.

1. Penentuan nilai lebar kolom (*B*) berdasarkan ANN

Nilai bobot dan bias yang digunakan untuk menentukan lebar kolom (*B*) berdasarkan ANN dapat dilihat pada tabel 5.115 berikut.

Tabel 5.115 Pembobotan untuk Menentukan Nilai Lebar Kolom (*B*)

Pembobotan *Input*								**Pembobotan *Ouput***	
bi_1	**wi_1**							**bi_2**	**wi_2**
1,39	0,39	-0,09	0,52	2,30	-2,00	0,23	2,51	-0,32	-0,18
0,54	1,76	2,17	-0,63	1,36	-0,60	0,80	-1,59		-1,43
0,94	-0,26	0,20	-1,52	1,14	-0,33	3,02	0,72		1,48
-0,05	2,58	0,30	1,89	0,94	-0,28	-0,56	1,54		1,66
0,12	0,34	0,72	0,25	1,15	-0,15	-0,37	-1,33		-1,02
0,53	-0,34	0,99	0,70	-0,13	-1,55	-1,03	-4,29		0,83
0,57	-0,24	0,72	-0,92	0,70	-2,71	-1,35	-0,59		1,02
-1,27	-0,62	0,11	-1,06	1,35	-0,26	0,85	-2,17		-1,79
-2,29	-0,77	-0,76	0,64	-0,40	-0,04	0,95	1,09		-0,18

Nilai dari bobot dan bias di atas digunakan untuk menentukan fungsi aktivasi. Fungsi aktivasi yang dimaksud menggunakan persamaan sebagai berikut

$n = (wi \times pi) + bi$

Yang mana *bi*, *wi*, *pi* secara berturut-turut adalah matriks bobot bias, matriks bobot lapisan, dan matriks data *input*.

Pada pemrograman, data terbagi untuk sampel *training* 70%, *validation* 15%, dan *testing* 15%. Persentase pembagian data tersebut dilakukan berdasarkan rekomendasi dari program MATLAB. Hal ini dilakukan agar pelatihan pemrograman memiliki data yang cukup untuk mempelajari data yang ada. Dalam pemrograman juga ditentukan 9 *hidden layer* sehingga akan terdapat 9 *nodes* dengan mengasumsikan terdapat 9 tipe kolom yang dianalisis dalam satu program. Untuk menentukan nilai *n* digunakan data normalisasi sesuai tabel 5.115. Perhitungan nilai n dapat dilihat sebagai berikut.

$$n_a = b_{1a}+(w_{1,1a}\times p_{1,1a})+(w_{1,2a}\times p_{1,2a})+(w_{1,3a}\times p_{1,3a})+(w_{1,4a}\times p_{1,4a})+(w_{1,5a}\times p_{1,5a}) +(w_{1,6a}\times p_{1,6a}) +(w_{1,7a}\times p_{1,7a})$$

$$= 1{,}39 + (6{,}97) + (-1{,}56) + (0{,}00) + (0{,}00) + (-5{,}24) + (-3{,}93) + (-52{,}99)$$

$$= -55{,}37$$

$$n_b = b_{1b}+(w_{1,1b}\times p_{1,1b})+(w_{1,2b}\times p_{1,2b})+(w_{1,3b}\times p_{1,3b})+(w_{1,4b}\times p_{1,4b})+(w_{1,5b}\times p_{1,5b})$$

$+(w_{1,6b}\times p_{1,6b}) +(w_{1,7b}\times p_{1,7b})$

$= 0{,}54 + (31{,}66) + (39{,}01) + (0{,}00) + (0{,}00) + (-1{,}57) + (-13{,}85) + (33{,}60)$

$= 89{,}39$

$n_c = b_{1c}+(w_{1,1c}\times p_{1,1c})+(w_{1,2c}\times p_{1,2c})+(w_{1,3c}\times p_{1,3c})+(w_{1,4c}\times p_{1,4c})+(w_{1,5c}\times p_{1,5c})$
$+(w_{1,6c}\times p_{1,6c}) +(w_{1,7c}\times p_{1,7c})$

$= 0{,}94 + (-4{,}67) + (3{,}61) + (0{,}00) + (0{,}00) + (-0{,}87) + (-52{,}01) + (-15{,}16)$

$= -68{,}16$

$n_d = b_{1d}+(w_{1,1d}\times p_{1,1d})+(w_{1,2d}\times p_{1,2d})+(w_{1,3d}\times p_{1,3d})+(w_{1,4d}\times p_{1,4d})+(w_{1,5d}\times p_{1,5d})$
$+(w_{1,6d}\times p_{1,6d}) +(w_{1,7d}\times p_{1,7d})$

$= -0{,}05 + (46{,}48) + (5{,}45) + (0{,}00) + (0{,}00 + (-0{,}73) + (9{,}62) + (-32{,}56)$

$= 28{,}21$

$n_e = b_{1e}+(w_{1,1e}\times p_{1,1e})+(w_{1,2e}\times p_{1,2e})+(w_{1,3e}\times p_{1,3e})+(w_{1,4e}\times p_{1,4e})+(w_{1,5e}\times p_{1,5e})$
$+(w_{1,6e}\times p_{1,6e}) +(w_{1,7e}\times p_{1,7e})$

$= 0{,}12 + (6{,}04) + (13{,}01) + (0{,}00) + (0{,}00) + (-0{,}39) + (6{,}33) + (27{,}99)$

$= 53{,}11$

$n_f = b_{1f}+(w_{1,1f}\times p_{1,1f})+(w_{1,2f}\times p_{1,2f})+(w_{1,3f}\times p_{1,3f})+(w_{1,4f}\times p_{1,4f})+(w_{1,5f}\times p_{1,5f})$
$+(w_{1,6f}\times p_{1,6f}) +(w_{1,7f}\times p_{1,7f})$

$= 0{,}53 + (-6{,}06) + (17{,}79) + (0{,}00) + (0{,}00) + (-4{,}07) + (17{,}69) + (90{,}53)$

$= 116{,}42$

$n_g = b_{1g}+(w_{1,1g}\times p_{1,1g})+(w_{1,2g}\times p_{1,2g})+(w_{1,3g}\times p_{1,3g})+(w_{1,4g}\times p_{1,4g})+(w_{1,5g}\times p_{1,5g})$
$+(w_{1,6g}\times p_{1,6g}) +(w_{1,7g}\times p_{1,7g})$

$= 0{,}57 + (-4{,}23) + (12{,}88) + (0{,}00) + (0{,}00) + (-7{,}09) + (23{,}26) + (12{,}36)$

$= 37{,}75$

$n_h = b_{1h}+(w_{1,1h}\times p_{1,1h})+(w_{1,2h}\times p_{1,2h})+(w_{1,3h}\times p_{1,3h})+(w_{1,4h}\times p_{1,4h})+(w_{1,5h}\times p_{1,5h})$
$+(w_{1,6h}\times p_{1,6h}) +(w_{1,7h}\times p_{1,7h})$

$= -1{,}27 + (-11{,}18) + (1{,}96) + (0{,}00) + (0{,}00) + (-0{,}67) + (-14{,}56) + (45{,}75)$

$= 20{,}02$

$n_i = b_{1i}+(w_{1,1i}\times p_{1,1i})+(w_{1,2i}\times p_{1,2i})+(w_{1,3i}\times p_{1,3i})+(w_{1,4i}\times p_{1,4i})+(w_{1,5i}\times p_{1,5i})$
$+(w_{1,6i}\times p_{1,6i}) +(w_{1,7i}\times p_{1,7i})$

$= -2{,}29 + (-13{,}79) + (-13{,}60) + (0{,}00) + (0{,}00) + (-0{,}10) + (-16{,}37) +$
$(-22{,}95)$

$= -69{,}10$

$n = n_a + n_b + n_c + n_d + n_e + n_f + n_g + n_h + n_i$

$= -55{,}37 + 89{,}39 + (-68{,}16) + 28{,}21 + 53{,}11 + 116{,}42 + 37{,}75 + 20{,}02 + (-69{,}10)$

$= 152{,}26$

Kemudian ditentukan nilai *a* dengan persamaan fungsi transfer berdasarkan pemrograman MATLAB.

$a = \frac{2}{1+e^{-2n}} - 1 = \frac{2}{1+e^{-2(152{,}26)}} - 1$

$= 1{,}00$

Fungsi *output*:

$y_1 = b_{2,1} + (a \times w_{i2})$

$= -0{,}32 + (1\times(-0{,}18)) + (1\times(-1{,}43)) + (1\times(1{,}48)) + (1\times(1{,}66)) + (1\times(-1{,}02)) + (1\times(0{,}83)) + (1\times(1{,}02)) + (1\times(-1{,}79)) + (1\times(-0{,}18))$

$= 0{,}063$

Berdasarkan nilai y_1 tersebut dapat ditentukan nilai lebar kolom (*B*) dengan menormalisasi kembali ke skala awal untuk setiap kolom. Berikut merupakan contoh perhitungan yang dimaksud.

a. K44A

$B = \frac{(y+1)(max-min)}{2} + min = \frac{(0{,}063+1)(400-400)}{2} + 400 = 400$ mm

b. K47

$B = \frac{(y+1)(max-min)}{2} + min = \frac{(0{,}063+1)(700-700)}{2} + 700 = 700$ mm

c. K55A

$B = \frac{(y+1)(max-min)}{2} + min = \frac{(0{,}063+1)(500-500)}{2} + 500 = 500$ mm

d. K66A

$B = \frac{(y+1)(max-min)}{2} + min = \frac{(0{,}063+1)(700-600)}{2} + 600 = 653{,}168 \approx 650$ mm

e. K80

$B = \frac{(y+1)(max-min)}{2} + min = \frac{(0{,}063+1)(1200-950)}{2} + 950 = 1082{,}92 \approx 1050$ mm

f. K710

$B = \frac{(y+1)(max-min)}{2} + min = \frac{(0{,}063+1)(800-650)}{2} + 650 = 729{,}752 \approx 700$ mm

g. K712

$B = \frac{(y+1)(max-min)}{2} + min = \frac{(0{,}063+1)(800-650)}{2} + 650 = 729{,}752 \approx 700$ mm

h. K68

$B = \frac{(y+1)(max-min)}{2} + min = \frac{(0{,}063+1)(700-600)}{2} + 600 = 653{,}168 \approx 650$ mm

i. K88

$B = \frac{(y+1)(max-min)}{2} + min = \frac{(0{,}063+1)(700-600)}{2} + 600 = 1059{,}504 \approx 1000$ mm

Untuk penentuan nilai *output* lainnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama seperti perhitungan diatas.

2. Penentuan nilai tebal kolom (*H*) berdasarkan ANN

Nilai bobot dan bias yang digunakan untuk menentukan tebal kolom (*H*) berdasarkan ANN dapat dilihat pada tabel 5.116 berikut.

Tabel 5.116 Pembobotan untuk Menentukan Nilai Tebal Kolom (*H*)

Pembobotan *Input*								**Pembobotan *Ouput***	
bi_1	**wi_1**							**bi_2**	**wi_2**
3,08	0,58	0,33	1,83	0,06	-0,19	2,05	-0,12	-0,31	0,72
2,84	0,04	-0,12	-0,12	0,14	0,38	-0,98	0,30		-0,15
1,12	-1,38	1,56	-0,06	1,50	-0,38	2,02	0,24		1,73
-2,29	-2,00	-0,36	-0,98	-0,51	-2,09	-1,84	0,09		0,54
1,22	-0,41	2,51	-0,04	0,40	0,68	-0,76	-1,20		-0,41
1,16	0,14	1,85	1,78	0,51	1,15	0,18	0,98		-0,43
-1,53	-0,64	-0,09	-0,17	0,30	-1,65	-1,20	1,02		-1,26
1,20	-0,36	1,90	0,29	0,79	-0,84	-2,51	1,24		-1,15
-1,90	-1,83	1,20	-1,31	0,71	-0,11	1,23	0,83		0,32

Perhitungan nilai tebal kolom (*H*) dilakukan seperti penentuan nilai lebar balok (*B*). Berikut merupakan hasil perhitungan yang dilakukan

a. K44A (*H)* = 330,095 ≈ 350 mm
b. K47 (*H)* = 400,000 ≈ 400 mm
c. K55A (*H)* = 430,095 ≈ 450 mm
d. K66A (*H)* = 930,095 ≈ 950 mm
e. K80 (*H)* = 1025,239 ≈ 1050 mm
f. K710 (*H)* = 960,191 ≈ 1000 mm

g. K712 (*H)* = 1090,286 ≈ 1100 mm

h. K68 (*H)* = 630,095 ≈ 650 mm

i. K88 (*H)* = 990,286 ≈ 1000 mm

3. Penentuan nilai rasio tulangan kolom (ρ) berdasarkan ANN

   Nilai bobot dan bias yang digunakan untuk menentukan rasio tulangan kolom (ρ) berdasarkan ANN dapat dilihat pada tabel 5.117 berikut

Tabel 5.117 Pembobotan untuk Menentukan Nilai Rasio Tulangan Kolom (ρ)

Pembobotan *Input*													
bi_1	**wi_1**												
1,88	-0,41	-0,38	0,69	0,40	-0,18	-0,34	-0,29	-0,18	-0,08	0,67	-0,13	0,71	-0,57
-1,25	0,22	-0,47	-0,53	0,47	-0,56	0,39	0,48	0,17	0,12	0,25	0,65	0,26	-0,76
0,98	-0,39	0,37	0,81	-0,43	-0,10	0,03	-0,05	-0,70	0,53	-0,39	0,07	0,31	-0,84
-0,37	0,22	0,61	0,52	-0,57	0,06	-0,50	0,03	0,13	-0,85	-0,34	0,18	0,69	-0,51
-0,38	-0,09	0,10	-0,39	-0,96	0,28	0,28	-0,65	0,03	-0,27	-0,66	-0,95	0,51	0,42
-0,40	-0,29	-0,57	-0,12	0,60	0,20	-0,52	0,42	0,45	0,74	0,27	-0,11	-0,07	-0,81
0,59	0,61	0,20	0,48	0,47	-0,32	0,40	-0,69	0,62	0,86	-0,16	-0,47	0,32	-0,17
1,25	0,41	0,62	-0,65	-0,20	-0,56	0,01	0,14	0,71	-0,10	0,72	0,22	0,48	0,26
-1,73	-0,44	-0,50	-0,05	0,69	-0,52	-0,01	0,60	-0,01	0,55	-0,22	0,28	-0,44	-0,55
Pembobotan *Output*													
bi_2					**wi_2**								
0,35					-0,45	0,08	-0,64	0,27	1,08	0,18	0,83	-0,06	-0,15

Perhitungan nilai rasio tulangan kolom (ρ) dilakukan seperti penentuan nilai lebar balok (*B*). Berikut merupakan hasil perhitungan yang dilakukan.

a. K44A (ρ) = 3,051%

b. K47 (ρ) = 1,961%

c. K55A (ρ) = 1,881%

d. K66A (ρ) = 1,302%

e. K80 (ρ) = 1,214%

f. K710 (ρ) = 1,304%

g. K712 (ρ) = 1,401%

h. K68 (ρ) = 1,627%

i. K88 (ρ) = 1,156%

4. Penentuan nilai jarak sengkang tumpuan kolom (*St*) berdasarkan ANN

Nilai bobot dan bias yang digunakan untuk menentukan jarak sengkang tumpuan kolom (*St*) berdasarkan ANN dapat dilihat pada tabel 5.118 berikut.

Tabel 5.118 Pembobotan untuk Menentukan Nilai Jarak Tulangan Transversal Tumpuan Kolom (*St*)

Pembobotan *Input*													
bi_1	**wi_1**												
-1,99	0,03	0,28	-0,91	-0,90	-0,08	-0,42	-0,17	0,08	-0,53	0,40	-0,26	-0,50	0,68
-1,33	0,49	0,47	-0,38	-0,44	0,40	0,32	-0,04	-0,14	-1,27	1,16	-0,37	-0,19	-0,45
0,93	-0,61	-0,30	0,35	-0,27	0,90	0,80	-0,13	0,07	-0,76	-0,58	0,21	-0,20	-0,48
-0,39	0,46	0,59	-0,73	-0,01	-0,79	-0,60	0,37	0,12	-0,44	-0,74	0,32	-0,02	-0,36
0,13	-0,63	0,19	0,76	0,62	0,29	0,48	-0,64	0,00	-0,28	0,35	0,54	1,27	0,20
0,58	0,55	-0,49	-0,43	0,30	-0,73	-0,07	-0,52	0,35	-0,30	-0,81	-0,39	-0,17	-0,36
-0,73	-0,44	-0,76	0,79	-0,14	-0,41	0,55	-0,44	-0,10	0,47	0,20	-0,82	0,10	-0,87
-1,38	-0,44	0,32	-0,63	0,12	0,26	0,39	0,75	0,78	0,07	-0,03	0,19	-0,55	0,43
-1,37	-0,24	0,01	0,61	0,67	-0,11	-0,46	0,27	-0,50	0,38	0,56	-0,82	0,86	0,04
Pembobotan *Output*													
bi_2					**wi_2**								
0,55					0,85	-0,87	0,09	0,44	0,70	0,07	-0,10	-0,11	0,31

Perhitungan nilai jarak sengkang tumpuan kolom (*St*) dilakukan seperti penentuan nilai lebar balok (*B*). Berikut merupakan hasil perhitungan yang dilakukan

a. K44A (*St)* = 10 cm
b. K47 (*St)* = 10 cm
c. K55A (*St)* = 10 cm
d. K66A (*St)* = 10 cm
e. K80 (*St)* = 10 cm
f. K710 (*St)* = 10 cm
g. K712 (*St)* = 10 cm
h. K68 (*St)* = 10 cm
i. K88 (*St)* = 10 cm

5. Penentuan nilai jarak sengkang lapangan kolom (*Sl*) berdasarkan ANN

Nilai bobot dan bias yang digunakan untuk menentukan jarak sengkang tumpuan kolom (*St*) berdasarkan ANN dapat dilihat pada tabel 5.119 berikut.

Tabel 5.119 Pembobotan untuk Menentukan Nilai Jarak Tulangan Transversal Lapangan Kolom (*Sl*)

1													
bi_1	**wi_1**												
1,08	-0,88	0,76	0,28	-1,78	-0,12	-1,24	-2,48	1,17	-0,47	0,41	0,51	-0,57	1,47
-0,91	1,55	-0,22	-0,85	1,13	1,22	-0,23	0,86	0,03	0,13	1,62	0,59	-0,16	-0,40
1,04	-0,38	0,32	-0,81	0,57	-0,80	-1,42	-0,56	-0,03	0,14	0,29	-1,06	0,34	-0,65
-1,25	0,38	0,07	-0,17	-1,29	-0,60	0,16	0,24	0,40	-0,29	1,19	0,26	0,72	0,62
-0,64	-0,59	0,42	0,79	0,68	-0,37	1,88	-1,97	0,70	0,86	0,22	1,92	-0,47	-0,75
-1,20	-0,22	-0,17	0,07	-0,15	-0,25	1,07	-0,56	-0,09	0,61	0,26	-0,59	0,46	-0,19
0,20	-0,76	-1,45	0,85	-0,87	-0,28	0,20	-0,05	-1,25	-1,14	-0,81	-1,83	-1,02	-0,41
1,78	0,76	-1,18	-0,59	-0,90	-0,19	-0,96	1,33	0,53	-0,44	0,80	0,10	-0,10	-0,41
0,99	-0,11	0,91	1,39	0,68	0,62	0,87	1,27	0,03	0,12	0,04	0,51	0,84	0,41
Pembobotan *Output*													
bi_2					**wi_2**								
0,02					0,56	0,64	-0,64	-0,51	-0,15	0,30	-0,71	0,28	0,17

Perhitungan nilai jarak sengkang lapangan dilakukan seperti penentuan nilai lebar balok (*B*). Berikut merupakan hasil perhitungan yang dilakukan

a. K44A (*Sl)* = 10,000 cm
b. K47 (*Sl)* = 10,000 cm
c. K55A (*Sl)* = 12,680 ≈ 10 cm
d. K66A (*Sl)* = 12,680 ≈ 15 cm
e. K80 (*Sl)* = 15,000 ≈ 15 cm
f. K710 (*Sl)* = 12,680 ≈ 15 cm
g. K712 (*Sl)* = 12,680 ≈ 15 cm
h. K68 (*Sl)* = 12,680 ≈ 15 cm
i. K88 (*Sl)* = 15,000 ≈ 15 cm

6. Penentuan nilai biaya pekerjaan kolom (*C*) berdasarkan ANN

Nilai bobot dan bias yang digunakan untuk menentukan biaya pekerjaan kolom (*C*) berdasarkan ANN dapat dilihat pada tabel 5.120 berikut.

Tabel 5.120 Pembobotan untuk Menentukan Biaya Pekerjaan Kolom (*C*)

Pembobotan *Input*															
b1	**w1**														
-1,79	0,14	0,14	-0,52	-0,80	0,29	-0,80	1,41	-0,57	0,32	0,48	-1,20	-0,64	-0,34	-0,48	0,48
1,10	-0,83	0,36	-0,08	-0,55	-0,76	0,01	-0,64	0,25	0,78	-0,24	-0,70	0,08	0,23	0,01	-0,41
-0,98	0,28	0,48	-0,76	0,27	0,66	0,11	1,08	-0,27	0,18	1,20	0,64	0,26	0,34	-0,50	0,35
0,91	-0,07	-0,06	-0,40	0,58	-0,17	-0,20	-1,00	0,47	-0,94	-0,41	-0,74	0,48	0,45	-0,45	-0,28
-0,24	-1,04	-0,05	0,21	-0,05	-0,58	0,27	1,11	0,68	0,89	1,20	0,20	-0,15	-0,91	-0,30	1,07
-0,89	-0,16	0,16	-0,44	0,22	0,92	0,59	0,68	0,52	0,21	-0,69	0,12	0,42	-0,26	-0,06	-0,02
0,82	-0,09	-0,16	-0,45	-0,46	-0,60	-0,57	0,27	0,11	0,42	-0,75	-0,41	-0,66	0,31	-0,08	-1,35
1,08	0,00	-0,06	0,24	-0,22	-0,64	0,73	0,52	0,00	-0,45	0,56	0,55	-0,37	-0,17	0,15	1,05
1,52	0,77	0,20	-0,06	-0,82	0,45	-0,38	0,50	0,31	0,79	0,25	0,29	0,04	-0,20	-0,01	-0,70
Pembobotan *Output*															
bi_2							**wi_2**								
0,01							-0,93	0,20	0,90	-0,31	0,96	0,46	0,67	-0,36	-0,06

Perhitungan nilai biaya pekerjaan kolom (*C*) dilakukan seperti penentuan nilai lebar balok (*B*). Berikut merupakan hasil perhitungan yang dilakukan

a. K44A (*C)* = Rp 44.257.834
b. K47 (*C)* = Rp 188.821.098
c. K55A (*C)* = Rp 50.211.656
d. K66A (*C)* = Rp 8.250.000.035
e. K80 (*C)* = Rp 1.137.562.561
f. K710 (*C)* = Rp 237.125.738
g. K712 (*C)* = Rp 146.988.130
h. K68 (*C)* = Rp 177.854.872
i. K88 (*C)* = Rp 323.311.873

Hasil di atas merupakan biaya pekerjaan masing-masing tipe kolom dengan jumlah yang berbeda-beda untuk setiap tipe kolom pada struktur yang dimodelkan sehingga terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada prediksi biaya masing-masing tipe kolom. Contohnya untuk kolom tipa K44A yang memiliki jumlah kolom sebanyak 32 memiliki selisih biaya pekerjaan yang sangat jauh berbeda dengan tipe kolom K66A yang mencapai jumlah 400 kolom. Menurut hasil pemrograman penggunaan ANN terkait total pekerjaan masing-masing kolom maka total biaya pekerjaan kolom adalah Rp 10.556.133.797. Nilai tersebut perlu ditinjau dengan perhitungan sebenarnya dengan menggunakan konfigurasi yang dihasilkan terkait dimensi, rasio tulangan pokok, dan jarak tulangan transversal yang sudah dicantumkan sebelumnya. Perhitungan analisis dan desain struktur hasil optimalisasi dapat dilihat pada sub-sub bab 5.4.4 berikut.

