

**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN ELEMEN KOLEKTOR DAN KORD  
PADA GEDUNG RUMAH SAKIT DENGAN  
MENGUNAKAN METODE SNI 1726-2012**

***KORD AND COLLECTOR ELLEMENT PLANNING IN  
HOSPITAL BUILDING USING SNI 1726-2012 METHOD***



**GINANJAR NATA LAKSANA**

**15511028**

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

**2020**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERENCANAAN ELEMEN KOLEKTOR DAN KORD PADA GEDUNG RUMAH SAKIT DENGAN MENGUNAKAN METODE SNI 1726-2012

### *KORD AND COLLECTOR ELLEMENT PLANNING IN HOSPITAL BUILDING USING SNI 1726-2012 METHOD*

Disusun oleh

**Ginanjari Nata Laksana**  
**15511028**

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

Diuji pada tanggal 13 Agustus 2020  
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing I

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.  
NIK: 155111306

Penguji I

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

Penguji II

Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE, Ph.D.  
NIK: 855110201

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Sri Aminl Yuni Astuti, M.T.  
NIK: 885110101



## 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, 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 ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.



Yogyakarta, 14 Mei 2020

Yang membuat pernyataan,



Ginanjar Nata Laksana  
(15511028)

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum, Wr. Wb.,*

Segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Allah SWT karena atas segala limpahan rahmat, karunia, serta barokah-Nya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam tak lupa selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan pengikut- pengikutnya, yang telah menjadi perantara petunjuk dari Allah SWT sehingga kita semua berada di masa yang penuh kedamaian ini dan tentunya menjadi teladan untuk kita semua.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan jenjang strata satu (S1) pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Selanjutnya, perkenankanlah penulis untuk mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Ibu Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang mana telah membimbing, mengarahkan, dan memberi masukan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang mana telah membimbing, mengarahkan, dan memberi masukan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu penulis yang telah memberikan segala dukungan baik material maupun non material hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
5. Seluruh dosen pengajar, laboran, asisten dan karyawan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu dan memfasilitasi kegiatan belajar penulis selama masa kuliah.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangannya, oleh karena itu kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini sangat diharapkan.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, khususnya bagi mahasiswa Program Studi Teknik Sipil.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh



Yogyakarta, Mei 2019  
Penulis,

Ginjar Nata Laksana  
15511028

## DAFTAR ISI

<b>TUGAS AKHIR</b>	1
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	ii
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b>	iii
<b>KATA PENGANTAR</b>	iv
<b>DAFTAR ISI</b>	vi
<b>DAFTAR TABEL</b>	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	xvii
<b>ABSTRAK</b>	xxii
<b>BAB I</b>	24
<b>PENDAHULUAN</b>	24
1.1 Latar Belakang	24
1.2 Rumusan Masalah	28
1.3 Tujuan Penelitian	29
1.4 Manfaat Penelitian	29
1.5 Batasan Penelitian	30
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	32
2.1 Tinjauan Umum	32
2.2 Penelitian Terdahulu	32
2.2.1 Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidak beraturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2012	32
2.2.2 Analisis dan Desain Diafragma dengan menggunakan metode SNI 1726-2012 dan Metode Alternatif ASCE7-2016	33
2.2.3 Analisis Gaya Diafragma, Kord, dan Kolektor pada Bangunan gedung Sesuai dengan SNI 1726-2012	34
2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu	35
Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidak beraturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2012	36

<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	39
3.1 Struktur Bangunan Gedung	39
3.2 Struktur Beton Bertulang	39
3.3 Pembebanan Struktur Bangunan Gedung	39
3.3.1 Beban Mati ( <i>Dead Load</i> )	40
3.3.2 Beban Hidup ( <i>Live Load</i> )	40
3.3.3 Beban Gempa ( <i>Quake Load</i> )	40
3.4 Tahapan Pembebanan Gempa	41
3.4.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung	41
3.4.2 Parameter Percepatan Tanah	41
3.4.3 Faktor Koefisien Situs	41
3.4.5 Parameter Percepatan Spektral Desain	41
3.4.6 Spektrum Respon Desain	42
3.4.7 Kategori Desain Seismik	43
3.4.8 Sistem dan Parameter Struktur	44
3.4.9 Batasan Periode Fundamental Struktur	44
3.4.10 Perhitungan Geser Dasar Seismik	46
3.4.11 Prosedur Analisis	48
3.4.12 Partisipasi Massa	49
3.4.13 Kombinasi Ragam	49
3.5 Kombinasi Beban untuk Metoda Ultimit	49
3.6 Redundansi	51
3.7 Ketidakberaturan Struktur Bangunan Gedung	52
3.7.1 Ketidakberaturan Horizontal	52
3.7.2 Ketidakberaturan Vertikal	56
3.7.3 Perhitungan Ketidakberaturan Struktur	59
3.8 Fleksibilitas Difragma	64
3.8.1 Kondisi Diafragma Fleksibel	65
3.8.2 Kondisi Diafragma Kaku	66
3.8.3 Kondisi Diafragma Fleksibel yang Dihitung	67
3.9 Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga	67
3.10 Peningkatan Gaya Akibat Ketidakberaturan Struktur	68



3.10.1	Elemen Kolektor	68
3.10.2	Elemen Kord	70
3.10.3	Identifikasi Elemen Kolektor dan Kord di Gedung RSA UII	71
3.11	Gaya Desain Diafragma	72
3.12	Pelat Lantai	72
3.12.1	Nilai Momen	73
3.12.2	Tulangan Pokok pada Pelat	75
3.13	Balok	75
3.13.1	Perencanaan Balok Tulangan Rangkap	75
3.13.2	Tulangan Geser pada Balok	78
3.16	Kolom	80
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>		82
4.1	Umum	82
4.2	Subjek dan Objek Penelitian	82
4.3	Metode Pengumpulan Data	82
4.4	Bagan Alir Penelitian ( <i>Flow Chart</i> )	83
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>		87
5.1	Pendahuluan	87
5.2	Perhitungan Beban Gravitasi	87
5.2.1	Beban Mati	87
5.2.2	Beban Hidup	88
5.3	Beban Gempa	89
5.4	Kombinasi Pembebanan	94
5.5	Peninjauan Hasil Analisis Program	96
5.6	Simpangan Antar Tingkat	99
5.7	Koefisien Stabilitas ( <i>P-<math>\Delta</math> Effect</i> )	103
5.8	Analisis Ketidakberaturan	105
5.8.1	Ketidakteraturan Struktur Horizontal	105
5.8.2	Ketidakteraturan Struktur Vertikal	115
5.8.3	Hasil Perhitungan Ketidakberaturan	122
5.9	Gaya Desain Diafragma	124

5.10	Kombinasi Pembebanan untuk Gaya Desain Diafragma	134
5.11	Desain Elemen Kolektor	135
5.11.1	Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok Kolektor	141
5.11.2	Perhitungan Tulangan Sengkang Balok Kolektor	167
5.12	Desain Elemen Kord	171
5.13	Desain Pelat	181
5.14	Desain Elemen Balok	191
5.14.1	Desain Tulangan Lentur Balok	193
5.14.2	Desain Tulangan Sengkang Balok	201
5.15	Desain Elemen Kolom	205
5.15.1	Perhitungan Tulangan Lentur Kolom	205
5.15.2	Perhitungan Tulangan Sengkang Kolom	224
5.16	Perbandingan Hasil Perhitungan Tulangan Pelat, Balok, dan Kolom	231
5.16.1	Pelat	231
5.16.2	Balok	234
5.16.3	Kolom	236
<b>BAB VI SIMPULAN DAN SARAN</b>		239
6.1	Simpulan	239
6.2	Saran	240
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		241
<b>LAMPIRAN</b>		243

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	36
Tabel 3.1 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons perpindahan pada periode pendek	43
Tabel 3.2 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik	44
Tabel 3.3 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	45
Tabel 3.4 Nilai parameter periode pendekatan $C_t$ dan $x$	45
Tabel 3.5 Prosedur Analisis yang Boleh Digunakan	48
Tabel 3.13 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur	53
Tabel 3.14 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur	56
Tabel 3.15 Simpangan antar lantai ijin $\Delta_a^{a,b}$	66
Tabel 3.16 Persentase Momen pada Lajur Kolom	74
Tabel 5.1 Beban Hidup pada Lantai berdasarkan SNI 1727-2013	88
Tabel 5.2 Simpangan antar tingkat arah x	101
Tabel 5.3 Simpangan antar tingkat arah y	102
Tabel 5.4 Koefisien Stabilitas Arah X	104
Tabel 5.5 Koefisien Stabilitas Arah Y	105
Tabel 5.6 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b arah X	108
Tabel 5.7 Faktor Pembesaran Torsi Arah X	109
Tabel 5.8 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b arah Y	112
Tabel 5.9 Faktor Pembesaran Torsi	112
Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Ketidakberaturan Struktur Horizontal Tipe 2	114
Tabel 5.11 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1a Arah X	116
Tabel 5.12 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1a Arah Y	116
Tabel 5.13 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1b Arah X	118
Tabel 5.14 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1b Arah Y	118
Tabel 5.15 Pengecekan Ketidakberaturan Massa	119

Tabel 5. 16 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Struktur Tipe 5a Arah X	120
Tabel 5. 17 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Struktur Tipe 5a Arah Y	121
Tabel 5. 18 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Struktur Tipe 5b Arah X	122
Tabel 5. 19 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Struktur Tipe 5b Arah Y	122
Tabel 5. 20 Pengecekan Ketidakberaturan Horisontal pada Struktur	123
Tabel 5. 21 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur	123
Tabel 5. 22 Gaya Desain Diafragma Arah X	125
Tabel 5. 23 Gaya Desain Diafragma Arah Y	126
Tabel 5. 24 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai 1	139
Tabel 5. 25 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai 2	140
Tabel 5. 26 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai 3	140
Tabel 5. 27 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai 4	140
Tabel 5. 28 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai 5	141
Tabel 5. 29 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai 6	141
Tabel 5. 30 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai Atap	141
Tabel 5. 31 Rekapitulasi Tulangan Lentur Balok Kolektor Sumbu-X (B)	166
Tabel 5. 32 Rekapitulasi Tulangan Lentur Balok Kolektor Sumbu-Z (H)	167
Tabel 5. 33 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Senggang Balok Kolektor	170
Tabel 5. 34 Hasil Section Cut	173
Tabel 5. 35 Hasil Pengecekan Kebutuhan Tulangan Geser pada Diafragma	175
Tabel 5. 36 Rekapitulasi Tulangan Geser Diafragma	177
Tabel 5. 37 Kebutuhan Luas Tulangan Kord	178
Tabel 5. 38 Kebutuhan Confinement pada Diafragma	180
Tabel 5. 39 Persentase Momen Pada Lajur Kolom	183
Tabel 5. 40 Persentase Momen Pada Lajur Kolom	183
Tabel 5. 41 Distribusi Momen Pelat Lantai Ruang Pasien	184
Tabel 5. 42 Distribusi Momen Pelat Lantai Taman	184
Tabel 5. 43 Distribusi Momen Pelat Lantai Lobby	185
Tabel 5. 44 Distribusi Momen Pelat Lantai Ruang Operasi	185
Tabel 5. 45 Distribusi Momen Pelat Lantai Ruang Laboratorium	185
Tabel 5. 46 Distribusi Momen Pelat Lantai Ruang Kelas	186

Tabel 5. 47 Distribusi Momen Pelat Lantai Koridor	186
Tabel 5. 48 Distribusi Momen Pelat Lantai Ruang Gymnasium	186
Tabel 5. 49 Distribusi Momen Pelat Lantai Atap	187
Tabel 5. 50 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Pasien	188
Tabel 5. 51 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Taman	189
Tabel 5. 52 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Lobby	189
Tabel 5. 53 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Operasi	189
Tabel 5. 54 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Laboratorium	190
Tabel 5. 55 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Kelas	190
Tabel 5. 56 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Koridor	190
Tabel 5. 57 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Gymnasium	191
Tabel 5. 58 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Atap	191
Tabel 5. 59 Rekapitulasi Momen Balok	192
Tabel 5. 60 Rekapitulasi Gaya Geser Balok	192
Tabel 5. 61 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Balok Pada Daerah Tumpuan	200
Tabel 5. 62 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Balok Pada Lapangan	200
Tabel 5. 63 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Sengkang	204
Tabel 5. 64 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Lentur Kolom	224
Tabel 5. 65 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom	231



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai 1	25
Gambar 1. 2 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai 2	25
Gambar 1. 3 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai 3	26
Gambar 1. 4 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai 4	26
Gambar 1. 5 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai 5	27
Gambar 1. 6 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai 6	27
Gambar 1. 7 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai Atap	28
Gambar 3.1 Spektrum Respon Desain	43
Gambar 3.4 Faktor Pembesaran Torsi, $A_x$	59
Gambar 3.5 Ketidakberaturan sudut dalam	60
Gambar 3.6 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	60
Gambar 3.7 Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang	61
Gambar 3.8 Ketidakberaturan sistem nonparallel	61
Gambar 3.9 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak	62
Gambar 3.10 Ketidakberaturan Berat (massa)	63
Gambar 3.11 Ketidakberaturan Geometri Vertikal	63
Gambar 3.12 Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal	64
Gambar 3.13 Ketidakbertauran vertikal tipe 5a dan 5b	64
Gambar 3. 14 Definisi S dan De	66
Gambar 3.15 Faktor Pembesaran Torsi, $A_x$	67
Gambar 3. 16 Elemen Kolektor	69
Gambar 3. 17 Ilustrasi Balok Kolektor terhadap Beban Gempa yang Terjadi	70
Gambar 3.18 Elemen Kord	70
Gambar 3. 19 Distribusi Momen Pelat	73
Gambar 3. 20 Dekomposisi Tulangan Rangkap	76
Gambar 4.1 Bagan Alir Tahapan Penelitian (Desain)	86
Gambar 5. 1 Respon Spektrum Bantul	91

Gambar 5. 2 Periode Hasil Analisa Struktur SAP 2000 v20	92
Gambar 5. 3 Partisipasi Massa Hasil Analisis	96
Gambar 5. 4 Periode tiap mode	97
Gambar 5. 5 Besarnya gaya geser dinamik (VD) hasil awal Analisa	98
Gambar 5. 6 Gaya geser dasar setelah diskala ulang	99
Gambar 5. 7 Titik joint yang dijadikan acuan perhitungan ketidakberaturan 1a dan 1b pada lantai 4	106
Gambar 5. 8 Titik joint yang dijadikan acuan perhitungan ketidakberaturan 1a dan 1b pada lantai 5	106
Gambar 5. 9 Titik joint yang dijadikan acuan perhitungan ketidakberaturan 1a dan 1b pada lantai 5	109
Gambar 5. 10 Titik joint yang dijadikan acuan perhitungan ketidakberaturan 1a dan 1b pada lantai 6	110
Gambar 5. 11 Denah Tinjauan untuk Perhitungan Ketidakberaturan Tipe 2 Lantai 4	113
Gambar 5. 12 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai 1	127
Gambar 5. 13 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai 1	128
Gambar 5. 14 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai 2	128
Gambar 5. 15 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai 2	129
Gambar 5. 16 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai 3	129
Gambar 5. 17 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai 3	130
Gambar 5. 18 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai 4	130
Gambar 5. 19 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai 4	131
Gambar 5. 20 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai 5	131
Gambar 5. 21 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai 5	132
Gambar 5. 22 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai 6	132
Gambar 5. 23 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai 6	133
Gambar 5. 24 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai Atap	133
Gambar 5. 25 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai Atap	134
Gambar 5. 26 Balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor pada lantai 1	136
Gambar 5. 27 Balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor pada lantai 2	136

Gambar 5. 28 Balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor pada lantai 3	137
Gambar 5. 29 Balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor pada lantai 4	137
Gambar 5. 30 Balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor pada lantai 5	138
Gambar 5. 31 Balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor pada lantai 6	138
Gambar 5. 32 Balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor pada lantai Atap	139
Gambar 5. 33 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 2	147
Gambar 5. 34 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 2	148
Gambar 5. 35 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 2	149
Gambar 5. 36 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 2	150
Gambar 5. 37 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B1 lantai 3	151
Gambar 5. 38 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B1 lantai 3	152
Gambar 5. 39 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 3	153
Gambar 5. 40 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 3	154
Gambar 5. 41 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 3	155
Gambar 5. 42 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 3	156
Gambar 5. 43 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 4	157
Gambar 5. 44 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 4	158
Gambar 5. 45 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 5	159
Gambar 5. 46 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 5	160
Gambar 5. 47 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 6	161
Gambar 5. 48 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 6	162
Gambar 5. 49 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 6	163
Gambar 5. 50 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 6	164
Gambar 5. 51 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 1	165
Gambar 5. 52 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 1	166
Gambar 5. 53 Gaya Geser ( $V_g + V_e$ )	169
Gambar 5. 54 Section Cut Pada Lantai 1	171
Gambar 5. 55 Section Cut Pada Lantai 2	172
Gambar 5. 56 Section Cut Pada Lantai 3	172
Gambar 5. 57 Section Cut Pada Lantai 4	173

Gambar 5. 58 Gaya Geser $V_g + V_e$	203
Gambar 5. 59 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu X Kolom K1 ST	211
Gambar 5. 60 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu Y Kolom K1 ST	212
Gambar 5. 61 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu X Kolom K1 TM	213
Gambar 5. 62 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu Y Kolom K1 TM	214
Gambar 5. 63 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu X Kolom K3	215
Gambar 5. 64 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu Y Kolom K3	216
Gambar 5. 65 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu X Kolom K5	217
Gambar 5. 66 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu Y Kolom K5	218
Gambar 5. 67 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu X Kolom K11	219
Gambar 5. 68 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu Y Kolom K11	220
Gambar 5. 69 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu X Kolom K21	222
Gambar 5. 70 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu Y Kolom K21	223



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1	Denah Balok Lantai 1	244
Lampiran 1. 2	Denah Balok Lantai 2	245
Lampiran 1. 3	Denah Balok Lantai 3	246
Lampiran 1. 4	Denah Balok Lantai 4	247
Lampiran 1. 5	Denah Balok Lantai 5	248
Lampiran 1. 6	Denah Balok Lantai 6	249
Lampiran 1. 7	Denah Balok Lantai Atap	250
Lampiran 1. 8	Denah Kolom Lantai Bs	251
Lampiran 1. 9	Denah Kolom Lantai 1	252
Lampiran 1. 10	Denah Kolom Lantai 2	253
Lampiran 1. 11	Denah Kolom Lantai 3	254
Lampiran 1. 12	Denah Kolom Lantai 4	255
Lampiran 1. 13	Denah Kolom Lantai 5	256
Lampiran 1. 14	Denah Kolom Lantai 6	257
Lampiran 1. 15	Denah Pelat Lantai 1	258
Lampiran 1. 16	Denah Pelat Lantai 2	259
Lampiran 1. 17	Denah Pelat Lantai 3	260
Lampiran 1. 18	Denah Pelat Lantai 4	261
Lampiran 1. 19	Denah Pelat Lantai 5	262
Lampiran 1. 20	Denah Pelat Lantai 6	263
Lampiran 1. 21	Denah Pelat Lantai Atap	264
Lampiran 1. 22	Detail Balok Kolektor	265
Lampiran 1. 23	Detail Balok Kolektor	266
Lampiran 1. 24	Detail Balok Kolektor	267
Lampiran 1. 25	Detail Penampang Balok	268
Lampiran 1. 26	Detail Penampang Balok	269
Lampiran 1. 27	Detail Penampang Balok	270
Lampiran 1. 28	Detail Penampang Balok	271
Lampiran 1. 29	Detail Keyplan A	272



Lampiran 1. 30	Detail Keyplan B	273
Lampiran 1. 31	Detail Keyplan C	274
Lampiran 1. 32	Detail Keyplan D	275
Lampiran 1. 33	Detail Penampang Kolom	276
Lampiran 1. 34	Detail Penampang Kolom	277
Lampiran 1. 35	Rencana Potongan Portal	278
Lampiran 1. 37	Potongan A-A	279
Lampiran 1. 38	Potongan B-B	280
Lampiran 1. 39	Potongan C-C	281
Lampiran 1. 40	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 5 Arah X	283
Lampiran 1. 41	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 5 Arah Z	284
Lampiran 1. 42	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 5 Arah X	285
Lampiran 1. 43	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 5 Arah Z	285
Lampiran 1. 44	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 4 Arah X	286
Lampiran 1. 45	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 4 Arah Z	287
Lampiran 1. 46	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 4 Arah X	288
Lampiran 1. 47	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 4 Arah Z	288
Lampiran 1. 48	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 5 Kode 4 Arah X	289
Lampiran 1. 49	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 5 Kode 4 Arah Z	290
Lampiran 1. 50	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 5 Kode 4 Arah X	291

Lampiran 1. 51	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 5 Kode 4 Arah Z	291
Lampiran 1. 52	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 4 Kode 4 Arah X	292
Lampiran 1. 53	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 4 Kode 4 Arah Z	293
Lampiran 1. 54	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 4 Kode 3 Arah X	294
Lampiran 1. 55	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 4 Kode 4 Arah Z	294
Lampiran 1. 56	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 4 Arah X	295
Lampiran 1. 57	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 4 Arah Z	296
Lampiran 1. 58	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 4 Arah X	297
Lampiran 1. 59	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 4 Arah Z	297
Lampiran 1. 60	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 5 Arah X	298
Lampiran 1. 61	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 5 Arah Z	299
Lampiran 1. 62	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 5 Arah X	300
Lampiran 1. 63	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 5 Arah Z	300
Lampiran 1. 64	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B1 Lantai 3 Kode 6 Arah X	301
Lampiran 1. 65	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B1 Lantai 3 Kode 6 Arah Z	302

Lampiran 1. 66	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B1 Lantai 3 Kode 6 Arah X	303
Lampiran 1. 67	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B1 Lantai 3 Kode 6 Arah	303
Lampiran 1. 68	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 4 Arah X	304
Lampiran 1. 69	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 4 Arah Z	305
Lampiran 1. 70	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 4 Arah X	306
Lampiran 1. 71	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 4 Arah Z	306
Lampiran 1. 72	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 5 Arah X	307
Lampiran 1. 73	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 5 Arah Z	308
Lampiran 1. 74	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 5 Arah X	309
Lampiran 1. 75	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 5 Arah X	309
Lampiran 1. 76	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 1 Kode 4 Arah X	310
Lampiran 1. 77	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 1 Kode 4 Arah Z	311
Lampiran 1. 78	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 1 Kode 4 Arah X	312
Lampiran 1. 79	Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 1 Kode 4 Arah Z	312
Lampiran 1. 80	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K1 ST Arah X	313
Lampiran 1. 81	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K1 ST Arah Y	314
Lampiran 1. 82	Diagram Mu-Pu Kolom K1 ST Arah X	315

Lampiran 1. 83	Diagram Mu-Pu Kolom K1 ST Arah Y	315
Lampiran 1. 84	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K1 TM Arah X	316
Lampiran 1. 85	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K1 TM Arah Y	317
Lampiran 1. 86	Diagram Mu-Pu Kolom K1 TM Arah X	318
Lampiran 1. 87	Diagram Mu-Pu Kolom K1 TM Arah Y	318
Lampiran 1. 88	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K3 Arah X	319
Lampiran 1. 89	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K3 Arah Y	320
Lampiran 1. 90	Diagram Mu-Pu Kolom K3 Arah X	321
Lampiran 1. 91	Diagram Mu-Pu Kolom K3 Arah Y	321
Lampiran 1. 92	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K5 Arah X	322
Lampiran 1. 93	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K5 Arah Y	323
Lampiran 1. 94	Diagram Mu-Pu Kolom K5 Arah X	324
Lampiran 1. 95	Diagram Mu-Pu Kolom K5 Arah Y	324
Lampiran 1. 96	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K11 Arah X	325
Lampiran 1. 97	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K11 Arah Y	326
Lampiran 1. 98	Diagram Mu-Pu Kolom K11 Arah X	327
Lampiran 1. 99	Diagram Mu-Pu Kolom K11 Arah Y	327
Lampiran 1. 100	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K21 Arah X	328
Lampiran 1. 101	Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K21 Arah Y	329
Lampiran 1. 102	Diagram Mu-Pu Kolom K21 Arah X	330
Lampiran 1. 103	Diagram Mu-Pu Kolom K21 Arah Y	330

## ABSTRAK

Perkembangan dunia konstruksi di Indonesia saat ini bertumbuh pesat dari waktu ke waktu. Saat ini pembangunan infrastruktur banyak dilaksanakan di Indonesia dengan tujuan memenuhi kebutuhan masyarakat dan menumbuhkan perekonomian masyarakat. Dengan adanya hal tersebut dimungkinkan berpengaruh pada pembangunan gedung bertingkat yang cenderung tidak beraturan karena menyesuaikan lahan yang ada. Selain itu untuk memenuhi tata ruang bangunan dan juga estetika bangunan, maka perencana seringkali merencanakan bangunan yang tidak simetris, dengan demikian dapat dimungkinkan terjadinya ketidakberaturan pada struktur tersebut. Ketidakberaturan tersebut perlu dianalisis untuk mengetahui pengaruh yang terjadi pada struktur dalam proses desain. Dengan adanya ketidakberaturan horizontal maupun vertikal, maka berdasarkan SNI 1726-2012 gaya desain untuk elemen-elemen sistem penahan gaya gempa yaitu elemen-elemen kolektor, kord, dan diafragma harus ditingkatkan 25 persen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tipe ketidakberaturan struktur apa saja yang terdapat pada gedung RSA UII dan pengaruhnya terhadap proses analisis dan desain elemen struktur. Metode analisis yang digunakan adalah menganalisis gedung RSA UII berdasarkan SNI 1726-2012, SNI 1727-2013, dan SNI 2847-2013.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gedung RSA UII memiliki ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1a, 1b, dan 2. Gaya desain diafragma ditingkatkan 25%. Diafragma yang ditinjau adalah diafragma pada semua lantai. Dengan adanya penambahan gaya desain diafragma 25% dihasilkan balok kolektor pada lantai 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan elemen kord pada lantai 1, 2, 3 dan 4. Hasil perhitungan tulangan pelat, balok, dan kolom memiliki beberapa perbedaan yang tidak signifikan dengan kondisi eksisting bangunan.





## **ABSTRACT**

*The development of the construction industry in Indonesia is growing rapidly over time. Today, the development of infrastructure in Indonesia is being carried out in order to meet people's needs and grow the community economy. This situation makes it possible to affect the construction of high-rise buildings that are often irregular as a result of the modification of an existing land. Besides that, to fulfill the layout of the building and also the aesthetics of the building, designers often plan buildings that are not symmetrical that may allow the occurrence of irregularities in the structure. These irregularities need to be analyzed in order to define the effect of structural behavior that is taken into account in the design process. The value of design force for collector, cord, and diaphragm should be increase by 25%.*

*This research aims to determine the type of irregularity of structures found in the RSA UII building and its impact is the analysis and design of structural elements considering Indonesian codes, such as SNI 1726-2012, SNI 1727-2013 and SNI 2847-2013.*

*The results show that the RSA UII building has horizontal structural irregularities type 1a, 1b and 2. The design force of diaphragm increased by 25%. The observed diaphragm is diaphragm on all floors. With the 25% addition of diaphragm force design, the collector beams on the 1st, 2nd, 3rd, 4th, 5th, and 6th floor, and the chord elements on the 1st, 2nd, 3rd, and 4th floor are obtained. Although, there was a slight increase in the desain of plates, beams, and columns reinforcement, this rise was also insignificant from existing building.*



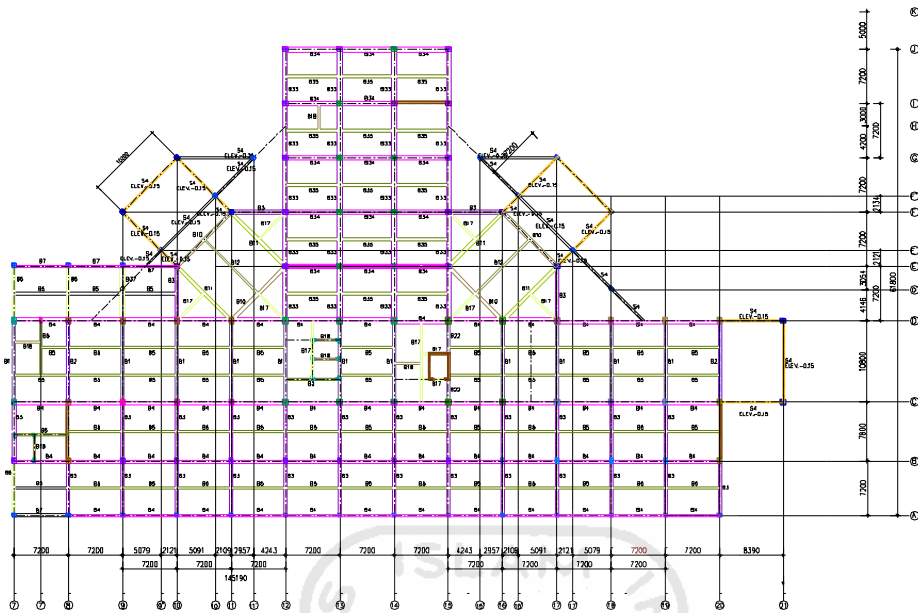
# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

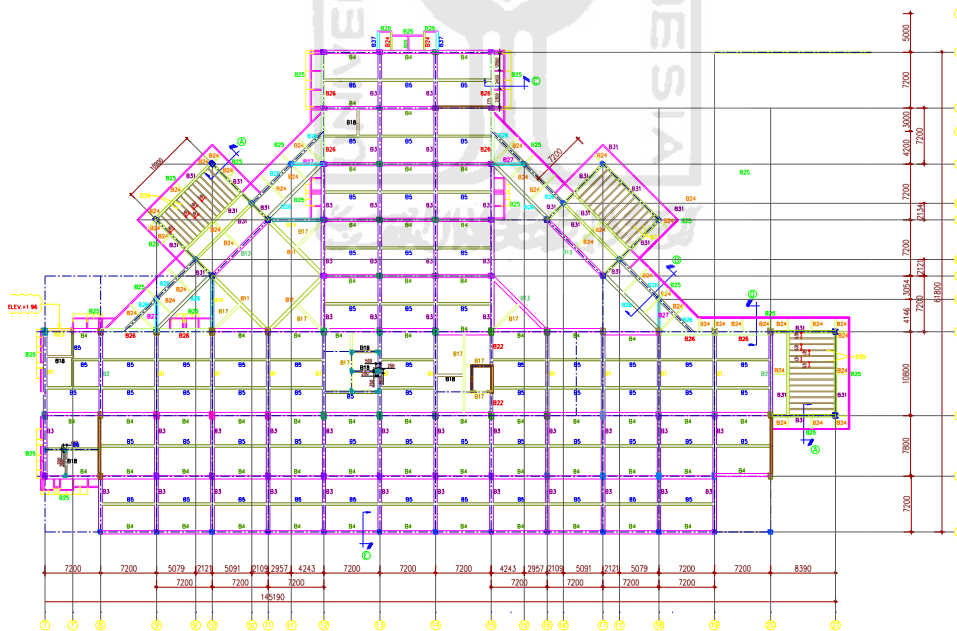
### **1.1 Latar Belakang**

Salah satu infrastruktur yang sedang banyak dibangun adalah bangunan gedung. Bangunan gedung menjadi infrastruktur yang paling banyak dikerjakan pada saat ini, dimana gedung menjadi salah satu fasilitas yang memang sangat diperlukan. Pada umumnya gedung bertingkat digunakan sebagai gedung-gedung pemerintah seperti perkantoran dan rumah sakit. Gedung dapat juga dijadikan sebagai sarana investasi antara lain apartemen, hotel, dan mall. Pesatnya pembangunan mengakibatkan sulitnya mencari lahan yang dapat dibangun karena meminimnya suatu lahan. Dengan adanya hal tersebut dimungkinkan berpengaruh pada pembangunan gedung bertingkat yang cenderung tidak beraturan karena menyesuaikan lahan yang ada. Selain itu untuk memenuhi tata ruang bangunan dan juga estetika bangunan maka perencana seringkali merencanakan bangunan yang tidak simetris, dengan demikian dapat dimungkinkan terjadinya ketidakberaturan pada struktur tersebut.

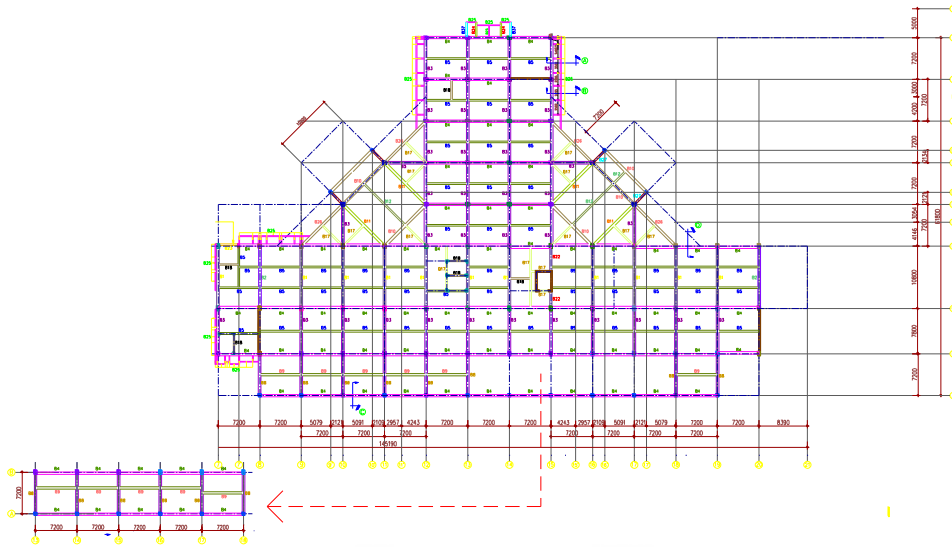
Rumah Sakit Akademik Universitas Islam Indonesia merupakan bangunan gedung yang dibangun diatas lahan 25.600 m<sup>2</sup> yang mempunyai 1 lantai basement dan 6 lantai di atasnya. RSA UII terletak di Jl. Srandakan KM 5,5, Wijirejo, Pandak, Bantul, Yogyakarta. RSA UII merupakan gedung pelayanan kesehatan yang dapat dilihat secara visual berdasarkan denah bangunan mempunyai ketidakberaturan struktur. Gambar denah gedung RSA UII dapat dilihat pada Gambar 1.1, Gambar 1.2, Gambar 1.3, Gambar 1.4, Gambar 1.5, Gambar 1.6, dan Gambar 1.7.



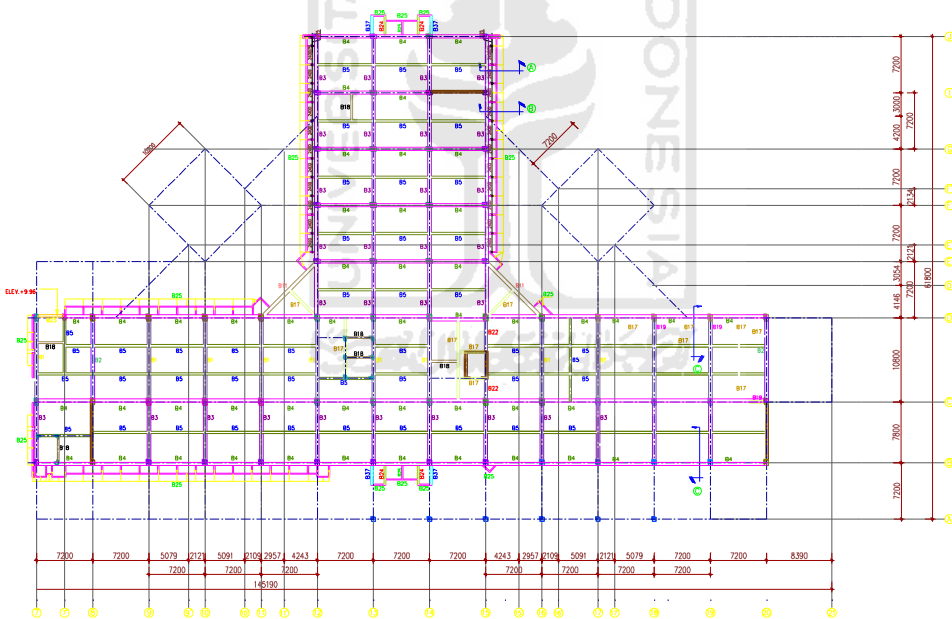
**Gambar 1.1 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai 1**  
 (Sumber: *As Built Drawing* RSA UII)



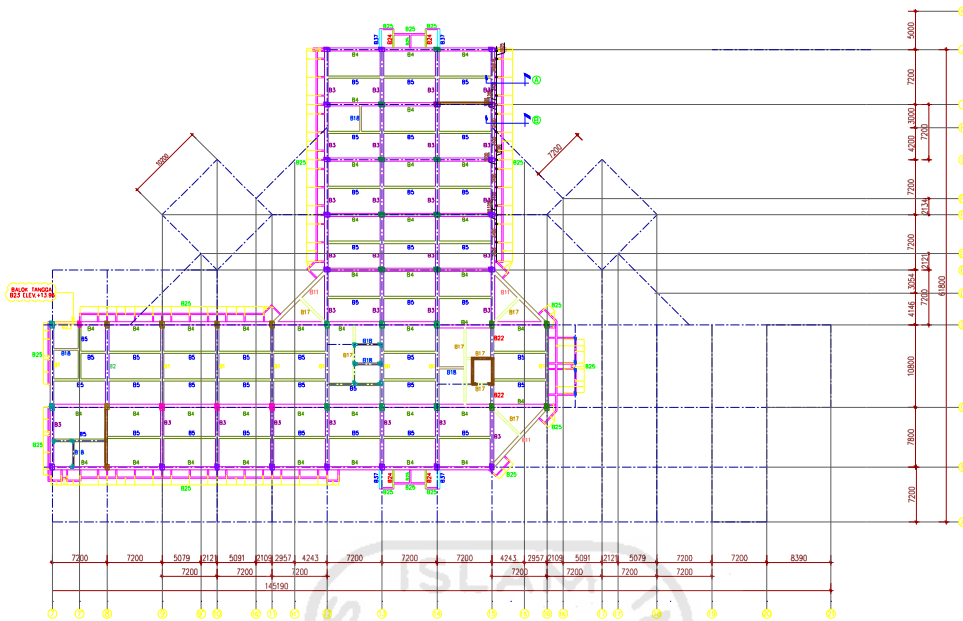
**Gambar 1.2 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai 2**  
 (Sumber: *As Built Drawing* RSA UII)



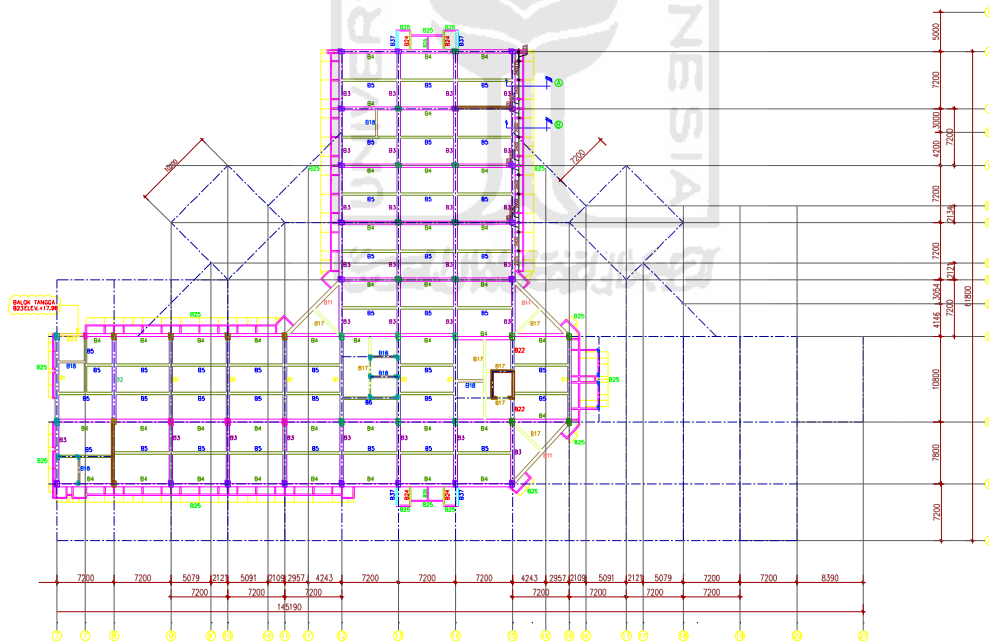
**Gambar 1. 3 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai 3**  
 (Sumber: *As Built Drawing* RSA UII)



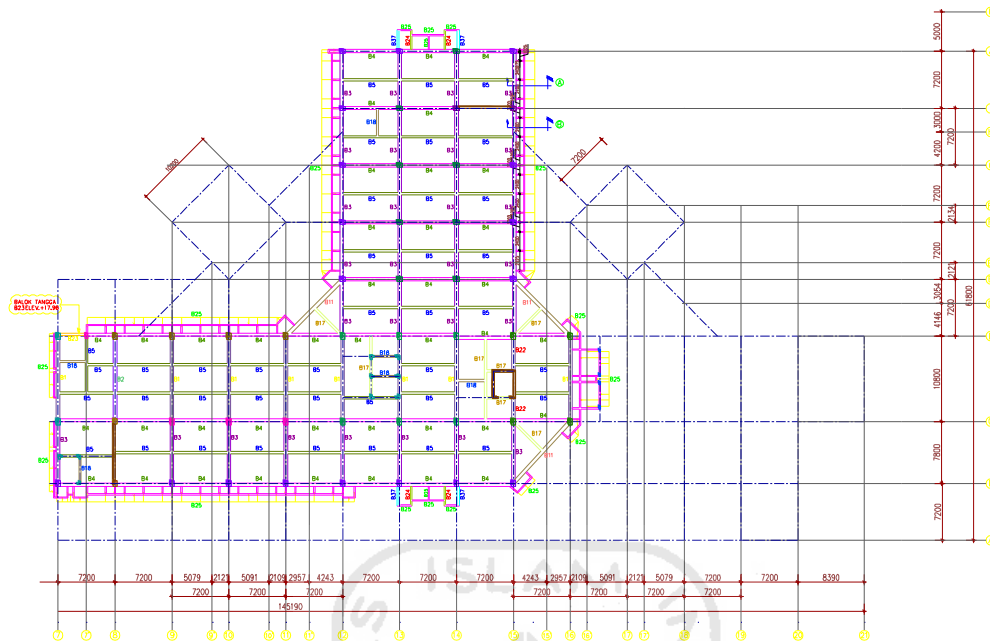
**Gambar 1. 4 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai 4**  
 (Sumber: *As Built Drawing Design* RSA UII)



**Gambar 1. 5 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai 5**  
(Sumber: *As Built Drawing* RSA UII)



**Gambar 1. 6 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai 6**  
(Sumber: *As Built Drawing* RSA UII)



**Gambar 1. 7 Denah Balok Gedung RSA UII Lantai Atap**

(Sumber: *As Built Drawing* RSA UII)

Dari gambar denah di atas, maka perlu dianalisis untuk memastikan adanya ketidakberaturan struktur yang terjadi pada gedung tersebut berdasarkan SNI 1726-2012. Ketidakberaturan tersebut perlu dianalisis untuk mengetahui pengaruh yang terjadi pada struktur pada proses desain. Dengan adanya ketidakberaturan horizontal maupun vertikal, maka berdasarkan SNI 1726-2012 gaya desain untuk elemen-elemen sistem penahan gaya gempa yaitu elemen-elemen kolektor, kord, dan diafragma harus ditingkatkan sebesar 25 persen. Dengan adanya peningkatan gaya gempa, maka berakibat pada penambahan tulangan yang berada di dalam pelat lantai yang disebut elemen kord ataupun elemen kolektor untuk menahan peningkatan gaya desain diafragma, dimana hal tersebut belum ditemukan pada gambar *As Built Drawing* bangunan RSA UII.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka masalah dapat dirumuskan antara lain sebagai berikut.

1. Ketidakberaturan apa saja yang terjadi pada struktur gedung RSA UII ?

2. Bagaimana pengaruh ketidakberaturan struktur yang terjadi terhadap analisis dan desain yang dilakukan ?
3. Apakah pada gedung RSA UII terdapat elemen kord dan elemen kolektor, serta bagaimana cara mendesain elemen struktur tersebut ?
4. Bagaimana perbandingan jumlah kebutuhan tulangan antara kondisi eksisting dengan perhitungan kebutuhan tulangan yang dilakukan dengan efek ketidakberaturan struktur ?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi ketidakberaturan apa saja yang terjadi pada gedung RSA UII.
2. Menghitung pengaruh dari ketidakberaturan struktur bangunan gedung terhadap analisis dan desain yang dilakukan.
3. Menentukan keberadaan dan cara mendesain elemen kolektor dan kord pada gedung yang mempunyai ketidakberaturan struktur.
4. Menghitung dan membandingkan hasil perhitungan jumlah kebutuhan tulangan dengan efek ketidakberaturan struktur dengan kondisi eksisting.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Memahami kategori ketidakberaturan yang terjadi pada gedung RSA UII.
2. Dapat mengetahui pengaruh ketidakberaturan struktur bangunan gedung terhadap proses analisis dan desain.
3. Dapat menentukan keberadaan dan cara mendesain elemen kolektor dan kord pada gedung yang mempunyai ketidakberaturan struktur.
4. Dapat membandingkan hasil perhitungan jumlah kebutuhan tulangan dengan efek ketidakberaturan dengan kebutuhan tulangan eksisting.

## 1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini dimaksudkan agar penelitian tidak menyimpang dan melebar dari tujuan penelitian. Adapun batasan penelitian yang dibuat adalah sebagai berikut.

1. Gedung yang dianalisis diadopsi dari denah lantai Gedung Rumah Sakit Akademik Universitas Islam Indonesia.
2. Menggunakan SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
3. Struktur yang dianalisis berupa struktur beton bertulang bagian atas (*upper structure*) yaitu balok, kolom, dan pelat.
4. Untuk pengaruh beban angin dan air hujan tidak dibahas dalam penelitian ini.
5. Beban yang diperhitungkan hanya meliputi beban mati dan beban hidup SNI 1727-2013, PPIUG tahun 1983, dan beban gempa SNI 1726-2012.
6. Beban gempa yang diperhitungkan berupa beban gempa dinamik respon spektrum.
7. Fungsi bangunan adalah Rumah Sakit Akademik.
8. Tidak menghitung serta merencanakan struktur fondasi.
9. Tidak memodelkan struktur tangga dalam analisis struktur.
10. Pemodelan struktur pada SAP 2000 v20, bagian basement diasumsikan seperti lantai biasa. Hal tersebut dilakukan karena dinding beton pada lantai basement tidak terhubung secara keseluruhan dengan struktur utama bangunan gedung. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran 1.35, lampiran 1.36, lampiran 1.37, dan lampiran 1.38.
11. Tidak menghitung kebutuhan tulangan dinding geser (*shear wall*).
12. Tidak menghitung kebutuhan tulangan balok dengan fungsi sebagai eksterior dan interior.
13. Tumpuan bawah pada fondasi diasumsikan jepit.
14. Atap bangunan diasumsikan menjadi pelat atap.
15. Bangunan gedung RSA UII berada pada tanah dengan kelas situs tanah sedang (*SD*) di daerah Srandakan, Bantul, D.I. Yogyakarta.



16. Struktur yang dianalisis terdapat pada Gambar 1.1, Gambar 1.2, Gambar 1.3, Gambar 1.4, Gambar 1.5, dan Gambar 1.6.
17. Fungsi pelat lantai dibagi berdasarkan fungsi ruang antara lain :
  - a. Ruang Pasien
  - b. Ruang Laboratorium
  - c. Lobby
  - d. Koridor
  - e. Gymnasium
  - f. Atap
  - g. Atap Taman
18. Analisis struktur menggunakan SAP 2000 v20.
19. Pemodelan gedung dengan sistem ganda.
20. Dimensi elemen pelat, balok, dan kolom yang dianalisis sama dengan kondisi eksisting.
21. Gedung yang akan dijadikan objek penelitian adalah gedung RSA UII dengan spesifikasi sebagai berikut.
  - a. Jumlah lantai : 7 Lantai
  - b. Tinggi elevasi gedung : 27,12 m
  - c. Mutu Beton ( $f'c$ ) : 30 MPa
  - d. Mutu baja polos : 240 MPa
  - e. Mutu baja ulir : 400 MPa
22. Tugas akhir ini bukan merupakan redesain bangunan RSA UII, melainkan fokus terhadap perhitungan elemen kolektor dan kord karena efek ketidakberaturan bangunan gedung RSA UII.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Penelitian mengenai “Perencanaan Elemen Kolektor Dan Kord Pada Gedung Rumah Sakit dengan Menggunakan Metode SNI 1726-2012” perlu dilakukan peninjauan yang lebih lanjut terhadap beberapa penelitian sebelumnya sebagai referensi dan menghindari plagiasi.

#### **2.2 Penelitian Terdahulu**

Dalam tinjauan pustaka ini, disertakan penelitian sejenis berkaitan dengan topik yang akan diteliti oleh penulis untuk membantu menyelesaikan kesulitan atau permasalahan dalam penelitian. Penelitian terdahulu dapat membantu mengevaluasi hasil penelitian yang sejenis.

##### **2.2.1 Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidakberaturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2012**

Purba (2014) melakukan penelitian dengan tujuan untuk membandingkan kinerja struktur gedung dengan ketidakberaturan horizontal dan struktur gedung beraturan. Gedung yang diteliti diasumsikan pada bangunan rumah sakit di Kota Palembang. Analisis struktur ditinjau dalam 3 dimensi menggunakan software SAP 2000 v14.

Peneliti menganalisis dan membandingkan stuktur gedung beraturan dan struktur gedung tidak beraturan yang dintinjau berdasarkan *displacement*, *drift*, dan *base shear*. Peneliti juga membandingkan kinerja struktur gedung bertingkat beraturan dan gedung bertingkat tidak beraturan berdasarkan *Performance Based Design*, serta membandingkan berat tulangan dan berat beton yang diperlukan untuk masing-masing model gedung.

Hasil dari analisis yang dilakukan menunjukkan semakin besar proyeksi sudut dalam maka akan semakin besar simpangan yang terjadi. Hal ini dibuktikan dengan melalui beberapa model struktur yaitu gedung dengan ketidakberaturan

model A yaitu dengan proyeksi sudut dalam 50% arah-x dan 34% arah-y mengalami simpangan dengan selisih +20,64% ke arah-x dan +27,45% ke arah-y jika dibandingkan dengan model gedung beraturan. Gedung tidak beraturan model B yaitu gedung dengan proyeksi sudut dalam 50% arah-x dan 60% arah-y mengalami simpangan dengan selisih +32,57% ke arah-x dan +8,13% ke arah-y jika dibandingkan dengan model gedung beraturan. Gedung tidak beraturan model C yaitu gedung dengan proyeksi sudut dalam 20% arah-x dan 50% arah y mengalami simpangan dengan selisih +10,89% ke arah-x dan +19,06% ke arah-y jika dibandingkan dengan gedung beraturan.

Kinerja struktur yang diteliti tidak menunjukkan perbedaan pada masing-masing model bangunan, dimana seluruh model gedung dikategorikan dalam level *immediate occupancy* untuk arah x dan arah y. Perhitungan tulangan yang didapat menunjukkan bahwa gedung ketidakberaturan model B adalah model gedung dengan kebutuhan tulangan terbesar dimana persentase selisih terhadap gedung beraturan adalah +34,76%, dan untuk perhitungan kebutuhan beton didapat bahwa gedung tidak beraturan model A adalah model gedung dengan kebutuhan beton terbesar dimana persentase selisih terhadap gedung beraturan adalah +7,06%.

### **2.2.2 Analisis dan Desain Diafragma dengan menggunakan metode SNI 1726-2012 dan Metode Alternatif ASCE7-2016**

Steven (2018) telah melakukan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui studi hasil analisis linier pada struktur portal beton bertulang dengan program ETABS 2016 V16.2.0 serta membandingkan desain suatu diafragma dengan menggunakan 2 metode antara lain SNI 1726-2012 dan metode alternatif ASCE7 – 16, dan pada akhirnya dimaksudkan untuk mendesain tulangan diafragma.

Steven (2018) menyatakan bahwa sistem penahan gaya seismik terdiri dari elemen vertikal, elemen horizontal, dan fondasi. Elemen horizontal pada umumnya terdiri dari diafragma, kord, dan kolektor. Peran suatu diafragma sebagai sistem struktur horisontal adalah menahan gaya gravitasi dan menyediakan tahanan lateral untuk elemen-elemen vertikal pada struktur.

Penelitian ini membandingkan suatu desain diafragma dengan menggunakan metode SNI 1726-2012 dan metode alternatif ASCE-2016. Diafragma yang ditinjau adalah diafragma lantai 1 dan lantai 20. Perbedaan hasil desain diafragma pada lantai 1 dan 20 dengan metode SNI 1726-2012 juga dibandingkan dalam model ini. Model yang digunakan adalah model struktur sistem ganda yang berjumlah 20 lantai yang memiliki ketidakberaturan torsi tipe 1a pada lantai 1 dan lantai 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat balok kolektor pada lantai 20, hal ini disebabkan karena gaya tekan yang terjadi pada elemen balok sangat kecil dan tidak melebihi batas yang disyaratkan, berbeda dengan lantai 1, gaya tekan yang dihasilkan pada balok melebihi batas yang disyaratkan, sehingga terdapat balok kolektor pada lantai tersebut. Hasil rata-rata dari section cut untuk desain penulangan kord dengan menggunakan 2 metode, yaitu metode SNI 1726-2012 dan metode alternatif ASCE7-16, menghasilkan perbedaan sebesar 17,457%. Perbedaan dari kedua metode tersebut disebabkan oleh gaya desain diafragma dengan menggunakan metode alternatif merupakan hasil ekperimental dan gaya desain diafragmanya lebih besar daripada metode SNI 1726-2012.

### **2.2.3 Analisis Gaya Diafragma, Kord, dan Kolektor pada Bangunan gedung Sesuai dengan SNI 1726-2012**

Hafifah (2018) menyatakan bahwa salah satu perubahan aturan gempa dari 03-1726-2002 ke SNI 1726-2012 yaitu adanya gaya gempa diafragma sebagai gaya gempa tambahan yang menghasilkan tulangan ekstra berupa tulangan kord, kolektor, dan sambungannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjelaskan analisa perhitungan gaya diafragma serta menjelaskan perhitungan tulangan ekstra pada bangunan beton bertulang 15 lantai dan 1 basement. Bangunan yang akan di analisa berlokasi di Jakarta dengan kelas situs tanah lunak (SE). Hasil dari penelitian ini adalah bahwa dengan adanya gaya desain diafragma, menghasilkan tulangan ekstra pada diafragma ke shearwall sebagai tulangan geser friksi, tulangan elemen kolektor ke shearwall dan tulangan kord pada balok. Besarnya jumlah tulangan ekstra yang diperlukan tergantung dari tingkat irregularitas bangunan

tersebut. Pada contoh kasus, penambahan jumlah tulangan tidak banyak yang disebabkan tingkat irregular bangunan yang rendah.

### 2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu

Perbedaan antara penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya adalah pada penelitian ini menghitung kebutuhan tulangan elemen kolektor dan kord, serta elemen struktur lain seperti pelat, balok, dan kolom akibat adanya ketidakberaturan struktur horizontal dan ketidakberaturan struktur vertikal dengan mengadopsi denah bangunan gedung RSA UII. Dimana ketidakberaturan struktur penting diperhitungkan yang nantinya akan berkaitan dengan perilaku struktur itu sendiri. Dalam hal ini ketidakberaturan struktur gedung diklasifikasikan di dalam SNI 1726-2012.



**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu**

No	Peneliti	Judul	Hasil	Perbedaan dengan Penelitian yang sekarang
1	Hotma L Purba (2014)	Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidakberaturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kinerja struktur gedung yang memiliki ketidakberaturan horizontal dibandingkan dengan kinerja struktur gedung beraturan.</li> <li>• Objek penelitian adalah gedung rumah sakit di Daerah Palembang.</li> <li>• Analisis dilakukan dengan Software SAP 2000 v14.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dilakukan analisis ada tidaknya ketidakberaturan yang terdapat pada gedung yang diteliti.</li> <li>• Dilakukan analisis gaya dalam dan perhitungan desain elemen kolektor, kord, pelat, balok, dan kolom.</li> <li>• Objek penelitian berupa gedung rumah sakit di Yogyakarta.</li> <li>• Analisis dilakukan dengan software SAP 2000 v20.</li> </ul>

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu**

No	Peneliti	Judul	Hasil	Perbedaan dengan Penelitian yang sekarang
2	S, Michael (2018)	Analisis dan Desain Diafragma dengan menggunakan metode SNI 1726-2012 dan Metode Alternatif ASCE7-2016	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaya desain diafragma SNI 1726-2012 dibandingkan dengan gaya desain diafragma metode alternatif ASCE 7-16.</li> <li>• Objek penelitian berupa gedung beton bertulang 20 lantai dengan fungsi bangunan adalah perkantoran.</li> <li>• Analisis struktur dilakukan pada program ETABS 2016 v16.2.0.</li> <li>• Perhitungan desain dilakukan menggunakan software SAFE, CsiCol.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SNI 1726-2012 digunakan untuk gaya desain diafragma.</li> <li>• Objek penelitian berupa gedung rumah sakit 6 lantai dan 1 basement.</li> <li>• Analisis dilakukan dengan menggunakan software SAP 2000 v20.</li> <li>• Perhitungan desain dilakukan manual menggunakan perhitungan sesuai SNI 2847-2013.</li> </ul>

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu**

No	Peneliti	Judul	Hasil	Perbedaan dengan Penelitian yang sekarang
3	Hafifah, V (2018)	Analisis Gaya Diafragma, Kord, dan Kolektor pada Bangunan gedung Sesuai dengan SNI 1726-2012	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objek penelitian berupa gedung beton bertulang 15 lantai dan 1 basement berlokasi di Jakarta dengan kelas situs tanah lunak (SE).</li> <li>• Hanya dilakukan desain elemen kord dan kolektor</li> <li>• Analisis struktur dilakukan pada program ETABS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objek penelitian berupa gedung rumah sakit di Yogyakarta yang berada pada kelas situs tanah sedang (SD).</li> <li>• Dilakukan analisis gaya dalam dan perhitungan desain elemen kolektor, kord, pelat, balok, dan kolom.</li> <li>• Analisa struktur dilakukakan pada software SAP 2000 v20.</li> </ul>



## **BAB III LANDASAN TEORI**

### **3.1 Struktur Bangunan Gedung**

Struktur terdiri dari elemen-elemen yang membentuk suatu bangunan. Pada struktur bangunan gedung umumnya dibedakan menjadi 2 bagian yaitu struktur bawah (*lower structure*) dan struktur atas (*upper structure*). Struktur bawah yang dimaksud dalam hal ini adalah fondasi dan struktur lain yang berada di permukaan tanah, sedangkan struktur bagian atas merupakan bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah seperti kolom, balok, plat, dan tangga. Kegunaan dari semua struktur bangunan tersebut untuk meneruskan beban gravitasi maupun beban gempa yang diterima oleh bangunan dan diteruskannya ke tanah.

### **3.2 Struktur Beton Bertulang**

Struktur beton bertulang merupakan komponen struktur yang dihasilkan dari gabungan antara beton dan baja tulangan. Beton merupakan material yang kuat dalam menahan gaya tekan, namun lemah dalam menahan tarik. Oleh karena itu, beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikulnya menimbulkan tegangan tarik yang melebihi kuat tarik materialnya.

Pada balok beton bertulang, tulangan baja ditanam di dalam beton sedemikian rupa sehingga gaya tarik yang dibutuhkan untuk menahan momen pada penampang retak dapat dikembangkan pada tulangan baja.

Jadi, dapat dikatakan bahwa untuk mengatasi kelemahan beton dalam menahan gaya tarik maka ditambahkan tulangan baja pada bagian penampang balok beton yang berpotensi mengalami tarik saat balok menahan beban.

### **3.3 Pembebanan Struktur Bangunan Gedung**

Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) 1983 beban yang dapat terjadi pada gedung terdiri dari 5 beban, antara lain sebagai berikut.

1. Beban Mati (*Dead Load*)

2. Beban Hidup (*Live Load*)
3. Beban Angin (*Wind Load*)
4. Beban Gempa (*Quake Load*)
5. Beban Khusus

Pada umumnya beban yang umumnya digunakan di Indonesia antara lain dijelaskan pada sub bab berikut.

### **3.3.1 Beban Mati (*Dead Load*)**

Menurut SNI 1727-2013 pasal 3.1, beban mati (*dead load*) merupakan berat sendiri dari semua bagian struktur bangunan yang terpasang dan bersifat tetap termasuk elemen-elemen non struktur antara lain dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, dan *finishing*. Berat sendiri dari bahan-bahan bangunan dan beberapa komponen gedung dapat diambil pada tabel 2.1 Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung tahun 1983.

### **3.3.2 Beban Hidup (*Live Load*)**

Menurut SNI 1727-2013 pasal 4.1, beban hidup (*live load*) merupakan beban yang diakibatkan oleh penggunaan dari gedung oleh penghuni gedung. Beban hidup juga dapat diakibatkan oleh benda-benda yang berada di dalam gedung yang berpindah sesuai dengan kebutuhan penghuninya.

Berdasarkan pasal 4.3.1 SNI 1727-2013 beban hidup yang digunakan dalam perencanaan bangunan gedung dan struktur lain harus beban maksimum yang terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan pada Tabel 4.1 SNI 1727-2013.

### **3.3.3 Beban Gempa (*Quake Load*)**

Berdasarkan PPIUG 1983 pada pasal 1.0.4, beban gempa ialah semua beban ekuivalen statik yang terjadi pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa.

### 3.4 Tahapan Pembebanan Gempa

Dalam mendesain sebuah struktur bangunan diperlukan tahapan-tahapan agar analisis desain yang dilakukan tidak ada yang terlewat.

#### 3.4.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung

Berdasarkan SNI 1726-2012 pada pasal 4.1.2 bangunan gedung dan non gedung memiliki kategori resiko sendiri-sendiri dan dibagi menjadi 4 kategori resiko. Kategori resiko akan berpengaruh terhadap gempa rencana yang harus dikalikan dengan faktor keamanan ( $I_e$ ) yang dapat dilihat pada Tabel 2 Faktor Keutamaan Gempa SNI 1726-2012. Adapun kategori resiko bangunan gedung dapat dilihat di dalam Tabel 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan non Gedung untuk Beban Gempa SNI 1726-2012.

#### 3.4.2 Parameter Percepatan Tanah

Adam (2018) menyatakan bahwa pembuatan respon spektrum didasarkan bahwa setiap daerah memiliki kemungkinan kejadian gempa yang berbeda-beda. Penentuan nilai respons spektra pada percepatan periode pendek yaitu 0,2 detik ( $S_s$ ) dan nilai respon spektra pada percepatan periode 1 detik ( $S_l$ ) diperlukan untuk mendesain sebuah bangunan gedung. Nilai  $S_s$  dan  $S_l$  dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10 SNI 1726-2012.

#### 3.4.3 Faktor Koefisien Situs

Koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  diperlukan untuk mendapatkan parameter respons spektral untuk perioda pendek ( $S_{ms}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{m1}$ ). Sesuai dengan SNI 1726-2012 maka koefisien situs dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 SNI 1726-2012.

#### 3.4.5 Parameter Percepatan Spektral Desain

Berdasarkan SNI 1726-2012 parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek,  $S_{DS}$  dan periode 1 detik,  $S_{DI}$ , harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.1)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3}S_{M1} \quad (3.2)$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = Respon spectra pada percepatan periode pendek

$S_{D1}$  = Respon spectra pada percepatan periode 1 detik

$S_{MS}$  = Parameter percepatan spectral desain untuk perioda pendek

$S_{M1}$  = Parameter percepatan spectral desain untuk perioda 1 detik

### 3.4.6 Spektrum Respon Desain

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.4 kurva respon spektrum harus dikembangkan dengan mengikuti ketentuan di bawah ini.

1. Periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dengan persamaan 3.1

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.3)$$

Keterangan :

$S_a$  = Spektrum respon percepatan desain

$S_{DS}$  = Respons spektra pada percepatan periode pendek

$T$  = Periode getar fundamental struktur

$T_0$  = 0,2 kali perbandingan antara  $S_{D1}$  dan  $S_{DS}$

2. Periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$ , dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ .
3. Periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respon percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan 3.2

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.4)$$

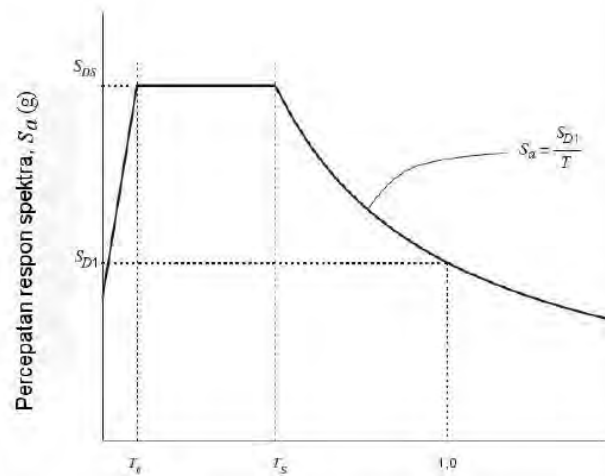
Keterangan :

$S_a$  = Spektrum respon percepatan desain

$S_{D1}$  = Respons spectra pada percepatan periode 1 detik

$T$  = Periode getar fundamental struktur

Dari ketentuan-ketentuan di atas maka dapat digambarkan grafik respon spektra hubungan antara percepatan dengan periode getaran. Grafik respon spektra dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1 Spektrum Respon Desain**  
(Sumber : SNI 1726, 2012)

### 3.4.7 Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.5 struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik sesuai dengan ketentuan berikut.

1. Struktur dengan kategori risiko I, II, dan III pada perioda 1 detik,  $S_I \geq 0,75$  ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E.
2. Struktur dengan kategori risiko IV pada perioda 1 detik,  $S_I \geq 0,75$  ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Selain dari 2 hal di atas maka struktur dapat ditentukan kategori desain seismiknya berdasar Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3.1 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek**

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

Sumber : SNI 1726 (2012)

**Tabel 3.2 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons  
percepatan pada perioda 1 detik**

Nilai $S_{DI}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

Sumber : SNI 1726 (2012)

Selebihnya untuk lokasi dengan  $S_I \geq 0,75g$  maka kategori risikonya sebagai berikut.

KDS = E, untuk kategori risiko I, II, dan III

KDS = F, untuk kategori risiko IV

#### 3.4.8 Sistem dan Parameter Struktur

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.2.1 pembagian setiap tipe didasarkan pada elemen vertikal yang berguna untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian sistem struktur sesuai dengan Tabel 9 - SNI 1726-2012. Dari tabel tersebut juga didapatkan 3 jenis faktor yang berguna dalam perhitungan beban lateral. Ketiga jenis faktor tersebut adalah koefisien modifikasi respons  $R$ , faktor kuat lebih sistem  $\Omega_0$ , dan koefisien amplifikasi defleksi,  $C_d$ .

#### 3.4.9 Batasan Perioda Fundamental Struktur

Adam (2018) menyatakan bahwa perioda fundamental struktur  $T$  dapat diperoleh dari hasil analisis struktur yang akan ditinjau. Berdasarkan SNI 1726-2012 perioda fundamental,  $T$ , tidak boleh melebihi batas atas perioda yang dihitung ( $C_u$ ) yang dapat dilihat pada Tabel 3.11 dan perioda fundamental pendekatan pendekatan,  $T_a$ , sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan perioda fundamental struktur,  $T$ , dapat dihitung sesuai dengan persamaan berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.5)$$

Keterangan :

- $T_a$  = Periode fundamental pendekatan (detik)  
 $C_t$  = Faktor pengali periode pendekatan  
 $x$  = Faktor pengali periode pendekatan  
 $h_n$  = Ketinggian struktur bangunan gedung (meter)

Nilai  $C_u$ ,  $C_t$  dan  $x$  dapat diperoleh pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 berikut ini.

**Tabel 3. 3 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung**

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

Sumber : SNI 1726 (2012)

**Tabel 3. 4 Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$**

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilindungi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

Sumber : SNI 1726 (2012)

Untuk struktur yang mempunyai ketinggian tidak melebihi dari 12 tingkat dimana setiap tingkat paling sedikit 3 m diijinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan,  $T_a$ , sesuai dengan persamaan (3.6)

$$T_a = 0,1N \quad (3.6)$$

Keterangan :

$T_a$  = Periode fundamental pendekatan (detik)

$N$  = Jumlah tingkat struktur

Dari persamaan-persamaan di atas, periode fundamental struktur ( $T$ ) yang digunakan adalah sebagai berikut.

Jika  $T_c > C_u T_a$  maka digunakan  $T = C_u T_a$

Jika  $T_a < T_c < C_u T_a$  maka digunakan  $T = T_c$

Jika  $T_c < T_a$  maka digunakan  $T = T_a$

Keterangan :

$T_c$  = Periode fundamental struktur yang diperoleh dari program analisis struktur

### 3.4.10 Perhitungan Geser Dasar Seismik

Adam (2018) menyatakan bahwa gaya dasar seismik adalah total dari seluruh gaya lateral akibat gempa yang diterima oleh bangunan gedung yang sedang ditinjau dan merupakan total dari gaya lateral gempa yang diterima setiap lantainya.

Berdasarkan SNI 1726-2012 geser dasar seismik,  $V$ , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$V = C_s \cdot W \quad (3.7)$$

Keterangan :

$V$  = Gaya dasar seismik

$C_s$  = Koefisien respon seismik yang ditentukan

$W$  = Berat gravitasi total struktur gedung efektif

Koefisien respon seismic,  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan (3.8)

$$C_s = \frac{S_{ds}}{\frac{R}{I_e}} \quad (3.8)$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung pada persamaan (3.8) tidak boleh melebihi nilai  $C_s$  yang dihasilkan dengan persamaan (3.9) berikut ini.

$$C_s = \frac{S_{d1}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.9)$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung tidak boleh kurang dari nilai  $C_s$  yang dihasilkan oleh persamaan (3.10)



$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (3.10)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana  $S_I \geq 0,6g$ , maka  $C_s$ , harus tidak kurang dari persamaan (3.11)

$$C_s = \frac{0,5S_I}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.11)$$

Keterangan :

$C_s$  = Koefisien respon seismik

$S_{DS}$  = Respons spektra pada percepatan periode pendek

$S_{DI}$  = Respons spektra pada percepatan perioda 1 detik

$S_I$  = Parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan pad perioda 1

$R$  = Faktor modifikasi respon

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa

$T$  = Periode bangunan struktur (detik)

Setelah didapatkan nilai total gaya lateral yang diterima gedung maka dapat dilakukan pendistribusian beban ke setiap lantai menggunakan persamaan (3.12).

$$F_x = C_{vx}V \quad (3.12)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.13)$$

Keterangan :

$C_{vx}$  = Faktor distribusi vertikal

$V$  = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur

$w_i$  dan  $w_x$  = Bagian berat seismic efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$

$h_i$  dan  $h_x$  = tinggi dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$

$k$  = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur dengan ketentuan sebagai berikut.

Struktur dengan perioda  $\leq 0,5$  detik maka nilai  $k = 1$

Struktur dengan perioda  $\geq 2,5$  detik maka nilai  $k = 2$

Struktur dengan perioda  $0,5 < T < 2,5$  nilai  $k$  perlu dilakukan interpolasi linear antara 1 dan 2

### 3.4.11 Prosedur Analisis

Penentuan prosedur analisis beban gempa yang digunakan dalam desain berdasarkan SNI 1726-2012 dapat dilihat pada Tabel 3.12

**Tabel 3.5 Prosedur Analisis yang Boleh Digunakan**

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen Pasal 7.8	Analisis Spektrum Respons Ragam Pasal 7.9	Prosedur Riwayat Respons Seismik Pasal 11
B,C	Bangunan Dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II, dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I
D,E,F	Bangunan dengan Kategori Risiko I atau II dari konstruksi rangka ringan dengan ketinggian tidak melebihi 3 tingkat	I	I	I
	Bangunan lainnya dengan Kategori Risiko I atau II dengan ketinggian tidak melebihi 2 tingkat	I	I	I
	Struktur beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan semua struktur dari konstruksi rangka ringan	I	I	I
	Struktur tidak beraturan dengan $T < 3,5T_s$ dan mempunyai hanya ketidakaturan horisontal Tipe 2, 3, 4, atau 5 dari <b>Tabel 10</b> atau ketidakaturan vertikal Tipe 4, 5a, atau 5b dari <b>Tabel 11</b>	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I
Catatan : Diiijinkan, TI : Tidak Diiijinkan				

Sumber : SNI 1726 (2012)

### 3.4.12 Partisipasi Massa

Berdasarkan pasal 7.9.1 SNI 1726-2012 analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit (minimal) 90% dari massa aktual.

### 3.4.13 Kombinasi Ragam

Berdasarkan pasal 7.9.3 SNI 1726-2012, nilai untuk masing-masing yang ditinjau, yang dihitung untuk berbagai ragam, harus dikombinasikan dengan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS) atau metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC). Metode CQC harus digunakan untuk masing-masing nilai ragam berjarak dekat, begitu sebaliknya metode SRSS digunakan untuk masing-masing ragam yang berjarak jauh.

### 3.5 Kombinasi Beban untuk Metoda Ultimit

Pada SNI 1726-2012 pasal 4.2.2 dijelaskan bahwa komponen-komponen struktur, dan elemen-elemen fondasi harus didesain hingga kekuatannya sama atau melebihi dari pengaruh-pengaruh beban terfaktor. Maka dari itu, untuk mencapai kuat rencana yang demikian maka dapat didesain dengan kombinasi-kombinasi beban sebagai berikut.

1.  $1,4D$  (3. 14)
2.  $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$  (3. 15)
3.  $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$  (3. 16)
4.  $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$  (3. 17)
5.  $1,2D + 1,0E + L$  (3. 18)
6.  $0,9D + 1,0W$  (3. 19)
7.  $0,9D + 1,0E$  (3. 20)

Keterangan :

D : berat sendiri dari semua bagian struktur bangunan yang terpasang dan bersifat tetap termasuk elemen-elemen non struktur antara lain dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*

L : beban yang diakibatkan oleh penggunaan dari gedung oleh penghuni gedung

Lr : beban hidup atap atap

R : beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air

E : beban gempa

W : beban angin

Pengaruh beban gempa ( $E$ ) pada kombinasi di atas mempunyai definisi khusus dan pengaruh sebagai berikut.

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 atau persamaan (3.18), beban gempa ( $E$ ) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$E = E_h + E_v \quad (3.21)$$

2. Untuk penggunaan kombinasi 7 atau persamaan (3.7), beban gempa ( $E$ ) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$E = E_h - E_v \quad (3.22)$$

Ketereangan :

$E$  = Pengaruh beban gempa

$E_h$  = Pengaruh beban gempa horizontal

$E_v$  = Pengaruh beban gempa vertikal

Pengaruh beban gempa horizontal,  $E_h$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

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

Keterangan :

$Q_E$  = Pengaruh gaya gempa horizontal dari  $V$  dan  $F_p$ .

$\rho$  = Faktor Redundansi

Pengaruh beban gempa vertical,  $E_v$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

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

Keterangan :

$S_{DS}$  = Parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda pendek.

$D$  = Pengaruh beban mati.

Kombinasi dasar sebagai desain kekuatan dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$a. \quad (1,2 + 0,2S_{DS})D + \rho Q_E + L \quad (3.25)$$

$$b. \quad (0,9 - 0,2S_{DS})D + \rho Q_E + 1,6H \quad (3.26)$$

3. Dari pengaruh beban gempa (E) di atas, kombinasi beban yang digunakan adalah sebagai berikut.

- a.  $1,4D$
- b.  $1,2D + 1,6L$
- c.  $(1,2 + 0,2 S_{DS})D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y + L$
- d.  $(1,2 + 0,2 S_{DS})D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y + L$
- e.  $(1,2 + 0,2 S_{DS})D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y + L$
- f.  $(1,2 + 0,2 S_{DS})D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y + L$
- g.  $(1,2 + 0,2 S_{DS})D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y + L$
- h.  $(1,2 + 0,2 S_{DS})D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y + L$
- i.  $(1,2 + 0,2 S_{DS})D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y + L$
- j.  $(1,2 + 0,2 S_{DS})D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y + L$
- k.  $(0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
- l.  $(0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y$
- m.  $(0,9 - 0,2 S_{DS})D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y$
- n.  $(0,9 - 0,2 S_{DS})D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y$
- o.  $(0,9 - 0,2 S_{DS})D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y$
- p.  $(0,9 - 0,2 S_{DS})D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y$
- q.  $(0,9 - 0,2 S_{DS})D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$
- r.  $(0,9 - 0,2 S_{DS})D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y$

### 3.6 Redundansi

Berdasarkan SNI 1726-2012 faktor redundansi,  $\rho$ , harus digunakan dalam sistem penahan gaya gempa. Faktor redundansi merupakan faktor yang digunakan dalam perhitungan kombinasi dasar pada persamaan (3.25) dan persamaan (3.26). Menurut SNI 1726-2012 faktor redundansi terbagi atas 2 jenis, antara lain sebagai berikut.

1. Kondisi dimana nilai,  $\rho$  adalah 1,0

Nilai  $\rho$  diijinkan menggunakan 1,0 dalam hal-hal sebagai berikut.

- a. Struktur dirancang untuk kategori desain seismic B atau C.

- b. Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta.
  - c. Desain komponen nonstruktural.
  - d. Desain struktur non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung.
  - e. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan.
  - f. Struktur dengan sistem peredaman.
  - g. Desain dinding structural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.
2. Faktor redundansi,  $\rho$ , untuk kategori desain seismik D sampai F
- Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, dan F,  $\rho$  harus sama dengan 1,3 kecuali jika salah satu dari dua kondisi berikut dapat dipenuhi, maka diijinkan digunakan nilai  $\rho$  sebesar 1,0.
- a. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau.
  - b. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar.

### **3.7 Ketidakberaturan Struktur Bangunan Gedung**

Ketidakberaturan struktur merupakan hal yang biasa terjadi pada saat ini dalam bangunan gedung. Pada SNI 1726-2012 struktur bangunan gedung harus diklasifikasikan sebagai beraturan atau tidak beraturan yang mana dituliskan dalam pasal 7.3.1. dan 7.3.2. Ketidakberaturan struktur dibagi menjadi dua jenis yaitu ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal.

#### **3.7.1 Ketidakberaturan Horizontal**

Ketidakberaturan horizontal yang disebutkan dalam SNI 1726-2012 memiliki 6 tipe yaitu 1a, 1b, 2, 3, 4, dan 5. Dalam SNI 1726-2012 juga disebutkan bahwa struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdaftar dalam tabel 3.6 dianggap mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik

yang terdaftar dalam Tabel 10-SNI 1726-2012 harus memenuhi pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel 3.6 berikut ini.

**Tabel 3. 6 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur**

Tipe	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal referensi	Keterangan
1a.	Ketidakberaturan Torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4	Gaya desain elemen kolektor 25% lebih besar
		7.7.3	Pemodelan 3 dimensi dan pengklasifikasian diafragma kaku ( <i>rigid</i> ) ataupun fleksibel.
		7.8.4.3	Menghitung pembesaran torsi tak terduga
		7.12.1	Batasan simpangan antar lantai
		Tabel 13	Prosedur analisis yang boleh digunakan
		12.2.2	Parameter percepatan respon
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.	7.3.3.1	Bangunan dengan kategori desain seismik E atau F tidak boleh digunakan apabila terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 1b, dan ketidakberaturan vertikal tipe 1a, 5a, atau 5b.
		7.3.3.4	Gaya desain elemen kolektor 25% lebih besar.
		7.7.3	Pemodelan 3 dimensi dan pengklasifikasian diafragma

**Lanjutan Tabel 3.6 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur**

Tipe	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal referensi	Keterangan
	Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.8.4.3	Menghitung pembesaran torsi tak terduga
		7.12.1	Batasan simpangan antar lantai
		Tabel 13	Prosedur analisis yang boleh digunakan
		12.2.2	Parameter percepatan respon
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.	7.3.3.4	Gaya desain elemen kolektor 25% lebih besar.
		Tabel 13	Prosedur analisis yang boleh digunakan
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya	7.3.3.4	Gaya desain elemen kolektor 25% lebih besar.
		Tabel 13	Prosedur analisis yang boleh digunakan



**Lanjutan Tabel 3.6 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur**

Tipe	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal referensi	Keterangan
4.	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	7.3.3.3	Menghitung beban gempa dan faktor kuat lebih
		7.3.3.4	Gaya desain elemen kolektor 25% lebih besar.
		7.7.3	Pemodelan 3 dimensi dan pengklasifikasian diafragma kaku ( <i>rigid</i> ) ataupun fleksibel.
		Tabel 13	Prosedur analisis yang boleh digunakan
		12.2.2	Parameter percepatan respon
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.	7.5.3	Kategori desain seismik C
		7.7.3	Pemodelan 3 dimensi dan pengklasifikasian diafragma
		Tabel 13	Prosedur analisis yang boleh digunakan
		12.2.2	Parameter percepatan respon

Sumber : SNI 1726 (2012)

Pada SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, ketidakberaturan horizontal akan berpengaruh pada desain struktur bangunan. Selain itu, pada setiap tipe ketidakberaturan merujuk ke dalam pasal 7.7.3 pada SNI 1726-2012 dimana pemodelan struktur harus dibuat untuk tujuan penentuan gaya elemen struktur dan perpindahan struktur yang dihasilkan dari beban yang diterapkan dan semua perpindahan pengaruh P-delta. Dalam pemodelan struktur, diafragma yang belum diklasifikasikan sebagai kaku atau fleksibel sesuai dengan pasal 7.3.1 SNI 1726-

2012 model tersebut harus merepresentasikan karakteristik kekakuan diafragma, dimana apabila diafragma dapat diidealisasikan fleksibel maupun kaku, analisa struktur harus diasumsikan pemodelan semikaku (*semirigid*). Untuk bangunan dengan kategori desain seismik D hingga F apabila mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1a, 1b, 2, 3, 4 atau ketidakberaturan struktur vertikal tipe 4 maka gaya desain elemen penahan gaya gempa harus ditingkatkan sebesar 25%. Penahan gaya gempa yang dimaksud adalah sambungan antara diafragma dengan elemen-elemen vertikal, sambungan diafragma dengan elemen kolektor, dan elemen kolektor ke sambungannya.

### 3.7.2 Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal yang disebutkan dalam SNI 1726-2012 memiliki 7 tipe yaitu 1a, 1b, 2, 3, 4, 5a dan 5b. Dalam SNI 1726-2012 juga disebutkan bahwa struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdaftar dalam tabel 3.7 dianggap mempunyai ketidakberaturan struktur vertikal. Struktur-struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik yang terdaftar dalam tabel 3.7 harus memenuhi pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

**Tabel 3. 7 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur**

Tipe	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 13	Prosedur analisis yang boleh digunakan

**Lanjutan Tabel 3.7 Ketidakberaturan vertikal pada struktur**

Tipe	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1b.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1	Bangunan dengan kategori desain seismik E atau F tidak boleh digunakan apabila terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 1b, dan ketidakberaturan vertikal tipe 1a,5a, atau 5b.
		Tabel 13	Prosedur analisis yang boleh digunakan
2.	Ketidakeraturan Berat Massa didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 13	Prosedur analisis yang boleh digunakan
3.	Ketidakeraturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.	Tabel 13	Prosedur analisis yang boleh digunakan

**Lanjutan Tabel 3.7 Ketidakberaturan vertikal pada struktur**

Tipe	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
4.	Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3	Menghitung beban gempa dan faktor kuat lebih
		7.3.3.4	Gaya desain elemen kolektor 25% lebih besar.
		Tabel 13	Prosedur analisis yang boleh digunakan
5a.	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1	Bangunan dengan kategori desain seismik E atau F tidak boleh digunakan apabila terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 1b, dan ketidakberaturan vertikal tipe 1a,5a, atau 5b.
		Tabel 13	Prosedur analisis yang boleh digunakan

**Lanjutan Tabel 3.7 Ketidakberaturan vertikal pada struktur**

Tipe	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
5b.	Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau	7.3.3.1	Bangunan dengan kategori desain seismik E atau F tidak boleh digunakan apabila terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 1b, dan ketidakberaturan vertikal tipe 1a,5a, atau 5b.
		7.3.3.2	Ketidakberaturan 5b maksimal hanya 2 tingkat atau dengan ketinggian 9m
		Tabel 13	Prosedur analisis yang boleh digunakan

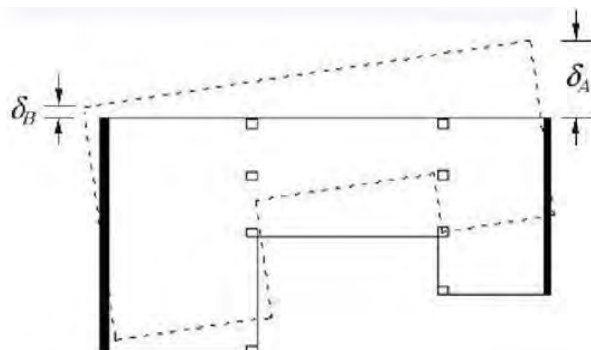
Sumber : SNI 1726 (2012)

### 3.7.3 Perhitungan Ketidakberaturan Struktur

Dalam Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 sudah disebutkan tipe-tipe ketidakberaturan struktur bangunan gedung. Ketidakberaturan struktur tersebut secara sederhana dijelaskan pada poin-poin sebagai berikut.

1. Ketidakberaturan struktur horizontal 1a dan 1b

Ketidakberaturan struktur horizontal 1a dan 1b dapat di ilustrasikan seperti Gambar 3.2 berikut ini.



**Gambar 3.2 Faktor Pembesaran Torsi,  $A_x$**

(sumber : SNI 1726, 2012)

$$\delta_{\text{rata-rata}} = \frac{\delta A + \delta B}{2} \quad (3.27)$$

$$A_x = \left[ \frac{\delta_{\text{maksimum}}}{1,2 \delta_{\text{rata-rata}}} \right]^2 \quad (3.28)$$

Dengan ketentuan sebagai berikut :

$$\delta_{\text{max}} < 1,2 \delta_{\text{avg}} \quad \rightarrow \text{Tanpa Ketidakberaturan Torsi}$$

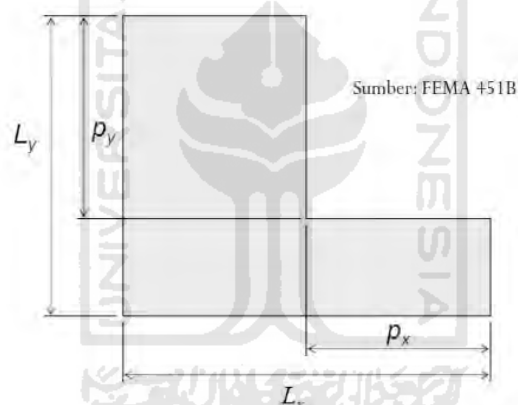
$$1,2 \delta_{\text{avg}} \leq \delta_{\text{max}} \leq 1,4 \delta_{\text{avg}} \quad \rightarrow \text{Ketidakberaturan Torsi 1a}$$

$$\delta_{\text{max}} > 1,4 \delta_{\text{avg}} \quad \rightarrow \text{Ketidakberaturan Torsi 1b}$$

Ketidakteraturan torsi 1b tidak diijinkan pada bangunan dengan kategori risiko E, G atau F

## 2. Ketidakberaturan horizontal sudut dalam

Ketidakteraturan sudut dalam ada apabila seperti keterangan dalam Gambar 3.3 berikut ini.

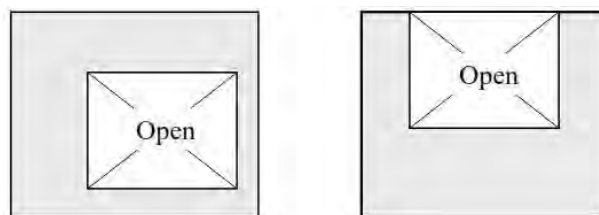


**Gambar 3.3 Ketidakberaturan sudut dalam**  
(Sumber : FEMA 451 dalam Budiono, 2011)

Ketidakteraturan sudut dalam ada apabila  $p_y > 0,15L_y$  dan  $p_x > 0,15L_x$

## 3. Ketidakberaturan horizontal diskontinuitas diafragma

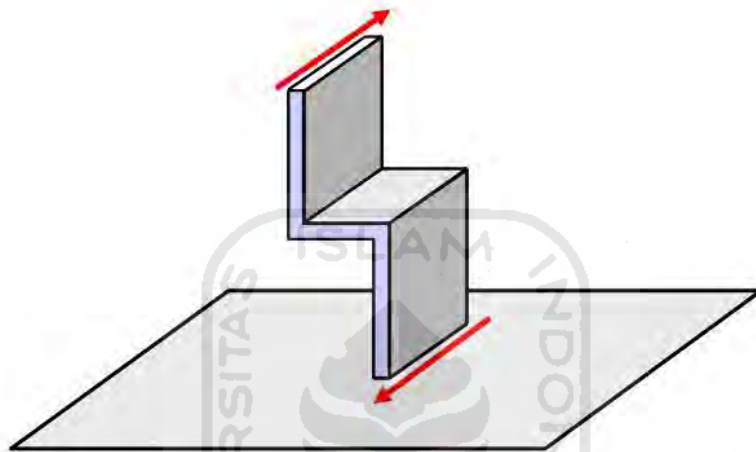
Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma ada apabila seperti keterangan dalam Gambar 3.4.



**Gambar 3.4 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma**  
(Sumber : FEMA 451 dalam Budiono, 2011)

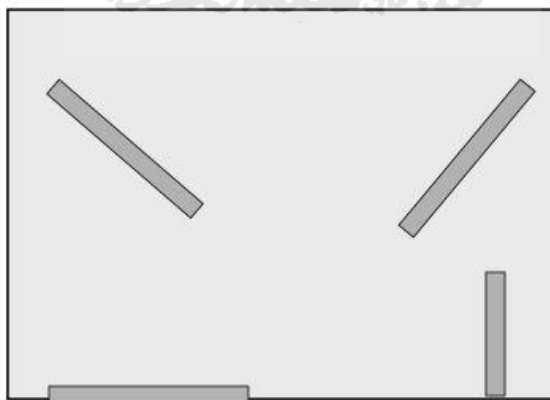
Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma terjadi apabila luas bukaan seperti pada gambar 3.6 melebihi 0.5 kali luas lantai atau bila kekakuan diafragma efektif setiap lantai mempunyai variasi yang lebih dari 50%.