5.4.4. Pemodelan Struktur Berdasarkan Hasil Optimalisasi

Model struktur diambil berdasarkan *Detail Engineering Design* dari hasil perencanaan oleh perencana dan beberapa *as built drawing* oleh kontraktor. Namun untuk spesifikasi material diambil sesuai dengan nilai yang ada pada model *trial* 1 berdasarkan pembahasan sub-sub bab 5.3.6. untuk dimensi dan konfigurasi elemen struktur lainya diambil berdasarkan hasil optimalisasi yang sudah dilakukan pada sub bab 5.4. Pemodelan ulang struktur ini dilakukan untuk meninjau kembali

batasan yang ditentukan pada penelitian berdasarkan pembahasan pada sub bab 4.5. Tahapan-tahapan yang dilakukan untuk analisis dan desain pada struktur hasil optimalisasi sama dengan tahapan yang dilakukan pada struktur *existing* dan *trial* lainnya. Berikut merupakan penjabaran tahapan yang dilakukan untuk analisis, desain dan perhitungan biaya pekerjaan kolom model struktur hasil optimalisasi.

1. Berat bangunan

   Penentuan berat bangunan pada model hasil optimalisasi menggunakan metode yang sama dengan model *trial* 1. Berat bangunan hasil pemodelan yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 5.121 berikut.

Tabel 5.121 Berat Bangunan Struktur Hasil Optimalisasi

Lantai	**Berat Per Lantai (Kg)**	**Berat Per Lantai (T)**
Upper Roof	28668,79	28,66879
Roof	944841,3	944,8413
Mezzanine	507412,78	507,41278
UL2	3138731,67	3138,73167
L2	1948207,24	1948,20724
UL1	3077682,91	3077,68291
L1	5034038,82	5034,03882
UGL2	3203509,27	3203,50927
UGL1	5198014,95	5198,01495
Total	**23081107,73**	**23081,10773**

2. Perhitungan Beban Gempa

   Beban gempa yang diterapkan pada struktur hasil optimalisasi sama dengan beban gempa yang diterapkan pada struktur *trial* 1. Hal tersebut dilakukan agar meningkatkan objektivitas pada saat membandingkan struktur *existing*, struktur *trial*, dan struktur hasil optimalisasi pada model ANN.

3. Analisis Tahap 1 *Checking* Kinerja Struktur

   Proses analisis pada tahap in dilakukan sesuai dengan penjelasan pada sub bab 3.5. Berikut merupakan tahap penentuan beban gempa statik ekivalen yang bekerja pada model struktur objek penelitian.

   a. Penentuan periode dan periode fundamental pendekatan struktur

      Contoh perhitungan periode dan periode fundamental pendekatan struktur dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang

dilakukan didapatkan bahwa periode fundamental pendekatan struktur senilai 0,875 detik dengan periode batas atas (C_uT_a) senilai 1,22 detik

b. Koefisien respons seismik

Contoh perhitungan koefisien respons seismik dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan nilai yang digunakan adalah 0,0732 untuk sumbu x dan 0,0681 untuk sumbu y.

c. Gaya geser dasar seismik

Contoh perhitungan gaya geser dasar seismik dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan nilai gaya geser dasar seismik untuk kedua sumbu adalah 1690,58 Ton untuk sumbu x dan 1571,48 Ton untuk sumbu y.

d. Distribusi gaya seismik

Untuk perhitungan distribusi gaya seismik pada model hasil optimalisasi dilakukan dengan cara yang sama seperti model *trial* 1. Hasil perhitungan distribusi gaya seismik pada kedua sumbu yang ditampilkan pada lampiran tabel L-3.7 dan L-3.8.

e. Ketidakberaturan struktur

Identifikasi ketidakberaturan struktur pada model hasil optimalisasi dilakukan dengan cara yang sama seperti model *trial* 1. Berikut merupakan hasil identifikasi ketidakberaturan struktur yang dimaksud..

1) Ketidakberaturan Horizontal

a) Hasil identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1.a dan 1.b dapat dilihat pada lampiran tabel L-4.13 hingga tabel L-4.16.

Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa struktur memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1.a untuk arah x dan arah y. Maka dari itu peninjauan *drift ratio* dilakukan di titik-titik segaris pada tepi struktur. Dikarenakan struktur memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1.a. maka gaya gempa yang bekerja pada pusat masa dipengaruhi eksentrisitas tambahan berdasarkan faktor pembesaran torsi (A_x). Nilai faktor pembesaran torsi dapat dilihat pada tabel L-5.13 hingga L-5.16. Selain 2 kondisi yang sudah dijelaskan, ketidakberaturan

horizontal tipe 1.a memiliki konsekuensi lain seperti penyertaan memperhitungkan pengaruh penampang retak elemen.

b) Dikarenakan model (denah) struktur model hasil optimalisasi sama dengan model *trial* 1maka hasil identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 2 pada model hasil optimalisasi memiliki sifat yang sama seperti model *trial* 1. Berdasarkan perhitungan pada model *trial* 1, model struktur yang ditinjau memiliki ketidakberaturan struktur tipe 2 untuk seluruh lantai dikarenakan memiliki denah yang tipikal untuk setiap lantainya.

c) Dikarenakan model (denah) struktur model hasil optimalisasi sama dengan model *trial* 1 maka hasil identifikasi ketidakberaturan struktur horizontal tipe 3 pada model hasil optimalisasi memiliki sifat yang sama seperti model *trial* 1. Berdasarkan perhitungan pada model *trial* 1, model struktur yang ditinjau memiliki ketidakberaturan struktur tipe 3 untuk seluruh lantai dikarenakan memiliki denah yang tipikal untuk setiap lantainya.

d) Ketidakberaturan horizontal tipe 4 tidak terjadi pada model struktur objek penelitian dikarenakan elemen vertikal struktur menerus mulai dari elevasi tertinggi elemen vertikal hingga dasar bangunan.

e) Ketidakberaturan horizontal tipe 5 tidak terjadi pada model struktur objek penelitian dikarenakan elemen struktur berorientasi tepat pada sumbu x dan sumbu y.

2) Ketidakberturan vertikal

a) Hasil identifikasi ketidakberaturan struktur vertikal tipe 1.a dan 1.b yang dimaksud dapat dilihat pada lampiran tabel L-6.7 dan 6.8.

b) Perhitungan ketidakberturan vertikal tipe 2 pada model hasil optimalisasi dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *existing.* Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, model struktur hasil optimalisasi ANN memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 2. Untuk meninjau lebih lanjut disajikan tabel hasil ketidakberaturan vertikal tipe 2 struktur hasil optimalisasi pada tabel

L-7.4. Pada identifikasi ini, konsensus yang terjadi dikarenakan adanya ketidakberaturan struktur vertikal tipe 2 memiliki konsekuensi yang sama seperti pada ketidakberaturan vertikla tipe 1.

c) Ketidakberturan vertikal tipe 3 pada model hasil optimalisasi memiliki kondisi yang sama seperti pada model *trial* 1. Hal ini dikarenakan model (denah) struktur yang sama antara model *trial 1* dan hasil optimalisasi. Berdasarkan hal tersebut model hasil optimalisasi memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 3.

d) Pada model struktur objek penelitian tidak teridentifikasi ketidakberaturan tipe 4 dikarenakan elemen struktur vertikal pemikul gaya lateral seismik menerus dari elevasi tertinggi elemen struktur hingga dasar.

e) Perhitungan ketidakberturan vertikal tipe 5 pada model hasil optimalisasi dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil identifikasi ketidakberaturan vertikal tipe 5.a dan 5.b ditampilkan pada tabel lampiran L-8.7 dan tabel L-8.8.

f. Peninjauan *drift ratio*

Perhitungan *drfit ratio* pada model hasil optimalisasi dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil peninjauan *drift ratio* yang dimaksud ditampilkan pada lampiran tabel L-9.13 hingga tabel L-9.16.

g. Peninjauan *p-delta effect*

Perhitungan *p-delta effect* pada model hasil optimalisasi dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil perhitungan koefisien stabilitas pada lampiran tabel L-10.13 hingga tabel L-10.16.

4. Analisis Tahap 2 Untuk Desain Elemen Struktur

Proses analisis pada tahap ini dilakukan sesuai dengan penjelasan pada sub bab 3.6. Berikut penjabaran tahapan analisis tahap 2 yang dilakukan.

a. Faktor redundansi

Untuk penentuan faktor redundansi pada model hasil optimalisasi dikarenakan tidak ada ketidakberaturan horizontal berlebihan (horizontal tipe 1.b) maka faktor redundansi perlu ditentukan dengan cara meninjau gaya

geser tingkat pada setiap lantai pada saat kehilangan tahanan momen pada sambungan balok-kolom di kedua ujung suatu balok tunggal pada setiap arah sumbu. Identifikasi ini dilakukan dengan bantuan *software* ETABS. Berikut merupakan hasil peninjauan yang disajikan pada tabel 5.122.

Tabel 5.122 Rekapitulasi Peninjauan Gaya Geser Tingkat untuk Penentuan Nilai Faktor Redundansi Model ANN

Lantai	$V_{x\ (awal)}$	$V_{x\ (tinjauan)}$	$V_{y(awal)}$	$V_{y(tinjauan)}$	Rasio (x)	Rasio (y)
	kN	kN	kN	kN		
Upper Roof	65,48	64,61	73,37	73,78	1%	1%
Roof	1776,06	1789,10	1943,76	1942,44	1%	0%
Mezzanine	2448,12	2457,05	2692,94	2682,07	0%	0%
UL2	5553,22	5519,72	5537,96	5470,23	1%	1%
L2	7505,46	7448,94	7523,83	7420,98	1%	1%
UL1	10249,45	10151,53	9946,64	9799,93	1%	1%
L1	13756,89	13597,11	13105,56	12894,19	1%	2%
UGL2	15305,70	15119,86	14427,48	14191,85	1%	2%
UGL1	16584,58	16379,74	15416,19	15164,40	1%	2%

Berdasarkan tabel di atas nilai gaya geser tingkat yang ditinjau pada kondisi yang telah disebutkan sebelumnya tidak mengakibatkan reduksi kekuatan lebih dari 33% dan tidak mengakibatkan ketidakbeturan horizontal tipe 1.b. Maka dari itu nilai faktor redundansi yang digunakan bernilai 1.

b. Desain respons spektrum

Respons spektrum desain pada model hasil optimalisasi memiliki perhitungan yang sama dengan model *trial* 1. Hal ini dilakukan untuk memberi beban gempa yang sama dengan model *trial* 1 untuk meningkatkan objektivitas pada saat membandingkan antara model *existing*, *trial*, dan model hasil optimalisasi ANN.

c. Detail Kombinasi Beban Ortogonal

Penggunaan kombinasi beban ortogonal pada model struktur hasil optimalisasi sama seperti pada model *trial* 1. Berikut merupakan kombinasi beban yang digunakan.

$1{,}3504\ D \pm 1\ Qx \pm TT \pm 0{,}3\ Qy \pm 0.5\ L \rightarrow$ persamaan 3.3.6

$0{,}7496\ D \pm 1\ Qx \pm TT \pm 0{,}3\ Qy \rightarrow$ persamaan 3.3.7

Kedua persamaan tersebut apabila didetailkan sesuai dengan persamaan 3.49 hingga persamaan 3.80. Kombinasi sejumlah 32 persamaan tersebut akan digunakan pada tahap ini untuk *checking* kinerja final dan untuk memperoleh gaya dalam elemen struktur.

d. Penggunaan Skala Gaya

Contoh penggunaan skala gaya dapat dilihat pada perhitungan model *trial* 1. Berikut merupakan hasil penggunaan skala gaya yang dimaksud ditampilkan pada tabel 5.123.

Tabel 5.123 Penggunaan Skala Gaya Geser Dasar Struktur Hasil Optimalisasi

Arah Sumbu	Gaya Geser Dasar Statik (kN)	Skala Gaya	Skala baru, *I/R* . g (mm/s^2)
Sumbu x	16584,58	1,068761452	1310,56873
Sumbu y	15416,19	1,491240814	1828,63405

e. Peninjauan *drift ratio*

Perhitungan *drfit ratio* pada model hasil optimalisasi dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil peninjauan *drift ratio* yang dimaksud ditampilkan pada lampiran tabel L-11.13 hingga tabel L-11.16.

f. Peninjauan *p-delta effect*

Perhitungan *p-delta effect* pada model hasil optimalisasi dilakukan dengan cara yang sama seperti pada model *trial* 1. Hasil perhitungan koefisien stabilitas ditampilkan pada lampiran tabel L-12.13 hingga tabel L-12.16.

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat *drift ratio* struktur hasil optimalisasi memenuhi persyaratan simpangan antar tingkat izin dan persyaratan koefisien stabilitas maksimum sehingga dapat dilanjutkan untuk melakukan tahap desain elemen struktur.

5. Desain Elemen Struktur

Elemen struktur yang digunakan pada tahap analisis struktur hasil optimalisasi merupakan elemen struktur yang didapatkan berdasarkan optimalisasi dengan menggunakan metode ANN. *Ouput* yang dihasilkan dari prediksi rumus empiris

pada sub-sub bab 5.4.3 digunakan sebagai nilai untuk membentuk konfigurasi setiap elemen kolom. Berdasarkan pembahasan sebelumnya spesifikasi material elemen struktur hasil optimalisasi menggunakan spesifikasi material *trial* 1 seperti ditampilkan pada tabel 5.124 berikut.

Tabel 5.124 Spesifikasi Mutu Material Struktur Hasil Optimalisasi

F'c Balok (Mpa)	F'c Kolom (Mpa)	Fy pokok (Mpa)	Fy sengkang (Mpa)
30	35	420	400

Seperti yang dijelaskan sebelumnya *output* yang dihasilkan oleh rumus empiris digunakan untuk membentuk konfigurasi elemen struktur kolom hasil optimalisasi. Desain dan analisis elemen struktur hasil optimalisasi dilakukan sama seperti pada *trial* 1. Berikut ini merupakan elemen kolom struktur hasil optimalisasi yang ditampilkan pada tabel 5.125 berikut.

Tabel 5.125 Rekapitulasi Spesifikasi Elemen Struktur Hasil Optimalisasi

No	Kodefikasi Kolom	Lebar kolom (mm)	Tebal Kolom (mm)	Tulangan Pokok	Tulangan Transversal Tumpuan (x)	Tulangan Transversal Tumpuan (y)	Tulangan Transversal Lapangan (x)	Tulangan Transversal Lapangan (y)
1	K44A	400	350	8D25	6D10-100	7D10-100	2D10-100	3D10-100
2	K47	700	400	12D25	5D10-100	9D10-100	2D10-100	3D10-100
3	K55A	500	450	8D25	6D10-100	7D10-100	3D10-100	3D10-100
4	K66A	650	950	14D25	9D10-100	6D10-100	3D10-150	3D10-150
5	K80	1050	1050	32D25	10D10-100	10D10-100	4D10-150	4D10-150
6	K710	700	1000	20D25	10D10-100	7D10-100	4D10-150	3D10-150
7	K712	700	1100	22D25	10D10-100	7D10-100	4D10-150	3D10-150
8	K68	650	650	14D25	6D10-100	6D10-100	3D10-150	3D10-150
9	K88	1000	0	18D25	D13-100	D13-100	2D13-150	2D13-150

6. Perhitungan Biaya Pekerjaan Kolom

Perhitungan kembali biaya pekerjaan kolom pada model hasil optimalisasi dengan menggunakan metode ANN ini dilakukan untuk meninjau selisih antara prediksi rumus empiris yang dioperasionalkan secara matematik seperti pada sub-sub bab 5.4.3. Dengan dihitungnya biaya pekerjaan kolom berdasarkan hasil desain yang ditampilkan pada tabel 5.127, akan diketahui performa pemrograman ANN berdasarkan selisih atau *error* dari prediksi rumus empiris dengan perhitungan sebenarnya. Perhitungan biaya pekerjaan kolom dilakukan

berdasarkan volume pekerjaan dari hasil spesifikasi material dan spesifikasi elemen struktur kolom. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) ditentukan berdasarkan Keputusan Walikota Mataram Nomor 1026/ IX/ 2018 tentang Standar Satuan Harga Pemerintah Kota Mataram Tahun Anggaran 2019 dan harga di pasaran untuk material tulangan. Berikut merupakan hasil perhitungan AHSP yang ditampilkan pada tabel 5.126.

Tabel 5.126 Rekapitulasi Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Struktur Hasil Optimalisasi

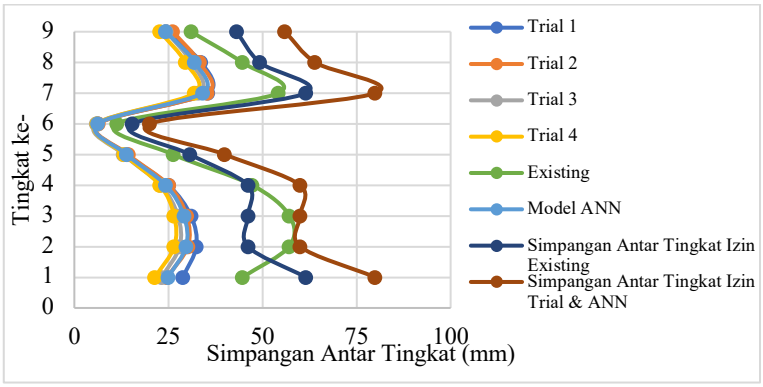
No	Komponen Pekerjaan	Satuan	Koef	Harga Satuan	Jumlah Harga
1, Pembesian per kg dengan Tulangan Pokok untuk pembesian					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	0,007	Rp70.000,00	Rp490,00
	2) Tukang besi	OH	0,007	Rp95.500,00	Rp668,50
	3) Kepala tukang	OH	0,0007	Rp99.000,00	Rp69,30
	4) Mandor	OH	0,0004	Rp101.000,00	Rp40,40
	b. Bahan				
	1) Besi beton pokok	kg	1,05	Rp23.800	Rp24.990,00
	2) Kawat ikat	kg	0,015	Rp15.450	Rp231,75
	c. Alat Bantu				
	1) Mesin Potong Besi	Hari	0,0005	Rp225.000	Rp112,50
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp26.602,45
2, Pembesian per kg dengan Tulangan Transversal untuk pembesian					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	0,007	Rp70.000,00	Rp490,00
	2) Tukang besi	OH	0,007	Rp95.500,00	Rp668,50
	3) Kepala tukang	OH	0,0007	Rp99.000,00	Rp69,30
	4) Mandor	OH	0,0004	Rp101.000,00	Rp40,40
	b. Bahan				
	1) Besi beton sengkang	kg	1,05	Rp22.800	Rp23.940,00
	2) Kawat ikat	kg	0,015	Rp15.450	Rp231,75
	c. Alat Bantu				
	1) Mesin potong besi	Hari	0,0005	Rp225.000	Rp112,50
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp25.552,45
3,Pekerjaan Beton (M3) F'c 35					
	a. Tenaga				
	1) Pekerja	OH	1	Rp70.000,00	Rp70.000,00
	2) Tukang batu	OH	0,25	Rp95.500,00	Rp23.875,00
	3) Kepala tukang	OH	0,025	Rp99.000,00	Rp2.475,00
	4) Mandor	OH	0,1	Rp101.000,00	Rp10.100,00
	b. Bahan				
	1) Semen Portland	Kg	509	Rp1.500,00	Rp763.500,00
	2) Pasir Beton	Kg	629	Rp125,00	Rp78.625,00
	3) Kerikil (Max 30 mm)	Kg	1009	Rp125,89	Rp127.021,89
	4) Air	Liter	202	Rp125,89	Rp25.429,56
	c. Alat Bantu				
	1) Molen 0.35 m3	Hari	0,2	Rp345.000	Rp69.000,00
				Jumlah Harga Satuan Pekerjaan	Rp1.170.026,44

Berdasarkan perhitungan AHSP tersebut maka dapat ditentukan biaya total dari pekerjaan elemen kolom struktur hasil optimalisasi. Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan biaya pekerjaan kolom struktur hasil optimalisasi yang ditampilkan pada tabel 5.127.