4. Ketidakteraturan pergeseran melintang terhadap bidang  
Ketidakteraturan pergeseran melintang terhadap bidang dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5 Ketidakteraturan pergeseran melintang terhadap bidang**  
(Sumber : FEMA 451 dalam Budiono, 2011)

5. Ketidakteraturan sistem nonparalel  
Ketidakteraturan sistem nonparalel dapat dilihat pada Gambar 3.6.

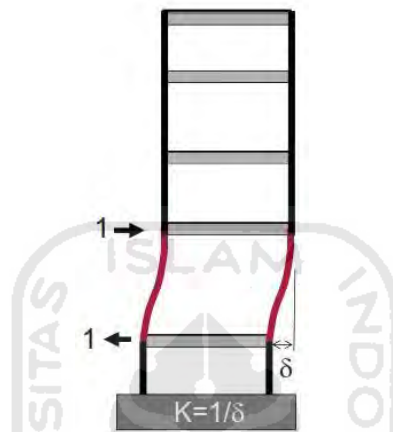


**Gambar 3.6 Ketidakteraturan sistem nonparallel**  
(Sumber : FEMA 451 dalam Budiono, 2011)

Ketidakteraturan sistem nonparalel ada apabila elemen penahan gaya lateral tidak simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa.

6. Ketidakteraturan vertikal 1a dan 1b

Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak dan kekakuan tingkat lunak berlebihan dapat dilihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7 Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak**

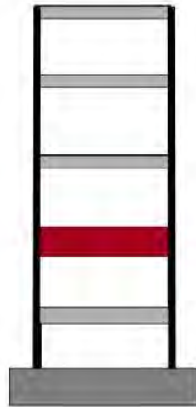
(Sumber : FEMA 451 dalam Budiono, 2011)

Ketidakteraturan vertikal 1a terjadi apabila kekakuan sebaran tingkat kurang dari 70% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Sedangkan ketidakteraturan vertikal kekakuan tingkat lunak berlebihan terjadi apabila kekakuan sebaran tingkat kurang dari 60% kekakuan tingkat di atasnya kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

7. Ketidakteraturan berat (massa)

Ketidakteraturan berat (massa) dapat dilihat pada Gambar 3.8.



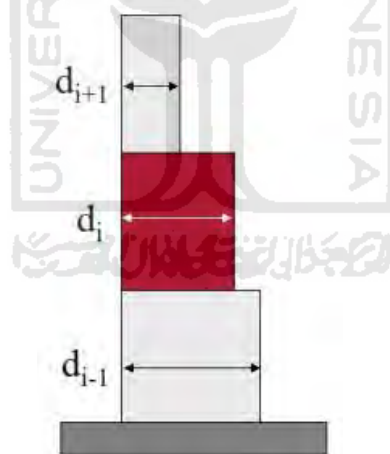


**Gambar 3.8 Ketidakberaturan Berat (massa)**  
(Sumber : FEMA 451 dalam Budiono, 2011)

Ketidakberaturan ini terjadi apabila massa efektif sebaran tingkat lebih dari 150% masa efektif tingkat yang berdekatan.

8. Ketidakberaturan vertikal geometri vertikal

Ketidakberaturan vertikal geometri dapat dilihat pada Gambar 3.9.

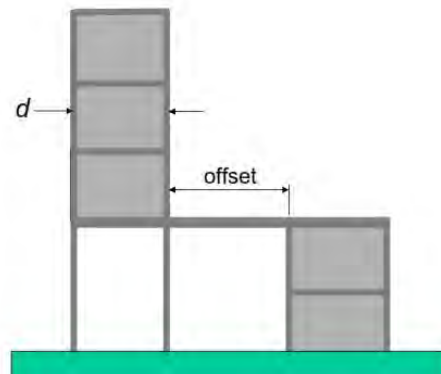


**Gambar 3.9 Ketidakberaturan Geometri Vertikal**  
(Sumber : FEMA 451 dalam Budiono, 2011)

Ketidakberaturan geometri vertikal terjadi apabila dimensi sistem penahan beban lateral pada sebaran tingkat lebih dari 130% dimensi pada sebaran tingkat yang berada di dekatnya.

9. Ketidakberaturan vertikal diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal

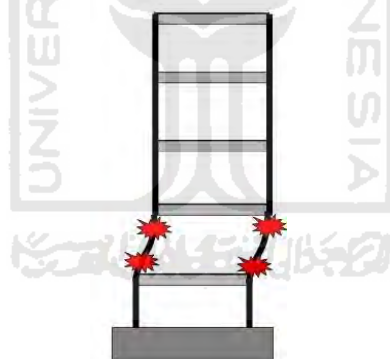
Ketidakberaturan vertikal tipe 4 ini dapat dilihat pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10 Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal**  
(Sumber : FEMA 451 dalam Budiono, 2011)

Ketidakteraturan ini terjadi apabila terdapat pergeseran (offset) elemen penahan yang lebih besar dari lebar ( $d$ ) elemen tersebut atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan pada tingkat dibawahnya.

10. Ketidakteraturan vertikal 5a dan 5b



**Gambar 3.11 Ketidakteraturan vertikal tipe 5a dan 5b**  
(Sumber : FEMA 451 dalam Budiono, 2011)

Ketidakteraturan 5a terjadi apabila kuat lateral sebaran tingkat kurang dari 80% kuat tingkat diatasnya. Sedangkan ketidakberaturan 5b terjadi apabila kuat lateral sebaran tingkat kurang dari 65% kuat tingkat di atasnya.

### 3.8 Fleksibilitas Difragma

Dalam SNI 1726-2012 diminta dalam Analisa struktur harus memperhitungkan kekakuan relatif diafragma dan elemen vertikal sistem penahan gaya gempa. Kecuali jika diafragma telah diidealisasikan baik fleksibel ataupun

kaku sesuai dengan pasal 7.3.1.1, 7.3.1.2, atau 7.3.1.3 sesuai dengan SNI maka analisis struktur harus secara langsung menyertakan peninjauan kekakuan diafragma (yaitu, asumsi pemodelan semi kaku).

Adapun kondisi-kondisi diafragma yang disebutkan dalam SNI 1726-2012 antara lain kondisi diafragma fleksibel, kondisi diafragma kaku, dan kondisi diafragma fleksibel yang dihitung.

### **3.8.1 Kondisi Diafragma Fleksibel**

Diafragma fleksibel pada kondisi ini dapat ditinjau pada diafragma yang terbuat dari dek baja atau panel struktur kayu tanpa diberi penutup (*topping*) beton yang memenuhi kondisi dibawah ini antara lain.

1. Struktur dimana elemen vertikal adalah rangka baja dengan bresing, rangka baja dan beton komposit dengan bresing, atau dinding geser beton, batu-bata, baja, atau dinding geser bajadan beton komposit
2. Bangunan hunian satu atau dua lantai.
3. Struktur rangka ringan, dimana kondisi dibawah ini terpenuhi
  - a. Penutup beton atau material yang sama tidak ditempatkan diatas panel diafragma kayu kecuali untuk penutup nonstructural dengan tebal tidak lebih dari 38 mm.
  - b. Setiap elemen vertikal dari sistem penahan gaya gempa memenuhi syarat tingkat simpangan antar lantai pada Tabel 3.8

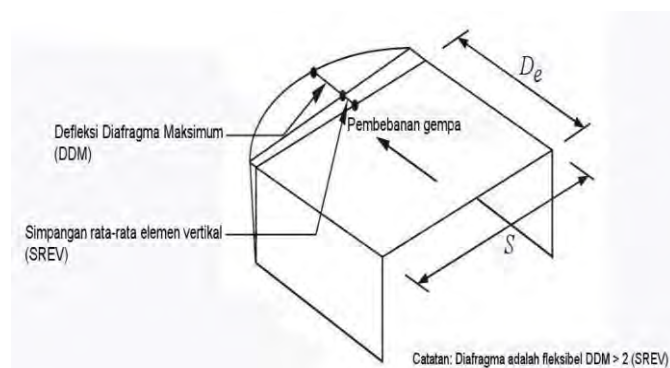
Tabel 3. 8 Simpangan antar lantai ijin  $\Delta_a^{a,b}$ 

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan system dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0.025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber : SNI 1726 (2012)

### 3.8.2 Kondisi Diafragma Kaku

Diafragma pelat beton atau dek metal yang diberi penutup (*topping*) beton yang mempunyai hasil perbandingan antara S dan De tidak lebih dari sama dengan 3 maka dapat diidealisasikan sebagai diafragma kaku. S dan De dapat dilihat pada Gambar 3.12 Definisi S dan De



Gambar 3. 12 Definisi S dan De  
(Sumber : SNI 1726, 2012)

### 3.8.3 Kondisi Diafragma Fleksibel yang Dihitung

Diafragma yang tidak memenuhi kondisi diafragma fleksibel maupun kaku maka dapat diidealisasikan sebagai diafragma fleksibel apabila defleksi diafragma maksimum (DDM) arah bidang yang dihitung akibat beban lateral menghasilkan nilai lebih dari 2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata.

### 3.9 Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.4.3 gedung yang memiliki ketidakberaturan horizontal khususnya ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b dan dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan momen torsi tak terduga ( $M_{ta}$ ) di setiap tingkat dengan faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ) yang didapat pada persamaan (3.29). Pembesaran torsi ( $A_x$ ) digambarkan pada Gambar 3.13.

$$A_x = \left( \frac{\delta_{max}}{1,2 \delta_{avg}} \right)^2 \quad (3.29)$$

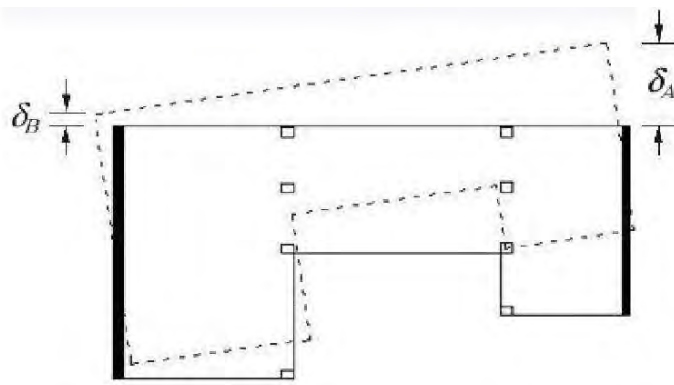
Keterangan :

$A_x$  = Faktor Pembesaran Torsi

$\delta_{max}$  = Perpindahan maksimum di tingkat  $x$  (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan  $A_x = 1$  (mm)

$\delta_{avg}$  = Rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat  $x$  yang dihitung dengan mengasumsikan  $A_x = 1$  (mm)

Faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ), tidak disyaratkan melebihi 3,0.



**Gambar 3.13 Faktor Pembesaran Torsi,  $A_x$**   
(Sumber : SNI 1726, 2012)

Keterangan :

$$\delta_{rata-rata} = \frac{\delta A + \delta B}{2} \quad (3.30)$$

$$A_x = \left[ \frac{\delta_{maksimum}}{1,2 \delta_{rata-rata}} \right]^2 \quad (3.31)$$

### 3.10 Peningkatan Gaya Akibat Ketidakberaturan Struktur

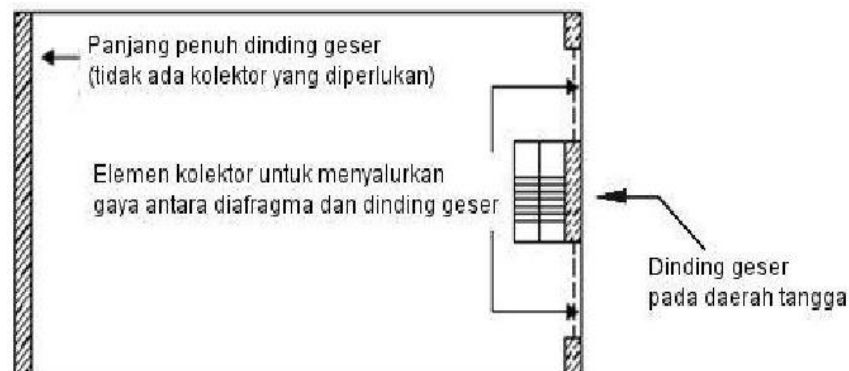
Berdasarkan SNI 1726-2012 didalam Tabel 10-ketidakberaturan struktur horizontal pada referensinya merujuk kepada pasal 7.3.3.4 berkaitan dengan peningkatan gaya akibat ketidakberaturan. Pada pasal tersebut menjelaskan bahwa struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F yang mempunyai ketidakberaturan horizontal tipe 1a, 1b, 2, 3, atau 4 atau dengan ketidakberaturan vertikal tipe 4 maka gaya desain pada subab 3.11 mengenai gaya desain diafragma harus ditingkatkan 25% untuk elemen-elemen penahan gaya gempa. Elemen-elemen tersebut antara lain sebagai berikut.

1. Sambungan antara diafragma dengan elemen-elemen vertikal dan dengan elemen-elemen kolektor.
2. Elemen kolektor dan sambungannya, termasuk sambunga-sambungannya ke elemen, dari sistem penahan gaya gempa.

#### 3.10.1 Elemen Kolektor

Hafifah (2018) menyatakan elemen kolektor merupakan elemen tarik atau tekan yang mengumpulkan gaya geser dari diafragma dan menyalurkan gaya ke elemen vertikal. Kolektor sendiri dapat berupa balok atau zona yang diberi tulangan di dalam pelat lantai.

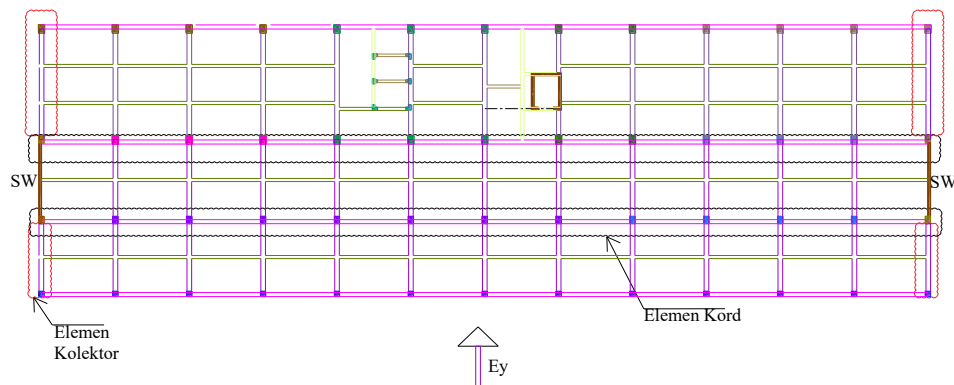
Menurut SNI 1726-2012 pasal 8.7.3 elemen kolektor harus disediakan sebagai penyalur gaya gempa yang berasal dari bagian struktur lain ke elemen yang menyediakan tahanan terhadap gaya tersebut. Elemen kolektor dapat dilihat pada Gambar 3.14.



**Gambar 3. 14 Elemen Kolektor**  
(Sumber: SNI 1726, 2012)

Budiono, dkk (2016) menyatakan bahwa untuk lantai yang terkena ketidakberaturan horizontal tipe 1a, harus diidentifikasi elemen yang menjadi balok kolektor. Untuk mengidentifikasi elemen kolektor, metode yang dilakukan adalah mengubah semua elemen balok menjadi elemen kolom untuk mencari gaya-gaya aksial pada balok-balok lantai.

Elemen-elemen yang menyerap gaya aksial cukup besar akibat gaya lateral gempa akan didesain sebagai elemen kolektor. Perhitungan langsung dilakukan dengan membandingkan nilai  $P_u > 0,1A_gf_c$ , maka elemen tersebut merupakan elemen kolektor begitu juga sebaliknya, apabila nilai  $P_u < 0,1 A_gf_c$ , maka tidak terdapat elemen kolektor. Perhitungan kebutuhan tulangan kolektor sama seperti perhitungan kebutuhan tulangan lentur kolom yaitu dengan memasukkan gaya momen dan gaya aksial ke dalam diagram  $M_u-P_u$  balok kolektor. Perhitungan kebutuhan tulangan balok kolektor dapat dilihat pada subab 5.11. Berdasarkan keterangan gambar 3.14 maka balok kolektor dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 3.15, dan diimplementasikan pada subab 5.11 gambar 5.28, gambar 5.29, gambar 5.30, gambar 5.31, gambar 5.32, gambar 5.33, dan gambar 5.34.

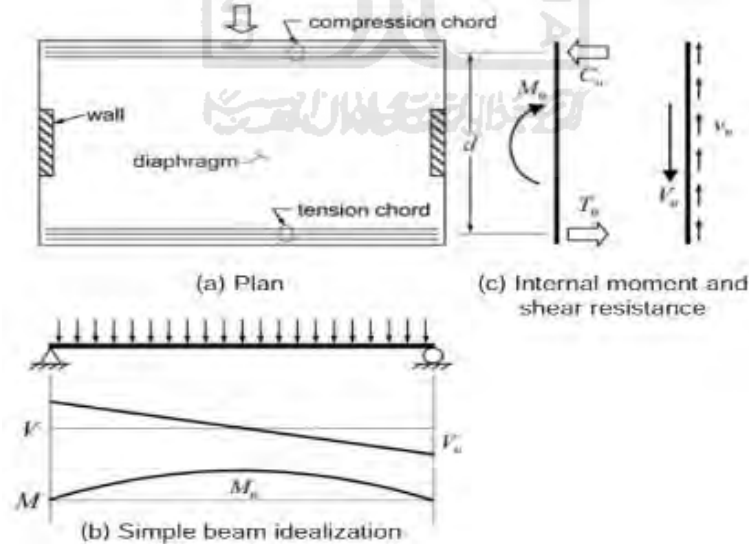


**Gambar 3. 15 Ilustrasi Balok Kolektor terhadap Beban Gempa yang Terjadi**

### 3.10.2 Elemen Kord

Hafifah (2018) menyatakan bahwa kord merupakan elemen struktur dapat berupa balok atau pelat lantai yang berada pada tepi bangunan sebagai penahan gaya tarik dan tekan akibat adanya gaya gempa pada diafragma. Perhitungan tulangan tarik kord yang terkonsentrasi dekat dengan tepi diafragma dengan nilai  $\phi = 0,9$  dapat diperoleh dengan persamaan (3.32). Untuk lebih jelasnya tulangan elemen kord dapat dilihat pada Gambar 3.16

$$A_s = \frac{1T_u}{\phi f_y} \quad (3.32)$$



**Gambar 3.16 Elemen Kord**

(Sumber : Steven, 2018)

Pengecekan kemampuan geser diafragma juga dilakukan dengan membandingkan gaya geser diafragma yang terjadi dengan gaya geser beton



diafragma. Budiono, dkk (2017) menyatakan bahwa diafragma yang memerlukan tulangan geser, gaya yang terjadi pada persamaan 3.33 lebih besar dari gaya geser beton pada persamaan 3.34.

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \quad (3.33)$$

Tidak boleh melebihi dari persamaa berikut.

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad (3.34)$$

Apabila diafragma memerlukan tulangan geser, maka diafragma dapat ditahan dengan memasang baja tulangan di dalam bentang pelat diafragma yang ditinjau. Buldinski (1999) dalam Modul Praktikum Bahan Teknik I (2011) menyatakan bahwa untuk mendapatkan kekuatan geser bahan yang baik dari literatur agaklah sulit, dalam hal ini dapat digunakan persamaan konservatif sebagai berikut.

$$\text{Kuat geser baja} = 40\% \text{Kekuatan tarik} \quad (3.35)$$

Perhitungan tulangan geser diafragma dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_s = V_n - V_c \quad (3.36)$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_u \cdot d}{s} \quad (3.37)$$

### 3.10.3 Identifikasi Elemen Kolektor dan Kord di Gedung RSA UII

Berdasarkan penjelasan pada subab 3.7, subab 3.10.1, dan subab 3.10.2, apabila gedung RSA UII terdapat ketidakberaturan struktur pada bangunannya yang dianalisis pada subab 5.8, maka gaya desain diafragma perlu diperbesar 25%. Hal tersebut berakibat pada penambahan jumlah tulangan pada elemen balok dan elemen pelat, sehingga identifikasi elemen kord dan kolektor perlu dilakukan. Perletakan elemen kord dan kolektor sudah dijelaskan pada subab 3.10.1 gambar 3.14 dan subab 3.10.2 gambar 3.16, maka dapat diidentifikasi elemen mana saja yang berpotensi menjadi elemen kord dan kolektor pada gedung yang di analisis.

Diskusi lebih lanjut mengenai identifikasi ketidakberaturan struktur dan elemen struktur yang berpotensi menjadi elemen kolektor dan kord dapat dilihat pada subab 5.8, subab 5.11 dan subab 5.12.

### 3.11 Gaya Desain Diafragma

Sesuai dengan SNI 1726-2012 pasal 7.10.1.1 diafragma lantai dan atap harus didesain untuk menahan gaya gempa desain dari analisis struktur, tetapi tidak boleh kurang dari yang ditentukan sesuai dengan persamaan (3.38).

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n W_i} W_{px} \quad (3.38)$$

Keterangan :

$F_{px}$  = Gaya desain diafragma

$F_i$  = Gaya desain yang diterapkan di tingkat  $i$

$w_i$  = Tributari berat sampai tingkat  $i$

$w_{px}$  = Tributari berat sampai diafragma di tingkat  $i$

Gaya yang ditentukan dari persamaan (3.38) di atas tidak boleh kurang dari persamaan (3.39)

$$F_{px} = 0,2S_{DS}I_eW_{px} \quad (3.39)$$

Dan tidak boleh melebihi dari persamaan (3.40)

$$F_{px} = 0,4S_{DS}I_eW_{px} \quad (3.40)$$

Steven (2018) menyatakan bahwa gaya desain diafragma diterapkan pada tiap-tiap nodal sesuai dengan bobot masa masing-masing nodal. Gaya tersebut dievaluasi dengan memberikan gaya  $F_{px}$  pada lantai yang ditinjau saja, bukan mengaplikasikan  $F_{px}$  pada semua lantai secara bersamaan. Berikut persamaan yang digunakan untuk mengiput nilai  $F_{px}$  kedalam analisa struktur.

$$\text{Gaya Pada Nodal} = \frac{\text{Massa Nodal}}{\text{Massa Total Nodal pada Lantai } X} \times F_{px} \quad (3.41)$$

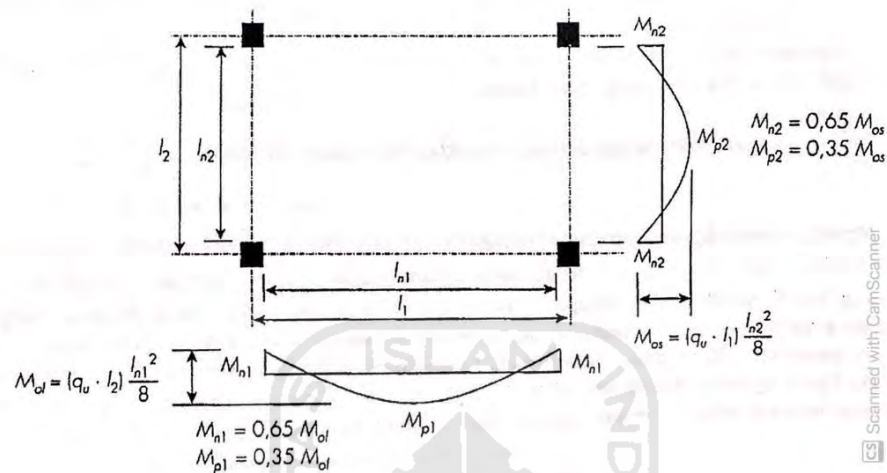
Diskusi lengkap mengenai desain diafragma pada Gedung RSA UII dijelaskan pada subab 5.9.

### 3.12 Pelat Lantai

Pada umumnya bangunan bertingkat menggunakan beton bertulang sebagai sistem lantai maupun atapnya. Pelat atau slab beton bertulang merupakan lantai tingkat yang berfungsi sebagai pembatas antara tingkat yang satu dengan tingkat yang lainnya. Pelat sendiri menerima beban akibat dari pemakain gedung yang nantinya diteruskan ke balok oleh tulangan-tulangan pelat lantai.

### 3.12.1 Nilai Momen

Berdasarkan SNI 2847-2013 nilai momen dapat dihitung secara langsung menggunakan metode perencanaan langsung. Perhitungan distribusi nilai momen yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.19



**Gambar 3. 17 Distribusi Momen Pelat**  
(Sumber : Setiawan, 2016)

Dari gambar di atas maka didapat rumus untuk momen total arah Panjang pelat adalah sebagai berikut.

$$M_{0l} = (q_u \cdot l_2) \frac{l_{n1}^2}{8} \quad (3.42)$$

Keterangan :

$M_{0l}$  : Momen total statik arah panjang (kN.m)

$q_u$  : Beban ultimit pelat (kN)

$l_2$  : Panjang bentang pendek (m)

$l_{n1}$  : Panjang bersih bentang Panjang (m)

$$M_{02} = (q_u \cdot l_1) \frac{l_{n2}^2}{8} \quad (3.43)$$

Keterangan :

$M_{02}$  : Momen total statik arah pendek (kN.m)

$q_u$  : Beban ultimit pelat (kN)

$l_1$  : Panjang bentang penjang (m)

$l_2$  : Panjang bersih bentang pendek (m)

Besar  $M_o$  terbagi menjadi momen positif di tengah bentang dan momen negatif pada tumpuan, dimana besarnya adalah sebagai berikut.

$$\text{Momen terfaktor negatif} = 0,65.M_o \quad (3.44)$$

$$\text{Momen terfaktor positif} = 0,35.M_o \quad (3.45)$$

Momen total terfaktor yang didapat dari perhitungan di atas harus didistribusikan ke kedua buah lajur kolom dan kedua lajur tengah. Besarnya distribusi momen tersebut merupakan fungsi dari rasio  $l_2/l_1$  dan  $\alpha_f$ , adalah sebagai berikut.

$$\alpha_f = \frac{E_{cb}.I_b}{E_{cs}.I_s} \quad (3.46)$$

Keterangan :

$\alpha_f$  : Rasio keakuan balok dan pelat

$E_{cb}$  : Modulus elastisitas balok beton

$E_{cs}$  : Modulus elastisitas pelat beton

$I_b$  : Inersia balok

$I_c$  : Inersia pelat

Berdasarkan SNI 2847-2013 rasio yang dihitung di atas untuk menentukan persentase momen pada lajur kolom seperti pada Tabel 3.16

**Tabel 3. 9 Persentase Momen pada Lajur Kolom**

	$\alpha_f.l_2/l_1$	Rasio $l_2/l_1$		
		0,5	1,0	2,0
Momen negatif tumpuan dalam	0	75	75	75
	$\geq 1,0$	90	75	45
Momen positif ditengah bentang	0	60	60	60
	$\geq 1,0$	90	75	45

Sumber : SNI 2847 (2013)

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 13.6.5 Persentase yang didapat dari Tabel 3.16 selanjutnya didistribusikan ke balok sebesar 85%.

### 3.12.2 Tulangan Pokok pada Pelat

Setiawan (2016) menyatakan bahwa luas tulangan lentur setiap momen negatif dan positif dapat dihitung dengan cara yang sama seperti pada persamaan berikut.

$$M_u = R_u \cdot b \cdot d^2 \quad (3.47)$$

$$R_u = \phi \rho \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f_c}\right) \quad (3.48)$$

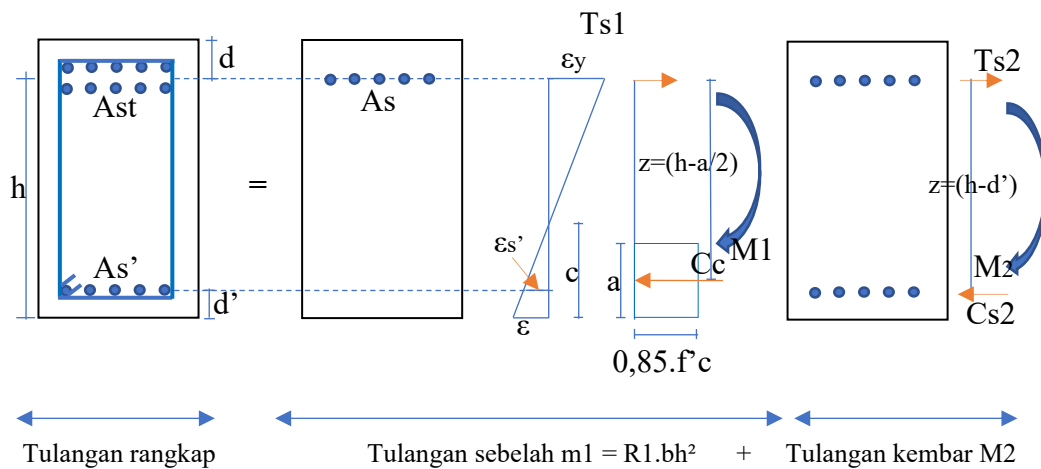
### 3.13 Balok

Balok merupakan salah satu elemen struktur portal yang kaku dengan bentang arah horizontal. Balok berfungsi menyalurkan beban yang diterima oleh pelat lantai dan diteruskannya ke kolom. Beban yang bekerja pada balok tidak hanya beban mati dan beban hidup saja, melainkan beban lateral seperti beban angin dan beban gempa. Gaya dalam yang dominan terjadi pada balok adalah gaya lentur, geser sehingga memerlukan baja tulangan untuk menahan gaya-gaya tersebut. Berikut langkah-langkah dalam perencanaan tulangan pada balok.

#### 3.13.1 Perencanaan Balok Tulangan Rangkap

Adam (2018) menyatakan bahwa prinsip-prinsip perhitungan desain tulangan rangkap pada balok tahan gempa adalah sebagai berikut dibawah ini dan dekomposisi tulangan rangkap dapat dilihat pada Gambar 3.22.

1. Tulangan rangkap dekomposisi menjadi tulangan sebelah dan tulangan kembar.
2. Dekomposisi dilakukan dengan mengatur nilai R sedemikian rupa sehingga jumlah dan komposisi tulangan mampu mengerahkan kekuatan yang diperlukan momen negatif dan momen positif.
3. Desain dilakukan sedemikian rupa sehingga memenuhi kekuatan yang diharapkan tetapi dicapai se-ekonomis mungkin.



**Gambar 3. 18 Dekomposisi Tulangan Rangkap**

(Sumber : Widodo, 2013 dalam Adam, 2018)

Perhitungan luas tulangan yang diperlukan pada balok dijelaskan sebagaimana berikut.

1. Menghitung nilai  $\rho_b$  dan  $m$

$$\rho_b = \frac{\beta}{m} \left( \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} \right) \quad (3.49)$$

$$m = \left( \frac{f_y}{0,85.f_c} \right) \quad (3.50)$$

Keterangan :

$\rho_b$  : perbandingan luasan tulangan beton dengan luas balok beton  
(Balance)

$m$  : perbandingan kuat tarik baja tulangan dan kuat tekan beton efektif

$\beta$  : konstanta yang tergantung dari kuat tekan beton

$\varepsilon_{cu}$  : regangan beton, nilainya dapat diambil sebesar 0,003

$\varepsilon_y$  : regangan baja tulangan, nilainya merupakan perbandingan kuat tarik baja tulangan dengan modulus elastisitas

$f_y$  : kuat tarik baja tulangan (N/mm<sup>2</sup>)

$f_c$  : kuat tekan beton (N/mm<sup>2</sup>)

2. Menghitung nilai momen nominal

$$Mn = \frac{Mu}{\phi_{lentur}}$$

Keterangan :

$M_n$  : momen nominal balok beton bertulang (kN.m)

$M_u$  : momen *ultimate* balok beton bertulang (kN.m)

$\phi_{lentur}$  : faktor reduksi kekuatan balok beton bertulang

3. Menghitung nilai  $R_b$  dengan persamaan berikut ini.

$$R_b = \rho b \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1}{2} (\rho b \cdot m)\right) \quad (3.51)$$

Keterangan :

$R_b$  : faktor pengali nilai momen nominal tulangan tunggal (*balance*)

$\rho b$  : perbandingan luas tulangan balok dengan luas balok beton (*balance*)

$f_y$  : kuat tarik baja tulangan (N/mm<sup>2</sup>)

$m$  : perbandingan kuat tarik baja tulangan dengan kuat tekan beton

4. Menghitung nilai  $R_l$  dan  $M_l$

$$R_l = n \cdot R_b \quad (3.52)$$

$$M_l = R_l \cdot B \cdot H^2 \quad (3.53)$$

Keterangan :

$R_l$  : faktor pengali nilai momen nominal tulangan tunggal

$M_l$  : momen nominal tulangan tunggal (N.mm)

$B$  : lebar balok beton bertulang (mm)

$H$  : tinggi balok beton bertulang (mm)

5. Mencari nilai  $a$  dan  $c$  dari persamaan  $M_l$

$$M_l = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(h - \frac{a}{2}\right) \quad (3.54)$$

Keterangan :

$M_l$  : momen nominal balok tulangan tunggal (N.mm)

$f'_c$  : kuat tekan beton bertulang (N/mm<sup>2</sup>)

$a$  : tinggi efektif tekan beton (mm)

$b$  : lebar balok beton bertulang (mm)

$h$  : tinggi efektif balok beton bertulang (mm)

6. Menghitung nilai  $A_{s1}$  perlu kemudian mencari  $A_{s1}$  pakai untuk mendapatkan nilai  $a$  dan  $c$  pakai sehingga bisa mendapatkan  $M_l$  pakai dengan persamaan berikut.

$$A_{s1} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \quad (3.55)$$

*Keterangan :*

$As1$  : luas tulangan tunggal balok beton ( $\text{mm}^2$ )

$f'c$  : kuat tekan beton bertulang ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$f_y$  : kuat tarik baja tulangan ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$a$  : tinggi efektif tekan beton (mm)

$b$  : lebar balok beton bertulang (mm)

7. Menghitung nilai  $M2$  dengan persamaan berikut.

$$M2 = Mn - M1 \quad (3.56)$$

*Keterangan :*

$M2$  : momen nominal tulangan kembar (N.mm)

$M1$  : momen nominal tulangan tunggal (N.mm)

$Mn$  : Momen nominal balok beton bertulang (N.mm)

8. Menghitung kebutuhan tulangan kembar  $As2$  dari persamaan  $Ts2$

$$Ts2 = \frac{M2}{h-d} \quad (3.57)$$

$$As2 = \frac{Ts2}{f_s} \quad (3.58)$$

*Keterangan :*

$Ts2$  : kuat tarik baja tulangan kembar (N)

$As2$  : luas tulangan perlu tulangan tunggal ( $\text{mm}^2$ )

$h$  : tinggi efektif balok (mm)

$d'$  : jarak tepi balok dengan titik berat tulangan tekan (mm)

### 3.13.2 Tulangan Geser pada Balok

Berdasarkan pasal 11.1.1 SNI 2847-2013 desain penampang yang dikenai geser harus didasarkan persamaan berikut.

$$\phi Vn \geq Vu \quad (3.59)$$

*Keterangan :*

$Vn$  : gaya geser nominal balok (N)

$Vu$  : gaya geser *ultimate* balok (N)

$Vu$  merupakan gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan  $Vn$  adalah kekuatan geser nominal yang dihitung dengan persamaan berikut.



$$V_n = V_c + V_s \quad (3.60)$$

Keterangan :

$V_n$  : gaya geser nominal balok (N)

$V_c$  : kemampuan yang dimiliki balok beton untuk menahan geser (N)

$V_s$  : gaya geser yang tidak mampu ditahan oleh balok beton (N)

Perhitungan nilai  $V_c$  digunakan dengan persamaan berikut ini.

$$V_c = \frac{1}{6} \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3.61)$$

Keterangan :

$V_c$  : kemampuan yang dimiliki balok beton untuk menahan geser (N)

$\lambda$  : faktor pengali, untuk beton normal dapat diambil satu

$f'_c$  : kuat tekan beton bertulang (N/mm<sup>2</sup>)

$b_w$  : lebar efektif balok beton (mm)

$d$  : tinggi efektif balok beton (mm)

Penentuan nilai  $V_s$  dapat diambil dengan persamaan 3.63 sesuai dengan SNI 1726-2012 berikut ini.

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{s} \quad (3.62)$$

Keterangan :

$V_s$  : gaya geser yang tidak mampu ditahan oleh balok beton (N)

$A_v$  : luas tulangan Sengkang (mm<sup>2</sup>)

$f_{yt}$  : kuat tarik baja tulangan polos (N/mm<sup>2</sup>)

$d$  : tinggi efektif balok beton bertulang (mm)

$s$  : jarak antar tulangan Sengkang (mm)

### 3.16 Kolom

Ismawanto (2019) menyatakan bahwa kolom merupakan elemen struktur yang bertugas menahan beban tekan aksial. Kegagalan kolom akan mengakibatkan runtuhnya komponen struktur yang berhubungan dengan kolom tersebut. Berdasarkan SNI 2847-2013, ketentuan perencanaan kolom diatur dalam pasal 21.6, berikut penjelasannya.

#### 1. Kekuatan Kolom Pendek yang Dibebeani Secara Sentris

Kekuatan kolom pendek yang dibebani secara sentris dihitung sebagai berikut.

$$P_o = 0,85.f'c.(A_g - A_{st}) + A_{st}.f_y \quad (3.63)$$

Keterangan :

$P_o$  : beban aksial (N)

$A_g$  : luas total penampang kotor (mm<sup>2</sup>)

$A_{st}$  : luas total baja tulangan (mm<sup>2</sup>)

#### 2. Kekuatan Kolom Pendek yang Dibebeani Secara Eksentris

##### a. Kondisi Balance

Kondisi balance adalah kondisi dimana regangan desak beton mencapai regangan ultimit. Persamaan gaya yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$P_b = C_c + C_s - T_s \quad (3.64)$$

$$C_c = 0,85.f'c.ab.B \quad (3.65)$$

$$C_s = A_s'(f_y - 0,85.f'c) \quad (3.66)$$

$$T_s = A_s.f_y \quad (3.67)$$

##### b. Kondisi Patah Tarik

Kondisi patah tarik adalah kondisi disaat  $P_n < P_b$ ,  $e > e_b$ , atau  $c < c_b$ . Pada kondisi ini beban aksial yang bekerja  $P_n$  relatif kecil, tetapi memiliki eksentrisitas yang besar. Akibatnya tebal beton desak  $c$  relatif

kecil dan mungkin bisa saja baja desak belum leleh, namu baja tarik jelas sudah leleh. Persamaan gaya yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\epsilon's = \epsilon c \frac{c-d}{c} > \epsilon y, \text{ maka baja desak masih leleh}$$

$$\epsilon s = \epsilon c \frac{h-c}{c} > \epsilon y, \text{ maka baja tarik pasti leleh}$$

Sehingga,

$$C_c = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \quad (3.68)$$

$$C_s = A_s' (f_y - 0,85 \cdot f'c) \quad (3.69)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (3.70)$$

c. Kondisi Patah Desak

Kondisi patah desak terjadi jika regangan beton desak telah mencapai regangan maksimum 0,003, sedangkan regangan baja tulangan tarik belum mencapai regangan leleh. Kondisi patah desak adalah kondisi disaat  $P > P_b$  atau  $e < e_b$ . Persamaan gaya yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$C_c = 0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b \quad (3.71)$$

$$C_s = A_s' (f_y - 0,85 \cdot f'c) \quad (3.72)$$

$$T_s = A_s \cdot f_s \quad (3.73)$$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s = \left( \frac{h-c}{c} \right) \cdot \epsilon c \cdot \epsilon s \quad (3.74)$$

3. Tulangan Geser Kolom

Kekuatan geser nominal kolom dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.75)$$

Kuat geser yang ditahan oleh beton diperoleh dari persamaan berikut.

$$V_c = \left( 1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times b \times d \quad (3.76)$$

Kuat geser yang ditahan oleh tulangan geser diperoleh dari persamaan berikut.

$$V_c = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (3.77)$$

## **BAB IV**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **4.1 Umum**

Metode penelitian merupakan langkah-langkah urutan kegiatan yang disusun secara sistematis untuk mencapai tujuan tugas akhir. Metode penelitian juga memberikan gambaran rancangan penelitian serta langkah-langkah yang ditempuh untuk menyelesaikan tugas akhir mulai dari pengumpulan data hingga analisis, pembahasan serta kesimpulan.

Jenis metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis perencanaan bangunan gedung menggunakan SNI 1726-2012 dengan memperhitungkan efek ketidakberaturan struktur yang terjadi pada bangunan.

#### **4.2 Subjek dan Objek Penelitian**

Pada penelitian ini terdapat subjek dan objek penelitian. Subjek dalam penelitian merupakan pemberi informasi atau informan yang menjadi sumber data riset, sedangkan objek dalam penelitian merupakan topik permasalahan yang dikaji dalam penelitian. Adapun subjek dari penelitian ini adalah Gedung Rumah Sakit Akademik Universitas Islam Indonesia sedangkan objek dari penelitian ini adalah analisis dan desain elemen kolektor, dan kord struktur bangunan gedung karena efek ketidakberaturan struktur yang terjadi.

#### **4.3 Metode Pengumpulan Data**

Untuk mempermudah analisis dalam penelitian ini dibutuhkan data-data yang berkaitan langsung dengan kondisi sebenarnya. Data-data yang akan digunakan didapat dari kontraktor proyek dengan metode pengumpulan data. Adapun macam-macam pengumpulan data menurut cara memperolehnya adalah sebagai berikut.

1. **Data Primer**

Data primer merupakan data yang diambil secara langsung oleh peneliti untuk membantu proses analisa dalam penelitian tersebut. Dalam penelitian ini tidak

menggunakan data primer karena tidak dilakukan observasi langsung oleh peneliti di lapangan.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh atau dikumpulkan dan disatukan oleh studi-studi sebelumnya atau yang diterbitkan oleh berbagai instansi lain. Biasanya sumber data tidak langsung berupa data dokumentasi dan arsip-arsip resmi. Adapun data sekunder pada penelitian ini adalah *As Built Drawing* bangunan RS Akademik Universitas Islam Indonesia, SNI 1726-2012 mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

#### 4.4 Bagan Alir Penelitian (*Flow Chart*)

Suatu penelitian harus dilaksanakan secara sistematis dengan urutan yang jelas dan teratur sehingga akan diperoleh tujuan dan hasil yang sesuai dengan yang diharapkan. Oleh karena itu, pelaksanaan penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap yang akan dijelaskan pada bagan alir yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dengan penjelasan sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Sebelum memulai penelitian, terlebih dahulu dilakukan studi literatur guna memperdalam ilmu tentang topik yang akan diteliti dengan membaca beberapa buku, materi kuliah, jurnal, dan referensi yang berhubungan dengan topik penelitian.

2. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang diperlukan untuk menunjang penelitian yang dilakukan, berupa gambar *As Built Drawing*.

3. Pemodelan Struktur

Setelah didapatkan data sekunder berupa *As Built Drawing* maka dilakukan permodelan struktur terlebih dahulu ke dalam perangkat lunak (*software*) yaitu SAP 2000 v20. Dari software tersebut maka dihasilkan nilai gaya-gaya dalam dari struktur bangunan yang dimodelkan.

4. Analisis Ketidakberaturan Struktur

Setelah didapat hasil dari permodelan SAP 2000 v20 maka dilakukan analisis ketidakberaturan struktur berdasarkan SNI 1726-2012.

5. Menghitung Faktor Pembesaran Momen

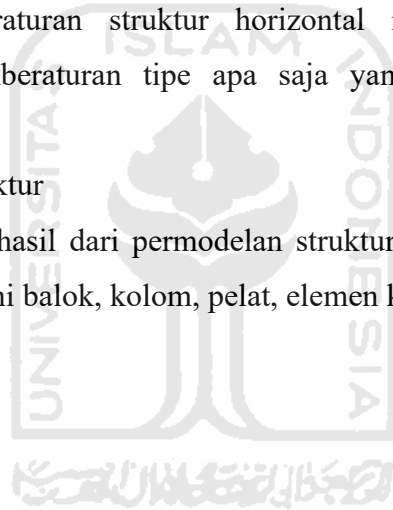
Dari analisis ketidakberaturan struktur sebelumnya maka didapatkan struktur bangunan yang dianalisis mempunyai suatu ketidakberaturan. Apabila struktur tersebut memiliki ketidakberaturan horizontal dengan tipe 1a dan 1b maka dilakukan perhitungan perbesaran momen. Setelah dilakukan perhitungan perbesaran momen maka dimodelkan ulang di SAP 2000 v20 untuk mendapatkan daya-daya galam untuk proses desain elemen struktur.

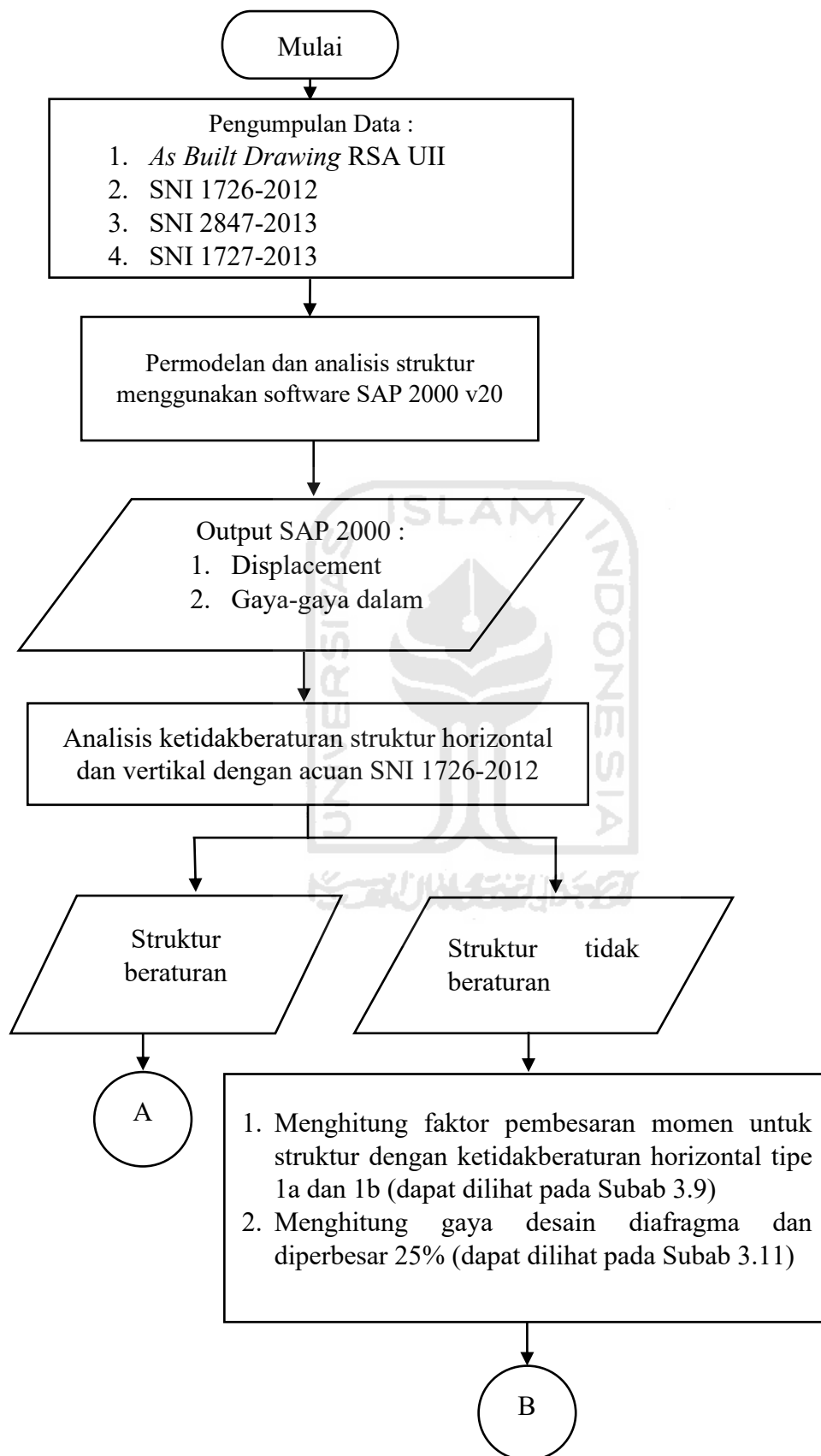
6. Analisis Ketidakberaturan

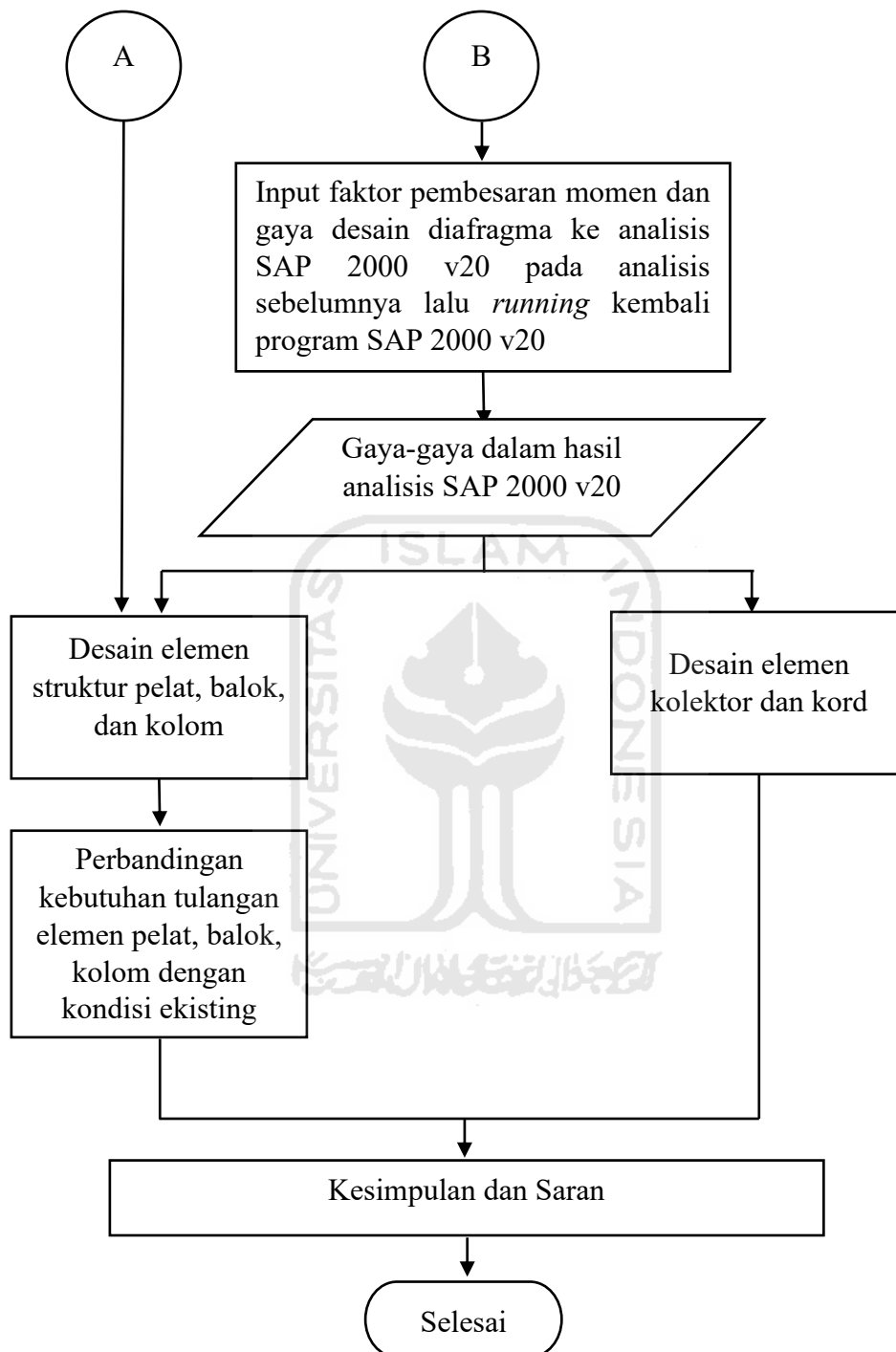
Analisis ketidakberaturan struktur horizontal maupun vertikal untuk mengetahui ketidakberaturan tipe apa saja yang terjadi pada struktur bangunan tersebut.

7. Desain Elemen Struktur

Setelah didapatkan hasil dari permodelan struktur, maka dilakukan desain elemen struktur yakni balok, kolom, pelat, elemen kolektor, dan kord.







**Gambar 4.1 Bagan Alir Tahapan Penelitian (Desain)**



## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Pendahuluan**

Hal yang meliputi proses dan analisis akan disajikan dalam bab ini. Proses analisis dalam bab ini meliputi perhitungan pembebanan, pengecekan ketidakberaturan struktur, perhitungan elemen kolektor maupun kord, perhitungan elemen pelat, balok, dan kolom. Pemodelan dimensi elemen-elemen struktur yang meliputi balok, kolom, dan tebal pelat disesuaikan dengan gambar *As Built Drawing*. Hasil analisis dalam bab ini berupa perhitungan jumlah tulangan elemen struktur yang ditinjau yaitu pelat, balok, kolom, elemen kolektor, dan elemen kord.

#### **5.2 Perhitungan Beban Gravitasi**

##### **5.2.1 Beban Mati**

Beban mati adalah beban dari material bangunan yang digunakan dalam elemen struktur, beban tetap pada pelat, dan beban dinding yang terletak pada balok. Berat sendiri pada elemen-elemen struktur sudah terdefinisi pada program analisa struktur yang digunakan. Penjabaran perhitungan beban mati antara lain sebagai berikut.

1. Beban mati di atas pelat lantai

Keramik	= $24 \text{ kg/m}^2 \times 0,01 \text{ m}$	= $0,24 \text{ kg/m}^2$
Spesi	= $21 \text{ kg/m}^2/\text{cm} \times 3 \text{ cm}$	= $63 \text{ kg/m}^2$
Pasir	= $1800 \text{ kg/m}^3 \times 0,05 \text{ m}$	= $90 \text{ kg/m}^2$
Penggantung		= $7 \text{ kg/m}^2$
Plafond		= $11 \text{ kg/m}^2$
Instalasi Listrik dan Plumbing		= $20 \text{ kg/m}^2$
Total		= $215 \text{ kg/m}^2$
		= $2,109 \text{ kN/m}^2$

2. Beban mati di atas pelat atap

Lapisan kedap air	= $1 \text{ kg/m}^2$	= $1 \text{ kg/m}^2$
-------------------	----------------------	----------------------

Spesi	= 21 kg/m <sup>2</sup>	= 21 kg/m <sup>2</sup>
Penggantung	= 7 kg/m <sup>2</sup>	= 7 kg/m <sup>2</sup>
Plafond	= 11 kg/m <sup>2</sup>	= 11 kg/m <sup>2</sup>
Instalasi listrik dan Plumbing	= 20 kg/m <sup>2</sup>	= 20 kg/m <sup>2</sup>
Total		= 60 kg/m <sup>2</sup> = 0,589 kN/m <sup>2</sup>

### 3. Beban mati dinding bata merah pada balok

Dinding tanpa lubang	= 250 kg/m <sup>2</sup> x 3.75m x 1	= 937,5 kg/m = 9,197 kN/m
Dinding dengan lubang	= 250 kg/m <sup>2</sup> x 3.75m x 0,75	= 637.5 kg/m = 6,254 kN/m

### 5.2.2 Beban Hidup

Beban hidup (*live load*) merupakan beban yang diakibatkan oleh penggunaan dan penghuni gedung. Beban hidup juga dapat diakibatkan oleh benda-benda yang berada di dalam gedung yang berpindah sesuai dengan kebutuhan penghuninya. Dari denah yang di dapatkan, adapun beban hidup pada bangunan Gedung RSA UII sesuai dengan fungsi ruangnya berdasarkan SNI 1727-2013 adalah sebagai berikut.

**Tabel 5. 1 Beban Hidup pada Lantai brdasarkan SNI 1727-2013**

No	Macam Ruangan	Beban Hidup (kN/m <sup>2</sup> )
1.	Ruang Pasien	1,92
2.	Ruang Operasi	2,87
3.	Laboratorium	2,87
4.	Ruang Kelas	2,87
5.	Koridor	3,83
6.	Gymnasium	4,79
7.	Lobi	4,79
8.	Roof Top	0,981
9.	Taman	4,79

### 5.3 Beban Gempa

Perhitungan beban gempa sesuai dengan SNI 1726-2012 adalah sebagai berikut.

1. Penentuan kategori desain seismik

Bangunan dalam penelitian ini berada di Jalan Srandakan, Bantul, Yogyakarta dan mempunyai jenis tanah sedang (*SD*). Bangunan diperuntukkan sebagai gedung rumah sakit akademik, sehingga berdasarkan tabel 1 SNI 1726-2012, bangunan berada dalam kategori risiko IV. Faktor keutamaan bangunan (*I<sub>e</sub>*) untuk bangunan yang memiliki kategori risiko IV adalah sebesar 1,5 berdasarkan tabel 2 1726-2012.

2. Penentuan nilai  $S_s$  dan  $S_l$

Berdasarkan gambar 9 dan gambar 10 SNI 1726-2012 nilai  $S_s$  dan  $S_l$  dapat ditentukan. Nilai  $S_s$  dan  $S_l$  didasarkan pada lokasi bangunan itu berada. Nilai  $S_s$  dan  $S_l$  tergantung warna pada masing masing daerah. Nilai  $S_s$  diambil sebesar 1,220 g dan nilai  $S_l$  diambil sebesar 0,477 g.

3. Penentuan nilai  $F_a$  dan  $F_v$

Penentuan nilai  $F_a$  dan  $F_v$  didasarkan pada klasifikasi situs bangunan dan nilai  $S_s$  dan  $S_l$ . Dilihat dari nilai  $S_s$  dan  $S_l$  yang sudah didapat sebelumnya, maka untuk mendapatkan nilai  $F_a$  dan  $F_v$  dilakukan interpolasi linear. Nilai  $F_a$  didapat sebesar 1,012 dan nilai  $F_v$  didapat sebesar 1,553.

4. Penentuan nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{MI}$

Nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{MI}$  ditentukan dalam pasal 6.2 SNI 1726-2012 dengan perhitungan sebagai berikut.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s$$

$$S_{MS} = 1,235 \text{ g}$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_l$$

$$S_{MI} = 0,694 \text{ g}$$

5. Penentuan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$

Berdasarkan pasal 6.3 SNI 1726-2012 nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$  dapat dihitung sebagai berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{DS} = 0,823 \text{ g}$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{DI}$$

$$S_{DI} = 0,463 \text{ g}$$

6. Pembuatan spektrum desain respon

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.4 langkah-langkah pengerjaan respon spektrum desain adalah sebagai berikut.

a. Nilai perioda  $T_0$  dan  $T_s$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{DI}}{S_{DS}}$$

$$T_0 = 0,112 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{DI}}{S_{DS}}$$

$$T_s = 0,562 \text{ detik}$$

b. Nilai  $S_a$  yang berada dalam periode yang lebih kecil dari  $T_0$  diambil dengan persamaan berikut.

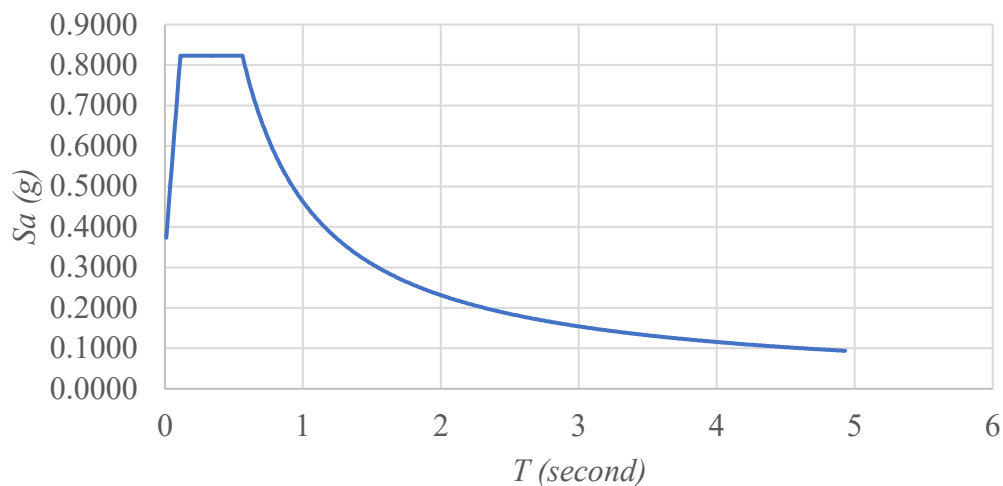
$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

c. Nilai  $S_a$  yang berada antara periode  $T_0$  dan  $T_s$  dapat diambil sebesar  $S_{DS}$ .

d. Nilai  $S_a$  yang berada pada periode lebih dari nilai  $T_s$  dapat diambil dengan persamaan berikut.

$$S_a = \frac{S_{DI}}{T}$$

Berdasarkan dari parameter a, b, c, dan d di atas dapat diplotkan menjadi sebuah grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.1.



**Gambar 5. 1 Respon Spektrum Bantul**

7. Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik ditentukan berdasarkan pada tabel 6 dan tabel 7 pada SNI 1726-2012. Kategori desain seismik didasarkan pada nilai  $S_{Ds}$  dan  $S_{D1}$ . Nilai  $S_{Ds}$  yang lebih dari sama dengan ( $\geq$ ) 0,5 mempunyai kategori desain seismik D dan nilai  $S_{D1}$  yang lebih dari sama dengan ( $\geq$ ) 0,2 mempunyai kategori desain seismik D. Berdasarkan dari perhitungan sebelumnya maka kategori desain seismik pada bangunan termasuk dalam kategori desain seismik D.

8. Penentuan nilai R,  $\Omega_0$ , I

Nilai koefisien modifikasi respon (R), faktor kuat lebih sistem ( $\Omega_0$ ), dan faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) ditentukan berdasarkan tabel 9 SNI 1726-2012. Bangunan yang digunakan memiliki sistem penahan gaya seismik berupa rangka beton bertulang pemikul momen khusus dan dinding geser beton bertulang khusus, maka nilai yang diambil adalah sebagai berikut.

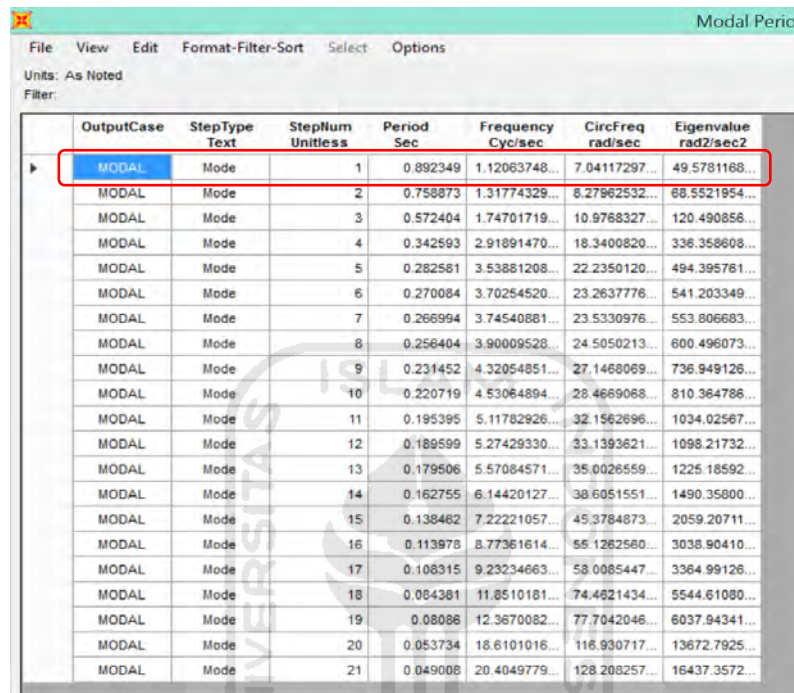
$$R = 7$$

$$\Omega_0 = 2,5$$

$$C_d = 5,5$$

## 9. Periode Bangunan

Periode bangunan ditentukan dengan membandingkan periode berdasarkan hasil analisa program dan periode berdasarkan SNI 1726-2012. Periode hasil analisa struktur dapat dilihat pada gambar 5.2.



OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.892349	1.12063748...	7.04117297...	49.5781168...
MODAL	Mode	2	0.758873	1.31774329...	8.27962532...	68.5521954...
MODAL	Mode	3	0.572404	1.74701719...	10.9768327...	120.490856...
MODAL	Mode	4	0.342593	2.91891470...	18.3400820...	336.358608...
MODAL	Mode	5	0.282581	3.53881208...	22.2350120...	494.395761...
MODAL	Mode	6	0.270084	3.70254520...	23.2637776...	541.203349...
MODAL	Mode	7	0.266994	3.74540881...	23.5330976...	553.806683...
MODAL	Mode	8	0.256404	3.90009528...	24.5050213...	600.496073...
MODAL	Mode	9	0.231452	4.32054851...	27.1468069...	736.949126...
MODAL	Mode	10	0.220719	4.53064894...	28.4669068...	810.364786...
MODAL	Mode	11	0.195395	5.11782926...	32.1562696...	1034.02567...
MODAL	Mode	12	0.189599	5.27429330...	33.1393621...	1098.21732...
MODAL	Mode	13	0.179506	5.57084571...	35.0026559...	1225.18592...
MODAL	Mode	14	0.162755	6.14420127...	38.6051551...	1490.35800...
MODAL	Mode	15	0.138482	7.22221057...	45.3784873...	2059.20711...
MODAL	Mode	16	0.113978	8.77361614...	55.1262560...	3038.90410...
MODAL	Mode	17	0.108315	9.23234663...	58.0085447...	3364.99126...
MODAL	Mode	18	0.084381	11.8510181...	74.4621434...	5544.61080...
MODAL	Mode	19	0.08086	12.3670082...	77.7042046...	6037.94341...
MODAL	Mode	20	0.053734	18.6101016...	116.930717...	13672.7925...
MODAL	Mode	21	0.049008	20.4049779...	128.208257...	16437.3572...

**Gambar 5. 2 Periode Hasil Analisa Struktur SAP 2000 v20**

Periode bangunan hasil analisa struktur ( $T_c$ ) menggunakan software SAP 2000 v20 menghasilkan nilai  $T_c$  sebesar 0,892 detik. Periode minimum ( $T_a$ ) ditentukan berdasarkan tinggi bangunan dan tipe struktur yang digunakan yang menghasilkan nilai  $C_t$  dan  $x$ . Nilai  $C_t$  dan  $x$  dengan tipe struktur rangka beton pemikul momen dan dinding geser beton khusus diambil tipe struktur semua sistem struktur lainnya mempunyai nilai 0,0488 dan 0,75. Berdasarkan SNI 1726-2012 perioda fundamental ( $T_a$ ) ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

$$T_a = 0,580 \text{ detik}$$

Periode maksimum bangunan ditentukan berdasarkan nilai  $C_u$ . Nilai  $C_u$  diambil dari tabel 14 SNI 1726-2012 berdasarkan nilai  $S_{DI}$ . Nilai  $S_{DI}$  adalah

sebesar 0,463, maka nilai  $C_u$  adalah sebesar 1,4. Periode maksimum didapat dengan menggunakan persamaan berikut.

$$T_{a(maks)} = C_u \cdot T_a$$

$$T_{a(maks)} = 0,8119 \text{ detik}$$

Periode yang dipakai dalam perhitungan struktur diambil berdasarkan nilai periode minimum ( $T_a$ ), periode hasil analisis struktur ( $T_c$ ), dan periode maksimum ( $T_{a(maks)}$ ). Periode hasil analisis struktur adalah sebesar 0,892 detik yang artinya lebih besar daripada periode minimum ( $T_a$ ) sebesar 0,580 detik dan lebih besar dari pada periode maksimum ( $T_{a(maks)}$ ) sebesar 0,812 detik. Maka periode yang dipakai adalah periode maksimum ( $T_{a(maks)}$ ) sebesar 0,812 detik.

#### 10. Penentuan Metode Analisis Beban Gempa yang Digunakan

Metode analisis beban gempa yang digunakan ditentukan melalui Tabel 13 SNI 1726-2012. Terdapat tiga metode yang dapat digunakan sebagai analisis beban gempa yaitu analisis gaya lateral ekuivalen, analisis spektrum respon ragam, dan prosedur riwayat respons seismik. Karakteristik struktur bangunan yang diteliti mempunyai kategori desain seismik D dan mempunyai ketidakberaturan dengan  $T < 3,5T_s$  yaitu sebesar 0,812 detik, maka prosedur yang boleh digunakan adalah analisis gaya lateral ekuivalen, analisis spektrum respon ragam, dan prosedur riwayat respon seismik. Dalam tugas akhir ini data yang dimiliki adalah respon spektrum, maka analisis yang digunakan adalah analisis respon spektrum.

#### 11. Perhitungan Nilai Koefisien Respon Seismik ( $C_s$ )

Nilai koefisien respon seismik dapat dihitung dengan persamaan-persamaan sebagai berikut.

- a. Nilai  $C_s$  dapat diambil dengan persamaan berikut.

$$C_s = \frac{SDS}{I_e}$$

$$C_s = 0,176$$

- b. Nilai  $C_s$  tidak perlu melebihi nilai  $C_s$  dengan persamaan berikut.

$$C_s = \frac{SDI}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$C_s = 0,122$$

- c. Nilai  $C_s$  tidak boleh kurang dari nilai  $C_s$  dengan persamaan berikut.

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

$$C_s = 0,0502 \geq 0,01$$

$$C_s = 0,0502$$

- d. Nilai  $C_s$  yang diambil dari tahapan perhitungan di atas adalah sebesar 0,122.

12. Berat Struktur ( $W$  total bangunan)

Berat bangunan diambil dari perhitungan otomatis pada program SAP 2000.

Berat bangunan didapat sebesar 244859,083 kN.

13. Penentuan Gaya Geser Dasar Statik

Gaya geser statik digunakan pengan perhitungan sebagai berikut.

$$V_{statik} = C_s \cdot W \text{ total bangunan}$$

$$V_{statik} = 29907,633 \text{ kN.}$$

#### 5.4 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1726-2012 kombinasi beban yang digunakan dalam perhitungan analisa struktur adalah sebagai berikut.

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3. 1,2D + 1L ± 0,3(ρ.Q<sub>ex</sub> + 0,2S<sub>DS</sub>.D) ± 1(ρ.Q<sub>ey</sub> + 0,2.S<sub>DS</sub>.D)
4. 1,2D + 1L ± 1(ρ.Q<sub>ex</sub> + 0,2S<sub>DS</sub>.D) ± 0,3(ρ.Q<sub>ey</sub> + 0,2.S<sub>DS</sub>.D)
5. 0,9D ± 0,3(ρ.Q<sub>ex</sub> - 0,2S<sub>DS</sub>.D) ± 1(ρ.Q<sub>ey</sub> - 0,2.S<sub>DS</sub>.D)
6. 0,9D ± 1(ρ.Q<sub>ex</sub> - 0,2S<sub>DS</sub>.D) ± 0,3(ρ.Q<sub>ey</sub> - 0,2.S<sub>DS</sub>.D)

Keterangan

D : Beban Mati

L : Beban Hidup

Q<sub>ex</sub> : Beban Gempa arah X

Q<sub>ey</sub> : Beban Gempa arah Y



Bangunan pada penelitian ini mempunyai kategori risiko D, maka berdasarkan pasal 7.3.4.2 SNI 1726-2012 nilai  $p$  harus sama dengan 1,3. Nilai SDS telah dihitung dalam perhitungan sebelumnya adalah sebesar 0,823. Penjabaran kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perhitungan analisis struktur adalah sebagai berikut.

1.  $1,4D$
2.  $1,2D + 1,6L$
3.  $1,365D + 1,3QEX + 0,39 QEY + 1L$
4.  $1,365D + 1,3 QEX - 0,39 QEY + 1L$
5.  $1,365D - 1,3 QEX + 0,39 QEY + 1L$
6.  $1,365D - 1,3 QEX - 0,39 QEY + L$
7.  $0,735D + 1,3 QEX + 0,39 QEY$
8.  $0,735D + 1,3 QEX - 0,39 QEY$
9.  $0,735D - 1,3 QEX + 0,39 QEY$
10.  $0,735D - 1,3 QEX - 0,39 QEY$
11.  $1,365D + 0,39 QEX + 1,3 QEY + 1L$
12.  $1,365D + 0,39 QEX - 1,3 QEY + 1L$
13.  $1,365D - 0,39 QEX + 1,3 QEY + 1L$
14.  $1,365D - 0,39 QEX - 1,3 QEY + 1L$
15.  $0,735D + 0,39 QEX + 1,3 QEY$
16.  $0,735D + 0,39 QEX - 1,3 QEY$
17.  $0,735D - 0,39 QEX + 1,3 QEY$
18.  $0,735D - 0,39 QEX - 1,3 QEY$

Keterangan :

D : Beban Mati

L : Beban Hidup

Qex : Beban Gempa arah X

Qey : Beban Gempa arah Y

## 5.5 Peninjauan Hasil Analisis Program

Struktur gedung yang telah dilakukan analisis perlu diperiksa hasil analisisnya sehingga hasil analisis sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang ada. Peninjauan hasil analisis program terdapat dalam penjabaran sebagai berikut.

### 1. Peninjauan Partisipasi Massa

Peninjauan partisipasi masa dilakukan berdasarkan pasal 7.9.1 SNI 1726-2012. Hasil partisipasi masa dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.

OutputCase	StepType	Steplum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY
	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.892349	0.64486	0.00017	5.449E-07	0.64486	0.00017	5.449E-07	6.92E-05	0.03723
MODAL	Mode	2	0.759873	1.159E-05	0.61083	9.588E-06	0.64487	0.611	1.053E-05	0.07712	2.102E-05
MODAL	Mode	3	0.572404	0.01443	0.00034	1.927E-08	0.6593	0.61134	1.055E-05	1.223E-07	0.00072
MODAL	Mode	4	0.342593	0.16574	0.01209	7.638E-08	0.82504	0.62344	1.063E-05	0.0009	0.03518
MODAL	Mode	5	0.282581	0.01169	0.19935	3.357E-06	0.83673	0.82278	1.398E-05	0.05952	0.00275
MODAL	Mode	6	0.270084	1.668E-05	0.00137	0.00139	0.83674	0.82415	0.0014	3.197E-05	0.00035
MODAL	Mode	7	0.266994	7.535E-07	5.025E-08	0.00017	0.83675	0.82415	0.00157	4.535E-05	4.898E-05
MODAL	Mode	8	0.26404	1.028E-07	0.0001	8.544E-05	0.83675	0.82426	0.00166	0.00014	3.983E-05
MODAL	Mode	9	0.231452	1.655E-07	0.00022	0.00138	0.83675	0.82448	0.00304	0.00162	0.00063
MODAL	Mode	10	0.220719	6.419E-06	3.434E-05	9.516E-05	0.83675	0.82452	0.00314	0.00042	0.00024
MODAL	Mode	11	0.195395	0.05163	4.852E-05	1.378E-05	0.88838	0.82456	0.00315	0.00086	0.00535
MODAL	Mode	12	0.189599	0.02243	0.00536	8.321E-05	0.91081	0.82993	0.00316	0.00076	0.00547
MODAL	Mode	13	0.179506	0.00249	8.427E-05	0.00042	0.91329	0.83001	0.00358	1.43E-05	0.00115
MODAL	Mode	14	0.162755	0.00015	0.06577	0.00015	0.91344	0.89579	0.00373	0.01321	0.00028
MODAL	Mode	15	0.136467	0.02608	1.798E-06	2.149E-05	0.94265	0.89579	0.00376	2.309E-07	0.01206
MODAL	Mode	16	0.113978	0.00012	0.03633	2.715E-06	0.94265	0.93213	0.00376	0.02304	4.412E-05
MODAL	Mode	17	0.106315	0.02479	0.00048	3.238E-05	0.96143	0.93258	0.00379	0.00038	0.00174
MODAL	Mode	18	0.084981	0.02536	0.00221	1.544E-06	0.9928	0.93479	0.00379	0.00043	0.00948
MODAL	Mode	19	0.08086	0.00115	0.03994	4.265E-07	0.99394	0.97472	0.00379	0.00637	0.00012
MODAL	Mode	20	0.053734	0.00038	0.02072	1.11E-05	0.99432	0.99544	0.0038	0.01437	1.228E-05
MODAL	Mode	21	0.049008	0.00383	0.00152	4.33E-06	0.99815	0.99697	0.00381	0.00094	0.00011

**Gambar 5.3 Partisipasi Massa Hasil Analisis**

Partisipasi massa bangunan arah x dan arah y dapat dilihat pada kolom SumUx dan SumUy pada gambar 5.3 Nilai partisipasi massa minimal 90% di akhir mode yang digunakan dalam analisa modal. Apabila nilainya belum mencapai 90%, maka perlu ditambahkan jumlah mode dalam analisis modal. Jumlah mode yang digunakan dalam analisis bangunan ini adalah sebanyak 21 mode. Partisipasi massa di mode ke 16 sudah mencapai 90% baik untuk arah x maupun arah y sehingga tidak perlu adanya penambahan mode dan mode yang digunakan dalam analisis sudah memenuhi kebutuhan.

## 2. Pengecekan Kombinasi Ragam

Berdasarkan SNI 1726-2012 pengecekan kombinasi ragam perlu dilakukan untuk mengetahui apakah metode kombinasi ragam yang dilakukan sudah benar sesuai dengan peraturan atau belum. Terdapat dua macam metode kombinasi ragam yang bisa dilakukan yaitu metode akar kuadrat (SRSS) dan metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC). Penentuan metode didasarkan pada interval presentase periode yang terjadi antar mode hasil analisa modal. Hasil periode setiap mode dapat dilihat pada gambar 5.4 berikut ini.

OutputCase	StepType	Step/num	Period Sec	Frequency Cye/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0.892349	1.12063748...	7.04117297...	49.5781168...
MODAL	Mode	2	0.758873	1.31774329...	8.27982532...	68.5521954...
MODAL	Mode	3	0.572404	1.74701719...	10.9768327...	120.490856...
MODAL	Mode	4	0.342593	2.91891470...	18.3400820...	336.358608...
MODAL	Mode	5	0.282581	3.53881208...	22.2350120...	494.395761...
MODAL	Mode	6	0.270084	3.70254520...	23.2637776...	541.203349...
MODAL	Mode	7	0.266994	3.74540881...	23.5330976...	553.806683...
MODAL	Mode	8	0.256404	3.90009528...	24.5050213...	600.496073...
MODAL	Mode	9	0.231452	4.32054851...	27.1468069...	736.949126...
MODAL	Mode	10	0.220719	4.53064894...	28.4699068...	810.364786...
MODAL	Mode	11	0.195395	5.11782926...	32.1562696...	1034.02567...
MODAL	Mode	12	0.189599	5.27429330...	33.1393621...	1098.21732...
MODAL	Mode	13	0.179506	5.57084571...	35.0026559...	1225.18592...
MODAL	Mode	14	0.162755	6.14420127...	38.6051551...	1490.35800...
MODAL	Mode	15	0.138462	7.22221057...	45.3784873...	2059.20711...
MODAL	Mode	16	0.113978	8.77361614...	55.1262560...	3038.90410...
MODAL	Mode	17	0.108315	9.23234663...	58.0085447...	3364.99126...
MODAL	Mode	18	0.084381	11.8510181...	74.4621434...	5544.61080...
MODAL	Mode	19	0.08086	12.3670082...	77.7042046...	6037.94341...
MODAL	Mode	20	0.053734	18.6101016...	116.930717...	13672.7925...
MODAL	Mode	21	0.049008	20.4049779...	128.208257...	16437.3572...

**Gambar 5. 4 Periode tiap mode**

Perhitungan interval presentase periode dijabarkan sebagaimana berikut ini.

$$T1 - T2 = \left( \frac{0,8235 - 0,7588}{0,8235} \right) \times 100 = 14,95 \%$$

$$T2 - T3 = \left( \frac{0,7588 - 0,5724}{0,7588} \right) \times 100 = 24,57 \%$$

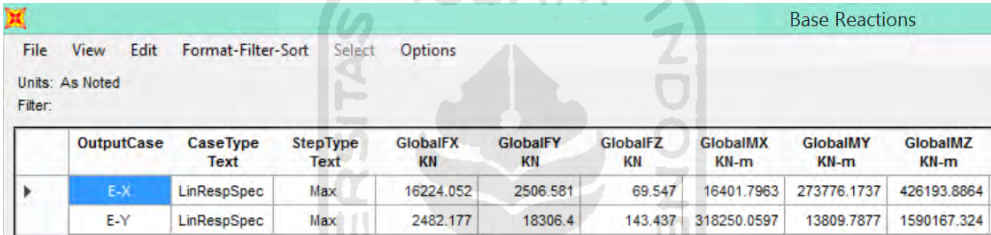
$$T3 - T4 = \left( \frac{0,5724 - 0,3424}{0,5724} \right) \times 100 = 40,148 \%$$

$$T4 - T5 = \left( \frac{0,3424 - 0,2825}{0,3424} \right) \times 100 = 17,5160 \%$$

Selisih antar periode 3 dan 4 cukup besar yaitu 38,09 %. Selisih periode yang lebih besar dari 15% disarankan dalam analisis kombinasi ragam menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS). Karena metode awal yang digunakan adalah metode SRSS, maka tidak perlu dilakukan analisa ulang dan mengganti metode kombinasi ragam.

### 3. Penentuan skala gaya respon spektrum

Hasil gaya geser dinamik (VD) tidak dapat langsung digunakan untuk Analisa struktur portal bangunan. Hasil gaya geser dasar dinamik (VD) perlu disetarakan dengan gaya geser dasar statik (VS) sesuai dengan pasal 7.9.4.1 skala gaya pada SNI 1726-2012. Besarnya gaya geser dinamik (VD) hasil awal analisis dapat dilihat pada gambar 5.5 berikut ini.



OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
E-X	LinRespSpec	Max	16224.052	2506.581	69.547	16401.7963	273776.1737	426193.8864
E-Y	LinRespSpec	Max	2482.177	18306.4	143.437	318250.0597	13809.7877	1590167.324

**Gambar 5. 5 Besarnya gaya geser dinamik (VD) hasil awal Analisa**

Gaya geser dasar dinamik berdasarkan gambar 5.5 adalah sebagai berikut.

$$VD \text{ arah } x = 16224,052 \text{ kN}$$

$$VD \text{ arah } y = 18306,400 \text{ kN}$$

Gaya geser dasar statik berdasarkan perhitungan pada subab 5.3 adalah sebagai berikut.

$$VS \text{ arah } x = 29907,633 \text{ kN}$$

$$VS \text{ arah } y = 29907,633 \text{ kN}$$

$$0,85.VS \text{ arah } x = 25421,488 \text{ kN}$$

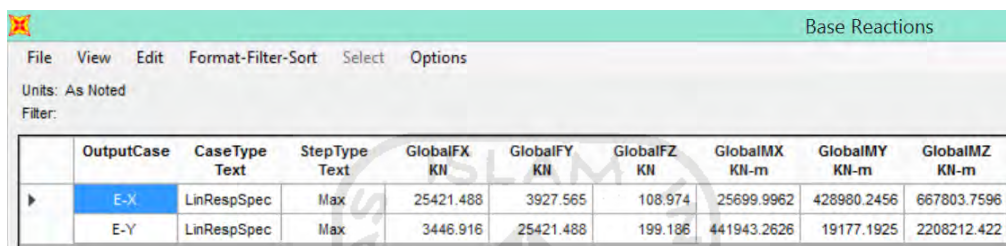
$$0,85.VS \text{ arah } y = 25421,488 \text{ kN}$$

Kemudian dihitung skala perbandingan sesuai dengan persamaan SNI 1726-2012 berikut ini.

$$\text{Skala ulang VD arah x} = \frac{0,85 \cdot \text{VS arah x}}{\text{VD arah x}} = 3,294$$

$$\text{Skala ulang VD arah y} = \frac{0,85 \cdot \text{VS arah x}}{\text{VD arah x}} = 2,919$$

Skala ulang selanjutnya dikalikan dengan faktor pengali beban gempa pada program analisa struktur sehingga nilai gaya geser dasar dinamik minimal sama dengan 85 persen gaya geser dasar statik. Hasil gaya geser dinamik yang baru dapat dilihat pada gambar 5.6 berikut ini.



	OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
▶	E-X	LinRespSpec	Max	25421.488	3927.565	108.974	25699.9962	428980.2456	667803.7596
	E-Y	LinRespSpec	Max	3446.916	25421.488	199.186	441943.2626	19177.1925	2208212.422

**Gambar 5. 6 Gaya geser dasar setelah diskala ulang**

$$0,85V_{\text{statik arah x}} = 25421,488 \text{ kN}$$

$$0,85V_{\text{statik arah y}} = 25421,488 \text{ kN}$$

Gaya geser dasar dinamik setelah dilakukan analisis ulang,

$$V_{\text{dinamik arah x}} = 25421,488 \text{ kN}$$

$$V_{\text{dinamik arah y}} = 25421,488 \text{ kN}$$

Gaya geser dasar dinamik telah memenuhi persyaratan karena gaya geser dasar dinamik telah lebih besar sama dengan 85 persen dari gaya geser dasar statik.

## 5.6 Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar lantai tidak boleh melebihi dari simpangan antar lantai tingkat ijin ( $\Delta_{\text{ijin}}$ ). Lokasi bangunan berada pada kategori desain seismik D, sehingga berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.3.4.2 maka  $\rho$  adalah 1,3. Bangunan mempunyai faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) sebesar 5,5. Berikut pemeriksaan

simpangan antar lantai yang terjadi terhadap simpangan antar lantai tingkat ijin pada lantai 6.

Diketahui :

Arah x

$$Cd : \text{Faktor perbesaran defleksi} = 5,5$$

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

$$hsx : \text{Tinggi tingkat} = 4000 \text{ mm}$$

$$\Delta a : \text{Simpangan ijin} = 0,010 \cdot h_{sx}$$

$$\delta_6 : \text{Defleksi lantai 6} = 50,960 \text{ mm}$$

$$\delta_5 : \text{Defleksi lantai 5} = 41,601 \text{ mm}$$

Perhitungan simpangan antar lantai tingkat adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta_6 &= \frac{(\delta_6 - \delta_5) \cdot Cd}{Ie} \\ &= \frac{(50,96 - 41,60) \cdot 5,5}{1,5} \\ &= 34,316 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan simpangan antar lantai tingkat ijin adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta_{6a} &= 0,01 \cdot h_{sx} \\ &= 0,01 \cdot 4000 \\ &= 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

Arah y

$$Cd : \text{Faktor perbesaran defleksi} = 5,5$$

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

$$hsx : \text{Tinggi tingkat} = 4000 \text{ mm}$$

$$\Delta a : \text{Simpangan ijin} = 0,010 \cdot h_{sx}$$

$$\delta_6 : \text{Defleksi lantai 6} = 29,359 \text{ mm}$$

$$\delta_5 : \text{Defleksi lantai 5} = 23,478 \text{ mm}$$

Perhitungan simpangan antar lantai tingkat adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta_6 &= \frac{(\delta_6 - \delta_5) \cdot Cd}{le} \\ &= \frac{(29,359 - 23,478) \cdot 5,5}{1,5} \\ &= 21,5637 \text{ mm} \end{aligned}$$

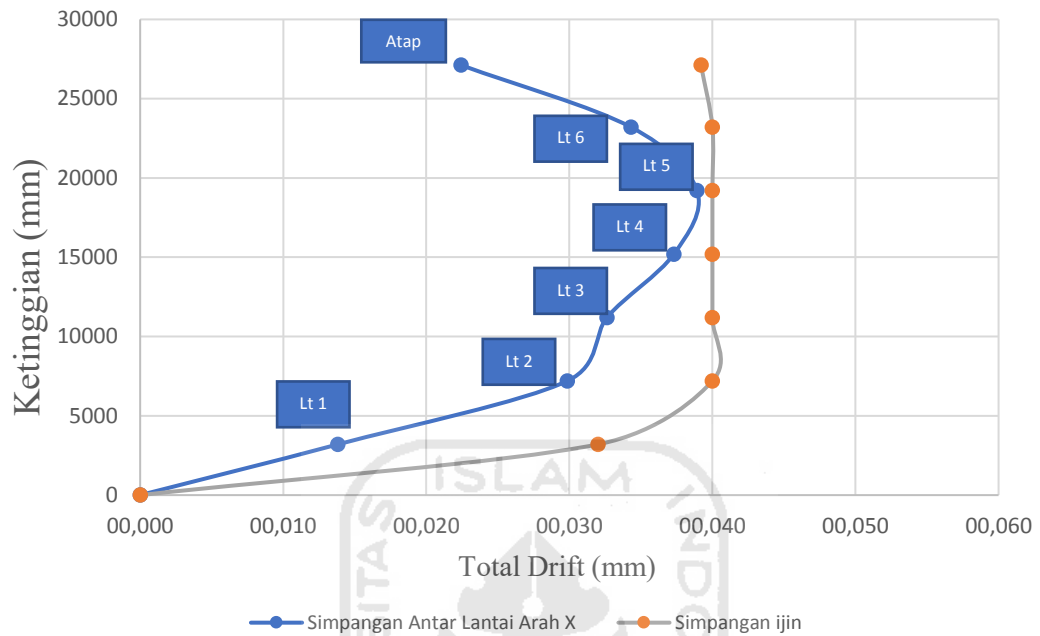
Perhitungan simpangan antar lantai tingkat ijin adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta_{6a} &= 0,01 \cdot h_{sx} \\ &= 0,01 \cdot 4000 \\ &= 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai arah x dan y lebih kecil dari simpangan ijin, sehingga simpangan yang terjadi pada tingkat 6 aman. Untuk perhitungan pada lantai berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.2, Tabel 5.3, Gambar 5.7, dan Gambar 5.8.