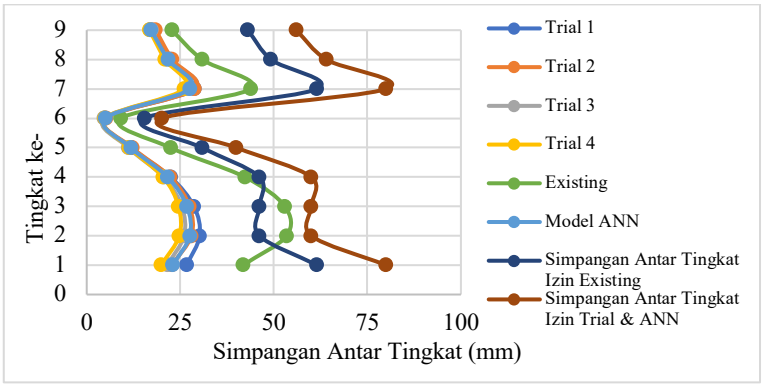
Tabel 5.127 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Biaya Pekerjaan Struktur Kolom Hasil Optimalisasi

No	Jenis Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan	Total Harga
Pekerjaan K44A					**Rp 40.821.328**
1	Pembesian Besi Ulir	924,8063374	kg	Rp26.602	Rp24.602.114
2	Pembesian Besi Polos	442,4273518	kg	Rp25.552	Rp11.305.103
3	Pekerjaan Pengecoran	4,2	m3	Rp1.170.026	Rp4.914.111
Pekerjaan K47					**Rp216.030.441**
1	Pembesian Besi Ulir	4716,512321	kg	Rp26.602	Rp125.470.783
2	Pembesian Besi Polos	2236,329693	kg	Rp25.552	Rp57.143.703
3	Pekerjaan Pengecoran	28,56	m3	Rp1.170.026	Rp33.415.955
Pekerjaan K55A					**Rp48.077.393**
1	Pembesian Besi Ulir	924,8063374	kg	Rp26.602	Rp24.602.114
2	Pembesian Besi Polos	609,6323376	kg	Rp25.552	Rp15.577.600
3	Pekerjaan Pengecoran	6,75	m3	Rp1.170.026	Rp7.897.679
Pekerjaan K66A					**Rp7.330.347.761**
1	Pembesian Besi Ulir	124846,9289	kg	Rp26.602	Rp3.321.234.183
2	Pembesian Besi Polos	91462,38497	kg	Rp25.552	Rp2.337.088.019
3	Pekerjaan Pengecoran	1429,049375	m3	Rp1.170.026	Rp1.672.025.559
Pekerjaan K80					**Rp1.586.795.111**
1	Pembesian Besi Ulir	30981,0123	kg	Rp26.602	Rp824.170.831
2	Pembesian Besi Polos	17161,69286	kg	Rp25.552	Rp438.523.299
3	Pekerjaan Pengecoran	277,003125	m3	Rp1.170.026	Rp324.100.981
Pekerjaan K710					**Rp704.901.483**
1	Pembesian Besi Ulir	13351,8915	kg	Rp26.602	Rp355.193.026
2	Pembesian Besi Polos	8132,820916	kg	Rp25.552	Rp207.813.500
3	Pekerjaan Pengecoran	121,275	m3	Rp1.170.026	Rp141.894.957
Pekerjaan K712					**Rp198.135.690**
1	Pembesian Besi Ulir	3814,826142	kg	Rp26.602	Rp101.483.722
2	Pembesian Besi Polos	2195,89716	kg	Rp25.552	Rp56.110.552
3	Pekerjaan Pengecoran	34,65	m3	Rp1.170.026	Rp40.541.416
Pekerjaan K68					**Rp228.499.085**
1	Pembesian Besi Ulir	5081,810824	kg	Rp26.602	Rp135.188.618
2	Pembesian Besi Polos	2220,423024	kg	Rp25.552	Rp56.737.248
3	Pekerjaan Pengecoran	31,2584542	m3	Rp1.170.026	Rp36.573.218
Pekerjaan K88					**Rp394.181.976**
1	Pembesian Besi Ulir	5618,1985	kg	Rp26.602	Rp149.457.845
2	Pembesian Besi Polos	6664,341965	kg	Rp25.552	Rp170.290.265
3	Pekerjaan Pengecoran	63,61725124	m3	Rp1.170.026	Rp74.433.866
Total Biaya Seluruh Pekerjaan Kolom					**Rp10.747.790.267**

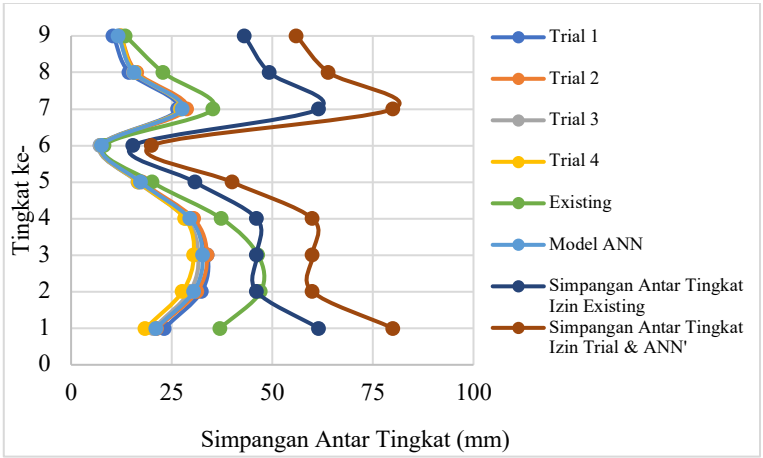
Berdasarkan analisis dan desain akhir model hasil optimalisasi yang telah dijabarkan, dapat dilihat bahwa model hasil optimalisasi memenuhi persyaratan *drift ratio* dan *p-delta effect*. Selain itu model hasil optimalisasi ANN juga memenuhi batasan penelitian yaitu tidak terjadi ketidakberturan horizontal tipe 1.b. Pemodelan hasil optimalisasi ini dapat memperbaiki kondisi *drift ratio* yang tidak memenuhi pada model *existing*. Untuk meninjau lebih lanjut terkai perbandingan *drift ratio* pada setial model ditampilkan grafik *drift ratio* untuk setiap model pada gambar 5.7 hingga 5.10 berikut.



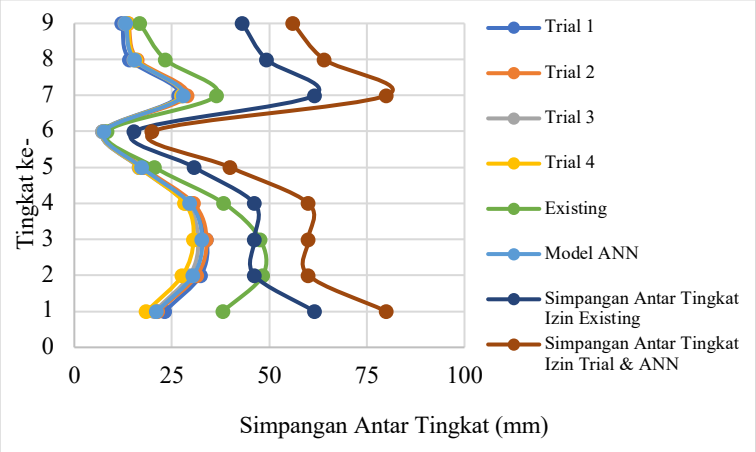
Gambar 5.7 Grafik Perbandingan *Drift Ratio* Tahap 2 Arah x Positif



Gambar 5.8 Grafik Perbandingan *Drift Ratio* Tahap 2 Arah x Negatif



Gambar 5.9 Grafik Perbandingan *Drift Ratio* Tahap 2 Arah y Positif



Gambar 5.10 Grafik Perbandingan *Drift Ratio* Tahap 2 Arah y Negatif

Berdasarkan perhitungan biaya pekerjaan kolom menurut rumus empiris dan perhitungan sebenarnya memiliki selisih yang cukup kecil yaitu 1,78%. Hal ini dikarenakan pada perhitungan awal hingga perhitungan akhir terdapat beberapa tahap yang harus dilakukan. Di sisi lain nilai prediksi yang dihasilkan ANN tidak sama persis atau dalam hal ini terdapat pembulatan pada setiap *output*-nya. Contohnya untuk *output* pada rasio tulangan nilai yang digunakan merupakan nilai rasio tulangan terpasang sehingga terdapat kemungkinan *error* pada validasi yang dilakukan. Begitu juga untuk contoh *output* seperti lebar dan tebal penampang kolom dimana terdapat pembulatan pada perhitungan manual untuk validasi. Maka dari itu penting untuk melakukan perhitungan ulang terkait prediksi yang dilakukan ANN dengan perhitungan sebenarnya. Nilai perbandingan yang dimaksud menggambarkan *error* dari prediksi berdasarkan rumus empiris dengan perhitungan sebenarnya seperti yang ditampilkan pada tabel 5.128 berikut.

Tabel 5.128 Perbandingan Biaya Prediksi Pekerjaan Kolom ANN dengan Perhitungan Sebenarnya

***Output* ANN**	
Model	**RAB**
Model Optimalisasi	Rp 10.747.790.267
Prediksi ANN	Rp 10.556.133.797
Error	1,78%

Keterangan model optimalisasi pada tabel di atas merupakan perhitungan sebenarnya dari *output* yang diprediksi oleh ANN untuk didesain dan dianalisis

ulang. Sementara itu keterangan prediksi ANN adalah prediksi total biaya pekerjaan kolom optimum berdasarkan *output* biaya pekerjaan masing-masing kolom.

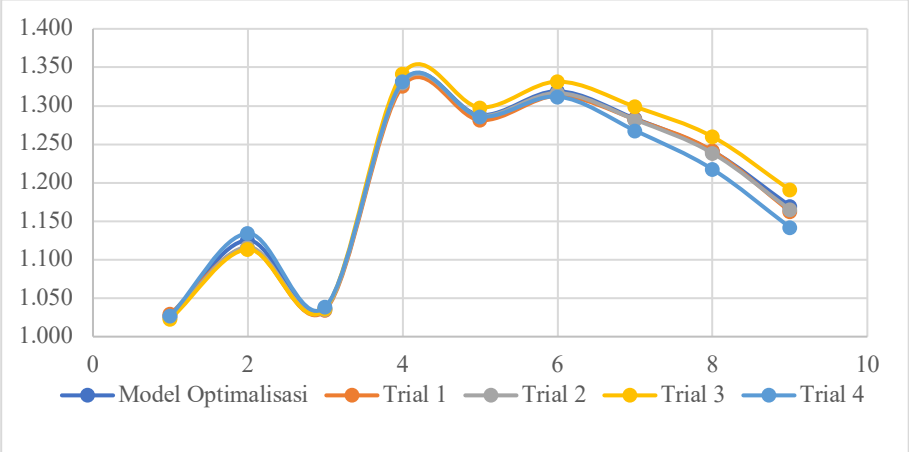
5.5. Hasil Optimalisasi Menggunakan Metode ANN

Hasil perhitungan biaya pekerjaan kolom berdasarkan optimalisasi ANN perlu ditinjau dengan hasil perhitungan dari ke-empat *trial* yang telah dilakukan. Berdasarkan pembahasan pada sub bab 5.3.6 nilai termurah dari ke-empat didapatkan pada model *trial* 1. Setalah dilakukan optimalisasi menggunakan metode ANN dengan nilai ketidakberaturan yang hampir sama, menghasilkan pekerjaan kolom yang lebih murah dibandingkan dengan ke-empat *trial*. Rekapitulasi perbandingan nilai faktor pembesaran torsi pada arah x positif untuk menggambarkan kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya dapat dilihat pada tabel 5.129 berikut.

Tabel 5.129 Perbandingan Nilai Faktor Pembesaran Torsi Pada Model ANN dan Model *Trial* Pada Arah x Positif

Lantai	Max Δ / Avg Δ				
	Model Optimalisasi	***Trial* 1**	***Trial* 2**	***Trial* 3**	***Trial* 4**
Upper Roof	1,027	1,030	1,024	1,023	1,027
Roof	1,125	1,115	1,117	1,114	1,134
Mezzanine	1,037	1,034	1,036	1,036	1,039
UL2	1,331	1,326	1,330	1,342	1,332
L2	1,288	1,281	1,287	1,298	1,286
UL1	1,319	1,313	1,317	1,331	1,312
L1	1,283	1,282	1,282	1,299	1,268
UGL2	1,241	1,241	1,238	1,260	1,218
UGL1	1,170	1,163	1,165	1,191	1,142

Dengan beberapa variasi dari konfigurasi elemen kolom yang berbeda, menghasilkan ketidakberaturan torsi (Max Δ / Avg Δ) yang hampir sama agar tidak terjadi ketidakberaturan torsi berlebihan yaitu lebih dari 1,4. Untuk meninjau lebih lanjut perbandingan hasil kontrol faktor pembesaran torsi dari keseluruhan model disajikan grafik pada gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Faktor Pembesaran Torsi Pada Model ANN dan Model Trial Pada Arah x Positif

Model hasil optimalisasi menghasilkan biaya pekerjaan termurah dibandingkan model *trial* 1 yang mana model tersebut merupakan model struktur dengan biaya pekerjaan termurah dibandingkan keseluruhan model *trial.* Perbandingan antara biaya pekerjaan kolom model *trial* 1 dengan hasil optimalisasi menggunakan ANN memiliki selisih 11,68% atau senilai Rp 1.422.016.405. Perbandingan harga yang terdapat pada Tabel 5.130 berikut.

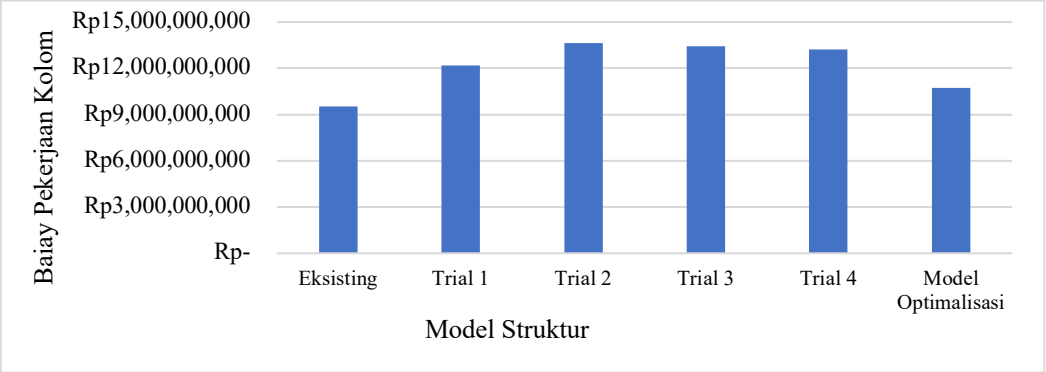
Tabel 5.130 Perbandingan Hasil Analisis Struktur dan Biaya Pekerjaan Kolom Pada Setiap Model

Model	**Ketidakberaturan horizontal**	**Ketidakberaturan Vertikal**	***Drift ratio* Tahap 1**	***Drift ratio* Tahap 2**	**RAB**
	Tipe	Tipe	Keterangan	Keterangan	
Existing	1.b, 2	1.b, 2, 3	Memenuhi	Tidak Memenuhi	Rp9.526.019.457
Trial 1	1.a, 2	1.a, 2, 3	Memenuhi	Memenuhi	Rp12.169.806.672
Trial 2	1.a, 2	1.a, 2, 3	Memenuhi	Memenuhi	Rp13.652.245.719
Trial 3	1.a, 2	1.b, 2, 3	Memenuhi	Memenuhi	Rp13.428.068.819
Trial 4	1.a, 2	1.b, 2, 3	Memenuhi	Memenuhi	Rp13.227.900.676
Model Optimalisasi	1.a, 2	1.a, 2, 3	Memenuhi	Memenuhi	Rp10.747.790.267

Biaya pekerjaan kolom termahal dari keseluruhan model terdapat pada model *trial* 2 dikarenakan pada model *trial* 2 digunakan mutu baja tulangan terendah (280 MPa) pada tulangan transversal sehingga desain tulangan yang dihasilkan lebih banyak. Sementara itu selisih harga antara mutu baja tulangan tidak begitu

signifikan. Disisi lain biaya pekerjaan kolom termurah dari ke-empat *trial* adalah pada *trial* 1 seperti yang dijelaskan pada sub-sub bab 5.3.6. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, salah satu faktornya adalah kolom dengan tipe K66A yang merupakan kolom dengan jumlah terbanyak pada keseluruhan gedung memiliki dimensi terkecil dari ke-empat *trial.* Selain itu penggunaan kuat leleh baja tulangan yang digunakan merupakan nilai tertinggi kedua dengan selisih kecil yaitu 420 MPa untuk tulangan pokok dan 400 MPa untuk tulangan transversal. Dengan begitu, kebutuhan tulangan untuk *trial* 1 lebih sedikit dibandingkan *trial* lainnya.

Untuk mengkonfirmasi kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya, telah dilakukan perhitungan biaya pekerjaan kolom terkait harga tulangan pada 3 toko berbeda dan menghasilkan kondisi yang sama yang mana biaya termurah dari ke-empat *trial* adalah *trial* 1 sedangkan biaya termahal terdapat pada *trial* 2. Selain itu biaya dari model hasil optimalisasi ANN masih termurah apabila dibandingkan dengan ke-empat *trial* yang ada. Untuk menggambarkan lebih lanjut terkait perbandingan harga pada setiap model, disajikan grafik pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Biaya Pekerjaan Kolom Setiap Pemodelan

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat model hasil optimalisasi dengan menggunakan ANN memiliki biaya pekerjaan termurah dengan keselurahn persyaratan yang memenuhi. Dengan meninjau pertimbangan yang sudah dijelaskan pada sub bab ini maka struktur hasil optimalisasi metode ANN dapat dikatakan optimum apabila membandingkan dengan keseluruhan model yang ada.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Hasil analisa berdasarkan perhitungan respons struktur dan biaya pekerjaan kolom pada model *existing*, *trial*, hingga model hasil optimalisasi ANN dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Model *existing* tidak memenuhi persyaratan *drift ratio* pada analisis tahap 2. Dengan demikian, elemen struktur pada model *trial* perlu diperbesar untuk memenuhi persyaratan yang dimaksud. Hal tersebut menyebabkan peningkatan biaya pekerjaan kolom pada model *trial*. Disisi lain, model *existing* memiliki ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1.b. Untuk menyederhanakan perhitungan analisis dan desain struktur objek penelitian, pada model *trial* didesain untuk tidak mengalami ketidakberaturan horizontal tipe 1.b.
2. Penerapan ANN untuk optimalisasi elemen kolom dimulai dengan menentukan variabel *input* meliputi mutu beton balok, mutu beton kolom, mutu baja balok, mutu baja kolom, diameter tulangan pokok, diameter tulangan sengkang, gaya aksial kolom, gaya momen kolom, gaya geser kolom, momen nominal balok untuk peninjauan SCWB, dan luas tulangan transversal pakai pada tumpuan dan lapangan. Lalu untuk *ouput* yang digunakan meliputi dimensi lebar kolom, dimensi tebal kolom, rasio tulangan pokok kolom, jarak sengkang tumpuan kolom, jarak sengkang lapangan kolom, dan total biaya pekerjaan kolom. Kemudian nilai tersebut di *input* ke dalam *software* MATLAB untuk menghasilkan bahasa pemrograman. Dengan menormalisasikan nilai *input* yang telah ditetapkan dan bahasan pemrograman yang dihasilkan *software* MATLAB dapat diprediksi konfigurasi dari spesifikasi material dan properti elemen kolom yang optimum. Nilai prediksi tersebut dimodelkan pada keseluruhan struktur untuk dianalisis dan ditinjau tingkat *error* dengan perhitungan sebenarnya.
3. Nilai *error* dari hasil rumus empiris untuk total biaya pekerjaan kolom dengan hasil perhitungan sebenarnya adalah 1,78%. Biaya total pekerjaan kolom

berdasarkan hasil analisis dan desain didapatkan sebesar Rp 10.747.790.267 Nilai tersebut merupakan biaya termurah dari ke-empat *trial* yang telah dilakukan dengan perbedaan 11,68% atau senilai Rp 1.422.016.405 dari biaya termurah ke-empat *trial* yaitu pada *trial* 1.

6.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terdapat saran untuk penelitian selanjutnya. Antara lain adalah sebagai berikut.

1. Objek penelitian yang digunakan merupakan objek penelitian berupa struktur gedung yang sudah memenuhi persyaratan *drift ratio*. Selain itu objek penelitian yang digunakan tidak memiliki ketidakberaturan struktur baik horizontal maupun vertikal sehingga pada tahap analisis dan desain struktur lebih sederhana. Dengan begitu penelitian selanjutnya dapat lebih fokus pada penerapan ANN untuk optimalisasi struktur dengan parameter spesifik terkait perbandingan struktur *existing* dengan optimalisasi seperti biaya pekerjaan struktur.
2. Penerapan ANN untuk optimalisasi struktur dapat digunakan pada keseluruhan struktur utama bangunan seperti balok, kolom, ataupun pelat yang diteliti secara bersamaan sehingga penggunaan metode ANN untuk optimalisasi struktur dapat lebih signifikan.
3. Penentuan variabel pada untuk data *input* dapat lebih divariasi. Dengan meningkatkan variasi variabel pada *input* maka kombinasi konfigurasi struktur akan lebih banyak sehingga konfigurasi elemen struktur optimum yang dianalisis dapat lebih spesifik.

DAFTAR PUSTAKA

Abubakar, R. (2021). *Pengantar Metodologi Penelitian.* SUKA-Press.

ASCE. (2017). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. *SEI/ASCE 7-16*.

Dinas Pariwisata. (2023, Februari 21). *Jumlah Kunjungan WIsatawan ke Provinsi Nusa Tenggara Barat*. Diambil kembali dari NTB SATU DATA: https://data.ntbprov.go.id/dataset/jumlah-kunjungan-wisatawan-ke-provinsi-nusa-tenggara-barat-ntb

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1983). *Peraturan Pembenbanan Indonesia Untuk Gedung* . Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.

FEMA, P. "751. (2012). *2009 NEHRP recommended seismic provisions: Design examples.* Washington, D.C: National Institute of Building Sciences.

Hagan, M. T. (et al. 2002). *Neural Network Design.* University of Colorado Bookstore: Campus Pub Service.

Harahap, K. F., Aminullah, A., & Priyosulistyo, H. (2022). Estimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung Hotel Yogyakarta dengan Artificial Neural Network. *REKAYASA SIPIL*, 182-190.

Harahap, K. F., Aminullah, A., & Priyosulistyo, H. (2022). Pendekatan Artificial Neural Network untuk Mengestimasi Dimensi Optimum dan Rasio Tulangan Gedung. *INERSIA*, 1-9.

Hariawan, J. B. (2007). *Pemodelan Estimasi Konseptual pada Proyek Konstruksi Bangunan Pabrik dengan Teknik Jaringan Syaraf Tiruan.* Depok: Tesis Program Pascasarjana Fakultas Teknik Sipil UI.

Haykin, S. (2009). *Neural Networks and Learning Machines.* United State of America: Pearson.

Kusumadewi, S. (2012). *Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan MATLAB dan Excel Link.* Yogyakarta: Graha Ilmu.

Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia. (2007). *Pedoman Teknis Pembangunan Bangunan Gedung Negara.* Peraturan Menteri Pekerjaan Umum, No. 45/PRT/M/2007.

Nulhakim, L. (2021). *Evaluasi Kelayakan Struktur Gedung Rumah Sakit Melati Sungai Penuh.* Padang: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas.