**Tabel 5. 2 Simpangan antar tingkat arah x**

Lantai	Hsx (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\Delta x$ (mm)	$\Delta a$ (mm)	Keterangan
Atap	3920	57,076	22,425	39,2	Ok
6	4000	50,960	34,316	40	Ok
5	4000	41,601	38,925	40	Ok
4	4000	30,985	37,308	40	OK
3	4000	20,810	32,622	40	OK
2	4000	11,913	29,861	40	OK
1	3200	3,769	13,819	32	OK

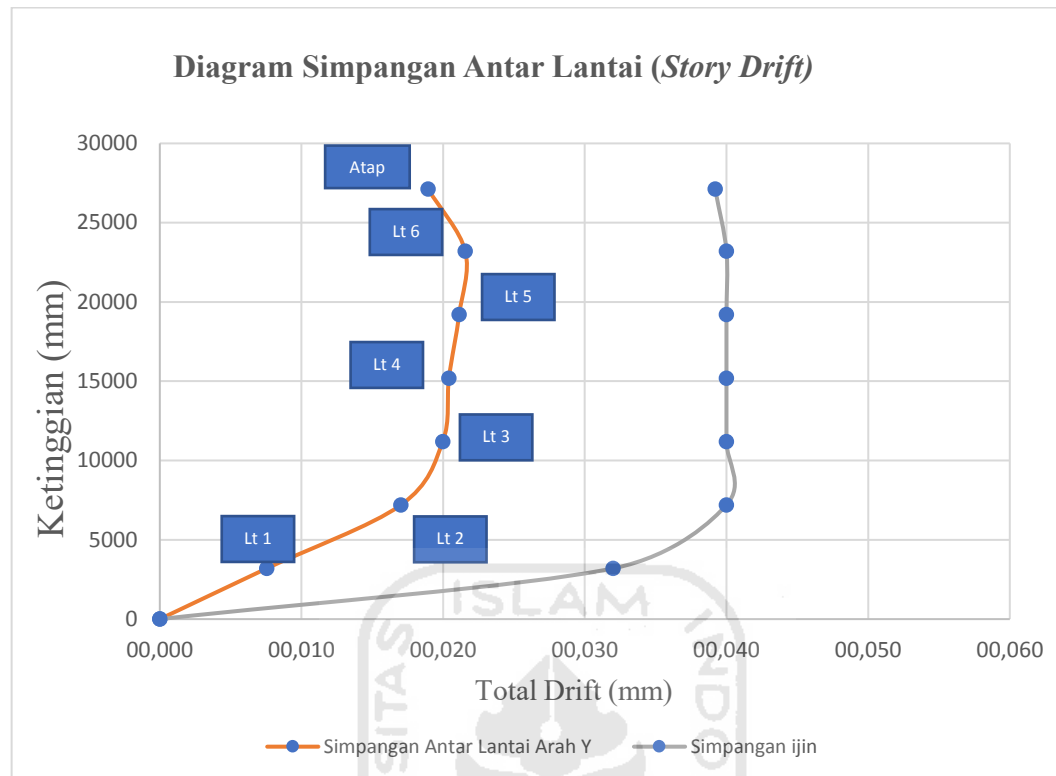


**Gambar 5. 7 Simpangan Antar Lantai Arah X**

**Tabel 5. 3 Simpangan antar tingkat arah y**

Lantai	Hsx (mm)	$\delta y$ (mm)	$\Delta y$ (mm)	$\Delta a$ (mm)	Keterangan
Atap	3920	34,525	18,942	39,2	Ok
6	4000	29,359	21,563	40	Ok
5	4000	23,478	21,131	40	Ok
4	4000	17,715	20,408	40	OK
3	4000	12,149	19,972	40	OK
2	4000	6,7020	17,024	40	OK
1	3200	2,0590	7,5497	32	OK





**Gambar 5. 8 Simpangan Antar Lantai Arah Y**

### 5.7 Koefisien Stabilitas (*P-Δ Effect*)

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.7 koefisien stabilitas yang terjadi pada suatu kolom pada stuktur bangunan gedung tidak boleh melebihi koefisien stabilitas maksimum. Sebagai contoh berikut perhitungan koefisien stabilitas di lantai 6 arah x.

Diketahui

$h_{sx}$	: Tinggi tingkat	= 4000 mm
$\Delta$	: Simpangan lantai	= 34,316 mm
$P$	: Beban vertikal total	= 47843,197 kN
$V$	: Gaya geser tingkat	= 10870,892 kN
$C_d$	: Faktor perbesaran defleksi	= 5,5
$I_e$	: Faktor keutamaan gempa	= 1,5

$\beta$  : Rasio kebutuhan geser = 1

$$\theta = \frac{P.\Delta.I_e}{V.h_{sx}.Cd}$$

$$= 0,0133$$

Koefisien stabilitas di atas tidak boleh melebihi dari koefisien stabilitas maksimum dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta.Cd}$$

$$= 0,0909$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa koefisien stabilitas yang terjadi pada kolom kurang dari koefisien stabilitas maksimum, maka struktur stabil. Untuk perhitungan pada lintai berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

**Tabel 5. 4 Koefisien Stabilitas Arah X**

Lantai	Hsx (mm)	$\Delta$ (mm)	P (kN)	V (kN)	$\theta$ (rad)	$\theta_{max}$ (rad)	Keterangan
Atap	3920	22,425	24442,36	6101,94	0,0062	0,0909	Aman
6	4000	34,316	47843,20	10870,89	0,0103	0,0909	Aman
5	4000	38,925	71244,03	14264,31	0,0133	0,0909	Aman
4	4000	37,308	103452,94	17343,68	0,0152	0,0909	Aman
3	4000	32,622	146897,39	20954,22	0,0156	0,0909	Aman
2	4000	29,861	193494,11	23967,72	0,0164	0,0909	Aman
1	3200	13,820	244859,08	25421,49	0,0113	0,0909	Aman

**Tabel 5. 5 Koefisien Stabilitas Arah Y**

Lantai	Hsx (mm)	$\Delta$ (mm)	P (kN)	V (kN)	$\theta$ (rad)	$\theta_{max}$ (rad)	Keterangan
Atap	3920	18,942	24442,36	6314,859	0,0051	0,0909	Aman
6	4000	21,563	47843,20	11183,89	0,0063	0,0909	Aman
5	4000	21,131	71244,03	14671,66	0,0070	0,0909	Aman
4	4000	20,409	103452,94	17830,85	0,0081	0,0909	Aman
3	4000	19,972	146897,39	21290,95	0,0094	0,0909	Aman
2	4000	17,024	193494,11	24092,10	0,0093	0,0909	Aman
1	3200	7,549	244859,08	25421,49	0,0062	0,0909	Aman

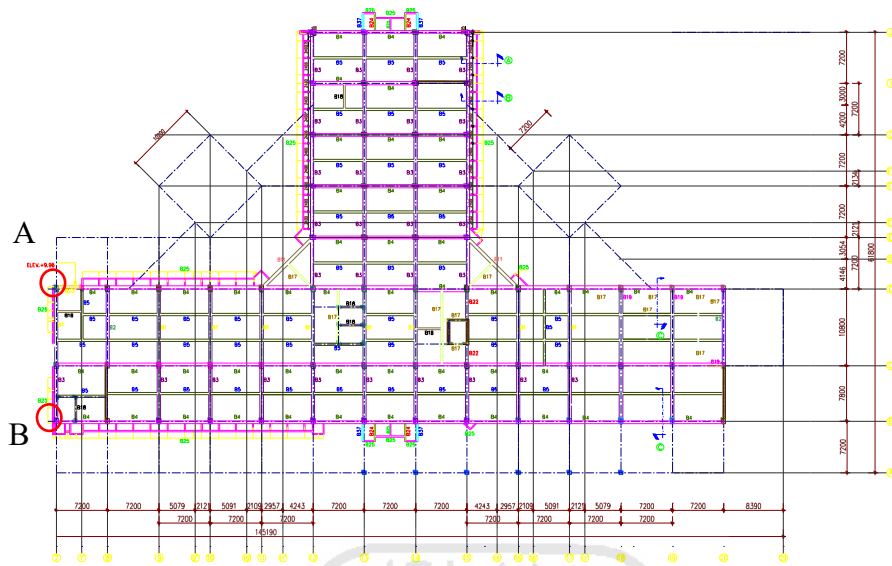
### 5.8 Analisis Ketidakberaturan

Berdasarkan SNI 1726-2012 ketidakberaturan struktur bangunan gedung terdiri dari dua jenis yaitu ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal. Pengecekan ketidakberaturan struktur bangunan gedung dijelaskan pada subab berikut.

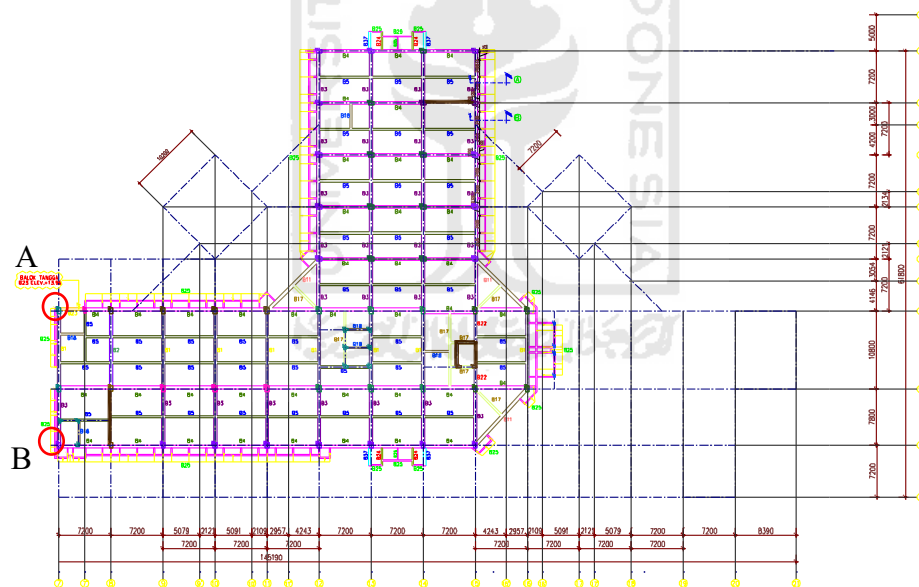
#### 5.8.1 Ketidakberaturan Struktur Horizontal

Ketidakberaturan struktur horizontal terdiri dari 6 tipe yaitu tipe 1a, 1b, 2, 3, 4, dan 5 pengecekan untuk tipe-tipe ketidakberaturan struktur tersebut dapat dilihat sebagaimana penjelasan berikut di bawah ini.

1. Ketidakberaturan torsi dan ketidakberaturan torsi berlebihan (tipe 1a dan 1b)  
Perhitungan ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1a dan 1b diambil contoh pada lantai 4 dan 5 karena mempunyai denah lantai yang berbeda. Titik joint yang dijadikan sebagai acuan perhitungan ketidakberaturan 1a dan 1b arah X dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10.



**Gambar 5. 9 Titik joint yang dijadikan acuan perhitungan ketidakteraturan 1a dan 1b pada lantai 4**



**Gambar 5. 10 Titik joint yang dijadikan acuan perhitungan ketidakteraturan 1a dan 1b pada lantai 5**

Diketahui :

Lantai 4

$$\delta_{eA} : \text{Defleksi titik A} = 28,425 \text{ mm}$$

$$\delta_{eB} : \text{Defleksi titik B} = 31,009 \text{ mm}$$

Lantai 5

$$\delta_{eA} : \text{Defleksi titik A} = 37,956 \text{ mm}$$

$$\delta_{eB} : \text{Defleksi titik B} = 41,605 \text{ mm}$$

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

$$I : \text{Faktor keutamaan gempa} = 1,5$$

Dari data tersebut maka dapat dihitung defleksi yang terjadi adalah sebagai berikut.

Lantai 4

$$\begin{aligned} \delta_{A4} &= \frac{Cd \cdot \delta_{eA}}{Ie} \\ &= 104,225 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{B4} &= \frac{Cd \cdot \delta_{eB}}{Ie} \\ &= 113,700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lantai 5

$$\begin{aligned} \delta_{A5} &= \frac{Cd \cdot \delta_{eA}}{Ie} \\ &= 139,172 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{B5} &= \frac{Cd \cdot \delta_{eB}}{Ie} \\ &= 152,552 \text{ mm} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai defleksi maka dapat dicari simpangan di lantai 5, antara lain sebagai berikut

$$\begin{aligned} \Delta_{5A} &= (\delta_{A5} - \delta_{A4}) \\ &= 34,947 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{5B} &= (\delta_{B5} - \delta_{B4}) \\ &= 38,852 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\Delta_{5 \text{ max}} = 38,852 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{5 \text{ rata-rata}} &= \left( \frac{\Delta_{5A} + \Delta_{5B}}{2} \right) \\ &= 36,900 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1,2 \Delta_{5 \text{ rata-rata}} &= 1,2 \cdot \Delta_{5 \text{ rata-rata}} \\ &= 44,279 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1,4 \Delta_{5 \text{ rata-rata}} &= 1,4 \cdot \Delta_{5 \text{ rata-rata}} \\ &= 51,659 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka dapat disimpulkan pada lantai 5 tidak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b dengan  $\Delta_{5 \max} < 1,2\Delta_{5 \text{rata-rata}} < 1,4\Delta_{5 \text{rata-rata}}$ . Dari data yang sudah diketahui di atas dapat dihitung pembesaran momen torsi tak terduga pada lantai 5, antara lain sebagai berikut.

$$\delta_{\max} = 152,552 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \delta_{\text{avg}} &= \left( \frac{\delta_A + \delta_B}{2} \right) \\ &= 145,862 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$1,2\delta_{\text{avg}} = 175,034$$

$$\begin{aligned} Ax &= \left( \frac{\delta_{\max}}{1,2\delta_{\text{avg}}} \right)^2 \\ &= 0,760 \end{aligned}$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan di atas karena nilai  $Ax < 1$ , maka tidak perlu dilakukan perbesaran torsi pada lantai 5.

Perhitungan pengecekan ketidakberaturan tipe 1a, 1b dan perhitungan nilai faktor perbesaran torsi dapat dilihat pada tabel 5.6 dan 5.7.

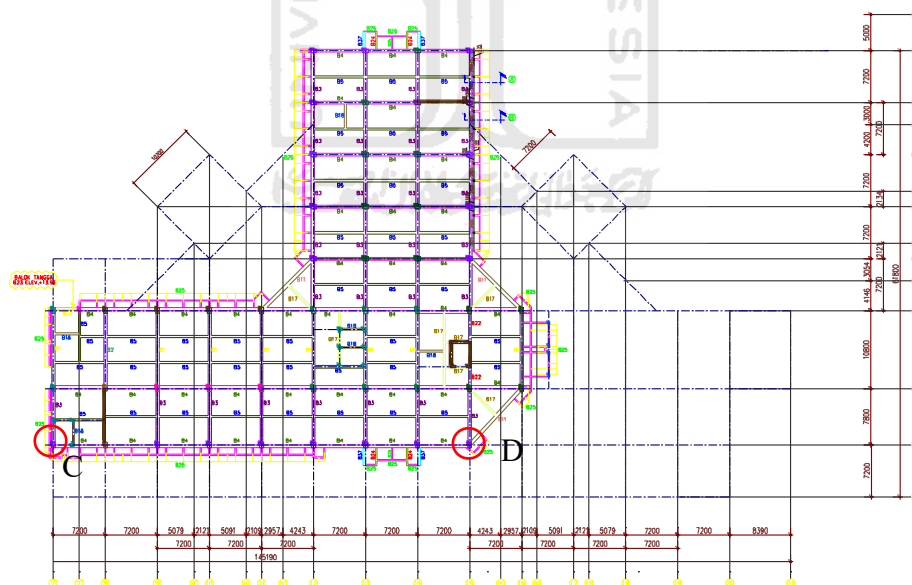
**Tabel 5. 6 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b arah X**

Lantai	$\delta_{eA}$ (mm)	$\delta_{eB}$ (mm)	$\Delta_A$ (mm)	$\Delta_B$ (mm)	$\Delta_{\max}$	$\Delta_{\text{avg}}$	1,2. $\Delta_{\text{avg}}$	1,4 $\Delta_{\text{avg}}$	cek
Atap	51,22	57,07	18,83	22,54	22,54	20,68	24,82	28,96	Tanpa Torsi
6	46,08	50,92	29,79	34,17	34,17	31,98	38,37	44,77	Tanpa Torsi
5	37,96	41,61	34,95	38,85	38,85	36,90	44,28	51,66	Tanpa Torsi
4	28,43	31,01	34,05	37,24	37,24	35,64	42,77	49,90	Tanpa Torsi
3	19,14	20,85	30,81	32,79	32,79	31,80	38,16	44,52	Tanpa Torsi
2	10,74	11,91	27,05	29,85	29,85	28,45	34,14	39,83	Tanpa Torsi
1	3,36	3,77	12,31	13,82	13,82	13,06	15,68	18,29	Tanpa Torsi

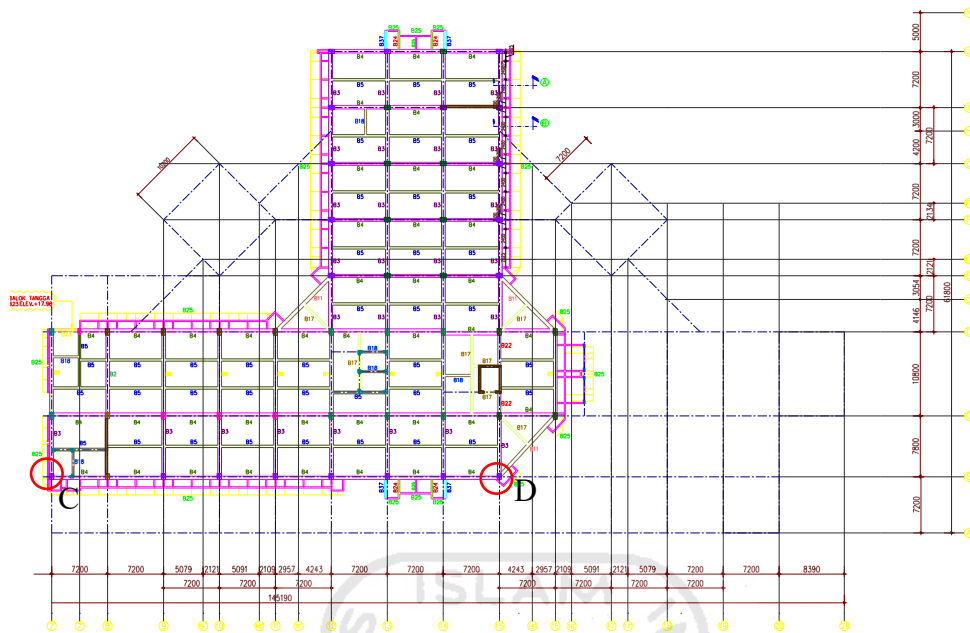
**Tabel 5. 7 Faktor Pembesaran Torsi Arah X**

Lantai	$\delta_A$ (mm)	$\delta_B$ (mm)	$\delta_{max}$ (mm)	$\delta_{avg}$ (mm)	1,2. $\Delta_{avg}$	$A_x$	Cek
Atap	187,79	209,25	209,25	198,52	238,23	0,77	Tidak perlu
6	168,96	186,72	186,72	177,84	213,41	0,77	Tidak perlu
5	139,17	152,55	152,55	145,86	175,03	0,76	Tidak perlu
4	104,23	113,70	113,70	108,96	130,75	0,76	Tidak perlu
3	70,18	76,46	76,46	73,32	87,98	0,76	Tidak perlu
2	39,36	43,67	43,67	41,52	49,82	0,77	Tidak perlu
1	12,31	13,82	13,82	13,06	15,68	0,78	Tidak Perlu

Perhitungan ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1a dan 1b diambil contoh pada lantai 5 dan 6 karena mempunyai denah lantai yang sama. Titik joint yang dijadikan sebagai acuan perhitungan ketidakberaturan 1a dan 1b arah Y dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12



**Gambar 5. 11 Titik Joint Yang Dijadikan Acuan Perhitungan Ketidakberaturan 1a dan 1b pada Lantai 5**



**Gambar 5. 12 Titik Joint yang Dijadikan Acuan Perhitungan Ketidakberaturan 1a dan 1b pada Lantai 6**

Diketahui :

Lantai 5

$$\delta_{eC} = 23,477 \text{ mm}$$

$$\delta_{eD} = 28,080 \text{ mm}$$

Lantai 6

$$\delta_{eC} = 29,348 \text{ mm}$$

$$\delta_{eD} = 35,253 \text{ mm}$$

$$Cd = 5,5$$

$$I = 1,5$$

Dari data tersebut maka dapat dihitung defleksi yang terjadi adalah sebagai berikut.

Lantai 5

$$\begin{aligned} \delta_{C5} &= \frac{Cd \cdot \delta_{eC}}{Ie} \\ &= 86,082 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\delta_{D5} = \frac{Cd \cdot \delta_{eD}}{Ie}$$



$$= 102,960 \text{ mm}$$

Lantai 6

$$\delta_{C6} = \frac{C_d \cdot \delta e C}{I_e}$$

$$= 107,609 \text{ mm}$$

$$\delta_{D6} = \frac{C_d \cdot \delta e D}{I_e}$$

$$= 129,261 \text{ mm}$$

Setelah didapatkan nilai defleksi maka dapat dicari simpangan di lantai 6, antara lain sebagai berikut

$$\Delta_{6C} = (\delta_{C6} - \delta_{C5})$$

$$= 21,527 \text{ mm}$$

$$\Delta_{6D} = (\delta_{D6} - \delta_{D5})$$

$$= 26,301 \text{ mm}$$

$$\Delta_{6 \text{ max}} = 26,301 \text{ mm}$$

$$\Delta_{6 \text{ rata-rata}} = \left( \frac{\Delta_{6C} + \Delta_{6B}}{2} \right)$$

$$= 23,914 \text{ mm}$$

$$1,2 \Delta_{6 \text{ rata-rata}} = 1,2 \cdot \Delta_{6 \text{ rata-rata}}$$

$$= 28,697 \text{ mm}$$

$$1,4 \Delta_{6 \text{ rata-rata}} = 1,4 \cdot \Delta_{6 \text{ rata-rata}}$$

$$= 33,480 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka dapat disimpulkan pada lantai 6 tidak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b dengan  $\Delta_{6 \text{ max}} < 1,2 \Delta_{6 \text{ rata-rata}} < 1,4 \Delta_{6 \text{ rata-rata}}$ . Dari data yang sudah diketahui di atas dapat dihitung pembesaran momen torsi tak terduga pada lantai 6, antara lain sebagai berikut.

$$\delta_{\text{max}} = 129,261 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{avg}} = \left( \frac{\delta_{C6} + \delta_{D6}}{2} \right)$$

$$= 118,435 \text{ mm}$$

$$1,2 \delta_{\text{avg}} = 142,122 \text{ mm}$$

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

$$= 0,827$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan di atas karena nilai  $Ax < 1$ , maka tidak perlu dilakukan perbesaran torsi pada lantai 6.

Perhitungan pengecekan ketidakberaturan tipe 1a, 1b dan perhitungan nilai faktor perbesaran torsi dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9.

**Tabel 5. 8 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b arah Y**

Lantai	$\delta_{eC}$ (mm)	$\delta_{eD}$ (mm)	$\Delta C$ (mm)	$\Delta D$ (mm)	$\Delta$ max	$\Delta$ avg	1,2. $\Delta_{avg}$	1,4 $\Delta_{avg}$	cek
Atap	34,53	40,32	18,98	18,56	18,98	18,77	22,53	26,28	Tanpa Torsi
6	29,35	35,25	21,53	26,30	26,30	23,91	28,70	33,48	Tanpa Torsi
5	23,48	28,08	21,15	30,20	30,20	25,67	30,81	35,94	Tanpa Torsi
4	17,71	19,84	20,41	51,06	51,06	35,74	42,88	50,03	1a dan 1b
3	12,14	5,92	20,01	9,00	20,01	14,50	17,40	20,30	1a
2	6,69	3,46	17,06	8,31	17,06	12,68	15,22	17,76	1a
1	2,03	1,20	7,46	4,39	7,46	5,93	7,11	8,30	1a

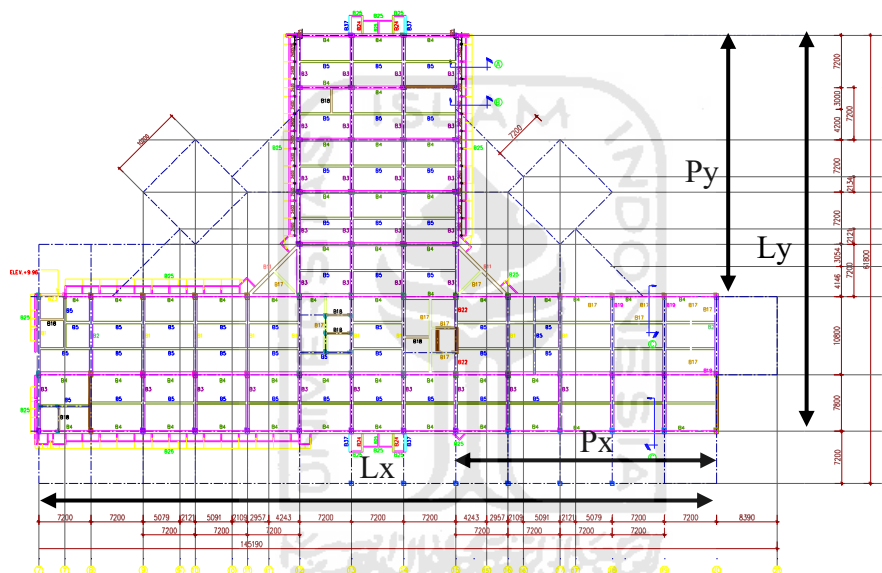
**Tabel 5. 9 Faktor Pembesaran Torsi**

Lantai	$\delta C$ (mm)	$\delta D$ (mm)	$\delta_{max}$ (mm)	$\delta_{avg}$ (mm)	1,2. $\Delta_{avg}$	$Ax$	Cek
Atap	126,59	147,82	147,82	137,21	164,65	0,81	Tidak perlu
6	107,61	129,26	129,26	118,44	142,12	0,83	Tidak perlu
5	86,08	102,96	102,96	94,52	113,43	0,82	Tidak perlu
4	64,94	72,76	72,76	68,85	82,62	0,78	Tidak perlu
3	44,52	21,70	44,52	33,11	39,73	1,26	Perlu
2	24,52	12,70	24,52	18,61	22,33	1,21	Perlu
1	7,46	4,39	7,46	5,93	7,11	1,10	Perlu

Dari perhitungan di atas maka dapat disimpulkan lantai yang terkena ketidakberaturan torsi 1a adalah lantai 1, 2, 3, 4 dan torsi 1b pada lantai 4. Sedangkan untuk pembesaran torsi terjadi pada lantai 1, 2, dan 3.

2. Ketidakberaturan sudut dalam (tipe 2)

Berdasarkan Tabel 10 SNI 1726-2012 ketidakberaturan sudut dalam ada apabila jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan. Denah tinjauan untuk perhitungan ketidakberaturan tipe 2 dapat dilihat pada Gambar 5.13.



**Gambar 5. 13 Denah Tinjauan untuk Perhitungan Ketidakberaturan Tipe 2 Lantai 4**

Sebagai contoh diambil perhitungan ketidakberaturan struktur horizontal tipe 2 pada lantai 4.

Diketahui

$$L_y = 54,60 \text{ m}$$

$$L_x = 93,6 \text{ m}$$

$$P_y = 36 \text{ m}$$

$$P_x = 36 \text{ m}$$

Dari data tersebut maka dapat dihitung syarat ketidakberaturan tipe 2 sebagai berikut.

$$0,15.Ly = 0,15. 54,60 \text{ m}$$

$$= 8,19 \text{ m}$$

$$0,15.Lx = 0,15. 93,6 \text{ m}$$

$$= 14,40 \text{ m}$$

Dari perhitungan tersebut di atas maka dapat disimpulkan bangunan gedung memiliki ketidakberaturan tipe 2 yaitu  $P_x > 0,15.L_x$  dan  $P_y > 0,15.L_y$ . Untuk hasil perhitungan pada lantai berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

**Tabel 5. 10 Hasil Perhitungan Ketidakberaturan Struktur Horizontal Tipe 2**

Lantai	$P_y$ (m)	$P_x$ (m)	$0,15 L_y$ (m)	$0,15 L_x$ (m)	Cek
Atap	36,000	36,000	8,190	9,720	Tipe 2
6	36,000	36,000	8,190	9,720	Tipe 2
5	36,000	36,000	8,190	9,720	Tipe 2
4	36,000	36,000	8,190	14,040	Tipe 2
3	14,400	14,400	9,270	14,040	Tipe 2
2	10,157	18,560	9,270	15,299	Tipe 2
1	10,157	18,560	9,270	15,299	Tipe 2

Dari perhitungan ketidakberaturan struktur horizontal tipe 2, bangunan rumah sakit memiliki ketidakberaturan struktur horizontal tipe 2 pada semua lantai bangunan. Pada perhitungan ini terbukti bahwa gedung rumah sakit yang memiliki ketidakberaturan struktur tipe 2 maka akan berpengaruh kepada besarnya simpangan yang terjadi pada perhitungan ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1a dan 1b. Hal tersebut sejalan dengan penelitian sebelumnya yaitu Purba (2014) menyatakan, analisis yang dilakukan menunjukkan semakin besar proyeksi sudut dalam, maka akan semakin besar simpangan yang terjadi.

3. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma (tipe 3)  
Ketidakberaturan tipe 3 tidak terjadi pada gedung RSA UII karena tidak terdapat bukaan pada gedung tersebut, dimana bukaan yang disyaratkan lebih dari 50% luasan diafragma bruto yang melingkupinya.
4. Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang (tipe 4)  
Ketidakberaturan tipe 4 tidak terjadi pada bangunan gedung RSA UII karena semua dinding geser yang terdapat pada bangunan tersebut menerus dari atas hingga bawah struktur.
5. Ketidakberaturan sistem nonparalel (tipe 5)  
Ketidakberaturan tipe 5 tidak terjadi pada bangunan RSA UII karena semua dinding geser berada pada arah sumbu x dan y.

### 5.8.2 Ketidakberaturan Struktur Vertikal

Ketidakteraturan struktur vertikal terdiri dari 7 tipe yaitu tipe 1a, 1b, 2, 3, 4, 5a, dan 5b. Pengecekan untuk tipe-tipe tersebut dapat dilihat sebagaimana penjelasan berikut di bawah ini.

1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (tipe 1a)  
Untuk mengetahui ada tidaknya ketidakberaturan struktur vertikal tipe 1a, sebagai contoh dilakukan perhitungan ketidakberaturan struktur vertikal pada lantai 5 arah x seperti pada contoh perhitungan berikut ini.

Diketahui

$$V_x \text{ lantai 6} : \text{Gaya geser seismik di lantai 6} = 10870,892 \text{ kN}$$

$$U_1 \text{ lantai 6} : \text{Defleksi arah x} = 50,960 \text{ mm}$$

$$V_x \text{ lantai 5} : \text{Gaya geser seismik di lantai 5} = 14264,313 \text{ kN}$$

$$U_1 \text{ lantai 5} : \text{Defleksi arah x} = 41,601 \text{ mm}$$

Dari data diatas maka dapat dihitung kekakuan tingkatnya antara lain sebagai berikut.

$$\begin{aligned} K \text{ lantai 6} &= \frac{V_x}{u_1} \\ &= 213,322 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

$$K \text{ lantai 5} = \frac{V_x}{u_1}$$

$$= 342,884 \text{ kN/mm}$$

Persen kekakuan tingkat terhadap tingkat di atasnya dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \%K \text{ lantai } 5 &= \frac{K \text{ lantai } 5}{K \text{ lantai } 6} \times 100\% \\ &= 160,735 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas maka disimpulkan pada lantai 5 tidak terjadi ketidakberaturan struktur tingkat lunak karena  $\%K \text{ lantai } 5 > 70\%$  kekakuan tingkat lantai di atasnya. Perhitungan untuk lantai berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan Tabel 5.12.

**Tabel 5. 11 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1a Arah X**

Lantai	V <sub>x</sub> (kN)	U1 (m)	Kekakuan (kN/mm)	Kekakuan (%)	Syarat (%)	Keterangan
Atap	6101,940	0.057	106,909			
6	10870,892	0.051	213,322	199,536	70	Oke
5	14264,313	0.042	342,884	160,735	70	Oke
4	17343,679	0.031	559,744	163,246	70	Oke
3	20954,221	0.021	1006,930	179,891	70	Oke
2	23967,716	0.012	2011,896	199,805	70	Oke
1	25421,488	0.004	6744,889	335,250	70	Oke

**Tabel 5. 12 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1a Arah Y**

Lantai	V <sub>y</sub> (kN)	U2 (m)	Kekakuan (kN/mm)	Kekakuan (%)	Syarat (%)	Keterangan
Atap	6314,859	0.035	182,907			
6	11183,892	0.029	380,936	208,268	70	Oke
5	14671,657	0.023	624,911	164,046	70	Oke
4	17830,845	0.018	1006,539	161,069	70	Oke
3	21290,953	0.012	1752,486	174,110	70	Oke
2	24092,102	0.007	3594,763	205,124	70	Oke
1	25421,488	0.002	12346,522	343,459	70	Oke

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa gedung RSA UII tidak memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 1a.

2. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan (tipe 1b)

Untuk mengetahui ada tidaknya ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan maka dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut.

Diketahui

$$V_x \text{ lantai 6} : \text{Gaya geser seismik di lantai 6} = 10870,892 \text{ kN}$$

$$U_1 \text{ lantai 6} : \text{Defleksi arah x} = 50,960 \text{ mm}$$

$$V_x \text{ lantai 5} : \text{Gaya geser seismik di lantai 5} = 14264,313 \text{ kN}$$

$$U_1 \text{ lantai 5} : \text{Defleksi arah x} = 41,601 \text{ mm}$$

Dari data diatas maka dapat dihitung kekakuan tingkatnya antara lain sebagai berikut.

$$\begin{aligned} K \text{ lantai 6} &= \frac{V_x}{u_1} \\ &= 213,322 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K \text{ lantai 5} &= \frac{V_x}{u_1} \\ &= 342,884 \text{ kN/mm} \end{aligned}$$

Persen kekakuan tingkat terhadap tingkat diatasnya dapat dihitung dengan persamaa berikut.

$$\begin{aligned} \%K \text{ lantai 5} &= \frac{K \text{ lantai 5}}{K \text{ lantai 6}} \times 100\% \\ &= 160,735 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka disimpulkan pada lantai 5 tidak terjadi ketidakberaturan struktur tingkat lunak berlebihan karena  $\%K \text{ lantai 5} > 60\%$  kekakuan tingkat lantai di atasnya. Perhitungan untuk lantai berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan Tabel 5.14.

**Tabel 5. 13 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1b Arah X**

Lantai	V <sub>x</sub> (kN)	U1 (m)	Kekakuan (kN/mm)	Kekakuan (%)	Syarat (%)	Keterangan
Atap	6101,940	0.057	106,909			
6	10870,892	0.051	213,322	199,536	60	Oke
5	14264,313	0.042	342,884	160,735	60	Oke
4	17343,679	0.031	559,744	163,246	60	Oke
3	20954,221	0.021	1006,930	179,891	60	Oke
2	23967,716	0.012	2011,896	199,805	60	Oke
1	25421,488	0.004	6744,889	335,250	60	Oke

**Tabel 5. 14 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1b Arah Y**

Lantai	V <sub>y</sub> (kN)	U2 (m)	Kekakuan (kN/mm)	Kekakuan (%)	Syarat (%)	Keterangan
Atap	6314,859	0.035	182,907			
6	11183,892	0.029	380,936	208,268	60	Oke
5	14671,657	0.023	624,911	164,046	60	Oke
4	17830,845	0.018	1006,539	161,069	60	Oke
3	21290,953	0.012	1752,486	174,110	60	Oke
2	24092,102	0.007	3594,763	205,124	60	Oke
1	25421,488	0.002	12346,522	343,459	60	Oke

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa gedung RSA UII tidak memiliki ketidakberaturan vertikal tipe 1b.

3. Ketidakberaturan berat/massa (tipe 2)

Ketidakberaturan vertikal tipe 2 dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut.

Diketahui :

Massa lantai 6 = 23400,834 kN

Massa lantai 5 = 23400,834 kN



Massa lantai 4 = 32208,910 kN

Dari data tersebut dapat dihitung rasio masa efektif lantai dengan lantai diatas maupun dibawahnya.

$$\begin{aligned} \text{Rasio lantai 5 dengan lantai di atasnya} &= \frac{\text{Massa lantai 5}}{\text{Massa lantai 6}} \times 100\% \\ &= 100,000 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio lantai 5 dengan lantai di bawahnya} &= \frac{\text{Massa lantai 5}}{\text{Massa lantai 4}} \times 100\% \\ &= 72,653 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka disimpulkan pada lantai 5 tidak terjadi ketidakberaturan struktur vertikal tipe 2 dimana rasio massa lantai 5 dengan masa lantai diatas dan lantai dibawahnya tidak lebih besar dari 150 %. Perhitungan untuk lantai berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.15.

**Tabel 5. 15 Pengecekan Ketidakberaturan Massa**

Lantai	Massa (kN)	Rasio dengan lantai diatasnya	Rasio dengan lantai dibawahnya	Syarat	Keterangan
Atap	24442,363		104,451	150	Tidak Ada
6	23400,834	95,739	100,000	150	Tidak Ada
5	23400,834	100,000	72,653	150	Tidak Ada
4	32208,910	137,640	74,138	150	Tidak Ada
3	43444,451	134,883	93,235	150	Tidak Ada
2	46596,722	107,256	90,717	150	Tidak Ada
1	51364,969	110,233		150	Tidak Ada

Dari perhitungan di atas maka dapat disimpulkan bahwa gedung RSA UII tidak mempunyai ketidakberaturan vertikal struktur tipe 2.

#### 4. Ketidakberaturan Geometri Vertikal (Tipe 3)

Dimensi dinding geser gedung RSA UII yang digunakan memiliki dimensi yang sama di sepanjang tinggi bangunan, sehingga ketidakberaturan vertikal struktur tipe 3 tidak ada.

5. Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal (Tipe 4)

Dinding geser pada Gedung RSA UII menerus di sepanjang tinggi bangunan gedung, sehingga ketidakberaturan vertikal struktur tipe 4 tidak ada.

6. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat (Tipe 5a)

Ketidakteraturan vertikal tipe 5a dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut.

Diketahui :

$$V_x \text{ Lantai 5} = 14264,313 \text{ kN}$$

$$V_x \text{ lantai 4} = 17343,679 \text{ kN}$$

Syarat dari adanya ketidakberaturan tipe 5a adalah, apabila kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Maka dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} 80\% \cdot V_x \text{ lantai 5} &= 0,8 \cdot 14264,313 \\ &= 11411,450 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$17343,679 (V_x \text{ lantai 4}) > 80\% \cdot V_x \text{ lantai 5}$$

Dari perhitungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa pada lantai 4 tidak terdapat ketidakberaturan vertikal struktur tipe 5a. Untuk perhitungan pada lantai berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17

**Tabel 5. 16 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Struktur Tipe 5a Arah X**

Lantai	$V_x$	$0,8 \cdot V_x$	Keterangan
Atap	6101,940	4881,552	
6	10870,892	8696,714	Ok
5	14264,313	11411,450	Ok
4	17343,679	13874,943	Ok
3	20954,221	16763,377	Ok
2	23967,716	19174,173	Ok
1	25421,488	20337,190	Ok

**Tabel 5. 17 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Struktur Tipe 5a Arah Y**

Lantai	Vy	0,8.Vy	Keterangan
Atap	6314,859	5051,887	
6	11183,892	8947,114	Ok
5	14671,657	11737,326	Ok
4	17830,845	14264,676	Ok
3	21290,953	17032,762	Ok
2	24092,102	19273,682	Ok
1	25421,488	20337,190	Ok

7. Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan (Tipe 5b)

Ketidakberaturan vertikal tipe 5b dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut.

Diketahui :

$$V_x \text{ Lantai 5} = 14264,313 \text{ kN}$$

$$V_x \text{ lantai 4} = 17343,679 \text{ kN}$$

Syarat dari adanya ketidakberaturan tipe 5b adalah, apabila kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya. Maka dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} 65\% \cdot V_x \text{ lantai 5} &= 0,65 \cdot 14264,313 \\ &= 9271,803 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka,

$$17343,679 (V_x \text{ lantai 4}) > 65\% \cdot V_x \text{ lantai 5}$$

Dari perhitungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa pada lantai 4 tidak terdapat ketidakberaturan vertikal struktur tipe 5b. Untuk perhitungan pada lantai berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.18 dan Tabel 5.19

**Tabel 5. 18 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Struktur Tipe 5b Arah X**

Lantai	$V_x$	$0,65.V_x$	Keterangan
Atap	6101,940	3966,261	
6	10870,892	7066,080	Ok
5	14264,313	9271,803	Ok
4	17343,679	11273,391	Ok
3	20954,221	13620,244	Ok
2	23967,716	15579,015	Ok
1	25421,488	16523,967	Ok

**Tabel 5. 19 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Struktur Tipe 5b Arah Y**

Lantai	$V_y$	$0,65.V_y$	Keterangan
Atap	6314,859	4104,658	
6	11183,892	7269,530	Ok
5	14671,657	9536,577	Ok
4	17830,845	11590,049	Ok
3	21290,953	13839,119	Ok
2	24092,102	15659,866	Ok
1	25421,488	16523,967	Ok

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa gedung RSA UII tidak terdapat ketidakberaturan vertikal struktur tipe 5a dan 5b.

### 5.8.3 Hasil Perhitungan Ketidakberaturan

Pengecekan ketidakberaturan horizontal maupun ketidakberaturan vertikal struktur sudah dilakukan pada subab 5.8.1 dan 5.8.2. Dari perhitungan subab tersebut maka, hasil pengecekan ketidakberaturan struktur dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan Tabel 5.20 berikut ini.

**Tabel 5. 20 Pengecekan Ketidakberaturan Horisontal pada Struktur**

	Tipe Ketidakberaturan	Cek	Lantai
1a	Ketidakberaturan torsi	Ada	1,2,3,4
1b	Ketidakberaturan torsi berlebihan	Ada	4
2	Ketidakberaturan sudut dalam	Ada	1,2,3,4,5,6,Atap
3	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma	Tidak Ada	-
4	Ketidakberaturan pergeseran melintang	Tidak Ada	-
5	Ketidakberaturan sistem nonparallel	Tidak Ada	-

Dari hasil pengecekan ketidakberaturan struktur horizontal, struktur bangunan gedung memiliki ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1a, 1b, dan 2. Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.3.3.1 dapat disimpulkan struktur bangunan tersebut dapat digunakan.

**Tabel 5. 21 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur**

	Tipe Ketidakberaturan	Cek
1a	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak	Tidak ada
1b	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan	Tidak ada
2	Ketidakberaturan berat (massa)	Tidak ada
3	Ketidakberaturan geometri vertikal	Tidak ada
4	Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal	Tidak ada
5a	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat	Tidak ada
5b	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan	Tidak ada

Dari hasil pengecekan ketidakberaturan struktur vertikal, maka disimpulkan struktur yang dirancang tidak memiliki ketidakberaturan struktur vertikal.

## 5.9 Gaya Desain Diafragma

Gedung RSA UII berada pada kategori desain seismik D mempunyai tipe ketidakberturan struktur horizontal tipe 1a, 1b, dan 2. Berdasarkan pasal 7.3.3.4 SNI 1726-2012 maka gaya desain elemen-elemen sistem penahan gaya gempa khususnya elemen kord dan kolektor ditingkatkan sebesar 25%.

Lantai yang akan didesain diafragmanya ada pada semua lantai yaitu lantai 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan Atap. Lantai tersebut dipilih karena memiliki ketidakberaturan horisontal struktur tipe 1a pada lantai 1, 2, 3, 4, dan ketidakberaturan struktur horisontal tipe 1b pada lantai 4, dan ketidakberaturan struktur horisontal tipe 2 pada semua lantai. Berikut contoh perhitungan untuk gaya desain diafragma pada lantai 1.

Diketahui :

Arah X

$$\Sigma F_i \text{ lantai 1} = 25421,488 \text{ kN}$$

$$\Sigma w_i \text{ lantai 1} = 244859,083 \text{ kN}$$

$$w_{px} \text{ lantai 1} = 51364,969 \text{ kN}$$

$$F_{px} = \frac{\Sigma F_i}{\Sigma w_i} \times w_{px}$$

$$= 5332,757 \text{ kN}$$

Gaya desain ditingakan 25%

$$1,25 \cdot F_{px} = 6665,946 \text{ kN}$$

Gaya desain diafragma yang dihitung di atas tidak boleh kurang dari gaya desain diafragma minimum dengan persamaan berikut.

$$F_{px} = 0,2 \cdot S_{DS} \cdot I_e \cdot W_{px}$$

$$= 12683,449 \text{ kN}$$

Gaya desain diafragma yang dihitung tidak boleh melebihi dari gaya desain diafragma maksimum dengan persamaan berikut.

$$F_{px} = 0,4.SDS.I_e.W_{px}$$

$$= 25366,898 \text{ kN}$$

Dari perhitungan gaya desain diafragma pada lantai 1 maka gaya desain diafragma yang dipakai adalah gaya desain diafragma minimum yaitu sebesar 12683,449 kN dimana  $1,25.F_{px \text{ hitung}} < F_{px \text{ minimum}} < F_{px \text{ maksimum}}$ . Untuk perhitungan pada lantai berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.22

**Tabel 5. 22 Gaya Desain Diafragma Arah X**

Lantai	$\Sigma F_i$ (kN)	$\Sigma w_i$ (kN)	$W_{px}$ (kN)	$F_{px}$ (kN)	$1,25$ $F_{px}$ (kN)	$F_{px \text{ min}}$ (kN)	$F_{px \text{ max}}$ (kN)
Atap	6101,940	24442,363	24442,363	6101,940	7627,425	6035,504	12071,008
6	10870,892	47843,197	23400,834	5317,118	6646,398	5778,321	11556,642
5	14264,313	71244,031	23400,834	4685,260	5856,575	5778,321	11556,642
4	17343,679	103452,941	32208,910	5399,759	6749,699	7953,282	15906,563
3	20954,221	146897,392	43444,451	6197,146	7746,433	10727,651	21455,303
2	23967,716	193494,114	46596,722	5771,840	7214,800	11506,035	23012,071
1	25421,488	244859,083	51364,969	5332,757	6665,946	12683,449	25366,898

Dari perhitungan di atas maka gaya desain diafragma yang dipakai untuk lantai 1, 2, 3, dan 4 adalah gaya desain diafragma minimum, karena  $1,25.F_{px \text{ hitung}} < F_{px \text{ minimum}}$ , sedangkan pada lantai 5, 6, dan atap digunakan gaya desain diafragma yang dihitung, karena  $F_{px \text{ minimum}} < 1,25.F_{px \text{ hitung}} < F_{px \text{ maksimum}}$ . Selanjutnya untuk perhitungan gaya desain diafragma arah Y adalah sebagai berikut.

Diketahui :

Arah Y

$$\Sigma F_i \text{ lantai 1} = 25421,488 \text{ kN}$$

$$\Sigma w_i \text{ lantai 1} = 244859,083 \text{ kN}$$

$$w_{px} \text{ lantai 1} = 51364,969 \text{ kN}$$

$$F_{px} = \frac{\sum F_i}{\sum w_i} \times W_{px}$$

$$= 5332,757 \text{ kN}$$

Gaya desain ditinggakan 25%

$$1,25 \cdot F_{px} = 6665,946 \text{ kN}$$

Gaya desain diafragma yang dihitung di atas tidak boleh kurang dari gaya desain diafragma minimum dengan persamaan berikut.

$$F_{px} = 0,2 \cdot SDS \cdot I_e \cdot W_{px}$$

$$= 12683,449 \text{ kN}$$

Gaya desain diafragma yang dihitung tidak boleh melebihi dari gaya desain diafragma maksimum dengan persamaan berikut.

$$F_{px} = 0,4 \cdot SDS \cdot I_e \cdot W_{px}$$

$$= 25366,898 \text{ kN}$$

Dari perhitungan gaya desain diafragma pada lantai 1 maka gaya desain diafragma yang dipakai adalah gaya desain diafragma minimum yaitu sebesar 12683,449 kN dimana  $1,25 \cdot F_{px \text{ hitung}} < F_{px \text{ minimum}} < F_{px \text{ maksimum}}$ . Untuk perhitungan pada lantai berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.23

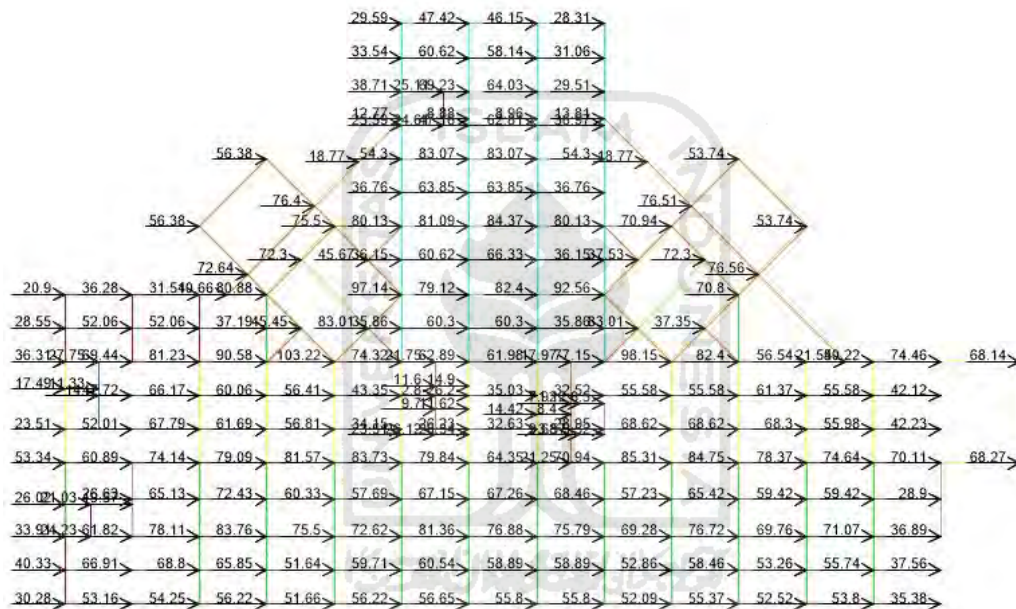
**Tabel 5. 23 Gaya Desain Diafragma Arah Y**

Lantai	$\sum F_i$ (kN)	$\sum w_i$ (kN)	$W_{px}$ (kN)	$F_{px}$ (kN)	$1,25$ $F_{px}$ (kN)	$F_{px \text{ min}}$ (kN)	$F_{px \text{ max}}$ (kN)
Atap	6314,859	24442,363	24442,363	6314,859	7893,574	6035,504	12071,008
6	11183,892	47843,197	23400,834	5470,211	6837,764	5778,321	11556,642
5	14671,657	71244,031	23400,834	4819,056	6023,821	5778,321	11556,642
4	17830,845	103452,941	32208,910	5551,433	6939,291	7953,282	15906,563
3	21290,953	146897,392	43444,451	6296,734	7870,917	10727,651	21455,303
2	24092,102	193494,114	46596,722	5801,794	7252,242	11506,035	23012,071
1	25421,488	244859,083	51364,969	5332,757	6665,946	12683,449	25366,898

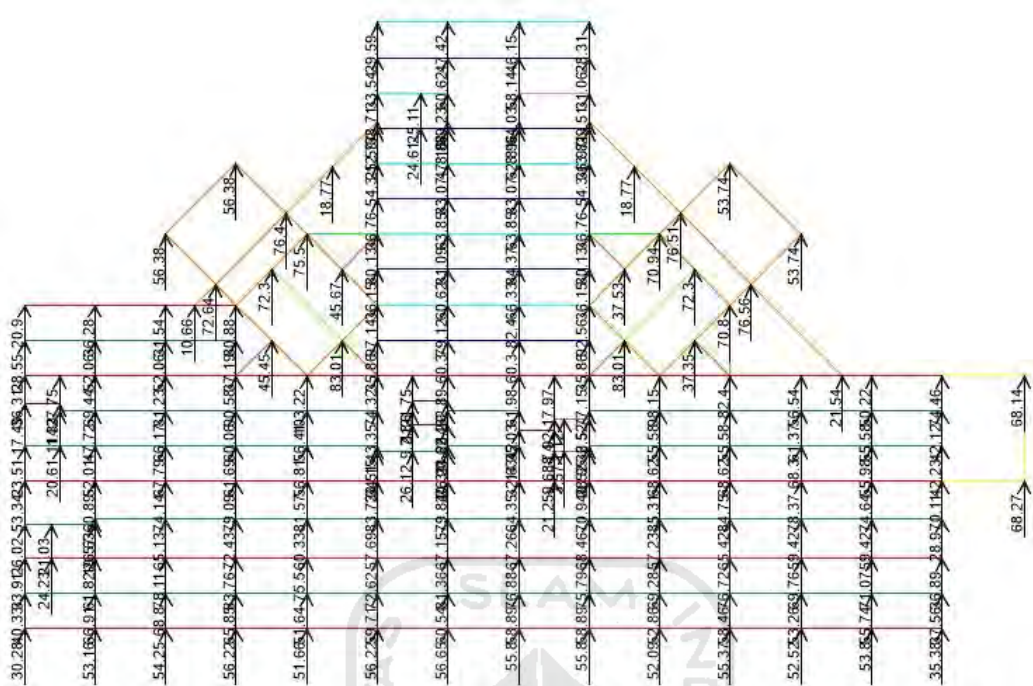


Dari perhitungan di atas maka gaya desain diafragma yang dipakai untuk lantai 1, 2, 3, dan 4 adalah gaya desain diafragma minimum, karena  $1,25.F_{px \text{ hitung}} < F_{px \text{ minimum}} < F_{px \text{ maksimum}}$ , sedangkan pada lantai 5, 6, dan atap digunakan gaya desain diafragma hitung, karena nilai  $F_{px \text{ minimum}} < 1,25.F_{px \text{ hitung}} < F_{px \text{ maksimum}}$ .

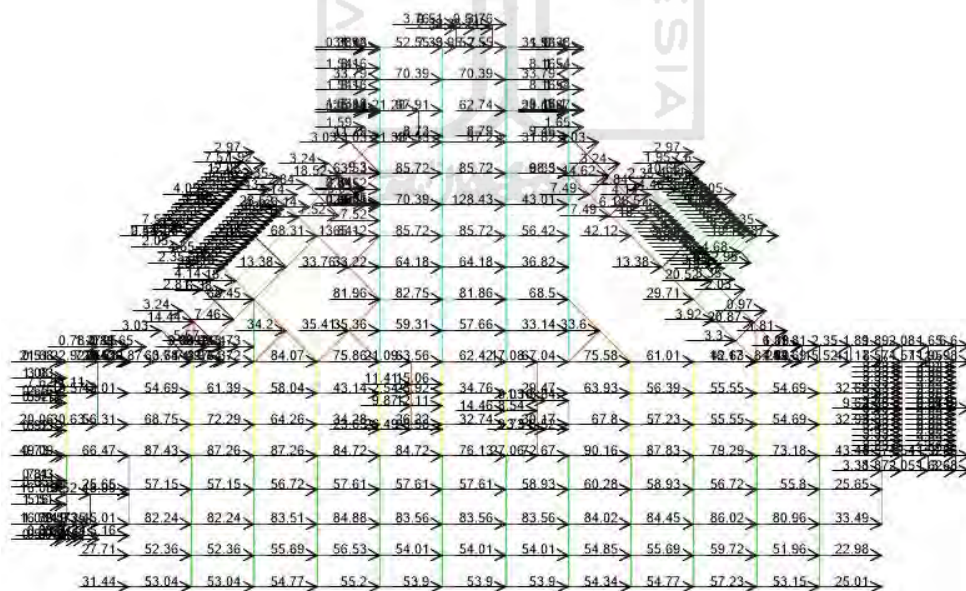
Setiap gaya desain diafragma diaplikasikan untuk masing-masing lantai saja. Gaya desain diafragma tersebut diterapkan pada tiap-tiap nodal sesuai dengan bobot massa masing-masing nodal. Beban desain diafragma yang digunakan dapat dilihat pada gambar berikut ini.



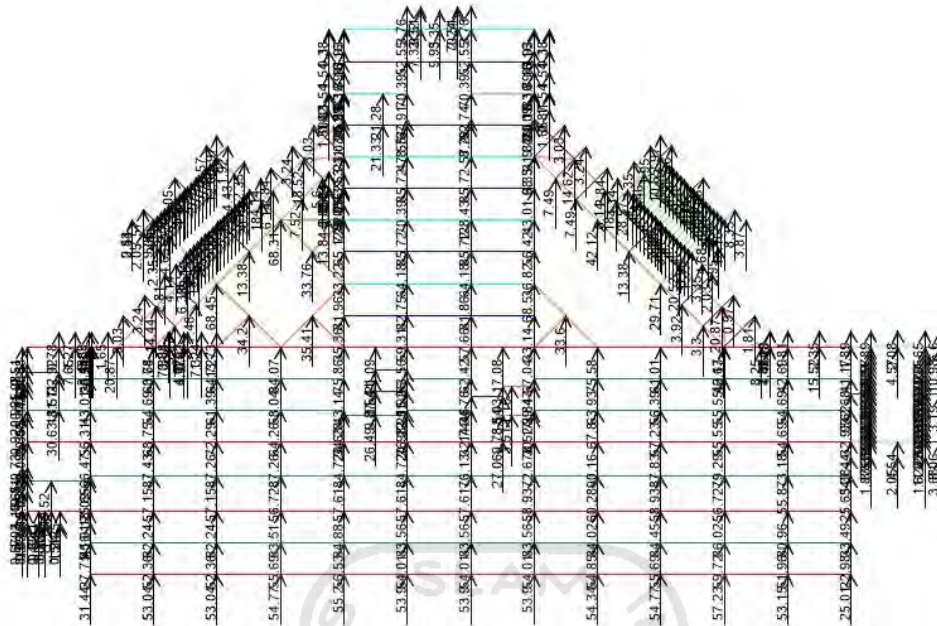
Gambar 5. 14 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai 1



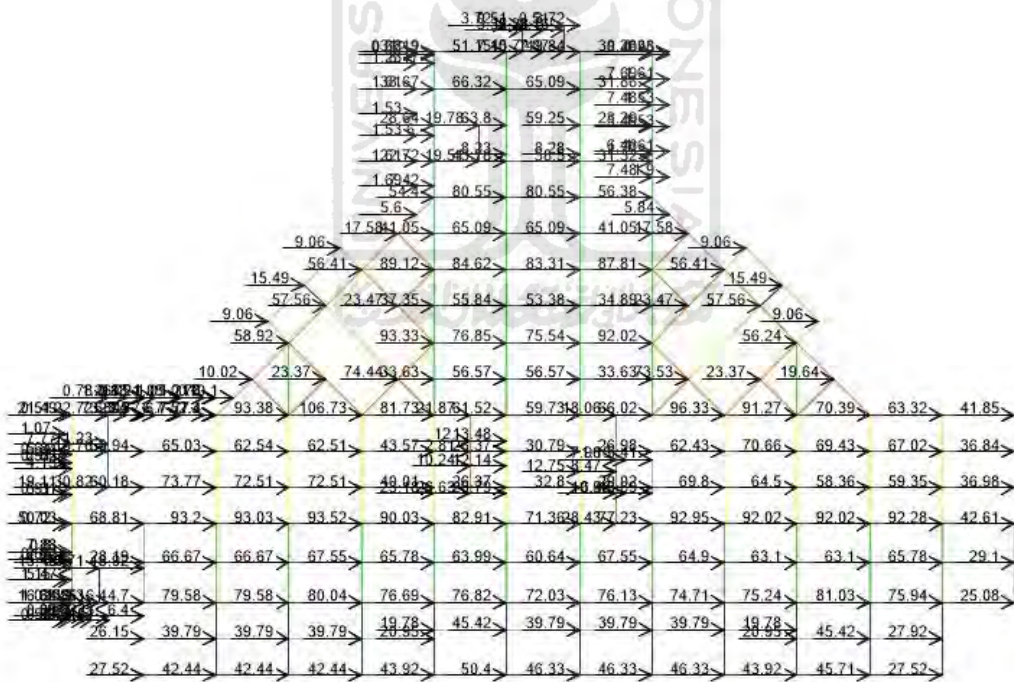
Gambar 5. 15 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai 1



Gambar 5. 16 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai 2

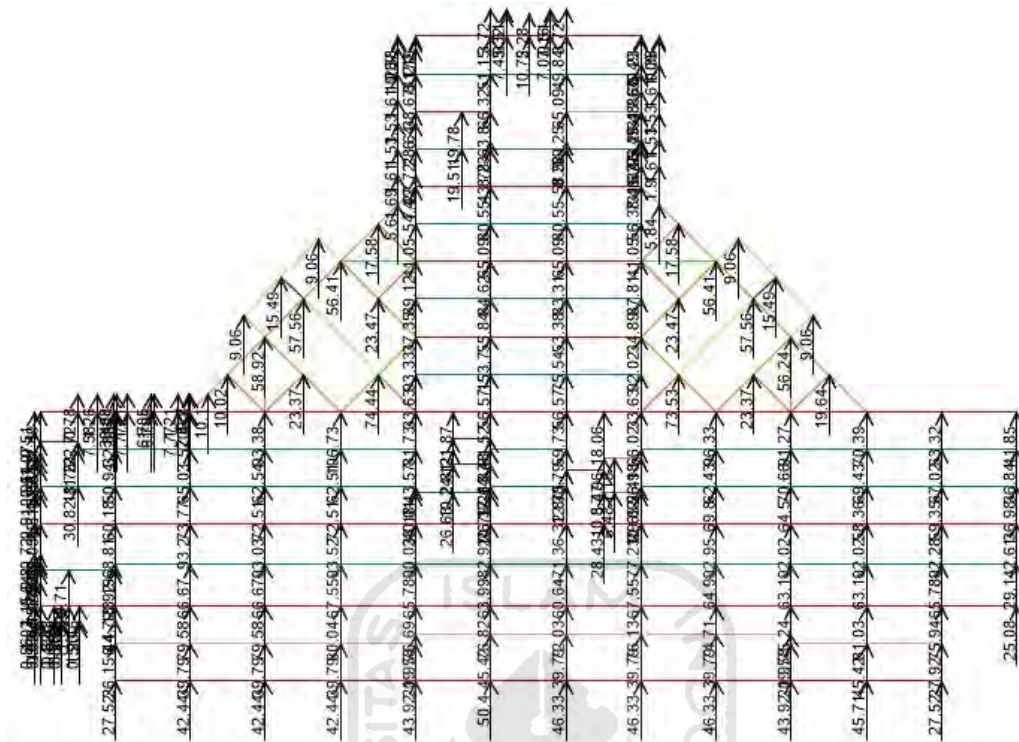


Gambar 5. 17 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai 2

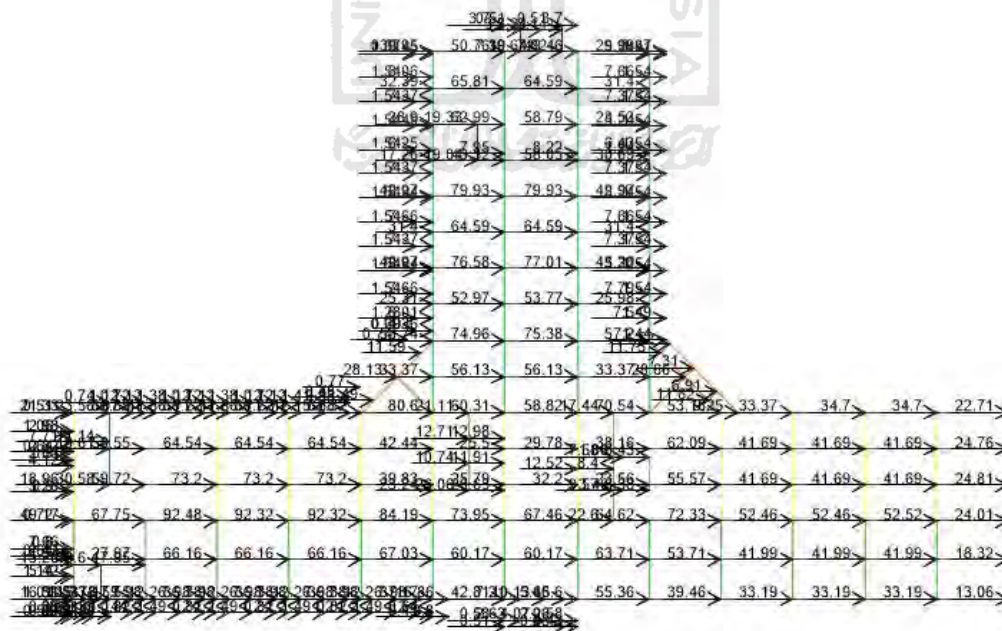


Gambar 5. 18 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai 3

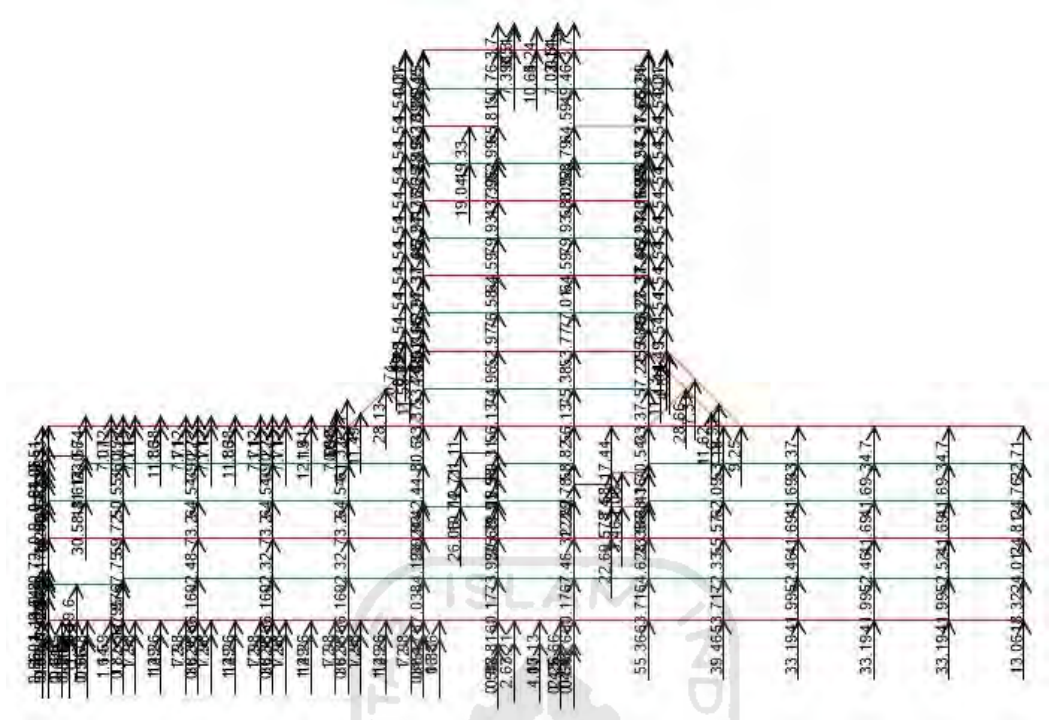




Gambar 5. 19 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai 3



Gambar 5. 20 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai 4

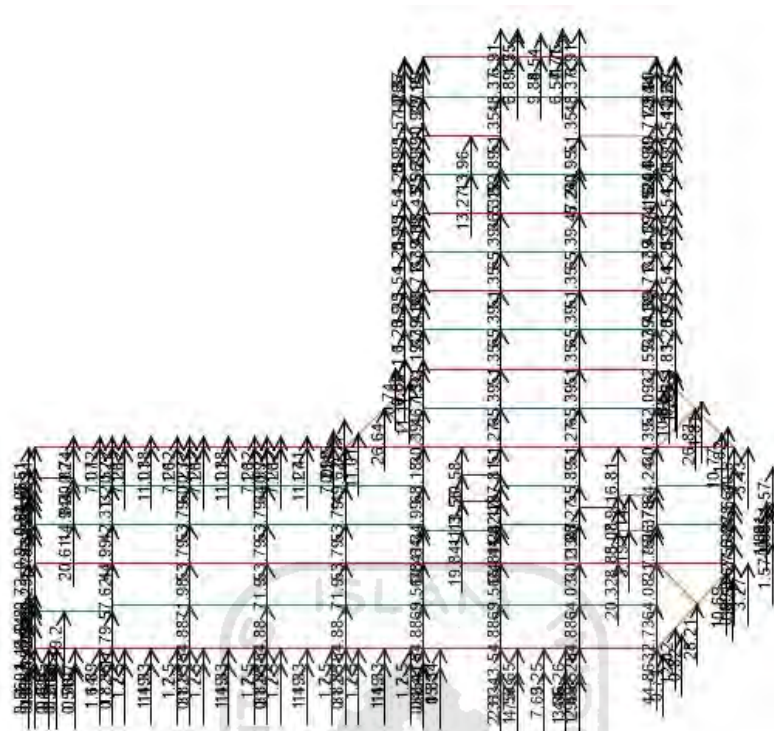


Gambar 5. 21 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai 4



Gambar 5. 22 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai 5

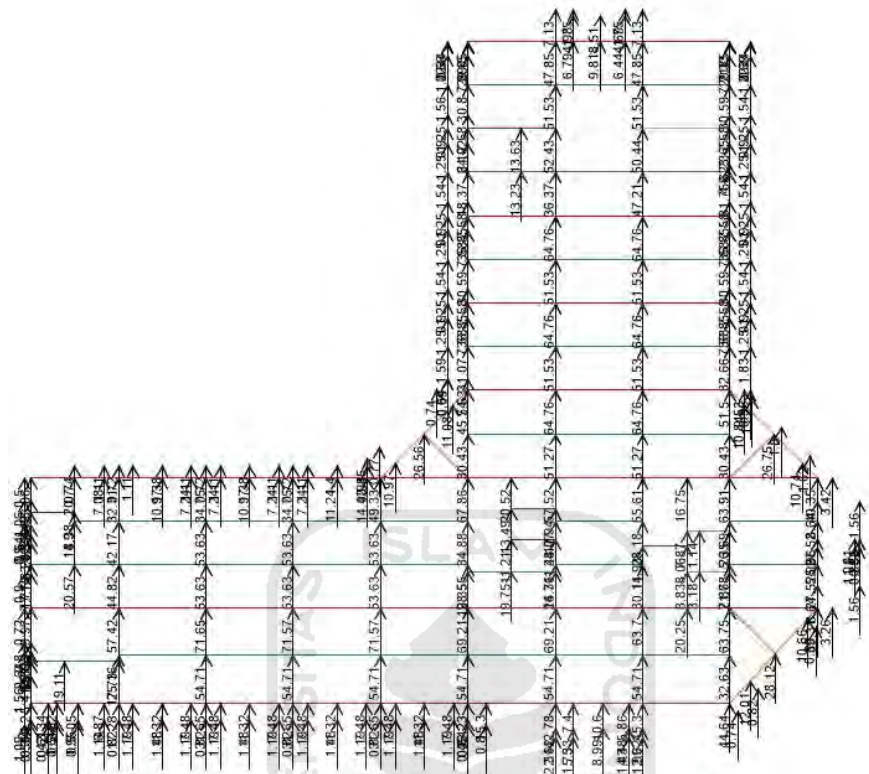




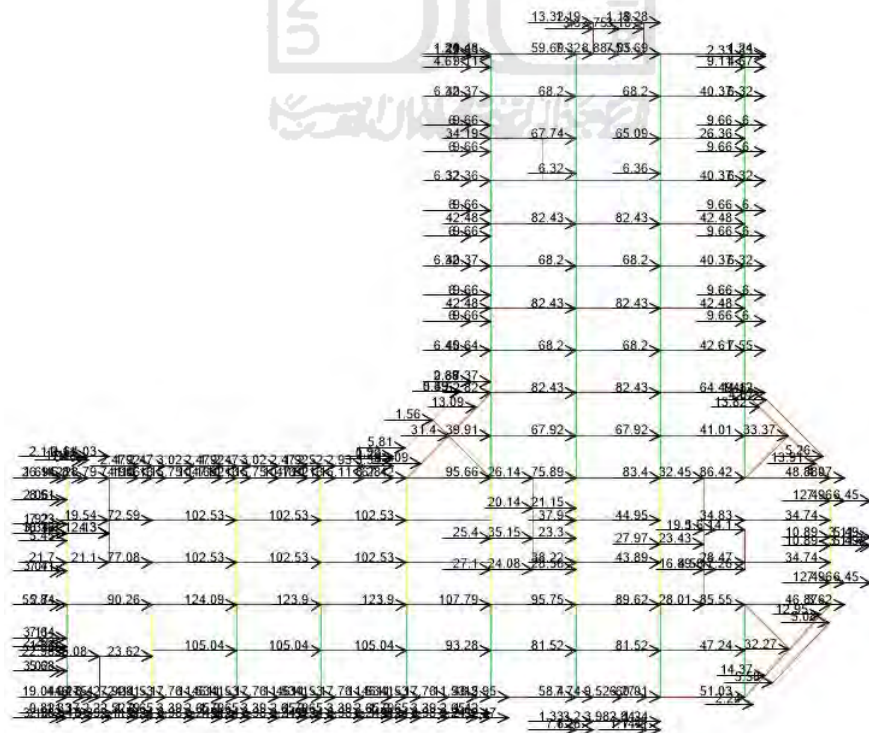
Gambar 5. 23 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai 5



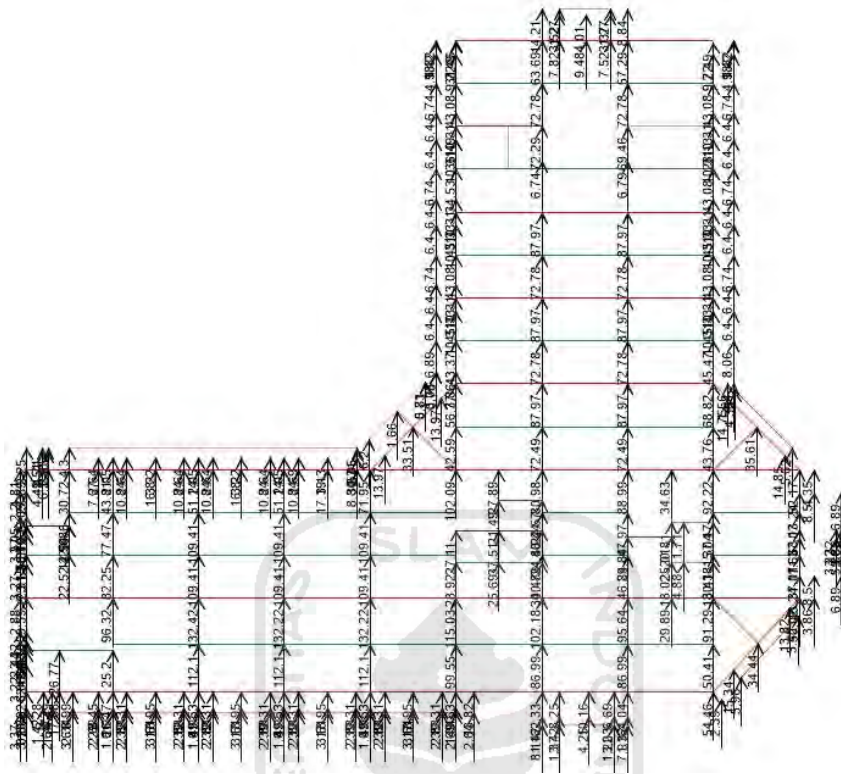
Gambar 5. 24 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai 6



Gambar 5. 25 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai 6



Gambar 5. 26 Gaya Joint Load Fpx Arah X pada Lantai Atap



**Gambar 5. 27 Gaya Joint Load Fpx Arah Y pada Lantai Atap**

### 5.10 Kombinasi Pembebanan untuk Gaya Desain Diafragma

Berdasarkan gaya desain diafragma yang sudah dihitung pada subab sebelumnya, maka gaya desain diafragma yang digunakan adalah Fpx minimum. Kombinasi yang digunakan untuk desain diafragma adalah sebagai berikut.

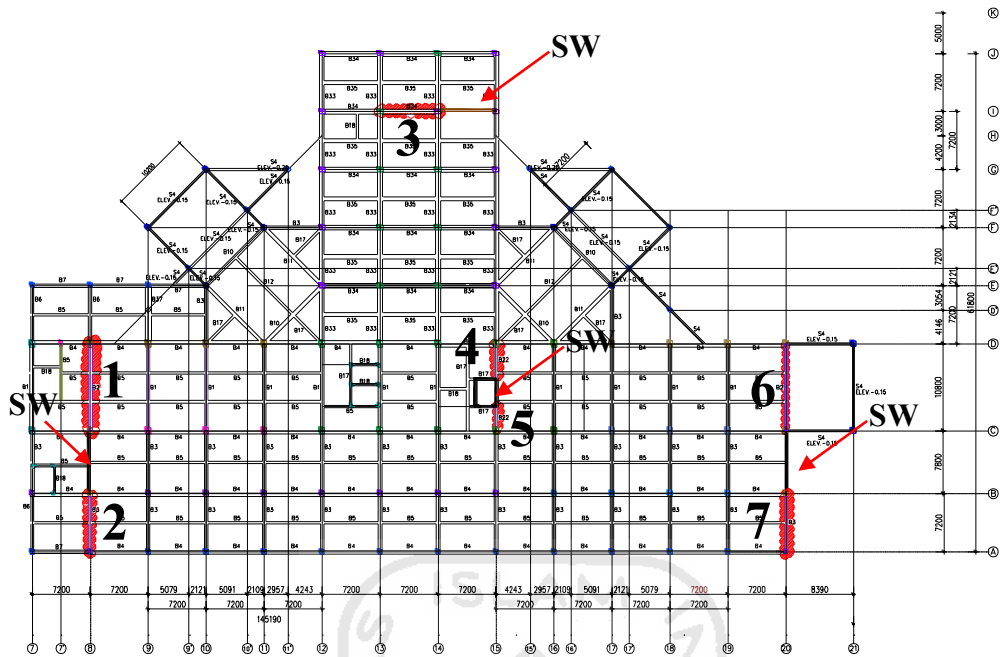
1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3.  $1.365D + 1.3(QEX+Fpx) + 0.39(QEY+Fpx) + 1L$
4.  $1.365D + 1.3(QEX+Fpx) - 0.39(QEY+Fpx) + 1L$
5.  $1.365D - 1.3(QEX+Fpx) + 0.39(QEY+Fpx) + 1L$
6.  $1.365D - 1.3(QEX+Fpx) - 0.39(QEY+Fpx) + L$
7.  $0.735D + 1.3(QEX+Fpx) + 0.39(QEY+Fpx)$
8.  $0.735D + 1.3(QEX+Fpx) - 0.39(QEY+Fpx)$
9.  $0.735D - 1.3(QEX+Fpx) + 0.39(QEY+Fpx)$
10.  $0.735D - 1.3(QEX+Fpx) - 0.39(QEY+Fpx)$



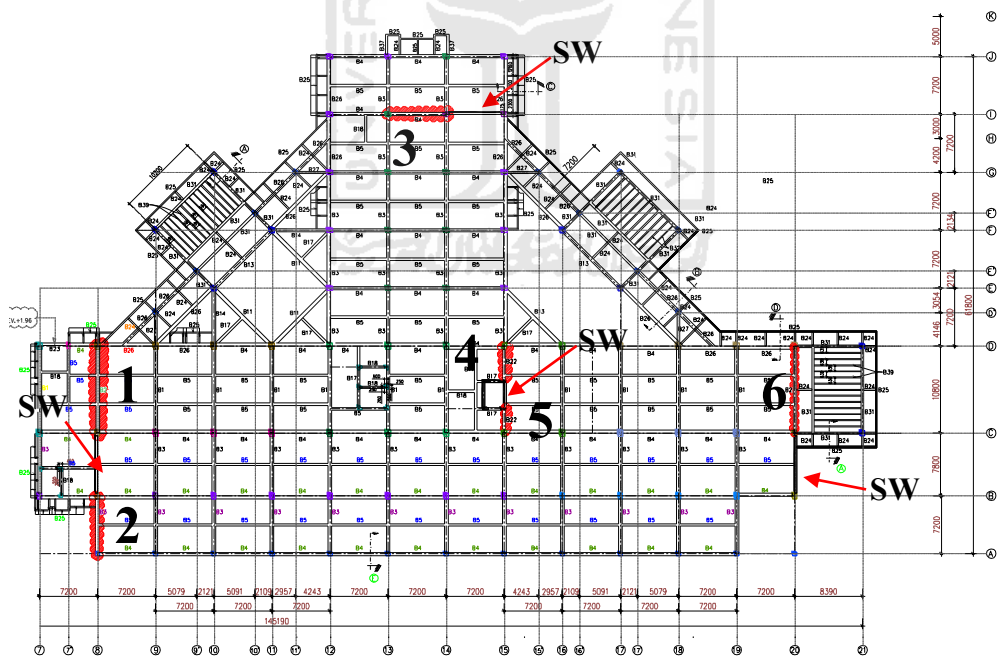
11.  $1.365D + 0.39(QEX+Fpx) + 1.3(QEY+Fpx) + 1L$
12.  $1.365D + 0.39(QEX+Fpx) - 1.3(QEY+Fpx) + 1L$
13.  $1.365D - 0.39(QEX+Fpx) + 1.3(QEY+Fpx) + 1L$
14.  $1.365D - 0.39(QEX+Fpx) - 1.3(QEY+Fpx) + 1L$
15.  $0.735D + 0.39(QEX+Fpx) + 1.3(QEY+Fpx)$
16.  $0.735D + 0.39(QEX+Fpx) - 1.3(QEY+Fpx)$
17.  $0.735D - 0.39(QEX+Fpx) + 1.3(QEY+Fpx)$
18.  $0.735D - 0.39(QEX+Fpx) - 1.3(QEY+Fpx)$

### 5.11 Desain Elemen Kolektor

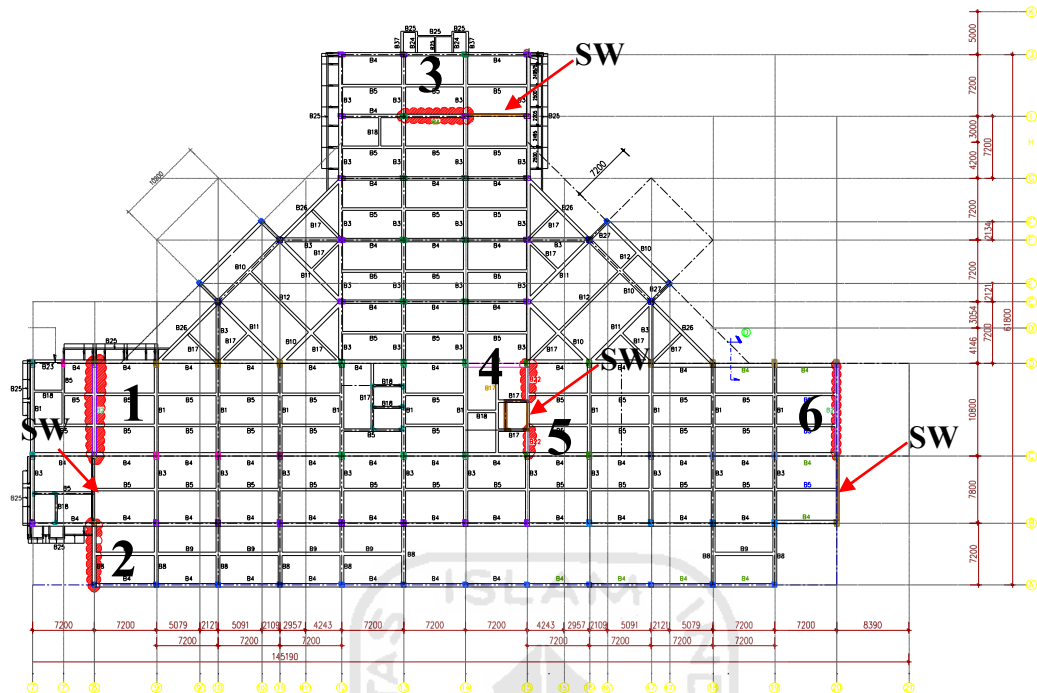
Pada lantai yang mempunyai ketidakberaturan struktur seperti disebutkan pada subab 3.10.3 perlu dilakukan pengecekan terhadap elemen balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor dengan syarat  $P > 0,1.Ag.F'c$ . Pemilihan balok yang menjadi elemen kolektor harus sesuai dengan maksud SNI 1726-2012 pasal 8.7.3 dimana elemen kolektor disediakan sebagai penyalur gaya gempa yang berasal dari bagian struktur lain ke elemen yang menyediakan tahanan terhadap gaya lateral (dinding geser). Adapun balok yang diindikasikan menjadi elemen kolektor adalah balok yang bertanda merah. Balok kolektor yang dimaksud lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.28, Gambar 5.29, Gambar 5.30, Gambar 5.31, Gambar 5.32, Gambar 5.33, dan Gambar 5.34.



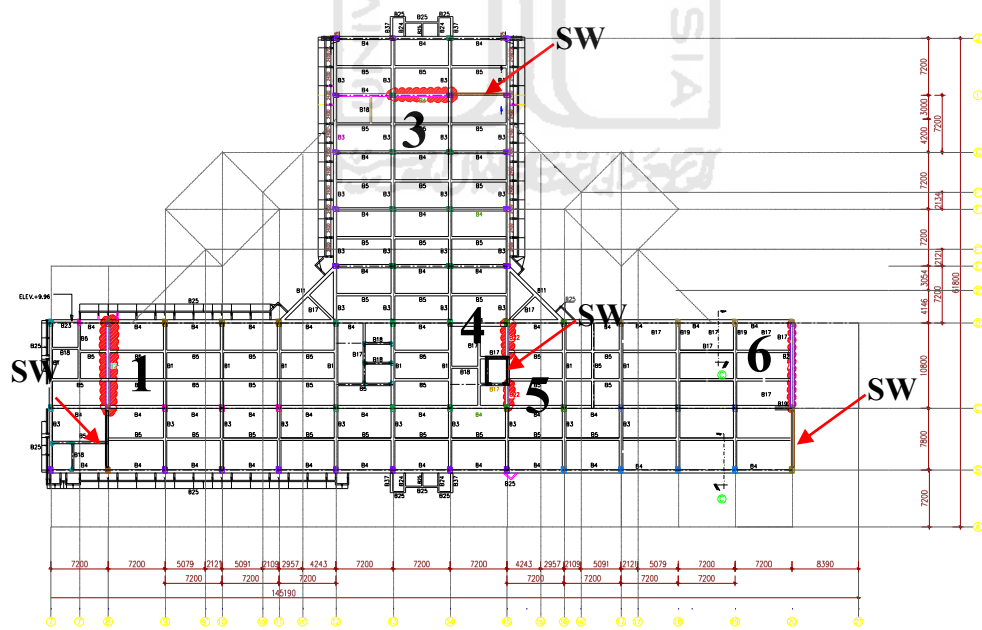
Gambar 5. 28 Balok yang Berpotensi Menjadi Elemen Kolektor pada Lantai 1



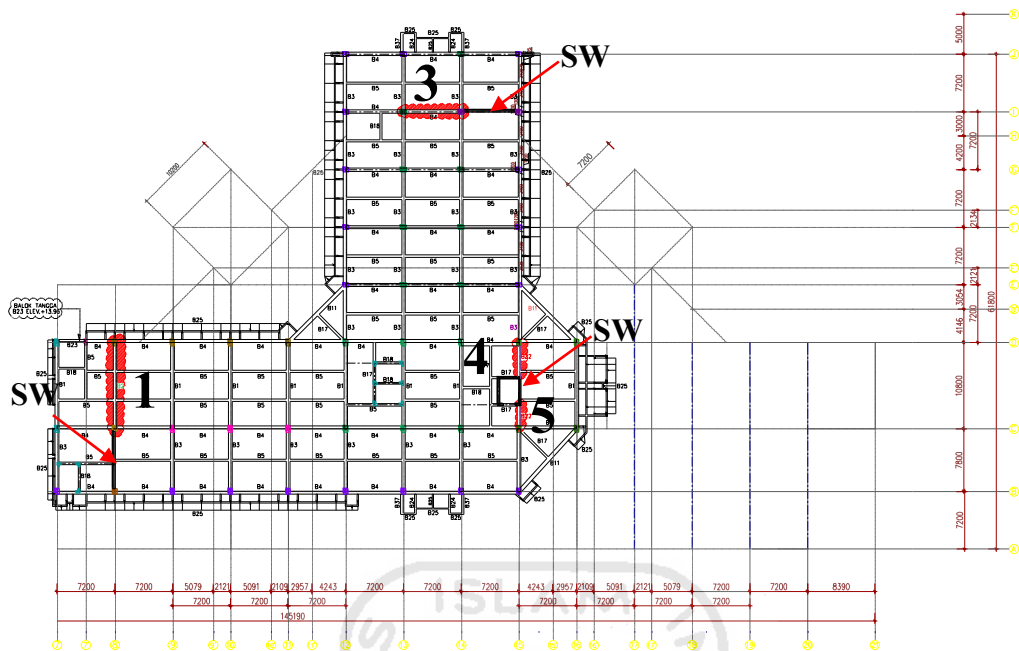
Gambar 5. 29 Balok yang Berpotensi Menjadi Elemen Kolektor pada Lantai 2



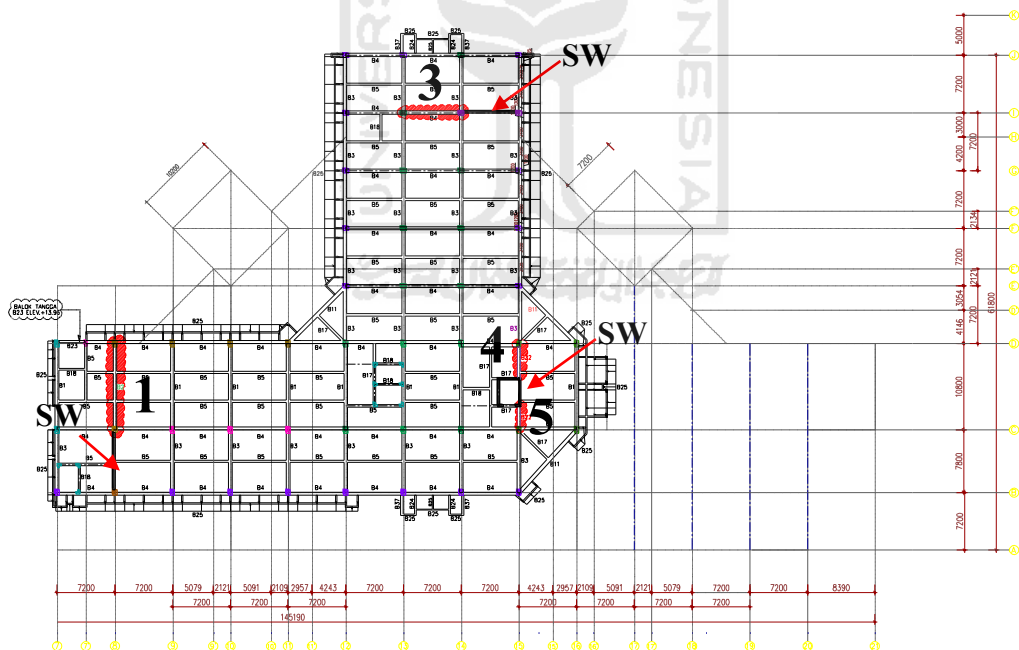
Gambar 5. 30 Balok yang Berpotensi Menjadi Elemen Kolektor pada Lantai 3



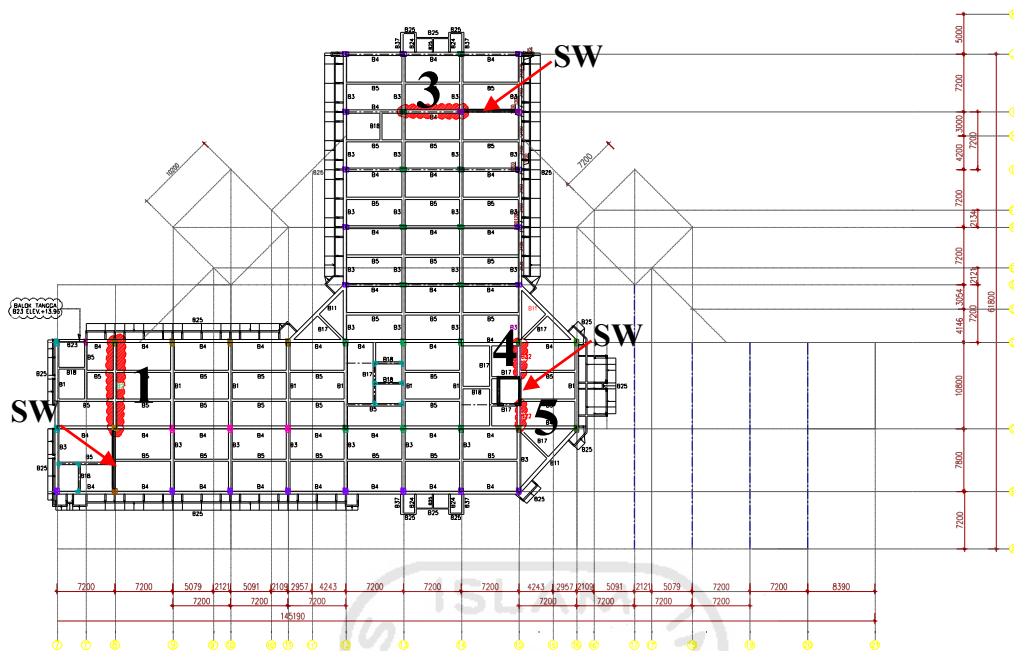
Gambar 5. 31 Balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor pada lantai 4



**Gambar 5. 32 Balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor pada lantai 5**



**Gambar 5. 33 Balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor pada lantai 6**



**Gambar 5. 34 Balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor pada lantai Atap**

Hasil pengecekan balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor berdasarkan pada hasil analisis SAP 2000 v20 dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 5. 24 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai 1**

Notasi balok pada gambar	Tipe	P (kN)	$0,1.A_g.F'c$ (kN)	Keterangan
1	B1 450 x 800	457,892	1080	Tidak Ada
2	B3 450 x 600	205,570	810	Tidak Ada
3	B33 600x500	410,499	900	Tidak Ada
4	B4 400 x 600	1021,195	720	Kolektor
5	B4 400 x 600	572,199	720	Tidak Ada
6	B1 450 x 800	303,915	1080	Tidak Ada
7	B3 450 x 600	185,368	810	Tidak Ada

**Tabel 5. 25 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai 2**

Notasi balok pada gambar	Tipe	P (kN)	$0,1.Ag.F'c$ (kN)	Keterangan
1	B1 450 x 800	954,302	1080	Tidak Ada
2	B3 450 x 600	327,569	810	Tidak Ada
3	B33 600x500	739,038	900	Tidak Ada
4	B4 400 x 600	780,103	720	Kolektor
5	B4 400 x 600	1246,383	720	Kolektor
6	B1 450 x 800	803,222	1080	Tidak Ada

**Tabel 5. 26 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai 3**

Notasi balok pada gambar	Tipe	P (kN)	$0,1.Ag.F'c$ (kN)	Keterangan
1	B1 450 x 800	1018,407	1080	Tidak Ada
2	B8 450 x 500	372,664	675	Tidak Ada
3	B4 400 x 600	578,935	720	Tidak Ada
4	B4 400 x 600	1344,874	720	Kolektor
5	B4 400 x 600	775,757	720	Kolektor
6	B1 450 x 800	1388,261	1080	Kolektor

**Tabel 5. 27 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai 4**

Notasi balok pada gambar	Tipe	P (kN)	$0,1.Ag.F'c$ (kN)	Keterangan
1	B1 450 x 800	747,329	1080	Tidak Ada
3	B4 400 x 600	403,811	7200	Tidak Ada
4	B4 400 x 600	1179,952	720	Kolektor
5	B4 400 x 600	711,238	720	Tidak Ada
6	B1 450 x 800	836,723	1080	Tidak Ada

**Tabel 5. 28 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai 5**

Notasi balok pada gambar	Tipe	P (kN)	$0,1.Ag.F'c$ (kN)	Keterangan
1	B1 450 x 800	683,567	1080	Tidak Ada
3	B4 400 x 600	351,255	720	Tidak Ada
4	B4 400 x 600	1115,464	720	Kolektor
5	B4 400 x 600	612,935	720	Tidak Ada

**Tabel 5. 29 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai 6**

Notasi balok pada gambar	Tipe	P (kN)	$0,1.Ag.F'c$ (kN)	Keterangan
1	B1 450 x 800	719,578	1080	Tidak Ada
3	B4 400 x 600	407,772	720	Tidak Ada
4	B4 400 x 600	1432,069	720	Kolektor
5	B4 400 x 600	863,115	720	Kolektor

**Tabel 5. 30 Hasil Pengecekan Elemen Kolektor pada Struktur Lantai Atap**

Notasi balok pada gambar	Tipe	P (kN)	$0,1.Ag.F'c$ (kN)	Keterangan
1	B1 450 x 800	759,168	1080	Tidak Ada
3	B4 400 x 600	342,968	720	Tidak Ada
4	B4 400 x 600	505,515	720	Tidak Ada
5	B4 400 x 600	256,748	720	Tidak Ada

### 5.11.1 Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok Kolektor

Dari hasil pengecekan yang telah dilakukan, maka dapat dilakukan desain elemen kolektor pada balok yang memenuhi persyaratan untuk desain elemen kolektor yaitu  $P > 0,1.Ag.F'c$ . Adapun gaya-gaya dalam yang digunakan untuk perhitungan tulangan lentur balok kolektor dapat dilihat pada tabel 5.31.