Paulay, T. (1988). Seismic Design in Reinforce Concrete : The State of The Art in New Zealand. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 21, No. 3*, 208-232.

Pawirodikromo, W. (2001). *Respon Dinamik Struktur Elastik.* Yogyakarta: UII Press.

Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan.* Yogyakarta: PUSTAKA PELAJAR.

Pawirodikromo, W. (2017). *Analisis Dinamik Struktur.* Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Pawirodikromo, W. (2019). On The Capacity of High, Moderate and Low Earthquake Frequency Content to Cause Global Drift Ratio at Level-2 of Structural Performance. *MATEC Web of Conferences*, 05027.

Pawirodikromo, W., & Hardawati, A. (2022, Mei). Eksplorasi Rekaman Gempa-Gempa di Indonesia dan Karakteristik Diri yang Dinyatakan dalam Acceleration Based Seismic Intensity Measures (SIMs). *Teknisia*, 046-059.

Prasetiawan, J. (2022). Prediksi Optimasi Dimensi Balok Kolom Bangunan Masjid Dengan Metode Artificial Neural Network. *J-ENSITEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology)*, 682-690.

Rahayu, P., & Pawirodikromo, W. (2023). Studi Variasi Perletakan Pada Respon Seismik Bangunan 17 Lantai. *Konstruksia*, 119-127.

Ramdhan, M. (2021). *Metode Penelitian.* Cipta Media Nusantara.

Ratnasari, A. F., & Pawirodikromo, W. (2018). *Pengaruh Kandungan Frekuensi Gempa Terhadap Simpangan dan Drift Ratio 2 Arah Struktur Bangunan Set-Back Bertingkat Banyak.* Yogyakarta.

Sari, M., Siswati, T., Suparto, A. A., Ambarsari, I. F., Azizah, N., Safitri, W., & Hasanah, N. (2022). *Metodologi penelitian.* Global Eksekutif Teknologi.

Setyawati, B. R. (2002). Neural Network for Cost Estimation. *AACE International Transaction*, ES131.

Standar Nasional Indonesia. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan dan Penjelasan.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Standar Nasional Indonesia. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

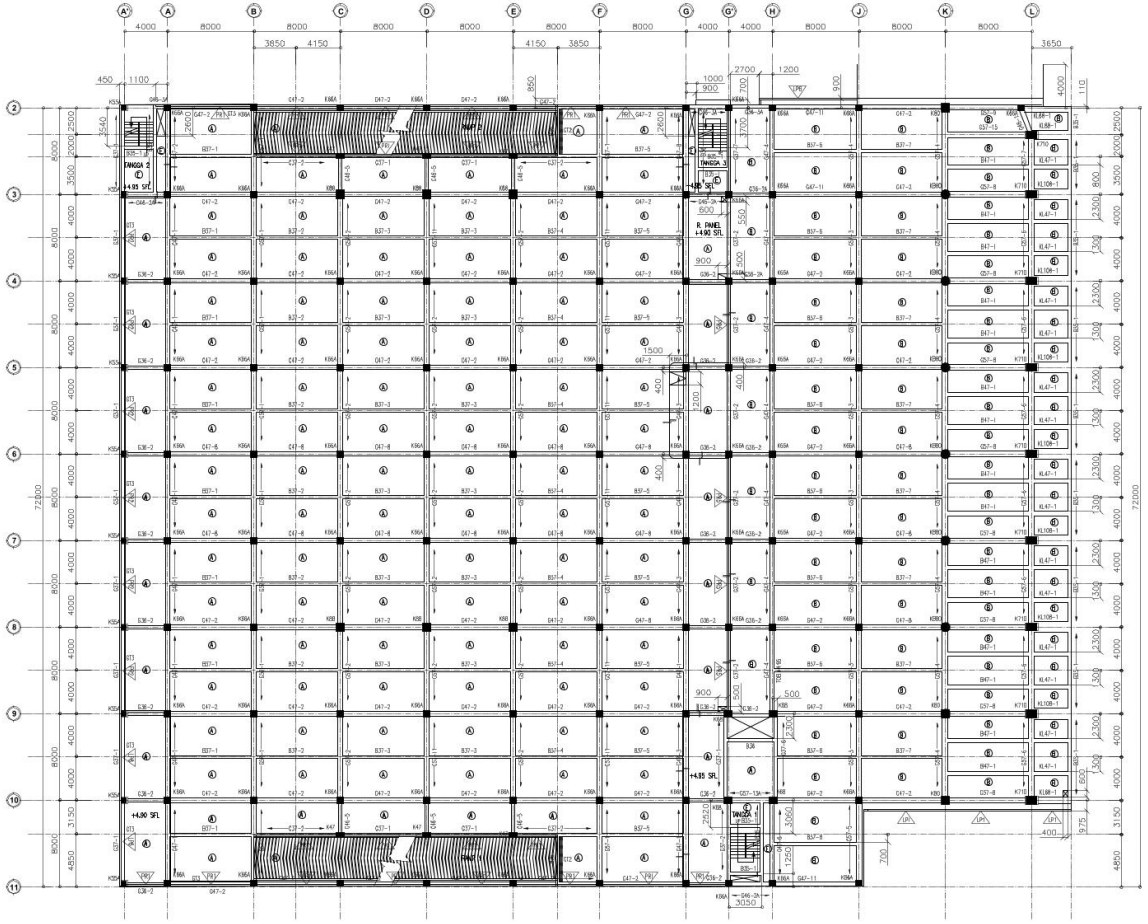
Standar Nasional Indonesia. (2020). *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

LAMPIRAN

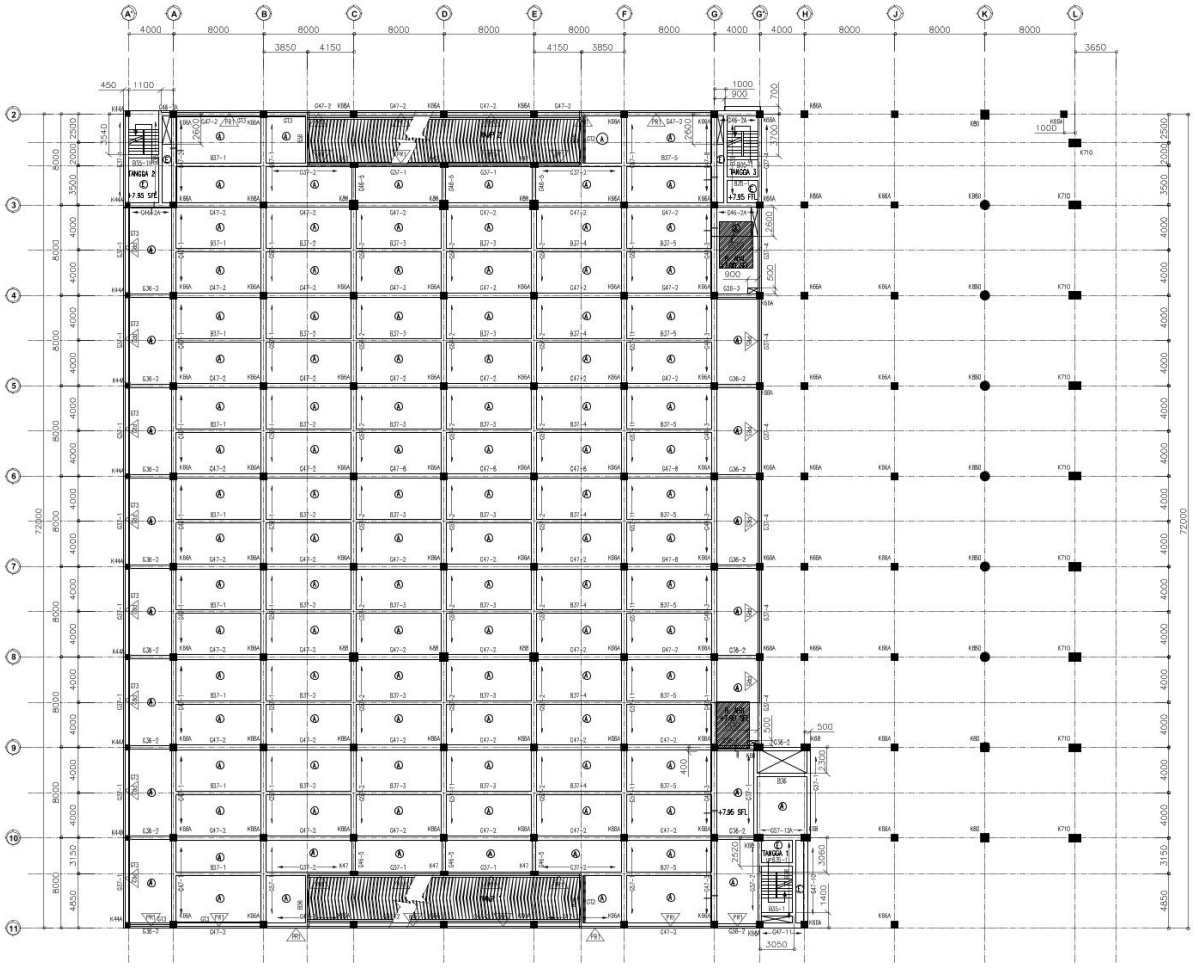
Lampiran 1 *Time Schedule* Tugas Akhir

No.	Uraian Kegiatan	Durasi (Jam)	Bobot (%)	November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	Pengumpulan Data dan Studi Literatur	3	2,36	0,79	1,57																										
2	Pemodelan Struktur																														
	A Pemodelan Struktur *Existing*	8	6,30			1,57	1,57	3,15																							
	B Pemodelan Struktur *Trial*	12	9,45					0,79	2,36	3,15	3,15																				
3	Desain dan Analisis Struktur																														
	A Analisis dan Kontrol Respons Struktur	20	15,75								1,31	2,62	3,94	5,25	2,62																
	B Desain Elemen Struktur	20	15,75											1,31	2,62	3,94	5,25	2,62													
4	Pemodelan *Artificial Neural Network*																														
	A Pemodelan ANN pada *Software* MATLAB	8	6,30														1,26	1,26	1,26	2,52											
	B Perhitungan Berdasarkan Bias, Bobot dan Fungsi Aktivasi	6	4,72															1,89	0,94	0,94	0,94										
	C Analisis dan Desain Model Optimum Prediksi ANN	14	11,02																		2,20	2,20	2,20	4,41							
5	Perhitungan Volume Pekerjaan	12	9,45																			2,36	4,72	1,18	1,18						
6	Perhitungan Biaya Pekerjaan	8	6,30																							3,15	2,10	1,05			
7	Rekapitulasi Hasil Penelitian	8	6,30																									3,15	3,15		
8	Penyusunan Naskah Tugas Akhir	8	6,30																											4,72	1,57
Total Durasi		127	100	0,79	1,57	1,57	1,57	3,94	2,36	3,15	4,46	2,62	3,94	6,56	5,25	3,94	6,51	5,77	2,20	3,46	3,15	4,57	6,93	5,59	1,18	3,15	2,10	4,20	3,15	4,72	1,57
Kumulatif (%)				0,79	2,36	3,94	5,51	9,45	11,81	14,96	19,42	22,05	25,98	32,55	37,80	41,73	48,24	54,02	56,22	59,69	62,83	67,40	74,33	79,92	81,10	84,25	86,35	90,55	93,70	98,43	100

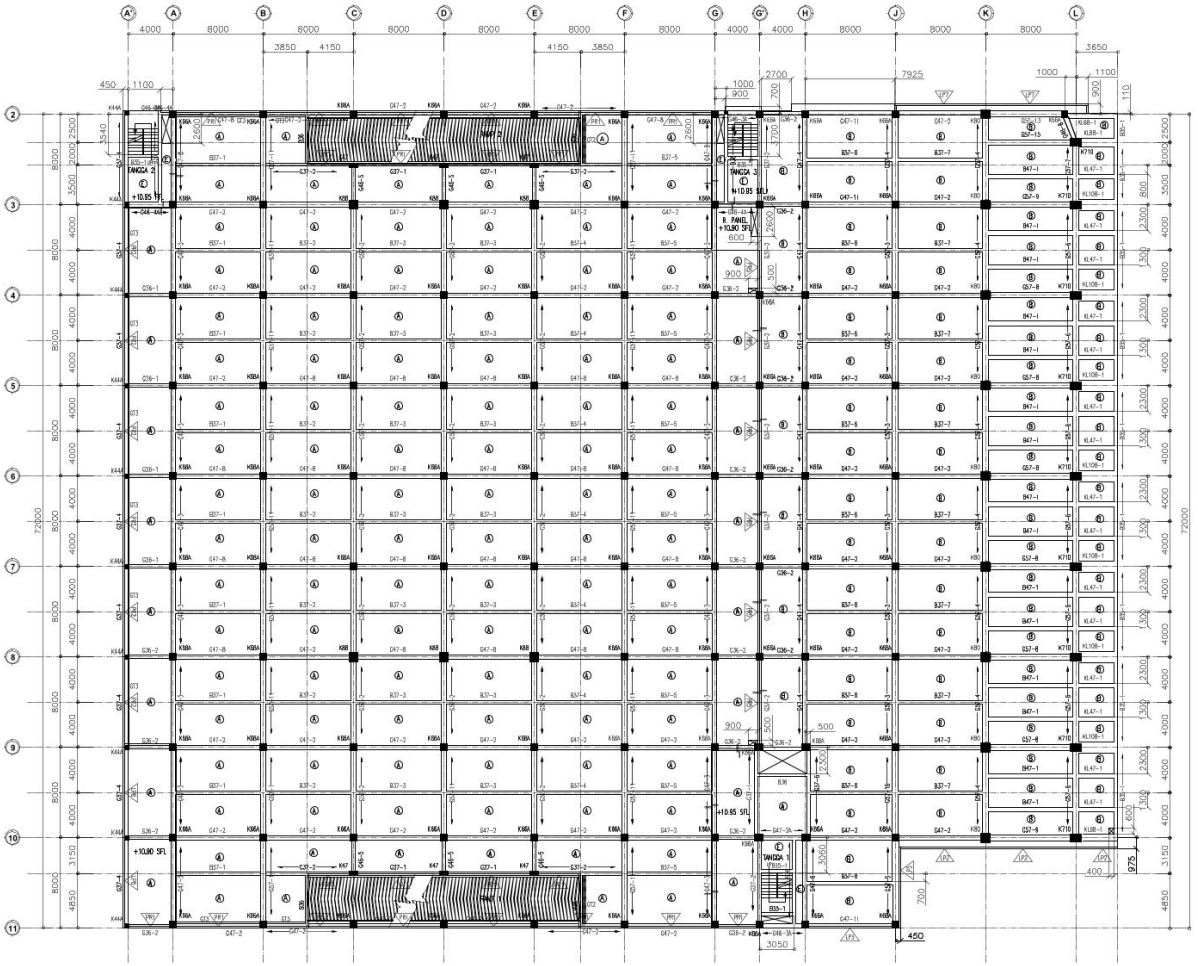
Lampiran 2 Denah Struktur Objek Penelitian



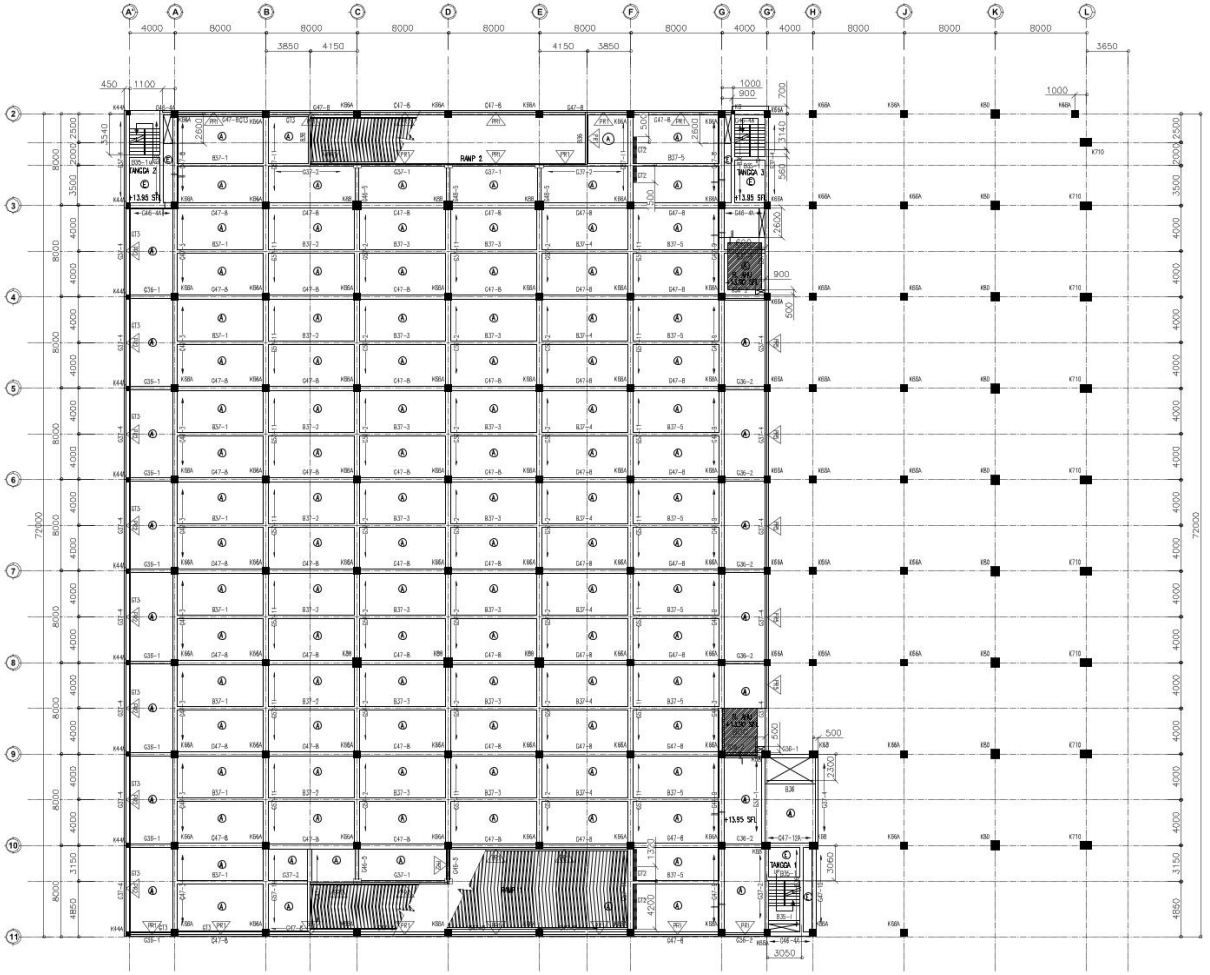
Gambar L-2.1 Denah Struktur Objek Penelitian Lantai UGL 1



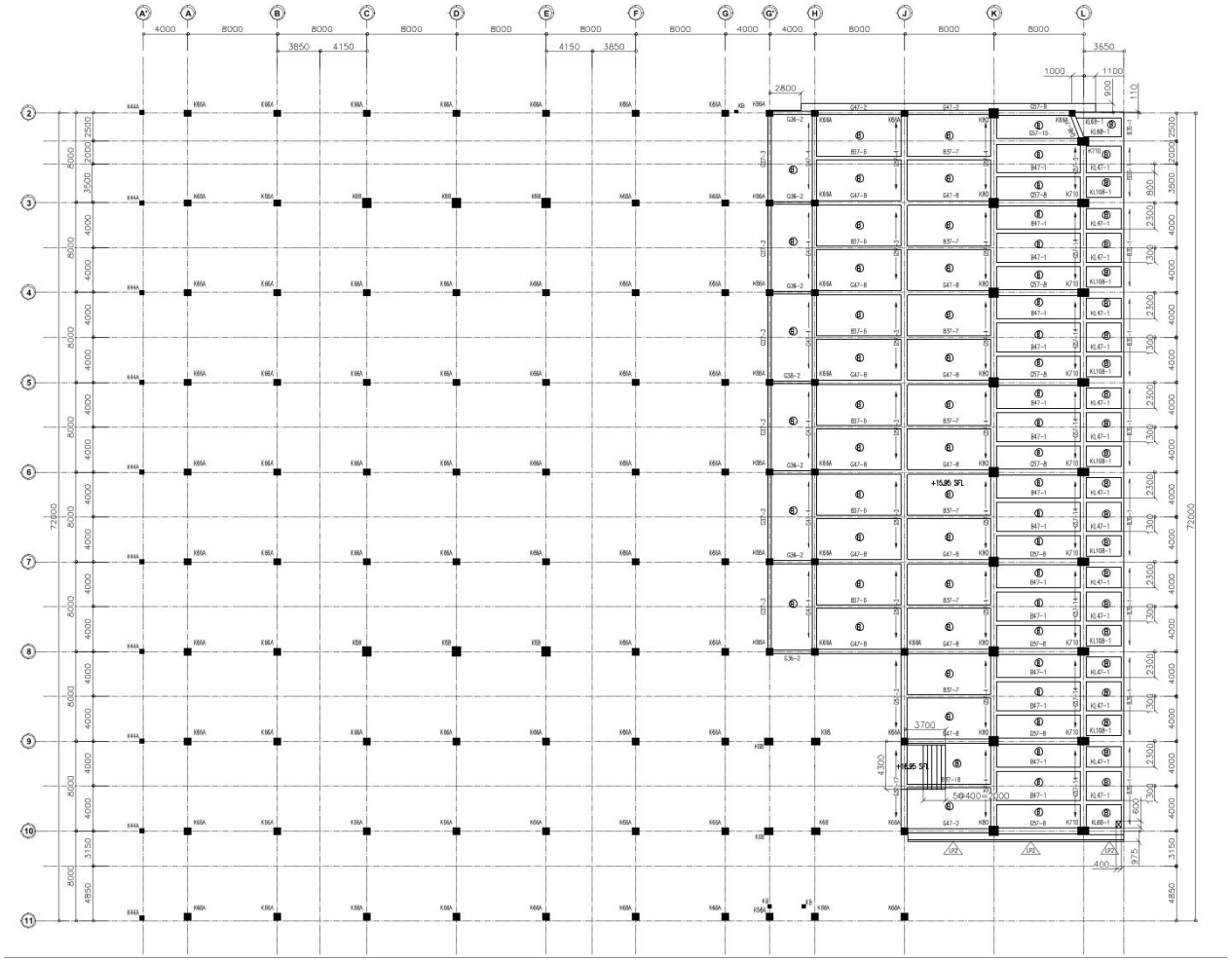
Gambar L-2.2 Denah Struktur Objek Penelitian Lantai UGL 2