**Tabel 5. 31 Rekapitulasi Gaya Aksial dan Momen Balok Kolektor**

Lantai	Notasi Pada Gambar	Tipe Balok	Gaya Dalam			
			Pu +	Pu-	M2	M3
1	4	B4 400 x 600		1021,195	99,550	253,219
2	4	B4 400 x 600		780,103	0,762	331,620
				186,013	4,188	696,762
	5	B4 400 x 600		1246,383	46,240	379,972
				105,119	0,588	415,644
3	4	B4 400 x 600		1344,874	242,929	519,061
			22,734		1,778	599,698
	5	B4 400 x 600	775,757		3,3797	573,662
			6,965		6,994	759,191
	6	B1 450 x 800	1388,261		30,1921	358,430
				7,805	0,876	-928,068
4	4	B4 400 x 600		1179,952	242,376	621,277
			109,757		1,255	790,406
5	4	B4 400 x 600	1115,464		114,709	668,042
				15,266	1,430	969,345
6	4	B4 400 x 600		1432,069	166,153	663,610
	5	B4 400 x 600		863,115	5,2575	304,489
			798,807		6,358	653,5891

Sebagai contoh, berikut perhitungan elemen balok kolektor pada lantai 2 kode 4 yaitu balok kolektor B4 400x600.

Diketahui :

$$Pu1 = 1246,383 \text{ kN}$$

$$Mu1 = 379,971 \text{ kN.m}$$

Balok yang disyaratkan menjadi elemen kolektor adalah balok dengan nilai  $P > 0,1.Ag.F'c$ , tetapi untuk proses desain juga dipertimbangkan momen terbesar yang terjadi pada balok tersebut agar desain yang dilakukan lebih aman.

$$Pu2 = 105,119 \text{ kN}$$

$$Mu2 = 415,644 \text{ kN.m}$$

$$F'c : \text{ mutu beton} = 30 \text{ Mpa}$$



$f_y$	: kuat tarik baja	= 400 Mpa
$E_s$	: modulus elastisitas baja	= 200000 Mpa
$\beta_1$	= 0,8357	
$H$	: tinggi penampang balok kolektor	= 600 mm
$B$	: lebar penampang balok kolektor	= 400 mm
$\phi_p$	: diameter tulangan pokok	= 25 mm
$\phi_s$	: diameter tulangan sengkang	= 10 mm
$S_b$	: selimut beton	= 25 mm
$n$	: jumlah tulangan yang dipakai	
	: tulangan tarik	= 8 tulangan
	: tulangan desak	= 4 tulangan

Perhitungan :

$$d_s = S_b + \phi_s + \frac{\phi_p}{2} = 47,5 \text{ mm}$$

$$d_s' = S_b + \phi_s + \frac{\phi_p}{2} = 47,5 \text{ mm}$$

$$d = H - d_s = 552,5 \text{ mm}$$

$$d' = H - d_s' = 552,5 \text{ mm}$$

$$A_s = n \times \left(\frac{1}{4} \pi \cdot \phi_p^2\right) = 3926.990 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = n \times \left(\frac{1}{4} \pi \cdot \phi_p^2\right) = 1963.495 \text{ mm}^2$$

Perhitungan kondisi untuk diagram Mu-Pu dapat dilihat dalam perhitungan berikut ini.

1. Kondisi desak sentris ( $M_n = 0$ )

$$P_n = C_c + C_{s1} + C_{s2}$$

$$= 0.8 \cdot (0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - (A_s + A_s'))) + f_y \cdot (A_s + A_s')$$

$$= 6660,790 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,65$$

$$\phi P_n = 4329,513 \text{ kN}$$

2. Kondisi patah desak

$$c = 1,6 C_b$$

$$= 530.4 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= c \cdot \beta_1 \\ &= 443.263 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= \frac{c-ds'}{c} \cdot 0,003 \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

$\epsilon_s' > \epsilon_y$ , baja tulangan sudah leleh

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{ds-c}{c} \cdot 0,003 \\ &= 0,0001 \end{aligned}$$

$\epsilon_s < \epsilon_y$ , baja tulangan belum leleh

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \\ &= 4521281.143 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s \cdot (F_y - 0,85 \cdot f'_c) \\ &= 735329.030 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \cdot f_s \\ &= 98174.770 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,65$$

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= 5158.435 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 3352.983 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \left( C_c \left( \frac{1}{2} H - \frac{1}{2} \cdot a \right) + C_s \left( \frac{1}{2} H - ds' \right) + T_s \left( d - \frac{1}{2} H \right) \right) \\ &= 564.786 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 367.111 \text{ kN.m}$$

### 3. Konsiderasi balance

$$\begin{aligned} c_b &= \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} h \\ &= 331,500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= c \cdot \beta_1 \\ &= 277,039 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \\ &= 2825800,714 \text{ N} \end{aligned}$$

$$C_s = A_s \cdot (f_y - 0,85 \cdot f'_c)$$

$$= 735329,030 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \cdot f_y \\ &= 1570796,327 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,65$$

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= 1990,333 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 1293,717 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \left( C_c \left( \frac{1}{2} H - \frac{1}{2} \cdot a \right) + C_s \left( \frac{1}{2} H - d_s' \right) + T_s \left( d - \frac{1}{2} H \right) \right) \\ &= 1038,608 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 675,095 \text{ kN}$$

4. Kondisi patah tarik

$$\begin{aligned} c &= 0,8 \cdot C_b \\ &= 265,200 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= c \cdot \beta_1 \\ &= 221,631 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= \frac{c - d_s'}{c} \cdot 0,003 \\ &= 0,002 \end{aligned}$$

$\epsilon_s' \geq \epsilon_y$ , baja tulangan sudah leleh

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d_s - c}{c} \cdot 0,003 \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

$\epsilon_s \geq \epsilon_y$ , baja tulangan sudah leleh

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f' \cdot c \cdot a \cdot b \\ &= 2260640,571 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s \cdot (F_s - 0,85 \cdot f' \cdot c) \\ &= 735329,030 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \cdot f_y \\ &= 1570796,327 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\left( 0,005 > \epsilon_s > 0,002, \phi = 0,65 + (\epsilon_s - 0,002) \left( \frac{250}{3} \right) \right)$$

$$\phi = 0,75$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$



$$= 1425,173 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 1074,818 \text{ kN}$$

$$M_n = \left( C_c \left( \frac{1}{2} H - \frac{1}{2} \cdot a \right) + C_s \left( \frac{1}{2} H - d_s' \right) + T_s \left( d - \frac{1}{2} H \right) \right)$$

$$= 1009,974 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 761,689 \text{ kN.m}$$

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

Menentukan nilai  $a$  dengan persamaan berikut.

$$0,85 \cdot f_c \cdot B (a^2) + (A_s' \cdot \epsilon_c \cdot E_s - A_s \cdot f_y) (a) + A_s' \cdot d_s' \cdot \epsilon_c \cdot E_s \cdot \beta_1 = 0$$

$$10200 a^2 - 392699,082 a - 46744253,140 = 0$$

Maka diperoleh nilai  $a$

$$a = 89,645 \text{ mm}$$

$$c = a / \beta_1$$

$$= 107,268 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s' = \frac{c - d_s'}{c} \epsilon_c$$

$$= 0,0017$$

$\epsilon_s' < \epsilon_y$ , maka baja desak belum leleh

$$f_s = \epsilon_s' \cdot f_y$$

$$= 334,310 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot B$$

$$= 914380,824 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot F_s$$

$$= 1570796,327$$

$$M_n = \left( C_c \left( \frac{1}{2} H - \frac{1}{2} \cdot a \right) + C_s \left( \frac{1}{2} H - d_s' \right) + T_s \left( d - \frac{1}{2} H \right) \right)$$

$$= 795,700 \text{ kN.m}$$

$$\phi M_n = 716,130 \text{ kN.m}$$

6. Kondisi Tarik Murni

$$M_n = 0$$

$$P_n = -(A_s + A_s') f_y$$

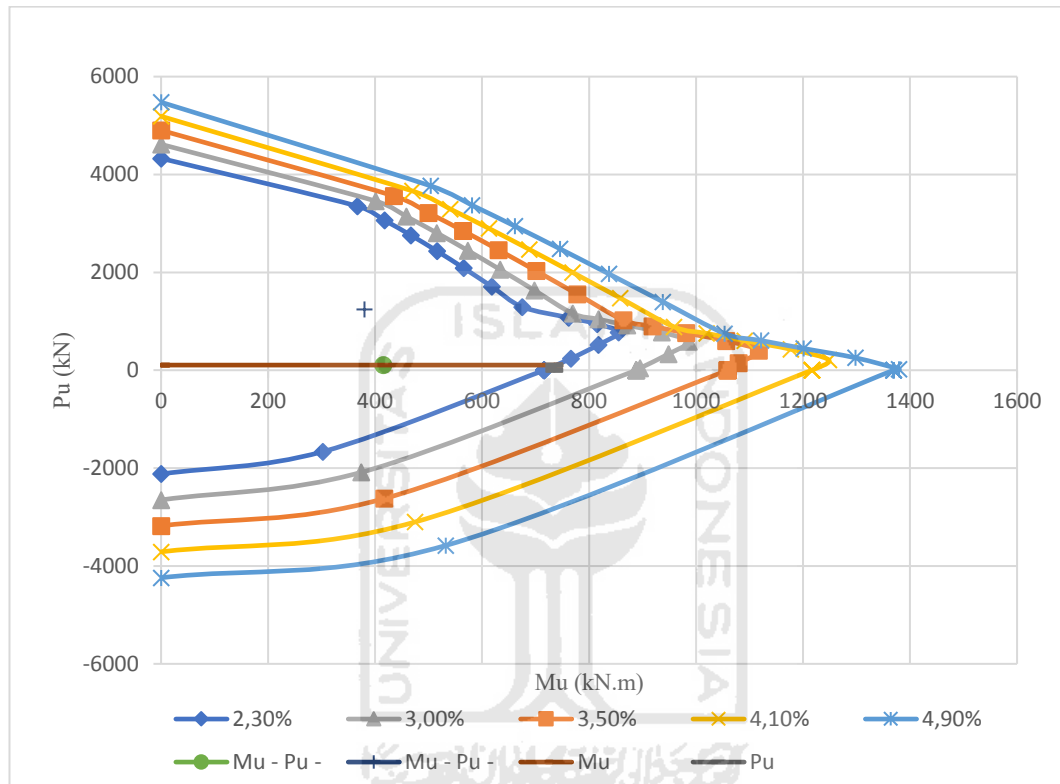
$$= -2356,195 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = -2120,575 \text{ kN}$$

Dari perhitungan diagram Mu-Pu di atas, maka dapat digambarkan diagram Mu-Pu dari keseluruhan balok kolektor antara lain sebagai berikut.

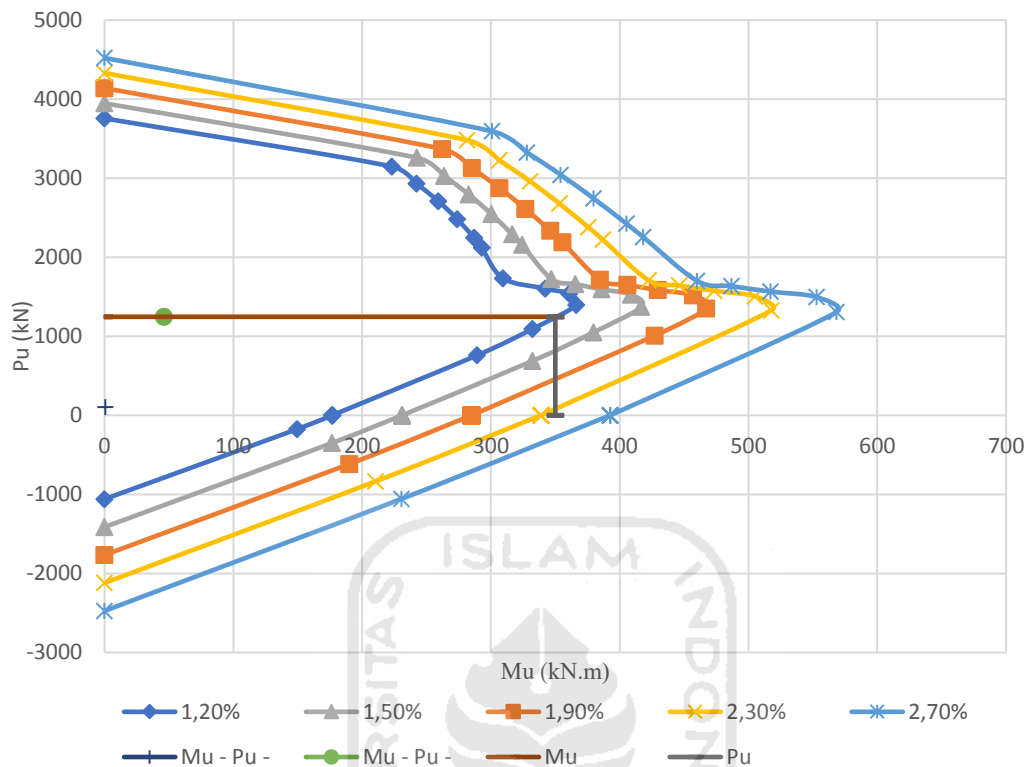
1. Balok B4 lantai 2 kode 4

Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu x dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut ini.



**Gambar 5.35 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 2**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 2 kode 5 pada gambar 5.35 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.35 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 2 arah sumbu x adalah 2,3% yaitu sebanyak 12 tulangan dengan diameter 25 mm. Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu z dapat dilihat pada Gambar 5.36 berikut ini.

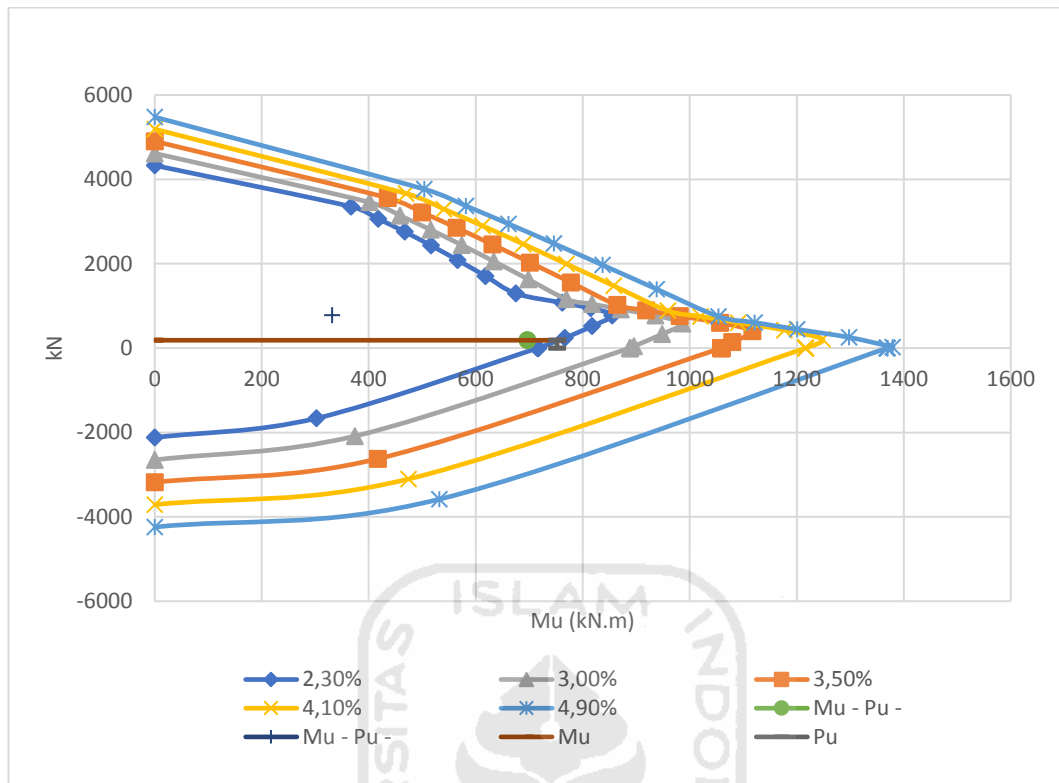


**Gambar 5. 36 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 2**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 2 kode 5 pada gambar 5.36 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.36 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 2 arah sumbu z adalah 1,2% yaitu sebanyak 6 tulangan dengan diameter 25 mm.

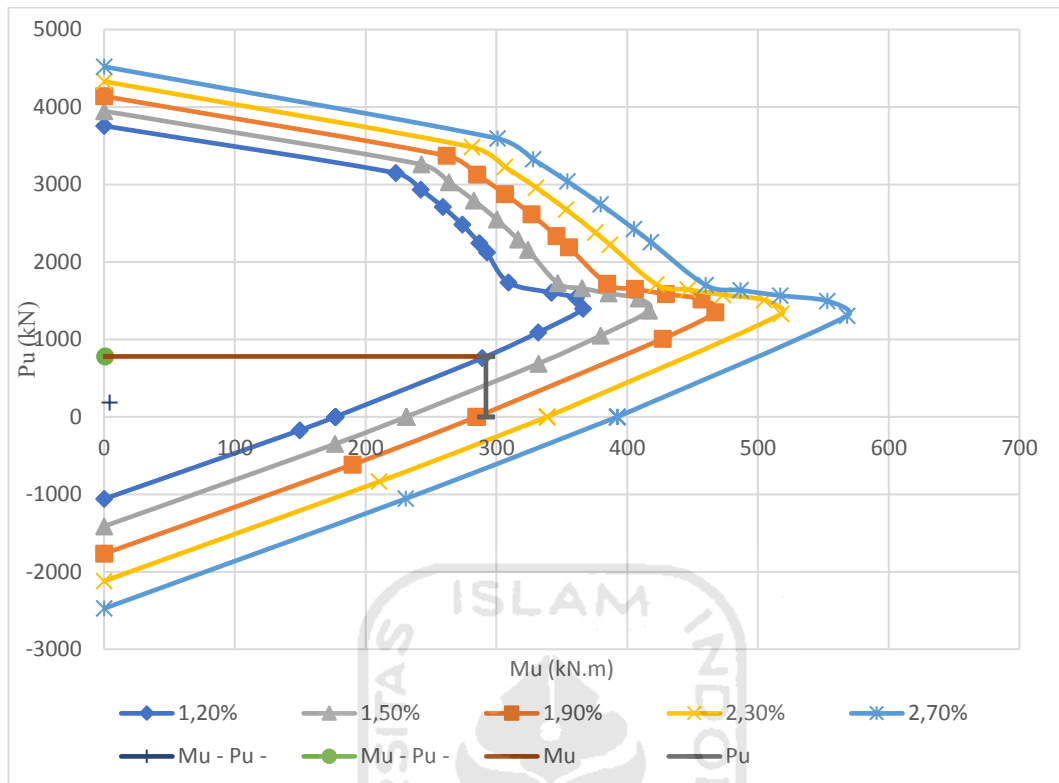
2. Balok B4 lantai 2 kode 5

Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu x dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut ini.



**Gambar 5. 37 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 2**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 2 kode 4 pada gambar 5.37 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.37 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 2 arah sumbu x adalah 2,3% yaitu sebanyak 12 tulangan dengan diameter 25 mm. Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu z dapat dilihat pada Gambar 5.38 berikut ini.



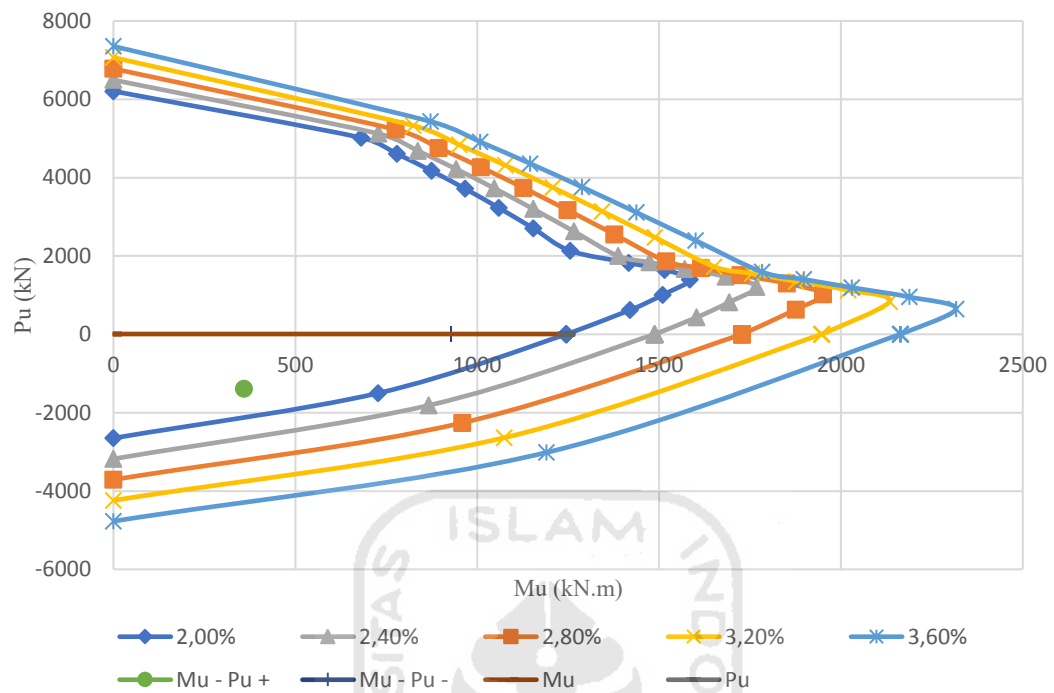
**Gambar 5. 38 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 2**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 2 kode 4 pada gambar 5.38 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.38 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 2 arah sumbu z adalah 1,2% yaitu sebanyak 6 tulangan dengan diameter 25 mm.

3. Balok B1 lantai 3 kode 6

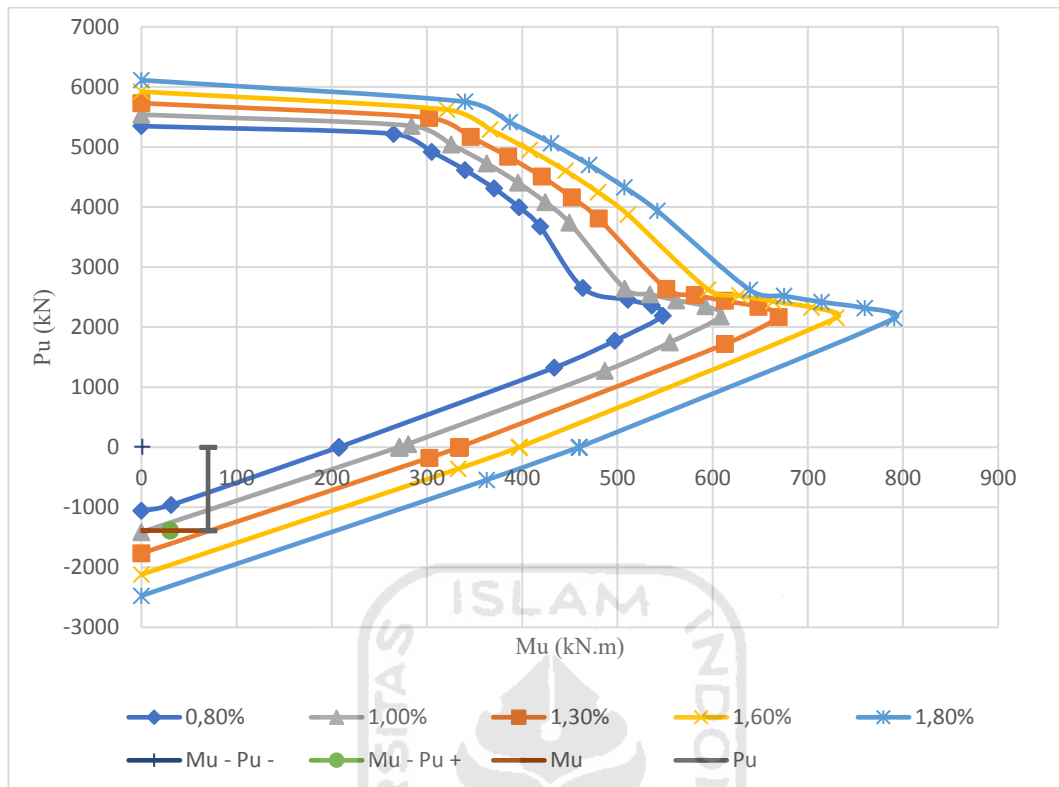
Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B1 sumbu x dapat dilihat pada Gambar 5.39 berikut ini.





**Gambar 5. 39 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B1 lantai 3**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B1 lantai 3 kode 6 pada gambar 5.39 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.39 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B1 lantai 3 arah sumbu x adalah 2,0% yaitu sebanyak 15 tulangan dengan diameter 25 mm. Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B1 sumbu z dapat dilihat pada Gambar 5.40 berikut ini.

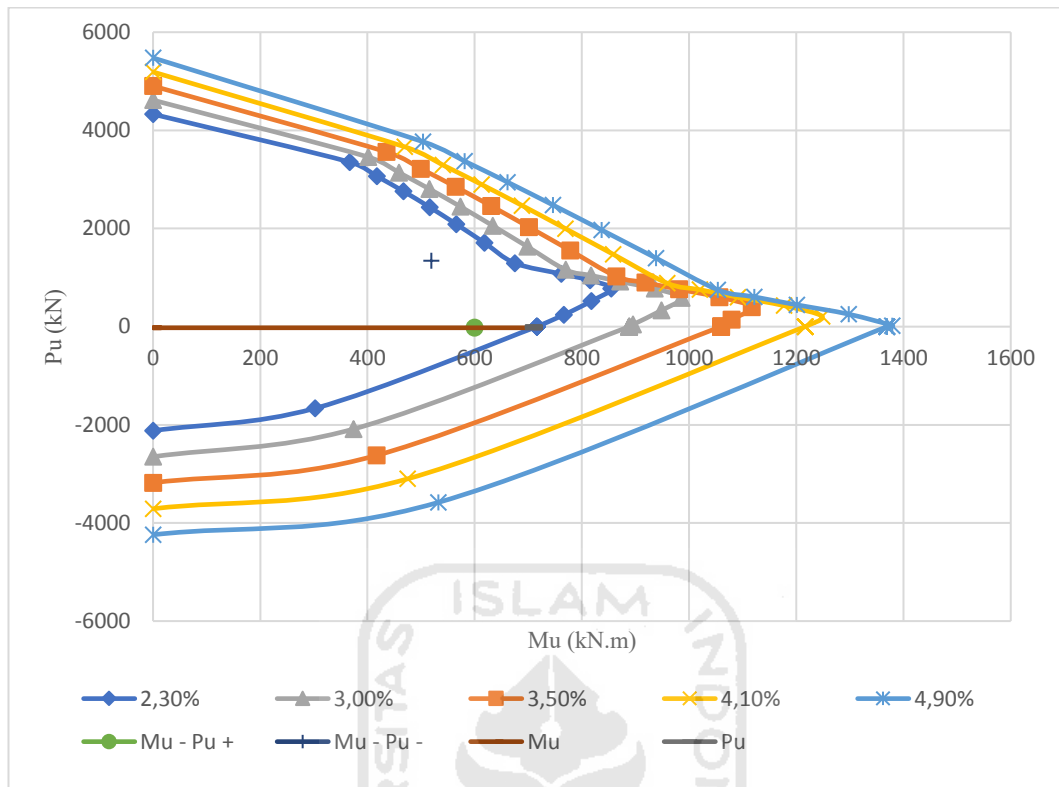


**Gambar 5. 40 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B1 lantai 3**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B1 lantai 3 kode 6 pada gambar 5.40 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.40 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B1 lantai 3 arah sumbu z adalah 1,3% yaitu sebanyak 10 tulangan dengan diameter 25 mm.

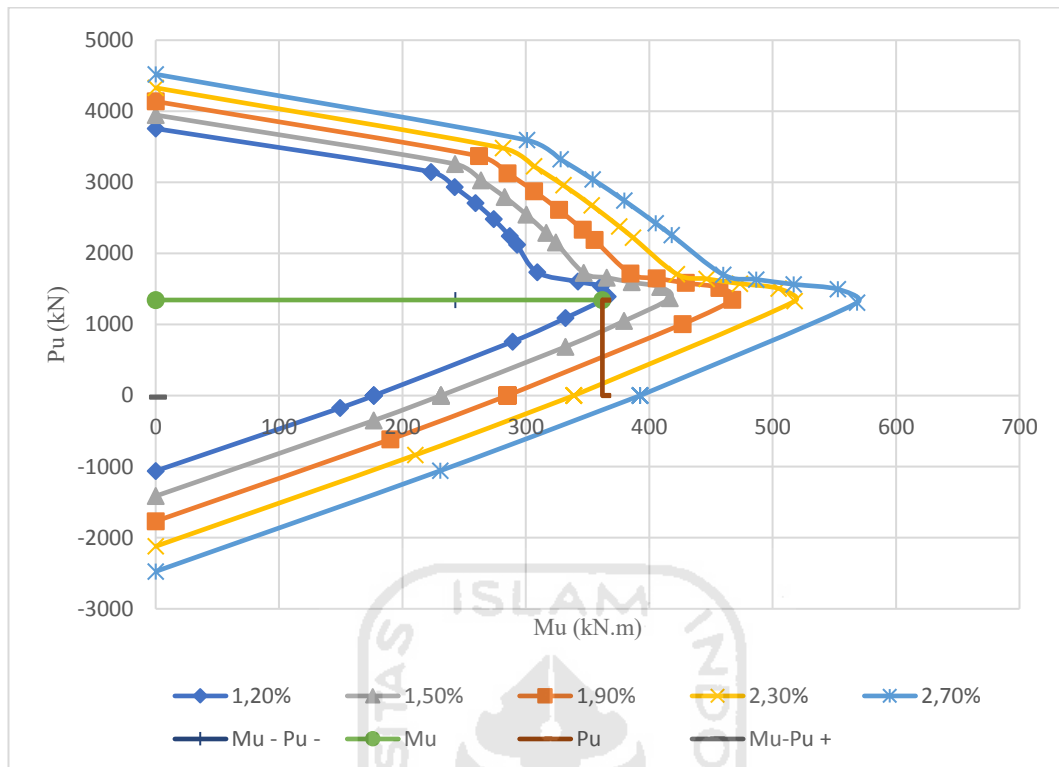
4. Balok B4 lantai 3 Kode 4

Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu x dapat dilihat pada Gambar 5.41 berikut ini.



**Gambar 5. 41 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 3**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 3 kode 4 pada gambar 5.41 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.41 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 3 arah sumbu x adalah 2,3% yaitu sebanyak 12 tulangan dengan diameter 25 mm. Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu z dapat dilihat pada Gambar 5.42 berikut ini.

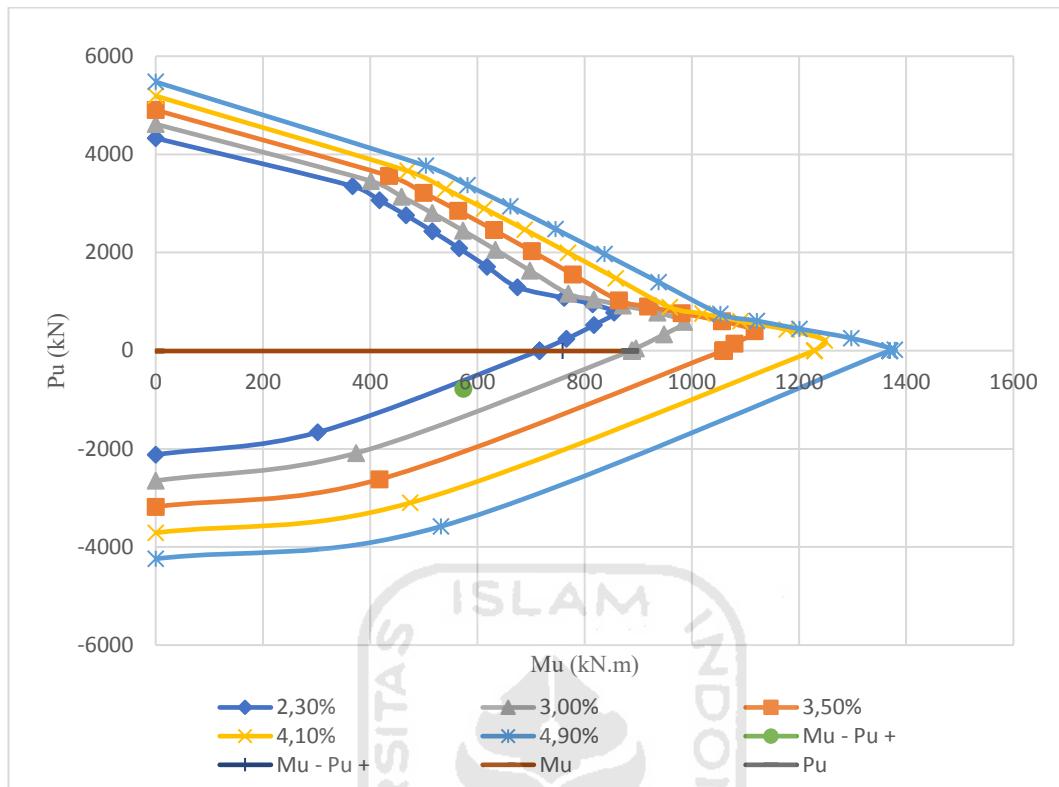


**Gambar 5. 42 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu Z Balok Kolektor B4 Lantai 3**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 3 kode 4 pada gambar 5.42 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.42 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 3 arah sumbu z adalah 1,2% yaitu sebanyak 6 tulangan dengan diameter 25 mm.

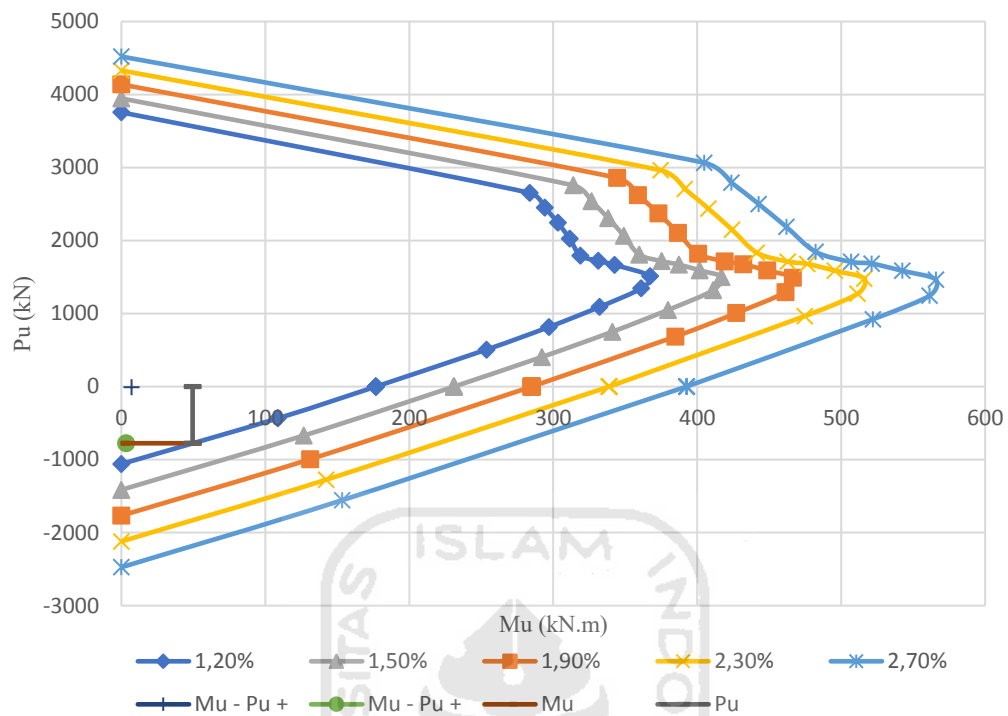
5. Balok B4 lantai 3 Kode 5

Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu x dapat dilihat pada Gambar 5.43 berikut ini.



**Gambar 5. 43 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 3**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 3 kode 5 pada gambar 5.43 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.43 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 2 arah sumbu x adalah 3% yaitu sebanyak 15 tulangan dengan diameter 25 mm. Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu z dapat dilihat pada Gambar 5.44 berikut ini.

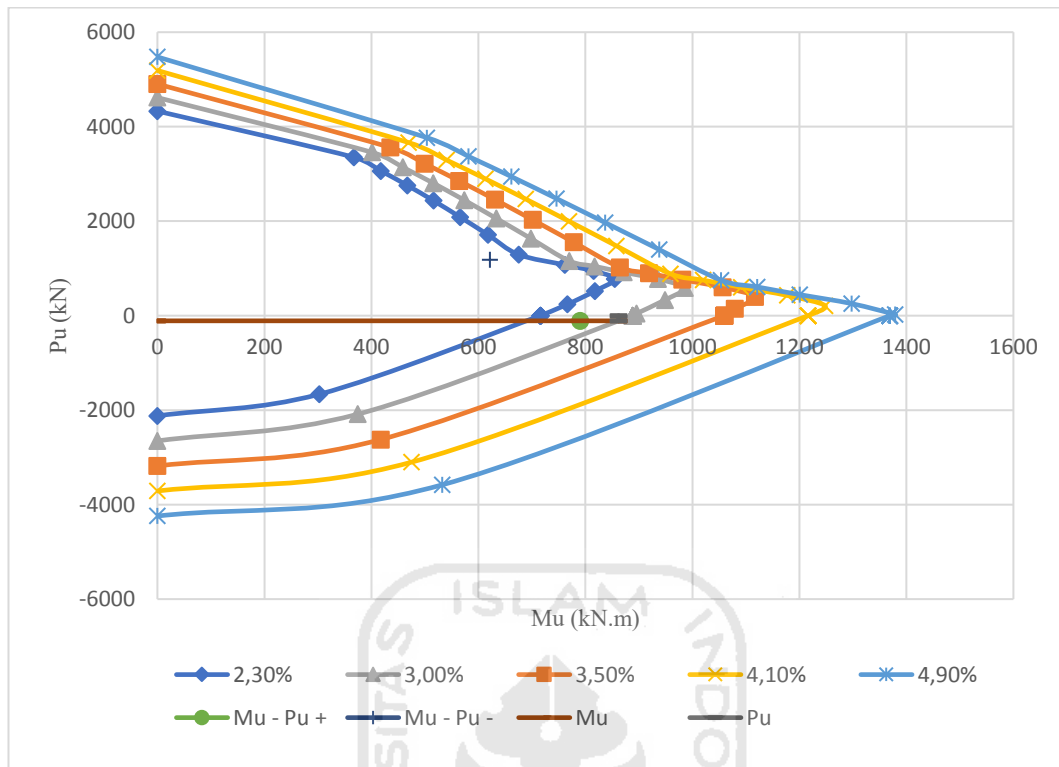


**Gambar 5. 44 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 3**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 3 kode 5 pada gambar 5.44 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.44 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 3 arah sumbu z adalah 1,2% yaitu sebanyak 6 tulangan dengan diameter 25 mm.

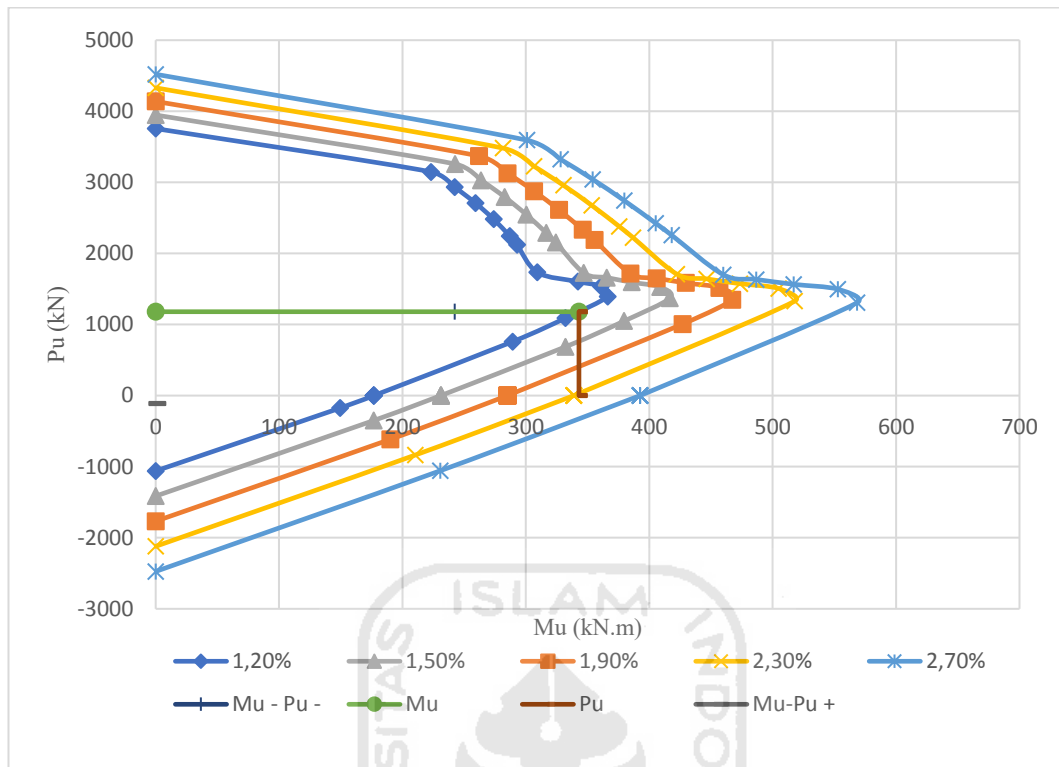
6. Balok B4 lantai 4 Kode 4

Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu x dapat dilihat pada Gambar 5.45 berikut ini.



**Gambar 5. 45 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 4**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 4 kode 4 pada gambar 5.45 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.45 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 4 arah sumbu x adalah 3,0% yaitu sebanyak 15 tulangan dengan diameter 25 mm. Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu z dapat dilihat pada Gambar 5.46 berikut ini.



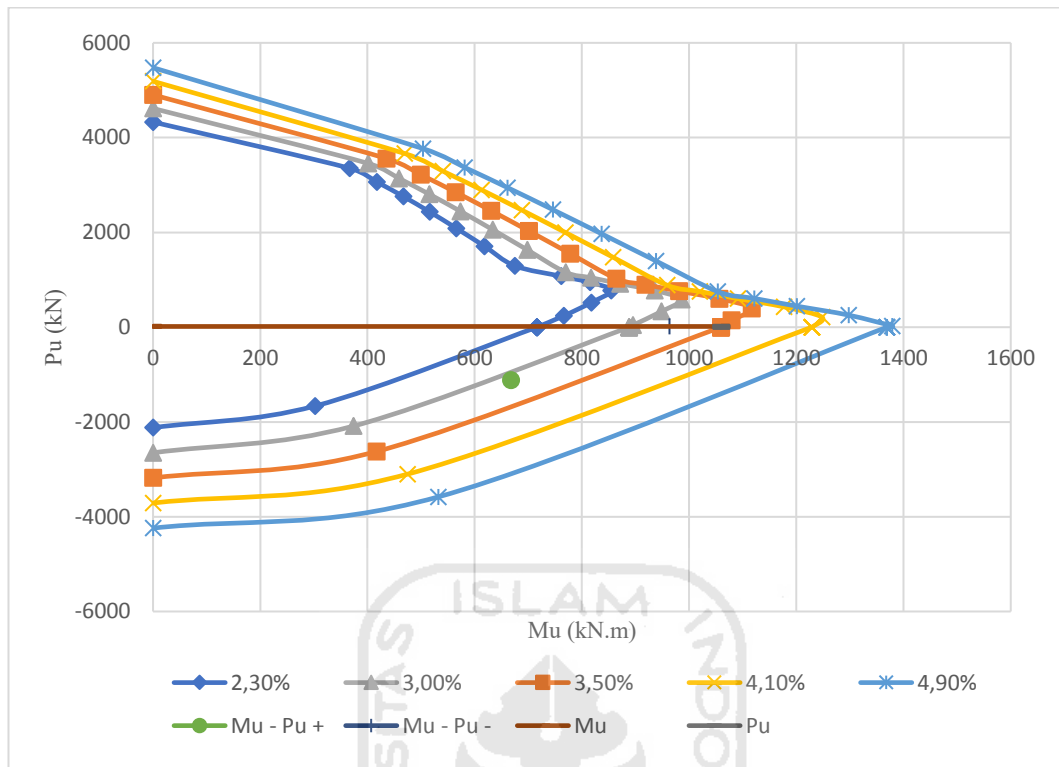
**Gambar 5. 46 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 4**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 4 kode 4 pada gambar 5.46 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.46 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 4 arah sumbu z adalah 1,2% yaitu sebanyak 6 tulangan dengan diameter 25 mm.

7. Balok B4 lantai 5 Kode 4

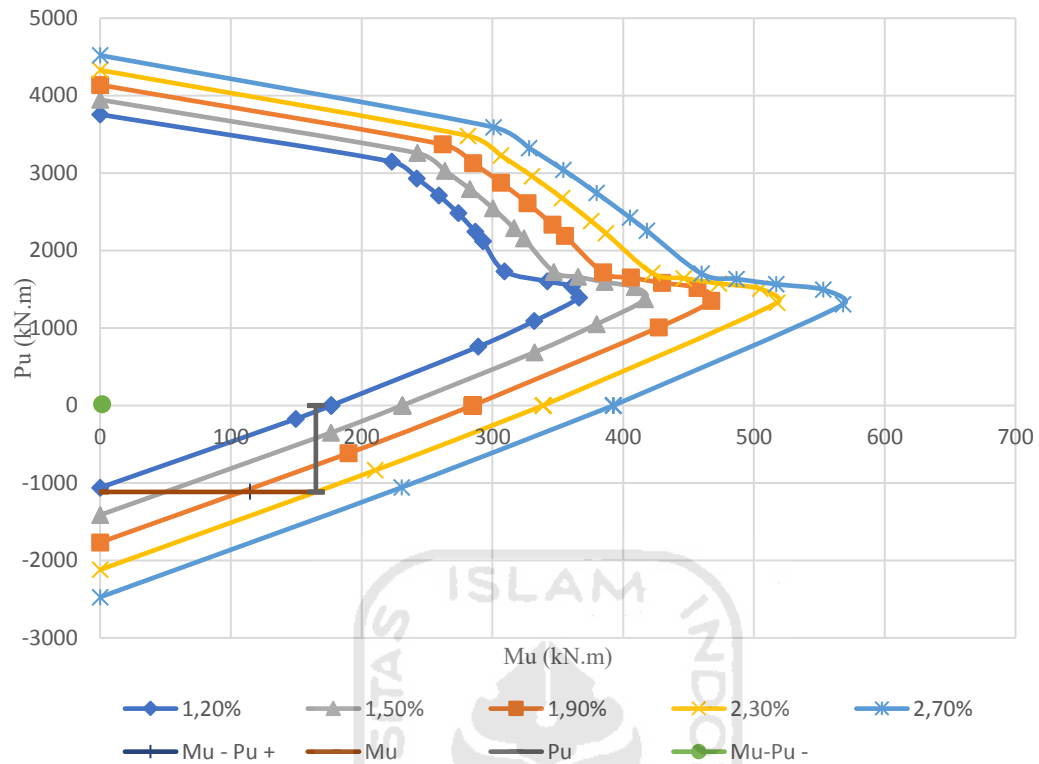
Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu x dapat dilihat pada Gambar 5.47 berikut ini.





**Gambar 5. 47 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 5**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 5 kode 4 pada gambar 5.47 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.47 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 5 arah sumbu x adalah 2,3% yaitu sebanyak 18 tulangan dengan diameter 25 mm. Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu z dapat dilihat pada Gambar 5.48 berikut ini.

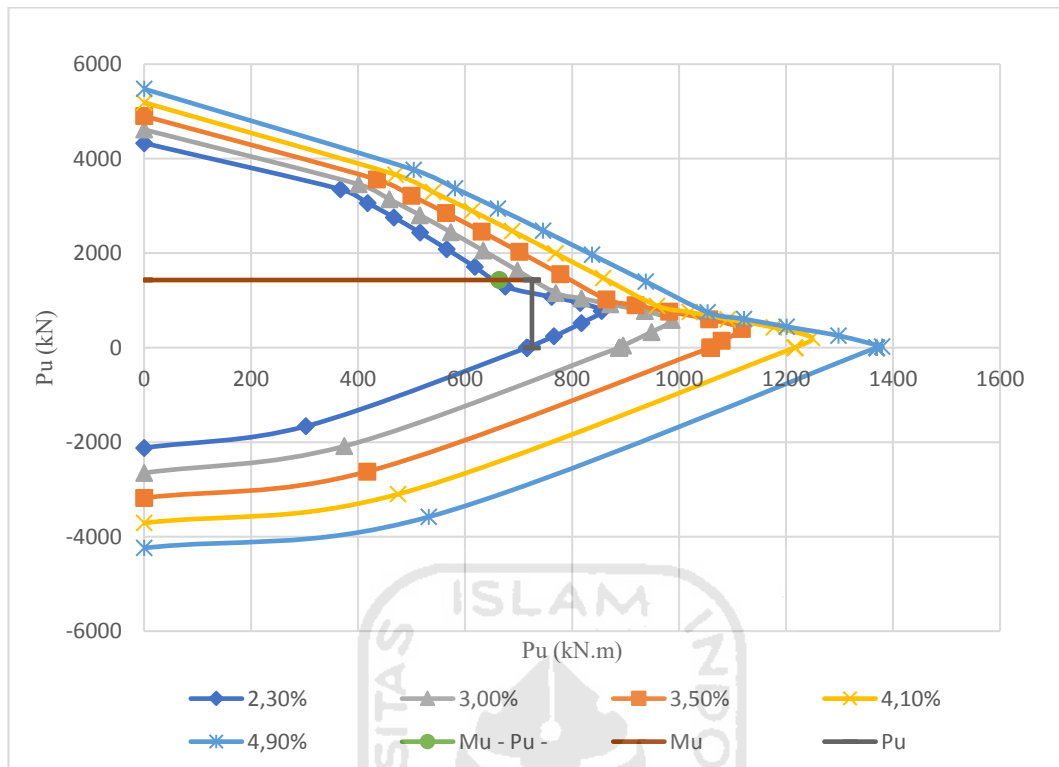


**Gambar 5. 48 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 5**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 5 kode 4 pada gambar 5.48 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.48 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 5 arah sumbu z adalah 2,3% yaitu sebanyak 12 tulangan dengan diameter 25 mm.

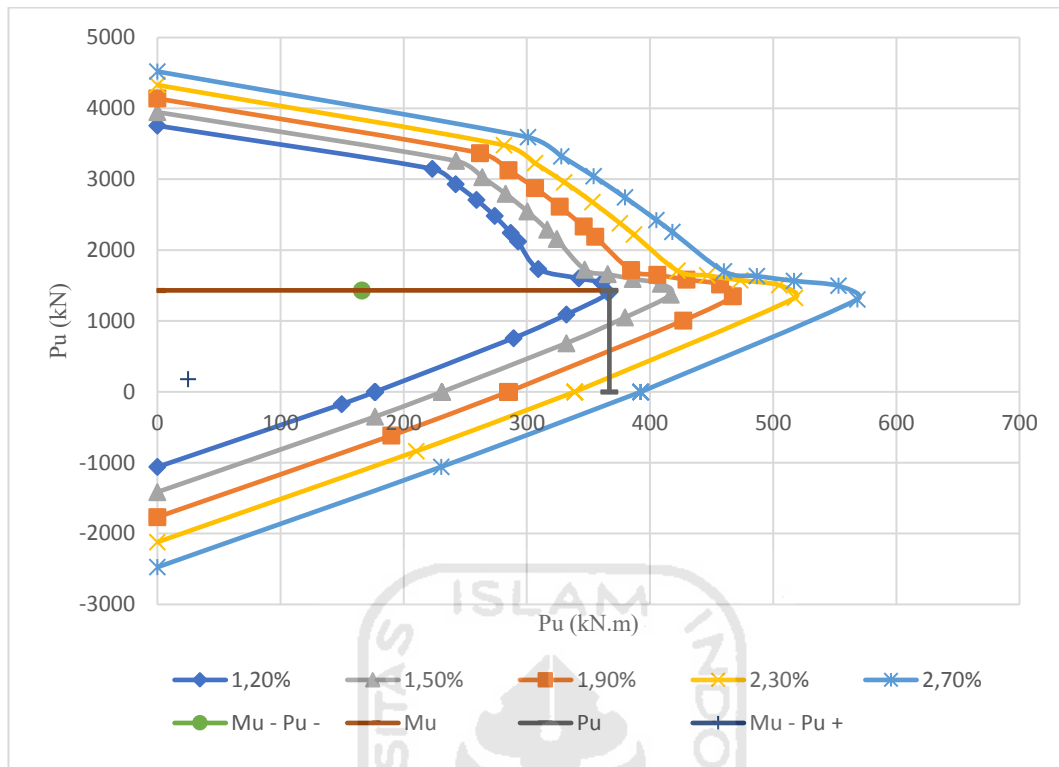
8. Balok B4 lantai 6 kode 4

Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu x dapat dilihat pada Gambar 5.49 berikut ini.



**Gambar 5. 49 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 6**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 6 kode 4 pada gambar 5.49 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.49 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 6 arah sumbu x adalah 3,0% yaitu sebanyak 15 tulangan dengan diameter 25 mm. Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu z dapat dilihat pada Gambar 5.50 berikut ini.

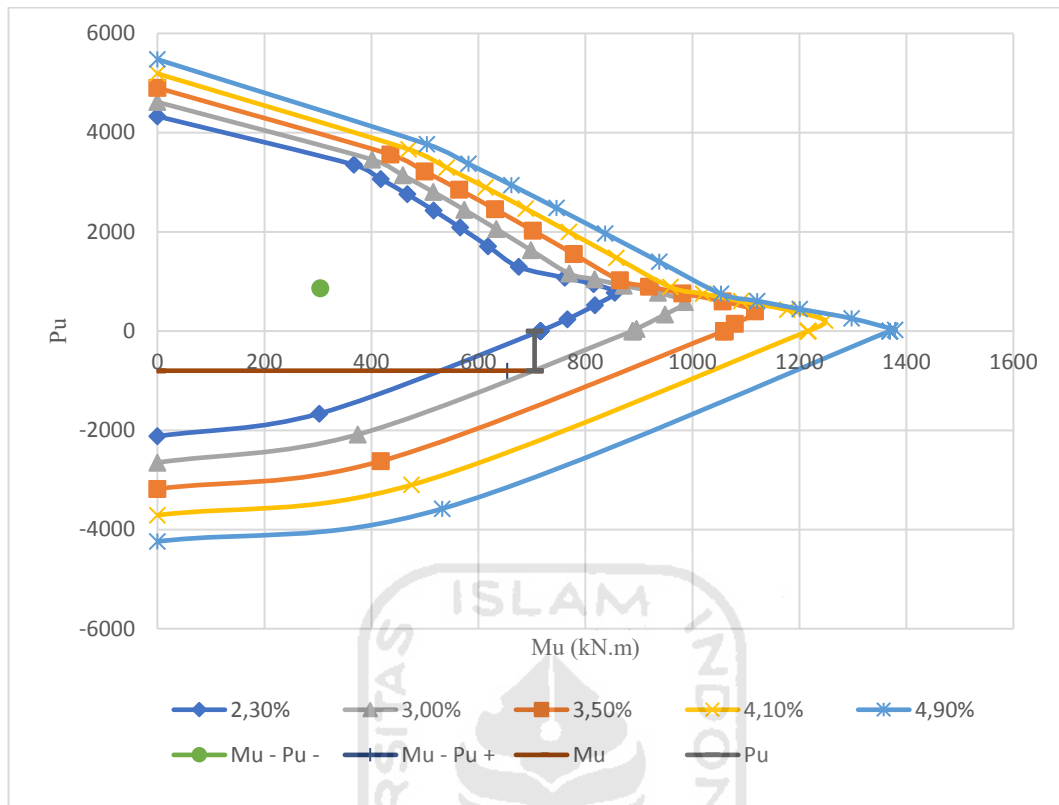


**Gambar 5. 50 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 6**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 6 kode 4 pada gambar 5.50 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.50 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 6 arah sumbu z adalah 1,2% yaitu sebanyak 6 tulangan dengan diameter 25 mm.

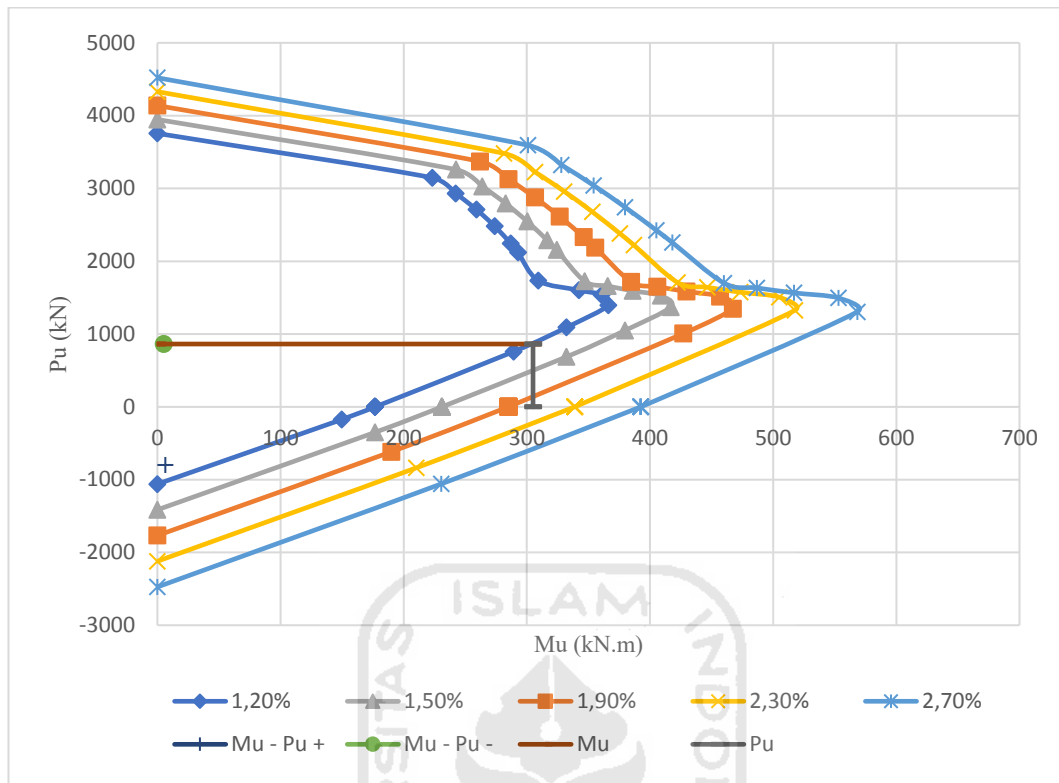
9. Balok B4 lantai 6 kode 5

Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu x dapat dilihat pada Gambar 5.51 berikut ini.



**Gambar 5. 51 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 6**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 6 kode 5 pada gambar 5.51 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.51 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 6 arah sumbu x adalah 3,0% yaitu sebanyak 15 tulangan dengan diameter 25 mm. Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu z dapat dilihat pada Gambar 5.52 berikut ini.

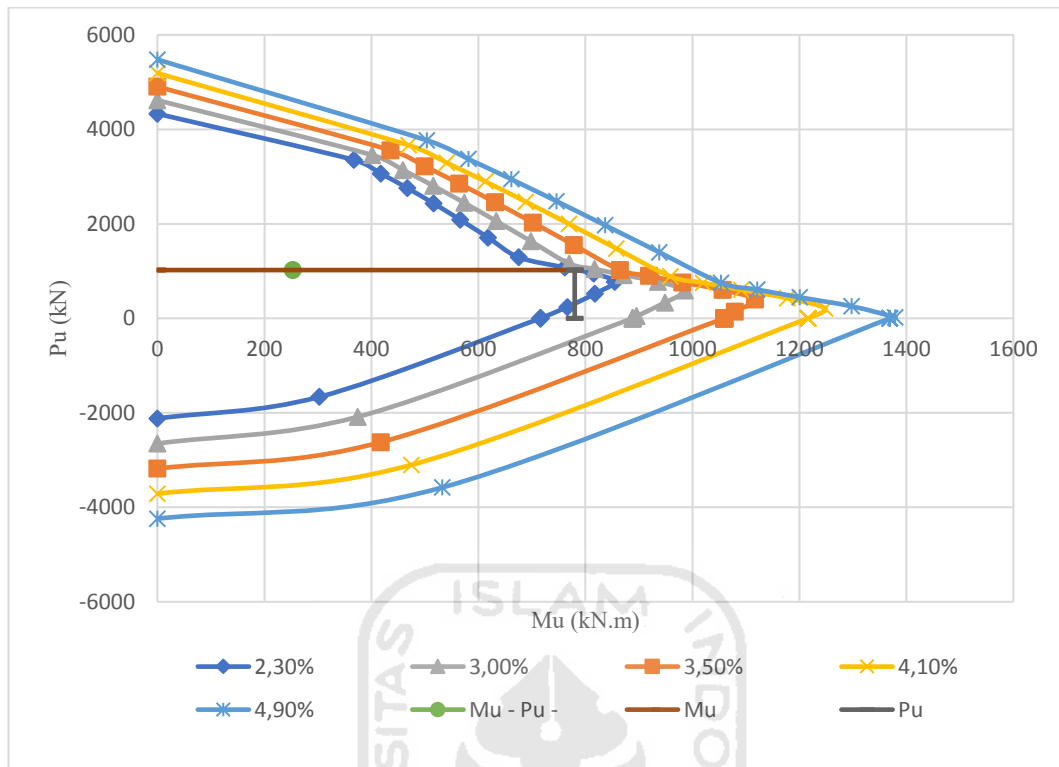


**Gambar 5. 52 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 6**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 6 kode 5 pada gambar 5.52 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.52 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 6 arah sumbu z adalah 1,2% yaitu sebanyak 6 tulangan dengan diameter 25 mm.

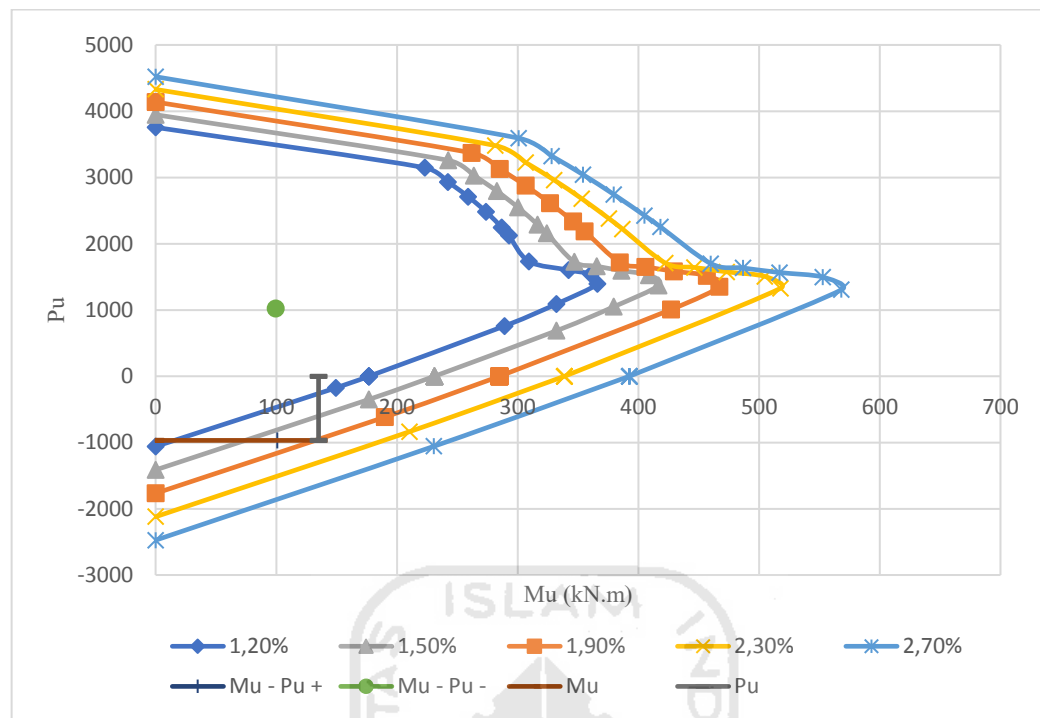
10. Balok B4 lantai 1 kode 4

Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu x dapat dilihat pada Gambar 5.53 berikut ini.



**Gambar 5. 53 Diagram Mu-Pu arah sumbu x balok kolektor B4 lantai 1**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 1 kode 4 pada gambar 5.53 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.53 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 1 arah sumbu x adalah 2,3% yaitu sebanyak 12 tulangan dengan diameter 25 mm. Gambar diagram Mu-Pu pada balok kolektor B4 sumbu z dapat dilihat pada Gambar 5.54 berikut ini.



**Gambar 5. 54 Diagram Mu-Pu arah sumbu z balok kolektor B4 lantai 1**

Nilai Mu-Pu pada balok kolektor B4 lantai 1 kode 4 pada gambar 5.54 diambil dari tabel 5.31. Berdasarkan diagram Mu-Pu pada gambar 5.54 di atas, maka persentase tulangan yang digunakan untuk balok kolektor B4 lantai 1 arah sumbu z adalah 1,9% yaitu sebanyak 10 tulangan dengan diameter 25 mm.

Dari perhitungan tulangan lentur balok kolektor di atas, maka dapat direkap sebagaimana pada Tabel 5.31 dan Tabel 5.32 berikut.

**Tabel 5. 32 Rekapitulasi Tulangan Lentur Balok Kolektor Sumbu-X (B)**

Lantai	Tipe Balok	Kode	Kebutuhan Tulangan			
			Tumpuan		Lapangan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	B4	4	8D25	4D25	4D25	8D25
2	B4	4	8D25	4D25	4D25	8D25
	B4	5	8D25	4D25	4D25	8D25
3	B1	6	10D25	5D25	5D25	10D25
	B4	5	10D25	5D25	5D25	10D25
	B4	4	8D25	4D25	4D25	8D25
4	B4	4	10D25	5D25	5D25	10D25
5	B4	4	12D25	6D25	6D25	12D25



**Lanjutan Tabel 5.31 Rekapitulasi Tulangan Lentur Balok Kolektor Sumbu-X (B)**

Lantai	Tipe Balok	Kode	Kebutuhan Tulangan			
			Tumpuan		Lapangan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
6	B4	4	10D25	5D25	5D25	10D25
	B4	5	10D25	5D25	5D25	10D25

**Tabel 5. 33 Rekapitulasi Tulangan Lentur Balok Kolektor Sumbu-Z (H)**

Lantai	Tipe Balok	Kode	Kebutuhan Tulangan	
			Kanan	Kiri
1	B4	4	5D25	5D25
2	B4	4	3D25	3D25
	B4	5	3D25	3D25
3	B1	6	5D25	5D25
	B4	5	3D25	3D25
	B4	4	3D25	3D25
4	B4	4	3D25	3D25
5	B4	4	6D25	6D25
6	B4	4	3D25	3D25
	B4	5	5D25	5D25

### 5.11.2 Perhitungan Tulangan Senggang Balok Kolektor

Gaya geser dalam perhitungan tulangan sengkang balok kolektor diambil dari gaya geser akibat beban mati dan beban hidup serta momen kapasitas dari desain tulangan lentur balok kolektor. Berikut perhitungan tulangan sengkang balok kolektor B4 kode 5 lantai 2.

Diketahui

$$V_{g1} : \text{Gaya geser akibat beban mati dan hidup sisi kiri} = 3,175 \text{ kN}$$

$$V_{gr} : \text{Gaya geser akibat beban mati dan hidup sisi kanan} = 170,988 \text{ kN}$$

$$M_{kap} : \text{Momen kapasitas balok kolektor} = 752 \text{ kN.m}$$

$$f'_c : \text{Kuat tekan beton} = 30 \text{ Mpa}$$

$f_y$	: Tegangan leleh baja baja sengkang	= 400 Mpa
$L_n$	: Panjang bersih balok kolektor	= 3,500 m
$D_{pokok}$	: Diameter tulangan pokok	= 25 mm
$D_{sengkang}$	: Diameter tulangan Sengkang	= 10 mm
$\emptyset$	: Reduksi gaya geser	= 0,75
$S_b$	: Selimut beton	= 25 mm
$B$	: Lebar balok	= 400 mm
$H$	: Tinggi balok	: 600 mm

Perhitungan :

$$H' = H - (S_b + D_{sengkang} + 0,5 \cdot D_{pokok})$$

$$= 552,5 \text{ mm}$$

$$V_e = \frac{M_{kap}}{L_n}$$

$$= 283,773 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \cdot B \cdot H'$$

$$= 201,744 \text{ kN}$$

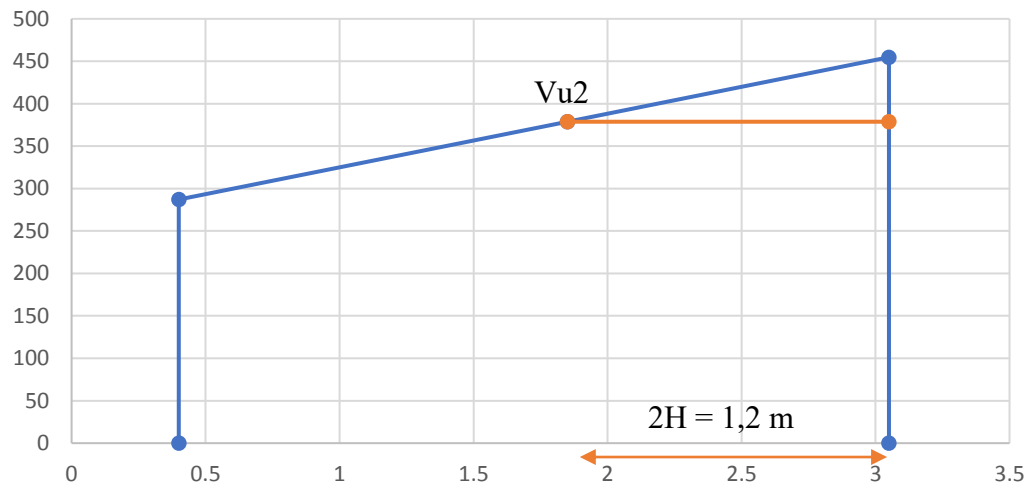
$$V_{u \text{ kiri}} = V_g \text{ kiri} + V_e$$

$$= 286,948 \text{ kN}$$

$$V_{u \text{ kanan}} = V_g \text{ kanan} + V_e$$

$$= 454,762 \text{ kN}$$

Maka dari perhitungan gaya geser diatas, dapat digambarkan grafik gaya geser balok kolektor B4 lantai 2 seperti pada Gambar 5.53.



**Gambar 5.55 Gaya Geser (Vg + Ve)**

Dari grafik gaya geser di atas didapatkan  $Vu_2 = 378,771 \text{ kN}$

1. Daerah sendi plastis

$$\begin{aligned} V_{s1} &= (V_u - V_c) / \phi \\ &= 606,349 \text{ kN} \\ &= 606349 \text{ N} \end{aligned}$$

$$n = 4 \text{ kaki (asumsi)}$$

$$\begin{aligned} A_v &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{senggang}}^2 \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot H'}{V_{s1}} \\ &= 114,503 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{min1}} &= \frac{H}{4} \\ &= 138,125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{min2}} &= 8 \cdot D_{\text{pokok}} \\ &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{min3}} &= 24 \cdot D_{\text{senggang}} \\ &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{min4}} = 300 \text{ mm}$$

$$S_{\text{sambil}} = 100 \text{ mm}$$

Maka pada daerah sendi plastis dipakai tulangan sengkang 4D10 – 100.

## 2. Daerah luar sendi plastis

$$V_{s2} = V_{u2} - V_c$$

$$= 303,283 \text{ kN}$$

$$= 303283 \text{ N}$$

$$n = 3 \text{ kaki (asumsi)}$$

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{Sengkang}}^2$$

$$= 235,619 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot H'}{V_{s1}}$$

$$= 171,693 \text{ mm}$$

$$\text{Sambil} = 150 \text{ mm}$$

Maka pada daerah luar sendi plastis dipakai tulangan sengkang 3D10 – 150.

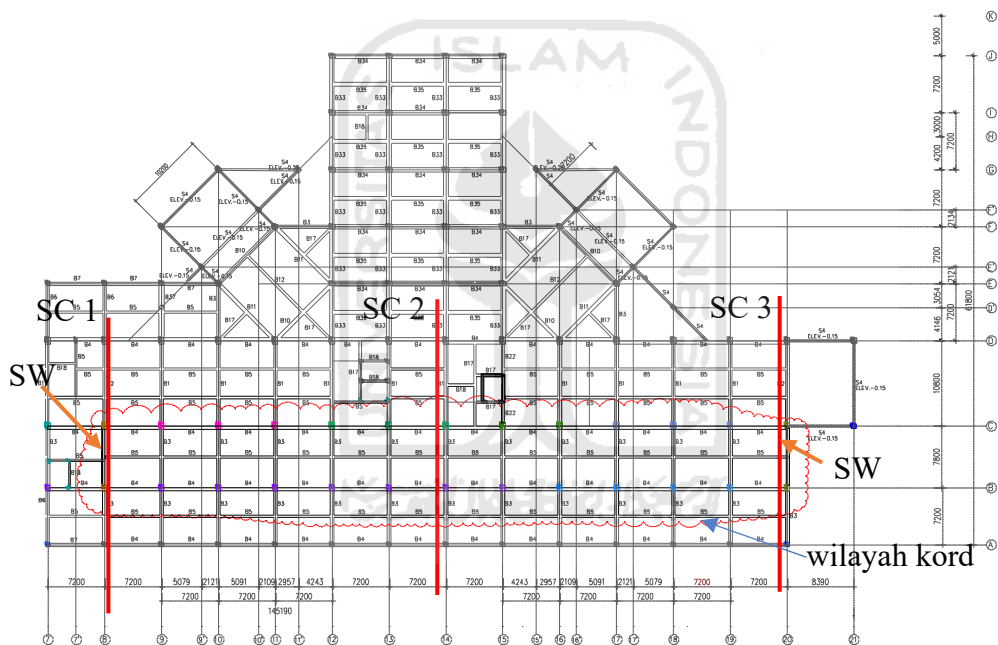
Perhitungan tulangan sengkang pada semua balok kolektor akan dijabarkan pada Tabel 5.34 berikut ini.

**Tabel 5. 34 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Sengkang Balok Kolektor**

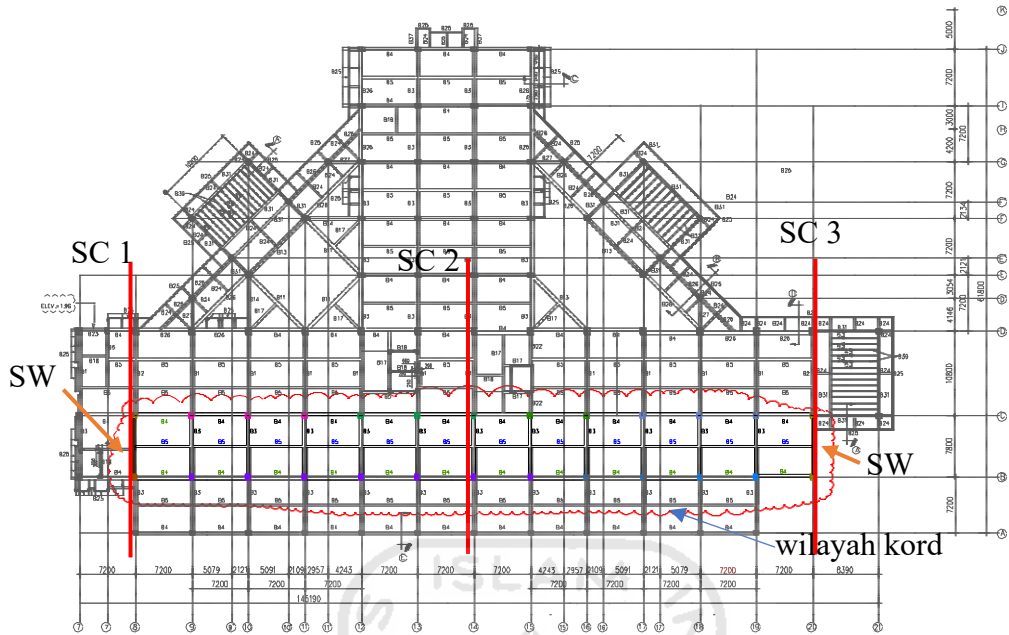
Lantai	Tipe Balok	Kode	Kebutuhan Tulangan	
			Daerah sendi Plastis	Daerah luar sendi plastis
1	B4	4	2D10 – 100	2D10 – 150
2	B4	4	2D10 – 100	2D10 – 150
	B4	5	4D10 – 100	3D10 – 150
3	B1	6	3D10 – 100	2D10 – 150
	B4	5	4D10 – 100	2D10 – 150
	B4	4	2D10 – 100	2D10 – 150
4	B4	4	3D10 – 100	2D10 – 150
5	B4	4	3D10 – 100	2D10 – 150
6	B4	4	2D10 – 100	2D10 – 150
	B4	5	3D10 – 100	3D10 – 150

## 5.12 Desain Elemen Kord

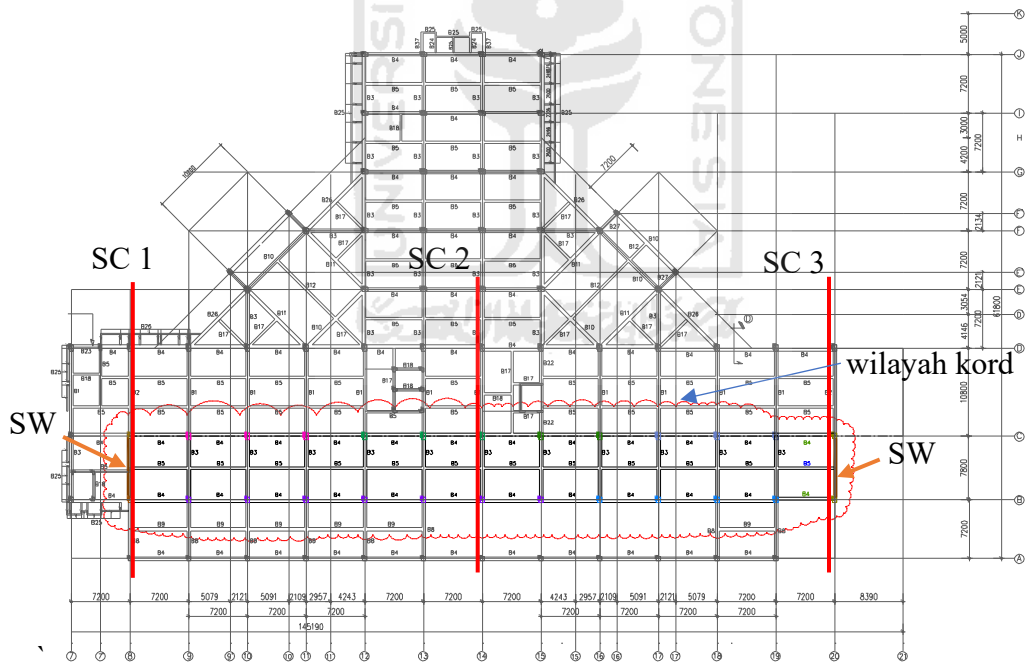
. Pemilihan elemen yang akan didesain elemen kord sesuai dengan petunjuk subab 3.10.2 gambar 3.16, dimana elemen kord berada pada pelat yang menjadi satu kesatuan pada tiap ujungnya terdapat dinding geser (*shear wall*). Pada gedung rumah sakit yang dianalisis elemen kord berada pada pelat lantai yang diberi petunjuk pada gambar 5.56, gambar 5.57, gambar 5.58, dan gambar 5.59. Untuk menentukan gaya-gaya yang bekerja pada diafragma yang dianalisis, maka dilakukan *section cut* pada diafragma yang ditinjau. Pengambilan *section cut* yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 5.56, gambar 5.57, gambar 5.58, dan gambar 5.59.



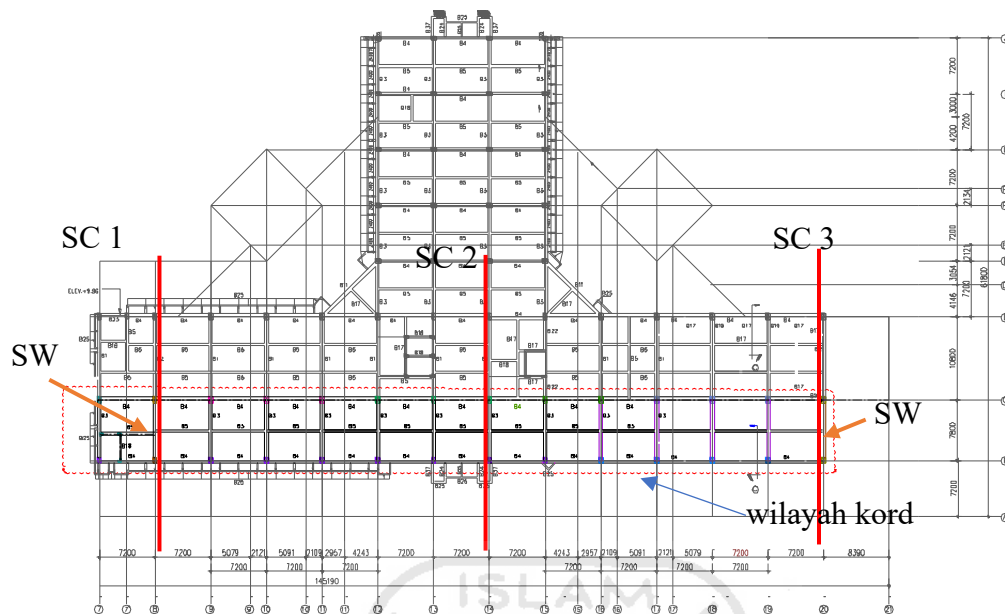
Gambar 5. 56 Section Cut Pada Lantai 1



Gambar 5. 57 Section Cut Pada Lantai 2



Gambar 5. 58 Section Cut Pada Lantai 3



**Gambar 5. 59 Section Cut Pada Lantai 4**

Dari hasil section cut yang dilakukan maka didapat gaya dalam diafragma yang terjadi antara lain pada tabel 5.35.

**Tabel 5. 35 Hasil Section Cut**

Lantai	Scut 1		Scut 2		Scut 3	
	F2 (kN)	M3 (kN.m)	F2 (kN)	M3 (kN.m)	F2 (kN)	M3 (kN.m)
1	720,123	2526,529	126,455	300,616	522,327	1691,526
2	1998,526	2138,297	285,786	381,625	1919,540	1916,904
3	1928,879	6813,802	470,009	1846,46	2544,264	7482,125
4	1267,548	4345,364	503,516	2409,452	1081,419	3236,568

Keterangan :

F2 = Gaya geser

M3 = Momen sebidang

Dari data yang didapat diatas maka dapat dihitung kebutuhan tulangan kord yang harus dipasang pada diafragma yang ditinjau. Berikut perhitungan tulangan kord yang dilakukan.

1. Desain Geser pada Diafragma

Pengecekan kebutuhan tulangan geser pada diafragma dilakukan dengan langkah-langkah berikut.

Diketahui :

*Section cut* 1 di lantai 2

Lebar potongan : 7,2 m

$V_u$  : 1998,526 kN

Dari data tersebut di atas maka dapat dihitung gaya nominal perlu sebagai berikut.

Gaya nominal perlu

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= 3074,655 \text{ kN} \\ &= 3074655 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser pada beton

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 788720,483 \text{ N} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas maka didapatkan gaya geser pada beton < gaya nominal perlu, sehingga tulangan geser diperlukan pada diafragma. Perhitungan pengecekan tulangan geser diafragma pada lantai berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.36



**Tabel 5. 36 Hasil Pengecekan Kebutuhan Tulangan Geser pada Diafragma**

Lantai 1					
	L (m)	F2 (kN)	$V_u/\phi$ (kN)	Geser beton (kN)	Keterangan
SC 1	7,2	720,123	1107,881	788,720	Perlu tulangan geser
SC 2	7,2	126,455	194,546	788,720	Tidak perlu
SC 3	7,2	522,327	803,580	788,720	Perlu tulangan geser
Lantai 2					
	L (m)	F2 (kN)	$V_u/\phi$ (kN)	Geser beton (kN)	Keterangan
SC 1	7,2	1998,526	3074,655	788,720	Perlu tulangan geser
SC 2	7,2	285,786	493,671	788,720	Tidak perlu
SC 3	7,2	2953,139	2953,139	788,720	Perlu tulangan geser
Lantai 3					
	L (m)	F2 (kN)	$V_u/\phi$ (kN)	Geser beton (kN)	Keterangan
SC 1	7,2	1948,879	2998,275	788,720	Perlu tulangan geser
SC 2	7,2	470,01	723,09	788,720	Tidak perlu
SC 3	7,2	2544,264	3914,252	788,720	Perlu tulangan geser
Lantai 4					
	L (m)	F2 (kN)	$V_u/\phi$ (kN)	Geser beton (kN)	Keterangan
SC 1	7,2	1267,584	1950,129	788,720	Perlu tulangan geser
SC 2	7,2	503,52	774,64	788,720	Tidak perlu
SC 3	7,2	1081,419	1663,722	788,720	Perlu tulangan geser

Perhitungan tulangan geser pada daerah diafragma ke shear wall dapat dijabarkan sebagai berikut.

Diketahui :

Diambil contoh perhitungan pada SC 1 lantai 2

F <sub>2</sub>	: Gaya geser (V <sub>u</sub> )	= 1998,526 kN
f' <sub>c</sub>	: Mutu beton	= 30 Mpa
f <sub>y</sub>	: Tegangan leleh baja tulangan	= 400 Mpa
f <sub>u</sub>	: Kuat tarik baja (1,25f <sub>y</sub> )	= 500 Mpa
φ	: Reduksi gaya geser pelat	= 0,65
D <sub>geser</sub>	: Diameter tulangan geser	= 16 mm
b	: Tebal pelat beton	= 120 mm
l <sub>n</sub>	: Lebar bersih pelat	= 6,8 m

Penyelesaian :

$$V_n = \frac{V_u}{\phi}$$

$$= 3074,655 \text{ kN}$$

$$= 3074655 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$= 788720,48 \text{ N}$$

$$= 788,720 \text{ kN}$$

$$V_s = V_n - V_c$$

$$= 2285934,902 \text{ N}$$

$$= 2285,934 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{sengkang}}^2$$

$$= 201,062 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat geser baja} = 40\% \cdot f_u$$

$$= 200 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kuat geser baja 1 tulangan} = \text{Kuat geser baja} \cdot A_s$$

$$= 40212,386 \text{ N}$$

$$= 40,212 \text{ kN}$$

$$\text{Kebutuhan tulangan geser (n)} = \frac{V_s}{\text{Kuat geser 1 tulangan}}$$

$$= 56,847 \text{ buah}$$

$$= 57 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan geser dipasang} = \frac{l_n}{n}$$

$$= 119,62 \text{ mm}$$

$$= 100 \text{ mm}$$

Maka dari perhitungan kebutuhan tulangan geser diafragma ke shearwall di atas didapatkan tulangan geser pada *section cut* 1 lantai 2 sebanyak 16D-100.

Untuk perhitungan pada section cut selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.32.

**Tabel 5. 37 Rekapitulasi Tulangan Geser Diafragma**

Lantai 1					
	Ln (m)	F2 (kN)	Vs (kN)	Kuat Geser 1 Tulangan (kN)	Kebutuhan tulangan geser
SC 1	6,8	720,123	319,161	40,212	16D – 300
SC 3	6,8	522,327	14,859	40,212	16D – 300
Lantai 2					
SC 1	6,8	1998,526	2285,934	40,212	16D – 100
SC 3	6,8	1919,540	2164,418	40,212	16D – 120
Lantai 3					
	Ln (m)	F2 (kN)	Vs (kN)	Kuat Geser 1 Tulangan (kN)	Kebutuhan tulangan geser
SC 1	6,8	1984,879	2209,555	40,212	16D – 120
SC 3	6,8	2544,264	3125,531	40,212	16D – 80
Lantai 4					
SC 1	6,8	1267,584	1161,409	40,212	16D - 200
SC 3	6,8	1081,419	875,001	40,212	16D - 300

Dari perhitungan di atas maka disimpulkan bahwa kebutuhan tulangan geser diafragma ke dinding geser lantai 1 sebanyak 16D-300, lantai 2 sebanyak 16D-100, lantai 3 sebanyak 16D-80, dan pada lantai 4 sebanyak 16D-200.

## 2. Desain Kord pada Diafragma

Perhitungan luas tulangan tarik didasarkan pada hasil *section cut* dapat dilakukan dengan perhitungan berikut.

Diketahui :

*Section cut* 1 lantai 2

Lebar potongan (d) = 7,2 m

Mu = 2138,297 kNm

Fy = 400 Mpa

Gaya tarik =  $\frac{Mu}{d}$   
= 296,297 kN

As tarik kord =  $\frac{Tu}{\phi \times fy}$   
= 829,960 mm<sup>2</sup>

Kebutuhan tulangan digunakan dengan tulangan diameter 16

n =  $\frac{As \text{ tarik kord}}{As \text{ 1 tulangan}}$   
= 4,103 = 5 tulangan

Maka dari perhitungan yang dilakukan maka didapatkan tulangan kord yang dipasang pada lantai 2 adalah 5 D16. Untuk perhitungan tulangan pada *section cut* dan lantai setelahnya dapat dilihat pada Tabel 5.38.

**Tabel 5. 38 Kebutuhan Tulangan Kord**

Lantai 1					
	d (m)	Mu (kN.m)	Mu/d (kN)	As tarik kord (mm <sup>2</sup> )	Tulangan
SC 1	7,2	2526,529	350,907	974,741	5 D16
SC 2	7,2	300,616	41,752	115,978	1 D16
SC 3	7,2	1691,526	234,934	625,595	4 D16
Lantai 2					
SC 1	7,2	2138,297	296,986	824,960	5 D16
SC 2	7,2	381,625	53,003	147,232	1 D16
SC 3	7,2	1916,904	266,237	739,546	4 D16

**Lanjutan Tabel 3.38 Kebutuhan Luas Tulangan Kord**

Lantai 3					
SC 1	7,2	6813,802	946,361	2628,782	14 D16
SC 2	7,2	1846,460	256,453	712,379	4 D16
SC 3	7,2	7482,125	1039,184	2886,622	15 D16
Lantai 4					
SC 1	7,2	4345,364	603,523	1676,452	9 D16
SC 2	7,2	2409,452	334,656	929,573	5 D16
SC 3	7,2	3236,568	449,523	1248,676	7 D16

Dari perhitungan di atas maka dapat disimpulkan bahwa pada lantai 1 dibutuhkan tulangan kord sebanyak 5 D16, lantai 2 dibutuhkan tulangan kord sebanyak 5 D16, pada lantai 3 dibutuhkan tulangan kord sebanyak 15 D16, dan pada lantai 4 dibutuhkan tulangan kord sebanyak 9 D16.

3. Pengecekan kebutuhan confinement pada kord tekan

Pengecekan kebutuhan tulangan confinement pada kord tekan dilakukan dengan perhitungan berikut ini.

Diketahui :

Section cut 1 pada lantai 2

$$M_u = 2138,297 \text{ kN.m}$$

$$d = 7,2 \text{ m}$$

$$A_s = 1005,310 \text{ mm}^2$$

Gaya tekan pada kord dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Gaya tekan kord} &= \frac{\frac{M_u}{d}}{\text{luas tulangan kord}} \\ &= 0,295 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Batasan kord tanpa confinement dihitung dengan persamaan berikut.

$$0,2f'_c = 0,2 \cdot 30 \text{ Mpa}$$

$$= 6 \text{ Mpa}$$

Dari perhitungan di atas maka dapat disimpulkan bahwa tulangan confinement pada lantai 2 tidak dibutuhkan. Untuk perhitungan pada lantai berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.38

**Tabel 5. 39 Kebutuhan Confinement pada Diafragma**

Lantai 1						
	d (m)	Mu (kN.m)	Luas tulangan kord (mm <sup>2</sup> )	Gaya tekan kord (Mpa)	Batasan (0,2.f'c) (Mpa)	Keterangan
SC1	7,2	2526,529	1005,310	0,349	6	Tidak Perlu
SC2	7,2	300,616	201,062	0,208	6	Tidak Perlu
SC3	7,2	1691,526	804,248	0,292	6	Tidak Perlu
Lantai 2						
	d (m)	Mu (kN.m)	Luas tulangan kord (mm <sup>2</sup> )	Gaya tekan kord (Mpa)	Batasan (0,2.f'c) (Mpa)	Keterangan
SC1	7,2	2138,297	1005,310	0,295	6	Tidak Perlu
SC2	7,2	381,625	201,062	0,264	6	Tidak Perlu
SC3	7,2	1916,904	804,248	0,331	6	Tidak Perlu
Lantai 3						
	d (m)	Mu (kN.m)	Luas tulangan kord (mm <sup>2</sup> )	Gaya tekan kord (Mpa)	Batasan (0,2.f'c) (Mpa)	Keterangan
SC1	7,2	6813,802	2814,867	0,336	6	Tidak Perlu
SC2	7,2	1846,460	804,248	0,319	6	Tidak Perlu
SC3	7,2	7482,125	3015,929	0,345	6	Tidak Perlu
Lantai 4						
SC1	7,2	4345,464	1809,557	0,334	6	Tidak Perlu
SC2	7,2	2409,452	1005,310	0,333	6	Tidak Perlu
SC3	7,2	3236,568	1407,434	0,319	6	Tidak Perlu

Dari perhitungan yang sudah dilakukan maka disimpulkan bahwa semua lantai kord yang ditinjau tidak memerlukan tulangan *confinement*.

### 5.13 Desain Pelat

Pelat adalah struktur yang pertama kali menerima beban gravitasi yang nantinya akan disalurkan ke balok dan dilanjutkan ke kolom. Pada tugas akhir ini digunakan metode langsung menurut SNI 2847-2013. Contoh perhitungan pelat lantai yang memiliki fungsi ruang sebagai ruang pasien dapat dilihat pada perhitungan berikut.

Diketahui :

$Q_d$	: Beban mati	= 2,109 kN/m <sup>2</sup>
$Q_l$	: Beban hidup	= 1,92 kN/m <sup>2</sup>
$h$	: Tebal pelat	= 120 mm
$L_x$	: Bentang pendek pelat (utara - selatan)	= 3600 mm
$L_y$	: Bentang panjang pelat (timur - barat)	= 7200 mm
$b_{timur}$	: lebar balok sisi timur	= 600 mm
$h_{timur}$	: tinggi balok sisi timur	= 500 mm
$b_{barat}$	: lebar balok sisi barat	= 600 mm
$h_{barat}$	: tinggi balok sisi barat	= 500 mm
$b_{utara}$	: lebar balok sisi utara	= 600 mm
$h_{utara}$	: tinggi balok sisi utara	= 500 mm
$b_{selatan}$	: lebar balok sisi selatan	= 500 mm
$h_{selatan}$	: tinggi balok sisi selatan	= 500 mm

Perhitungan :

1. Momen statis total

$$\begin{aligned} L_{nx} &= L_x - 0,5 \text{ butara} - 0,5 \text{ bselatan} \\ &= 3050 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{ny} &= L_y - 0,5 \text{ btimur} - 0,5 \text{ bbarat} \\ &= 6600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2Q_d + 1,6Q_l \\ &= 5,603 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

a. Momen pelat bentang timur-barat

$$\begin{aligned} M_0 &= \frac{Q_u \cdot l_x \cdot l_{ny}^2}{8} \\ &= 109,831 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u^- &= 0,65 \cdot M_0 \\ &= 71,390 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u^+ &= 0,35 \cdot M_0 \\ &= 38,441 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

b. Momen pelat bentang utara-selatan

$$\begin{aligned} M_0 &= \frac{Q_u \cdot l_x \cdot l_{ny}^2}{8} \\ &= 46,910 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u^- &= 0,65 \cdot M_0 \\ &= 30,492 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u^+ &= 0,35 \cdot M_0 \\ &= 16,419 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

2. Menentukan faktor distribusi momen

Lajur kolom arah timur-barat

a. Rasio  $l_2/l_1$

$$\frac{l_2}{l_1} = 0,5$$

$$\begin{aligned} \alpha_f &= \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} \\ &= 12,056 \end{aligned}$$

$$\alpha_f \cdot \frac{l_2}{l_1} = 6,028$$



**Tabel 5. 40 Persentase Momen Pada Lajur Kolom**

	$\alpha f.l_2/l_1$	Rasio $l_2/l_1$		
		0,5	1,0	2,0
Momen negatif tumpuan dalam	0	75	75	75
	$\geq 1,0$	90	75	45
Momen positif ditengah bentang	0	60	60	60
	$\geq 1,0$	90	75	45

Sumber : SNI 2847 (2013)

Dari perhitungan rasio  $l_2/l_1$ , maka sesuai dengan pasal 13.6.4 SNI 2847-2013 maka didapatkan persen momen terfaktor negatif lajur kolom arah timur-barrat sebesar 90% dan momen terfaktor positif lajur kolom arah timur-barat sebesar 90%.

Lajur kolom arah utara-selatan

b. Rasio  $l_2/l_1$

$$\frac{l_2}{l_1} = 2$$

$$\alpha f = \frac{E_{cb}.I_b}{E_{cs}.I_s} = 6,028$$

$$\alpha f. \frac{l_2}{l_1} = 12,056$$

**Tabel 5. 41 Persentase Momen Pada Lajur Kolom**

	$\alpha f.l_2/l_1$	Rasio $l_2/l_1$		
		0,5	1,0	2,0
Momen negatif tumpuan dalam	0	75	75	75
	$\geq 1,0$	90	75	45
Momen positif ditengah bentang	0	60	60	60
	$\geq 1,0$	90	75	45

Sumber : SNI 2847 (2013)

Dari perhitungan rasio  $l_2/l_1$ , maka sesuai dengan pasal 13.6.4 SNI 2847-2013 maka didapatkan persen momen terfaktor negatif lajur kolom arah utara-selatan sebesar 45% dan momen terfaktor positif lajur kolom arah utara-selatan sebesar 45%.

## 3. Tabel operasi distribusi momen

Perhitungan distribusi momen dijabarkan pada tabel dibawah ini sebagai berikut.

**Tabel 5. 42 Distribusi Momen Pelat Lantai Ruang Pasien**

	Arah Timur-Barat		Arah Utara-Selatan	
	Negatif	Positif	Negatif	Positif
Mu (kN.m)	71,390	38,441	30,492	16,419
Faktor distribusi (%)	90	90	45	45
Momen desain total lajur kolom (kN.m)	64,251	34,597	13,721	7,388
Momen ditumpu balok 85% (kN.m)	54,613	29,407	11,663	6,280
Momen slab lajur kolom (kN.m)	9,638	5,190	2,058	1,108
Momen slab lajur tangan (kN.m)	7,139	3,844	16,770	9,030

**Tabel 5. 43 Distribusi Momen Pelat Lantai Taman**

	Arah Timur-Barat		Arah Utara-Selatan	
	Negatif	Positif	Negatif	Positif
Mu (kN.m)	112.379	60.512	51.721	27.850
Faktor distribusi (%)	90	90	45	45
Momen desain total lajur kolom (kN.m)	101.141	54.461	23.274	12.532
Momen ditumpu balok 85% (kN.m)	85.970	46.292	19.783	10.652
Momen slab lajur kolom (kN.m)	15.171	8.169	3.491	1.880
Momen slab lajur tangan (kN.m)	11.238	6.051	28.446	15.317

**Tabel 5. 44 Distribusi Momen Pelat Lantai Lobby**

	Arah Timur-Barat		Arah Utara-Selatan	
	Negatif	Positif	Negatif	Positif
Mu (kN.m)	401.598	216.245	188.632	101.571
Faktor distribusi (%)	90	90	45	45
Momen desain total lajur kolom (kN.m)	361.438	194.621	84.885	45.707
Momen ditumpu balok 85% (kN.m)	307.223	165.428	72.152	38.851
Momen slab lajur kolom (kN.m)	54.216	29.193	12.733	6.856
Momen slab lajur tangan (kN.m)	40.160	21.625	103.748	55.864

**Tabel 5. 45 Distribusi Momen Pelat Lantai Ruang Operasi**

	Arah Timur-Barat		Arah Utara-Selatan	
	Negatif	Positif	Negatif	Positif
Mu (kN.m)	94.929	51.116	44.014	23.700
Faktor distribusi (%)	90	90	45	45
Momen desain total lajur kolom (kN.m)	85.436	46.004	19.806	10.665
Momen ditumpu balok 85% (kN.m)	72.621	39.103	16.835	9.065
Momen slab lajur kolom (kN.m)	12.815	6.901	2.971	1.600
Momen slab lajur tangan (kN.m)	9.493	5.112	24.208	13.035

**Tabel 5. 46 Distribusi Momen Pelat Lantai Ruang Laboratorium**

	Arah Timur-Barat		Arah Utara-Selatan	
	Negatif	Positif	Negatif	Positif
Mu (kN.m)	94.929	51.116	44.014	23.700
Faktor distribusi (%)	90	90	45	45
Momen desain total lajur kolom (kN.m)	85.436	46.004	19.806	10.665
Momen ditumpu balok 85% (kN.m)	72.621	39.103	16.835	9.065
Momen slab lajur kolom (kN.m)	12.815	6.901	2.971	1.600
Momen slab lajur tangan (kN.m)	9.493	5.112	24.208	13.035

**Tabel 5. 47 Distribusi Momen Pelat Lantai Ruang Kelas**

	Arah Timur-Barat		Arah Utara-Selatan	
	Negatif	Positif	Negatif	Positif
Mu (kN.m)	94.929	51.116	44.014	23.700
Faktor distribusi (%)	90	90	45	45
Momen desain total lajur kolom (kN.m)	85.436	46.004	19.806	10.665
Momen ditumpu balok 85% (kN.m)	72.621	39.103	16.835	9.065
Momen slab lajur kolom (kN.m)	12.815	6.901	2.971	1.600
Momen slab lajur tangan (kN.m)	9.493	5.112	24.208	13.035

**Tabel 5. 48 Distribusi Momen Pelat Lantai Koridor**

	Arah Timur-Barat		Arah Utara-Selatan	
	Negatif	Positif	Negatif	Positif
Mu (kN.m)	115.399	62.138	53.505	28.810
Faktor distribusi (%)	90	90	45	45
Momen desain total lajur kolom (kN.m)	103.859	55.924	24.077	12.965
Momen ditumpu balok 85% (kN.m)	88.280	47.536	20.466	11.020
Momen slab lajur kolom (kN.m)	15.579	8.389	3.612	1.945
Momen slab lajur tangan (kN.m)	11.540	6.214	29.428	15.846

**Tabel 5. 49 Distribusi Momen Pelat Lantai Ruang Gymnasium**

	Arah Timur-Barat		Arah Utara-Selatan	
	Negatif	Positif	Negatif	Positif
Mu (kN.m)	135.870	73.161	62.996	33.921
Faktor distribusi (%)	90	90	45	45
Momen desain total lajur kolom (kN.m)	122.283	65.845	28.348	15.264
Momen ditumpu balok 85% (kN.m)	103.940	55.968	24.096	12.975
Momen slab lajur kolom (kN.m)	18.342	9.877	4.252	2.290
Momen slab lajur tangan (kN.m)	13.587	7.316	34.648	18.656

**Tabel 5. 50 Distribusi Momen Pelat Lantai Atap**

	Arah Timur-Barat		Arah Utara-Selatan	
	Negatif	Positif	Negatif	Positif
Mu (kN.m)	30.331	16.332	14.063	7.572
Faktor distribusi (%)	90	90	45	45
Momen desain total lajur kolom (kN.m)	27.298	14.699	6.328	3.408
Momen ditumpu balok 85% (kN.m)	23.203	12.494	5.379	2.896
Momen slab lajur kolom (kN.m)	4.095	2.205	0.949	0.511
Momen slab lajur tungan (kN.m)	3.033	1.633	7.735	4.165

#### 4. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat

Perhitungan kebutuhan tulangan pelat diambil satu contoh perhitungan pada lajur kolom arah timur-barat didaerah momen negatif.

Arah timur-barat momen negatif

Diketahui :

$Mu^-$  : Momen ultimit negatif = 9,638 kN.m

$f'c$  : Mutu betoon = 30 Mpa

$fy$  : Tegangan leleh baja = 400 Mpa

$b$  : Lebar strip pelat arah timur-barat momen negatif = 1800 mm

$h$  : Tebal pelat = 120 mm

$Sb$  : Selimut beton = 25 mm

$Dp$  : Diameter tulangan pelat = 10 mm

$\emptyset$  : Faktor reduksi momen = 0,9

Penyelesaian

$$Ru = \frac{Mu}{b.d^2}$$

$$= 0,661$$

Rasio tulangan didapat dengan persamaan berikut ini.

$$-\frac{\emptyset.fy^2}{1,7.f'c}(\rho^2) + \emptyset.fy(\rho) + Ru = 0$$

Maka nilai  $\rho$  didapatkan 0,13%

$$As = \rho.b.d$$

$$= 209,483 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 0,0018 \cdot b \cdot h$$

$$= 388,800 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ pakai}} = A_{smin} > A_s$ , maka dipakai  $A_{smin} = 388,800 \text{ mm}^2$

$$A_{s1} = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2$$

$$= 78,450 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s \text{ min}}}{A_{s1}}$$

$$= 4,95 \text{ buah}$$

$$= 5 \text{ buah tulangan}$$

$$S = \frac{b}{n}$$

$$= 360 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 2h$$

$$= 240 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

Maka pada perhitungan kebutuhan tulangan pada lajur kolom negatif arah timur-barat didapatkan tulangan sebanyak D10-200.

Untuk hasil perhitunngan penulangan pelat lantai pada lajur dan fungsi pelat yang lain dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 5. 51 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Pasien**

Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200

**Tabel 5. 52 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Taman**

Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200

**Tabel 5. 53 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Lobby**

Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200

**Tabel 5. 54 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Operasi**

Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200

**Tabel 5. 55 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Laboratorium**

Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200

**Tabel 5. 56 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Kelas**

Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200

**Tabel 5. 57 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Koridor**

Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200



**Tabel 5. 58 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Gymnasium**

Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200

**Tabel 5. 59 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Atap**

Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200

Hasil perhitungan kebutuhan tulangan pelat yang dilakukan terdapat perbedaan dengan kondisi tulangan eksisting bangunan.

#### 5.14 Desain Elemen Balok

Balok merupakan salah satu elemen struktur portal yang kaku dengan bentang arah horizontal. Balok berfungsi menyalurkan beban yang diterima oleh pelat lantai dan diteruskannya ke kolom. Gaya dalam yang dominan terjadi pada balok adalah gaya lentur dan geser sehingga memerlukan baja tulangan untuk menahan gaya-gaya tersebut. Besarnya gaya dalam yang terjadi yaitu momen lentur dan gaya geser dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 5. 60 Rekapitulasi Momen Balok**

Tipe Balok	Dimensi (mm)		Daerah Tumpuan		Daerah Lapangan	
	b	h	Mu <sup>-</sup> (kN.m)	Mu <sup>+</sup> (kN.m)	Mu <sup>-</sup> (kN.m)	Mu <sup>+</sup> (kN.m)
B1	450	800	1139,747	569,873	293,789	587,578
B3	450	600	546,548	273,274	136,837	273,675
B3'	450	600	568,851	284,425	142,845	285,690
B4 X	400	600	405,205	211,024	146,275	208,272
B4 Y	400	600	296.952	148.476	83.169	166.339
B5	300	600	285,992	142,996	72,237	144,473
B8	450	500	269,188	134,594	67,745	135,490
B9	400	500	84,124	42,062	21,557	43,114
B10	450	700	621,213	310,607	201,876	403,753
B12	300	700	436,877	218,438	129,690	259,381
B17	300	500	181,962	90,981	47,017	94,033
B18	250	400	95,327	45,054	22,692	45,384
B33	600	500	408,896	204,448	118,751	237,501
B34	600	500	257,786	128,893	66,000	132,000
B35	500	500	177,911	88,956	44,761	89,522

**Tabel 5. 61 Rekapitulasi Gaya Geser Balok**

Tipe Balok	Dimensi (mm)		Gaya Geser Tumpuan	
	b	H	Kanan (kN)	Kiri (kN)
B1	450	800	-376,657	320,616
B3	450	600	-163,719	191,217
B3'	450	600	-174,880	191,818
B4 X	400	600	-87,565	90,498
B4 Y	400	600	-138,387	105,171
B5	300	600	-130,246	102,711
B8	450	500	-78,899	127,361
B9	400	500	-35,522	37,95
B10	450	700	-230,300	219,106
B12	300	700	-179,771	182,163
B17	300	500	-57,682	25,209
B18	250	400	-8,332	0,494
B33	600	500	-187,731	175,165
B34	600	500	-93,494	102,107
B35	500	500	-95,682	97,476

### 5.14.1 Desain Tulangan Lentur Balok

Dari hasil rekapitulasi analisa struktur di atas maka dapat dihitung kebutuhan tulangan lentur dan tulangan geser balok. Berikut contoh langkah-langkah dalam perencanaan tulangan balok B1 daerah tumpuan.

Diketahui :

$$Mu^- : \text{Momen ultimate negatif} = 1139,747 \text{ kN.m}$$

$$Mu^+ : \text{Momen ultimate positif} = 569,873 \text{ kN.m}$$

$$f'c : \text{Kuat tekan beton} = 30 \text{ Mpa}$$

$$fy : \text{Tegangan leleh baja} = 400 \text{ Mpa}$$

$$Es : \text{Modulus elastisitas baja} = 200000 \text{ Mpa}$$

$$\epsilon_c : \text{Regangan beton} = 0,003$$

$$\epsilon_y : \text{Regangan baja} = \frac{fy}{Es} = 0,002$$

$$\beta = 0,836$$

$$D_{\text{pokok}} : \text{Diameter tulangan pokok baja} = 25 \text{ mm}$$

$$D_{\text{senggang}} : \text{Diameter tulangan senggang} = 25 \text{ mm}$$

$$\emptyset : \text{Faktor reduksi lentur} = 0,9$$

$$S_b : \text{Selimut beton} = 25 \text{ mm}$$

$$H : \text{Tinggi balok} = 850 \text{ mm}$$

$$B : \text{Lebar balok} = 450 \text{ mm}$$

Perhitungan :

1. Cek penampang balok

$$m = \frac{fy}{0,85.f'c}$$

$$= 15,686$$

$$\rho_b = \frac{\beta}{m} \left( \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y} \right)$$

$$= 0,032$$

$$\rho m = 0,75 \cdot \rho b$$

$$= 0,024$$

$$R_b = \rho b \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1}{2}(\rho b \cdot m)\right)$$

$$= 9,581 \text{ Mpa}$$

$$R_m = \rho m \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1}{2}(\rho m \cdot m)\right)$$

$$= 7,787 \text{ Mpa}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= 1266,386 \text{ kN.m}$$

$$M_n = R_m \cdot b \cdot h^2$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{M_n}{4 \cdot R_m}}$$

$$= 343,864 \text{ mm}$$

bhitung < B = 450 mm, maka penampang balok dapat digunakan.

## 2. Tinggi Beton

$$d = S_b + \emptyset_s + \emptyset_p + \frac{2,5}{2}$$

$$= 72,5 \text{ mm}$$

$$d' = S_b + \emptyset_s + \frac{\emptyset_p}{2}$$

$$= 47,5 \text{ mm}$$

$$h = H - d$$

$$= 727,5 \text{ mm}$$

$$h' = H - d'$$

$$= 752,5 \text{ mm}$$

## 3. Perhitungan Luas Tulangan Sebelah

$$R_l = 0,3 \cdot R_b$$

$$= 2,847 \text{ Mpa}$$

$$M_l = R_l \cdot B \cdot h^2$$

$$= 684536284.402 \text{ N.mm}$$

Nilai  $a$  dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\frac{0,85.f'c.B}{2} (a^2) - 0,85.f'c.B.h (a) + MI = 0$$

$$5737,500 (a^2) - 8348062,500 (a) + 684536284,402 = 0$$

Maka didapatkan nilai a

$$a = 87,229 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta}$$

$$= 104,376 \text{ mm}$$

$$Cc = 0,85.f'c.a.B$$

$$= 1000951,518 \text{ N}$$

$$AsI = \frac{Cc}{fy}$$

$$= 2502,379 \text{ mm}^2$$

$$nI = \frac{AsI}{\frac{1}{4}\pi.Dp^2}$$

$$= 5,098 \text{ buah tulangan}$$

$$nI_{pakai} = 5 \text{ buah tulangan}$$

$$AsI_{pakai} = \frac{1}{4}\pi.Dp^2.nI_{pakai}$$

$$= 2454,369 \text{ mm}^2$$

$$TsI_{pakai} = AsI_{pakai}.Fy$$

$$= 981747,704 \text{ N}$$

$$apakai = \frac{TsI_{pakai}}{0,85.f'c.B}$$

$$= 85,555 \text{ mm}$$

$$cpakai = \frac{apakai}{\beta}$$

$$= 102,374 \text{ mm}$$

$$\epsilon s' = \left(\frac{c-d}{c}\right) \epsilon cu$$

$$= 0,002$$

$$MI = 0,85.f'c.B.a. \left(h - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 672224567,920 \text{ N.mm}$$

$$= 672,225 \text{ kN.m}$$

#### 4. Perhitungan Tulangan Kembar

$$M2 = Mn - M1$$

$$= 594,161 \text{ kN.m}$$

$$Ts2 = \frac{M2}{h-d'}$$

$$= 873,766 \text{ kN}$$

$$As2 = \frac{Ts2}{fy}$$

$$= 2184,415 \text{ mm}^2$$

$$n2 = \frac{As2}{\frac{1}{4}\pi \cdot Dpokok^2}$$

$$= 4,450 \text{ buah tulangan}$$

$$n2_{pakai} = 5 \text{ buah tulangan}$$

cek spasi antar tulangan

$$s = \frac{B-2(sb+Dsenggang)+n(Dpokok)}{n-1}$$

$$= 63,750 \text{ mm}$$

$s > 25 \text{ mm}$ , maka jarak antar tulangan memenuhi untuk dipakai

## 5. Perhitungan Momen Tersedia

### a. Momen tersedia negatif

$$As' = n2 \cdot \frac{1}{4}\pi \cdot Dpokok^2$$

$$= 2454,369 \text{ mm}^2$$

$$As = (n2 + n1) \cdot \frac{1}{4}\pi \cdot Dpokok^2$$

$$= 4908,739 \text{ mm}^2$$

Nilai  $a$  dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$0,85 \cdot f'c \cdot B (a^2) + \{(As' \cdot \epsilon_c \cdot Es) - (As \cdot fy)\} (a) - (As' \cdot \epsilon_c \cdot Es \cdot \beta \cdot d') = 0$$

$$11475,000 (a^2) - 490873,852 (a) - 58457816,425 = 0$$

Maka dari persamaan di atas didapat nilai  $a$

$$a = 95,900 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta}$$

$$= 114,752 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s' = \left(\frac{c-d'}{c}\right) \epsilon_c$$

$$= 0,0018$$

$\varepsilon_s' < \varepsilon_y$ , maka baja tulangan belum leleh

$$\begin{aligned} f_s' &= \varepsilon_s' \cdot E_s \\ &= 351,637 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M1 &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot B \left( h - \frac{a}{2} \right) \\ &= 747,809 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2 &= A_s' \cdot f_s' \cdot (h - d') \\ &= 596,873 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= M1 + M2 \\ &= 1334,682 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mt &= \emptyset Mn \\ &= 1201,214 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$Mt > Mu = 1139,747 \text{ kN.m}$  maka desain tulangan negatif OK

b. Momen tersedia positif

$$\begin{aligned} A_s' &= (n_2 + n_1) \frac{1}{4} \pi \cdot D_{pokok}^2 \\ &= 4908,739 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= n_2 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D_{pokok}^2 \\ &= 2454,369 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai  $a$  dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$\begin{aligned} 0,85 \cdot f_c' \cdot B (a^2) + \{ (A_s' \cdot \varepsilon_c \cdot E_s) - (A_s \cdot f_y) \} (a) - (A_s' \cdot \varepsilon_c \cdot E_s \cdot \beta \cdot d') &= 0 \\ 11475,000 (a^2) + 1963495,408 (a) - 178450176,456 &= 0 \end{aligned}$$

Maka dari persamaan di atas didapat nilai  $a$

$$a = 65,676 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta} \\ &= 78,587 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s' &= \left( \frac{c - d'}{c} \right) \varepsilon_c \\ &= 0,00023 \end{aligned}$$

$\varepsilon_s' < \varepsilon_y$ , maka baja tulangan belum leleh

$$\begin{aligned} f_s' &= \varepsilon_s' \cdot E_s \\ &= 46,471 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

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

$$= 542,361 \text{ kN.m}$$

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

$$= 155,118 \text{ kN.m}$$

$$Mn = M1 + M2$$

$$= 697,479 \text{ kN.m}$$

$$Mt = \emptyset Mn$$

$$= 627,731 \text{ kN.m}$$

$$Mt > Mu = 569,873 \text{ kN.m} \text{ maka desain tulangan positif OK}$$

## 6. Perhitungan Momen Kapasitas Balok

### a. Perhitungan Momen Kapasitas Negatif

$$As = (n_1 + n_2) \left( \frac{1}{4} \pi \cdot D_{pokok}^2 \right)$$

$$= 4908,739 \text{ mm}^2$$

$$As' = n_2 \left( \frac{1}{4} \pi \cdot D_{pokok}^2 \right)$$

$$= 2454,369 \text{ mm}^2$$

Nilai a dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$0,85 \cdot f'c \cdot B \cdot (a^2) + \{ (As' \cdot \varepsilon_c \cdot Es) - (As \cdot fy \cdot \emptyset) \} (a) - As' \cdot d' \cdot Es \cdot \varepsilon_c \cdot \beta = 0$$

$$11475,000 (a^2) - 981747,704 (a) - 58457816,425 = 0$$

$$a = 125,990 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta}$$

$$= 150,757 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = \left( \frac{c - d'}{c} \right) \varepsilon_c$$

$$= 0,00205$$

$\varepsilon_s' > \varepsilon_y$ , maka baja tulangan sudah leleh

$$fs' = fy$$

$$= 400 \text{ Mpa}$$

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

$$= 960,698 \text{ kN.m}$$

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



$$= 667,588 \text{ kN.m}$$

$$M_{kap}^- = M1 + M2$$

$$= 1628,287 \text{ kN.m}$$

b. Perhitungan Momen Kapasitas Positif

$$\begin{aligned} A_s &= n_2 \left( \frac{l}{4} \pi \cdot D_{pokok}^2 \right) \\ &= 2454,369 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' &= (n_1 + n_2) \left( \frac{l}{4} \pi \cdot D_{pokok}^2 \right) \\ &= 4908,739 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai a dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$0,85 \cdot f_c' \cdot B \cdot (a^2) + \{ (A_s' \cdot \epsilon_c \cdot E_s) - (A_s \cdot f_y \cdot \emptyset) \} (a) - A_s' \cdot d' \cdot E_s \cdot \epsilon_c \cdot \beta = 0$$

$$11475,000 (a^2) + 1718058,482 (a) - 178450176,456 = 0$$

$$a = 70,588 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta} \\ &= 83,045 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= \left( \frac{c-d'}{c} \right) \epsilon_c \\ &= 0,00038 \end{aligned}$$

$\epsilon_s' < \epsilon_y$ , maka baja tulangan belum leleh

$$\begin{aligned} f_s' &= f_y \\ &= 76,185 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M1 &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot B \left( h - \frac{a}{2} \right) \\ &= 580,934 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2 &= A_s' \cdot f_s' \cdot (h - d') \\ &= 254,302 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{kap}^+ &= M1 + M2 \\ &= 835,236 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok di atas, balok B1 pada daerah tumpuan membutuhkan tulangan tarik sebanyak 10D25 dan tulangan desak sebanyak 5D25. Perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok yang lain akan dijabarkan dalam tabel 5.62 dan tabel 5.63.

**Tabel 5. 62 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Balok Pada Daerah Tumpuan**

Tipe Balok	Dimensi		Kebutuhan Tulangan		Tulangan Existing Gedung	
	b	h	Tumpuan		Tumpuan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
B1	450	800	10D25	5D25	10D25	5D25
B3	450	600	7D25	3D25	6D25	3D25
B3'	450	600	7D25	3D25	6D25	3D25
B4 X	400	600	8D19	4D19	9D19	4D19
B4 Y	400	600	8D19	4D19	9D19	4D19
B5	300	600	6D19	3D19	4D19	3D19
B8	450	500	5D19	3D19	6D25	3D25
B9	400	500	4D19	2D19	5D19	3D19
B10	450	700	7D25	4D25	10D25	4D25
B12	300	700	8D19	3D19	5D19	3D19
B17	300	500	5D19	3D19	3D19	3D19
B18	250	400	5D19	3D19	3D19	3D19
B34	600	500	7D25	4D25	7D25	4D25
B33	600	500	7D19	4D19	10D19	4D19
B35	500	500	6D19	3D19	6D19	3D19

**Tabel 5. 63 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Balok Pada Lapangan**

Tipe Balok	Dimensi		Kebutuhan Tulangan		Tulangan Existing Gedung	
	b	h	Lapangan		Lapangan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
B1	450	800	7D25	4D25	7D25	4D25
B3	450	600	5D25	3D25	5D25	3D25
B3'	450	600	5D25	3D25	5D25	3D25
B4 X	400	600	5D19	3D19	5D19	3D19
B4 Y	400	600	5D19	3D19	5D19	3D19
B5	300	600	5D19	3D19	4D19	3D19
B8	450	500	5D19	3D19	6D25	3D25
B9	400	500	4D19	2D19	5D19	3D19
B10	450	700	6D25	3D25	9D25	3D25
B12	300	700	7D19	3D19	10D19	3D19
B17	300	500	5D19	3D19	3D19	3D19
B18	250	400	5D19	3D19	3D19	3D19
B34	600	500	7D25	4D25	7D25	4D25
B33	600	500	7D19	4D19	7D19	4D19
B35	500	500	5D19	3D19	6D19	3D19

Hasil perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok memiliki perbedaan dengan kondisi tulangan eksisting bangunan di area tumpuan maupun area lapangannya.

#### 5.14.2 Desain Tulangan Sengkang Balok

Tulangan sengkang balok diperlukan untuk menahan gaya geser balok yang terjadi. Gaya geser yang diperhitungkan untuk mendesain tulangan sengkang berasal dari gaya geser akibat beban mati, beban hidup, dan momen kapasitas balok sesuai dengan desain tulangan lentur. Berikut contoh perhitungan kebutuhan tulangan sengkang balok B1.

Diketahui :

$V_{g1}$	: Gaya geser akibat beban mati dan hidup sisi kiri	= -376,657 kN
$V_{g\ ba1}$	: Gaya geser bawah akibat balok anak ba1	= -298,834 kN
$V_{g\ ba1'}$	: Gaya geser atas akibat balok anak ba1	= -25,114 kN
$V_{g\ ba2}$	: Gaya geser bawah akibat balok anak ba2	= 69,964 kN
$V_{g\ ba2'}$	: Gaya geser atas akibat balok anak atas ba2	= 233,388 kN
$V_{g\ r}$	: Gaya geser akibat beban mati dan hidup sisi kanan	= 320,616 kN
$M_{kap^-}$	: Momen kapasitas negatif balok	= -1628,287 kN.m
$M_{kap^+}$	: Momen kapasitas positif balok	= 835,236 kN.m
$f'_c$	: Kuat tekan beton	= 30 Mpa
$f_y$	: Tegangan leleh baja sengkang	= 400 Mpa
$L_n$	: Panjang bersih balok	= 10,05 m
$D_{\text{pokok}}$	: Diameter tulangan pokok	= 25 mm
$D_{\text{sengkang}}$	: Diameter tulangan Sengkang	= 10 mm
$\emptyset$	: Reduksi gaya geser	= 0,75
$S_b$	: Selimut beton	= 25 mm

B : Lebar balok = 450 mm

H : Tinggi balok = 800 mm

Perhitungan :

$$H' = H - (S_b + D_{\text{Senggang}} + 0,5 \cdot D_{\text{pokok}})$$

$$= 752,500 \text{ mm}$$

$$V_e = \frac{M_{\text{kap-}} + M_{\text{kap+}}}{L_n}$$

$$= 245,127 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \cdot B \cdot H'$$

$$= 309,121 \text{ kN}$$

$$V_{u \text{ kiri}} = V_g \text{ kiri} + V_e$$

$$= -131,530 \text{ kN}$$

$$V_{u \text{ ba1}} = V_g \text{ ba1} + V_e$$

$$= -53,707 \text{ kN}$$

$$V_{u \text{ ba1}'} = V_g \text{ ba1}' + V_e$$

$$= 220,0127 \text{ kN}$$

$$V_{u \text{ ba2}} = V_g \text{ ba2} + V_e$$

$$= 315,0907 \text{ kN}$$

$$V_{u \text{ ba2}'} = V_g \text{ ba2}' + V_e$$

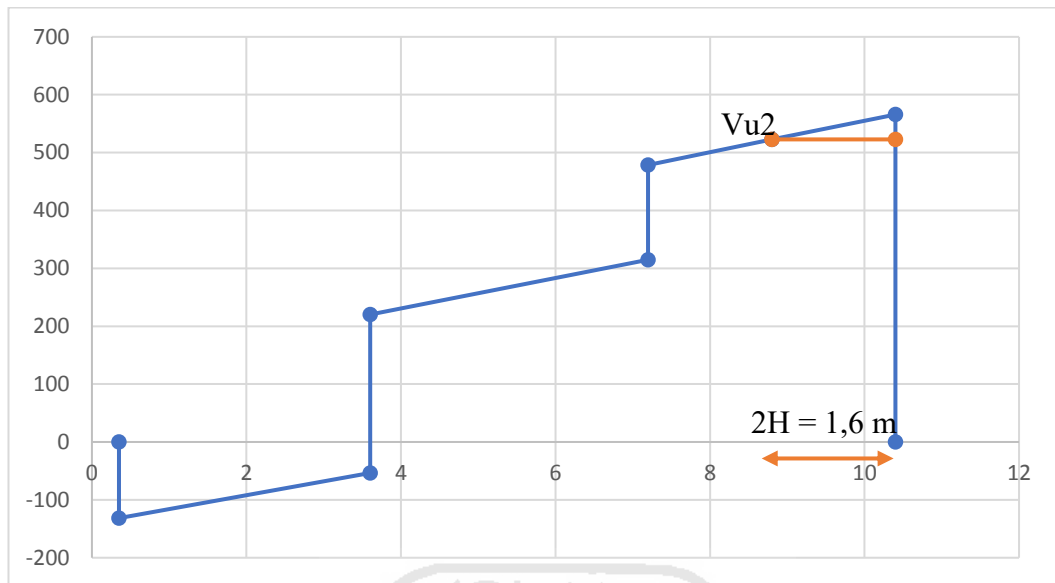
$$= 478,515 \text{ kN}$$

$$V_{u \text{ kanan}} = V_g \text{ kanan} + V_e$$

$$= 565,743 \text{ kN}$$



Maka dari perhitungan gaya geser diatas, dapat digambarkan grafik gaya geser balok B1 pada gambar 5.60.



**Gambar 5. 60 Gaya Geser Vg + Ve**

Dari grafik gaya geser di atas didapatkan  $V_{u2} = 522,799 \text{ kN}$

3. Daerah sendi plastis

$$\begin{aligned} V_{s1} &= (V_u - V_c) / \phi \\ &= 754.324 \text{ kN} \\ &= 754324 \text{ N} \end{aligned}$$

$$n = 4 \text{ kaki (asumsi)}$$

$$\begin{aligned} A_v &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{sengkang}}^2 \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot H'}{V_{s1}} \\ &= 125,360 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{min1}} &= \frac{H}{4} \\ &= 188,125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{min2}} &= 8 \cdot D_{\text{pokok}} \\ &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{min3}} &= 24 \cdot D_{\text{sengkang}} \\ &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{min4}} = 300 \text{ mm}$$

Sambil= 100 mm

Maka pada daerah sendi plastis dipakai tulangan sengkang 4D10 – 100.

4. Daerah luar sendi plastis

$$V_{s2} = V_{u2} - V_c$$

$$= 387,945 \text{ kN}$$

$$= 387945 \text{ N}$$

$$n = 2 \text{ kaki (asumsi)}$$

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_{\text{sengkang}}^2$$

$$= 157,080 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot H'}{V_{s1}}$$

$$= 121,875 \text{ mm}$$

Sambil= 100 mm

Maka pada daerah luar sendi plastis dipakai tulangan sengkang 2D10 – 100.

Rekapitulasi hasil perhitungan kebutuhan tulangan sengkang pada tipikal balok yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.63 berikut ini.

**Tabel 5. 64 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Sengkang**

Tipe Balok	Kebutuhan Tulangan Sengkang		Kebutuhan Tulangan Sengkang Existing	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
B1	4D10-100	2D10-100	4D10-100	2D10-100
B3	3D10-100	2D10-150	3D10-100	2D10-150
B3	3D10-100	2D10-100	3D10-100	2D10-150
B4 X	3D10-100	2D10-150	3D10-100	2D10-150
B4 Y	3D10-100	2D10-150	3D10-100	2D10-150
B5 X	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
B8 Y	2D10-100	2D10-150	3D10-100	2D10-150
B9 X	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-100
B10	3D10-100	2D10-150	4D10-100	2D10-100
B12	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
B17	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
B18	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
B33	4D10-100	2D10-150	3D10-150	2D10-100
B34	3D10-100	2D10-150	3D10-150	2D10-100
B35	2D10-100	2D10-150	2D10-150	2D10-100

Hasil perhitungan kebutuhan tulangan geser balok yang dilakukan pada beberapa tipe balok memiliki perbedaan kebutuhan tulangan geser dengan kondisi tulangan geser eksisting bangunan.

## 5.15 Desain Elemen Kolom

Kolom merupakan elemen struktur yang menahan gaya aksial tekan, momen, dan gaya geser. Perhitungan jumlah kebutuhan tulangan lentur kolom didasarkan pada 5 kemungkinan kondisi yang berbeda. Kemungkinan kondisi tersebut antara lain kondisi desak sentris, kondisi patah desak, kondisi seimbang (*balance*), kondisi patah tarik, kondisi lentur murni, dan kondisi tarik murni. Perhitungan kebutuhan tulangan lentur kolom dan tulangan geser kolom akan dibahas pada subbab berikut ini.

### 5.15.1 Perhitungan Tulangan Lentur Kolom

Gaya - gaya yang bekerja pada kolom di masukkan ke dalam diagram Mu-Pu untuk memperoleh kebutuhan tulangan lentur kolom. Perhitungan diagram Mu-Pu kolom diambil contoh pada kolom tipe K1 ST arah sumbu x.

Diketahui :

B	: Lebar kolom	= 500 mm
H	: Tinggi kolom	= 700 mm
$f'_c$	: Kuat tekan beton	= 30 Mpa
$f_y$	: Tegangan leleh baja	= 400 Mpa
$E_s$	: Modulus elastisitas baja	= 200000 Mpa
$\beta$	: Faktor reduksi beton	= 0,836
$D_{\text{pokok}}$	: Diameter tulangan pokok	= 19 mm
$D_{\text{sengkang}}$	: Diameter tulangan sengkang	= 10 mm
$S_b$	: Selimut beton	= 25 mm
r	: Rasio tulangan kolom	= 0,8%

$n$	: Jumlah tulangan pakai satu sisi	= 5 tulangan
$A_s$	: Luas tulangan tarik	= 1417,644 mm <sup>2</sup>
$A_s'$	: Luas tulangan desak	= 1417,644 mm <sup>2</sup>

Perhitungan :

$$d_s = S_b + D_{sengakang} + \frac{D_{pokok}}{2}$$

$$= 44,5 \text{ mm}$$

$$d_s' = S_b + D_{sengakang} + \frac{D_{pokok}}{2}$$

$$= 44,5 \text{ mm}$$

$$d = H - d$$

$$= 655,5 \text{ mm}$$

$$d' = H - d'$$

$$= 655,5 \text{ mm}$$

1. Kondisi Beban Sentris ( $M_n = 0$ )

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot B \cdot H$$

$$= 8925000 \text{ N}$$

$$C_{s1} = A_s \cdot (f_y - 0,85 \cdot f'_c)$$

$$= 530907,560 \text{ N}$$

$$C_{s2} = A_s \cdot (f_y - 0,85 \cdot f'_c)$$

$$= 530907,560 \text{ N}$$

$$P_n = 0,8 \cdot (C_c + C_{s1} + C_{s2})$$

$$= 7989,452 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,65$$

$$\phi P_n = 5193,144 \text{ kN}$$

2. Kondisi seimbang (*balance*)

$$C_b = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} d$$



$$= 393,300 \text{ mm}$$

$$a = \beta \cdot cb$$

$$= 328,686 \text{ mm}$$

$$Cc = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot B$$

$$= 4190751,964 \text{ N}$$

$$Cs = As' \cdot (fy - 0,85 \cdot f'c)$$

$$= 530907,560 \text{ N}$$

$$Ts = As \cdot fy$$

$$= 567057,474 \text{ N}$$

$$Pn = Cc + Cs - Ts$$

$$= 4154602,050 \text{ N}$$

$$= 4154,602 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,65$$

$$\phi Pn = 2700,157 \text{ kN}$$

$$Mn = \left( Cc \left( \frac{H}{2} - \frac{a}{2} \right) \right) + \left( Cs \left( \frac{H}{2} - ds' \right) \right) + \left( Ts \left( d - \frac{H}{2} \right) \right)$$

$$= 1113,470 \text{ kN.m}$$

$$\phi Mn = 723,755 \text{ kN.m}$$

### 3. Kondisi Patah Desak

$$C = 1.1 Cb$$

$$= 432,630 \text{ mm}$$

$$a = \beta \cdot C$$

$$= 361,555 \text{ mm}$$

$$\epsilon s' = \frac{c-ds'}{c} \cdot 0,003$$

$$= 0,003$$

$$\epsilon s = \frac{d-c}{c} \cdot 0,003$$

$$= 0,0015$$

$$Cc = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot B$$

$$= 4609827,161 \text{ N}$$

$$Cs = As' \cdot (fy - 0,85 \cdot f'c)$$

$$= 530907,560 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \cdot f_s' \\ &= 438180,775 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= 4702553,945 \text{ N} \\ &= 4702,554 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,65$$

$$\phi P_n = 3056.660 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \left( C_c \left( \frac{H}{2} - \frac{a}{2} \right) \right) + \left( C_s \left( \frac{H}{2} - d_s' \right) \right) + \left( T_s \left( d - \frac{H}{2} \right) \right) \\ &= 1076,143 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 699,493 \text{ kN.m}$$

#### 4. Kondisi Patah Tarik

$$\begin{aligned} C &= 0,8 \cdot C_b \\ &= 314,640 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \beta \cdot C \\ &= 262,949 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= \frac{c-d_s'}{c} \cdot 0,003 \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \cdot 0,003 \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot B \\ &= 3352601,571 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 530907,560 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \cdot f_y \\ &= 567057,474 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= 3316451,657 \text{ N} \\ &= 3316,452 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$(0,005 > \varepsilon_s > 0,002, \phi = 0,65 + (\varepsilon_s - 0,002) \left( \frac{250}{3} \right))$$

$$\phi = 0,75$$

$$\phi P_n = 2501,157 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \left( C_c \left( \frac{H}{2} - \frac{a}{2} \right) \right) + \left( C_s \left( \frac{H}{2} - d s' \right) \right) + \left( T_s \left( d - \frac{H}{2} \right) \right) \\ &= 1068,057 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 805,493 \text{ kN.m}$$

5. Kondisi Lentur Murni ( $P_u = 0$ )

Menghitung persamaan untuk mendapatkan nilai  $a$

$$0,85 f'_c B (a^2) + \{ (A_s' \cdot \varepsilon_c \cdot E_s) - (A_s f_y) \} (a) - A_s' d' E_s \cdot \varepsilon_c \cdot \beta = 0$$

$$12750 (a^2) + 283528,737 (a) - 31632693,624 = 0$$

Maka didapat nilai  $a$ ,

$$a = 39,917 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{a}{\beta} \\ &= 47,764 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s' &= \frac{c - d s'}{c} 0,003 \\ &= 0,0002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= \frac{d - c}{c} 0,003 \\ &= 0,038 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 f'_c a \cdot B \\ &= 508938,313 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' (f_y - 0,85 f'_c) \\ &= 58119,161 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s f_y \\ &= 567057,474 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned} M_n &= \left( C_c \left( \frac{H}{2} - \frac{a}{2} \right) \right) + \left( C_s \left( \frac{H}{2} - d s' \right) \right) + \left( T_s \left( d - \frac{H}{2} \right) \right) \\ &= 358,962 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 323,066 \text{ kN.m}$$

6. Kondisi Tarik Murni ( $\mu = 0$ )

$$P_n = -(A_s + A_s') f_y$$

$$= -1134,115 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,9$$

$$\phi P_n = -1020,703 \text{ kN}$$

Perhitungan diagram Mu-Pu untuk semua tipe kolom akan dijabarkan pada subab berikut ini.

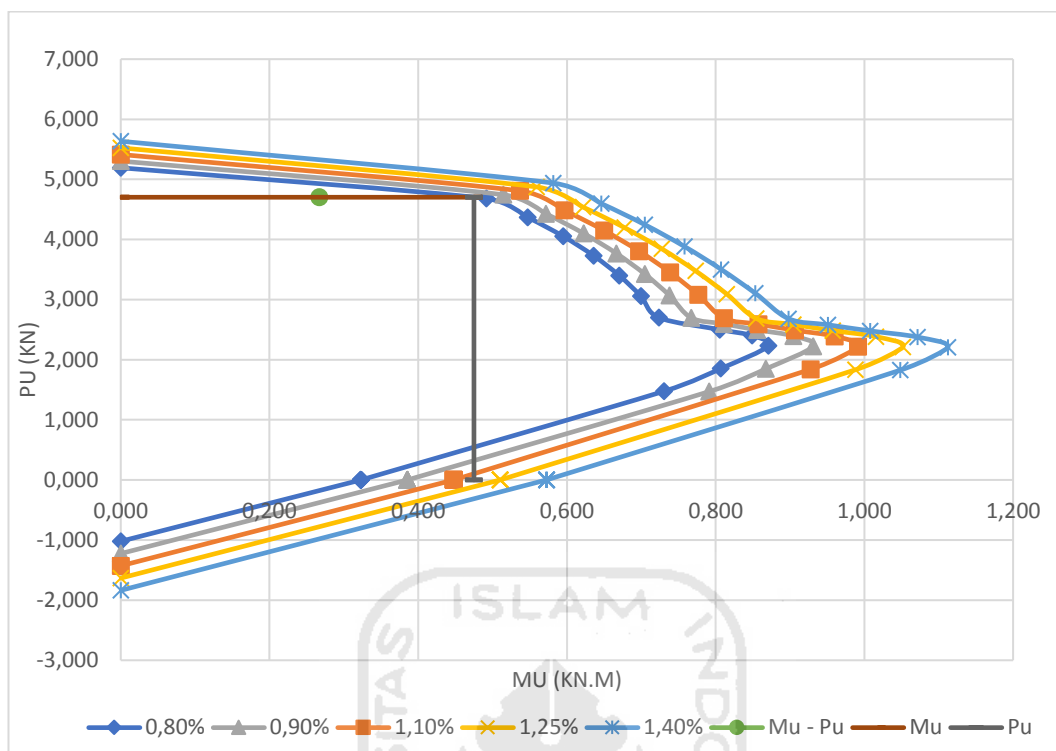
**5.15.1.1 Kolom K1 ST**

Perhitungan diagram Mu-Pu kolom K1 ST arah sumbu x menggunakan metode yang sama seperti pada contoh perhitungan di atas. Berikut data yang digunakan dalam perhitungan diagram Mu-Pu arah sumbu x kolom K1 ST.

Diketahui :

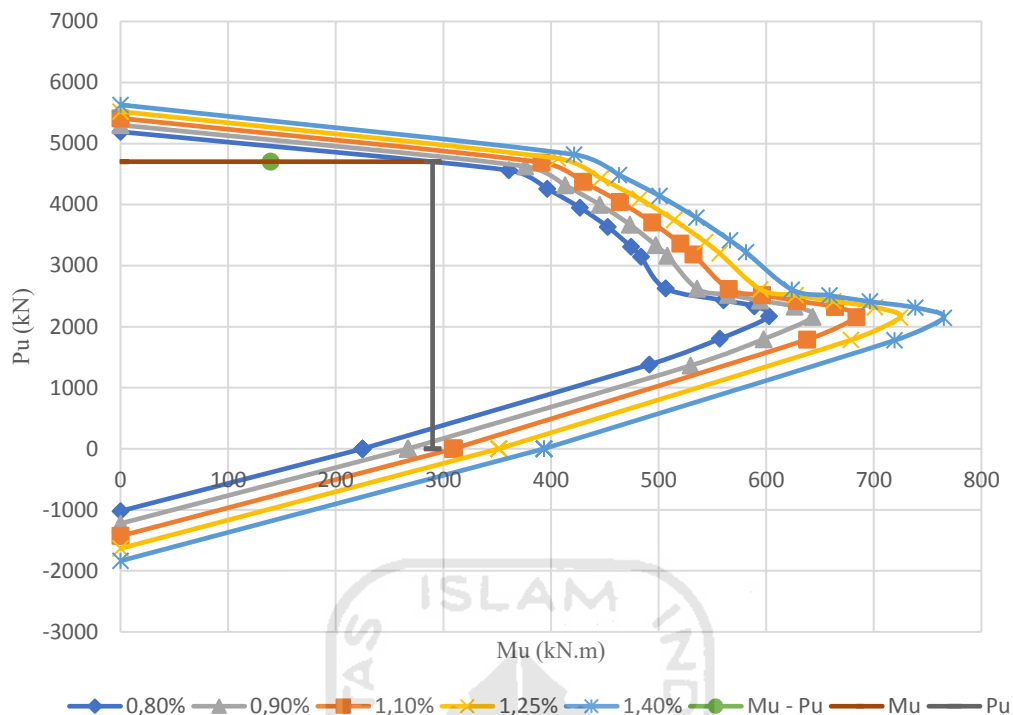
B	: Lebar kolom	= 500 mm
H	: Tinggi kolom	= 700 mm
$f'_c$	: Kuat tekan beton	= 30 Mpa
$f_y$	: Tegangan leleh baja	= 400 Mpa
$E_s$	: Modulus elastisitas baja	= 200000 Mpa
$\beta$	: Faktor reduksi beton	= 0,836
$D_{\text{pokok}}$	: Diameter tulangan pokok	= 19 mm
$D_{\text{sengkang}}$	: Diameter tulangan sengkang	= 10 mm
$S_b$	: Selimut beton	= 25 mm

Gambar diagram Mu-Pu arah sumbu x pada kolom K1 ST hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.61 berikut ini.



**Gambar 5. 61 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu X Kolom K1 ST**

Dari hasil Analisa struktur didapatkan gaya dalam kolom K1 ST arah X dengan Pu sebesar 4703,195 kN dan Mu sebesar 267,124 kN. Gaya tersebut diplotkan ke dalam gambar 5.61 didapatkan persentase tulangan lentur kolom untuk kolom K1 ST arah sumbu x sebesar 0,8% yaitu sebanyak 10 buah tulangan dengan diameter 19 mm. Perhitungan diagram Mu-Pu kolom K1 ST arah sumbu y juga menggunakan metode yang sama seperti pada contoh perhitungan. Gambar diagram Mu-Pu arah sumbu y kolom K1 ST dapat dilihat pada Gambar 5.62 berikut ini.



**Gambar 5. 62 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu Y Kolom K1 ST**

Dari hasil Analisa struktur didapatkan gaya dalam kolom K1 ST arah Y dengan Pu sebesar 4703,195 kN dan Mu sebesar 139,524 kN. Gaya tersebut diplotkan ke dalam gambar 5.62 didapatkan persentase tulangan lentur kolom untuk kolom K1 ST arah sumbu y sebesar 0,8% yaitu sebanyak 10 buah tulangan dengan diameter 19 mm.

#### 5.15.1.2 Kolom K1 TM

Perhitungan diagram Mu-Pu kolom K1 TM arah sumbu x menggunakan metode yang sama seperti pada contoh perhitungan. Berikut data yang digunakan dalam perhitungan diagram Mu-Pu arah sumbu x kolom K1 TM.

Diketahui :

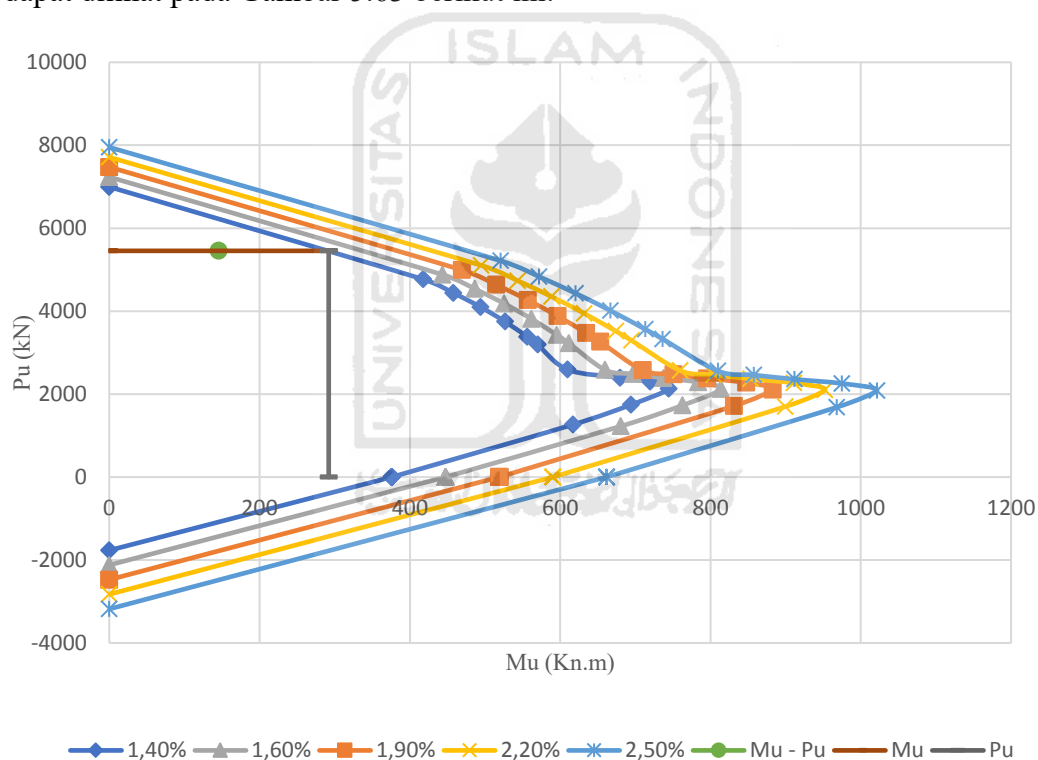
B : Lebar kolom = 500 mm

H : Tinggi kolom = 700 mm

$f_c$  : Kuat tekan beton = 30 Mpa

$f_y$	: Tegangan leleh baja	= 400 Mpa
$E_s$	: Modulus elastisitas baja	= 200000 Mpa
$\beta$	: Faktor reduksi beton	= 0,836
$D_{\text{pokok}}$	: Diameter tulangan pokok	= 25 mm
$D_{\text{sengkang}}$	: Diameter tulangan sengkang	= 10 mm
$S_b$	: Selimut beton	= 25 mm

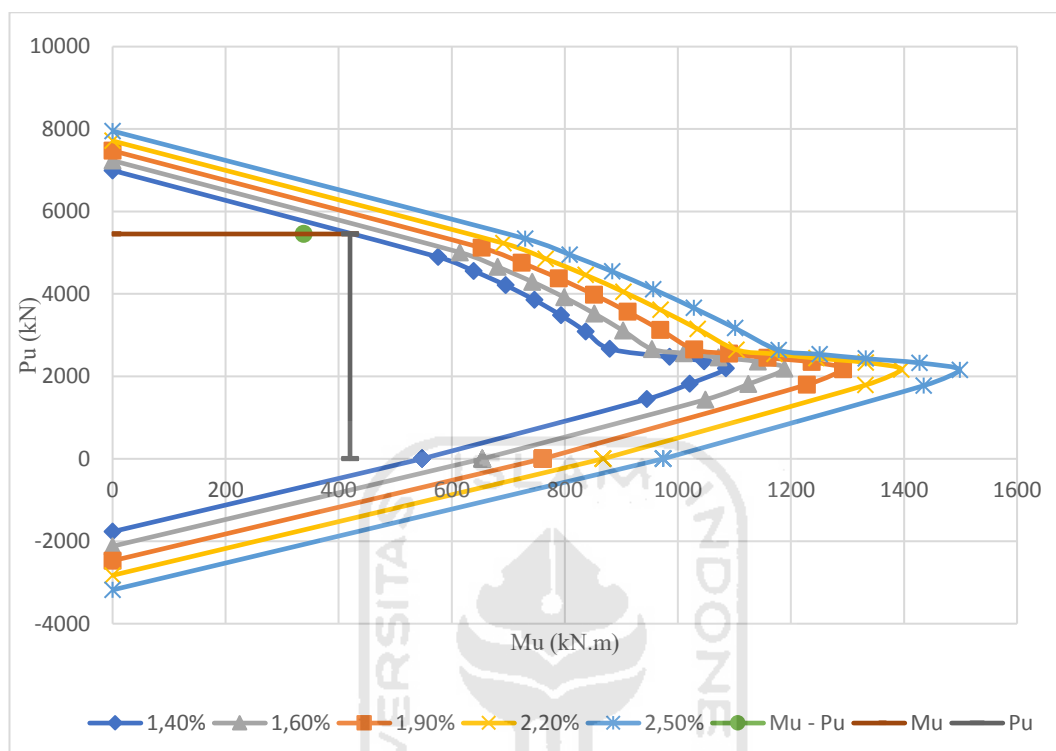
Gambar diagram Mu-Pu arah sumbu x pada kolom K1 TM hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.63 berikut ini.



**Gambar 5. 63 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu X Kolom K1 TM**

Dari hasil Analisa struktur didapatkan gaya dalam kolom K1 TM arah X dengan Pu sebesar 5454,240 kN dan Mu sebesar 145,453 kN. Gaya tersebut diplotkan ke dalam gambar 5.63 didapatkan persentase tulangan lentur kolom untuk kolom K1 TM arah sumbu x sebesar 1,4% yaitu sebanyak 10 buah tulangan dengan diameter 25 mm. Perhitungan diagram Mu-Pu kolom K1 TM arah sumbu y juga

menggunakan metode yang sama seperti pada contoh perhitungan. Gambar diagram Mu-Pu arah sumbu y kolom K1 TM dapat dilihat pada Gambar 5.64 berikut ini.



**Gambar 5. 64 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu Y Kolom K1 TM**

Dari hasil Analisa struktur didapatkan gaya dalam kolom K1 TM arah Y dengan Pu sebesar 5454,240 kN dan Mu sebesar 337,846 kN. Gaya tersebut diplotkan ke dalam gambar 5.64 didapatkan persentase tulangan lentur kolom untuk kolom K1 TM arah sumbu y sebesar 1,4% yaitu sebanyak 10 buah tulangan dengan diameter 25 mm.

### 5.15.1.3 Kolom K3

Perhitungan diagram Mu-Pu kolom K3 arah sumbu x menggunakan metode yang sama seperti pada contoh perhitungan. Berikut data yang digunakan dalam perhitungan diagram Mu-Pu arah sumbu x kolom K3.

Diketahui :

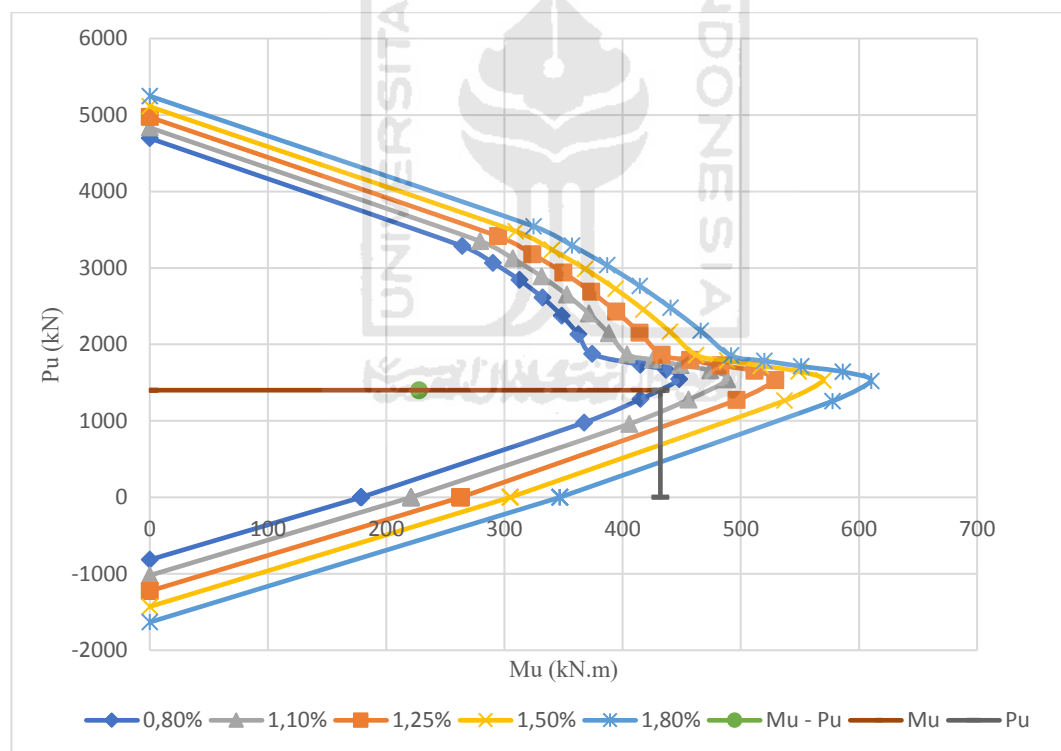
B : Lebar kolom = 500 mm

H : Tinggi kolom = 500 mm



$f'_c$	: Kuat tekan beton	= 30 Mpa
$f_y$	: Tegangan leleh baja	= 400 Mpa
$E_s$	: Modulus elastisitas baja	= 200000 Mpa
$\beta$	: Faktor reduksi beton	= 0,836
$D_{\text{pokok}}$	: Diameter tulangan pokok	= 19 mm
$D_{\text{sengkang}}$	: Diameter tulangan sengkang	= 10 mm
$S_b$	: Selimut beton	= 25 mm

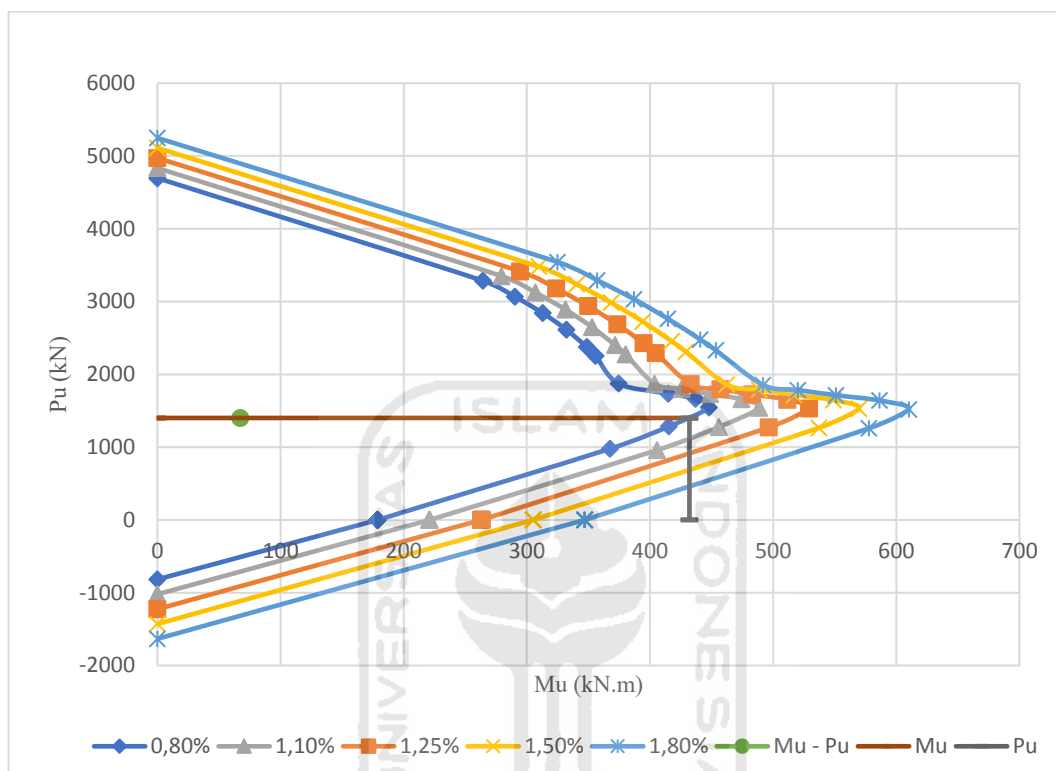
Gambar diagram Mu-Pu arah sumbu x pada kolom K3 hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.65 berikut ini.



**Gambar 5. 65 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu X Kolom K3**

Dari hasil Analisa struktur didapatkan gaya dalam kolom K3 arah X dengan Pu sebesar 1400,887 kN dan Mu sebesar 227,746 kN. Gaya tersebut diplotkan ke dalam gambar 5.65 didapatkan persentase tulangan lentur kolom untuk kolom K3 arah sumbu x sebesar 0,8% yaitu sebanyak 8 buah tulangan dengan diameter 19

mm. Perhitungan diagram Mu-Pu kolom K3 arah sumbu y juga menggunakan metode yang sama seperti pada contoh perhitungan. Gambar diagram Mu-Pu arah sumbu y kolom K3 dapat dilihat pada Gambar 5.66 berikut ini.



**Gambar 5. 66 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu Y Kolom K3**

Dari hasil Analisa struktur didapatkan gaya dalam kolom K3 arah Y dengan Pu sebesar 1400,887 kN dan Mu sebesar 67,338 kN. Gaya tersebut diplotkan ke dalam gambar 5.66 didapatkan persentase tulangan lentur kolom untuk kolom K3 arah sumbu y sebesar 0,8% yaitu sebanyak 8 buah tulangan dengan diameter 19 mm.

#### 5.15.1.4 Kolom K5

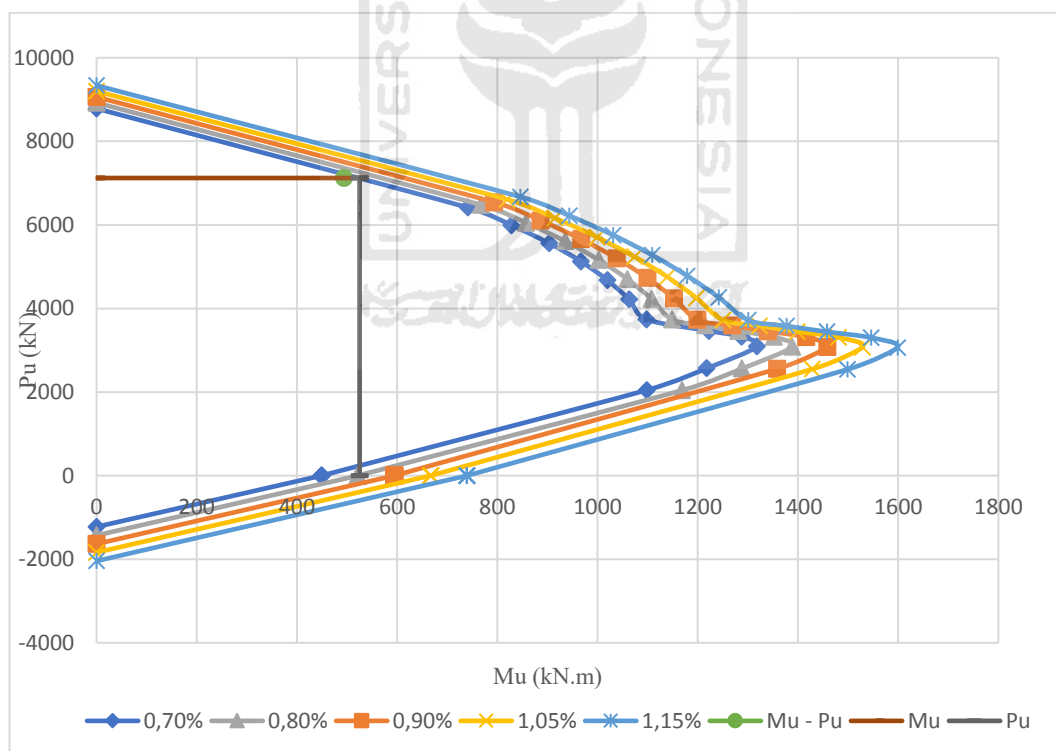
Perhitungan diagram Mu-Pu kolom K5 arah sumbu x menggunakan metode yang sama seperti pada contoh perhitungan. Berikut data yang digunakan dalam perhitungan diagram Mu-Pu arah sumbu x kolom K5.

Diketahui :

B : Lebar kolom = 600 mm

H	: Tinggi kolom	= 800 mm
$f'_c$	: Kuat tekan beton	= 30 Mpa
$f_y$	: Tegangan leleh baja	= 400 Mpa
$E_s$	: Modulus elastisitas baja	= 200000 Mpa
$\beta$	: Faktor reduksi beton	= 0,836
$D_{\text{pokok}}$	: Diameter tulangan pokok	= 19 mm
$D_{\text{sengkang}}$	: Diameter tulangan sengkang	= 10 mm
$S_b$	: Selimut beton	= 25 mm

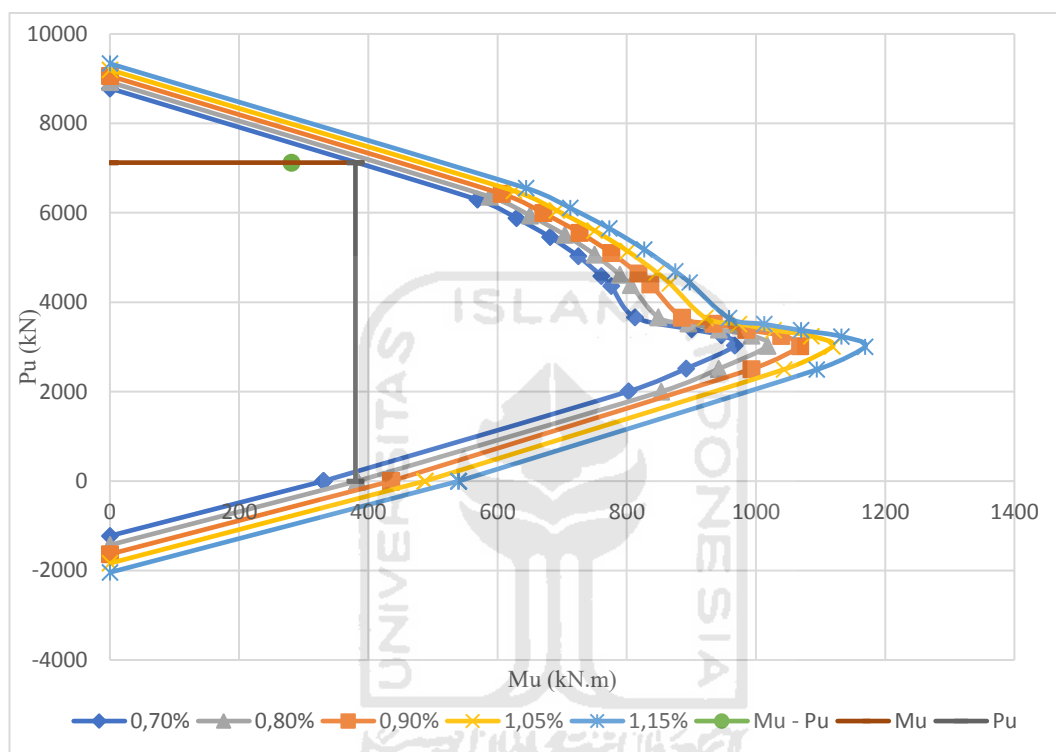
Gambar diagram Mu-Pu arah sumbu x pada kolom K5 hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.65 berikut ini.



**Gambar 5. 67 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu X Kolom K5**

Dari hasil Analisa struktur didapatkan gaya dalam kolom K5 arah X dengan Pu sebesar 7122,413 kN dan Mu sebesar 493,677 kN. Gaya tersebut diplotkan ke

dalam gambar 5.67 didapatkan persentase tulangan lentur kolom untuk kolom K5 arah sumbu x sebesar 0,7% yaitu sebanyak 12 buah tulangan dengan diameter 19 mm. Perhitungan diagram Mu-Pu kolom K5 arah sumbu y juga menggunakan metode yang sama seperti pada contoh perhitungan. Gambar diagram Mu-Pu arah sumbu y kolom K5 dapat dilihat pada Gambar 5.68 berikut ini.



**Gambar 5. 68 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu Y Kolom K5**

Dari hasil Analisa struktur didapatkan gaya dalam kolom K5 arah Y dengan Pu sebesar 7122,413 kN dan Mu sebesar 281,261 kN. Gaya tersebut diplotkan ke dalam gambar 5.68 didapatkan persentase tulangan lentur kolom untuk kolom K5 arah sumbu y sebesar 0,7% yaitu sebanyak 12 buah tulangan dengan diameter 19 mm.

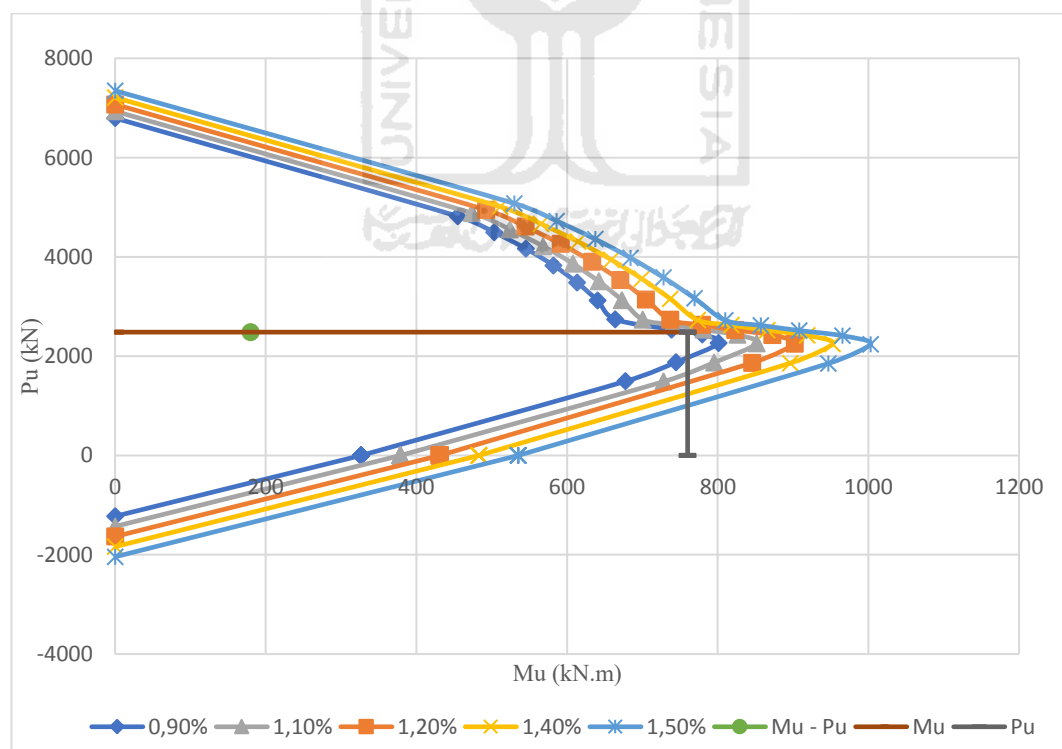
#### 5.15.1.5 Kolom K11

Perhitungan diagram Mu-Pu kolom K11 arah sumbu x menggunakan metode yang sama seperti pada contoh perhitungan. Berikut data yang digunakan dalam perhitungan diagram Mu-Pu arah sumbu x kolom K11.

Diketahui :

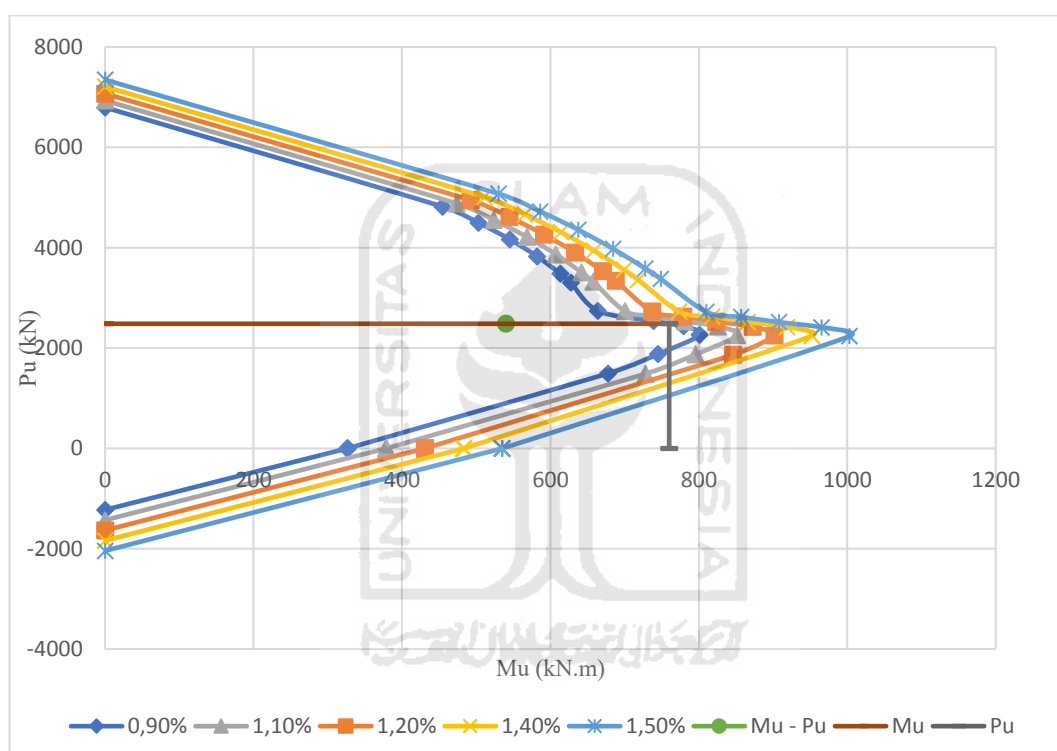
B	: Lebar kolom	= 600 mm
H	: Tinggi kolom	= 600 mm
$f'_c$	: Kuat tekan beton	= 30 Mpa
$f_y$	: Tegangan leleh baja	= 400 Mpa
$E_s$	: Modulus elastisitas baja	= 200000 Mpa
$\beta$	: Faktor reduksi beton	= 0,836
$D_{pokok}$	: Diameter tulangan pokok	= 19 mm
$D_{sengkang}$	: Diameter tulangan sengkang	= 10 mm
$S_b$	: Selimut beton	= 25 mm

Gambar diagram Mu-Pu arah sumbu x pada kolom K11 hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.69 berikut ini.



**Gambar 5. 69 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu X Kolom K11**

Dari hasil Analisa struktur didapatkan gaya dalam kolom K11 arah X dengan  $P_u$  sebesar 2484,672 kN dan  $M_u$  sebesar 179,827 kN. Gaya tersebut diplotkan ke dalam gambar 5.69 didapatkan persentase tulangan lentur kolom untuk kolom K11 arah sumbu x sebesar 0,9% yaitu sebanyak 12 buah tulangan dengan diameter 19 mm. Perhitungan diagram Mu-Pu kolom K11 arah sumbu y juga menggunakan metode yang sama seperti pada contoh perhitungan. Gambar diagram Mu-Pu arah sumbu y kolom K11 dapat dilihat pada Gambar 5.70 berikut ini.



**Gambar 5. 70 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu Y Kolom K11**

Dari hasil Analisa struktur didapatkan gaya dalam kolom K11 arah Y dengan  $P_u$  sebesar 2484,672 kN dan  $M_u$  sebesar 540,129 kN. Gaya tersebut diplotkan ke dalam gambar 5.70 didapatkan persentase tulangan lentur kolom untuk kolom K11 arah sumbu y sebesar 0,9% yaitu sebanyak 12 buah tulangan dengan diameter 19 mm.

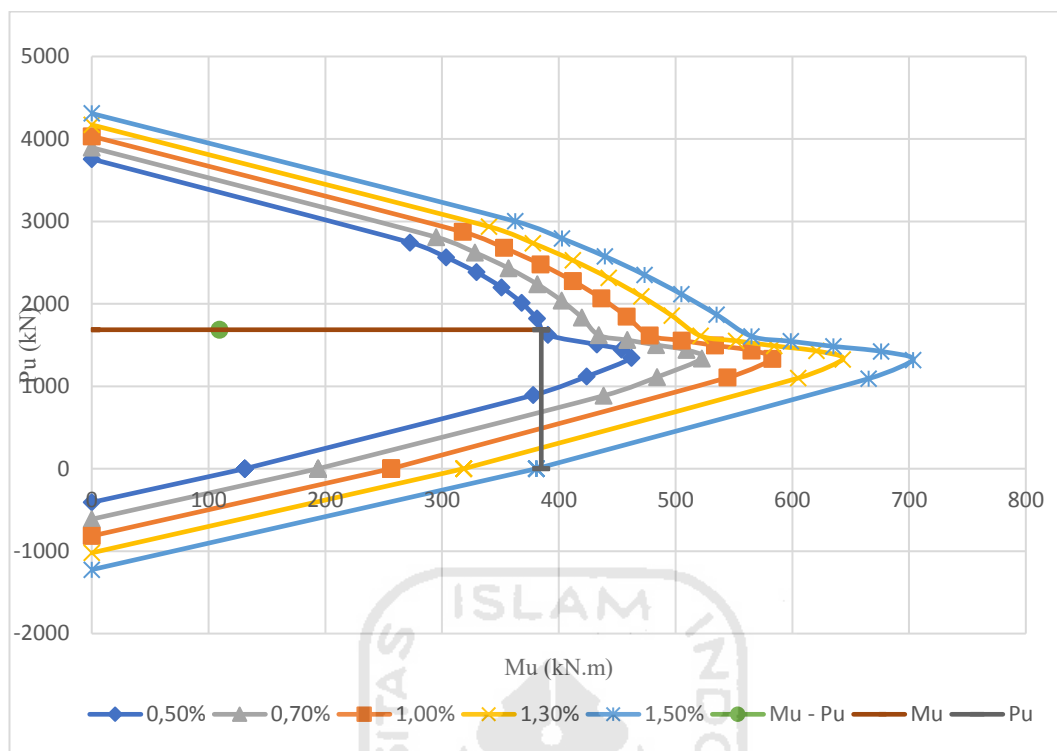
### 5.15.1.6 Kolom K21

Perhitungan diagram Mu-Pu kolom K21 arah sumbu x menggunakan metode yang sama seperti pada contoh perhitungan. Berikut data yang digunakan dalam perhitungan diagram Mu-Pu arah sumbu x kolom K21.