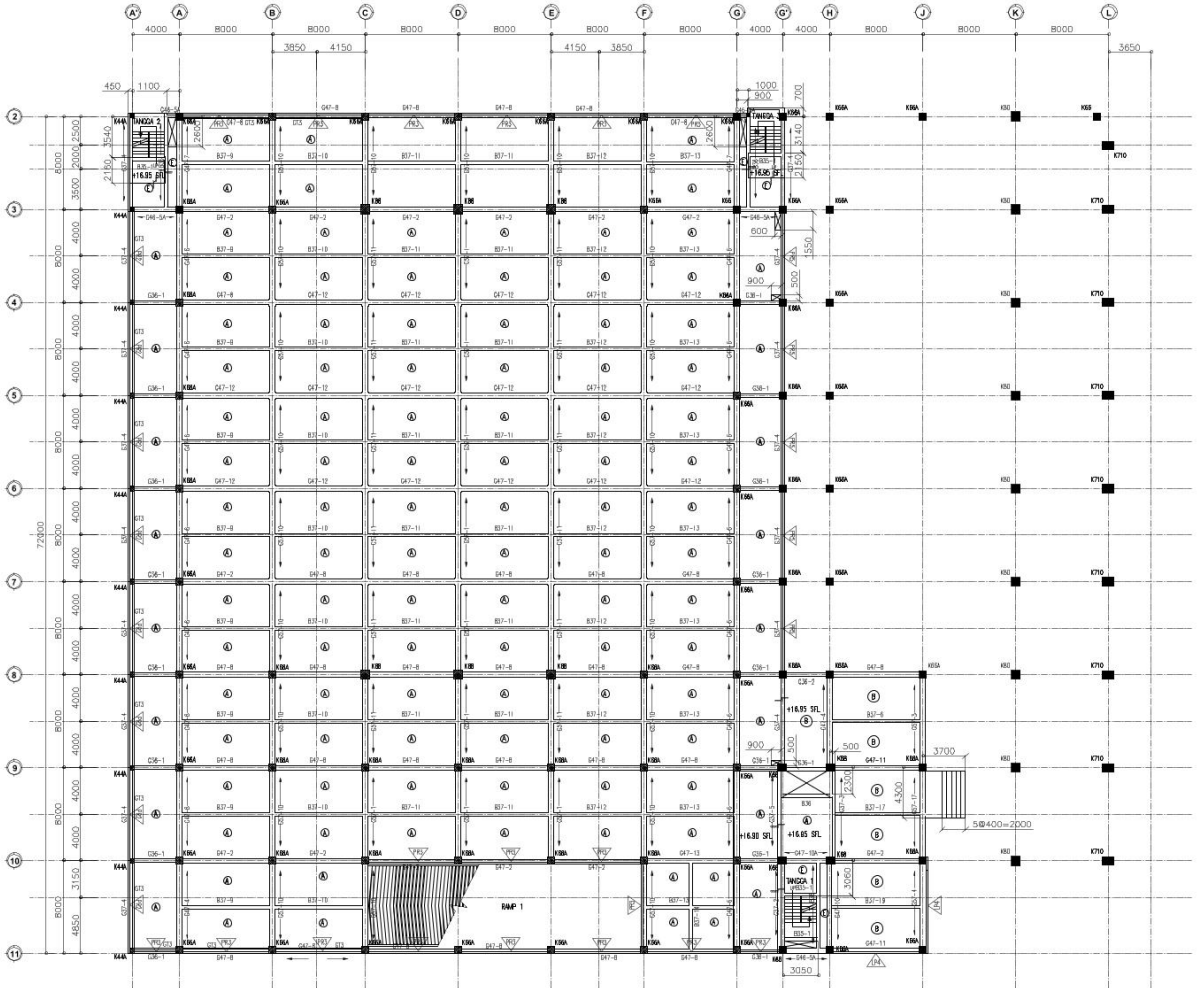
Gambar L-2. 3 Denah Struktur Objek Penelitian Lantai L1



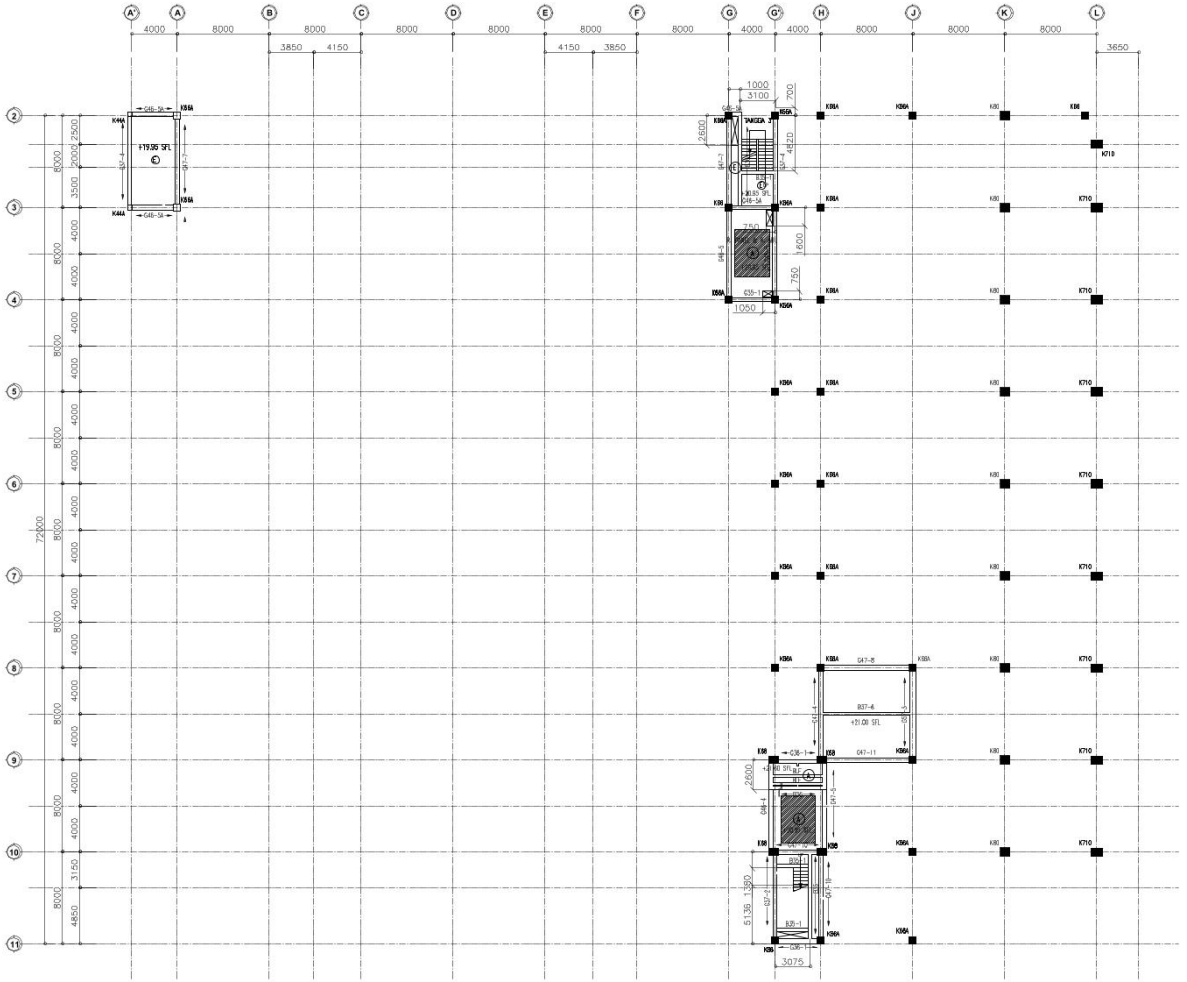
Gambar L-2.4 Denah Struktur Objek Penelitian Lantai UL1



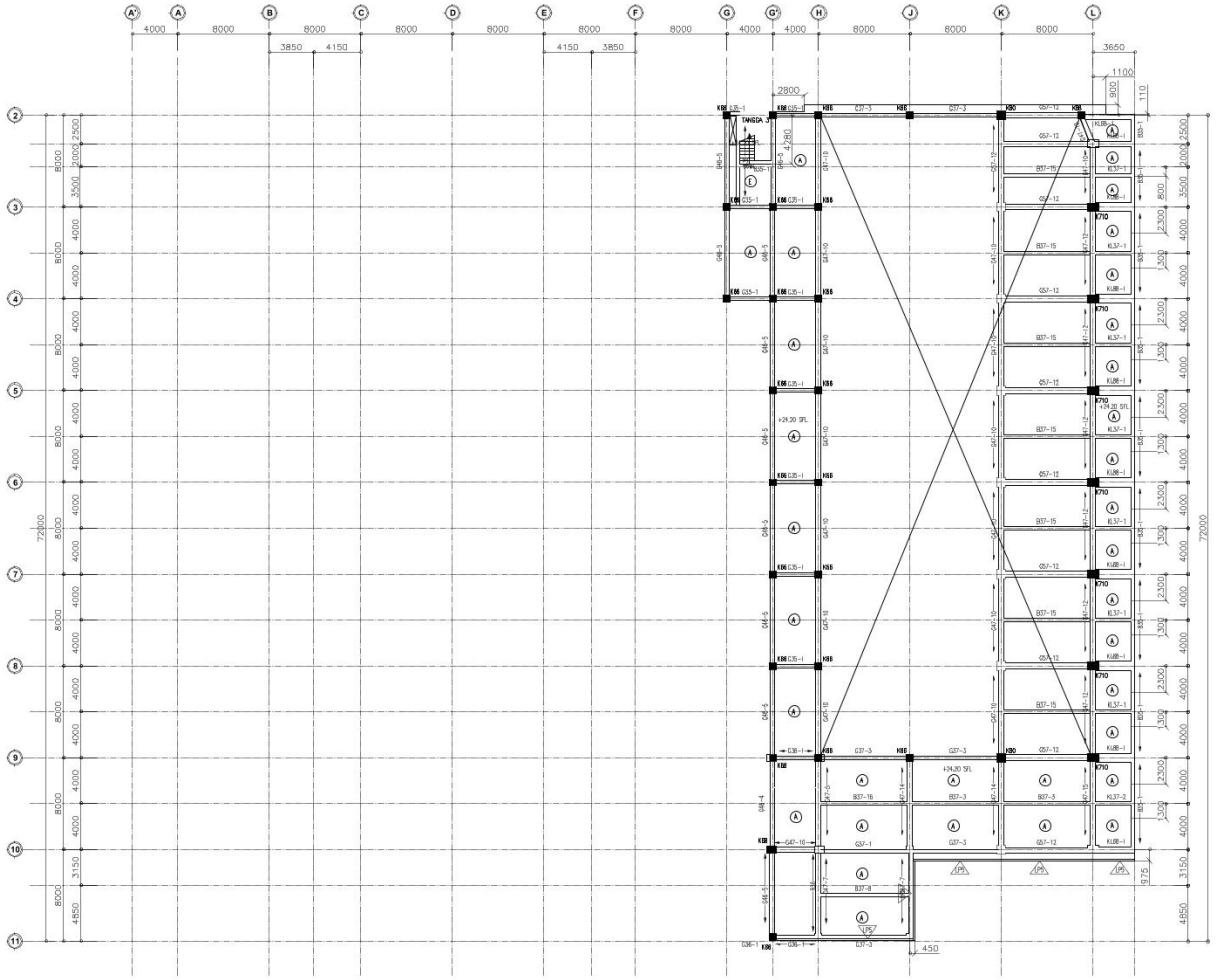
Gambar L-2.5 Denah Struktur Objek Penelitian Lantai L2



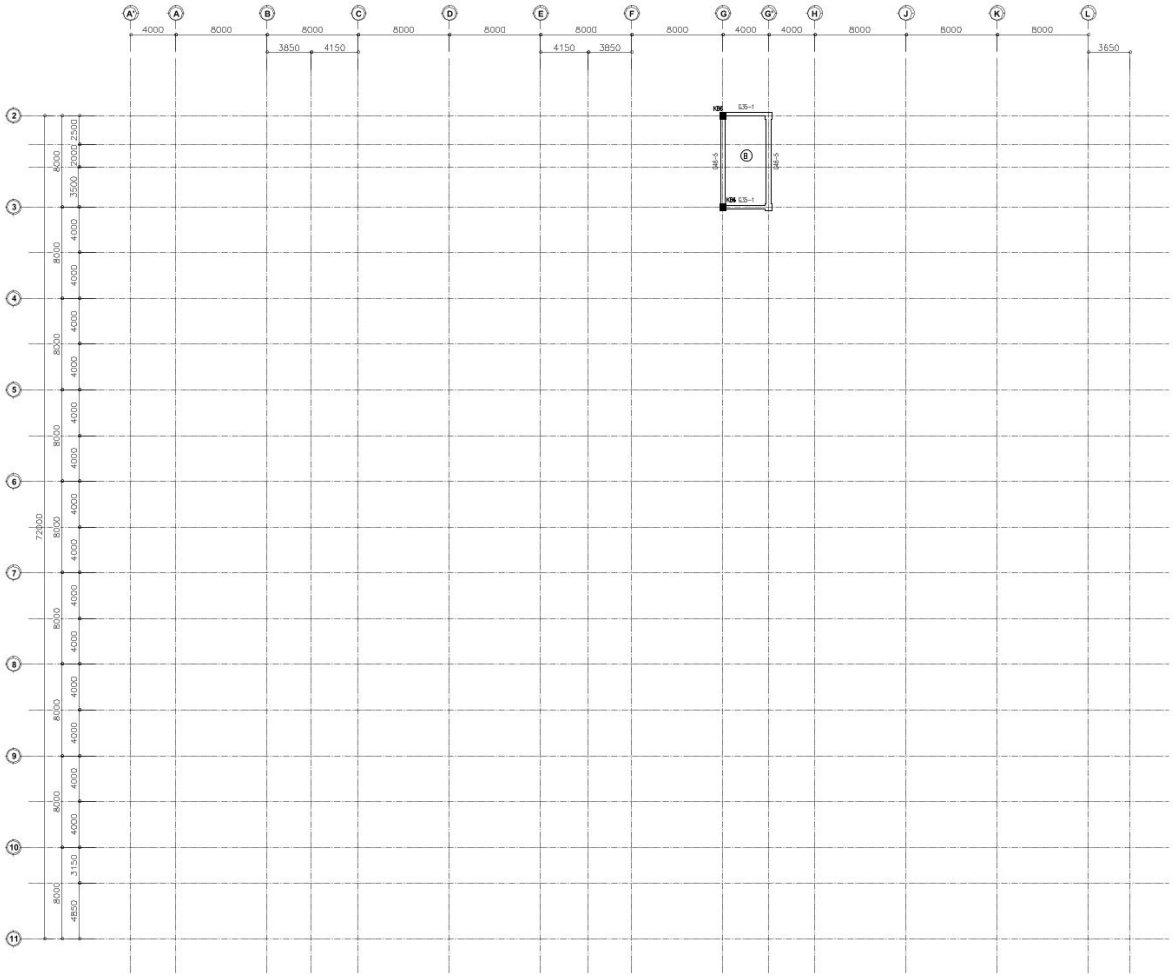
Gambar L-2.6 Denah Struktur Objek Penelitian Lantai UL2



Gambar L-2.7 Denah Struktur Objek Penelitian Lantai *Mezzanine*



Gambar L-2.8 Denah Struktur Objek Penelitian Lantai *Roof*



Gambar L-2.9 Denah Struktur Objek Penelitian Lantai *Upper Roof*

Lampiran 3 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Distribusi Gaya Seismik

Tabel L-3.1 Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 2 Sumbu x

Lantai	Wt (kN)	ht (m)	Wt.ht^k	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
Upper Roof	283,1	26,0	13552	0,00	58	58,4
Roof	9349,2	23,2	390923,8	0,10	1683,3	1741,6
Mezzanine	4880,2	20,0	171087,9	0,04	736,7	2478,3
UL2	31169,1	16,0	838376,2	0,22	3610,0	6088,3
L2	19410,2	15,0	483576,5	0,12	2082,2	8170,6
UL1	30501,7	13,0	641161,3	0,16	2760,8	10931,4
L1	50049,4	10,0	770462,5	0,20	3317,6	14248,9
UGL2	31767,0	7,0	320188,3	0,08	1378,7	15627,6
UGL1	51719,4	4,0	268232,5	0,07	1155,0	16782,6
TOTAL	229129,2		3897561	1,00	16782,6	

Tabel L-3.2 Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 2 Sumbu y

Lantai	Wt (kN)	ht (m)	Wt.ht^k	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
Upper Roof	283,1	26,0	13552	0,00	53	53,3
Roof	9349,2	23,2	390923,8	0,10	1537	1590,2
Mezzanine	4880,2	20,0	171087,9	0,04	673	2262,9
UL2	31169,1	16,0	838376,2	0,22	3296	5559,0
L2	19410,2	15,0	483576,5	0,12	1901	7460,2
UL1	30501,7	13,0	641161,3	0,16	2521	9980,9
L1	50049,4	10,0	770462,5	0,20	3029	13010,0
UGL2	31767,0	7,0	320188,3	0,08	1259	14268,9
UGL1	51719,4	4,0	268232,5	0,07	1055	15323,4
TOTAL	229129,2		3897561	1,00	15323,4	

Tabel L-3.3 Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 3 Sumbu x

Lantai	Wt (kN)	ht (m)	Wt.ht^k	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
Upper Roof	291,199	26,0	13940,036	0,00	60,0234	60,023
Roof	9601,805	23,2	401484,609	0,10	1728,734	1788,758
Mezzanine	5071,513	20,0	177794,844	0,04	765,559	2554,317
UL2	31912,023	16,0	858360,246	0,21	3695,975	6250,292
L2	19790,206	15,0	493043,905	0,12	2122,976	8373,267
UL1	31440,054	13,0	660886,792	0,17	2845,683	11218,949
L1	51249,026	10,0	788929,939	0,20	3397,018	14615,967
UGL2	32782,596	7,0	330424,986	0,08	1422,762	16038,729
UGL1	52991,185	4,0	274828,180	0,07	1183,370	17222,099
	235129,608		3999693,537	1,00	17222,099	

Tabel L-3.4 Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 3 Sumbu y

Lantai	Wt (kN)	ht (m)	Wt.ht^k	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
Upper Roof	291,199	26,0	13940,036	0,00	57,569	57,569
Roof	9601,805	23,2	401484,609	0,10	1658,041	1715,611
Mezzanine	5071,513	20,0	177794,844	0,04	734,253	2449,864
UL2	31912,023	16,0	858360,246	0,21	3544,835	5994,699
L2	19790,206	15,0	493043,905	0,12	2036,161	8030,860
UL1	31440,054	13,0	660886,792	0,17	2729,314	10760,174
L1	51249,026	10,0	788929,939	0,20	3258,104	14018,278
UGL2	32782,596	7,0	330424,986	0,08	1364,581	15382,859
UGL1	52991,185	4,0	274828,180	0,07	1134,979	16517,838
	235129,608		3999693,537	1,00	16517,838	

Tabel L-3.5 Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 4 Sumbu x

Lantai	Wt (kN)	ht (m)	Wt.ht^k	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
Upper Roof	284,961	26,000	13641,361	0,003	58,573	58,573
Roof	9934,635	23,200	415401,357	0,101	1783,630	1842,203
Mezzanine	5586,138	20,000	195836,330	0,048	840,872	2683,075
UL2	32883,472	16,000	884489,997	0,215	3797,780	6480,855
L2	20088,185	15,000	500467,598	0,122	2148,883	8629,738
UL1	32343,732	13,000	679882,579	0,165	2919,247	11548,985
L1	52344,444	10,000	805792,852	0,196	3459,874	15008,859
UGL2	33700,173	7,000	339673,501	0,083	1458,473	16467,333
UGL1	54110,335	4,000	280632,429	0,068	1204,966	17672,298
	241276,073		4115818,004	1,000	17672,298	

Tabel L-3.6 Distribusi Gaya Seismik Struktur *Trial* 4 Sumbu y

Lantai	Wt (kN)	ht (m)	Wt.ht^k	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
Upper Roof	284,961	26,000	13641,361	0,003	58,486	58,486
Roof	9934,635	23,200	415401,357	0,101	1780,995	1839,481
Mezzanine	5586,138	20,000	195836,330	0,048	839,630	2679,111
UL2	32883,472	16,000	884489,997	0,215	3792,168	6471,279
L2	20088,185	15,000	500467,598	0,122	2145,708	8616,987
UL1	32343,732	13,000	679882,579	0,165	2914,933	11531,921
L1	52344,444	10,000	805792,852	0,196	3454,762	14986,682
UGL2	33700,173	7,000	339673,501	0,083	1456,318	16443,001
UGL1	54110,335	4,000	280632,429	0,068	1203,185	17646,186
	241276,073		4115818,004	1,00	17646,186	

Tabel L-3.7 Distribusi Gaya Seismik Struktur Hasil Optimalisasi Sumbu x

Lantai	Wt (kN)	ht (m)	Wt.ht^k	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
Upper Roof	281,2	26,0	13463,3	0,0	57,9	57,9
Roof	9268,9	23,2	387564,4	0,1	1666,9	1724,8
Mezzanine	4977,7	20,0	174506,7	0,0	750,6	2475,4
UL2	30791,0	16,0	828206,2	0,2	3562,1	6037,5
L2	19111,9	15,0	476145,2	0,1	2047,9	8085,4
UL1	30192,1	13,0	634653,5	0,2	2729,6	10815,1
L1	49383,9	10,0	760218,4	0,2	3269,7	14084,8
UGL2	31426,4	7,0	316755,8	0,1	1362,4	15447,1
UGL1	50992,5	4,0	264462,5	0,1	1137,5	16584,6
TOTAL	226425,7		3855976,0	1,0	16584,6	

Tabel L-3.8 Distribusi Gaya Seismik Struktur Hasil Optimalisasi Sumbu y

Lantai	Wt (kN)	ht (m)	Wt.ht^k	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
Upper Roof	281,2	26,0	13463	0,00	54	53,8
Roof	9268,9	23,2	387564,4	0,10	1549	1603,3
Mezzanine	4977,7	20,0	174506,7	0,05	698	2301,0
UL2	30791,0	16,0	828206,2	0,21	3311	5612,1
L2	19111,9	15,0	476145,2	0,12	1904	7515,8
UL1	30192,1	13,0	634653,5	0,16	2537	10053,1
L1	49383,9	10,0	760218,4	0,20	3039	13092,5
UGL2	31426,4	7,0	316755,8	0,08	1266	14358,9
UGL1	50992,5	4,0	264462,5	0,07	1057	15416,2
TOTAL	226425,7		3855976	1,00	15416,2	