Diketahui :

B	: Lebar kolom	= 300 mm
H	: Tinggi kolom	= 700 mm
$f'_c$	: Kuat tekan beton	= 30 Mpa
$f_y$	: Tegangan leleh baja	= 400 Mpa
$E_s$	: Modulus elastisitas baja	= 200000 Mpa
$\beta$	: Faktor reduksi beton	= 0,836
$D_{\text{pokok}}$	: Diameter tulangan pokok	= 19 mm
$D_{\text{senggang}}$	: Diameter tulangan senggang	= 10 mm
$S_b$	: Selimut beton	= 25 mm

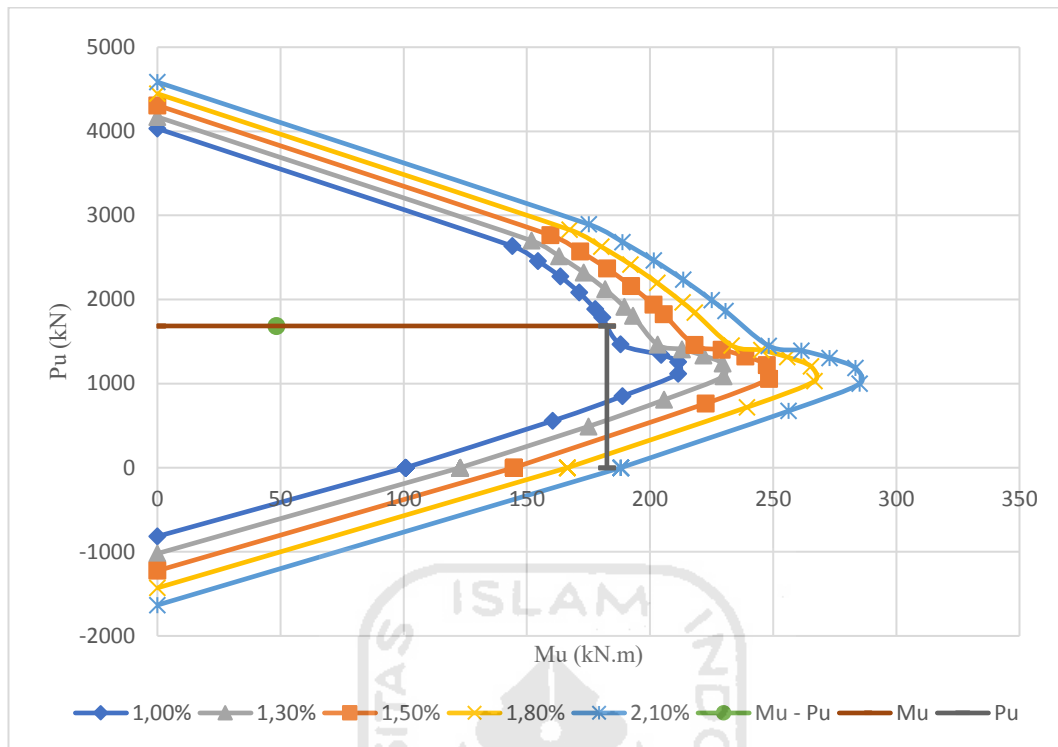
Gambar diagram Mu-Pu arah sumbu x pada kolom K21 hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.71 berikut ini.



**Gambar 5. 71 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu X Kolom K21**

Dari hasil Analisa struktur didapatkan gaya dalam kolom K21 arah X dengan Pu sebesar 1685,540 kN dan Mu sebesar 109,333 kN. Gaya tersebut diplotkan ke dalam gambar 5.71 didapatkan persentase tulangan lentur kolom untuk kolom K21 arah sumbu x sebesar 0,5% yaitu sebanyak 4 buah tulangan dengan diameter 19 mm. Perhitungan diagram Mu-Pu kolom K21 arah sumbu y juga menggunakan metode yang sama seperti pada contoh perhitungan. Gambar diagram Mu-Pu arah sumbu y kolom K21 dapat dilihat pada Gambar 5.72 berikut ini.





**Gambar 5. 72 Diagram Mu-Pu Arah Sumbu Y Kolom K21**

Dari hasil Analisa struktur didapatkan gaya dalam kolom K21 arah Y dengan Pu sebesar 1685,540 kN dan Mu sebesar 48,314 kN. Gaya tersebut diplotkan ke dalam gambar 5.72 didapatkan persentase tulangan lentur kolom untuk kolom K21 arah sumbu y sebesar 1,0% yaitu sebanyak 8 buah tulangan dengan diameter 19 mm.

#### 5.15.1.7 Hasil Perhitungan Tulangan Kolom

Dari perhitungan kebutuhan tulangan kolom sebelumnya, maka dapat direkap seperti pada tabel 5.65.

**Tabel 5. 65 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Lentur Kolom**

Tipe Kolom	Arah X		Arah Y		Total tulangan lentur kolom	Total tulangan lentur kolom eksisting
	Kebutuhan Tulangan	Tulangan Eksisting Gedung	Kebutuhan Tulangan	Tulangan Eksisting Gedung		
K1 ST	5D19	5D19	5D19	5D19	16D19	16D19
K1 TM	5D25	5D19	5D25	5D19	16D25	16D19
K3	4D19	4D19	4D19	4D19	12D19	12D19
K5	6D19	6D19	6D19	6D19	20D19	20D19
K11	6D19	7D19	6D19	7D19	20D19	24D19
K21	2D19	2D25	4D19	4D25	8D19	8D25

Hasil dari perhitungan kebutuhan tulangan lentur kolom yang dilakukan memiliki perbedaan dengan kondisi tulangan eksisting bangunan.

### 5.15.2 Perhitungan Tulangan Sengkang Kolom

Selain menerima gaya momen dan aksial, kolom menerima gaya geser yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan kebutuhan tulangan sengkang kolom. Perhitungan tulangan sengkang kolom diambil contoh pada perhitungan sengkang kolom K1 ST sebagaimana berikut.

Diketahui :

$$B : \text{Lebar kolom} = 500 \text{ mm}$$

$$H : \text{Tinggi kolom} = 700 \text{ mm}$$

$$L_{\text{top}} : \text{Panjang kolom atas} = 4000 \text{ mm}$$

$$L_{\text{bot}} : \text{Panjang kolom bawah} = 3200 \text{ mm}$$

$$h_{\text{balok-x atas}} : \text{Tinggi balok atas arah x} = 600 \text{ mm}$$

$$h_{\text{balok-x bawah}} : \text{Tinggi balok bawah arah x} = 600 \text{ mm}$$

$$h_{\text{balok-y atas}} : \text{Tinggi balok atas arah y} = 600 \text{ mm}$$

$$h_{\text{balok-y bawah}} : \text{Tinggi balok bawah arah y} = 600 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pr top-x ki}} : \text{Momen kapasitas balok atas kiri arah x} = 560,163 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr \text{ bot-x ki}} : \text{Momen kapasitas balok bawah kiri arah x} = 560,163 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr \text{ top-x ka}} : \text{Momen kapasitas balok atas kanan arah x} = 287,825 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr \text{ bot-x ka}} : \text{Momen kapasitas balok bawah kanan arah x} = 287,825 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr \text{ top-y ki}} : \text{Momen kapasitas balok atas kiri arah y} = 821,731 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr \text{ bot-y ki}} : \text{Momen kapasitas balok bawah kiri arah y} = 821,731 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr \text{ top-y ka}} : \text{Momen kapasitas balok atas kanan arah y} = 366,110 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr \text{ bot-y ka}} : \text{Momen kapasitas balok bawah kanan arah y} = 366,110 \text{ kN.m}$$

$$f'_c : \text{Kuat tekan beton} = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y : \text{Tegangan leleh baja} = 400 \text{ Mpa}$$

$$D_{pokok} : \text{Diameter tulangan pokok} = 19 \text{ mm}$$

$$D_{sengkang} : \text{Diameter tulangan sengkang} = 10 \text{ mm}$$

Perhitungan :

$$d_x = S_b + D_{sengkang} + \frac{D_{pokok}}{2}$$

$$= 44,5 \text{ mm}$$

$$d'_x = S_b + D_{sengkang} + \frac{D_{pokok}}{2}$$

$$= 44,5 \text{ mm}$$

$$h_x = H - d_x$$

$$= 655,5 \text{ mm}$$

$$d_y = S_b + D_{sengkang} + \frac{D_{pokok}}{2}$$

$$= 44,5 \text{ mm}$$

$$d'_y = S_b + D_{sengkang} + \frac{D_{pokok}}{2}$$

$$= 44,5 \text{ mm}$$

$$h_y = H - d_y$$

$$= 455,5 \text{ mm}$$

a. Tinjauan arah x

$$Df_{top} = \frac{1/l_{top}}{1/l_{top} + 1/l_{bot}}$$

$$= 0,433$$

$$Df_{bot} = \frac{1/l_{bot}}{1/l_{top} + 1/l_{bot}}$$

$$= 0,567$$

$$V_{sway} = \frac{(Mpr_{Top\ kiri} \times Df_{top} + Mpr_{Top\ kanan} \times Df_{top}) + (Mpr_{bot\ kiri} \times Df_{bot} + Mpr_{bot\ kanan} \times Df_{bot})}{ln}$$

$$= 211,997 \text{ kN}$$

$$V_{ux\ SAP} = 134,000 \text{ kN}$$

$V_{sway} > V_{ux\ SAP}$ , maka dipakai  $V_{sway} = 211,997 \text{ kN}$

menghitung daerah sendi plastis  $l_o$

Berdasarkan SNI 2847 - 2013 panjang  $l_o$  tidak boleh kurang dari yang terbesar dari syarat berikut ini.

$$l_o = h$$

$$= 655,5 \text{ mm}$$

$$l_o = \frac{1}{6} ln$$

$$= 566,667 \text{ mm}$$

$$l_o = 450 \text{ mm}$$

maka,  $l_o$  pakai adalah 655,5 mm.

1) Menghitung tulangan geser daerah sendi plastis  $l_o$

$$Vu = 211,997 \text{ kN}$$

$$= 211997 \text{ N}$$

$$Vc = 0 \text{ (daerah sendi plastis } Vc \text{ dianggap 0)}$$

$$\phi = 0,75$$

$$Vu/\phi = 282662,555 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_s &= Vu/\phi \\ &= 282662,555 \text{ N} \end{aligned}$$

$$n = 4 \text{ kaki (asumsi)}$$

$$\begin{aligned} As1 &= \frac{1}{4} \pi \cdot D_{senggang}^2 \\ &= 78,540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= \frac{n \cdot As1 \cdot f_y \cdot h}{V_s} \\ &= 291,417 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi sengkang maksimum

$$\begin{aligned} S_{min1} &= \frac{1}{4} \cdot \text{dimensi kolom terkecil} \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{min2} &= 6 \cdot D_{pokok} \\ &= 114 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{min3} &= S_x \\ &= 100 + \frac{350-hx}{3}, \text{ tidak lebih kecil dari } 100 \text{ mm} \\ &= 118,889 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{perlu} > S_{min1} > S_{min2} > S_{min3}$$

$$S_{pakai} = 100 \text{ mm}$$

maka, pada daerah sendi plastis digunakan sengkang sebanyak 4D10-100.

2) Menhitung tulangan geser kolom diluar sendi plastis

$$Vu = 211997 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{Pu}{1,4 \cdot Ag}\right) \cdot \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times B \times h \\ &= 586370,003 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_s &= Vu/\phi - V_c \\ &= -303707,4476 \text{ N} \end{aligned}$$

$$n = 3 \text{ kaki (asumsi)}$$

$$\begin{aligned} As1 &= \frac{1}{4} \pi \cdot D_{senggang}^2 \\ &= 78,540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{perlu} = \frac{n \cdot A_s \cdot f_y \cdot h}{V_s}$$

$$= -203,418 \text{ mm}$$

Syarat spasi sengkang maksimum

$$S_{min1} = 6 \cdot D_{pokok}$$

$$= 114 \text{ mm}$$

atau,

$$S_{min2} = 150 \text{ mm}$$

$$S_{perlu} < S_{min1} < S_{min2}$$

$$S_{pakai} = 150 \text{ mm}$$

maka, pada daerah luar sendi plastis digunakan sengkang sebanyak 3D10-150.

b. Tinjau arah y

$$Df_{top} = \frac{1/l_{top}}{1/l_{top} + 1/l_{bot}}$$

$$= 0,433$$

$$Df_{bot} = \frac{1/l_{bot}}{1/l_{top} + 1/l_{bot}}$$

$$= 0,567$$

$$V_{sway} = \frac{(Mpr_{Top\ kiri} \times Df_{top} + Mpr_{Top\ kanan} \times Df_{top}) + (Mpr_{bot\ kiri} \times Df_{bot} + Mpr_{bot\ kanan} \times Df_{bot})}{ln}$$

$$= 296,960 \text{ kN}$$

$$V_{ux\ SAP} = 104,764 \text{ kN}$$

$$V_{sway} > V_{ux\ SAP}, \text{ maka dipakai } V_{sway} = 296,960 \text{ kN}$$

menghitung daerah sendi plasits  $l_o$

Berasarkan SNI 2847-2013 panjang  $l_o$  tidak boleh kurang dari yang terbesar dari syarat berikut ini.

$$l_o = h$$

$$= 455,5 \text{ mm}$$

$$l_o = \frac{1}{6} ln$$



$$= 566,667 \text{ mm}$$

$$l_o = 450 \text{ mm}$$

maka,  $l_o$  pakai adalah 566,667 mm.

3) Menghitung tulangan geser daerah sendi plastis  $l_o$

$$V_u = 296960,228 \text{ N}$$

$$V_c = 0 \text{ (daerah sendi plastis } V_c \text{ dianggap 0)}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_u/\phi = 395946,970 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_s &= V_u/\phi \\ &= 395946,970 \text{ N} \end{aligned}$$

$$n = 4 \text{ kaki (asumsi)}$$

$$\begin{aligned} A_{s1} &= \frac{1}{4} \pi \cdot D_{senggang}^2 \\ &= 78,540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= \frac{n \cdot A_{s1} \cdot f_y \cdot h}{V_s} \\ &= 144,564 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi sengkang maksimum

$$\begin{aligned} S_{min1} &= \frac{1}{4} \cdot \text{dimensi kolom terkecil} \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{min2} &= 6 \cdot D_{pokok} \\ &= 114 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{min3} &= S_x \\ &= 100 + \frac{350-hx}{3}, \text{ tidak lebih kecil dari } 100 \text{ mm} \\ &= 74,444 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{perlu} > S_{min1} > S_{min2} > S_{min3}$$

$$S_{pakai} = 100 \text{ mm}$$

maka, pada daerah sendi plastis digunakan sengkang sebanyak 4D10-100.

4) Menghitung tulangan geser kolom diluar sendi plastis

$$V_u = 296960,228 \text{ N}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{P_u}{1,4 \cdot A_g}\right) \cdot \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times B \times h$$

$$= 570447,217 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75$$

$$V_s = Vu/\phi - V_c$$

$$= -174500,247 \text{ N}$$

$$n = 3 \text{ kaki (asumsi)}$$

$$Asl = \frac{1}{4} \pi \cdot D_{senggang}^2$$

$$= 78,540 \text{ mm}^2$$

$$S_{perlu} = \frac{n \cdot Asl \cdot f_y \cdot h}{V_s}$$

$$= -246,016 \text{ mm}$$

Syarat spasi sengkang maksimum

$$S_{min1} = 6 \cdot D_{pokok}$$

$$= 114 \text{ mm}$$

atau,

$$S_{min2} = 150 \text{ mm}$$

$$S_{perlu} < S_{min1} < S_{min2}$$

$$S_{pakai} = 150 \text{ mm}$$

maka, pada daerah luar sendi plastis digunakan sengkang sebanyak 3D10-150.

Perhitungan kebutuhan tulangan sengkang pada tipe kolom yang lain diselesaikan menggunakan metode seperti pada contoh perhitungan di atas. Untuk hasil perhitungan kebutuhan tulangan sengkang semua tipe kolom dapat dilihat pada Tabel 5.66.



**Tabel 5. 66 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Senggang Kolom**

Tipe Kolom	Kebutuhan Tulangan Senggang		Kebutuhan Tulangan Senggang Eksisting	
	Daerah Sendi	Diluar Daerah	Daerah Sendi	Diluar Daerah
	Plastis	Sendi Plastis	Plastis	Sendi Plastis
K1 ST	4D10-100	3D10-150	4D10-100	3D10-150
K1 TM	4D10-100	3D10-150	4D10-100	3D10-150
K3	4D10-100	3D10-150	3D10-100	3D10-150
K5	4D10-100	3D10-150	4D10-100	3D10-150
K11	3D10-100	3D10-150	4D10-100	3D10-150
K21	4D10-100	4D10-150	4D10-100	4D10-150

Hasil perhitungan kebutuhan tulangan geser kolom yang dilakukan terdapat perbedaan dengan kondisi tulangan eksisting bangunan di beberapa tipe kolom.

### 5.16 Perbandingan Hasil Perhitungan Tulangan Pelat, Balok, dan Kolom

Dari perhitungan kebutuhan tulangan pelat, balok, dan kolom pada subab 5.13, subab 5.14, dan subab 5.15, dapat dilakukan perbandingan dengan tulangan pada kondisi eksisting yang dijelaskan pada subab berikut ini.

#### 5.16.1 Pelat

Dari hasil perhitungan kebutuhan tulang pelat dan kebutuhan tulangan eksisting maka dapat direkap sebagaimana pada tabel 5.67.

**Tabel 5. 67 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Pelat**

Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Pasien					
Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200

**Lanjutan Tabel 5.67 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat**

Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Taman					
Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Lobby					
Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Operasi					
Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200

**Lanjutan Tabel 5.67 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat**

Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Laboratorium					
Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Kelas					
Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Koridor					
Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200

**Lanjutan Tabel 5.67 Hasil Perhitungan Tulangan Pelat**

Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Ruang Gymnasium					
Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
Hasil Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Atap					
Keterangan		Kebutuhan Tulangan		Kebutuhan Tulangan Existing	
		Negatif	Positif	Negatif	Positif
Arah timur - barat	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 150	D10-150
Arah utara-selatan	Lajur kolom	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200
	Lajur tengah	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200	D10 - 200

Berdasarkan perhitungan kebutuhan tulangan pelat lantai yang telah dilakukan, terdapat perbedaan antara hasil desain dengan kebutuhan tulangan kondisi eksisting. Perbedaan tersebut terletak pada jarak spasi tulangan sebesar 50 mm di semua tipe pelat pada arah timur-barat. Hal tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan pada perhitungan pembebanan pelat lantai dan metode yang digunakan dalam menghitung kebutuhan tulangan pelat lantai.

### 5.16.2 Balok

Dari hasil perhitungan kebutuhan tulang balok dan kebutuhan tulangan eksisting maka dapat direkap sebagaimana pada tabel 5.68 dan tabel 5.69.

**Tabel 5. 68 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Lentur Balok**

Tipe Balok	Dimensi		Kebutuhan Tulangan		Tulangan Existing Gedung	
	b	h	Tumpuan		Tumpuan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
B1	450	800	10D25	5D25	10D25	5D25
B3	450	600	7D25	3D25	6D25	3D25
B3'	450	600	7D25	3D25	6D25	3D25
B4 X	400	600	8D19	4D19	9D19	4D19
B4 Y	400	600	8D19	4D19	9D19	4D19
B5	300	600	6D19	3D19	4D19	3D19
B8	450	500	5D19	3D19	6D25	3D25
B9	400	500	4D19	2D19	5D19	3D19
B10	450	700	7D25	4D25	10D25	4D25
B12	300	700	8D19	3D19	5D19	3D19
B17	300	500	5D19	3D19	3D19	3D19
B18	250	400	5D19	3D19	3D19	3D19
B34	600	500	7D25	4D25	7D25	4D25
B33	600	500	7D19	4D19	10D19	4D19
B35	500	500	6D19	3D19	6D19	3D19
Tipe Balok	Dimensi		Kebutuhan Tulangan		Tulangan Existing Gedung	
	b	h	Lapangan		Lapangan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
B1	450	800	7D25	4D25	7D25	4D25
B3	450	600	5D25	3D25	5D25	3D25
B3'	450	600	5D25	3D25	5D25	3D25
B4 X	400	600	5D19	3D19	5D19	3D19
B4 Y	400	600	5D19	3D19	5D19	3D19
B5	300	600	5D19	3D19	4D19	3D19
B8	450	500	5D19	3D19	6D25	3D25
B9	400	500	4D19	2D19	5D19	3D19
B10	450	700	6D25	3D25	9D25	3D25
B12	300	700	7D19	3D19	10D19	3D19
B17	300	500	5D19	3D19	3D19	3D19
B18	250	400	5D19	3D19	3D19	3D19
B34	600	500	7D25	4D25	7D25	4D25
B33	600	500	7D19	4D19	7D19	4D19
B35	500	500	5D19	3D19	6D19	3D19

**Tabel 5. 69 Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Sengkang Balok**

Tipe Balok	Kebutuhan Tulangan Sengkang		Kebutuhan Tulangan Sengkang Existing	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
B1	4D10-100	2D10-100	4D10-100	2D10-100
B3	3D10-100	2D10-150	3D10-100	2D10-150
B3	3D10-100	2D10-100	3D10-100	2D10-150
B4 X	3D10-100	2D10-150	3D10-100	2D10-150
B4 Y	3D10-100	2D10-150	3D10-100	2D10-150
B5 X	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
B8 Y	2D10-100	2D10-150	3D10-100	2D10-150
B9 X	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-100
B10	3D10-100	2D10-150	4D10-100	2D10-100
B12	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
B17	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
B18	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
B33	4D10-100	2D10-150	3D10-150	2D10-100
B34	3D10-100	2D10-150	3D10-150	2D10-100
B35	2D10-100	2D10-150	2D10-150	2D10-100

Pada perhitungan kebutuhan tulangan lentur dan geser balok yang dilakukan memiliki perbedaan yang tidak signifikan pada beberapa tipe balok dengan kebutuhan tulangan kondisi eksisting. Perbedaan tersebut terletak pada balok tipe B3, B3' pada tulangan tumpuan bagian atas lebih banyak 1 tulangan dibanding dengan kondisi eksisting, B4 X, B4 Y pada tulangan tumpuan bagian atas lebih sedikit 1 tulangan dibanding kondisi eksisting, B5 pada tulangan tumpuan bagian atas lebih banyak 2 tulangan dibanding dengan kondisi eksisting, B8 pada tulangan tumpuan bagian atas lebih sedikit 1 tulangan dibanding dengan kondisi eksisting. Hal tersebut dapat disebabkan oleh adanya perubahan-perubahan pada denah bangunan yang dianalisis serta pembebanan yang diberikan akibat ketidakberaturan struktur ke elemen struktur yang dianalisis.

### 5.16.3 Kolom

Dari hasil perhitungan kebutuhan tulangan kolom dan kebutuhan tulangan eksisting maka dapat direkap sebagaimana pada tabel 5.70 dan 5.71.

**Tabel 5. 70 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Lentur Kolom**

Tipe Kolom	Arah X		Arah Y		Total tulangan lentur kolom	Total tulangan lentur kolom eksisting
	Kebutuhan Tulangan	Tulangan Eksisting Gedung	Kebutuhan Tulangan	Tulangan Eksisting Gedung		
K1 ST	5D19	5D19	5D19	5D19	16D19	16D19
K1 TM	5D25	5D19	5D25	5D19	16D25	16D19
K3	4D19	4D19	4D19	4D19	12D19	12D19
K5	6D19	6D19	6D19	6D19	20D19	20D19
K11	6D19	7D19	6D19	7D19	20D19	24D19
K21	2D19	2D25	4D19	4D25	8D19	8D25

**Tabel 5. 71 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kebutuhan Tulangan Sengkang Kolom**

Tipe Kolom	Kebutuhan Tulangan Sengkang		Kebutuhan Tulangan Sengkang Eksisting	
	Daerah Sendi	Diluar Daerah	Daerah Sendi	Diluar Daerah
	Plastis	Sendi Plastis	Plastis	Sendi Plastis
K1 ST	4D10-100	3D10-150	4D10-100	3D10-150
K1 TM	4D10-100	3D10-150	4D10-100	3D10-150
K3	4D10-100	3D10-150	3D10-100	3D10-150
K5	4D10-100	3D10-150	4D10-100	3D10-150
K11	3D10-100	3D10-150	4D10-100	3D10-150
K21	4D10-100	4D10-150	4D10-100	4D10-150

Pada perhitungan kebutuhan tulangan lentur dan geser kolom yang dilakukan, memiliki perbedaan yang pada beberapa tipe kolom dengan kebutuhan tulangan kondisi eksisting. Perbedaan tersebut terletak pada kolom tipe K1 TM, dan Kolom tipe K21. Dimana kolom K1 TM mempunyai kebutuhan tulangan lebih besar yaitu 16D25 sedangkan eksisting pada kondisi eksisting digunakan tulangan sebanyak 16D19 dan pada Kolom K21 mempunyai kebutuhan tulangan yang lebih kecil dibandingkan dengan kondisi eksisting yaitu sebesar 8D19, sedangkan pada kondisi

eksisting digunakan tulangan sebanyak 8D25. Hal tersebut dapat disebabkan oleh adanya perubahan-perubahan pada denah bangunan yang dianalisis serta pembebanan yang diberikan akibat ketidakberaturan struktur ke elemem struktur yang dianalisis..





## **BAB VI**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Simpulan**

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Berdasarkan SNI 1726-2012, bangunan RSA UII yang dianalisis memiliki ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1a pada lantai 1, 2, 3, 4 ketidakberaturan struktur horizontal tipe 1b pada lantai 4, dan ketidakberaturan struktur horizontal tipe 2 pada semua lantai, sedangkan bangunan RSA UII tidak memiliki ketidakberaturan struktur vertikal.
2. Ketidakberaturan struktur yang terjadi mengakibatkan penambahan pada gaya desain diafragma yang diberikan dalam proses analisis yaitu sebesar 25% untuk bangunan KDS D dan F yang memiliki ketidakberaturan struktur sebagaimana disebutkan pada poin 1. Penambahan gaya desain diafragma dilakukan pada semua lantai bangunan RSA UII, karena pada semua lantai terdapat ketidakberaturan struktur horizontal seperti pada kesimpulan nomor 1. Penambahan gaya tersebut perlu dilakukan, karena merupakan syarat dari SNI 1726-2012 pasal 7.3.3.4.
3. Dari hasil analisis gaya desain diafragma yang dilakukan, terdapat balok kolektor pada lantai 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan elemen kord pada lantai 1, 2, 3, dan 4. Adapun metode desain yang digunakan adalah sebagaimana tercantum pada bab 5. Elemen balok kolektor dan kord perlu didesain sebagai penahan gaya yang terjadi karena efek ketidakberaturan struktur.
4. Hasil perbandingan kebutuhan tulangan pelat, balok, dan kolom yang dihitung dengan kondisi eksisting mempunyai beberapa perbedaan sebagaimana tercantum pada subbab 5.16. Hal tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan pada perhitungan pembebanan, denah yang dianalisis, serta efek dari ketidakberaturan struktur yang terjadi pada bangunan gedung yang dianalisis.

## 6.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, adapun saran untuk penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut.

1. Kebutuhan tulangan pada elemen kord diafragma dan tulangan geser diafragma perlu diverifikasi dengan balok didaerah kord agar tidak menimbulkan kerumitan dalam proses pembesian di lapangan.
2. Dinding geser (*shear wall*) dalam penelitian ini tidak di analisis lebih lanjut, sebaiknya penelitian selanjutnya dilakukan analisis dan dilakukan desain lebih lanjut pada dinding geser.
3. SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung perlu lebih detail membahas mengenai diafragma, elemen kord, dan elemen kolektor.
4. Penelitian ini bukan satu-satunya alternatif untuk mendesain sistem elemen penahan gaya gempa khususnya elemen kord dan kolektor pada struktur gedung dengan ketidakberaturan struktur. Sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat diteliti lebih dalam berkaitan dengan alternatif lain untuk efisiensi penggunaan elemen kord maupun kolektor pada gedung dengan ketidakberaturan struktur.
5. Untuk penelitian selanjutnya, apabila ditemukan ketidakberaturan struktur horizontal maupun vertikal pada bangunan gedung, dapat diteliti lebih lanjut apakah elemen kord dan kolektor sudah cukup untuk mengakomodir beban gempa yang terjadi akibat efek dari ketidakberaturan struktur yang terjadi, atau dapat dicari alternatif lain dengan pemasangan *bracing* pada titik-titik tertentu pada bangunan gedung yang ditinjau.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, B. 2108. Analisis Simpangan dan Kebutuhan Tulangan Berdasarkan PPIUG 1983 Dibandingkan dengan SNI 1727-2013. Yogyakarta. Universitas Islam Indonesia.
- Anonim. 2011. Modul Praktikum Bahan Teknik I. Yogyakarta. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Budiono, B. 2011. Konsep SNI Gempa 1726-201X. Seminar HAKI.
- Budiono, B, dkk. 2017. Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktur Khusus di Jakarta. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Hafifah V. 2018. Analisa Gaya Diafragma, Kord, dan Kolektor Pada Bangunan Gedung Sesuai Dengan SNI 1726-2012. Jakarta. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Persada Indonesia.
- Ismawanto, R. 2019. Analisis Pengaruh Beberapa Alternatif Periode Getar T Terhadap Biaya Struktur Beraturan. Yogyakarta. Universitas Islam Indonesia.
- Purba, L Hotma. 2014. Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidakberaturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2012. Semarang. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya.
- Setiawan, A. 2016. Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847-2013. Erlangga. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia 1726. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. BSN. Jakarta

Standar Nasional Indonesia 1726. 2013. Beban Minimum untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lain. BSN. Jakarta

Standar Nasional Indonesia 2847. 2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. BSN. Jakarta

Steven, Michael. 2018. Analisis dan Desain Diafragma dengan Menggunakan Metode SNI 1726-2012 dan Metode Alternatif ASCE7-2016. Bandung. Universitas Katolik Parahyangan.



# LAMPIRAN





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

**Denah Balok Lantai 1**

Skala

**1 : 400**

Lampiran

**Lampiran 1. 1**

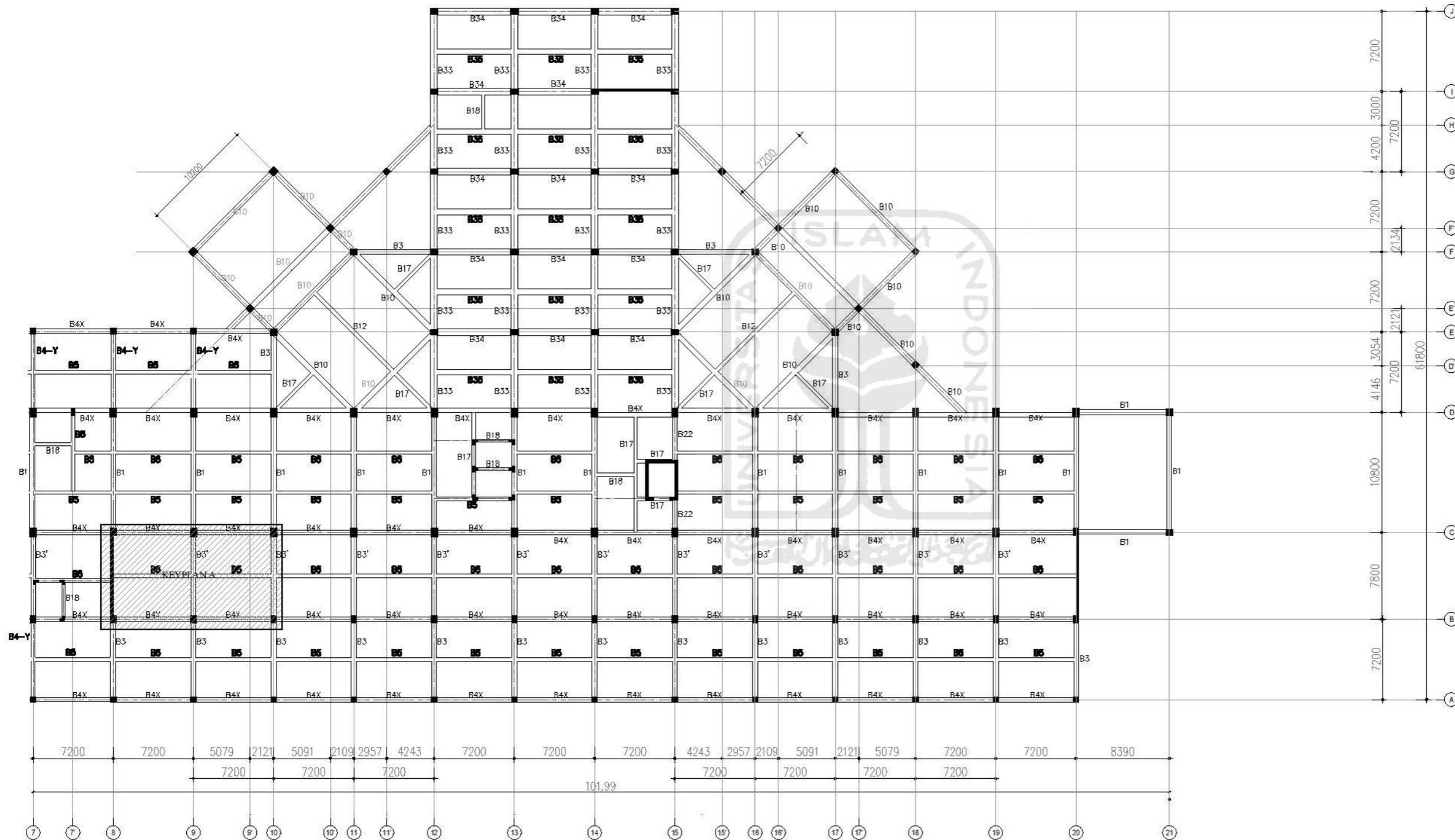
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

**Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.**

Dosen Pembimbing 2

**Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.**





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

**Denah Balok Lantai 2**

Skala

1 : 400

Lampiran

**Lampiran 1. 2**

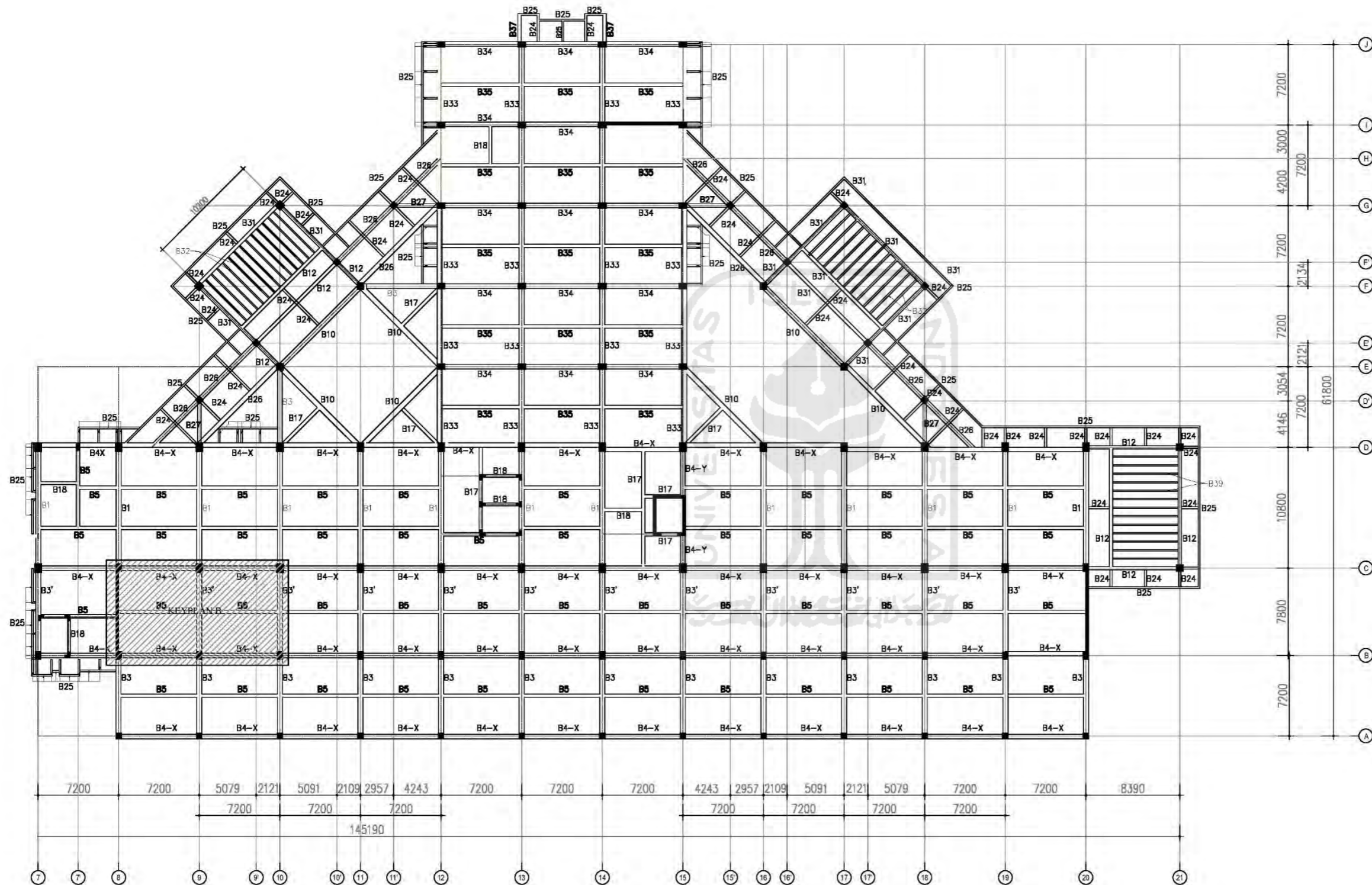
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

**Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.**

Dosen Pembimbing 2

**Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.**







**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

**Denah Balok Lantai 3**

Skala

1 : 400

Lampiran

**Lampiran 1. 3**

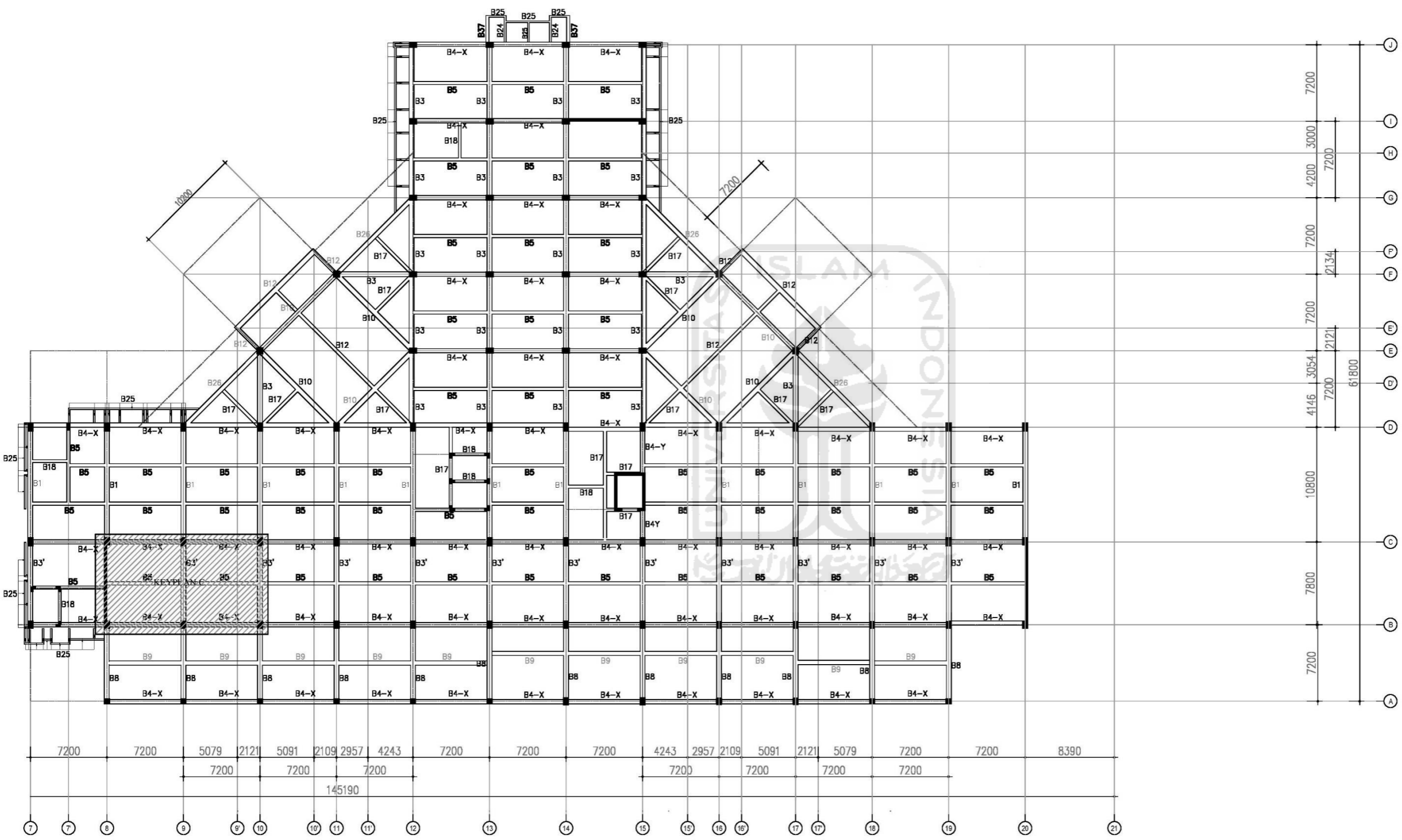
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.







**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

**Denah Balok Lantai 4**

Skala

**Lampiran 1. 4**

Lampiran

**4**

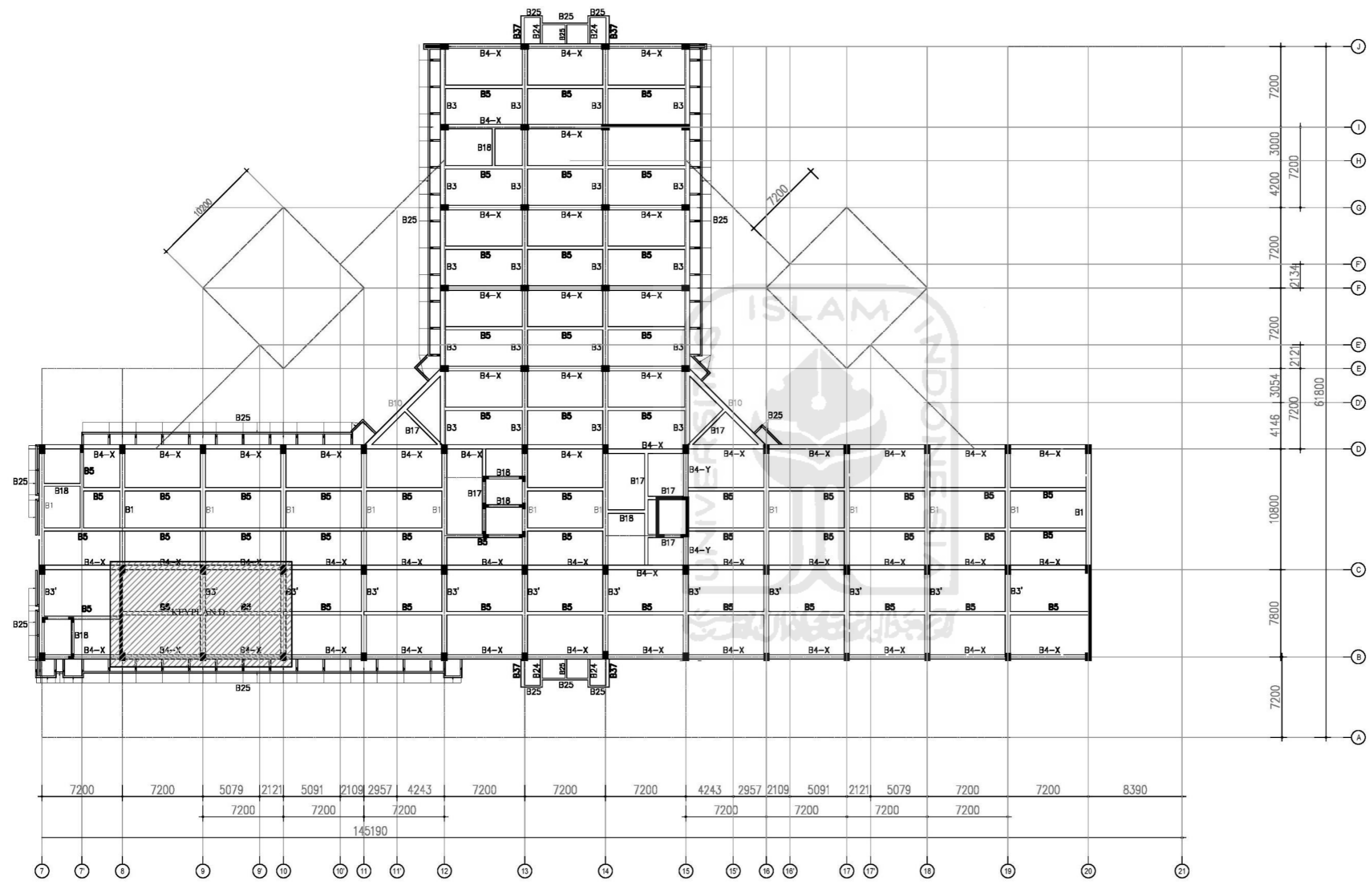
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

**Denah Balok Lantai 5**

Skala

**1 : 400**

Lampiran

**Lampiran 1. 5**

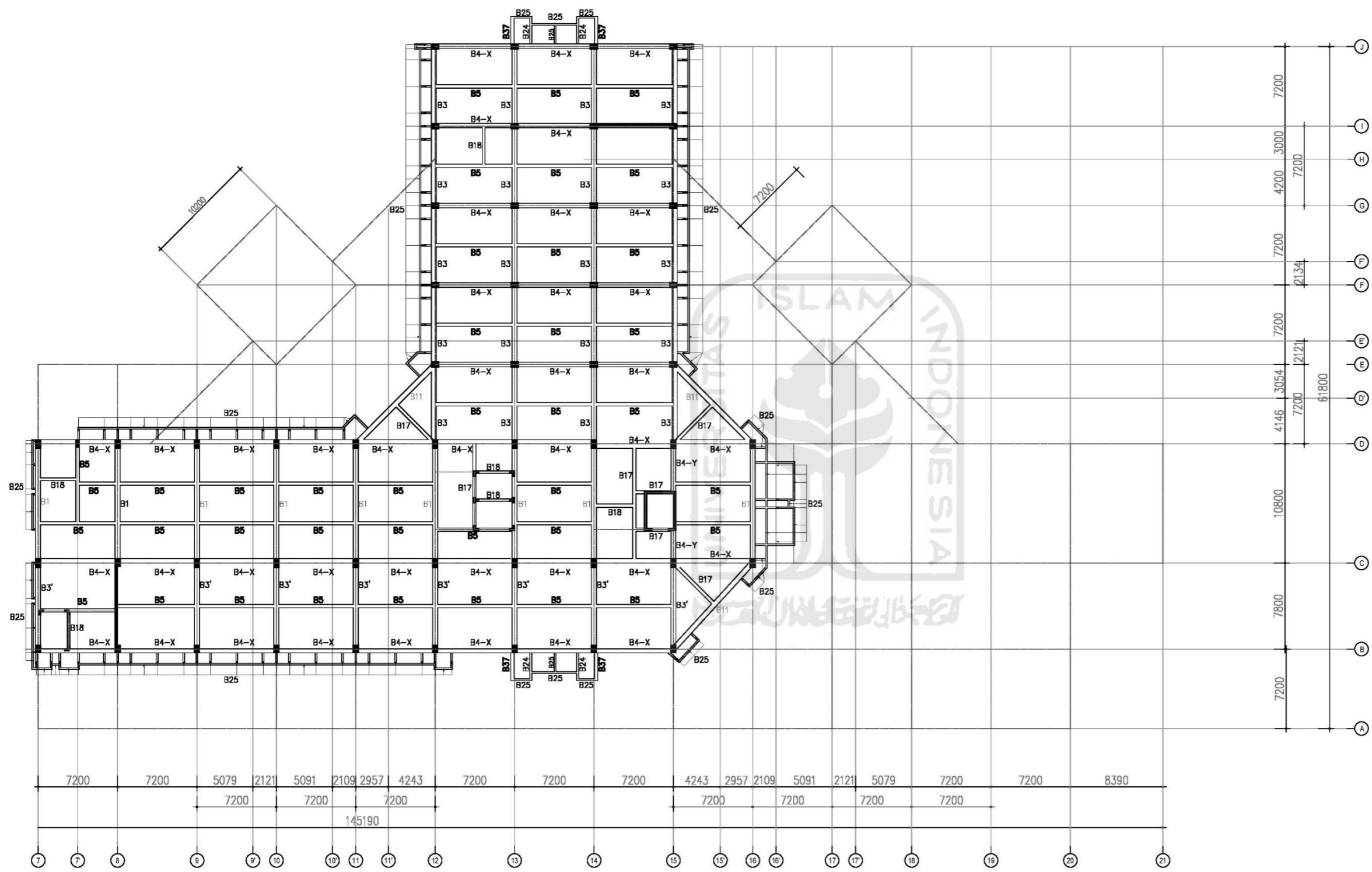
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

**Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.**

Dosen Pembimbing 2

**Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.**





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Denah Balok Lantai 6

Skala

1 : 400

Lampiran

Lampiran 1. 6

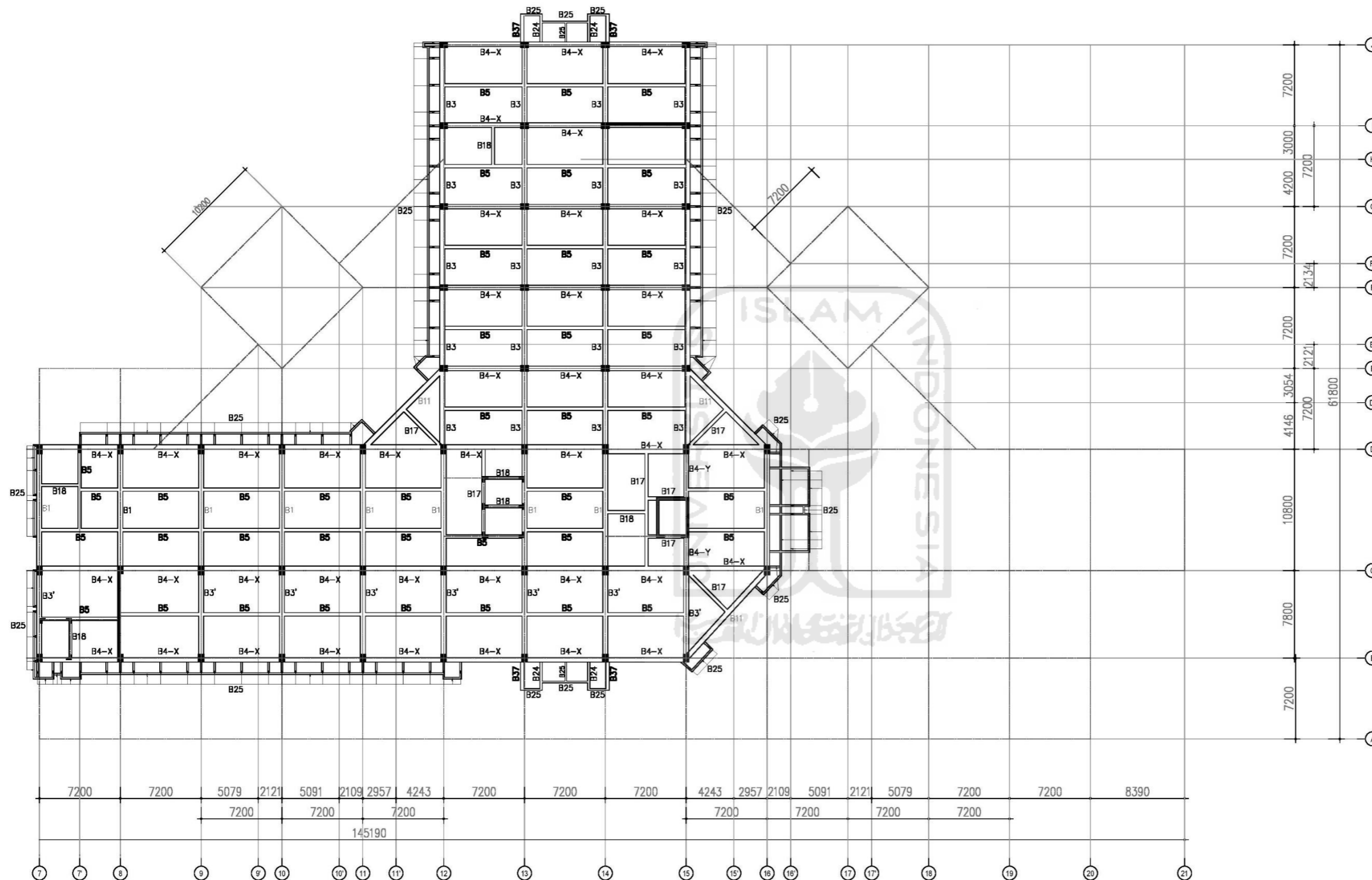
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Denah Balok Lantai Atap

Skala

1 : 400

Lampiran

Lampiran 1.7

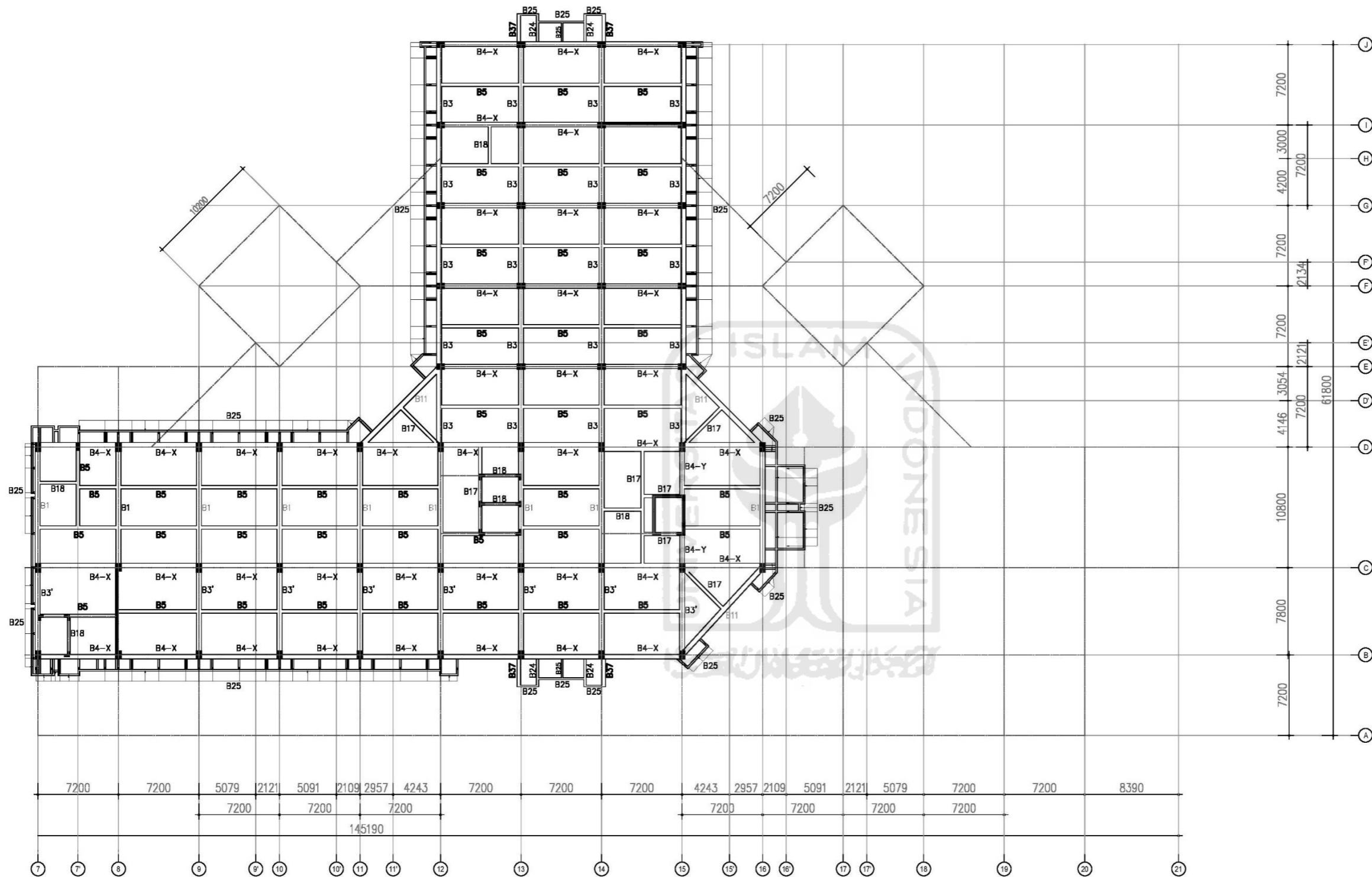
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Denah Kolom Lantai BS

Skala

1 : 400

Lampiran

Lampiran 1. 8

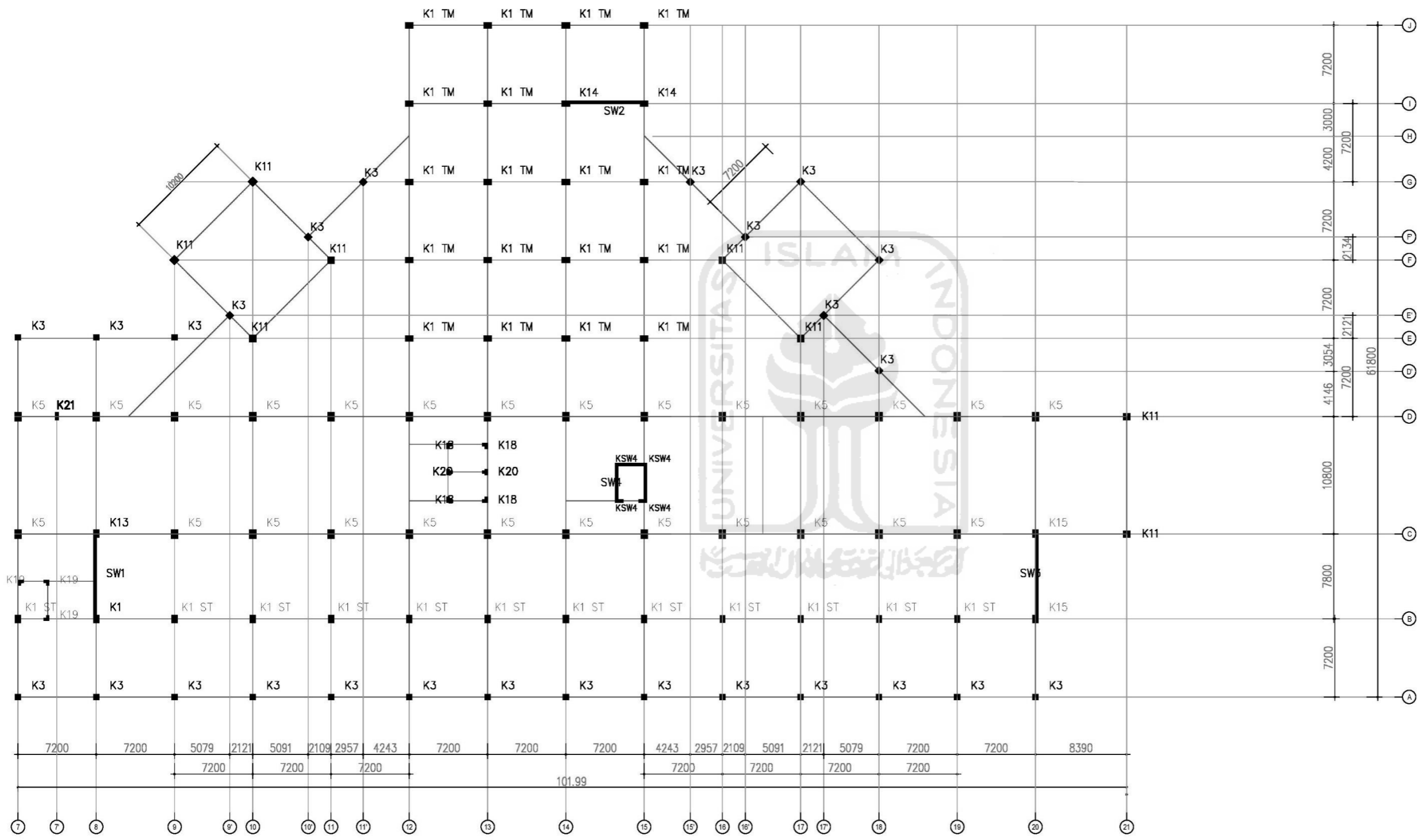
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Denah Kolom Lantai 1

Skala

1 : 400

Lampiran

Lampiran 1. 9

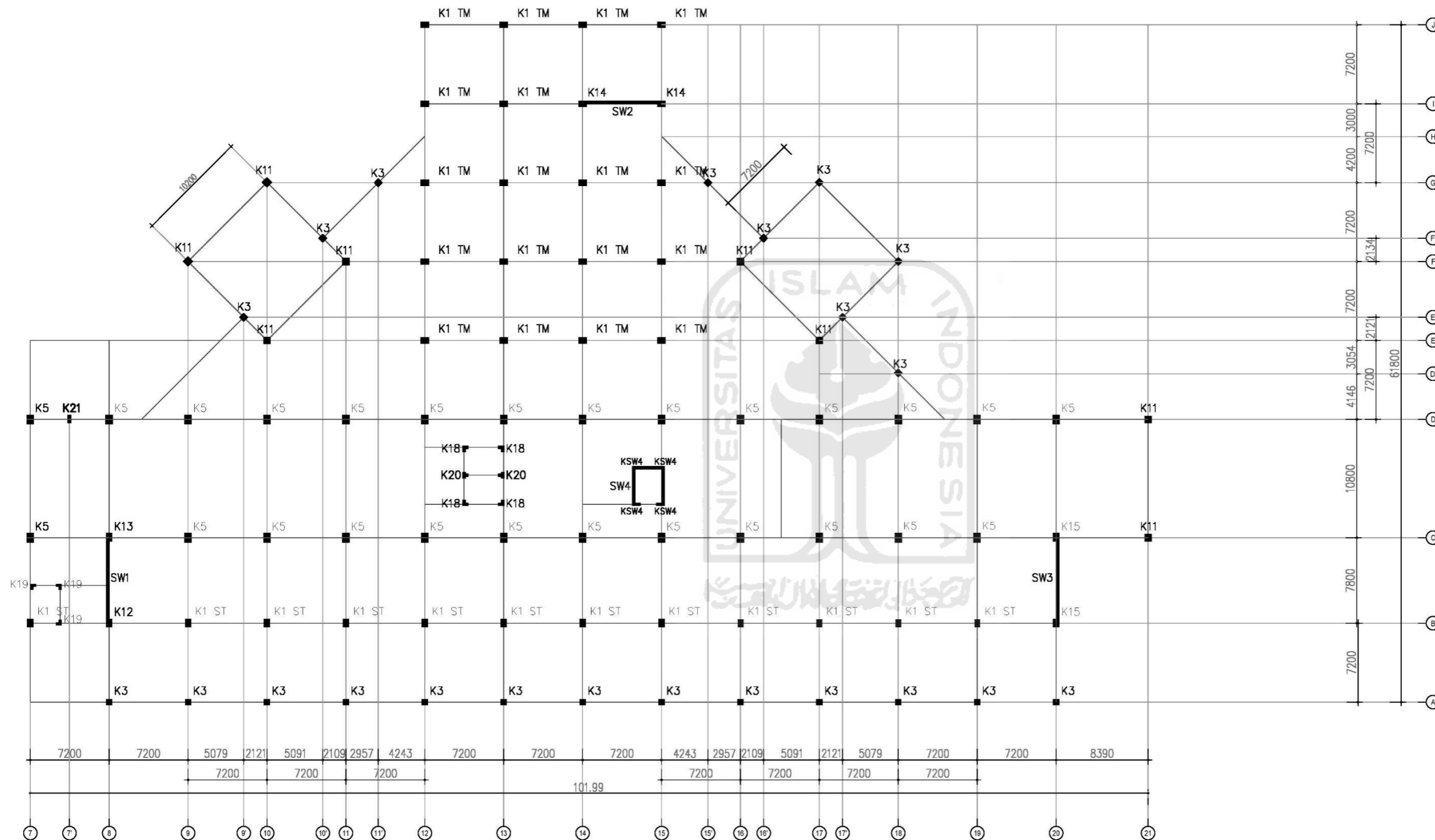
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Denah Kolom Lantai 2

Skala

1 : 400

Lampiran

Lampiran 1. 10

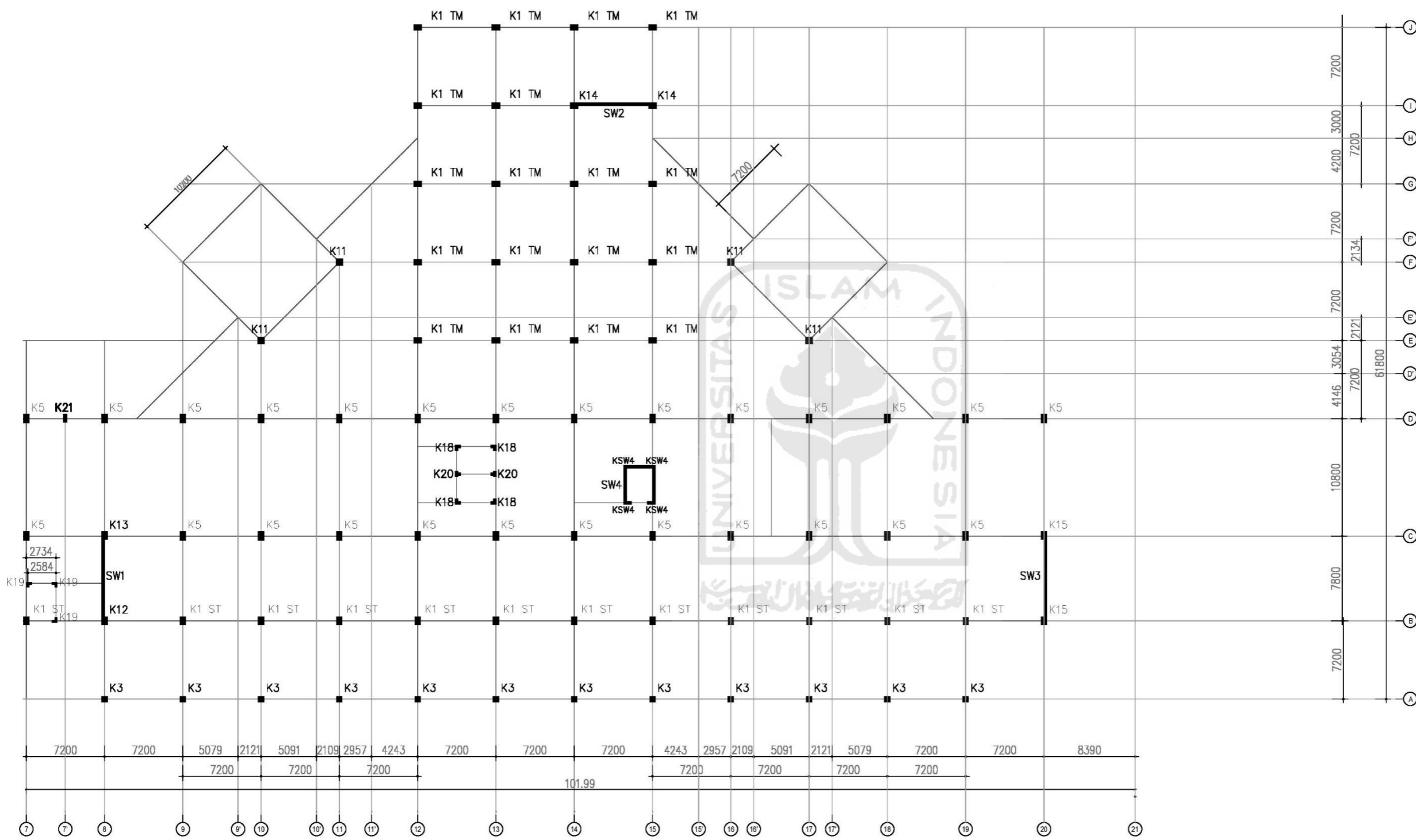
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Denah Kolom Lantai 3

Skala

1 : 400

Lampiran

Lampiran 1. 11

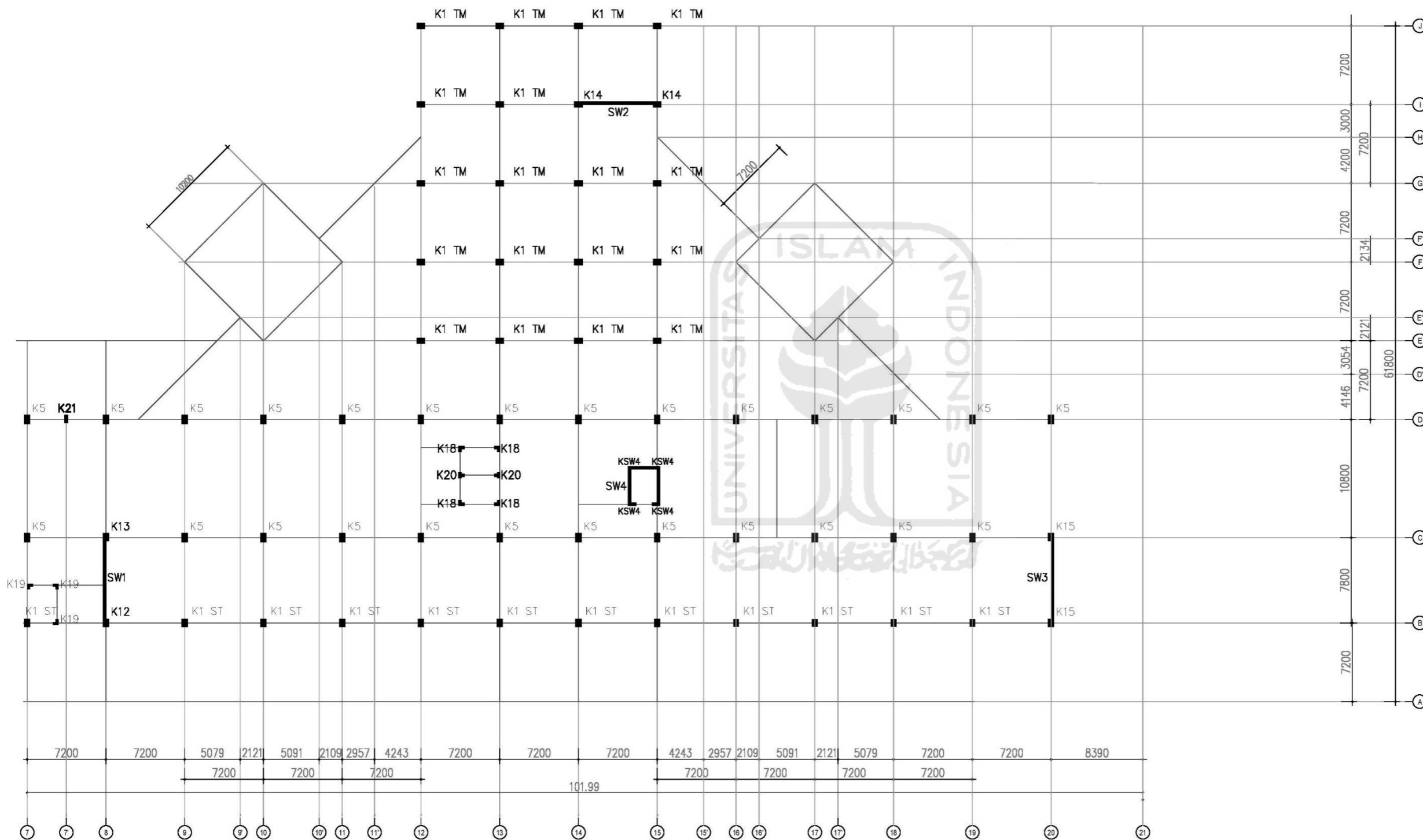
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.







**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Denah Kolom Lantai 4

Skala

1 : 400

Lampiran

Lampiran 1. 12

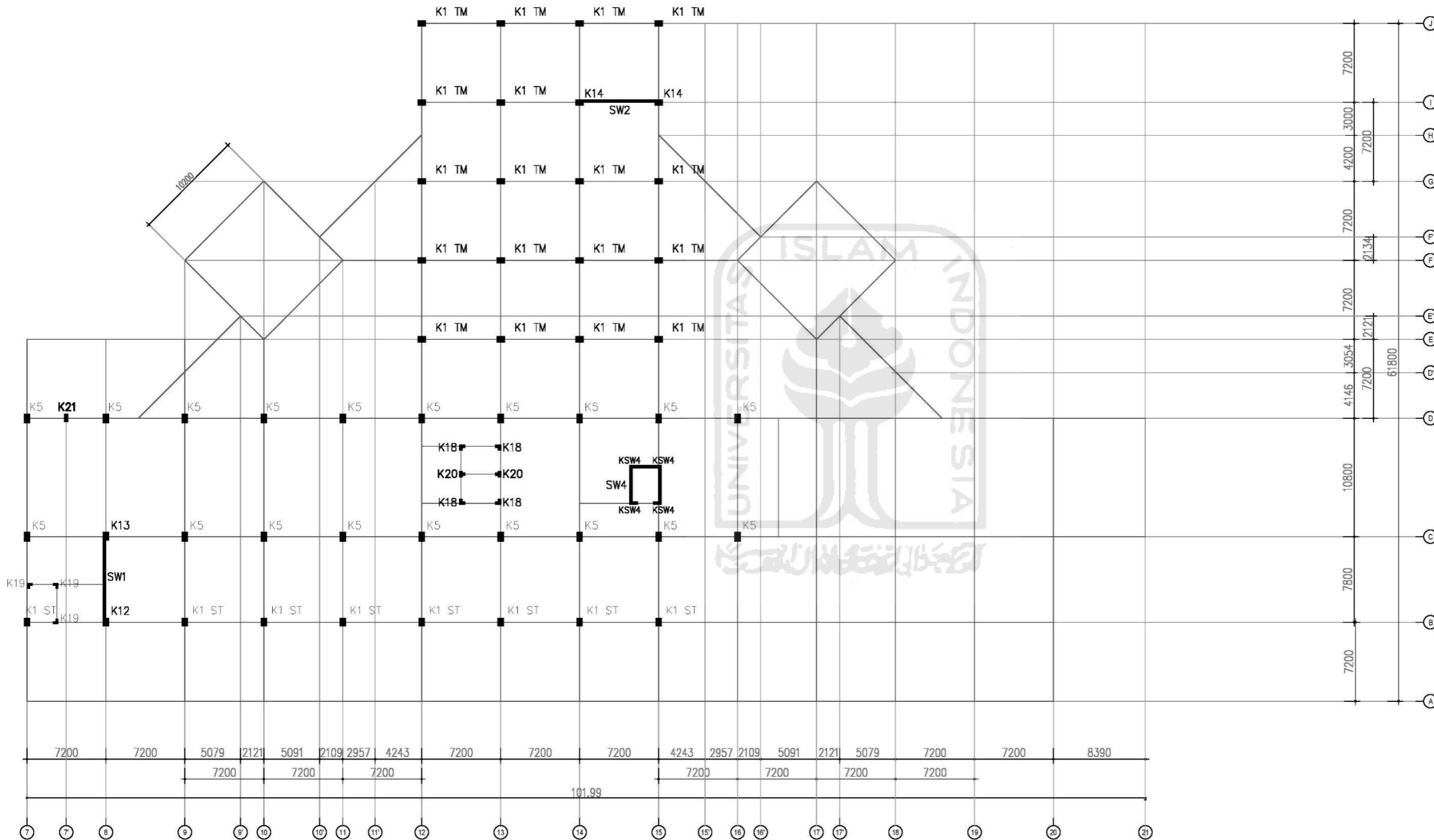
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Denah Kolom Lantai 5

Skala

1 : 400

Lampiran

Lampiran 1. 13

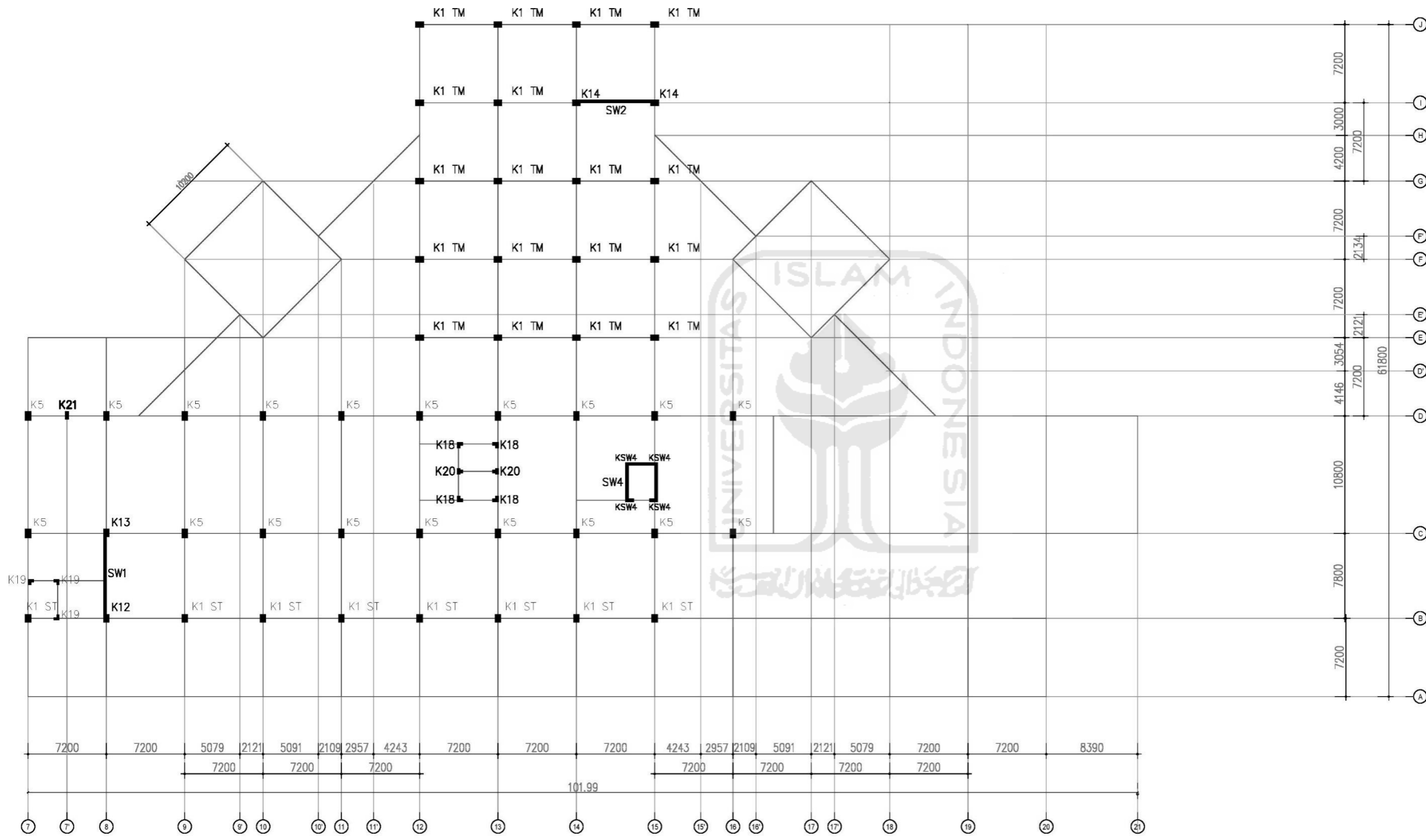
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Denah Kolom Lantai 6

Skala

1 : 400

Lampiran

Lampiran 1. 14

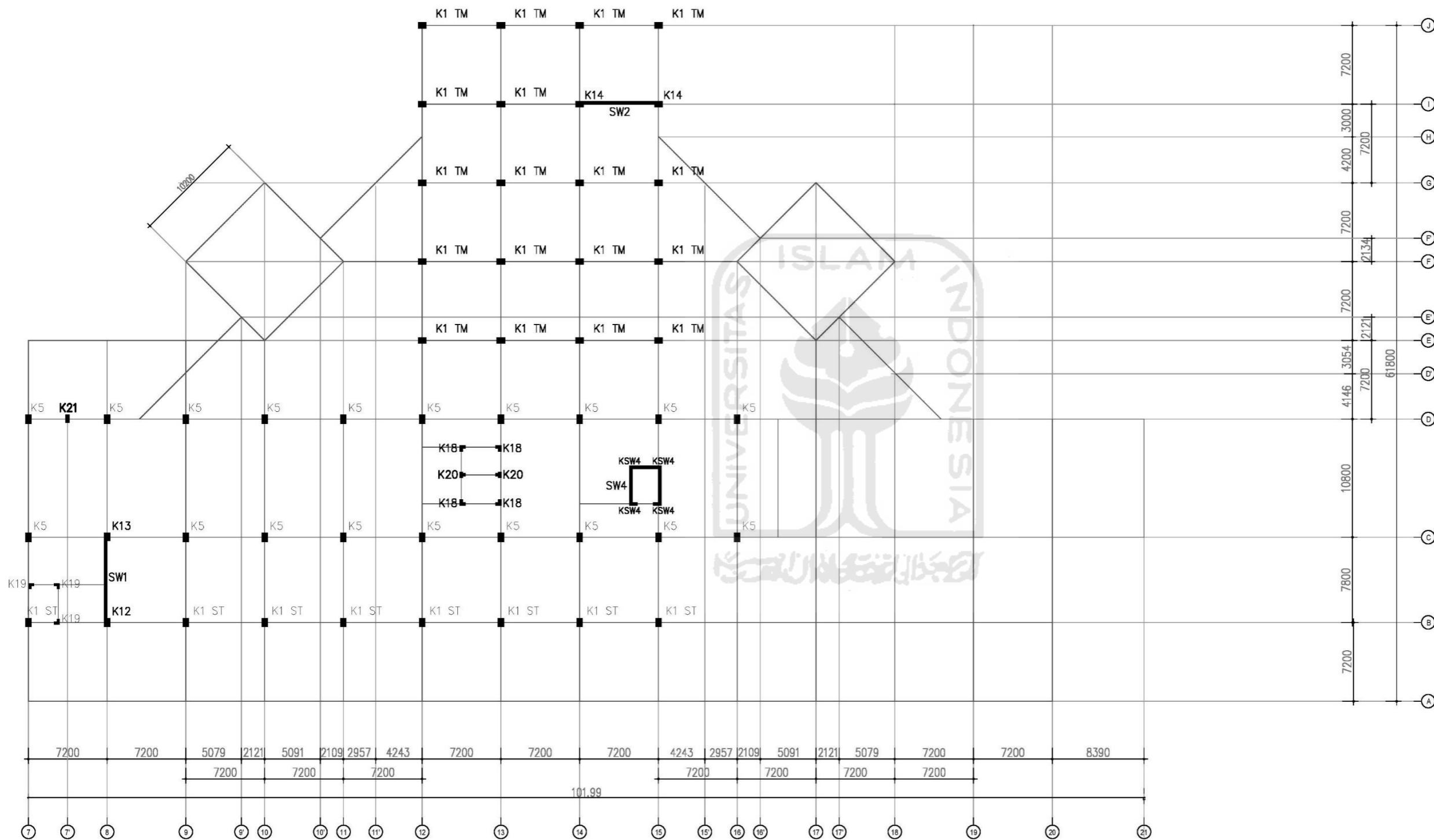
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Denah Pelat Lantai 1

Skala

1 : 400

Lampiran

Lampiran 1. 15

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.



**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
 ELEMEN KOLEKTOR  
 DAN KORD PADA  
 GEDUNG RUMAH  
 SAKIT DENGAN  
 MENGGUNAKAN  
 METODE  
 SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

**Denah Pelat Lantai 2**

Skala

1 : 400

Lampiran

**Lampiran 1. 16**

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.







**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

**Denah Pelat Lantai 3**

Skala

1 : 400

Lampiran

**Lampiran 1. 17**

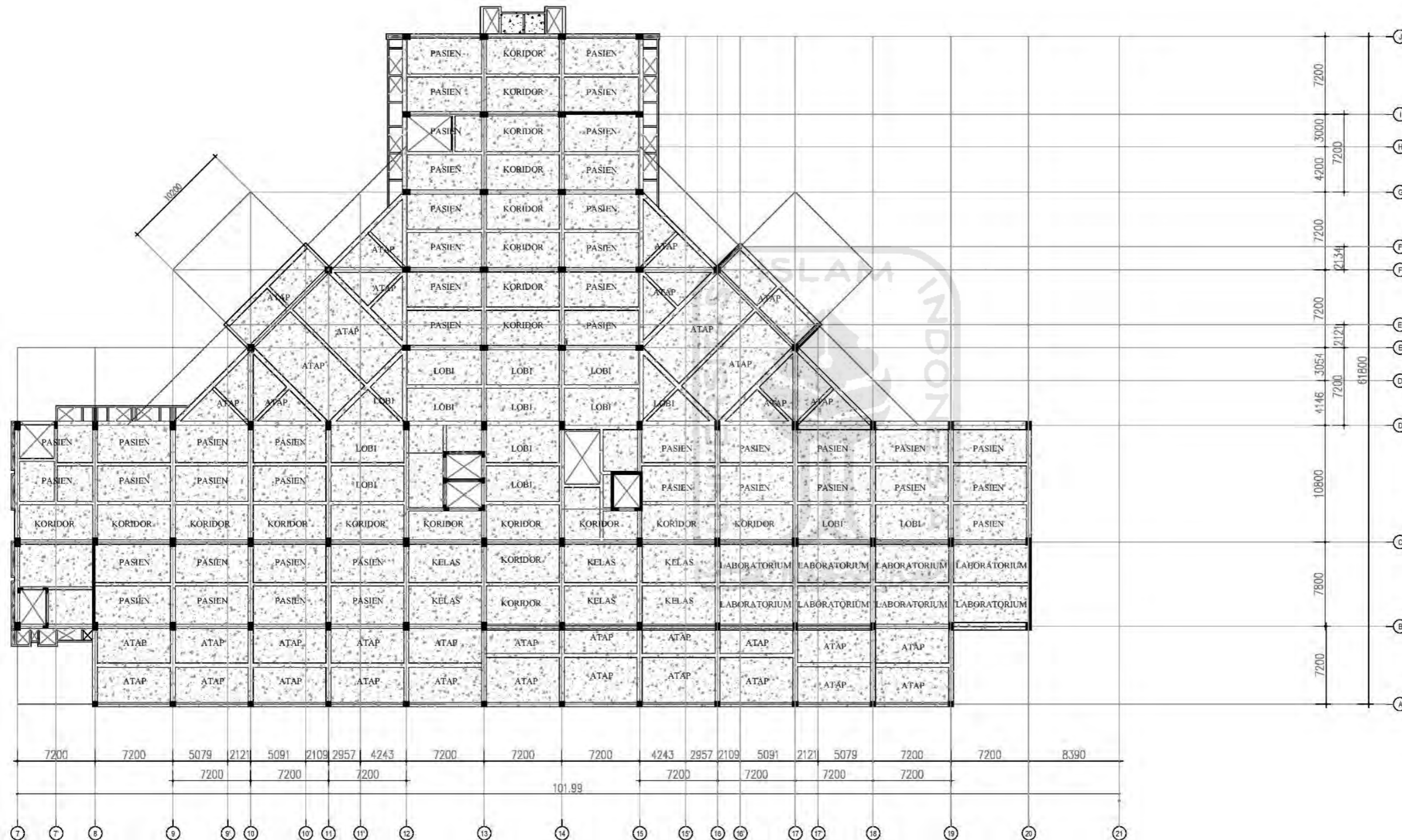
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

**Denah Pelat Lantai 4**

Skala

1 : 400

Lampiran

**Lampiran 1. 18**

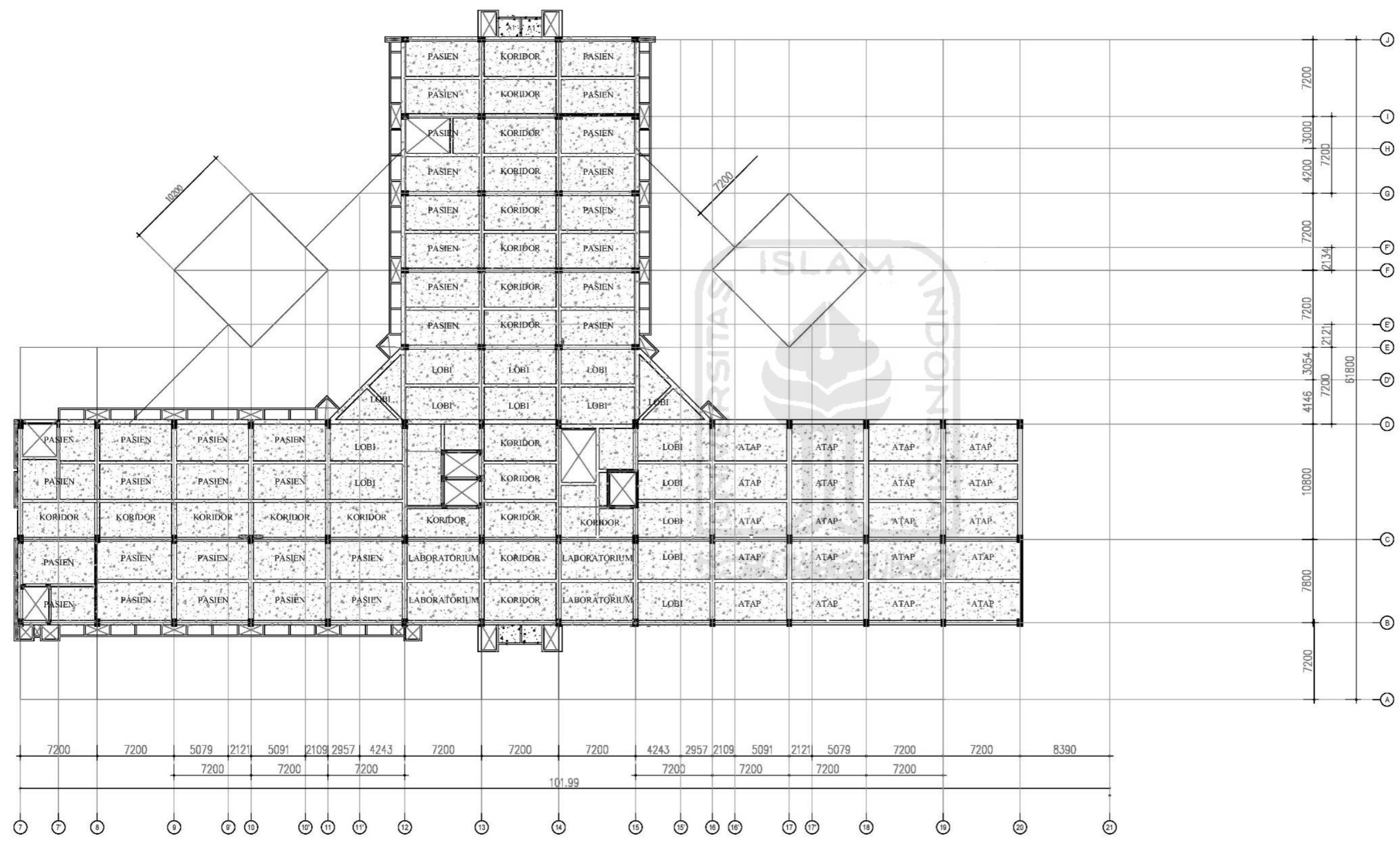
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

**Denah Pelat Lantai 5**

Skala

1 : 400

Lampiran

**Lampiran 1. 19**

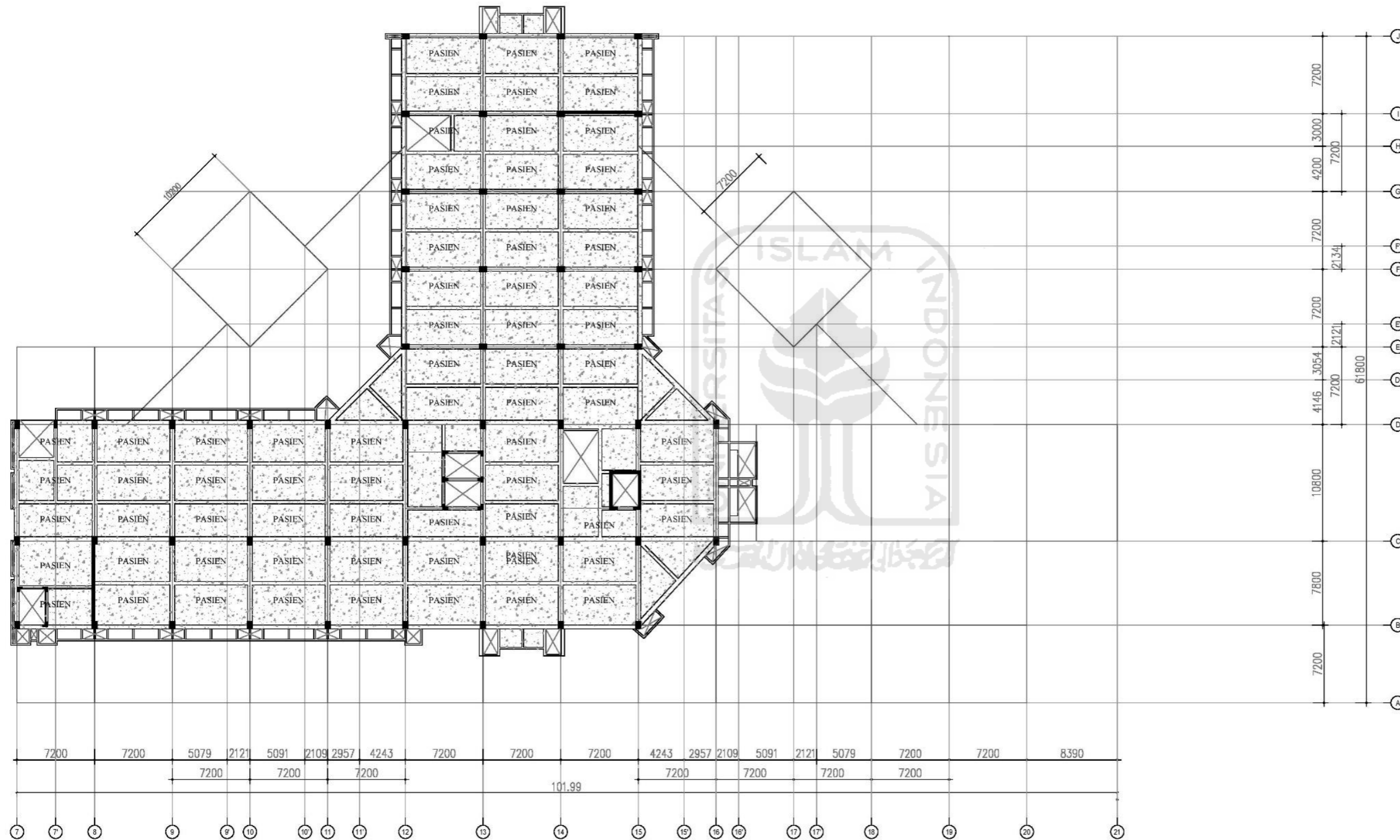
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.







**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

**Denah Pelat Lantai 6**

Skala

1 : 400

Lampiran

**Lampiran 1. 20**

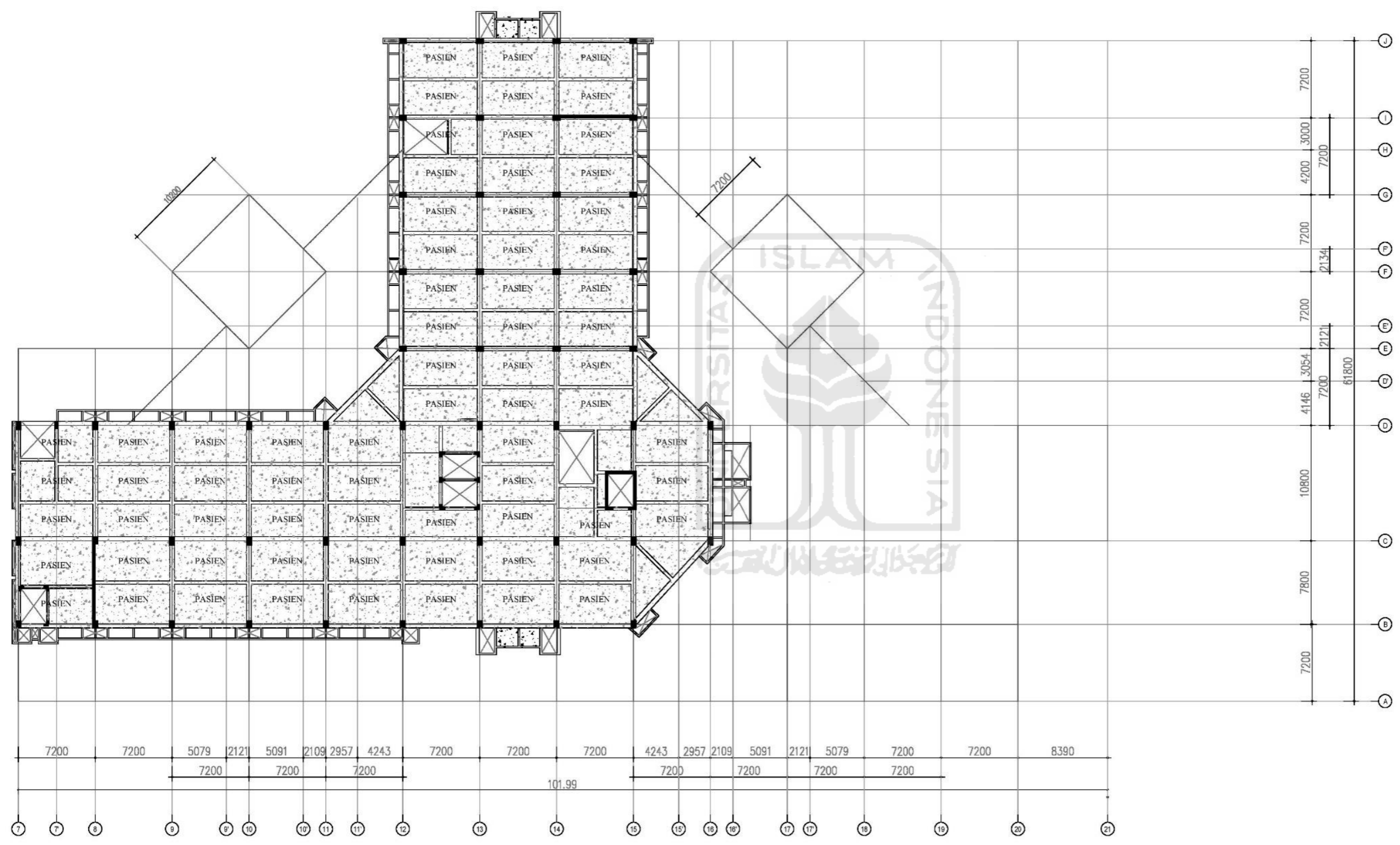
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Denah Pelat Lantai Atap

Skala

1 : 400

Lampiran

Lampiran 1. 21

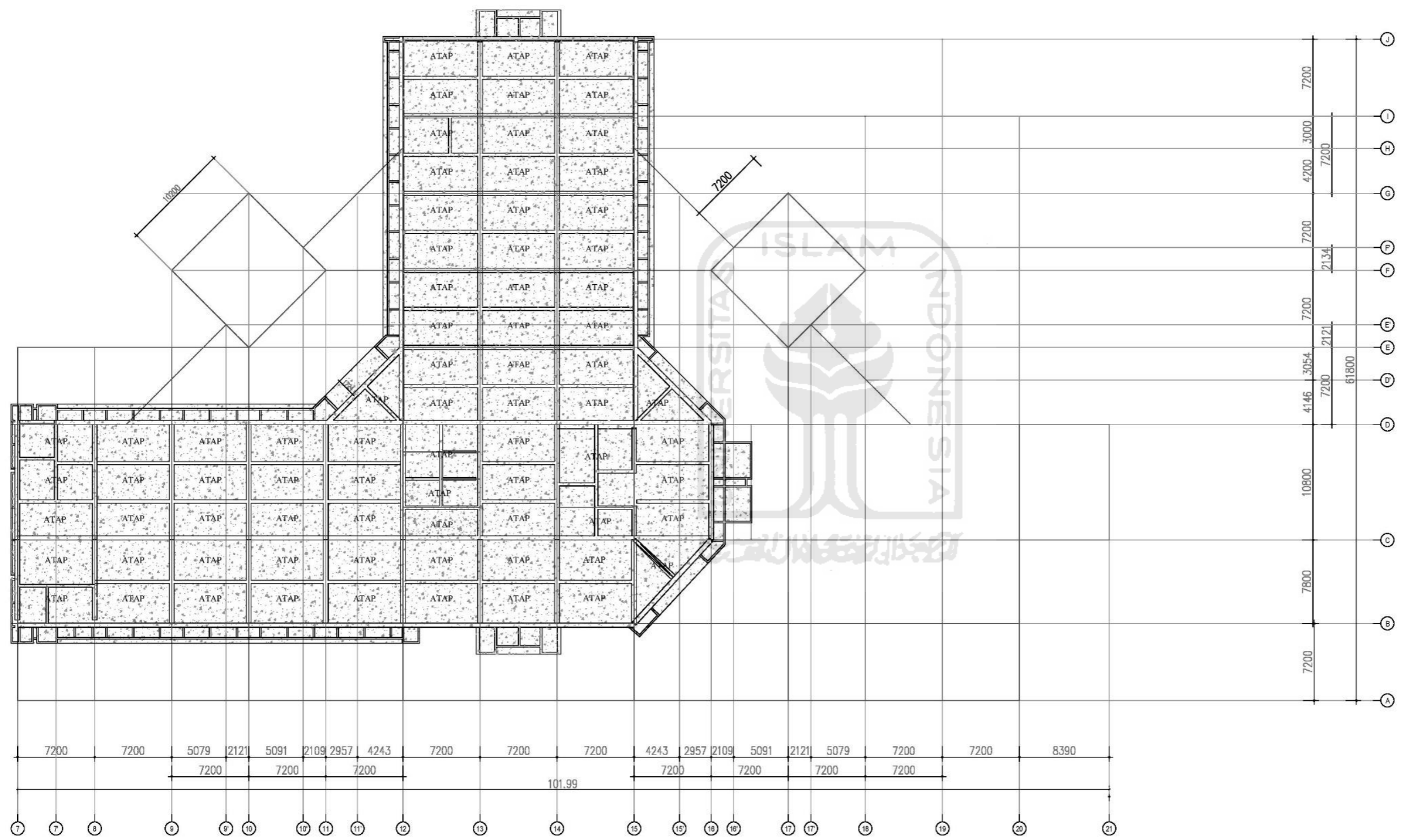
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginanjari Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Detail Balok Kolektor

Skala

1 : 25

Lampiran

Lampiran 1. 22

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Detail Balok Kolektor Lantai 6					
Detail Balok Kolektor B4 kode 5			Detail Balok Kolektor B4 kode 4		
Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
400 x 600			400 x 600		
B	Tulangan Atas	10D25	5D25	10D25	5D25
	Tulangan Bawah	5D25	10D25	5D25	10D25
	Sengkang	3D10-100	3D10-150	2D10-100	2D10-150
H	Kanan	3D25	3D25	5D25	5D25
	Kiri	3D25	3D25	5D25	5D25
Detail Balok Kolektor Lantai 5					
Detail Balok Kolektor B4 kode 3			Detail Balok Kolektor B4 kode 4		
Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
400 x 600			400 x 600		
B	Tulangan Atas	12D25	6D25	10D25	5D25
	Tulangan Bawah	6D25	12D25	5D25	10D25
	Sengkang	3D10-100	2D10-150	3D10-100	2D10-150
H	Kanan	6D25	6D25	3D25	3D25
	Kiri	6D25	6D25	3D25	3D25



**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginanjari Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Detail Balok Kolektor

Skala

1 : 25

Lampiran

Lampiran 1. 23

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Detail Balok Kolektor Lantai 3

Detail Balok Kolektor B4 kode 4

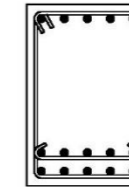
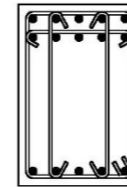
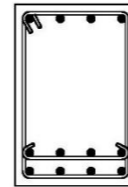
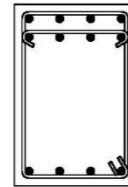
Detail Balok Kolektor B4 kode 5

Tumpuan

Lapangan

Tumpuan

Lapangan



400 x 600

400 x 600

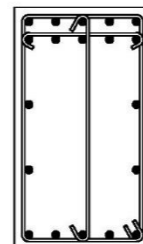
B	Tulangan Atas	8D25	4D25	10D25	5D25
	Tulangan Bawah	4D25	8D25	5D25	10D25
	Sengkang	2D10-100	2D10-150	4D10-100	2D10-150
H	Kanan	3D25	3D25	3D25	3D25
	Kiri	3D25	3D25	3D25	3D25

Detail Balok Kolektor Lantai 3

Detail Balok Kolektor B1 kode 6

Tumpuan

Lapangan



450 x 800

B	Tulangan Atas	10D25	5D25
	Tulangan Bawah	5D25	10D25
	Sengkang	3D10-100	2D10-150
H	Kanan	5D25	5D25
	Kiri	5D25	5D25



**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginanjari Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Detail Balok Kolektor

Skala

1 : 25

Lampiran

Lampiran 1. 24

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Detail Balok Kolektor Lantai 2

		Detail Balok Kolektor B4 kode 4		Detail Balok Kolektor B4 kode 5	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
		400 x 600		400 x 600	
B	Tulangan Atas	8D25	4D25	8D25	4D25
	Tulangan Bawah	4D25	8D25	4D25	8D25
	Sengkang	2D10-100	2D10-150	4D10-100	3D10-150
H	Kanan	3D25	3D25	3D25	3D25
	Kiri	3D25	3D25	3D25	3D25

Detail Balok Kolektor Lantai 1

		Detail Balok Kolektor B4 kode 3	
		Tumpuan	Lapangan
		400 x 600	
B	Tulangan Atas	8D25	4D25
	Tulangan Bawah	4D25	8D25
	Sengkang	2D10-100	2D10-150
H	Kanan	3D25	3D25
	Kiri	3D25	3D25

**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
 ELEMEN KOLEKTOR  
 DAN KORD PADA  
 GEDUNG RUMAH  
 SAKIT DENGAN  
 MENGGUNAKAN  
 METODE  
 SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Detail Penampang Balok

Skala

1 : 25

Lampiran

Lampiran 1. 25

Disetujui Oleh :

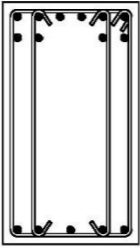

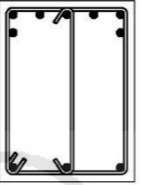
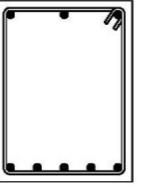
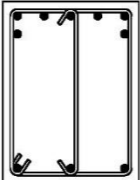

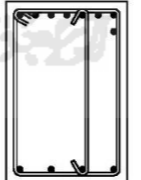
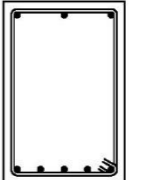
Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Detail Balok

		BALOK B1		BALOK B3	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
					
		450 x 800		450 x 600	
B	Tulangan Atas	10D25	4D25	7D25	3D25
	Tulangan Bawah	5D25	7D25	3D25	5D25
	Sengkang	4D10-100	2D10-100	3D10-100	2D10-150
		BALOK B3'		BALOK B4 - X	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
					
		450 x 600		400 x 600	
B	Tulangan Atas	7D25	3D25	8D19	3D19
	Tulangan Bawah	3D25	5D25	4D19	5D19
	Sengkang	3D10-100	2D10-150	3D10-100	2D10-150

**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
 ELEMEN KOLEKTOR  
 DAN KORD PADA  
 GEDUNG RUMAH  
 SAKIT DENGAN  
 MENGGUNAKAN  
 METODE  
 SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Detail Penampang Balok

Skala

1 : 25

Lampiran

Lampiran 1. 26

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

**Detail Balok**

		BALOK B4 - Y		BALOK B5	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
					
		400 x 600		300 x 600	
B	Tulangan Atas	8D19	3D19	6D19	3D19
	Tulangan Bawah	4D19	5D19	3D19	5D19
	Sengkang	3D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
		BALOK B8		BALOK B9	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
					
		450 x 500		400 x 500	
B	Tulangan Atas	5D19	3D19	4D19	2D19
	Tulangan Bawah	3D19	5D19	2D19	4D19
	Sengkang	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150



**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
 ELEMEN KOLEKTOR  
 DAN KORD PADA  
 GEDUNG RUMAH  
 SAKIT DENGAN  
 MENGGUNAKAN  
 METODE  
 SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Detail Penampang Balok

Skala

1 : 25

Lampiran

Lampiran 1. 27

Disetujui Oleh :

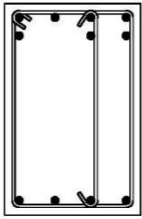
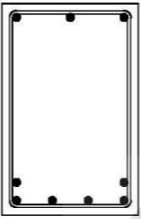
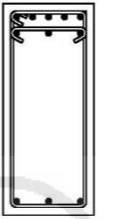

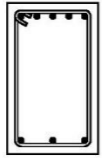
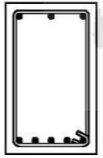


Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Detail Balok

		BALOK B10		BALOK B12	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
					
		450 x 700		300 x 700	
B	Tulangan Atas	7D25	3D25	8D19	3D19
	Tulangan Bawah	4D25	6D25	3D19	7D19
	Sengkang	3D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150
		BALOK B17		BALOK B18	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
					
		300 x 500		250 x 400	
B	Tulangan Atas	5D19	3D19	5D19	3D19
	Tulangan Bawah	3D19	5D19	3D19	5D19
	Sengkang	2D10-100	2D10-150	2D10-100	2D10-150



**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
 ELEMEN KOLEKTOR  
 DAN KORD PADA  
 GEDUNG RUMAH  
 SAKIT DENGAN  
 MENGGUNAKAN  
 METODE  
 SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Detail Penampang Balok

Skala

1 : 25

Lampiran

Lampiran 1. 28

Disetujui Oleh :

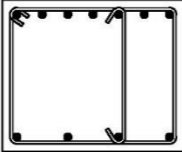
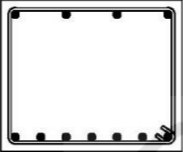
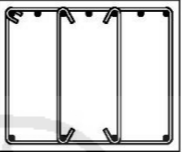
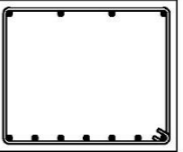
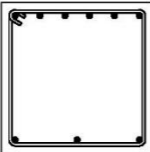

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Detail Balok

		BALOK B34		BALOK B33	
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
					
		600 x 500		600 x 500	
B	Tulangan Atas	7D25	4D25	7D19	4D19
	Tulangan Bawah	4D25	7D25	4D19	7D19
	Sengkang	3D10-100	2D10-150	4D10-100	2D10-150
		BALOK B35			
		Tumpuan	Lapangan		
					
		500 x 500			
B	Tulangan Atas	6D19	3D19		
	Tulangan Bawah	3D19	5D19		
	Sengkang	2D10-100	2D10-150		



**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Detail Keyplan A

Skala

1 : 75

Lampiran

Lampiran 1. 29

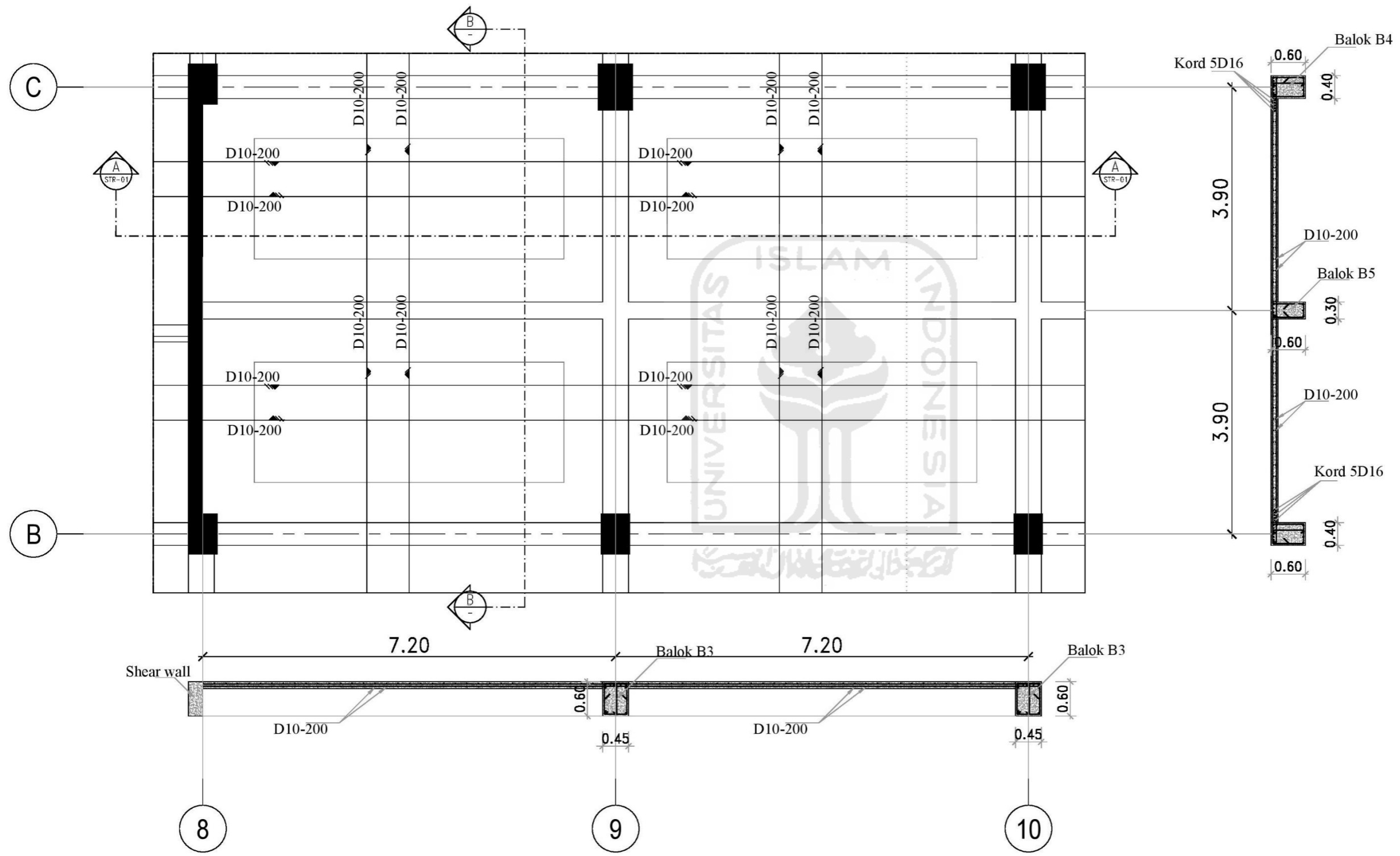
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.



**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
 ELEMEN KOLEKTOR  
 DAN KORD PADA  
 GEDUNG RUMAH  
 SAKIT DENGAN  
 MENGGUNAKAN  
 METODE  
 SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Detail Keyplan B

Skala

1 : 75

Lampiran

Lampiran 1. 30

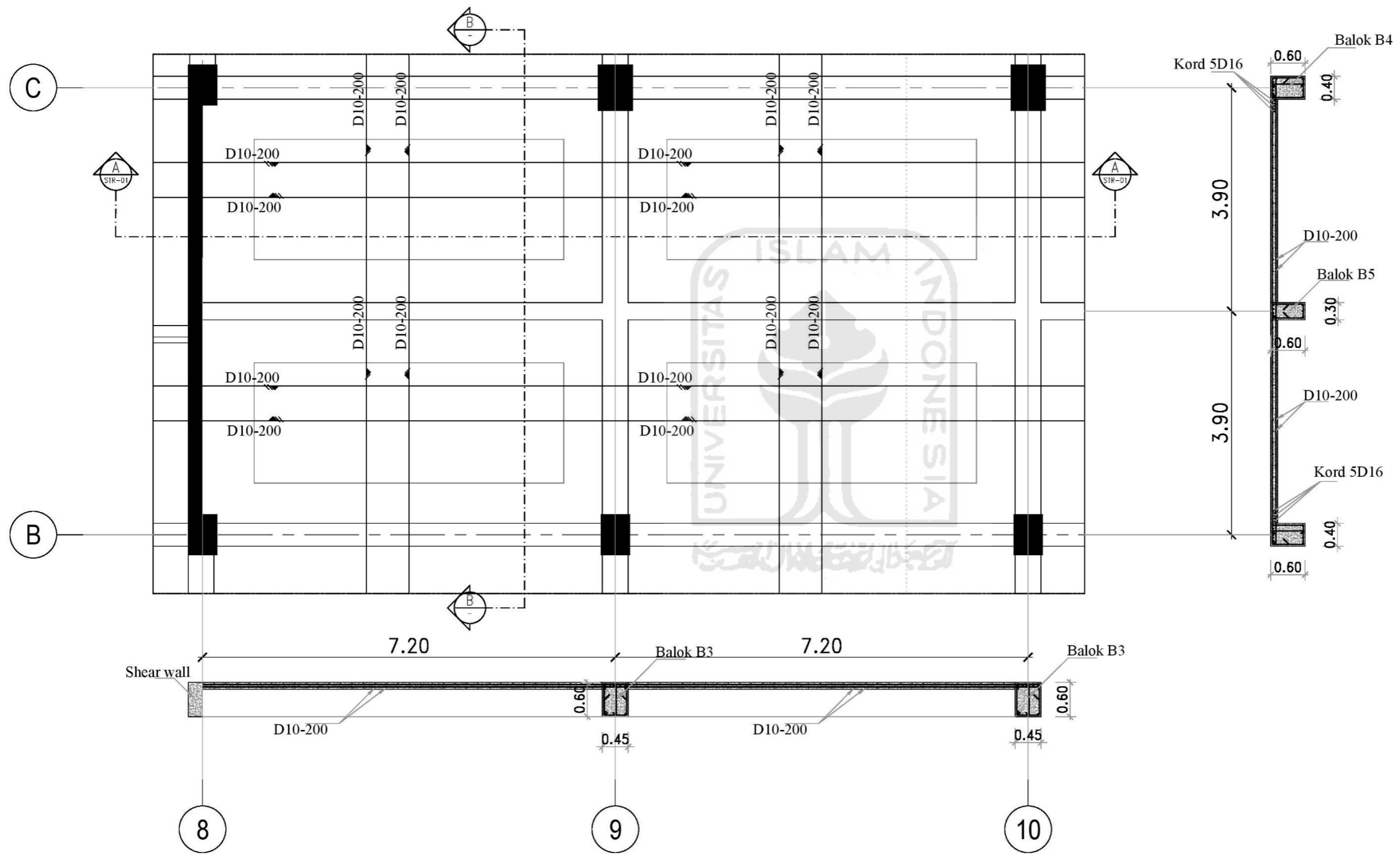
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Detail Keyplan C

Skala

1 : 75

Lampiran

Lampiran 1. 31

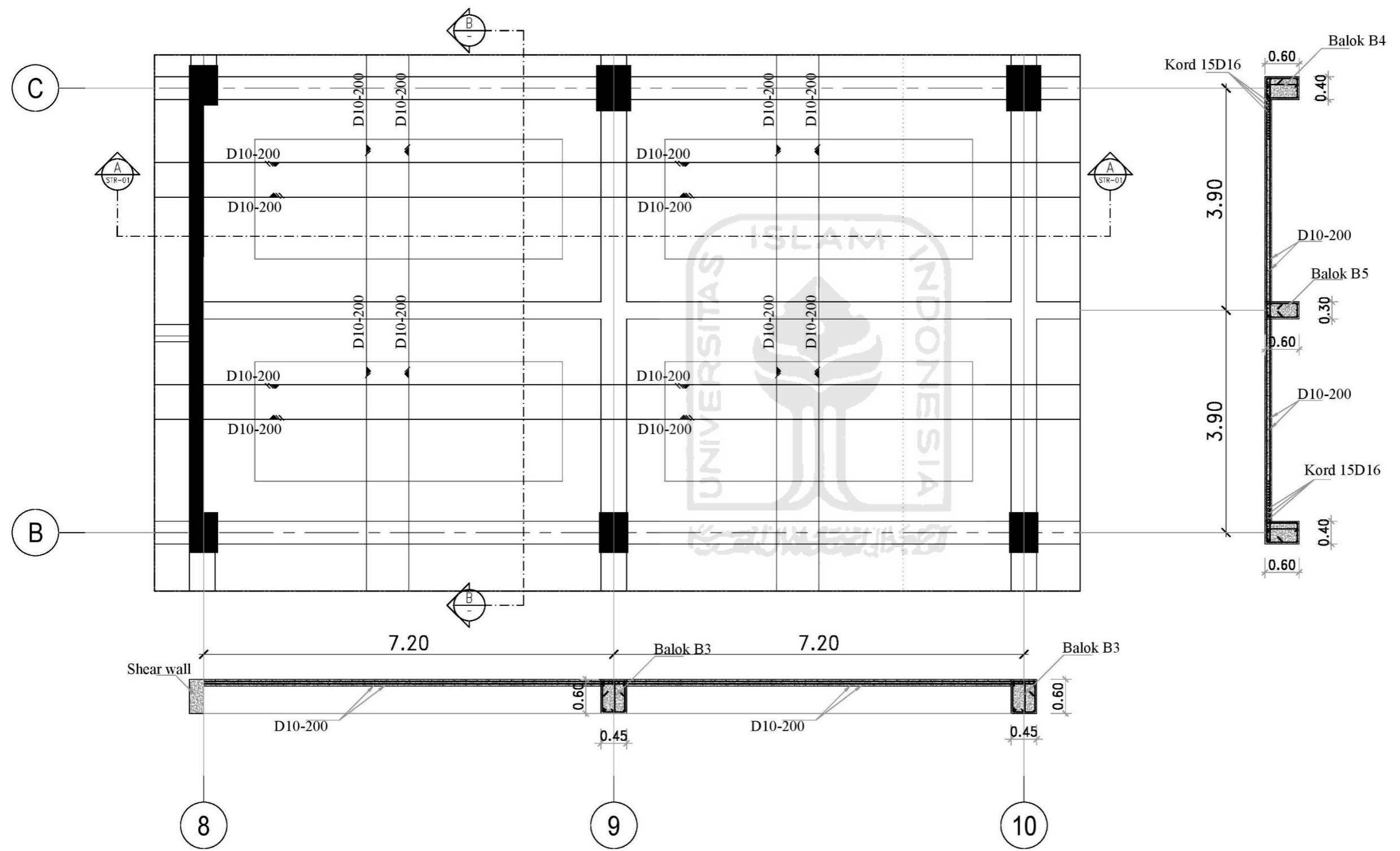
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Detail Keyplan D

Skala

1 : 75

Lampiran

Lampiran 1. 32

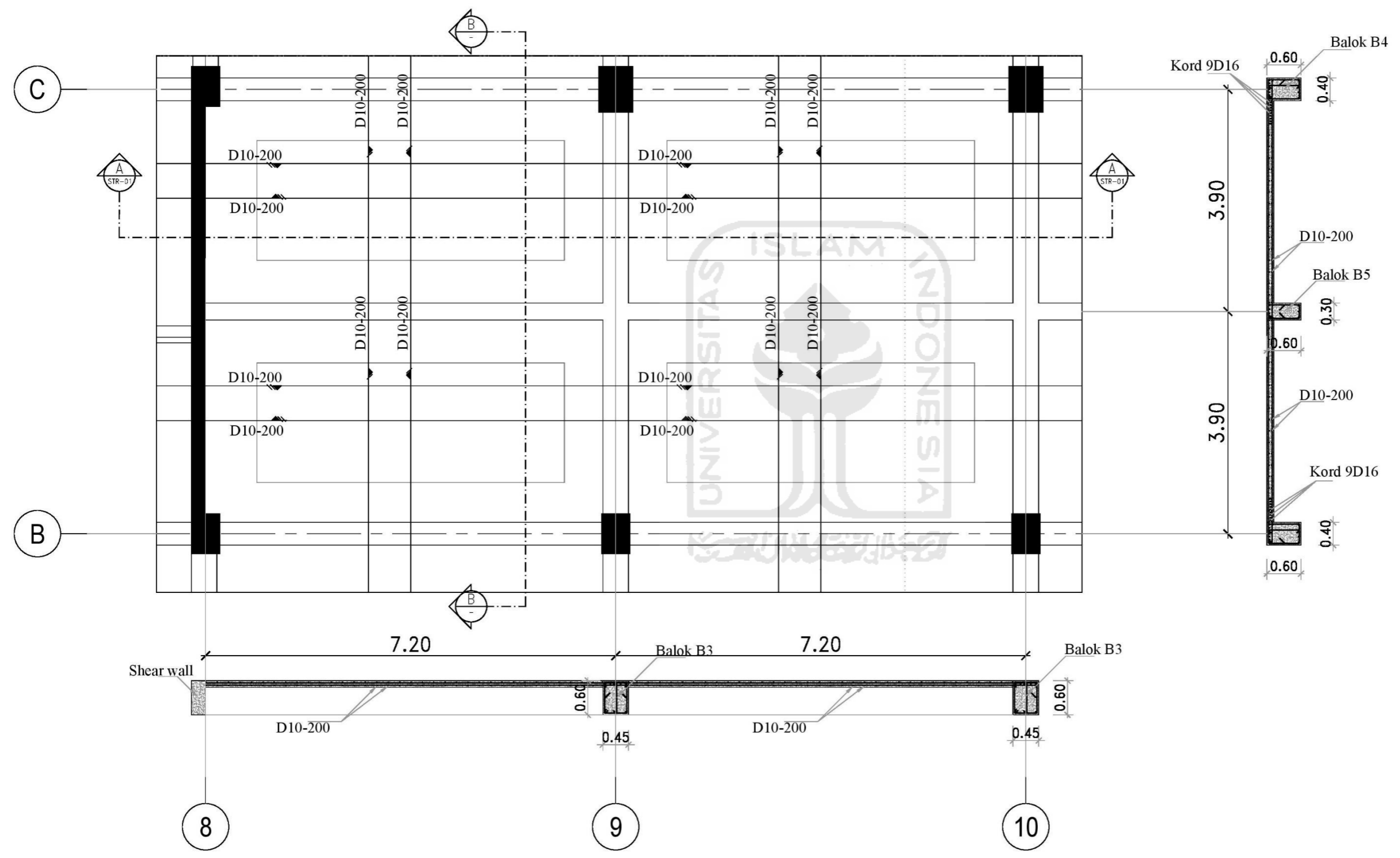
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.





**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Detail Penampang Kolom

Skala

1 : 25

Lampiran

Lampiran 1.33

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Detail Kolom

	KOLOM K1 ST		KOLOM K1 TM	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
	500 X 700		500 x 700	
Tulangan Utama	16D19	16D19	16D25	16D25
Sengkang	4D10-100	3D10-150	4D10-100	3D10-150
	KOLOM K3		KOLOM K5	
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
	500 x 500		600 x 800	
Tulangan Atas	12D19	12D19	20D19	20D19
Sengkang	4D10-100	3D10-150	4D10-100	3D10-150



**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Detail Penampang Kolom

Skala

1 : 25

Lampiran

Lampiran 1. 34

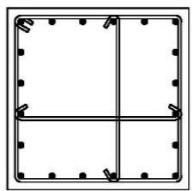
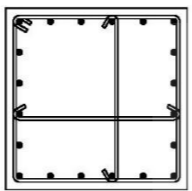
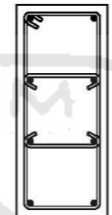
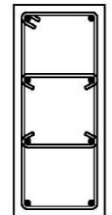
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Detail Kolom				
KOLOM K11		KOLOM K21		
Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
				
600 x 600		300 x 700		
Tulangan Utama	20D19	20D19	8D19	8D19
Sengkang	3D10-100	3D10-150	4D10-100	4D10-150



**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Rencana Potongan

Skala

1 : 400

Lampiran

Lampiran 1.35

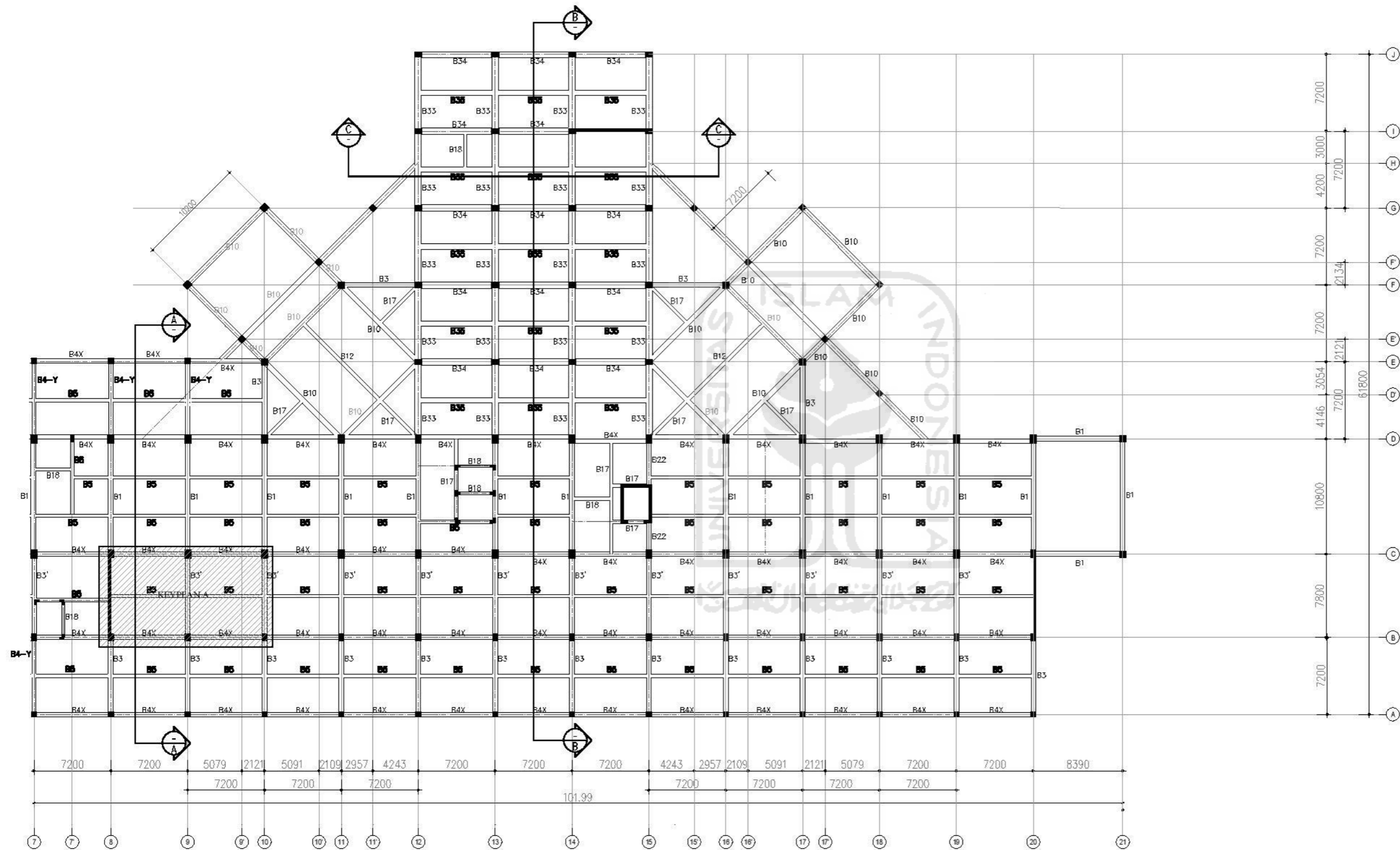
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.







**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Potongan A-A

Skala

1 : 200

Lampiran

Lampiran 1. 36

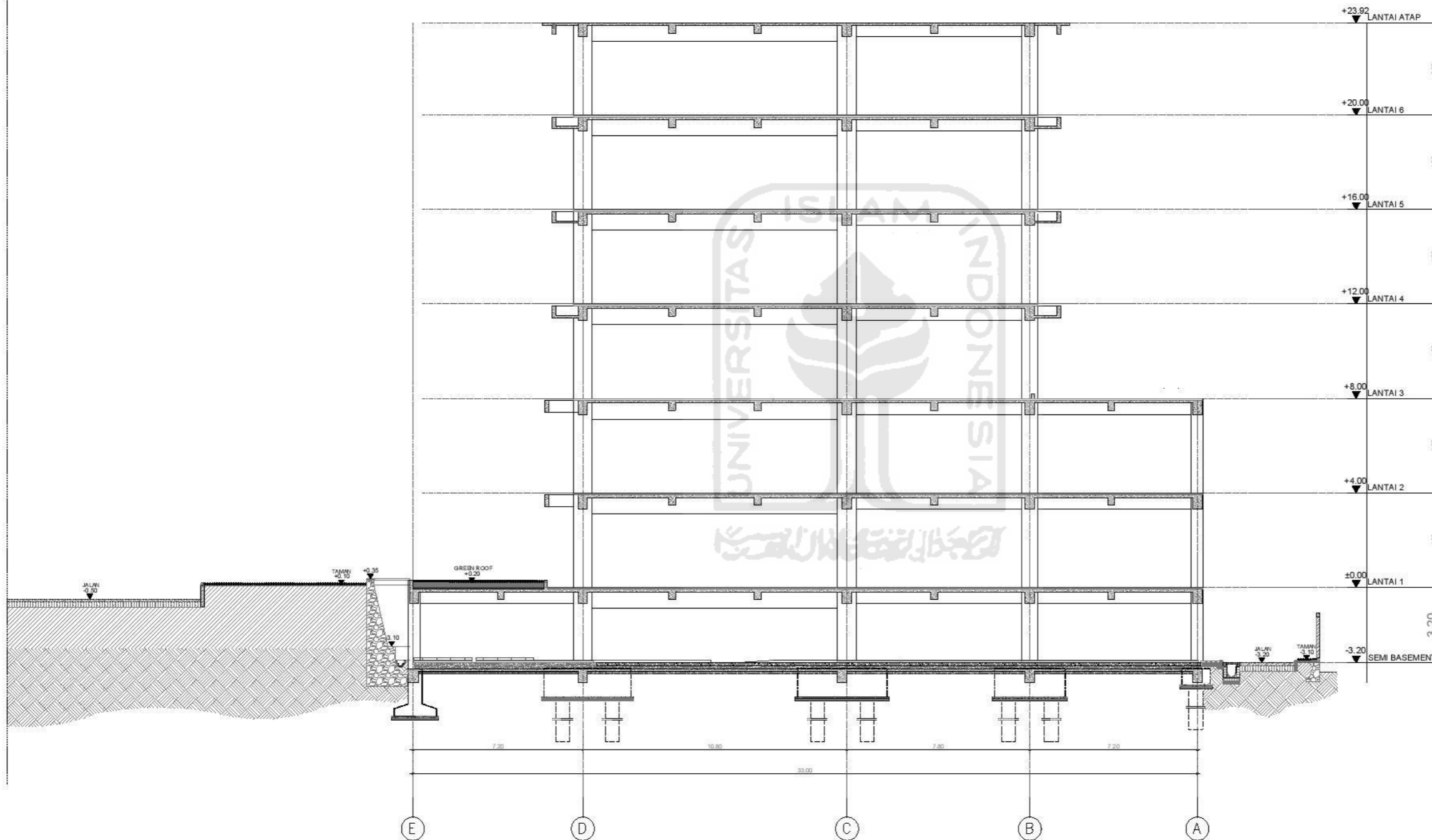
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.



POTONGAN A-A  
SKALA 1:200



**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginjar Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Potongan B-B

Skala

1 : 250

Lampiran

Lampiran 1.37

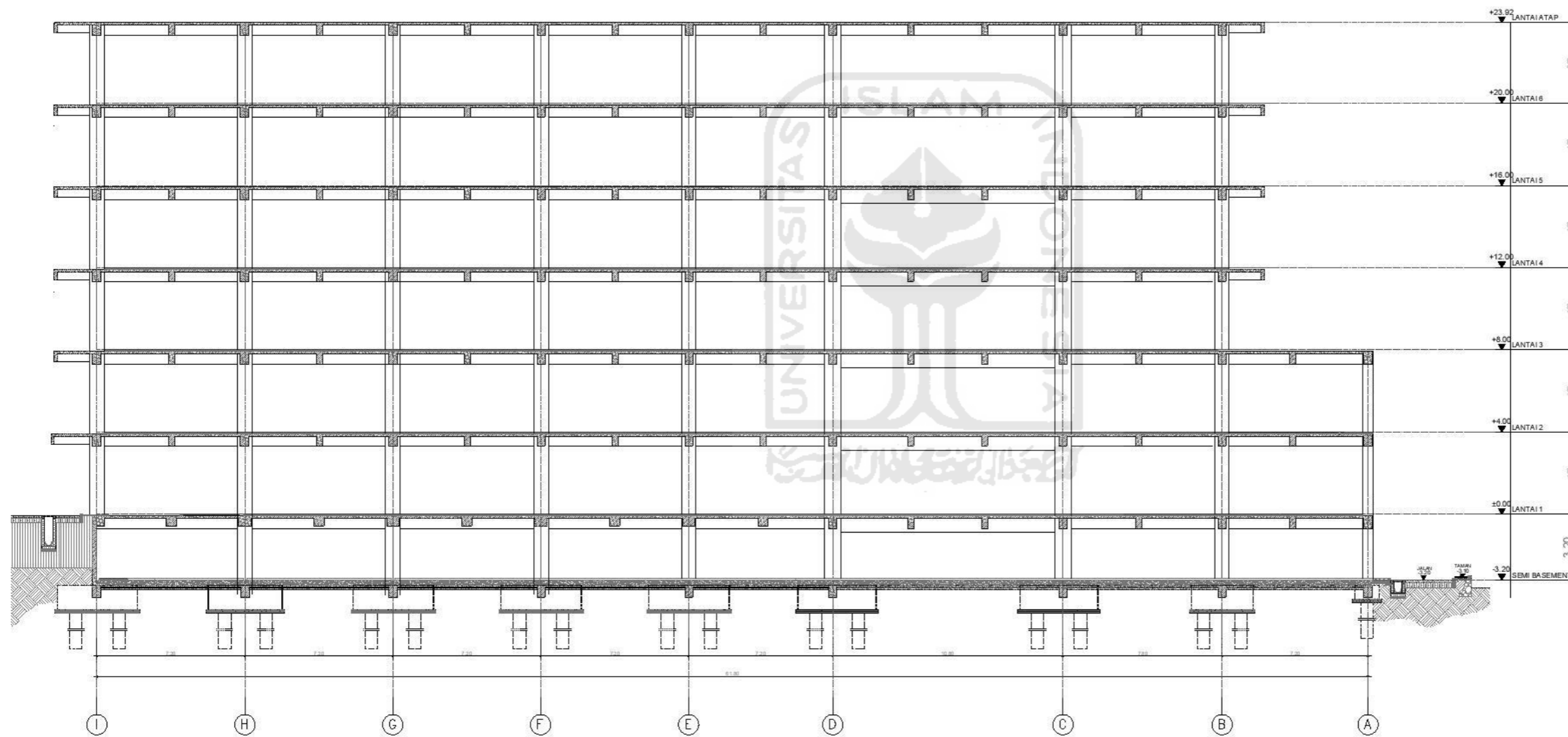
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.



POTONGAN B-B  
SKALA 1:250



**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN  
ELEMEN KOLEKTOR  
DAN KORD PADA  
GEDUNG RUMAH  
SAKIT DENGAN  
MENGUNAKAN  
METODE  
SNI 1726:2012**

MAHASISWA

Nama

**Ginanjari Nata Laksana**

NIM

**15511028**

Judul Gambar

Potongan C-C

Skala

1 : 200

Lampiran

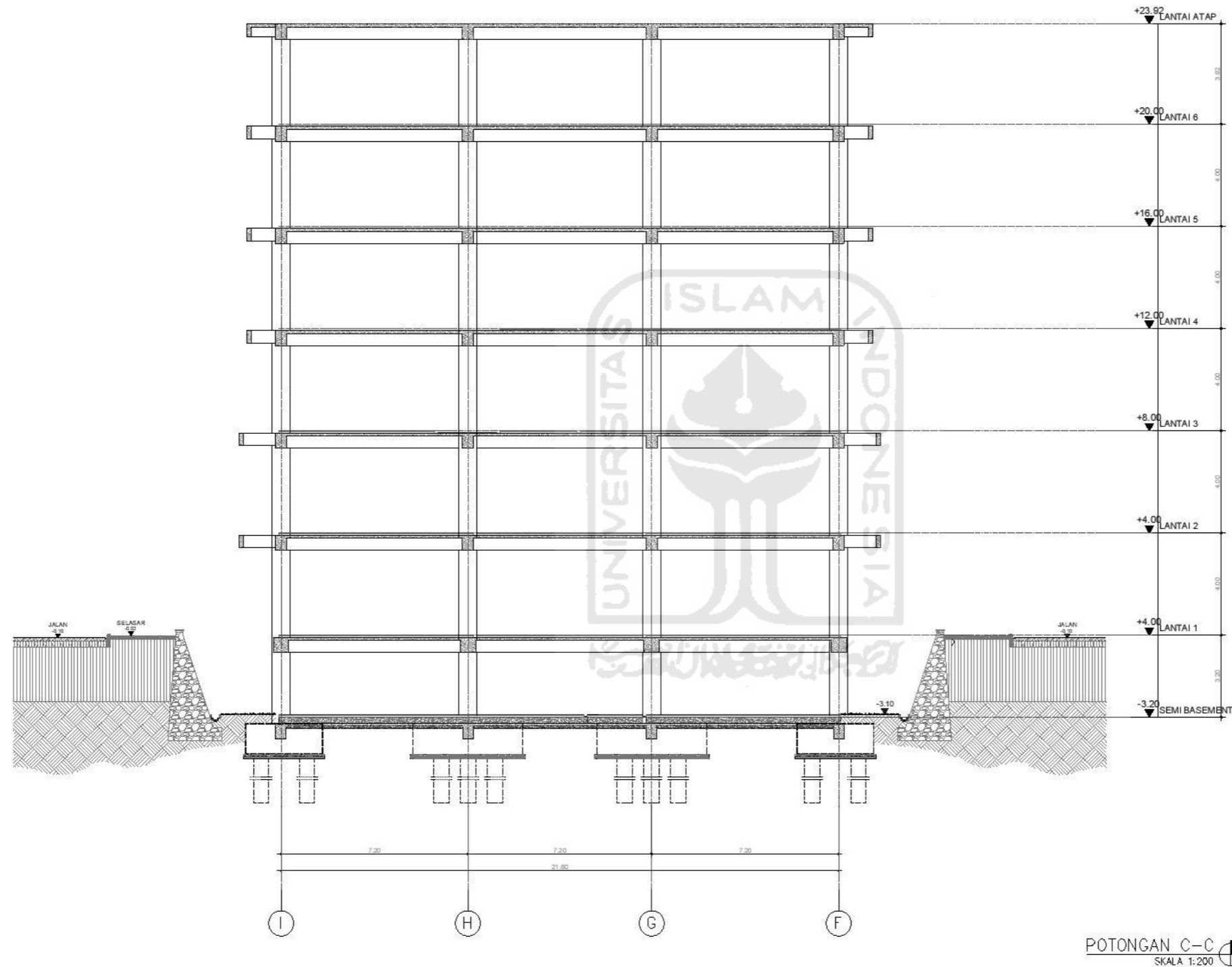
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing 1

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

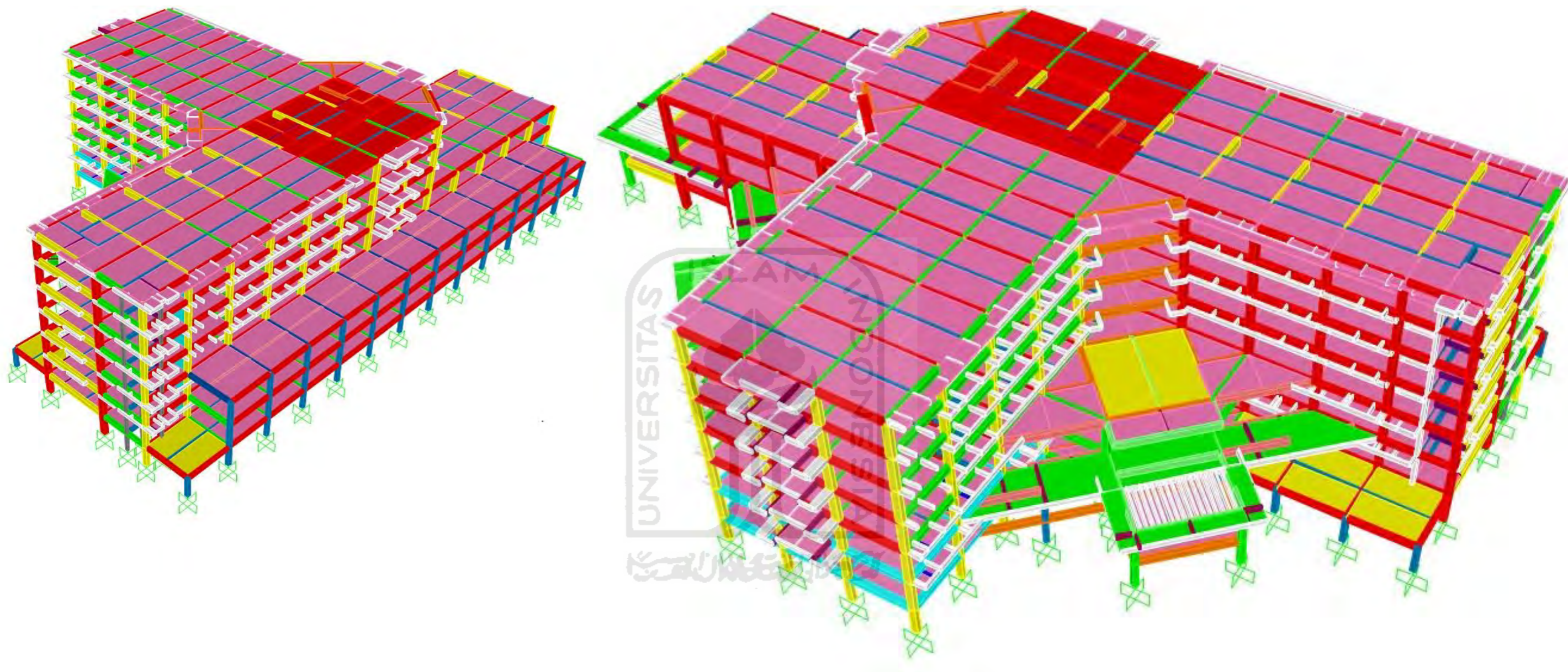
Dosen Pembimbing 2

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.



POTONGAN C-C  
SKALA 1:200





Lampiran 1.38 Gambar 3D permodelan SAP 2000 v20

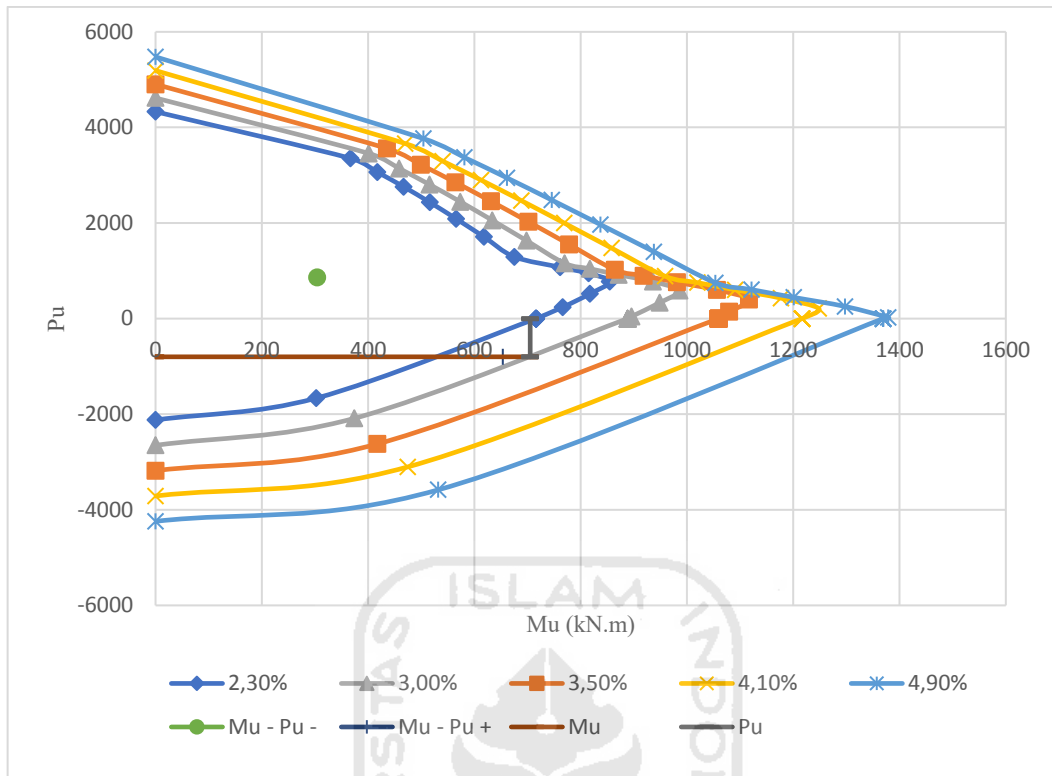
**Lampiran 1. 39 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 5 Arah X**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	3926,991	8D25	4908,739	10D25	5890,486	12D25	6872,234	14D25	7853,982	16D25
	AS'	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25
Rasio Tulangan		2,30%		3,00%		3,50%		4,10%		4,90%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	5411,892	0	5770,365	0	6128,837	0	6487,310	0	6845,783
Patah Desak	1,6	367,111	3352,983	401,311	3456,521	435,510	3560,058	469,710	3663,596	503,910	3767,133
	1,5	417,736	3062,950	458,649	3139,899	499,562	3216,847	540,476	3293,796	581,389	3370,744
	1,4	467,108	2757,723	515,694	2804,284	564,281	2850,845	612,867	2897,407	661,453	2943,968
	1,3	516,14	2433,796	573,553	2445,295	630,993	2456,794	688,432	2468,293	745,872	2479,791
	1,2	565,933	2086,495	633,701	2057,087	701,470	2027,680	769,238	1998,273	837,006	1968,865
	1,1	618,176	1709,443	698,151	1631,692	778,126	1553,941	858,101	1476,190	938,076	1398,439
Balance	1	675,095	1293,717	769,718	1157,953	864,342	1022,190	958,965	886,426	1053,588	750,663
Patah Tarik	0,8	761,689	1074,818	817,298	1043,669	918,661	898,236	1020,024	752,803	1121,387	607,370
	0,7	815,244	946,720	871,476	917,298	981,263	759,777	1091,051	602,257	1200,838	444,737
	0,6	855,024	774,012	935,862	773,659	1056,481	600,598	1177,099	427,537	1297,718	254,476
	0,5	817,479	519,690	986,040	586,032	1117,057	398,052	1248,074	210,071	1379,091	22,091
Lentur Murni	Pn = 0	716,130	0	888,371	0	1059,274	0	1216,520	0	1368,983	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-2120,575	0	-2650,719	0	-3180,863	0	-3711,006	0	-4241,150

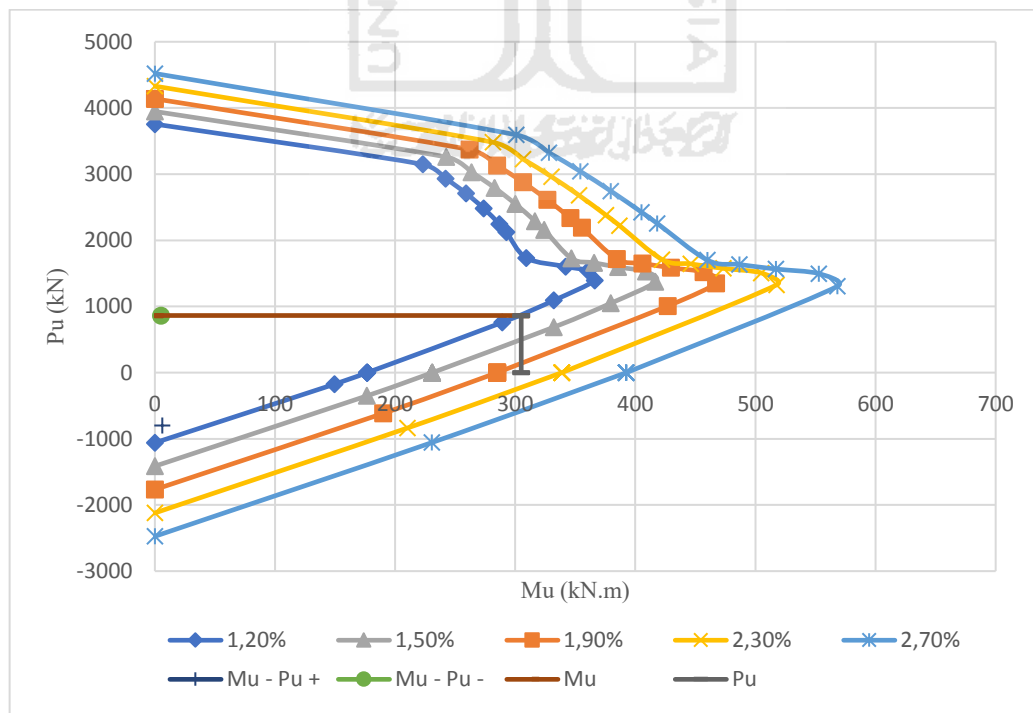
**Lampiran 1. 40 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 5 Arah Z**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	Kanan	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
	Kiri	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
Rasio Tulangan		1,20%		1,50%		1,90%		2,30%		2,70%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	4694,946	0	4933,928	0	5172,910	0	5411,892	0	5650,874
Patah Desak	1,6	223,121	3147,046	242,560	3258,560	261,999	3370,074	281,438	3481,588	300,876	3593,103
	1,5	242,206	2931,381	263,672	3029,600	285,138	3127,820	306,604	3226,040	328,070	3324,260
	1,4	259,052	2710,018	282,835	2793,044	306,618	2876,070	330,402	2959,096	354,185	3042,122
	1,3	273,861	2481,643	300,317	2547,138	326,774	2612,633	353,231	2678,128	379,688	2743,622
	1,2	286,899	2244,502	316,475	2289,544	346,051	2334,586	375,627	2379,628	405,203	2424,669
	1,15	292,863	2121,930	324,202	2155,412	355,541	2188,893	386,880	2222,374	418,219	2255,856
Balance	1	309,269	1733,406	346,955	1725,269	384,640	1717,133	422,326	1708,997	460,012	1700,861
Patah Tarik	0,8	342,140	1603,292	385,865	1593,852	429,589	1584,412	446,365	1642,419	486,734	1633,703
	0,7	360,784	1537,397	408,823	1527,025	456,862	1516,654	473,314	1574,972	517,039	1565,531
	0,6	366,202	1393,956	416,726	1371,828	467,249	1349,701	504,900	1506,282	552,939	1495,911
	0,5	332,107	1091,034	379,604	1049,063	427,101	1007,092	517,773	1327,573	568,296	1305,446
Lentur Murni	Pn = 0	176,755	0	231,038	0	285,023	0	338,830	0	392,525	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-1060,288	0	-1413,717	0	-1767,146	0	-2120,575	0	-2474,004





Lampiran 1. 41 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 5 Arah X



Lampiran 1. 42 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 5 Arah Z

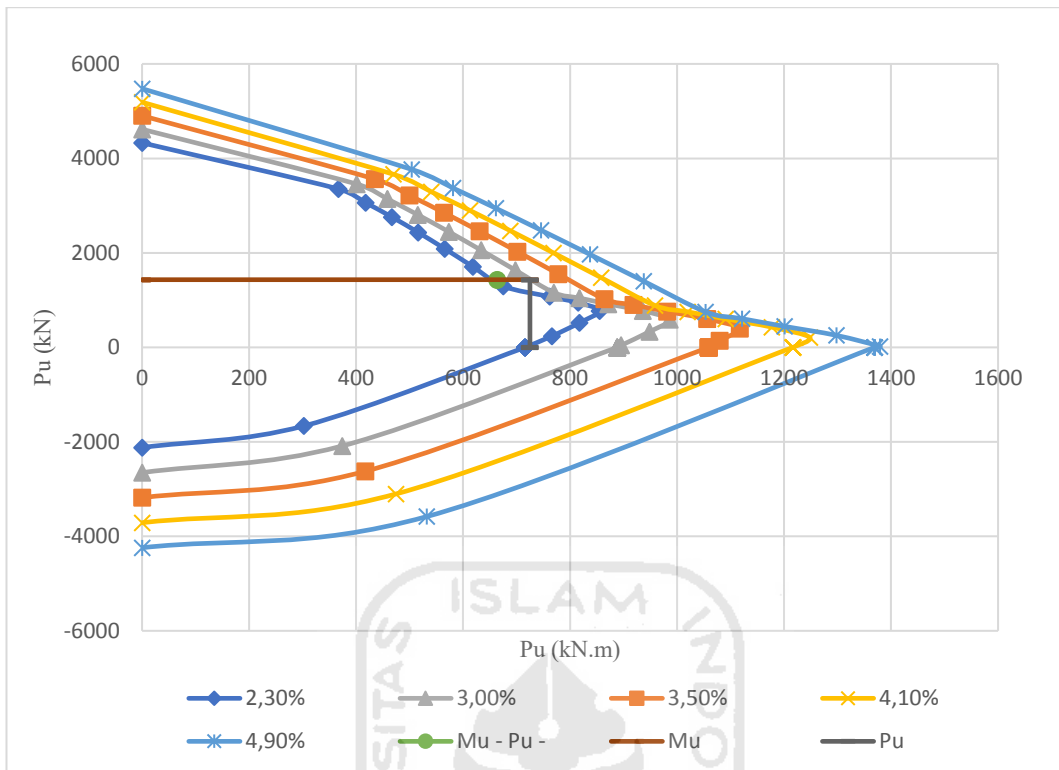
**Lampiran 1. 43 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 4 Arah X**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	3926,991	8D25	4908,739	10D25	5890,486	12D25	6872,234	14D25	7853,982	16D25
	AS'	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25
Rasio Tulangan		2,30%		3,00%		3,50%		4,10%		4,90%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	5411,892	0	5770,365	0	6128,837	0	6487,310	0	6845,783
Patah Desak	1,6	367,111	3352,983	401,311	3456,521	435,510	3560,058	469,710	3663,596	503,910	3767,133
	1,5	417,736	3062,950	458,649	3139,899	499,562	3216,847	540,476	3293,796	581,389	3370,744
	1,4	467,108	2757,723	515,694	2804,284	564,281	2850,845	612,867	2897,407	661,453	2943,968
	1,3	516,14	2433,796	573,553	2445,295	630,993	2456,794	688,432	2468,293	745,872	2479,791
	1,2	565,933	2086,495	633,701	2057,087	701,470	2027,680	769,238	1998,273	837,006	1968,865
	1,1	618,176	1709,443	698,151	1631,692	778,126	1553,941	858,101	1476,190	938,076	1398,439
Balance	1	675,095	1293,717	769,718	1157,953	864,342	1022,190	958,965	886,426	1053,588	750,663
Patah Tarik	0,8	761,689	1074,818	817,298	1043,669	918,661	898,236	1020,024	752,803	1121,387	607,370
	0,7	815,244	946,720	871,476	917,298	981,263	759,777	1091,051	602,257	1200,838	444,737
	0,6	855,024	774,012	935,862	773,659	1056,481	600,598	1177,099	427,537	1297,718	254,476
	0,5	817,479	519,690	986,040	586,032	1117,057	398,052	1248,074	210,071	1379,091	22,091
Lentur Murni	Pn = 0	716,130	0	888,371	0	1059,274	0	1216,520	0	1368,983	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-2120,575	0	-2650,719	0	-3180,863	0	-3711,006	0	-4241,150

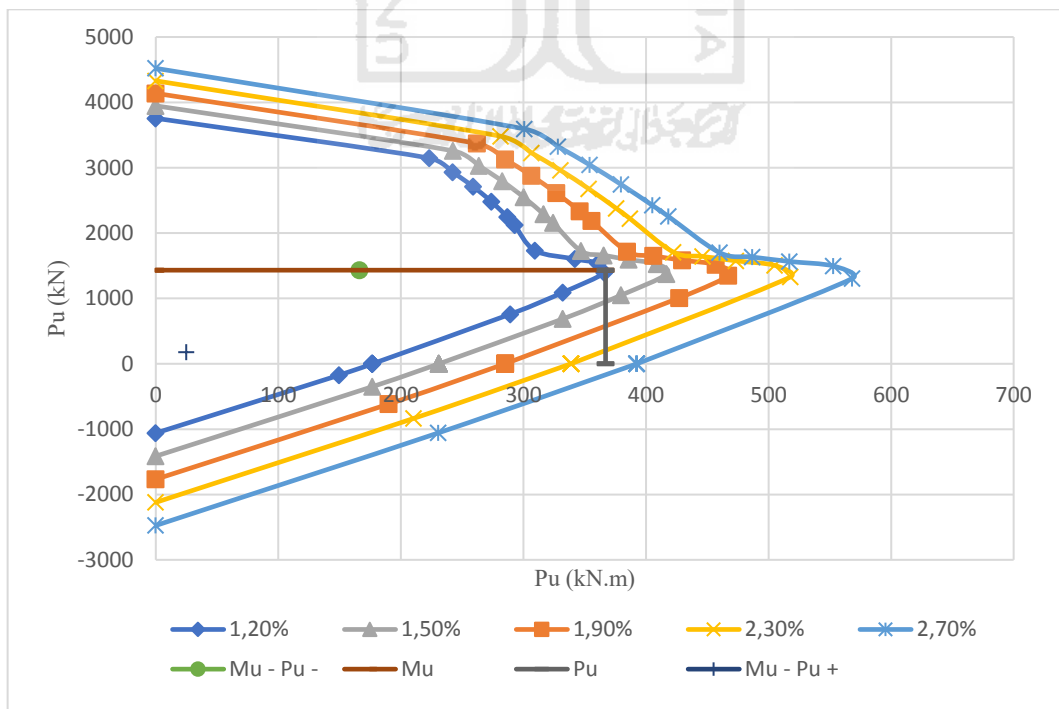


**Lampiran 1. 44 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 4 Arah Z**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	Kanan	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
	Kiri	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
Rasio Tulangan		1,20%		1,50%		1,90%		2,30%		2,70%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	4694,946	0	4933,928	0	5172,910	0	5411,892	0	5650,874
Patah Desak	1,6	223,121	3147,046	242,560	3258,560	261,999	3370,074	281,438	3481,588	300,876	3593,103
	1,5	242,206	2931,381	263,672	3029,600	285,138	3127,820	306,604	3226,040	328,070	3324,260
	1,4	259,052	2710,018	282,835	2793,044	306,618	2876,070	330,402	2959,096	354,185	3042,122
	1,3	273,861	2481,643	300,317	2547,138	326,774	2612,633	353,231	2678,128	379,688	2743,622
	1,2	286,899	2244,502	316,475	2289,544	346,051	2334,586	375,627	2379,628	405,203	2424,669
	1,15	292,863	2121,930	324,202	2155,412	355,541	2188,893	386,880	2222,374	418,219	2255,856
Balance	1	309,269	1733,406	346,955	1725,269	384,640	1717,133	422,326	1708,997	460,012	1700,861
Patah Tarik	0,8	342,140	1603,292	385,865	1593,852	429,589	1584,412	446,365	1642,419	486,734	1633,703
	0,7	360,784	1537,397	408,823	1527,025	456,862	1516,654	473,314	1574,972	517,039	1565,531
	0,6	366,202	1393,956	416,726	1371,828	467,249	1349,701	504,900	1506,282	552,939	1495,911
	0,5	332,107	1091,034	379,604	1049,063	427,101	1007,092	517,773	1327,573	568,296	1305,446
Lentur Murni	Pn = 0	176,755	0	231,038	0	285,023	0	338,830	0	392,525	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-1060,288	0	-1413,717	0	-1767,146	0	-2120,575	0	-2474,004



Lampiran 1. 45 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 4 Arah X



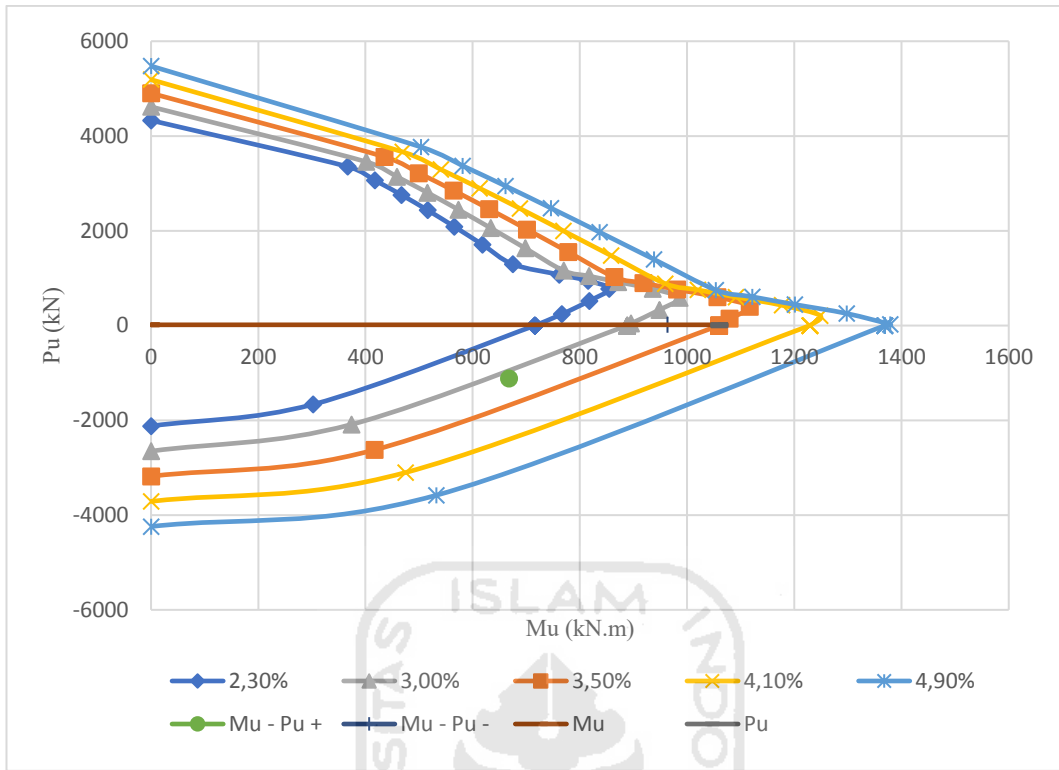
Lampiran 1. 46 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 6 Kode 4 Arah Z

**Lampiran 1. 47 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 5 Kode 4 Arah X**

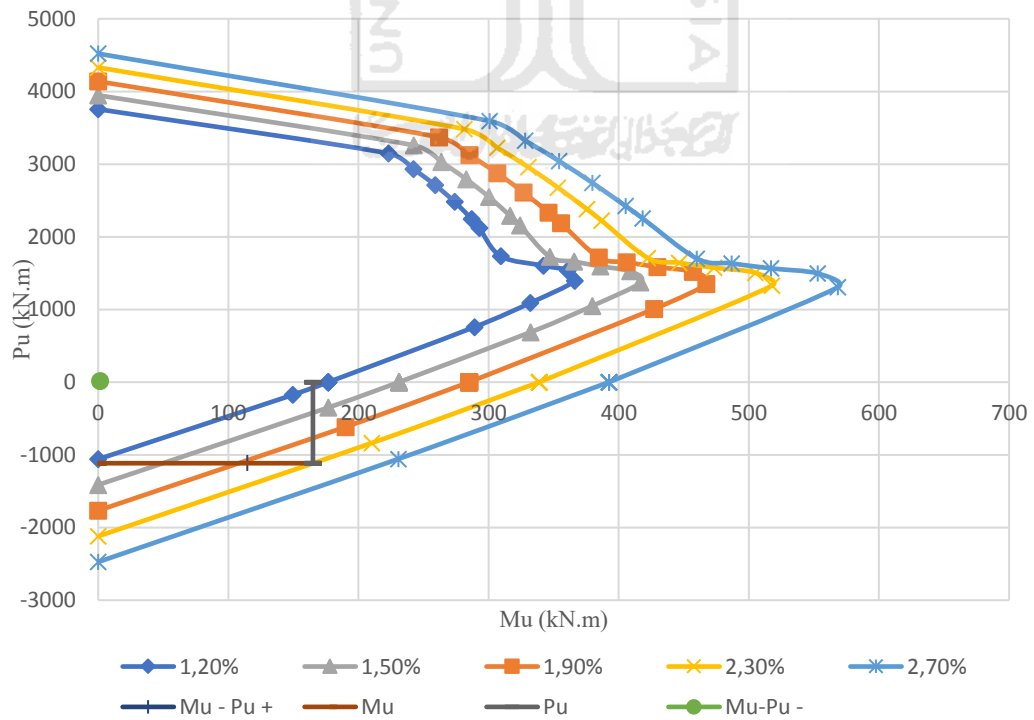
		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	3926,991	8D25	4908,739	10D25	5890,486	12D25	6872,234	14D25	7853,982	16D25
	AS'	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25
Rasio Tulangan		2,30%		3,00%		3,50%		4,10%		4,90%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	5411,892	0	5770,365	0	6128,837	0	6487,310	0	6845,783
Patah Desak	1,6	367,111	3352,983	401,311	3456,521	435,510	3560,058	469,710	3663,596	503,910	3767,133
	1,5	417,736	3062,950	458,649	3139,899	499,562	3216,847	540,476	3293,796	581,389	3370,744
	1,4	467,108	2757,723	515,694	2804,284	564,281	2850,845	612,867	2897,407	661,453	2943,968
	1,3	516,14	2433,796	573,553	2445,295	630,993	2456,794	688,432	2468,293	745,872	2479,791
	1,2	565,933	2086,495	633,701	2057,087	701,470	2027,680	769,238	1998,273	837,006	1968,865
	1,1	618,176	1709,443	698,151	1631,692	778,126	1553,941	858,101	1476,190	938,076	1398,439
Balance	1	675,095	1293,717	769,718	1157,953	864,342	1022,190	958,965	886,426	1053,588	750,663
Patah Tarik	0,8	761,689	1074,818	817,298	1043,669	918,661	898,236	1020,024	752,803	1121,387	607,370
	0,7	815,244	946,720	871,476	917,298	981,263	759,777	1091,051	602,257	1200,838	444,737
	0,6	855,024	774,012	935,862	773,659	1056,481	600,598	1177,099	427,537	1297,718	254,476
	0,5	817,479	519,690	986,040	586,032	1117,057	398,052	1248,074	210,071	1379,091	22,091
Lentur Murni	Pn = 0	716,130	0	888,371	0	1059,274	0	1216,520	0	1368,983	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-2120,575	0	-2650,719	0	-3180,863	0	-3711,006	0	-4241,150

**Lampiran 1. 48 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 5 Kode 4 Arah Z**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	Kanan	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
	Kiri	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
Rasio Tulangan		1,20%		1,50%		1,90%		2,30%		2,70%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	4694,946	0	4933,928	0	5172,910	0	5411,892	0	5650,874
Patah Desak	1,6	223,121	3147,046	242,560	3258,560	261,999	3370,074	281,438	3481,588	300,876	3593,103
	1,5	242,206	2931,381	263,672	3029,600	285,138	3127,820	306,604	3226,040	328,070	3324,260
	1,4	259,052	2710,018	282,835	2793,044	306,618	2876,070	330,402	2959,096	354,185	3042,122
	1,3	273,861	2481,643	300,317	2547,138	326,774	2612,633	353,231	2678,128	379,688	2743,622
	1,2	286,899	2244,502	316,475	2289,544	346,051	2334,586	375,627	2379,628	405,203	2424,669
	1,15	292,863	2121,930	324,202	2155,412	355,541	2188,893	386,880	2222,374	418,219	2255,856
Balance	1	309,269	1733,406	346,955	1725,269	384,640	1717,133	422,326	1708,997	460,012	1700,861
Patah Tarik	0,8	342,140	1603,292	385,865	1593,852	429,589	1584,412	446,365	1642,419	486,734	1633,703
	0,7	360,784	1537,397	408,823	1527,025	456,862	1516,654	473,314	1574,972	517,039	1565,531
	0,6	366,202	1393,956	416,726	1371,828	467,249	1349,701	504,900	1506,282	552,939	1495,911
	0,5	332,107	1091,034	379,604	1049,063	427,101	1007,092	517,773	1327,573	568,296	1305,446
Lentur Murni	Pn = 0	176,755	0	231,038	0	285,023	0	338,830	0	392,525	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-1060,288	0	-1413,717	0	-1767,146	0	-2120,575	0	-2474,004



Lampiran 1. 49 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 5 Kode 4 Arah X



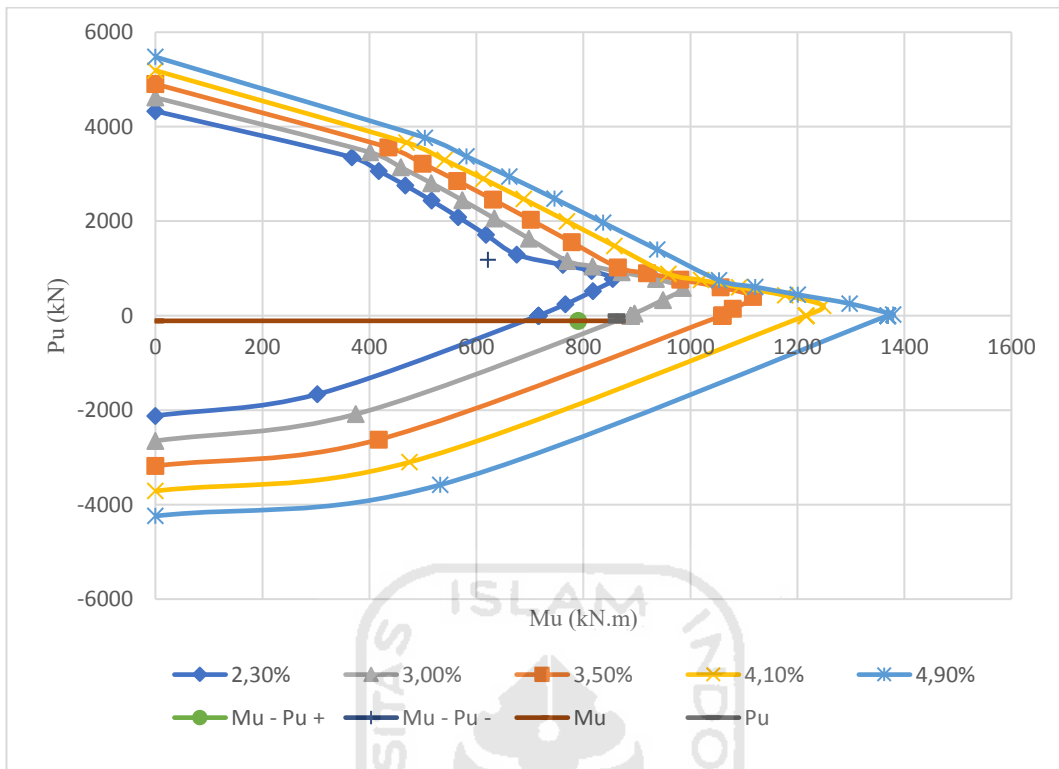
Lampiran 1. 50 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 5 Kode 4 Arah Z

**Lampiran 1. 51 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 4 Kode 4 Arah X**

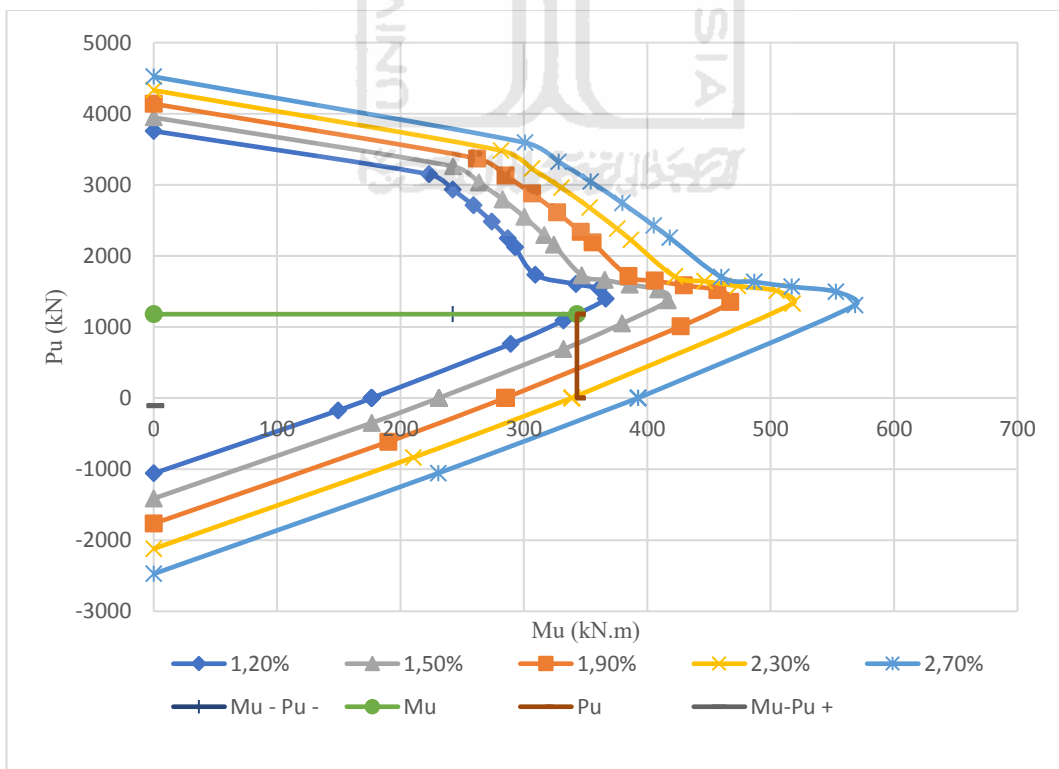
		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	3926,991	8D25	4908,739	10D25	5890,486	12D25	6872,234	14D25	7853,982	16D25
	AS'	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25
Rasio Tulangan		2,30%		3,00%		3,50%		4,10%		4,90%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	5411,892	0	5770,365	0	6128,837	0	6487,310	0	6845,783
Patah Desak	1,6	367,111	3352,983	401,311	3456,521	435,510	3560,058	469,710	3663,596	503,910	3767,133
	1,5	417,736	3062,950	458,649	3139,899	499,562	3216,847	540,476	3293,796	581,389	3370,744
	1,4	467,108	2757,723	515,694	2804,284	564,281	2850,845	612,867	2897,407	661,453	2943,968
	1,3	516,14	2433,796	573,553	2445,295	630,993	2456,794	688,432	2468,293	745,872	2479,791
	1,2	565,933	2086,495	633,701	2057,087	701,470	2027,680	769,238	1998,273	837,006	1968,865
	1,1	618,176	1709,443	698,151	1631,692	778,126	1553,941	858,101	1476,190	938,076	1398,439
Balance	1	675,095	1293,717	769,718	1157,953	864,342	1022,190	958,965	886,426	1053,588	750,663
Patah Tarik	0,8	761,689	1074,818	817,298	1043,669	918,661	898,236	1020,024	752,803	1121,387	607,370
	0,7	815,244	946,720	871,476	917,298	981,263	759,777	1091,051	602,257	1200,838	444,737
	0,6	855,024	774,012	935,862	773,659	1056,481	600,598	1177,099	427,537	1297,718	254,476
	0,5	817,479	519,690	986,040	586,032	1117,057	398,052	1248,074	210,071	1379,091	22,091
Lentur Murni	Pn = 0	716,130	0	888,371	0	1059,274	0	1216,520	0	1368,983	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-2120,575	0	-2650,719	0	-3180,863	0	-3711,006	0	-4241,150