Lampiran 4 Rekapitulasi Hasil Identifikasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1

Tabel L-4.1 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 2 Arah x Positif

Lantai	Max Δ mm	Avg Δ mm	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
Upper Roof	4,156	4,058	1,024	Beraturan
Roof	5,503	4,929	1,117	Beraturan
Mezzanine	6,058	5,850	1,036	Beraturan
UL2	1,080	0,812	1,330	1.a
L2	2,400	1,865	1,287	1.a
UL1	4,121	3,130	1,317	1.a
L1	4,812	3,754	1,282	1.a
UGL2	4,821	3,893	1,238	1.a
UGL1	3,948	3,389	1,165	Beraturan

Tabel L-4.2 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 2 Arah x Negatif

Lantai	Max Δ mm	Avg Δ mm	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
Upper Roof	1,889	1,847	1,023	Beraturan
Roof	3,448	2,711	1,272	1.a
Mezzanine	4,739	4,024	1,178	Beraturan
UL2	0,786	0,625	1,258	1.a
L2	1,812	1,498	1,210	1.a
UL1	3,504	2,923	1,199	Beraturan
L1	4,272	3,633	1,176	Beraturan
UGL2	4,363	3,763	1,160	Beraturan
UGL1	3,644	3,210	1,135	Beraturan

Tabel L-4.3 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 2 Arah y Positif

Lantai	Max Δ mm	Avg Δ mm	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
Upper Roof	2,138	2,120	1,009	Beraturan
Roof	3,702	3,252	1,138	Beraturan
Mezzanine	5,180	5,089	1,018	Beraturan
UL2	1,495	1,116	1,340	1.a
L2	3,767	3,406	1,106	Beraturan
UL1	5,435	4,373	1,243	1.a
L1	6,977	5,583	1,250	1.a
UGL2	5,501	4,408	1,248	1.a
UGL1	4,262	3,588	1,188	Beraturan

Tabel L-4.4 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 2 Arah y Negatif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	2,506	2,473	1,014	Beraturan
Roof	3,701	3,223	1,148	Beraturan
Mezzanine	5,228	5,137	1,018	Beraturan
UL2	1,504	1,091	1,378	1.a
L2	3,809	3,425	1,112	Beraturan
UL1	5,453	4,328	1,260	1.a
L1	7,046	5,587	1,261	1.a
UGL2	5,524	4,385	1,260	1.a
UGL1	4,304	3,600	1,196	Beraturan

Tabel L-4.5 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 3 Arah x Positif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	3,839	3,752	1,023	Beraturan
Roof	5,076	4,558	1,114	Beraturan
Mezzanine	5,564	5,369	1,036	Beraturan
UL2	0,963	0,718	1,342	1.a
L2	2,148	1,655	1,298	1.a
UL1	3,701	2,780	1,331	1.a
L1	4,351	3,350	1,299	1.a
UGL2	4,399	3,492	1,260	1.a
UGL1	3,679	3,090	1,191	Beraturan

Tabel L-4.6 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 3 Arah x Negatif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	1,751	1,713	1,022	Beraturan
Roof	3,170	2,497	1,270	1.a
Mezzanine	4,377	3,697	1,184	Beraturan
UL2	0,699	0,550	1,272	1.a
L2	1,616	1,324	1,221	1.a
UL1	3,146	2,602	1,209	1.a
L1	3,865	3,258	1,186	Beraturan
UGL2	3,986	3,400	1,172	Beraturan
UGL1	3,408	2,962	1,150	Beraturan

Tabel L-4.7 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 3 Arah y Positif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	2,112	2,095	1,008	Beraturan
Roof	3,507	3,093	1,134	Beraturan
Mezzanine	4,909	4,819	1,019	Beraturan
UL2	1,415	1,053	1,344	1.a
L2	3,567	3,217	1,109	Beraturan
UL1	5,105	4,060	1,257	1.a
L1	6,617	5,209	1,270	1.a
UGL2	5,190	4,027	1,289	1.a
UGL1	4,207	3,401	1,237	1.a

Tabel L-4.8 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 3 Arah y Negatif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	2,389	2,359	1,013	Beraturan
Roof	3,511	3,068	1,144	Beraturan
Mezzanine	4,950	4,860	1,019	Beraturan
UL2	1,423	1,032	1,380	1.a
L2	3,602	3,233	1,114	Beraturan
UL1	5,118	4,020	1,273	1.a
L1	6,677	5,210	1,281	1.a
UGL2	5,210	4,007	1,300	1.a
UGL1	4,246	3,412	1,245	1.a

Tabel L-4.9 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 4 Arah x Positif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	3,584	3,489	1,027	Beraturan
Roof	4,866	4,291	1,134	Beraturan
Mezzanine	5,385	5,184	1,039	Beraturan
UL2	1,002	0,752	1,332	1.a
L2	2,194	1,706	1,286	1.a
UL1	3,694	2,816	1,312	1.a
L1	4,232	3,338	1,268	1.a
UGL2	4,201	3,450	1,218	1.a
UGL1	3,399	2,976	1,142	Beraturan

Tabel L-4.10 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 4 Arah x Negatif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	1,711	1,678	1,020	Beraturan
Roof	2,958	2,375	1,245	1.a
Mezzanine	3,998	3,424	1,168	Beraturan
UL2	0,730	0,583	1,251	1.a
L2	1,660	1,378	1,205	1.a
UL1	3,146	2,632	1,195	Beraturan
L1	3,784	3,229	1,172	Beraturan
UGL2	3,849	3,335	1,154	Beraturan
UGL1	3,192	2,825	1,130	Beraturan

Tabel L-4.11 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 4 Arah y Positif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	2,114	2,093	1,010	Beraturan
Roof	3,635	3,138	1,159	Beraturan
Mezzanine	4,891	4,802	1,019	Beraturan
UL2	1,447	1,069	1,354	1.a
L2	3,591	3,240	1,108	Beraturan
UL1	5,062	4,054	1,249	1.a
L1	6,330	5,068	1,249	1.a
UGL2	4,895	3,942	1,242	1.a
UGL1	3,699	3,137	1,179	Beraturan

Tabel L-4.12 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 4 Arah y Negatif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	2,432	2,398	1,014	Beraturan
Roof	3,625	3,122	1,161	Beraturan
Mezzanine	4,936	4,848	1,018	Beraturan
UL2	1,451	1,049	1,383	1.a
L2	3,615	3,248	1,113	Beraturan
UL1	5,065	4,015	1,262	1.a
L1	6,368	5,063	1,258	1.a
UGL2	4,903	3,923	1,250	1.a
UGL1	3,717	3,140	1,184	Beraturan

Tabel L-4.13 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Positif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	3,856	3,754	1,027	Beraturan
Roof	5,304	4,713	1,125	Beraturan
Mezzanine	5,828	5,621	1,037	Beraturan
UL2	1,043	0,784	1,331	1.a
L2	2,317	1,799	1,288	1.a
UL1	3,970	3,010	1,319	1.a
L1	4,664	3,634	1,283	1.a
UGL2	4,724	3,806	1,241	1.a
UGL1	3,980	3,402	1,170	Beraturan

Tabel L-4.14 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Negatif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	1,760	1,723	1,021	Beraturan
Roof	3,147	2,510	1,254	1.a
Mezzanine	4,375	3,737	1,171	Beraturan
UL2	0,744	0,591	1,259	1.a
L2	1,730	1,429	1,211	1.a
UL1	3,352	2,794	1,200	Beraturan
L1	4,126	3,504	1,178	Beraturan
UGL2	4,268	3,669	1,163	Beraturan
UGL1	3,682	3,226	1,141	Beraturan

Tabel L-4.15 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Positif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	2,039	2,021	1,009	Beraturan
Roof	3,580	3,122	1,147	Beraturan
Mezzanine	5,000	4,909	1,019	Beraturan
UL2	1,473	1,097	1,343	1.a
L2	3,699	3,340	1,107	Beraturan
UL1	5,298	4,239	1,250	1.a
L1	6,820	5,413	1,260	1.a
UGL2	5,373	4,230	1,270	1.a
UGL1	4,296	3,529	1,218	1.a

Tabel L-4.16 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Negatif

Lantai	Max Δ	Avg Δ	Max Δ / Avg Δ	Keterangan
	mm	mm		
Upper Roof	2,386	2,352	1,015	Beraturan
Roof	3,573	3,091	1,156	Beraturan
Mezzanine	5,045	4,956	1,018	Beraturan
UL2	1,477	1,073	1,377	1.a
L2	3,727	3,349	1,113	Beraturan
UL1	5,304	4,193	1,265	1.a
L1	6,868	5,408	1,270	1.a
UGL2	5,384	4,206	1,280	1.a
UGL1	4,323	3,534	1,223	1.a

Lampiran 5 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi

Tabel L-5.1 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 2 Arah x Positif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	36,899	36,202	1,019	0,721	1,000
Roof	32,743	29,153	1,123	0,876	1,000
Mezzanine	27,240	23,426	1,163	0,939	1,000
UL2	21,182	17,649	1,200	1,000	1,000
L2	20,102	16,537	1,216	1,026	1,026
UL1	17,702	14,386	1,230	1,051	1,051
L1	13,581	11,035	1,231	1,052	1,052
UGL2	8,769	7,282	1,204	1,007	1,007
UGL1	3,948	3,389	1,165	0,942	1,000

Tabel L-5.2 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 2 Arah x Negatif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	19,815	19,227	1,031	0,738	1,000
Roof	26,663	20,110	1,326	1,221	1,221
Mezzanine	23,215	18,128	1,281	1,139	1,139
UL2	18,476	14,916	1,239	1,065	1,065
L2	17,690	14,735	1,201	1,001	1,001
UL1	15,783	13,324	1,185	0,974	1,000
L1	12,279	10,606	1,158	0,931	1,000
UGL2	8,007	6,973	1,148	0,916	1,000
UGL1	3,644	3,210	1,135	0,895	1,000

Tabel L-5.3 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 2 Arah y Positif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	34,928	34,422	1,015	0,715	1,000
Roof	39,369	34,658	1,136	0,896	1,000
Mezzanine	35,667	31,406	1,136	0,896	1,000
UL2	29,256	22,813	1,282	1,142	1,142
L2	27,762	21,953	1,265	1,111	1,111
UL1	23,995	19,058	1,259	1,101	1,101
L1	17,615	13,948	1,263	1,108	1,108
UGL2	10,638	8,834	1,204	1,007	1,007
UGL1	4,262	3,588	1,188	0,980	1,000

Tabel L-5.4 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 2 Arah y Negatif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	35,352	34,810	1,016	0,716	1,000
Roof	39,709	34,795	1,141	0,904	1,000
Mezzanine	36,008	31,572	1,141	0,903	1,000
UL2	29,556	22,770	1,298	1,170	1,170
L2	28,047	21,942	1,278	1,135	1,135
UL1	24,238	19,061	1,272	1,123	1,123
L1	17,785	13,955	1,274	1,128	1,128
UGL2	10,739	8,858	1,212	1,021	1,021
UGL1	4,304	3,600	1,196	0,993	1,000

Tabel L-5.5 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 3 Arah x Positif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	33,720	33,067	1,020	0,722	1,000
Roof	29,881	26,485	1,128	0,884	1,000
Mezzanine	24,805	21,172	1,172	0,953	1,000
UL2	19,241	15,859	1,213	1,022	1,022
L2	18,278	14,878	1,229	1,048	1,048
UL1	16,130	12,925	1,248	1,082	1,082
L1	12,429	9,932	1,251	1,088	1,088
UGL2	8,078	6,582	1,227	1,046	1,046
UGL1	3,679	3,090	1,191	0,984	1,000

Tabel L-5.6 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 3 Arah x Negatif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	17,778	17,220	1,032	0,740	1,000
Roof	24,354	18,109	1,345	1,256	1,256
Mezzanine	21,184	16,306	1,299	1,172	1,172
UL2	16,807	13,387	1,256	1,095	1,095
L2	16,108	13,263	1,214	1,024	1,024
UL1	14,405	12,024	1,198	0,997	1,000
L1	11,259	9,620	1,170	0,951	1,000
UGL2	7,394	6,362	1,162	0,938	1,000
UGL1	3,408	2,962	1,150	0,919	1,000

Tabel L-5.7 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 3 Arah y Positif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	33,038	32,529	1,016	0,716	1,000
Roof	37,578	32,815	1,145	0,911	1,000
Mezzanine	34,071	29,722	1,146	0,913	1,000
UL2	27,944	21,316	1,311	1,193	1,193
L2	26,545	20,539	1,292	1,160	1,160
UL1	22,978	17,815	1,290	1,155	1,155
L1	16,945	13,021	1,301	1,176	1,176
UGL2	10,328	8,320	1,241	1,070	1,070
UGL1	4,207	3,401	1,237	1,063	1,063

Tabel L-5.8 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 3 Arah y Negatif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	33,359	32,817	1,017	0,718	1,000
Roof	37,884	32,933	1,150	0,919	1,000
Mezzanine	34,373	29,865	1,151	0,920	1,000
UL2	28,207	21,274	1,326	1,221	1,221
L2	26,792	20,525	1,305	1,183	1,183
UL1	23,190	17,815	1,302	1,177	1,177
L1	17,095	13,024	1,313	1,196	1,196
UGL2	10,418	8,341	1,249	1,083	1,083
UGL1	4,246	3,412	1,245	1,076	1,076

Tabel L-5.9 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 4 Arah x Positif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	32,557	31,929	1,020	0,722	1,000
Roof	28,973	25,778	1,124	0,877	1,000
Mezzanine	24,107	20,777	1,160	0,935	1,000
UL2	18,722	15,718	1,191	0,985	1,000
L2	17,720	14,685	1,207	1,011	1,011
UL1	15,526	12,765	1,216	1,027	1,027
L1	11,832	9,765	1,212	1,020	1,020
UGL2	7,600	6,427	1,183	0,971	1,000
UGL1	3,399	2,976	1,142	0,906	1,000

Tabel L-5.10 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 4 Arah x Negatif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	17,700	17,203	1,029	0,735	1,000
Roof	23,401	17,842	1,312	1,195	1,195
Mezzanine	20,443	16,084	1,271	1,122	1,122
UL2	16,445	13,343	1,233	1,055	1,055
L2	15,715	13,147	1,195	0,992	1,000
UL1	13,971	11,843	1,180	0,966	1,000
L1	10,825	9,389	1,153	0,923	1,000
UGL2	7,041	6,160	1,143	0,907	1,000
UGL1	3,192	2,825	1,130	0,887	1,000

Tabel L-5.11 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 4 Arah y Positif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	32,326	31,844	1,015	0,716	1,000
Roof	36,432	31,978	1,139	0,901	1,000
Mezzanine	32,797	28,840	1,137	0,898	1,000
UL2	26,695	20,805	1,283	1,143	1,143
L2	25,234	19,956	1,264	1,110	1,110
UL1	21,643	17,213	1,257	1,098	1,098
L1	15,686	12,469	1,258	1,099	1,099
UGL2	9,356	7,810	1,198	0,997	1,000
UGL1	3,699	3,137	1,179	0,966	1,000

Tabel L-5.12 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur *Trial* 4 Arah y Negatif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	32,666	32,160	1,016	0,716	1,000
Roof	36,598	32,041	1,142	0,906	1,000
Mezzanine	32,973	28,919	1,140	0,903	1,000
UL2	26,855	20,741	1,295	1,164	1,164
L2	25,386	19,916	1,275	1,128	1,128
UL1	21,771	17,188	1,267	1,114	1,114
L1	15,773	12,456	1,266	1,114	1,114
UGL2	9,405	7,815	1,204	1,006	1,006
UGL1	3,717	3,140	1,184	0,973	1,000

Tabel L-5.13 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur Hasil Optimalisasi ANN Arah x Positif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	35,686	34,991	1,020	0,722	1,000
Roof	31,830	28,275	1,126	0,880	1,000
Mezzanine	26,526	22,772	1,165	0,942	1,000
UL2	20,698	17,229	1,201	1,002	1,002
L2	19,655	16,157	1,217	1,028	1,028
UL1	17,338	14,071	1,232	1,054	1,054
L1	13,368	10,843	1,233	1,056	1,056
UGL2	8,704	7,209	1,207	1,012	1,012
UGL1	3,980	3,402	1,170	0,950	1,000

Tabel L-5.14 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur Hasil Optimalisasi ANN Arah x Negatif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	18,952	18,395	1,030	0,737	1,000
Roof	25,516	19,273	1,324	1,217	1,217
Mezzanine	22,369	17,457	1,281	1,140	1,140
UL2	17,994	14,486	1,242	1,072	1,072
L2	17,250	14,332	1,204	1,006	1,006
UL1	15,428	12,990	1,188	0,980	1,000
L1	12,076	10,399	1,161	0,936	1,000
UGL2	7,950	6,895	1,153	0,923	1,000
UGL1	3,682	3,226	1,141	0,905	1,000

Tabel L-5.15 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur Hasil Optimalisasi ANN Arah y Positif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	33,941	33,425	1,015	0,716	1,000
Roof	38,621	33,810	1,142	0,906	1,000
Mezzanine	35,041	30,688	1,142	0,905	1,000
UL2	28,807	22,193	1,298	1,170	1,170
L2	27,342	21,364	1,280	1,137	1,137
UL1	23,643	18,531	1,276	1,130	1,130
L1	17,403	13,551	1,284	1,145	1,145
UGL2	10,583	8,635	1,226	1,043	1,043
UGL1	4,296	3,529	1,218	1,029	1,029

Tabel L-5.16 Rekapitulasi Nilai Faktor Pembesaran Torsi Struktur Hasil Optimalisasi ANN Arah y Negatif

Lantai	Max δ	Avg δ	Max δ / Avg δ	Ax	Ax Pakai
	mm	mm			
Upper Roof	34,293	33,746	1,016	0,717	1,000
Roof	38,833	33,874	1,146	0,913	1,000
Mezzanine	35,260	30,783	1,145	0,911	1,000
UL2	29,011	22,119	1,312	1,195	1,195
L2	27,536	21,320	1,292	1,158	1,158
UL1	23,809	18,505	1,287	1,150	1,150
L1	17,517	13,538	1,294	1,163	1,163
UGL2	10,649	8,643	1,232	1,054	1,054
UGL1	4,323	3,534	1,223	1,039	1,039

Lampiran 6 Rekapitulasi Hasil Identifikasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1

Tabel L-6.1 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 2
Sumbu x

Lantai	Fx	Vx	ΔX	K	K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$	Keterangan	
	kN	kN	mm	kN/mm			K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$
Upper Roof	1	1	0,011	90,909				
Roof	1	2	0,005	400,000	440%		Beraturan	
Mezzanine	1	3	0,005	600,000	150%		Beraturan	
UL2	1	4	0,001	4000,000	667%	1100%	Beraturan	Beraturan
L2	1	5	0,001	5000,000	125%	300%	Beraturan	Beraturan
UL1	1	6	0,002	3000,000	60%	94%	1.a	Beraturan
L1	1	7	0,002	3500,000	117%	88%	Beraturan	Beraturan
UGL2	1	8	0,002	4000,000	114%	104%	Beraturan	Beraturan
UGL1	1	9	0,002	4500,000	113%	129%	Beraturan	Beraturan

Tabel L-6.2 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 2
Sumbu y

Lantai	Fx	Vx	ΔX	K	K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$	Keterangan	
	kN	kN	mm	kN/mm			K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$
Upper Roof	1	1	0,007	142,857				
Roof	1	2	0,004	500,000	350%		Beraturan	
Mezzanine	1	3	0,005	600,000	120%		Beraturan	
UL2	1	4	0,001	4000,000	667%	966%	Beraturan	Beraturan
L2	1	5	0,002	2500,000	63%	147%	1.a	Beraturan
UL1	1	6	0,003	2000,000	80%	85%	Beraturan	Beraturan
L1	1	7	0,003	2333,333	117%	82%	Beraturan	Beraturan
UGL2	1	8	0,003	2666,667	114%	117%	Beraturan	Beraturan
UGL1	1	9	0,002	4500,000	169%	193%	Beraturan	Beraturan
Upper Roof	1	9	0,002	4500,00	169%	193%	Beraturan	Beraturan

Tabel L-6.3 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 3
Sumbu x

Lantai	Fx	Vx	ΔX	K	K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$	Keterangan	
	kN	kN	mm	kN/mm			K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$
Upper Roof	1	1	0,010	100				
Roof	1	2	0,004	500	500%		Beraturan	
Mezzanine	1	3	0,004	750	150%		Beraturan	
UL2	1	4	0,000	8335,070	1111%	1852%	Beraturan	Beraturan
L2	1	5	0,001	5000	60%	156%	1.b	Beraturan
UL1	1	6	0,002	3000	60%	64%	1.a	1.b
L1	1	7	0,002	3500	117%	64%	Beraturan	1.b
UGL2	1	8	0,002	4000	114%	104%	Beraturan	Beraturan
UGL1	1	9	0,002	4500	113%	129%	Beraturan	Beraturan

Tabel L-6.4 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 3
Sumbu y

Lantai	Fx	Vx	ΔX	K	K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$	Keterangan	
	kN	kN	mm	kN/mm			K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$
Upper Roof	1	1	0,006	166,667				
Roof	1	2	0,003	666,667	400%		Beraturan	
Mezzanine	1	3	0,004	750	113%		Beraturan	
UL2	1	4	0,001	4000	533%	758%	Beraturan	Beraturan
L2	1	5	0,002	2500	63%	138%	1.a	Beraturan
UL1	1	6	0,003	2000	80%	83%	Beraturan	Beraturan
L1	1	7	0,003	2333,333	117%	82%	Beraturan	Beraturan
UGL2	1	8	0,002	4000	171%	176%	Beraturan	Beraturan
UGL1	1	9	0,002	4500	113%	162%	Beraturan	Beraturan
UGL1	1	9	0,002	4500,00	169%	193%	Beraturan	Beraturan

Tabel L-6.5 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 4
Sumbu x

Lantai	Fx	Vx	ΔX	K	K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$	Keterangan	
	kN	kN	mm	kN/mm			K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$
Upper Roof	1	1	0,010	100,000				
Roof	1	2	0,004	500,000	500%		Beraturan	
Mezzanine	1	3	0,004	750,000	150%		Beraturan	
UL2	1	4	0,000	8228,760	1097%	1829%	Beraturan	Beraturan
L2	1	5	0,001	5000,000	61%	158%	1.a	Beraturan
UL1	1	6	0,002	3000,000	60%	64%	1.a	1.b
L1	1	7	0,002	3500,000	117%	65%	Beraturan	1.b
UGL2	1	8	0,002	4000,000	114%	104%	Beraturan	Beraturan
UGL1	1	9	0,001	9000,000	225%	257%	Beraturan	Beraturan

Tabel L-6.6 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur *Trial* 4
Sumbu y

Lantai	Fx	Vx	ΔX	K	K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$	Keterangan	
	kN	kN	mm	kN/mm			K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$
Upper Roof	1	1	0,006	166,667				
Roof	1	2	0,003	666,667	400%		Beraturan	
Mezzanine	1	3	0,004	750,000	113%		Beraturan	
UL2	1	4	0,001	4000,000	533%	758%	Beraturan	Beraturan
L2	1	5	0,002	2500,000	63%	138%	1.a	Beraturan
UL1	1	6	0,002	3000,000	120%	124%	Beraturan	Beraturan
L1	1	7	0,002	3500,000	117%	111%	Beraturan	Beraturan
UGL2	1	8	0,002	4000,000	114%	133%	Beraturan	Beraturan
UGL1	1	9	0,001	9000,000	225%	257%	Beraturan	Beraturan

Tabel L-6.7 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Hasil Optimalisasi Sumbu x

Lantai	Fx	Vx	ΔX	K	K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$	Keterangan	
	kN	kN	mm	kN/mm			K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$
Upper Roof	1	1	0,011	90,909				
Roof	1	2	0,004	500,000	550%		Beraturan	
Mezzanine	1	3	0,004	750,000	150%		Beraturan	
UL2	1	4	0,001	4000,000	533%	895%	Beraturan	Beraturan
L2	1	5	0,001	5000,000	125%	286%	Beraturan	Beraturan
UL1	1	6	0,002	3000,000	60%	92%	1.a	Beraturan
L1	1	7	0,002	3500,000	117%	88%	Beraturan	Beraturan
UGL2	1	8	0,002	4000,000	114%	104%	Beraturan	Beraturan
UGL1	1	9	0,002	4500,000	113%	129%	Beraturan	Beraturan

Tabel L-6.8 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1.a dan 1.b Struktur Hasil Optimalisasi Sumbu y

Lantai	Fx	Vx	ΔX	K	K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$	Keterangan	
	kN	kN	mm	kN/mm			K_{i+1}	$K_{avg(1+2+3)}$
Upper Roof	1	1	0,006	166,667				
Roof	1	2	0,003	666,667	400%		Beraturan	
Mezzanine	1	3	0,005	600,000	90%		Beraturan	
UL2	1	4	0,001	4000,000	667%	837%	Beraturan	Beraturan
L2	1	5	0,002	2500,000	63%	142%	1.a	Beraturan
UL1	1	6	0,003	2000,000	80%	85%	Beraturan	Beraturan
L1	1	7	0,003	2333,333	117%	82%	Beraturan	Beraturan
UGL2	1	8	0,003	2666,667	114%	117%	Beraturan	Beraturan
UGL1	1	9	0,002	4500,000	169%	193%	Beraturan	Beraturan

Lampiran 7 Rekapitulasi Hasil Identifikasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2

Tabel L-7.1 Hasil Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Struktur *Trial* 2

Lantai	Massa Efektif	Persentase		Keterangan	
	kN	W_{i+1}	W_{i-1}	W_{i+1}	W_{i-1}
Upper Roof	283,101				
Roof	9349,234		192%		2
Mezzanine	4880,200	52%	16%	Beraturan	Beraturan
UL2	31169,057	639%	161%	2	2
L2	19410,196	62%	64%	Beraturan	Beraturan
UL1	30501,661	157%	61%	2	Beraturan
L1	50049,378	164%	158%	2	2
UGL2	31766,978	63%	61%	Beraturan	Beraturan
UGL1	51719,438	163%		2	

Tabel L-7.2 Hasil Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Struktur *Trial* 3

Lantai	Massa Efektif	Persentase		Keterangan	
	kN	W_{i+1}	W_{i-1}	W_{i+1}	W_{i-1}
Upper Roof	291,1999				
Roof	9601,8051		189%		2
Mezzanine	5071,5128	53%	16%	Beraturan	Beraturan
UL2	31912,0229	629%	161%	2	2
L2	19790,2061	62%	63%	Beraturan	Beraturan
UL1	31440,0544	159%	61%	2	Beraturan
L1	51249,0258	163%	156%	2	2
UGL2	32782,5957	64%	62%	Beraturan	Beraturan
UGL1	52991,1850	162%		2	

Tabel L-7.3 Hasil Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Struktur *Trial* 4

Lantai	Massa Efektif	Persentase		Keterangan	
	kN	W_{i+1}	W_{i-1}	W_{i+1}	W_{i-1}
Upper Roof	284,9608				
Roof	9934,6346		178%		2
Mezzanine	5586,1375	56%	17%	Beraturan	Beraturan
UL2	32883,4719	589%	164%	2	2
L2	20088,1845	61%	62%	Beraturan	Beraturan
UL1	32343,7320	161%	62%	2	Beraturan
L1	52344,4435	162%	155%	2	2
UGL2	33700,1725	64%	62%	Beraturan	Beraturan
UGL1	54110,335	161%		V.2	

Tabel L-7.4 Hasil Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Struktur Hasil Optimalisasi ANN

Lantai	Massa Efektif	Persentase		Keterangan	
	kN	W_{i+1}	W_{i-1}	W_{i+1}	W_{i-1}
Upper Roof	281,241				
Roof	9268,893		186%		2
Mezzanine	4977,719	54%	16%	Beraturan	Beraturan
UL2	30790,958	619%	161%	2	2
L2	19111,913	62%	63%	Beraturan	Beraturan
UL1	30192,069	158%	61%	2	Beraturan
L1	49383,921	164%	157%	2	2
UGL2	31426,426	64%	62%	Beraturan	Beraturan
UGL1	50992,527	162%		2	

Lampiran 8 Rekapitulasi Hasil Identifikasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5

Tabel L-8.1 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 2 Sumbu x

Lantai	V_X kN	V_i/V_{i+1}	Keterangan
Upper Roof	58,36		
Roof	1741,65	2985%	Beraturan
Mezzanine	2478,34	142%	Beraturan
UL2	6088,32	246%	Beraturan
L2	8170,56	134%	Beraturan
UL1	10931,35	134%	Beraturan
L1	14248,9	130%	Beraturan
UGL2	15627,61	110%	Beraturan
UGL1	16782,6	107%	Beraturan

Tabel L-8.2 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 2 Sumbu y

Lantai	V_y kN	V_i/V_{i+1}	Keterangan
Upper Roof	53,28		
Roof	1590,21	2985%	Beraturan
Mezzanine	2262,85	142%	Beraturan
UL2	5558,96	246%	Beraturan
L2	7460,16	134%	Beraturan
UL1	9980,91	134%	Beraturan
L1	13010,01	130%	Beraturan
UGL2	14268,84	110%	Beraturan
UGL1	15323,41	107%	Beraturan

Tabel L-8.3 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 3 Sumbu x

Lantai	V_X kN	V_i/V_{i+1}	Keterangan
Upper Roof	60,0238		
Roof	1788,7582	2980%	
Mezzanine	2554,3170	143%	Beraturan
UL2	6250,2916	245%	Beraturan
L2	8373,2671	134%	Beraturan
UL1	11218,9496	134%	Beraturan
L1	14615,9674	130%	Beraturan
UGL2	16038,7294	110%	Beraturan
UGL1	17222,0997	107%	Beraturan

Tabel L-8.4 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 3 Sumbu y

Lantai	V_y kN	V_i/V_{i+1}	Keterangan
Upper Roof	57,5692		
Roof	1715,6106	2980%	
Mezzanine	2449,8635	143%	Beraturan
UL2	5994,6988	245%	Beraturan
L2	8030,8596	134%	Beraturan
UL1	10760,1739	134%	Beraturan
L1	14018,2777	130%	Beraturan
UGL2	15382,8588	110%	Beraturan
UGL1	16517,8375	107%	Beraturan

Tabel L-8.5 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 4 Sumbu x

Lantai	V_X kN	V_i/V_{i+1}	Keterangan
Upper Roof	58,5726		
Roof	1842,2027	3145%	
Mezzanine	2683,0751	146%	Beraturan
UL2	6480,8551	242%	Beraturan
L2	8629,7384	133%	Beraturan
UL1	11548,9850	134%	Beraturan
L1	15008,8590	130%	Beraturan
UGL2	16467,3325	110%	Beraturan
UGL1	17672,2983	107%	Beraturan

Tabel L-8.6 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur *Trial* 4Sumbu y

Lantai	V_y kN	V_i/V_{i+1}	Keterangan
Upper Roof	58,4861		
Roof	1839,4807	3145%	
Mezzanine	2679,1107	146%	Beraturan
UL2	6471,2792	242%	Beraturan
L2	8616,9874	133%	Beraturan
UL1	11531,9206	134%	Beraturan
L1	14986,6823	130%	Beraturan
UGL2	16443,0008	110%	Beraturan
UGL1	17646,1862	107%	Beraturan

Tabel L-8.7 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur Hasil Optimalisasi Sumbu x

Lantai	V_X kN	V_i/V_{i+1}	Keterangan
Upper Roof	57,91		
Roof	1724,82	2979%	Beraturan
Mezzanine	2475,38	144%	Beraturan
UL2	6037,50	244%	Beraturan
L2	8085,40	134%	Beraturan
UL1	10815,05	134%	Beraturan
L1	14084,75	130%	Beraturan
UGL2	15447,12	110%	Beraturan
UGL1	16584,58	107%	Beraturan

Tabel L-8.8 Rekapitulasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5.a dan 5.b Struktur Hasil Optimalisasi Sumbu y

Lantai	V_y kN	V_i/V_{i+1}	Keterangan
Upper Roof	53,83		
Roof	1603,31	2979%	Beraturan
Mezzanine	2300,98	144%	Beraturan
UL2	5612,15	244%	Beraturan
L2	7515,78	134%	Beraturan
UL1	10053,12	134%	Beraturan
L1	13092,47	130%	Beraturan
UGL2	14358,86	110%	Beraturan
UGL1	15416,18	107%	Beraturan

Lampiran 9 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1

Tabel L-9.1 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah x Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqx	δ Eqx	Δx	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	41,266	226,963	26,521	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	36,444	200,442	33,655	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	30,325	166,788	35,838	80,000	Aman
UL2	16	16000	23,809	130,950	6,452	20,000	Aman
L2	15	15000	22,636	124,498	14,421	40,000	Aman
UL1	13	13000	20,014	110,077	25,201	60,000	Aman
L1	10	10000	15,432	84,876	29,948	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,987	54,929	30,228	60,000	Aman
UGL1	4	4000	4,491	24,701	24,701	80,000	Aman

Tabel L-9.2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah x Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	30,214	166,177	16,110	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	27,285	150,068	20,070	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	23,636	129,998	27,093	80,000	Aman
UL2	16	16000	18,710	102,905	4,604	20,000	Aman
L2	15	15000	17,873	98,302	10,896	40,000	Aman
UL1	13	13000	15,892	87,406	19,784	60,000	Aman
L1	10	10000	12,295	67,623	23,947	60,000	Aman
UGL2	7	7000	7,941	43,676	24,112	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,557	19,564	19,564	80,000	Aman

Tabel L-9.3 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah y Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	34,989	192,440	11,886	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	32,828	180,554	16,467	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	29,834	164,087	28,353	80,000	Aman
UL2	16	16000	24,679	135,735	7,574	20,000	Aman
L2	15	15000	23,302	128,161	17,067	40,000	Aman
UL1	13	13000	20,199	111,095	29,233	60,000	Aman
L1	10	10000	14,884	81,862	32,104	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,047	49,759	29,590	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,667	20,169	20,169	80,000	Aman

Tabel L-9.4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah y Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	35,436	194,898	13,910	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	32,907	180,989	16,253	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	29,952	164,736	28,628	80,000	Aman
UL2	16	16000	24,747	136,109	7,568	20,000	Aman
L2	15	15000	23,371	128,541	17,061	40,000	Aman
UL1	13	13000	20,269	111,480	29,299	60,000	Aman
L1	10	10000	14,942	82,181	32,208	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,086	49,973	29,711	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,684	20,262	20,262	80,000	Aman

Tabel L-9.5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah x Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqx	δ Eqx	Δx	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	34,372	189,046	22,248	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	30,327	166,799	28,474	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	25,150	138,325	31,158	80,000	Aman
UL2	16	16000	19,485	107,168	5,379	20,000	Aman
L2	15	15000	18,507	101,789	11,996	40,000	Aman
UL1	13	13000	16,326	89,793	20,647	60,000	Aman
L1	10	10000	12,572	69,146	24,239	60,000	Aman
UGL2	7	7000	8,165	44,908	24,475	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,715	20,433	20,433	80,000	Aman

Tabel L-9.6 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah x Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	27,603	151,817	14,762	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	24,919	137,055	18,398	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	21,574	118,657	24,888	80,000	Aman
UL2	16	16000	17,049	93,770	4,092	20,000	Aman
L2	15	15000	16,305	89,678	9,751	40,000	Aman
UL1	13	13000	14,532	79,926	17,804	60,000	Aman
L1	10	10000	11,295	62,123	21,709	60,000	Aman
UGL2	7	7000	7,348	40,414	22,083	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,333	18,332	18,332	80,000	Aman

Tabel L-9.7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah y Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	33,205	182,628	11,748	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	31,069	170,880	15,736	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	28,208	155,144	26,961	80,000	Aman
UL2	16	16000	23,306	128,183	7,177	20,000	Aman
L2	15	15000	22,001	121,006	16,126	40,000	Aman
UL1	13	13000	19,069	104,880	27,500	60,000	Aman
L1	10	10000	14,069	77,380	30,162	60,000	Aman
UGL2	7	7000	8,585	47,218	27,929	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,507	19,289	19,289	80,000	Aman

Tabel L-9.8 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah y Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	33,549	184,520	13,277	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	31,135	171,243	15,543	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	28,309	155,700	27,198	80,000	Aman
UL2	16	16000	23,364	128,502	7,172	20,000	Aman
L2	15	15000	22,060	121,330	16,121	40,000	Aman
UL1	13	13000	19,129	105,210	27,550	60,000	Aman
L1	10	10000	14,120	77,660	30,245	60,000	Aman
UGL2	7	7000	8,621	47,416	28,034	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,524	19,382	19,382	80,000	Aman

Tabel L-9.9 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah x Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqx	δ Eqx	Δx	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	33,128	182,204	20,889	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	29,330	161,315	27,269	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	24,372	134,046	30,118	80,000	Aman
UL2	16	16000	18,896	103,928	5,583	20,000	Aman
L2	15	15000	17,881	98,346	12,216	40,000	Aman
UL1	13	13000	15,660	86,130	20,543	60,000	Aman
L1	10	10000	11,925	65,588	23,491	60,000	Aman
UGL2	7	7000	7,654	42,097	23,282	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,421	18,816	18,816	80,000	Aman

Tabel L-9.10 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah x Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	26,925	148,088	14,658	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	24,260	133,430	18,189	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	20,953	115,242	23,909	80,000	Aman
UL2	16	16000	16,606	91,333	4,323	20,000	Aman
L2	15	15000	15,820	87,010	10,043	40,000	Aman
UL1	13	13000	13,994	76,967	17,820	60,000	Aman
L1	10	10000	10,754	59,147	21,115	60,000	Aman
UGL2	7	7000	6,915	38,033	21,093	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,080	16,940	16,940	80,000	Aman

Tabel L-9.11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah y Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	32,356	177,958	11,919	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	30,189	166,040	15,917	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	27,295	150,123	26,697	80,000	Aman
UL2	16	16000	22,441	123,426	7,265	20,000	Aman
L2	15	15000	21,120	116,160	16,121	40,000	Aman
UL1	13	13000	18,189	100,040	27,082	60,000	Aman
L1	10	10000	13,265	72,958	29,040	60,000	Aman
UGL2	7	7000	7,985	43,918	26,285	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,206	17,633	17,633	80,000	Aman

Tabel L-9.12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah y Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	32,713	179,922	13,679	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	30,226	166,243	15,813	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	27,351	150,431	26,956	80,000	Aman
UL2	16	16000	22,450	123,475	7,249	20,000	Aman
L2	15	15000	21,132	116,226	16,082	40,000	Aman
UL1	13	13000	18,208	100,144	27,082	60,000	Aman
L1	10	10000	13,284	73,062	29,068	60,000	Aman
UGL2	7	7000	7,999	43,995	26,329	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,212	17,666	17,666	80,000	Aman

Tabel L-9.13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqx	δ Eqx	Δx	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	36,412	200,266	22,528	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	32,316	177,738	29,838	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	26,891	147,901	32,714	80,000	Aman
UL2	16	16000	20,943	115,187	5,830	20,000	Aman
L2	15	15000	19,883	109,357	12,942	40,000	Aman
UL1	13	13000	17,530	96,415	22,132	60,000	Aman
L1	10	10000	13,506	74,283	25,955	60,000	Aman
UGL2	7	7000	8,787	48,329	26,252	60,000	Aman
UGL1	4	4000	4,014	22,077	22,077	80,000	Aman

Tabel L-9.14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	29,215	160,683	15,131	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	26,464	145,552	19,135	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	22,985	126,418	25,878	80,000	Aman
UL2	16	16000	18,280	100,540	4,417	20,000	Aman
L2	15	15000	17,477	96,124	10,489	40,000	Aman
UL1	13	13000	15,570	85,635	19,047	60,000	Aman
L1	10	10000	12,107	66,589	23,210	60,000	Aman
UGL2	7	7000	7,887	43,379	23,634	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,590	19,745	19,745	80,000	Aman

Tabel L-9.15 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	34,032	187,176	11,396	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	31,960	175,780	15,763	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	29,094	160,017	27,385	80,000	Aman
UL2	16	16000	24,115	132,633	7,458	20,000	Aman
L2	15	15000	22,759	125,175	16,720	40,000	Aman
UL1	13	13000	19,719	108,455	28,485	60,000	Aman
L1	10	10000	14,540	79,970	31,202	60,000	Aman
UGL2	7	7000	8,867	48,769	28,864	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,619	19,905	19,905	80,000	Aman

Tabel L-9.16 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	34,403	189,217	13,305	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	31,984	175,912	15,543	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	29,158	160,369	27,649	80,000	Aman
UL2	16	16000	24,131	132,721	7,431	20,000	Aman
L2	15	15000	22,780	125,290	16,682	40,000	Aman
UL1	13	13000	19,747	108,609	28,490	60,000	Aman
L1	10	10000	14,567	80,119	31,235	60,000	Aman
UGL2	7	7000	8,888	48,884	28,925	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,629	19,960	19,960	80,000	Aman

Lampiran 10 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *P-delta Effect* Tahap 1

Tabel L-10.1 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah x Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	313,8	58,4	1	5,5	0,0093	0,091	Aman
Roof	10250,5	1741,6	1	5,5	0,0113	0,091	Aman
Mezzanine	5169,7	2478,3	1	5,5	0,0034	0,091	Aman
UL2	46412,9	6088,3	1	5,5	0,0089	0,091	Aman
L2	26183,8	8170,6	1	5,5	0,0042	0,091	Aman
UL1	45138,9	10931,4	1	5,5	0,0063	0,091	Aman
L1	72630,8	14248,9	1	5,5	0,0093	0,091	Aman
UGL2	46678,2	15627,6	1	5,5	0,0055	0,091	Aman
UGL1	76309,4	16782,6	1	5,5	0,0051	0,091	Aman

Tabel L-10.2 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah x Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	313,8	58,4	1	5,5	0,0056	0,091	Aman
Roof	10250,5	1741,6	1	5,5	0,0067	0,091	Aman
Mezzanine	5169,7	2478,3	1	5,5	0,0026	0,091	Aman
UL2	46412,9	6088,3	1	5,5	0,0064	0,091	Aman
L2	26183,8	8170,6	1	5,5	0,0032	0,091	Aman
UL1	45138,9	10931,4	1	5,5	0,0050	0,091	Aman
L1	72630,8	14248,9	1	5,5	0,0074	0,091	Aman
UGL2	46678,2	15627,6	1	5,5	0,0044	0,091	Aman
UGL1	76309,4	16782,6	1	5,5	0,0040	0,091	Aman

Tabel L-10.3 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah y Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	313,8	53,3	1	5,5	0,0045	0,091	Aman
Roof	10250,5	1590,2	1	5,5	0,0060	0,091	Aman
Mezzanine	5169,7	2262,9	1	5,5	0,0029	0,091	Aman
UL2	46412,9	5559,0	1	5,5	0,0115	0,091	Aman
L2	26183,8	7460,2	1	5,5	0,0054	0,091	Aman
UL1	45138,9	9980,9	1	5,5	0,0080	0,091	Aman
L1	72630,8	13010,0	1	5,5	0,0109	0,091	Aman
UGL2	46678,2	14268,9	1	5,5	0,0059	0,091	Aman
UGL1	76309,4	15323,4	1	5,5	0,0046	0,091	Aman

Tabel L-10.4 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 2 Arah y Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	313,8	53,3	1	5,5	0,0053	0,091	Aman
Roof	10250,5	1590,2	1	5,5	0,0060	0,091	Aman
Mezzanine	5169,7	2262,9	1	5,5	0,0030	0,091	Aman
UL2	46412,9	5559,0	1	5,5	0,0115	0,091	Aman
L2	26183,8	7460,2	1	5,5	0,0054	0,091	Aman
UL1	45138,9	9980,9	1	5,5	0,0080	0,091	Aman
L1	72630,8	13010,0	1	5,5	0,0109	0,091	Aman
UGL2	46678,2	14268,9	1	5,5	0,0059	0,091	Aman
UGL1	76309,4	15323,4	1	5,5	0,0046	0,091	Aman

Tabel L-10.5 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah x Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	321,9	60,0	1	5,5	0,008	0,091	Aman
Roof	10503,1	1788,8	1	5,5	0,009	0,091	Aman
Mezzanine	5361,0	2554,3	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	47155,9	6250,3	1	5,5	0,007	0,091	Aman
L2	26563,8	8373,3	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL1	46077,3	11218,9	1	5,5	0,005	0,091	Aman
L1	73830,4	14616,0	1	5,5	0,007	0,091	Aman
UGL2	47693,8	16038,7	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UGL1	77581,1	17222,1	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-10.6 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah x Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	321,9	60,0	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Roof	10503,1	1788,8	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Mezzanine	5361,0	2554,3	1	5,5	0,002	0,091	Aman
UL2	47155,9	6250,3	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L2	26563,8	8373,3	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL1	46077,3	11218,9	1	5,5	0,004	0,091	Aman
L1	73830,4	14616,0	1	5,5	0,007	0,091	Aman
UGL2	47693,8	16038,7	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UGL1	77581,1	17222,1	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-10.7 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah y Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	321,9	57,6	1	5,5	0,004	0,091	Aman
Roof	10503,1	1715,6	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Mezzanine	5361,0	2449,9	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	47155,9	5994,7	1	5,5	0,010	0,091	Aman
L2	26563,8	8030,9	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	46077,3	10760,2	1	5,5	0,007	0,091	Aman
L1	73830,4	14018,3	1	5,5	0,010	0,091	Aman
UGL2	47693,8	15382,9	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	77581,1	16517,8	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-10.8 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 3 Arah y Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	321,9	57,6	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Roof	10503,1	1715,6	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Mezzanine	5361,0	2449,9	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	47155,9	5994,7	1	5,5	0,010	0,091	Aman
L2	26563,8	8030,9	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	46077,3	10760,2	1	5,5	0,007	0,091	Aman
L1	73830,4	14018,3	1	5,5	0,010	0,091	Aman
UGL2	47693,8	15382,9	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	77581,1	16517,8	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-10.9 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah x Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	315,691	58,573	1	5,5	0,007	0,091	Aman
Roof	10835,918	1842,203	1	5,5	0,009	0,091	Aman
Mezzanine	5885,222	2683,075	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	48139,736	6480,855	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L2	26870,237	8629,738	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL1	46993,380	11548,985	1	5,5	0,005	0,091	Aman
L1	74941,109	15008,859	1	5,5	0,007	0,091	Aman
UGL2	48626,635	16467,333	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UGL1	78718,347	17672,298	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-10.10 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah x Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	315,691	58,573	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Roof	10835,918	1842,203	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Mezzanine	5885,222	2683,075	1	5,5	0,002	0,091	Aman
UL2	48139,736	6480,855	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L2	26870,237	8629,738	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL1	46993,380	11548,985	1	5,5	0,004	0,091	Aman
L1	74941,109	15008,859	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UGL2	48626,635	16467,333	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UGL1	78718,347	17672,298	1	5,5	0,003	0,091	Aman

Tabel L-10.11 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah y Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	315,691	58,486	1	5,5	0,004	0,091	Aman
Roof	10835,918	1839,481	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Mezzanine	5885,222	2679,111	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	48139,736	6471,279	1	5,5	0,010	0,091	Aman
L2	26870,237	8616,987	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	46993,380	11531,921	1	5,5	0,007	0,091	Aman
L1	74941,109	14986,682	1	5,5	0,009	0,091	Aman
UGL2	48626,635	16443,001	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	78718,347	17646,186	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-10.12 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur *Trial* 4 Arah y Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	315,691	58,486	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Roof	10835,918	1839,481	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Mezzanine	5885,222	2679,111	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	48139,736	6471,279	1	5,5	0,010	0,091	Aman
L2	26870,237	8616,987	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	46993,380	11531,921	1	5,5	0,007	0,091	Aman
L1	74941,109	14986,682	1	5,5	0,009	0,091	Aman
UGL2	48626,635	16443,001	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	78718,347	17646,186	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-10.13 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	312,0	57,9	1	5,5	0,008	0,091	Aman
Roof	10170,2	1724,8	1	5,5	0,010	0,091	Aman
Mezzanine	5267,2	2475,4	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	46034,8	6037,5	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L2	25885,5	8085,4	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UL1	44829,3	10815,1	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L1	71965,3	14084,8	1	5,5	0,008	0,091	Aman
UGL2	46337,6	15447,1	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	75582,5	16584,6	1	5,5	0,005	0,091	Aman

Tabel L-10.14 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	312,0	57,9	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Roof	10170,2	1724,8	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Mezzanine	5267,2	2475,4	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	46034,8	6037,5	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L2	25885,5	8085,4	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL1	44829,3	10815,1	1	5,5	0,005	0,091	Aman
L1	71965,3	14084,8	1	5,5	0,007	0,091	Aman
UGL2	46337,6	15447,1	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UGL1	75582,5	16584,6	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-10.15 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	312,0	53,8	1	5,5	0,004	0,091	Aman
Roof	10170,2	1603,3	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Mezzanine	5267,2	2301,0	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	46034,8	5612,1	1	5,5	0,011	0,091	Aman
L2	25885,5	7515,8	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	44829,3	10053,1	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L1	71965,3	13092,5	1	5,5	0,010	0,091	Aman
UGL2	46337,6	14358,9	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UGL1	75582,5	15416,2	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-10.16 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 1 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	312,0	53,8	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Roof	10170,2	1603,3	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Mezzanine	5267,2	2301,0	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	46034,8	5612,1	1	5,5	0,011	0,091	Aman
L2	25885,5	7515,8	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	44829,3	10053,1	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L1	71965,3	13092,5	1	5,5	0,010	0,091	Aman
UGL2	46337,6	14358,9	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UGL1	75582,5	15416,2	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Lampiran 11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2

Tabel L-11.1 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 2 Arah x Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqx	δ Eqx	Δx	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	40,969	225,330	26,208	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	36,204	199,122	33,215	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	30,165	165,908	35,398	80,000	Aman
UL2	16	16000	23,729	130,510	6,397	20,000	Aman
L2	15	15000	22,566	124,113	14,328	40,000	Aman
UL1	13	13000	19,961	109,786	25,091	60,000	Aman
L1	10	10000	15,399	84,695	29,865	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,969	54,830	30,168	60,000	Aman
UGL1	4	4000	4,484	24,662	24,662	80,000	Aman

Tabel L-11.2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 2Arah x Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	34,188	188,034	18,436	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	30,836	169,598	22,864	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	26,679	146,735	28,870	80,000	Aman
UL2	16	16000	21,430	117,865	5,148	20,000	Aman
L2	15	15000	20,494	112,717	12,155	40,000	Aman
UL1	13	13000	18,284	100,562	22,352	60,000	Aman
L1	10	10000	14,220	78,210	27,462	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,227	50,749	27,979	60,000	Aman
UGL1	4	4000	4,140	22,770	22,770	80,000	Aman

Tabel L-11.3 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 2Arah y Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	36,308	199,694	12,342	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	34,064	187,352	16,363	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	31,089	170,990	28,699	80,000	Aman
UL2	16	16000	25,871	142,291	7,793	20,000	Aman
L2	15	15000	24,454	134,497	17,672	40,000	Aman
UL1	13	13000	21,241	116,826	30,448	60,000	Aman
L1	10	10000	15,705	86,378	33,776	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,564	52,602	31,279	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,877	21,324	21,324	80,000	Aman

Tabel L-11.4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 2Arah y Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	36,667	201,669	13,816	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	34,155	187,853	16,165	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	31,216	171,688	28,952	80,000	Aman
UL2	16	16000	25,952	142,736	7,810	20,000	Aman
L2	15	15000	24,532	134,926	17,710	40,000	Aman
UL1	13	13000	21,312	117,216	30,536	60,000	Aman
L1	10	10000	15,760	86,680	33,891	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,598	52,789	31,383	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,892	21,406	21,406	80,000	Aman

Tabel L-11.5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah x Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqx	δ Eqx	Δx	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	38,028	209,154	24,503	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	33,573	184,652	31,042	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	27,929	153,610	32,967	80,000	Aman
UL2	16	16000	21,935	120,643	5,824	20,000	Aman
L2	15	15000	20,876	114,818	13,074	40,000	Aman
UL1	13	13000	18,499	101,745	22,979	60,000	Aman
L1	10	10000	14,321	78,766	27,522	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,317	51,244	28,001	60,000	Aman
UGL1	4	4000	4,226	23,243	23,243	80,000	Aman

Tabel L-11.6 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah x Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	31,819	175,005	17,281	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	28,677	157,724	21,428	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	24,781	136,296	27,005	80,000	Aman
UL2	16	16000	19,871	109,291	4,697	20,000	Aman
L2	15	15000	19,017	104,594	11,121	40,000	Aman
UL1	13	13000	16,995	93,473	20,532	60,000	Aman
L1	10	10000	13,262	72,941	25,372	60,000	Aman
UGL2	7	7000	8,649	47,570	26,026	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,917	21,544	21,544	80,000	Aman

Tabel L-11.7 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah y Positif

Lantai	Tinggi			δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	34,333	188,832	11,985	56	Aman
Roof	23,2	23200	32,154	176,847	15,565	64	Aman
Mezzanine	20	20000	29,324	161,282	27,192	80	Aman
UL2	16	16000	24,38	134,09	7,337	20	Aman
L2	15	15000	23,046	126,753	16,621	40	Aman
UL1	13	13000	20,024	110,132	28,523	60	Aman
L1	10	10000	14,838	81,609	31,647	60	Aman
UGL2	7	7000	9,084	49,962	29,491	60	Aman
UGL1	4	4000	3,722	20,471	20,471	80	Aman

Tabel L-11.8 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah y Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	34,610	190,355	13,090	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	32,230	177,265	15,389	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	29,432	161,876	27,407	80,000	Aman
UL2	16	16000	24,449	134,470	7,359	20,000	Aman
L2	15	15000	23,111	127,111	16,638	40,000	Aman
UL1	13	13000	20,086	110,473	28,606	60,000	Aman
L1	10	10000	14,885	81,868	31,735	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,115	50,133	29,585	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,736	20,548	20,548	80,000	Aman

Tabel L-11.9 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah x Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqx	δ Eqx	Δx	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	36,531	200,921	22,798	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	32,386	178,123	29,574	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	27,009	148,550	31,961	80,000	Aman
UL2	16	16000	21,198	116,589	6,012	20,000	Aman
L2	15	15000	20,105	110,578	13,272	40,000	Aman
UL1	13	13000	17,692	97,306	22,770	60,000	Aman
L1	10	10000	13,552	74,536	26,554	60,000	Aman
UGL2	7	7000	8,724	47,982	26,554	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,896	21,428	21,428	80,000	Aman

Tabel L-11.10 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah x Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	30,852	169,686	16,770	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	27,803	152,917	20,933	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	23,997	131,984	26,092	80,000	Aman
UL2	16	16000	19,253	105,892	4,906	20,000	Aman
L2	15	15000	18,361	100,986	11,369	40,000	Aman
UL1	13	13000	16,294	89,617	20,422	60,000	Aman
L1	10	10000	12,581	69,196	24,536	60,000	Aman
UGL2	7	7000	8,120	44,660	24,750	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,620	19,910	19,910	80,000	Aman

Tabel L-11.11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah y Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	33,628	184,954	12,348	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	31,383	172,607	15,895	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	28,493	156,712	27,352	80,000	Aman
UL2	16	16000	23,520	129,360	7,562	20,000	Aman
L2	15	15000	22,145	121,798	16,814	40,000	Aman
UL1	13	13000	19,088	104,984	28,320	60,000	Aman
L1	10	10000	13,939	76,665	30,520	60,000	Aman
UGL2	7	7000	8,390	46,145	27,660	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,361	18,486	18,486	80,000	Aman

Tabel L-11.12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah y Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	33,918	186,549	13,635	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	31,439	172,915	15,807	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	28,565	157,108	27,588	80,000	Aman
UL2	16	16000	23,549	129,520	7,563	20,000	Aman
L2	15	15000	22,174	121,957	16,819	40,000	Aman
UL1	13	13000	19,116	105,138	28,353	60,000	Aman
L1	10	10000	13,961	76,786	30,564	60,000	Aman
UGL2	7	7000	8,404	46,222	27,704	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,367	18,519	18,519	80,000	Aman

Tabel L-11.13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqx	δ Eqx	Δx	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	39,748	218,614	24,354	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	35,320	194,260	31,977	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	29,506	162,283	34,100	80,000	Aman
UL2	16	16000	23,306	128,183	6,215	20,000	Aman
L2	15	15000	22,176	121,968	13,910	40,000	Aman
UL1	13	13000	19,647	108,059	24,316	60,000	Aman
L1	10	10000	15,226	83,743	29,123	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,931	54,621	29,717	60,000	Aman
UGL1	4	4000	4,528	24,904	24,904	80,000	Aman

Tabel L-11.14 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	33,145	182,298	17,177	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	30,022	165,121	21,753	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	26,067	143,369	27,599	80,000	Aman
UL2	16	16000	21,049	115,770	4,972	20,000	Aman
L2	15	15000	20,145	110,798	11,776	40,000	Aman
UL1	13	13000	18,004	99,022	21,648	60,000	Aman
L1	10	10000	14,068	77,374	26,791	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,197	50,584	27,566	60,000	Aman
UGL1	4	4000	4,185	23,018	23,018	80,000	Aman

Tabel L-11.15 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Positif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	35,231	193,771	11,798	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	33,086	181,973	15,653	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	30,240	166,320	27,660	80,000	Aman
UL2	16	16000	25,211	138,661	7,640	20,000	Aman
L2	15	15000	23,822	131,021	17,243	40,000	Aman
UL1	13	13000	20,687	113,779	29,546	60,000	Aman
L1	10	10000	15,315	84,233	32,703	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,369	51,530	30,448	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,833	21,082	21,082	80,000	Aman

Tabel L-11.16 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Drift Ratio* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Negatif

Lantai	Tinggi		δe Eqy	δ Eqy	Δy	Δa/p	Kontrol
	m	mm	mm	mm	mm	mm	Δx < Δa
Upper Roof	26	26000	35,529	195,410	13,173	56,000	Aman
Roof	23,2	23200	33,134	182,237	15,444	64,000	Aman
Mezzanine	20	20000	30,326	166,793	27,902	80,000	Aman
UL2	16	16000	25,253	138,892	7,645	20,000	Aman
L2	15	15000	23,863	131,247	17,248	40,000	Aman
UL1	13	13000	20,727	113,999	29,596	60,000	Aman
L1	10	10000	15,346	84,403	32,764	60,000	Aman
UGL2	7	7000	9,389	51,640	30,503	60,000	Aman
UGL1	4	4000	3,843	21,137	21,137	80,000	Aman

Lampiran 12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *P-delta Effect* Tahap 2

Tabel L-12.1 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 2 Arah x Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	302,7	56,0	1	5,5	0,009	0,091	Aman
Roof	10027,6	1698,7	1	5,5	0,011	0,091	Aman
Mezzanine	4876,7	2391,0	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	45761,5	5924,5	1	5,5	0,009	0,091	Aman
L2	25530,1	7936,1	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UL1	44249,2	10615,6	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L1	71300,4	13844,1	1	5,5	0,010	0,091	Aman
UGL2	45645,6	15177,6	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UGL1	74779,5	16298,1	1	5,5	0,006	0,091	Aman

Tabel L-12.2 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 2 Arah x Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	302,7	56,0	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Roof	10027,6	1698,7	1	5,5	0,007	0,091	Aman
Mezzanine	4876,7	2391,0	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	45761,5	5924,5	1	5,5	0,007	0,091	Aman
L2	25530,1	7936,1	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL1	44249,2	10615,6	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L1	71300,4	13844,1	1	5,5	0,009	0,091	Aman
UGL2	45645,6	15177,6	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UGL1	74779,5	16298,1	1	5,5	0,006	0,091	Aman

Tabel L-12.3 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 2 Arah y Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	302,7	50,0	1	5,5	0,004	0,091	Aman
Roof	10027,6	1514,7	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Mezzanine	4876,7	2131,9	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	45761,5	5282,6	1	5,5	0,011	0,091	Aman
L2	25530,1	7076,2	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UL1	44249,2	9465,4	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L1	71300,4	12344,0	1	5,5	0,012	0,091	Aman
UGL2	45645,6	13533,1	1	5,5	0,007	0,091	Aman
UGL1	74779,5	14532,2	1	5,5	0,005	0,091	Aman

Tabel L-12.4 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 2 Arah y Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	302,7	50,0	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Roof	10027,6	1514,7	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Mezzanine	4876,7	2131,9	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	45761,5	5282,6	1	5,5	0,011	0,091	Aman
L2	25530,1	7076,2	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UL1	44249,2	9465,4	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L1	71300,4	12344,0	1	5,5	0,012	0,091	Aman
UGL2	45645,6	13533,1	1	5,5	0,007	0,091	Aman
UGL1	74779,5	14532,2	1	5,5	0,005	0,091	Aman

Tabel L-12.5 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah x Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	321,9	57,6	1	5,5	0,009	0,091	Aman
Roof	10503,1	1715,6	1	5,5	0,010	0,091	Aman
Mezzanine	5361,0	2449,9	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	47155,9	5994,7	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L2	26563,8	8030,9	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UL1	46077,3	10760,2	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L1	73830,4	14018,3	1	5,5	0,008	0,091	Aman
UGL2	47693,8	15382,9	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	77581,1	16517,8	1	5,5	0,005	0,091	Aman

Tabel L-12.6 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah x Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	321,9	57,6	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Roof	10503,1	1715,6	1	5,5	0,007	0,091	Aman
Mezzanine	5361,0	2449,9	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	47155,9	5994,7	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L2	26563,8	8030,9	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL1	46077,3	10760,2	1	5,5	0,005	0,091	Aman
L1	73830,4	14018,3	1	5,5	0,008	0,091	Aman
UGL2	47693,8	15382,9	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	77581,1	16517,8	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-12.7 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah y Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	321,9	57,6	1	5,5	0,004	0,091	Aman
Roof	10503,1	1715,6	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Mezzanine	5361,0	2449,9	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	47155,9	5994,7	1	5,5	0,010	0,091	Aman
L2	26563,8	8030,9	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	46077,3	10760,2	1	5,5	0,007	0,091	Aman
L1	73830,4	14018,3	1	5,5	0,010	0,091	Aman
UGL2	47693,8	15382,9	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UGL1	77581,1	16517,8	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-12.8 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 3 Arah y Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	321,9	57,6	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Roof	10503,1	1715,6	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Mezzanine	5361,0	2449,9	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	47155,9	5994,7	1	5,5	0,011	0,091	Aman
L2	26563,8	8030,9	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	46077,3	10760,2	1	5,5	0,007	0,091	Aman
L1	73830,4	14018,3	1	5,5	0,010	0,091	Aman
UGL2	47693,8	15382,9	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UGL1	77581,1	16517,8	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-12.9 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah x Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	315,691	58,573	1	5,5	0,008	0,091	Aman
Roof	10835,918	1842,203	1	5,5	0,010	0,091	Aman
Mezzanine	5885,222	2683,075	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	48139,736	6480,855	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L2	26870,237	8629,738	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UL1	46993,380	11548,985	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L1	74941,109	15008,859	1	5,5	0,008	0,091	Aman
UGL2	48626,635	16467,333	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	78718,347	17672,298	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-12.10 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah x Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	315,691	58,573	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Roof	10835,918	1842,203	1	5,5	0,007	0,091	Aman
Mezzanine	5885,222	2683,075	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	48139,736	6480,855	1	5,5	0,007	0,091	Aman
L2	26870,237	8629,738	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL1	46993,380	11548,985	1	5,5	0,005	0,091	Aman
L1	74941,109	15008,859	1	5,5	0,007	0,091	Aman
UGL2	48626,635	16467,333	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UGL1	78718,347	17672,298	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-12.11 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah y Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	315,691	58,486	1	5,5	0,004	0,091	Aman
Roof	10835,918	1839,481	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Mezzanine	5885,222	2679,111	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	48139,736	6471,279	1	5,5	0,010	0,091	Aman
L2	26870,237	8616,987	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	46993,380	11531,921	1	5,5	0,007	0,091	Aman
L1	74941,109	14986,682	1	5,5	0,009	0,091	Aman
UGL2	48626,635	16443,001	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	78718,347	17646,186	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-12.12 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur *Trial* 4 Arah y Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	315,691	58,486	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Roof	10835,918	1839,481	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Mezzanine	5885,222	2679,111	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	48139,736	6471,279	1	5,5	0,010	0,091	Aman
L2	26870,237	8616,987	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	46993,380	11531,921	1	5,5	0,007	0,091	Aman
L1	74941,109	14986,682	1	5,5	0,009	0,091	Aman
UGL2	48626,635	16443,001	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	78718,347	17646,186	1	5,5	0,004	0,091	Aman

Tabel L-12.13 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	312,0	57,9	1	5,5	0,009	0,091	Aman
Roof	10170,2	1724,8	1	5,5	0,011	0,091	Aman
Mezzanine	5267,2	2475,4	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	46034,8	6037,5	1	5,5	0,009	0,091	Aman
L2	25885,5	8085,4	1	5,5	0,004	0,091	Aman
UL1	44829,3	10815,1	1	5,5	0,006	0,091	Aman
L1	71965,3	14084,8	1	5,5	0,009	0,091	Aman
UGL2	46337,6	15447,1	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	75582,5	16584,6	1	5,5	0,005	0,091	Aman

Tabel L-12.14 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah x Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
ATAP'	312,0	57,9	1	5,5	0,006	0,091	Aman
ATAP	10170,2	1724,8	1	5,5	0,007	0,091	Aman
MEZANINE	5267,2	2475,4	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	46034,8	6037,5	1	5,5	0,007	0,091	Aman
L2	25885,5	8085,4	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL1	44829,3	10815,1	1	5,5	0,005	0,091	Aman
L1	71965,3	14084,8	1	5,5	0,008	0,091	Aman
UGL2	46337,6	15447,1	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UGL1	75582,5	16584,6	1	5,5	0,005	0,091	Aman

Tabel L-12.15 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Positif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	312,0	53,8	1	5,5	0,004	0,091	Aman
Roof	10170,2	1603,3	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Mezzanine	5267,2	2301,0	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	46034,8	5612,1	1	5,5	0,011	0,091	Aman
L2	25885,5	7515,8	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	44829,3	10053,1	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L1	71965,3	13092,5	1	5,5	0,011	0,091	Aman
UGL2	46337,6	14358,9	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UGL1	75582,5	15416,2	1	5,5	0,005	0,091	Aman

Tabel L-12.16 Rekapitulasi Hasil Peninjauan *P-delta Effect* Tahap 2 Struktur Hasil Optimalisasi Arah y Negatif

Lantai	Px (kN)	Vx (kN)	Ie	Cd	θ	θmax	Status
Upper Roof	312,0	53,8	1	5,5	0,005	0,091	Aman
Roof	10170,2	1603,3	1	5,5	0,006	0,091	Aman
Mezzanine	5267,2	2301,0	1	5,5	0,003	0,091	Aman
UL2	46034,8	5612,1	1	5,5	0,011	0,091	Aman
L2	25885,5	7515,8	1	5,5	0,005	0,091	Aman
UL1	44829,3	10053,1	1	5,5	0,008	0,091	Aman
L1	71965,3	13092,5	1	5,5	0,011	0,091	Aman
UGL2	46337,6	14358,9	1	5,5	0,006	0,091	Aman
UGL1	75582,5	15416,2	1	5,5	0,005	0,091	Aman