**Lampiran 1. 52 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 4 Kode 4 Arah Z**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	Kanan	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
	Kiri	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
Rasio Tulangan		1,20%		1,50%		1,90%		2,30%		2,70%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	4694,946	0	4933,928	0	5172,910	0	5411,892	0	5650,874
Patah Desak	1,6	223,121	3147,046	242,560	3258,560	261,999	3370,074	281,438	3481,588	300,876	3593,103
	1,5	242,206	2931,381	263,672	3029,600	285,138	3127,820	306,604	3226,040	328,070	3324,260
	1,4	259,052	2710,018	282,835	2793,044	306,618	2876,070	330,402	2959,096	354,185	3042,122
	1,3	273,861	2481,643	300,317	2547,138	326,774	2612,633	353,231	2678,128	379,688	2743,622
	1,2	286,899	2244,502	316,475	2289,544	346,051	2334,586	375,627	2379,628	405,203	2424,669
	1,15	292,863	2121,930	324,202	2155,412	355,541	2188,893	386,880	2222,374	418,219	2255,856
Balance	1	309,269	1733,406	346,955	1725,269	384,640	1717,133	422,326	1708,997	460,012	1700,861
Patah Tarik	0,8	342,140	1603,292	385,865	1593,852	429,589	1584,412	446,365	1642,419	486,734	1633,703
	0,7	360,784	1537,397	408,823	1527,025	456,862	1516,654	473,314	1574,972	517,039	1565,531
	0,6	366,202	1393,956	416,726	1371,828	467,249	1349,701	504,900	1506,282	552,939	1495,911
	0,5	332,107	1091,034	379,604	1049,063	427,101	1007,092	517,773	1327,573	568,296	1305,446
Lentur Murni	Pn = 0	176,755	0	231,038	0	285,023	0	338,830	0	392,525	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-1060,288	0	-1413,717	0	-1767,146	0	-2120,575	0	-2474,004



Lampiran 1. 53 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 4 Kode 3 Arah X



Lampiran 1. 54 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 4 Kode 4 Arah Z

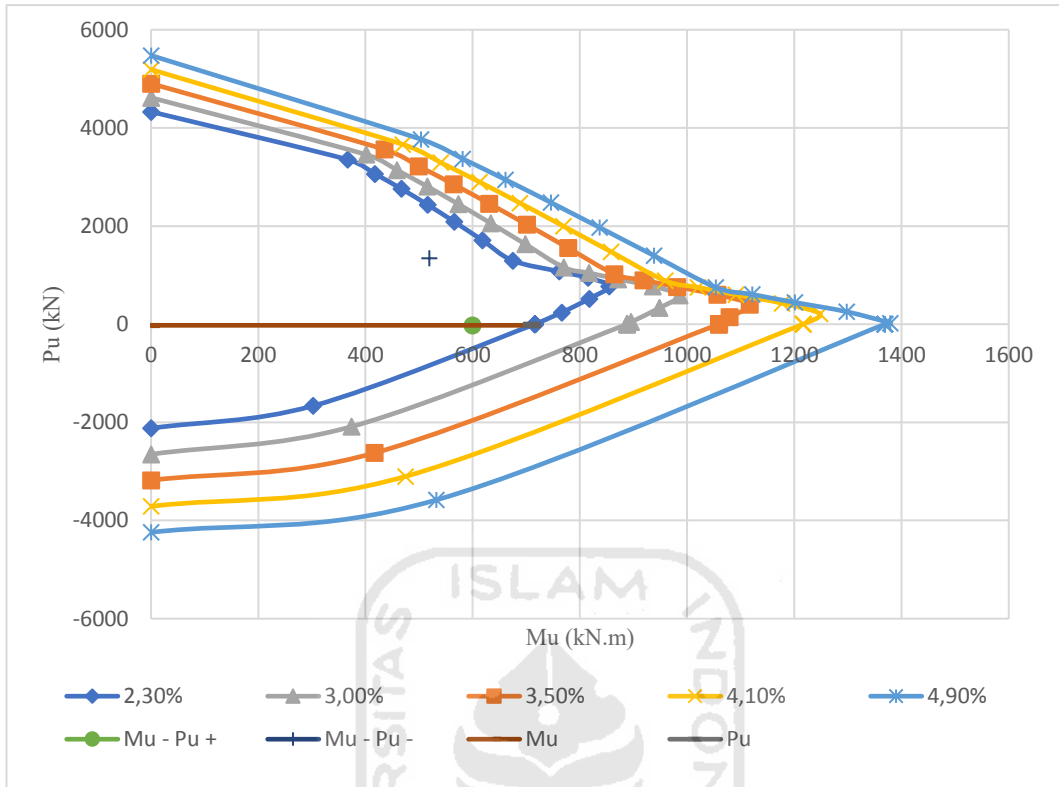


**Lampiran 1. 55 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 4 Arah X**

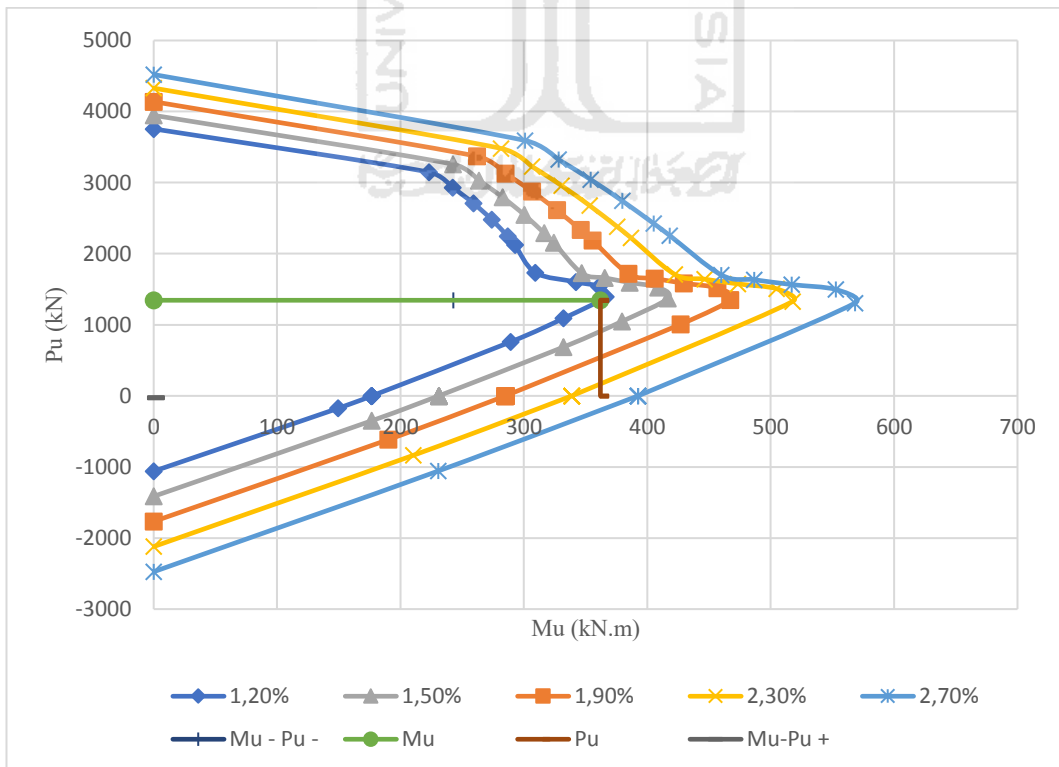
		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	3926,991	8D25	4908,739	10D25	5890,486	12D25	6872,234	14D25	7853,982	16D25
	AS'	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25
Rasio Tulangan		2,30%		3,00%		3,50%		4,10%		4,90%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	5411,892	0	5770,365	0	6128,837	0	6487,310	0	6845,783
Patah Desak	1,6	367,111	3352,983	401,311	3456,521	435,510	3560,058	469,710	3663,596	503,910	3767,133
	1,5	417,736	3062,950	458,649	3139,899	499,562	3216,847	540,476	3293,796	581,389	3370,744
	1,4	467,108	2757,723	515,694	2804,284	564,281	2850,845	612,867	2897,407	661,453	2943,968
	1,3	516,14	2433,796	573,553	2445,295	630,993	2456,794	688,432	2468,293	745,872	2479,791
	1,2	565,933	2086,495	633,701	2057,087	701,470	2027,680	769,238	1998,273	837,006	1968,865
	1,1	618,176	1709,443	698,151	1631,692	778,126	1553,941	858,101	1476,190	938,076	1398,439
Balance	1	675,095	1293,717	769,718	1157,953	864,342	1022,190	958,965	886,426	1053,588	750,663
Patah Tarik	0,8	761,689	1074,818	817,298	1043,669	918,661	898,236	1020,024	752,803	1121,387	607,370
	0,7	815,244	946,720	871,476	917,298	981,263	759,777	1091,051	602,257	1200,838	444,737
	0,6	855,024	774,012	935,862	773,659	1056,481	600,598	1177,099	427,537	1297,718	254,476
	0,5	817,479	519,690	986,040	586,032	1117,057	398,052	1248,074	210,071	1379,091	22,091
Lentur Murni	Pn = 0	716,130	0	888,371	0	1059,274	0	1216,520	0	1368,983	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-2120,575	0	-2650,719	0	-3180,863	0	-3711,006	0	-4241,150

**Lampiran 1. 56 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 4 Arah Z**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	Kanan	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
	Kiri	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
Rasio Tulangan		1,20%		1,50%		1,90%		2,30%		2,70%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	4694,946	0	4933,928	0	5172,910	0	5411,892	0	5650,874
Patah Desak	1,6	223,121	3147,046	242,560	3258,560	261,999	3370,074	281,438	3481,588	300,876	3593,103
	1,5	242,206	2931,381	263,672	3029,600	285,138	3127,820	306,604	3226,040	328,070	3324,260
	1,4	259,052	2710,018	282,835	2793,044	306,618	2876,070	330,402	2959,096	354,185	3042,122
	1,3	273,861	2481,643	300,317	2547,138	326,774	2612,633	353,231	2678,128	379,688	2743,622
	1,2	286,899	2244,502	316,475	2289,544	346,051	2334,586	375,627	2379,628	405,203	2424,669
	1,15	292,863	2121,930	324,202	2155,412	355,541	2188,893	386,880	2222,374	418,219	2255,856
Balance	1	309,269	1733,406	346,955	1725,269	384,640	1717,133	422,326	1708,997	460,012	1700,861
Patah Tarik	0,8	342,140	1603,292	385,865	1593,852	429,589	1584,412	446,365	1642,419	486,734	1633,703
	0,7	360,784	1537,397	408,823	1527,025	456,862	1516,654	473,314	1574,972	517,039	1565,531
	0,6	366,202	1393,956	416,726	1371,828	467,249	1349,701	504,900	1506,282	552,939	1495,911
	0,5	332,107	1091,034	379,604	1049,063	427,101	1007,092	517,773	1327,573	568,296	1305,446
Lentur Murni	Pn = 0	176,755	0	231,038	0	285,023	0	338,830	0	392,525	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-1060,288	0	-1413,717	0	-1767,146	0	-2120,575	0	-2474,004



**Lampiran 1. 57 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 4 Arah X**



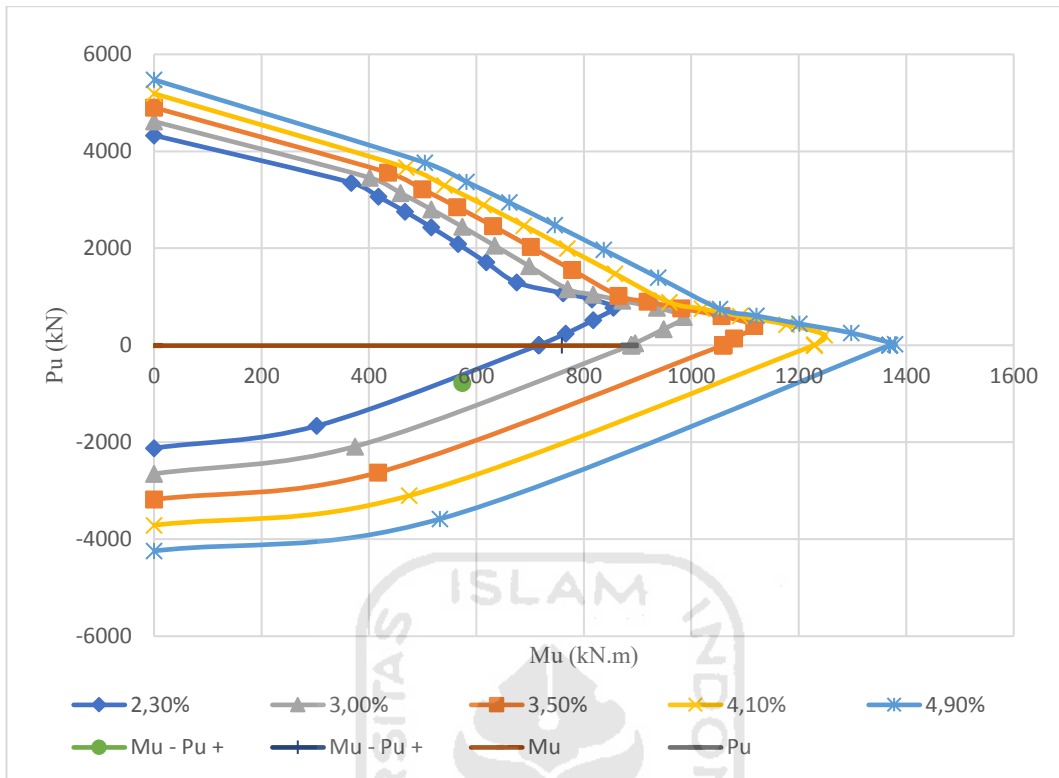
**Lampiran 1. 58 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 4 Arah Z**

**Lampiran 1. 59 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 5 Arah X**

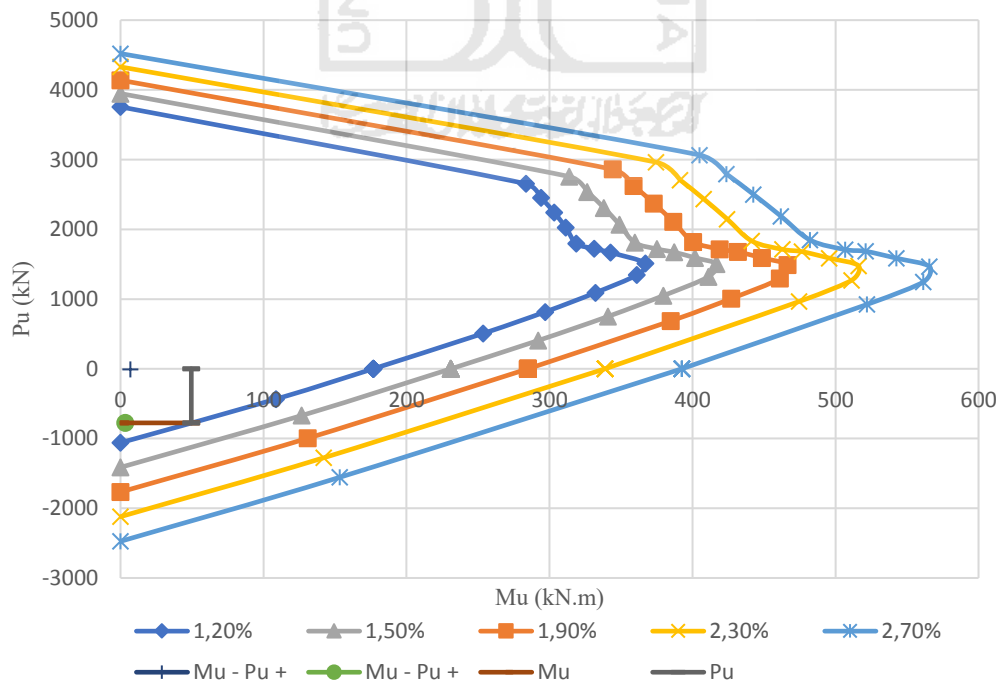
		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	3926,991	8D25	4908,739	10D25	5890,486	12D25	6872,234	14D25	7853,982	16D25
	AS'	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25
Rasio Tulangan		2,30%		3,00%		3,50%		4,10%		4,90%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	5411,892	0	5770,365	0	6128,837	0	6487,310	0	6845,783
Patah Desak	1,6	367,111	3352,983	401,311	3456,521	435,510	3560,058	469,710	3663,596	503,910	3767,133
	1,5	417,736	3062,950	458,649	3139,899	499,562	3216,847	540,476	3293,796	581,389	3370,744
	1,4	467,108	2757,723	515,694	2804,284	564,281	2850,845	612,867	2897,407	661,453	2943,968
	1,3	516,14	2433,796	573,553	2445,295	630,993	2456,794	688,432	2468,293	745,872	2479,791
	1,2	565,933	2086,495	633,701	2057,087	701,470	2027,680	769,238	1998,273	837,006	1968,865
	1,1	618,176	1709,443	698,151	1631,692	778,126	1553,941	858,101	1476,190	938,076	1398,439
Balance	1	675,095	1293,717	769,718	1157,953	864,342	1022,190	958,965	886,426	1053,588	750,663
Patah Tarik	0,8	761,689	1074,818	817,298	1043,669	918,661	898,236	1020,024	752,803	1121,387	607,370
	0,7	815,244	946,720	871,476	917,298	981,263	759,777	1091,051	602,257	1200,838	444,737
	0,6	855,024	774,012	935,862	773,659	1056,481	600,598	1177,099	427,537	1297,718	254,476
	0,5	817,479	519,690	986,040	586,032	1117,057	398,052	1248,074	210,071	1379,091	22,091
Lentur Murni	Pn = 0	716,130	0	888,371	0	1059,274	0	1216,520	0	1368,983	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-2120,575	0	-2650,719	0	-3180,863	0	-3711,006	0	-4241,150

**Lampiran 1. 60 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 5 Arah Z**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	Kanan	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
	Kiri	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
Rasio Tulangan		1,20%		1,50%		1,90%		2,30%		2,70%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	4694,946	0	4933,928	0	5172,910	0	5411,892	0	5650,874
Patah Desak	1,6	223,121	3147,046	242,560	3258,560	261,999	3370,074	281,438	3481,588	300,876	3593,103
	1,5	242,206	2931,381	263,672	3029,600	285,138	3127,820	306,604	3226,040	328,070	3324,260
	1,4	259,052	2710,018	282,835	2793,044	306,618	2876,070	330,402	2959,096	354,185	3042,122
	1,3	273,861	2481,643	300,317	2547,138	326,774	2612,633	353,231	2678,128	379,688	2743,622
	1,2	286,899	2244,502	316,475	2289,544	346,051	2334,586	375,627	2379,628	405,203	2424,669
	1,15	292,863	2121,930	324,202	2155,412	355,541	2188,893	386,880	2222,374	418,219	2255,856
Balance	1	309,269	1733,406	346,955	1725,269	384,640	1717,133	422,326	1708,997	460,012	1700,861
Patah Tarik	0,8	342,140	1603,292	385,865	1593,852	429,589	1584,412	446,365	1642,419	486,734	1633,703
	0,7	360,784	1537,397	408,823	1527,025	456,862	1516,654	473,314	1574,972	517,039	1565,531
	0,6	366,202	1393,956	416,726	1371,828	467,249	1349,701	504,900	1506,282	552,939	1495,911
	0,5	332,107	1091,034	379,604	1049,063	427,101	1007,092	517,773	1327,573	568,296	1305,446
Lentur Murni	Pn = 0	176,755	0	231,038	0	285,023	0	338,830	0	392,525	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-1060,288	0	-1413,717	0	-1767,146	0	-2120,575	0	-2474,004



Lampiran 1. 61 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 5 Arah X



Lampiran 1. 62 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 3 Kode 5 Arah Z

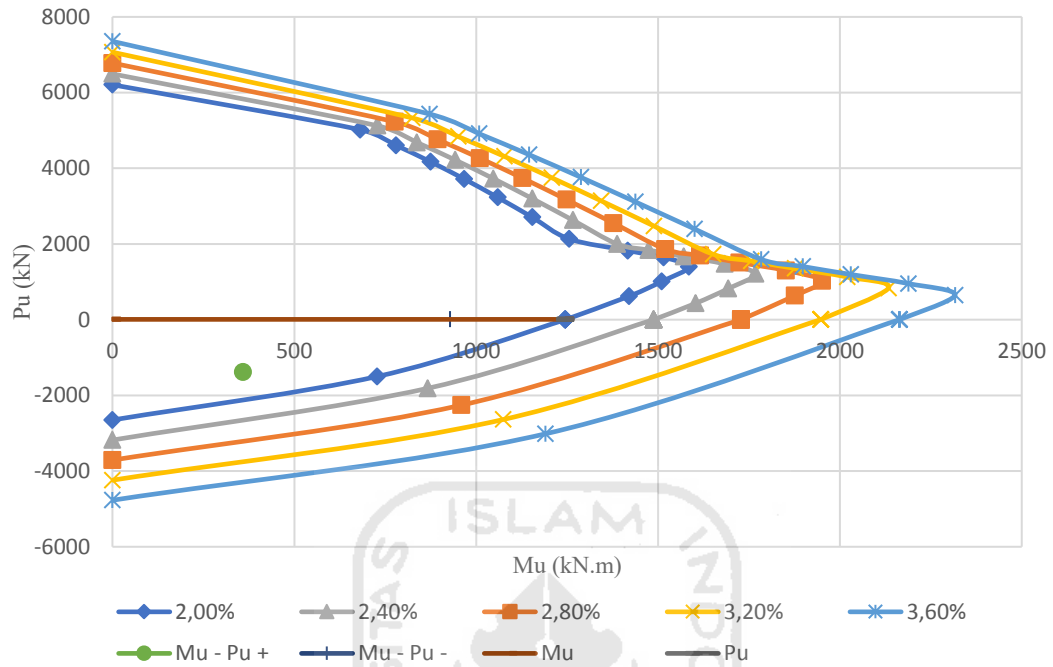
**Lampiran 1. 63 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B1 Lantai 3 Kode 6 Arah X**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	4908,739	10D25	5890,486	12D25	6872,234	14D25	7853,982	16D25	8835,729	18D25
	AS'	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25	4417,865	9D25
Rasio Tulangan		2,00%		2,40%		2,80%		3,20%		3,60%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	7759,365	0	8117,837	0	8476,310	0	8834,783	0	9193,256
Patah Desak	1,6	680,645	5020,684	728,389	5124,222	776,133	5227,760	823,877	5331,297	871,621	5434,835
	1,5	779,533	4606,302	836,649	4683,251	893,766	4760,199	950,883	4837,148	1008,000	4914,096
	1,4	874,496	4172,928	942,324	4219,489	1010,153	4266,050	1077,981	4312,611	1145,809	4359,172
	1,3	967,079	3716,178	1047,267	3727,677	1127,455	3739,176	1207,643	3750,674	1287,831	3762,173
	1,2	1059,343	3230,210	1153,951	3200,803	1248,558	3171,395	1343,165	3141,988	1437,772	3112,581
	1,1	1154,096	2707,055	1265,745	2629,304	1377,393	2551,553	1489,042	2473,802	1600,690	2396,050
Balance	1	1255,271	2135,556	1387,369	1999,792	1519,467	1864,029	1651,564	1728,265	1783,662	1592,502
Patah Tarik	0,8	1416,986	1824,713	1570,253	1667,193	1723,520	1509,673	1876,787	1352,152	2030,055	1194,632
	0,7	1514,806	1645,981	1683,195	1472,920	1851,583	1299,859	2019,971	1126,798	2188,360	953,737
	0,6	1585,094	1398,194	1767,999	1210,214	1950,903	1022,233	2133,808	834,253	2316,712	646,273
Lentur Murni	Pn = 0	1245,392	0	1487,781	0	1728,183	0	1946,921	0	2163,585	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-2650,719	0	-3180,863	0	-3711,006	0	-4241,150	0	-4771,294

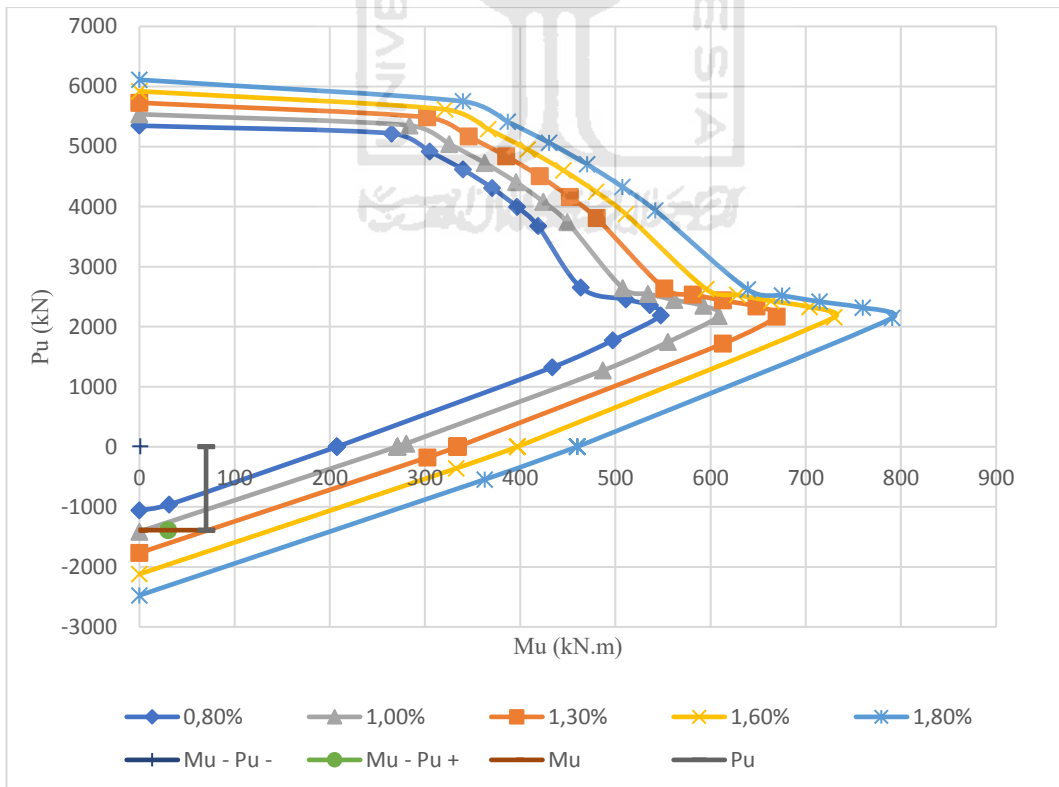
**Lampiran 1. 64 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B1 Lantai 3 Kode 6 Arah Z**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	Kanan	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
	Kiri	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
Rasio Tulangan		0,80%		1,00%		1.30%		1.60%		1.80%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	6683,946	0	6922,928	0	7161,910	0	7400,892	0	7639,874
Patah Desak	1,8	264,938	5218,174	283,630	5351,846	302,323	5485,518	321,015	5619,190	339,708	5752,861
	1,7	304,797	4919,273	325,341	5042,518	345,884	5165,763	366,427	5289,007	386,971	5412,252
	1,6	339,950	4616,462	362,575	4727,976	385,201	4839,491	407,826	4951,005	430,452	5062,519
	1,5	370,534	4308,959	395,519	4407,178	420,504	4505,398	445,490	4603,618	470,475	4701,838
	1,4	396,728	3995,757	424,410	4078,784	452,092	4161,810	479,774	4244,836	507,457	4327,862
	1,3	418,765	3675,544	449,559	3741,039	480,353	3806,534	511,147	3872,028	541,941	3937,523
Balance	1	463,673	2651,791	507,537	2643,655	551,400	2635,518	595,264	2627,382	639,127	2619,246
Patah Tarik	0,8	511,054	2455,742	561,947	2446,302	612,840	2436,862	663,733	2427,421	714,626	2417,981
	0,7	536,355	2356,879	592,269	2346,508	648,183	2336,136	704,097	2325,765	760,011	2315,393
	0,6	547,830	2189,508	608,564	2178,242	669,298	2166,976	730,032	2155,711	790,766	2144,445
Lentur Murni	Pn = 0	207,449	0	271,017	0	334,181	0	397,093	0	459,835	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-1060,288	0	-1413,717	0	-1767,146	0	-2120,575	0	-2474,004





Lampiran 1. 65 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B1 Lantai 3 Kode 6 Arah X



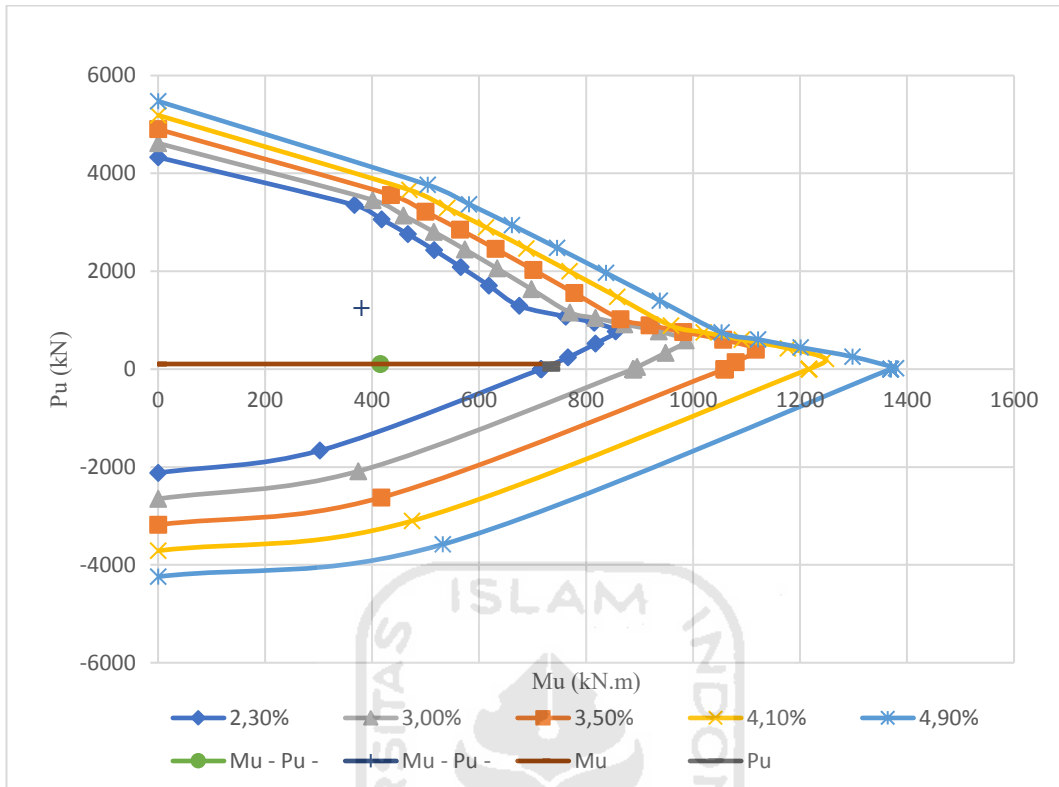
Lampiran 1. 66 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B1 Lantai 3 Kode 6 Arah

**Lampiran 1. 67 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 4 Arah X**

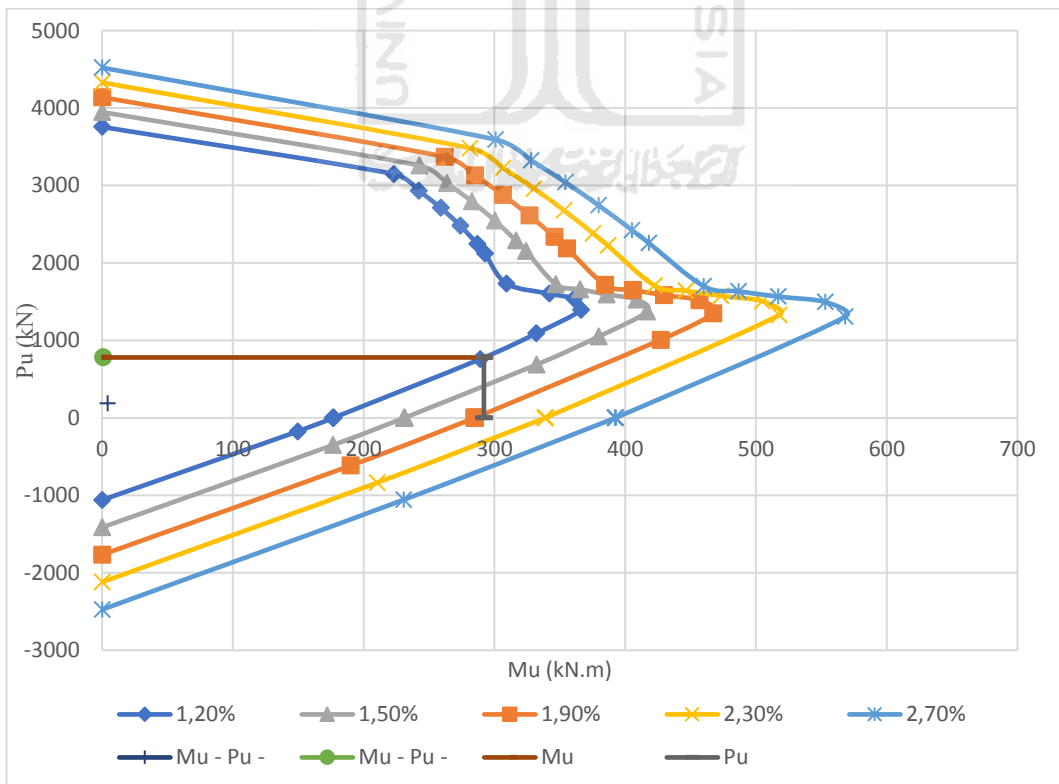
		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	3926,991	8D25	4908,739	10D25	5890,486	12D25	6872,234	14D25	7853,982	16D25
	AS'	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25
Rasio Tulangan		2,30%		3,00%		3,50%		4,10%		4,90%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	5411,892	0	5770,365	0	6128,837	0	6487,310	0	6845,783
Patah Desak	1,6	367,111	3352,983	401,311	3456,521	435,510	3560,058	469,710	3663,596	503,910	3767,133
	1,5	417,736	3062,950	458,649	3139,899	499,562	3216,847	540,476	3293,796	581,389	3370,744
	1,4	467,108	2757,723	515,694	2804,284	564,281	2850,845	612,867	2897,407	661,453	2943,968
	1,3	516,14	2433,796	573,553	2445,295	630,993	2456,794	688,432	2468,293	745,872	2479,791
	1,2	565,933	2086,495	633,701	2057,087	701,470	2027,680	769,238	1998,273	837,006	1968,865
	1,1	618,176	1709,443	698,151	1631,692	778,126	1553,941	858,101	1476,190	938,076	1398,439
Balance	1	675,095	1293,717	769,718	1157,953	864,342	1022,190	958,965	886,426	1053,588	750,663
Patah Tarik	0,8	761,689	1074,818	817,298	1043,669	918,661	898,236	1020,024	752,803	1121,387	607,370
	0,7	815,244	946,720	871,476	917,298	981,263	759,777	1091,051	602,257	1200,838	444,737
	0,6	855,024	774,012	935,862	773,659	1056,481	600,598	1177,099	427,537	1297,718	254,476
	0,5	817,479	519,690	986,040	586,032	1117,057	398,052	1248,074	210,071	1379,091	22,091
Lentur Murni	Pn = 0	716,130	0	888,371	0	1059,274	0	1216,520	0	1368,983	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-2120,575	0	-2650,719	0	-3180,863	0	-3711,006	0	-4241,150

**Lampiran 1. 68 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 4 Arah Z**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	Kanan	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
	Kiri	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
Rasio Tulangan		1,20%		1,50%		1,90%		2,30%		2,70%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	4694,946	0	4933,928	0	5172,910	0	5411,892	0	5650,874
Patah Desak	1,6	223,121	3147,046	242,560	3258,560	261,999	3370,074	281,438	3481,588	300,876	3593,103
	1,5	242,206	2931,381	263,672	3029,600	285,138	3127,820	306,604	3226,040	328,070	3324,260
	1,4	259,052	2710,018	282,835	2793,044	306,618	2876,070	330,402	2959,096	354,185	3042,122
	1,3	273,861	2481,643	300,317	2547,138	326,774	2612,633	353,231	2678,128	379,688	2743,622
	1,2	286,899	2244,502	316,475	2289,544	346,051	2334,586	375,627	2379,628	405,203	2424,669
	1,15	292,863	2121,930	324,202	2155,412	355,541	2188,893	386,880	2222,374	418,219	2255,856
Balance	1	309,269	1733,406	346,955	1725,269	384,640	1717,133	422,326	1708,997	460,012	1700,861
Patah Tarik	0,8	342,140	1603,292	385,865	1593,852	429,589	1584,412	446,365	1642,419	486,734	1633,703
	0,7	360,784	1537,397	408,823	1527,025	456,862	1516,654	473,314	1574,972	517,039	1565,531
	0,6	366,202	1393,956	416,726	1371,828	467,249	1349,701	504,900	1506,282	552,939	1495,911
	0,5	332,107	1091,034	379,604	1049,063	427,101	1007,092	517,773	1327,573	568,296	1305,446
Lentur Murni	Pn = 0	176,755	0	231,038	0	285,023	0	338,830	0	392,525	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-1060,288	0	-1413,717	0	-1767,146	0	-2120,575	0	-2474,004



Lampiran 1. 69 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 4 Arah X



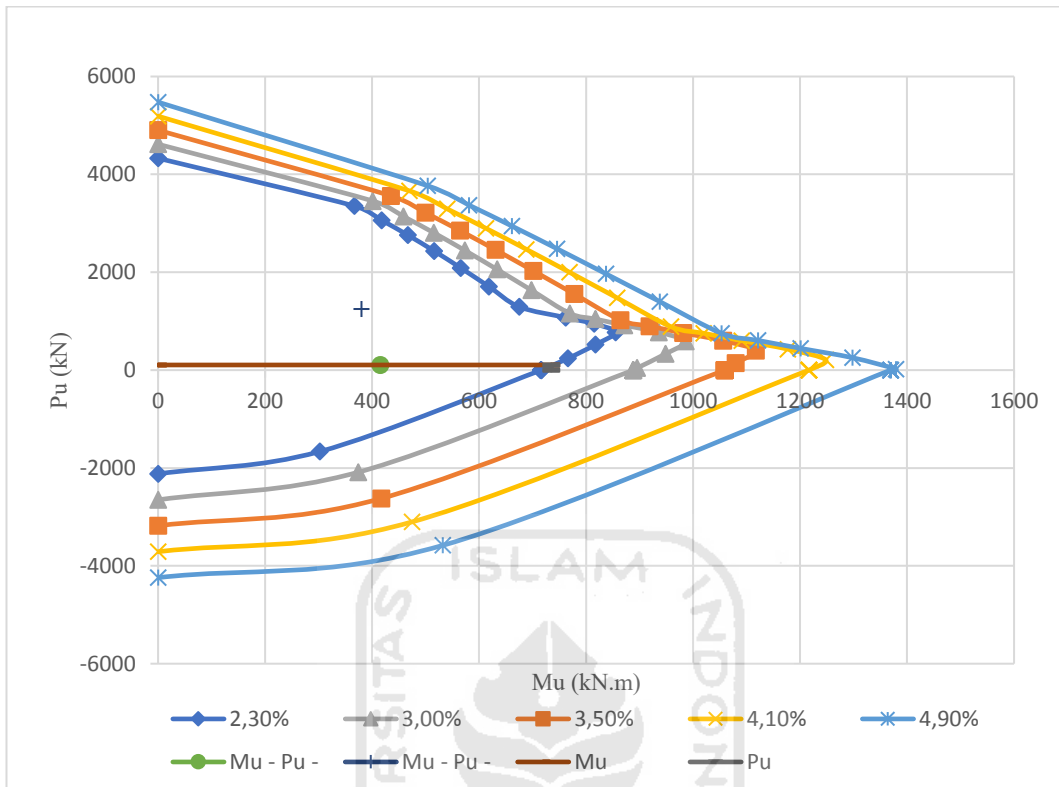
Lampiran 1. 70 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 4 Arah Z

**Lampiran 1. 71 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 5 Arah X**

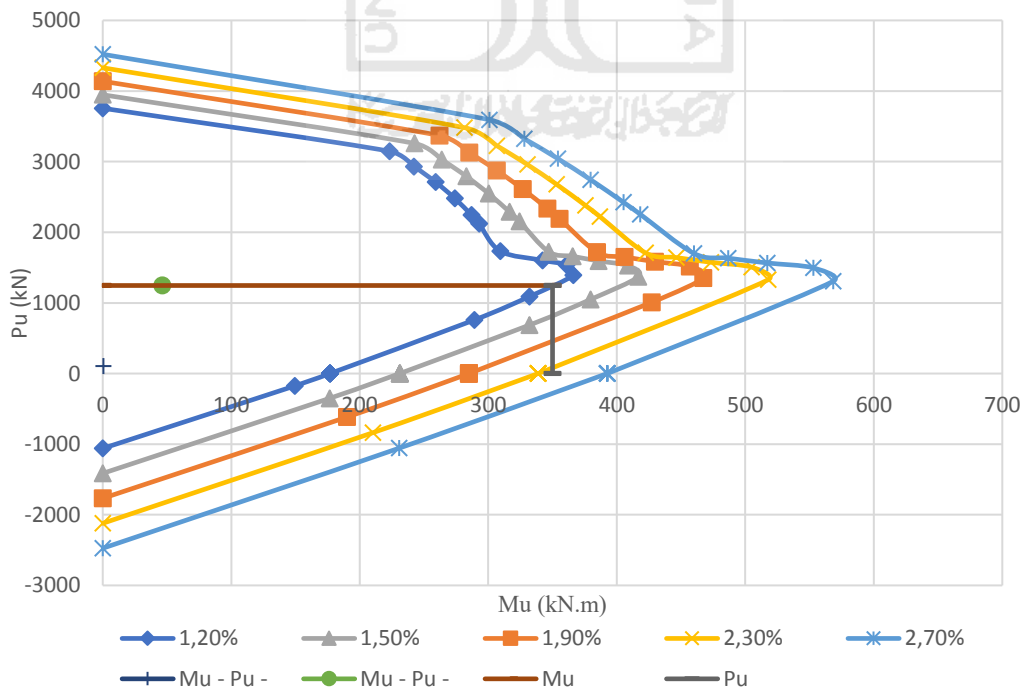
		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	3926,991	8D25	4908,739	10D25	5890,486	12D25	6872,234	14D25	7853,982	16D25
	AS'	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25
Rasio Tulangan		2,30%		3,00%		3,50%		4,10%		4,90%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	5411,892	0	5770,365	0	6128,837	0	6487,310	0	6845,783
Patah Desak	1,6	367,111	3352,983	401,311	3456,521	435,510	3560,058	469,710	3663,596	503,910	3767,133
	1,5	417,736	3062,950	458,649	3139,899	499,562	3216,847	540,476	3293,796	581,389	3370,744
	1,4	467,108	2757,723	515,694	2804,284	564,281	2850,845	612,867	2897,407	661,453	2943,968
	1,3	516,14	2433,796	573,553	2445,295	630,993	2456,794	688,432	2468,293	745,872	2479,791
	1,2	565,933	2086,495	633,701	2057,087	701,470	2027,680	769,238	1998,273	837,006	1968,865
	1,1	618,176	1709,443	698,151	1631,692	778,126	1553,941	858,101	1476,190	938,076	1398,439
Balance	1	675,095	1293,717	769,718	1157,953	864,342	1022,190	958,965	886,426	1053,588	750,663
Patah Tarik	0,8	761,689	1074,818	817,298	1043,669	918,661	898,236	1020,024	752,803	1121,387	607,370
	0,7	815,244	946,720	871,476	917,298	981,263	759,777	1091,051	602,257	1200,838	444,737
	0,6	855,024	774,012	935,862	773,659	1056,481	600,598	1177,099	427,537	1297,718	254,476
	0,5	817,479	519,690	986,040	586,032	1117,057	398,052	1248,074	210,071	1379,091	22,091
Lentur Murni	Pn = 0	716,130	0	888,371	0	1059,274	0	1216,520	0	1368,983	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-2120,575	0	-2650,719	0	-3180,863	0	-3711,006	0	-4241,150

**Lampiran 1. 72 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 5 Arah Z**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	Kanan	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
	Kiri	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
Rasio Tulangan		1,20%		1,50%		1,90%		2,30%		2,70%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	4694,946	0	4933,928	0	5172,910	0	5411,892	0	5650,874
Patah Desak	1,6	223,121	3147,046	242,560	3258,560	261,999	3370,074	281,438	3481,588	300,876	3593,103
	1,5	242,206	2931,381	263,672	3029,600	285,138	3127,820	306,604	3226,040	328,070	3324,260
	1,4	259,052	2710,018	282,835	2793,044	306,618	2876,070	330,402	2959,096	354,185	3042,122
	1,3	273,861	2481,643	300,317	2547,138	326,774	2612,633	353,231	2678,128	379,688	2743,622
	1,2	286,899	2244,502	316,475	2289,544	346,051	2334,586	375,627	2379,628	405,203	2424,669
	1,15	292,863	2121,930	324,202	2155,412	355,541	2188,893	386,880	2222,374	418,219	2255,856
Balance	1	309,269	1733,406	346,955	1725,269	384,640	1717,133	422,326	1708,997	460,012	1700,861
Patah Tarik	0,8	342,140	1603,292	385,865	1593,852	429,589	1584,412	446,365	1642,419	486,734	1633,703
	0,7	360,784	1537,397	408,823	1527,025	456,862	1516,654	473,314	1574,972	517,039	1565,531
	0,6	366,202	1393,956	416,726	1371,828	467,249	1349,701	504,900	1506,282	552,939	1495,911
	0,5	332,107	1091,034	379,604	1049,063	427,101	1007,092	517,773	1327,573	568,296	1305,446
Lentur Murni	Pn = 0	176,755	0	231,038	0	285,023	0	338,830	0	392,525	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-1060,288	0	-1413,717	0	-1767,146	0	-2120,575	0	-2474,004



Lampiran 1. 73 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 5 Arah X



Lampiran 1. 74 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 2 Kode 5 Arah X

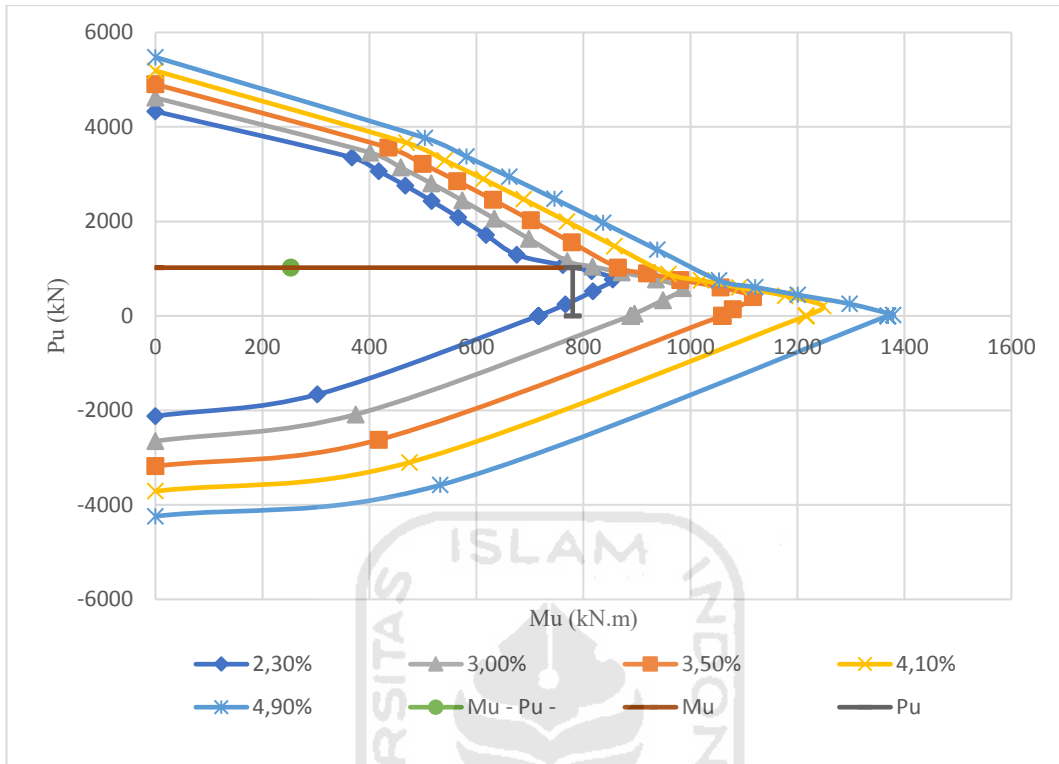
**Lampiran 1. 75 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 1 Kode 4 Arah X**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	3926,991	8D25	4908,739	10D25	5890,486	12D25	6872,234	14D25	7853,982	16D25
	AS'	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25
Rasio Tulangan		2,30%		3,00%		3,50%		4,10%		4,90%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	5411,892	0	5770,365	0	6128,837	0	6487,310	0	6845,783
Patah Desak	1,6	367,111	3352,983	401,311	3456,521	435,510	3560,058	469,710	3663,596	503,910	3767,133
	1,5	417,736	3062,950	458,649	3139,899	499,562	3216,847	540,476	3293,796	581,389	3370,744
	1,4	467,108	2757,723	515,694	2804,284	564,281	2850,845	612,867	2897,407	661,453	2943,968
	1,3	516,14	2433,796	573,553	2445,295	630,993	2456,794	688,432	2468,293	745,872	2479,791
	1,2	565,933	2086,495	633,701	2057,087	701,470	2027,680	769,238	1998,273	837,006	1968,865
	1,1	618,176	1709,443	698,151	1631,692	778,126	1553,941	858,101	1476,190	938,076	1398,439
Balance	1	675,095	1293,717	769,718	1157,953	864,342	1022,190	958,965	886,426	1053,588	750,663
Patah Tarik	0,8	761,689	1074,818	817,298	1043,669	918,661	898,236	1020,024	752,803	1121,387	607,370
	0,7	815,244	946,720	871,476	917,298	981,263	759,777	1091,051	602,257	1200,838	444,737
	0,6	855,024	774,012	935,862	773,659	1056,481	600,598	1177,099	427,537	1297,718	254,476
	0,5	817,479	519,690	986,040	586,032	1117,057	398,052	1248,074	210,071	1379,091	22,091
Lentur Murni	Pn = 0	716,130	0	888,371	0	1059,274	0	1216,520	0	1368,983	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-2120,575	0	-2650,719	0	-3180,863	0	-3711,006	0	-4241,150

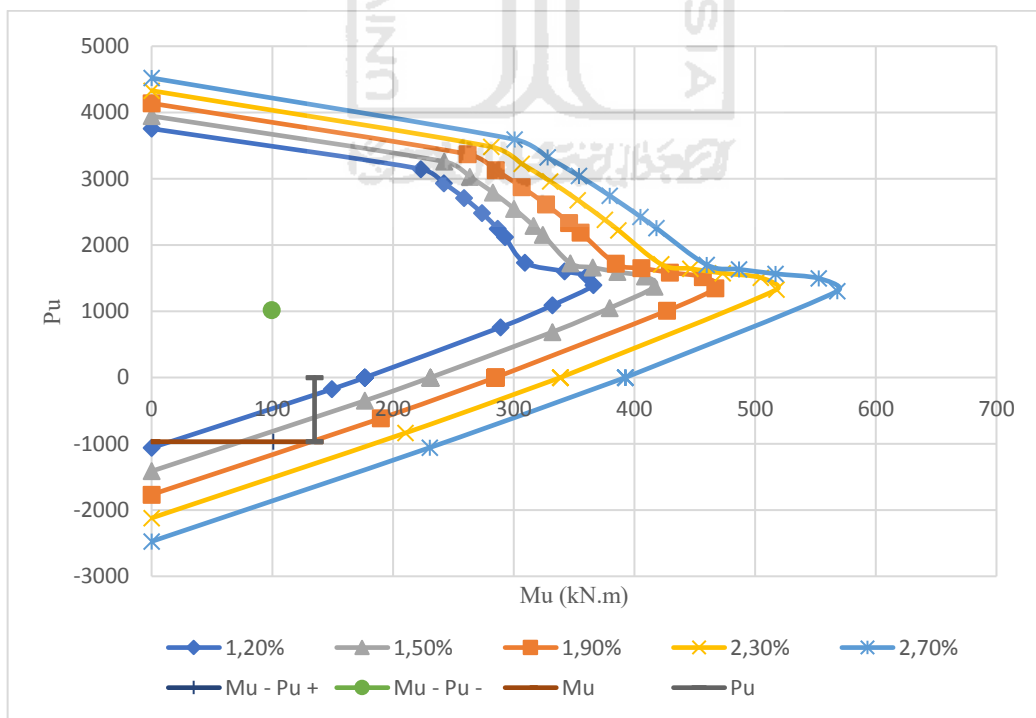


**Lampiran 1. 76 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 1 Kode 4 Arah Z**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	Kanan	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
	Kiri	1472,622	3D25	1963,495	4D25	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25
Rasio Tulangan		1,20%		1,50%		1,90%		2,30%		2,70%	
Desak Sentris	Mn = 0	0	4694,946	0	4933,928	0	5172,910	0	5411,892	0	5650,874
Patah Desak	1,6	223,121	3147,046	242,560	3258,560	261,999	3370,074	281,438	3481,588	300,876	3593,103
	1,5	242,206	2931,381	263,672	3029,600	285,138	3127,820	306,604	3226,040	328,070	3324,260
	1,4	259,052	2710,018	282,835	2793,044	306,618	2876,070	330,402	2959,096	354,185	3042,122
	1,3	273,861	2481,643	300,317	2547,138	326,774	2612,633	353,231	2678,128	379,688	2743,622
	1,2	286,899	2244,502	316,475	2289,544	346,051	2334,586	375,627	2379,628	405,203	2424,669
	1,15	292,863	2121,930	324,202	2155,412	355,541	2188,893	386,880	2222,374	418,219	2255,856
Balance	1	309,269	1733,406	346,955	1725,269	384,640	1717,133	422,326	1708,997	460,012	1700,861
Patah Tarik	0,8	342,140	1603,292	385,865	1593,852	429,589	1584,412	446,365	1642,419	486,734	1633,703
	0,7	360,784	1537,397	408,823	1527,025	456,862	1516,654	473,314	1574,972	517,039	1565,531
	0,6	366,202	1393,956	416,726	1371,828	467,249	1349,701	504,900	1506,282	552,939	1495,911
	0,5	332,107	1091,034	379,604	1049,063	427,101	1007,092	517,773	1327,573	568,296	1305,446
Lentur Murni	Pn = 0	176,755	0	231,038	0	285,023	0	338,830	0	392,525	0
Tarik Murni	Mn = 0	0	-1060,288	0	-1413,717	0	-1767,146	0	-2120,575	0	-2474,004



Lampiran 1. 77 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 1 Kode 4 Arah X



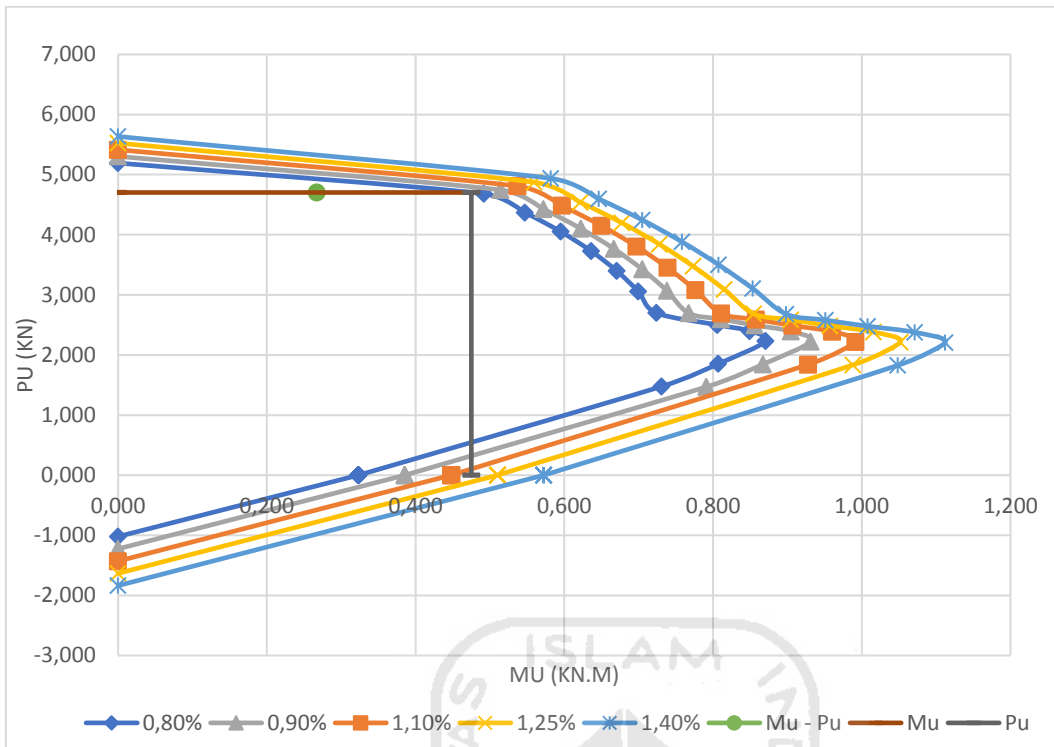
Lampiran 1. 78 Diagram Mu-Pu Balok Kolektor B4 Lantai 1 Kode 4 Arah Z

**Lampiran 1. 79 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K1 ST Arah X**

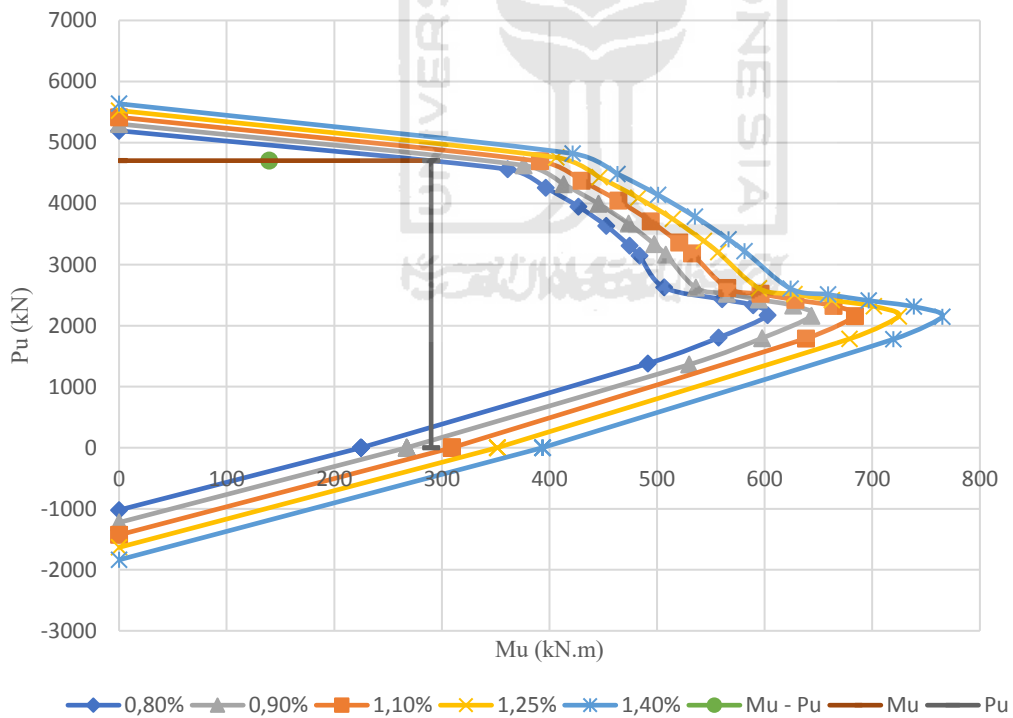
		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	1417,644	5D19	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19	2551,759	9D19
	AS'	1417,644	5D19	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19	2551,759	9D19
Rasio Tulangan		0,80%		0,90%		1,10%		1,25%		1,40%	
Desak Sentris	Mn = 0	0,000	6491,430	0,000	6629,466	0,000	6767,502	0,000	6905,538	0,000	7043,574
Patah Desak	1,6	491,864	4680,435	514,356	4744,846	536,849	4809,257	559,341	4873,667	581,834	4938,078
	1,5	547,031	4369,642	571,869	4426,374	596,708	4483,105	621,546	4539,837	646,385	4596,569
	1,4	594,921	4053,364	622,440	4101,319	649,959	4149,275	677,479	4197,231	704,998	4245,187
	1,3	635,919	3730,335	666,532	3768,164	697,145	3805,994	727,758	3843,824	758,371	3881,654
	1,2	670,542	3398,867	704,764	3424,883	738,986	3450,899	773,208	3476,916	807,430	3502,932
	1,1	699,493	3056,660	737,980	3068,715	776,468	3080,769	814,955	3092,824	853,442	3104,878
Balance	1	723,755	2700,491	767,361	2695,792	810,967	2691,092	854,572	2686,393	898,178	2681,693
Patah Tarik	0,8	805,493	2501,157	856,087	2495,705	906,681	2490,252	957,274	2484,799	1007,868	2479,347
	0,7	849,028	2400,683	904,613	2394,693	960,199	2388,702	1015,784	2382,712	1071,369	2376,721
	0,6	870,792	2230,471	931,169	2223,964	991,546	2217,457	1051,923	2210,950	1112,300	2204,443
	0,5	806,967	1853,303	867,344	1846,796	927,721	1840,289	988,098	1833,783	1048,475	1827,276
Lentur Murni	Pn = 0	323,066	0,000	385,536	0,000	447,912	0,000	510,224	0,000	572,489	0,000
Tarik Murni	Mn = 0	0,000	-1020,703	0,000	-1224,844	0,000	-1428,985	0,000	-1633,126	0,000	-1837,266

**Lampiran 1. 80 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K1 ST Arah Y**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	1417,644	5D19	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19	2551,759	9D19
	AS'	1417,644	5D19	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19	2551,759	9D19
Rasio Tulangan		0,80%		0,90%		1,10%		1,25%		1,40%	
Desak Sentris	Mn = 0	0,000	6491,430	0,000	6629,466	0,000	6767,502	0,000	6905,538	0,000	7043,574
Patah Desak	1,6	360,917	4562,084	376,047	4626,495	391,177	4690,905	406,307	4755,316	421,437	4819,727
	1,5	396,373	4258,688	413,081	4315,419	429,789	4372,151	446,497	4428,883	463,205	4485,615
	1,4	426,903	3949,806	445,415	3997,762	463,926	4045,718	482,437	4093,674	500,949	4141,630
	1,3	452,768	3634,174	473,360	3672,004	493,953	3709,834	514,545	3747,664	535,138	3785,493
	1,2	474,314	3310,104	497,335	3336,120	520,355	3362,136	543,375	3388,152	566,395	3414,168
	1,15	483,610	3144,216	508,002	3163,555	532,394	3182,894	556,786	3202,233	581,179	3221,572
Balance	1	506,532	2626,522	535,864	2621,822	565,197	2617,123	594,529	2612,423	623,861	2607,724
Patah Tarik	0,8	560,380	2432,498	594,413	2427,046	628,445	2421,593	662,478	2416,141	696,511	2410,688
	0,7	589,081	2334,680	626,471	2328,689	663,862	2322,699	701,252	2316,708	738,643	2310,718
	0,6	602,606	2169,020	643,220	2162,513	683,834	2156,006	724,447	2149,499	765,061	2142,992
	0,5	556,968	1802,094	597,582	1795,587	638,196	1789,080	678,809	1782,573	719,423	1776,066
Lentur Murni	Pn = 0	224,920	0,000	267,225	0,000	309,394	0,000	351,465	0,000	393,462	0,000
Tarik Murni	Mn = 0	0,000	-1020,703	0,000	-1224,844	0,000	-1428,985	0,000	-1633,126	0,000	-1837,266



**Lampiran 1. 81 Diagram Mu-Pu Kolom K1 ST Arah X**



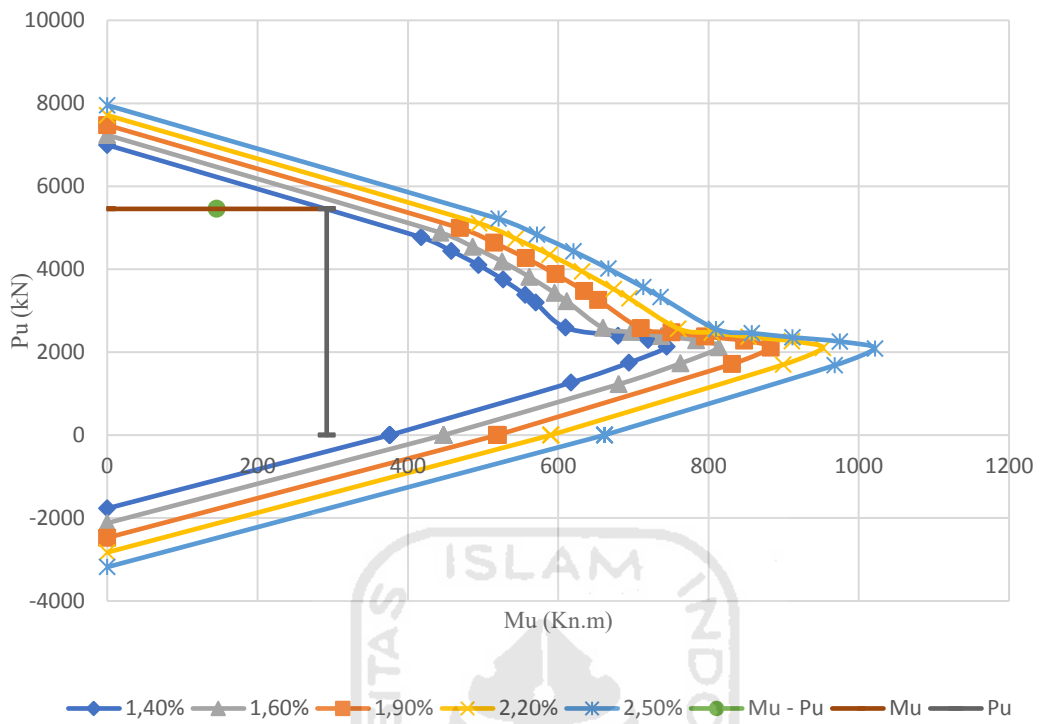
**Lampiran 1. 82 Diagram Mu-Pu Kolom K1 ST Arah Y**

**Lampiran 1. 83 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K1 TM Arah X**

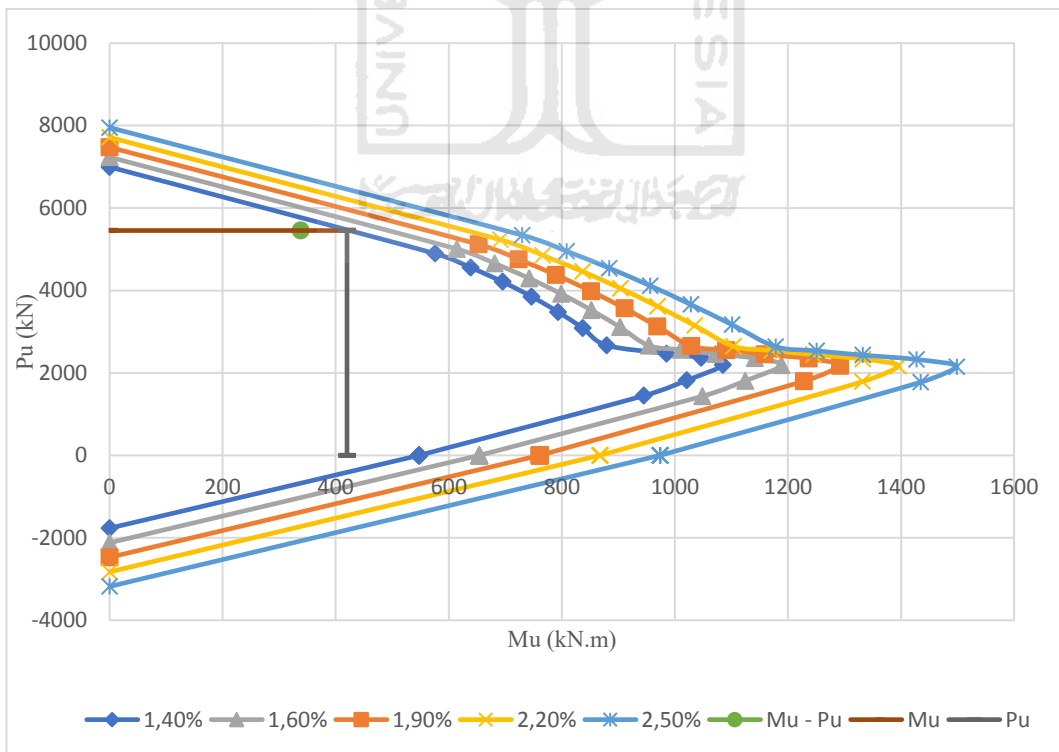
		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25	4417,865	9D25
	AS'	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25	4417,865	9D25
Rasio Tulangan		1,40%		1,60%		1,90%		2,20%		2,50%	
Desak Sentris	Mn = 0	0,000	6996,160	0,000	7235,142	0,000	7474,124	0,000	7713,105	0,000	7952,087
Patah Desak	1,6	417,518	4769,677	443,330	4881,191	469,142	4992,705	494,955	5104,219	520,767	5215,734
	1,5	457,749	4439,948	486,253	4538,167	514,758	4636,387	543,262	4734,607	571,766	4832,827
	1,4	493,930	4100,722	525,511	4183,748	557,092	4266,775	588,673	4349,801	620,254	4432,827
	1,3	526,504	3749,810	561,635	3815,305	596,767	3880,799	631,898	3946,294	667,029	4011,789
	1,2	556,064	3384,288	595,337	3429,330	634,610	3474,371	673,883	3519,413	713,155	3564,455
	1,15	569,954	3194,857	611,568	3228,339	653,182	3261,820	694,796	3295,301	736,410	3328,783
Balance	1	609,689	2591,885	659,730	2583,748	709,772	2575,612	759,813	2567,476	809,854	2559,340
Patah Tarik	0,8	679,421	2396,360	737,481	2386,920	795,542	2377,480	853,603	2368,040	911,664	2358,600
	0,7	719,662	2297,201	783,452	2286,830	847,241	2276,458	911,030	2266,087	974,819	2255,716
	0,6	744,334	2130,727	813,622	2119,461	882,910	2108,196	952,198	2096,930	1021,486	2085,665
	0,5	694,246	1744,251	762,645	1728,591	831,043	1712,932	899,442	1697,273	967,840	1681,614
Lentur Murni	Pn = 0	375,924	0,000	447,534	0,000	519,002	0,000	590,374	0,000	661,679	0,000
Tarik Murni	Mn = 0	0,000	-1767,146	0,000	-2120,575	0,000	-2474,004	0,000	-2827,433	0,000	-3180,863

**Lampiran 1. 84 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K1 TM Arah Y**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25	4417,865	9D25
	AS'	2454,369	5D25	2945,243	6D25	3436,117	7D25	3926,991	8D25	4417,865	9D25
Rasio Tulangan		1,40%		1,60%		1,90%		2,20%		2,50%	
Desak Sentris	Mn = 0	0,000	6996,160	0,000	7235,142	0,000	7474,124	0,000	7713,105	0,000	7952,087
Patah Desak	1,6	575,680	4896,007	614,239	5007,521	652,798	5119,035	691,357	5230,549	729,916	5342,064
	1,5	638,395	4558,382	680,976	4656,602	723,556	4754,821	766,137	4853,041	808,717	4951,261
	1,4	695,111	4211,261	742,287	4294,287	789,464	4377,313	836,641	4460,339	883,817	4543,365
	1,3	746,490	3852,453	798,970	3917,948	851,450	3983,443	903,930	4048,937	956,410	4114,432
	1,2	793,417	3479,035	852,084	3524,077	910,751	3569,119	969,418	3614,161	1028,085	3659,202
	1,1	837,098	3087,024	903,076	3107,894	969,055	3128,764	1035,034	3149,634	1101,013	3170,504
Balance	1	879,218	2670,841	953,971	2662,705	1028,725	2654,568	1103,478	2646,432	1178,231	2638,296
Patah Tarik	0,8	985,175	2469,648	1071,907	2460,208	1158,640	2450,768	1245,373	2441,328	1332,106	2431,888
	0,7	1046,211	2367,655	1141,501	2357,283	1236,791	2346,912	1332,081	2336,540	1427,370	2326,169
	0,6	1084,842	2196,321	1188,346	2185,056	1291,851	2173,790	1395,355	2162,525	1498,860	2151,259
	0,5	1020,998	1820,880	1124,502	1809,614	1228,007	1798,349	1331,511	1787,083	1435,016	1775,818
Lentur Murni	Pn = 0	547,431	0,000	654,131	0,000	760,749	0,000	867,316	0,000	973,852	0,000
Tarik Murni	Mn = 0	0,000	-1767,146	0,000	-2120,575	0,000	-2474,004	0,000	-2827,433	0,000	-3180,863



**Lampiran 1. 85 Diagram Mu-Pu Kolom K1 TM Arah X**



**Lampiran 1. 86 Diagram Mu-Pu Kolom K1 TM Arah Y**

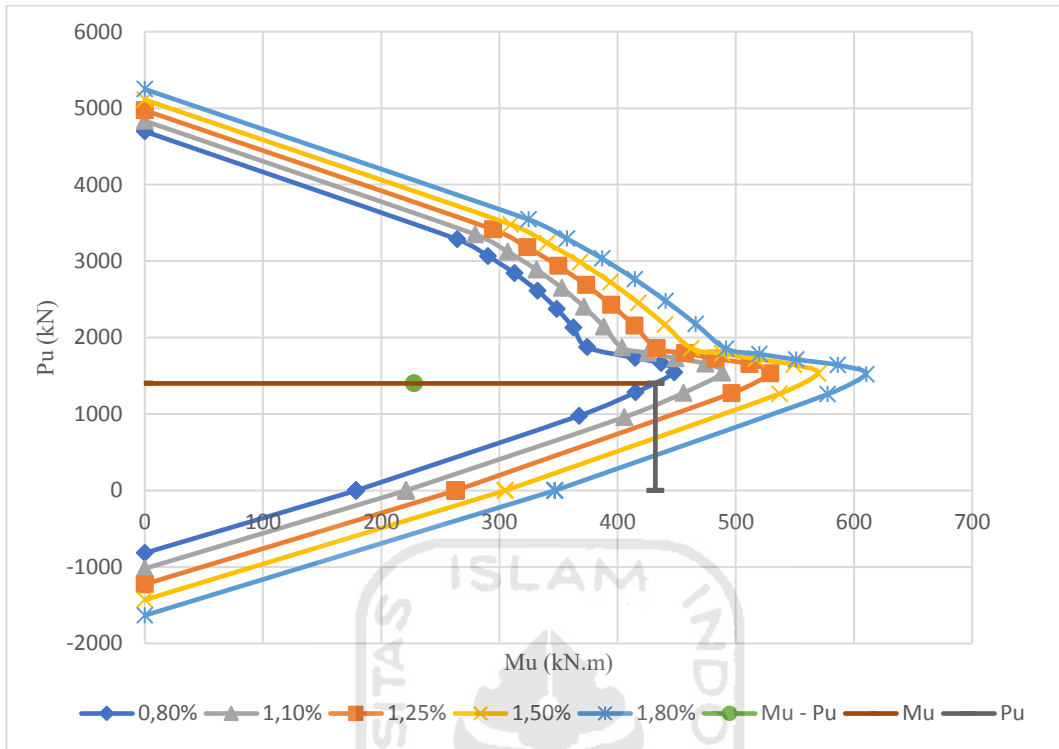


**Lampiran 1. 87 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K3 Arah X**

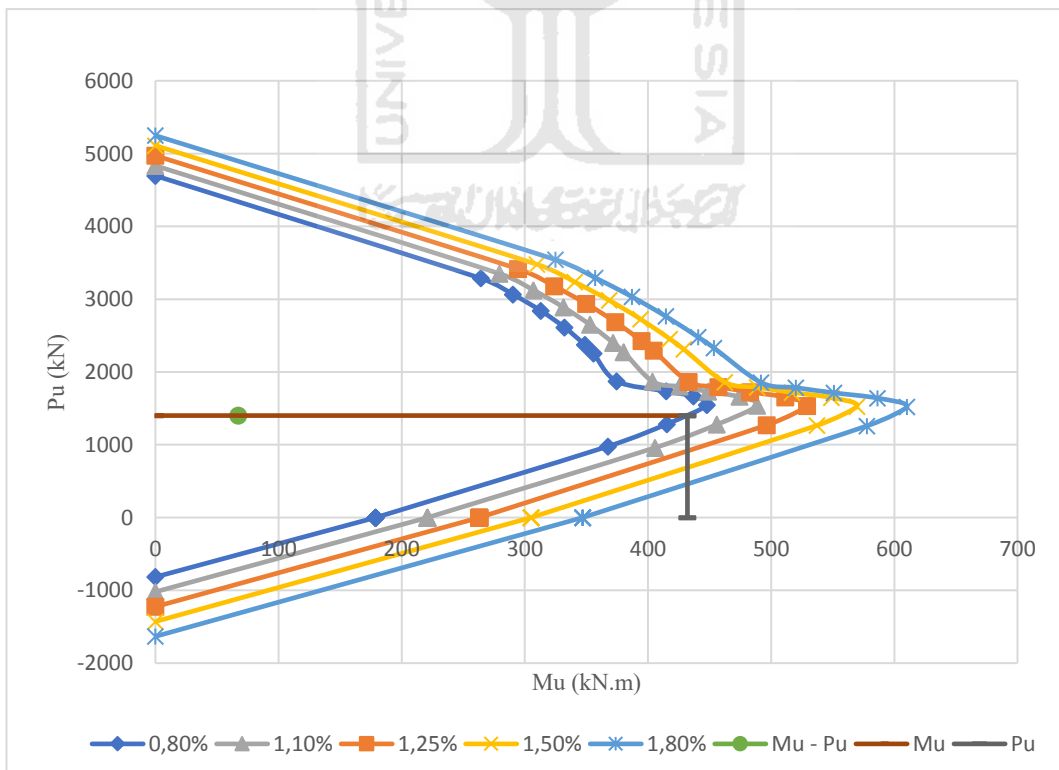
		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	1134,115	4D19	1417,644	5D19	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19
	AS'	1134,115	4D19	1417,644	5D19	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19
Rasio Tulangan		0,80%		1,10%		1,25%		1,50%		1,80%	
Desak Sentris	Mn = 0	0,000	4695,894	0,000	4833,930	0,000	4971,966	0,000	5110,002	0,000	5248,038
Patah Desak	1,6	264,282	3286,236	279,412	3350,647	294,542	3415,057	309,672	3479,468	324,802	3543,879
	1,5	290,284	3066,233	306,992	3122,965	323,700	3179,697	340,408	3236,429	357,116	3293,160
	1,4	312,864	2841,843	331,376	2889,799	349,887	2937,754	368,399	2985,710	386,910	3033,666
	1,3	332,231	2612,051	352,823	2649,881	373,416	2687,711	394,008	2725,541	414,601	2763,371
	1,2	348,662	2375,510	371,682	2401,526	394,702	2427,542	417,722	2453,558	440,742	2479,574
	1,1	362,535	2130,376	388,424	2142,430	414,313	2154,485	440,202	2166,539	466,092	2178,594
Balance	1	374,380	1874,073	403,712	1869,373	433,044	1864,674	462,376	1859,974	491,708	1855,275
Patah Tarik	0,8	414,857	1735,162	448,890	1729,709	482,922	1724,257	516,955	1718,804	550,988	1713,352
	0,7	436,797	1665,061	474,187	1659,070	511,577	1653,080	548,968	1647,089	586,358	1641,099
	0,6	447,839	1546,511	488,453	1540,004	529,066	1533,497	569,680	1526,990	610,294	1520,483
	0,5	415,240	1284,421	455,854	1277,914	496,468	1271,407	537,081	1264,900	577,695	1258,393
Lentur Murni	Pn = 0	178,801	0,000	220,996	0,000	263,051	0,000	305,014	0,000	346,911	0,000
Tarik Murni	Mn = 0	0,000	-816,563	0,000	-1020,703	0,000	-1224,844	0,000	-1428,985	0,000	-1633,126

**Lampiran 1. 88 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K3 Arah Y**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	1134,115	4D19	1417,644	5D19	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19
	AS'	1134,115	4D19	1417,644	5D19	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19
Rasio Tulangan		0,80%		1,10%		1,25%		1,50%		1,80%	
Desak Sentris	Mn = 0	0,000	4695,894	0,000	4833,930	0,000	4971,966	0,000	5110,002	0,000	5248,038
Patah Desak	1,6	264,282	3286,236	279,412	3350,647	294,542	3415,057	309,672	3479,468	324,802	3543,879
	1,5	290,284	3066,233	306,992	3122,965	323,700	3179,697	340,408	3236,429	357,116	3293,160
	1,4	312,864	2841,843	331,376	2889,799	349,887	2937,754	368,399	2985,710	386,910	3033,666
	1,3	332,231	2612,051	352,823	2649,881	373,416	2687,711	394,008	2725,541	414,601	2763,371
	1,2	348,662	2375,510	371,682	2401,526	394,702	2427,542	417,722	2453,558	440,742	2479,574
	1,1	362,535	2130,376	388,424	2142,430	414,313	2154,485	440,202	2166,539	466,092	2178,594
Balance	1	374,380	1874,073	403,712	1869,373	433,044	1864,674	462,376	1859,974	491,708	1855,275
Patah Tarik	0,8	414,857	1735,162	448,890	1729,709	482,922	1724,257	516,955	1718,804	550,988	1713,352
	0,7	436,797	1665,061	474,187	1659,070	511,577	1653,080	548,968	1647,089	586,358	1641,099
	0,6	447,839	1546,511	488,453	1540,004	529,066	1533,497	569,680	1526,990	610,294	1520,483
	0,5	415,240	1284,421	455,854	1277,914	496,468	1271,407	537,081	1264,900	577,695	1258,393
Lentur Murni	Pn = 0	178,801	0,000	220,996	0,000	263,051	0,000	305,014	0,000	346,911	0,000
Tarik Murni	Mn = 0	0,000	-816,563	0,000	-1020,703	0,000	-1224,844	0,000	-1428,985	0,000	-1633,126



**Lampiran 1. 89 Diagram Mu-Pu Kolom K3 Arah X**



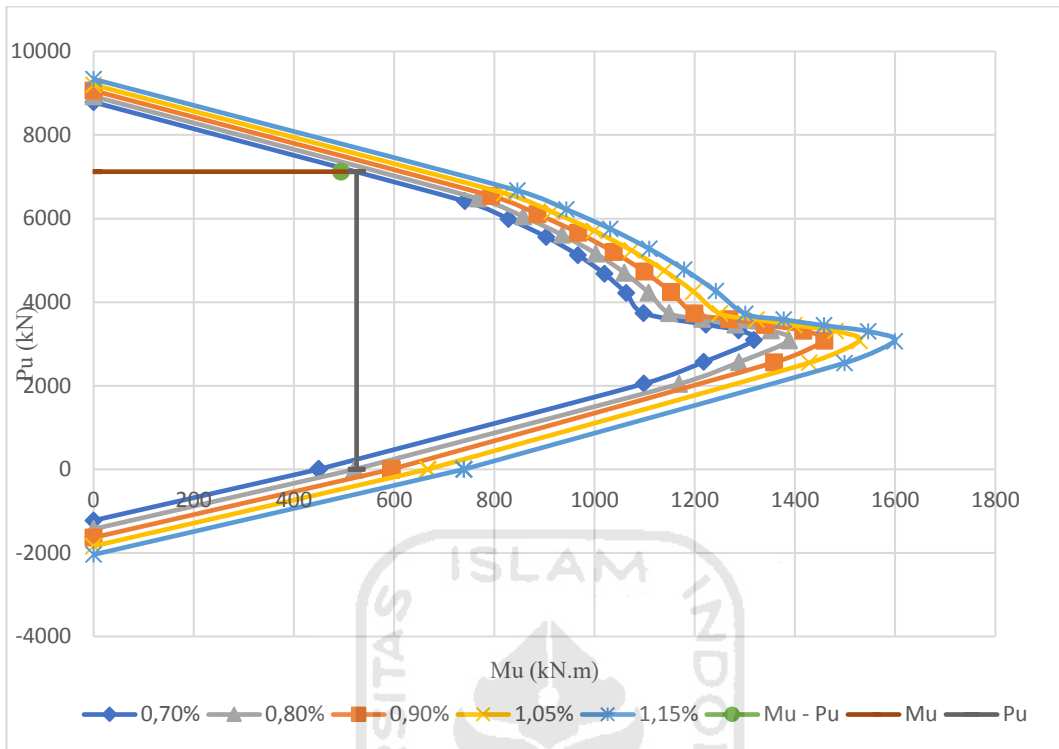
**Lampiran 1. 90 Diagram Mu-Pu Kolom K3 Arah Y**

**Lampiran 1. 91 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K5 Arah X**

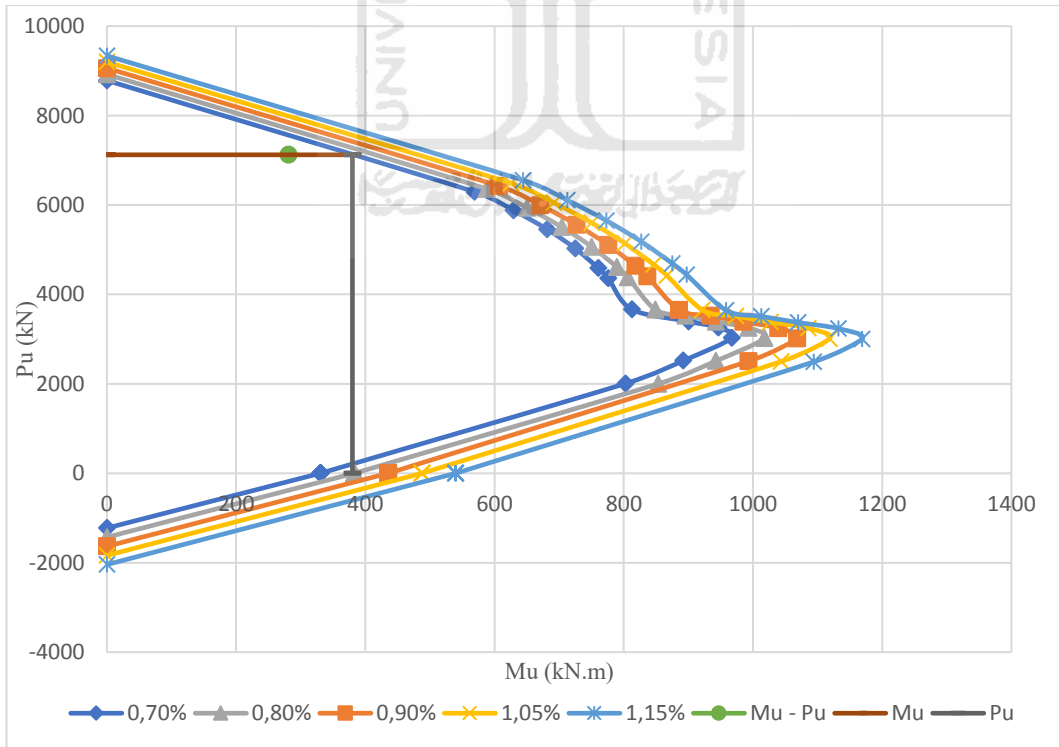
		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19	2551,759	9D19	2835,287	10D19
	AS'	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19	2551,759	9D19	2835,287	10D19
Rasio Tulangan		0,70%		0,80%		0,90%		1,05%		1,15%	
Desak Sentris	Mn = 0	0,000	8784,216	0,000	8922,252	0,000	9060,288	0,000	9198,324	0,000	9336,360
Patah Desak	1,6	741,370	6414,395	767,544	6478,806	793,717	6543,217	819,891	6607,627	846,065	6672,038
	1,5	828,270	5991,576	857,174	6048,308	886,078	6105,040	914,981	6161,772	943,885	6218,503
	1,4	903,238	5562,175	935,262	5610,131	967,285	5658,087	999,309	5706,043	1031,332	5753,999
	1,3	966,814	5124,673	1002,437	5162,503	1038,060	5200,333	1073,684	5238,163	1109,307	5275,993
	1,2	1019,717	4677,045	1059,540	4703,062	1099,363	4729,078	1139,186	4755,094	1179,009	4781,110
	1,1	1062,930	4216,530	1107,716	4228,584	1152,503	4240,639	1197,289	4252,693	1242,075	4264,748
Balance	1	1097,826	3739,260	1148,569	3734,561	1199,311	3729,861	1250,053	3725,162	1300,796	3720,462
Patah Tarik	0,8	1222,132	3464,257	1281,007	3458,805	1339,881	3453,352	1398,755	3447,900	1457,629	3442,447
	0,7	1287,056	3325,788	1351,738	3319,797	1416,421	3313,807	1481,104	3307,816	1545,787	3301,826
	0,6	1317,800	3090,846	1388,059	3084,339	1458,317	3077,832	1528,576	3071,325	1598,835	3064,818
	0,5	1217,829	2569,198	1288,088	2562,691	1358,347	2556,184	1428,606	2549,677		
Lentur Murni	Pn = 0	448,921	0,000	521,607	0,000	594,210	0,000	666,753	0,000	739,250	0,000
Tarik Murni	Mn = 0	0,000	-1224,844	0,000	-1428,985	0,000	-1633,126	0,000	-1837,266	0,000	-2041,407

**Lampiran 1. 92 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K5 Arah Y**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19	2551,759	9D19	2835,287	10D19
	AS'	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19	2551,759	9D19	2835,287	10D19
Rasio Tulangan		0,70%		0,80%		0,90%		1,05%		1,15%	
Desak Sentris	Mn = 0	0,000	8784,216	0,000	8922,252	0,000	9060,288	0,000	9198,324	0,000	9336,360
Patah Desak	1,6	568,881	6296,044	587,693	6360,455	606,504	6424,866	625,315	6489,276	644,126	6553,687
	1,5	629,312	5880,622	650,085	5937,354	670,858	5994,086	691,632	6050,817	712,405	6107,549
	1,4	681,136	5458,618	704,152	5506,574	727,167	5554,530	750,183	5602,485	773,198	5650,441
	1,3	724,743	5028,513	750,345	5066,343	775,948	5104,173	801,551	5142,002	827,153	5179,832
	1,2	760,648	4588,282	789,269	4614,298	817,890	4640,314	846,511	4666,330	875,132	4692,347
	1,15	775,924	4363,544	806,251	4382,883	836,578	4402,221	866,905	4421,560	897,232	4440,899
Balance	1	812,461	3665,291	848,930	3660,591	885,399	3655,892	921,868	3651,192	958,337	3646,493
Patah Tarik	0,8	900,400	3395,599	942,713	3390,146	985,027	3384,693	1027,340	3379,241	1069,653	3373,788
	0,7	946,344	3259,784	992,832	3253,794	1039,320	3247,803	1085,808	3241,813	1132,295	3235,822
	0,6	967,095	3029,394	1017,591	3022,887	1068,086	3016,380	1118,582	3009,873	1169,077	3003,366
	0,5	892,020	2517,988	942,516	2511,481	993,011	2504,974	1043,507	2498,467	1094,002	2491,960
Lentur Murni	Pn = 0	330,399	0,000	382,881	0,000	435,249	0,000	487,532	0,000	539,749	0,000
Tarik Murni	Mn = 0	0,000	-1224,844	0,000	-1428,985	0,000	-1633,126	0,000	-1837,266	0,000	-2041,407



Lampiran 1. 93 Diagram Mu-Pu Kolom K5 Arah X



Lampiran 1. 94 Diagram Mu-Pu Kolom K5 Arah Y

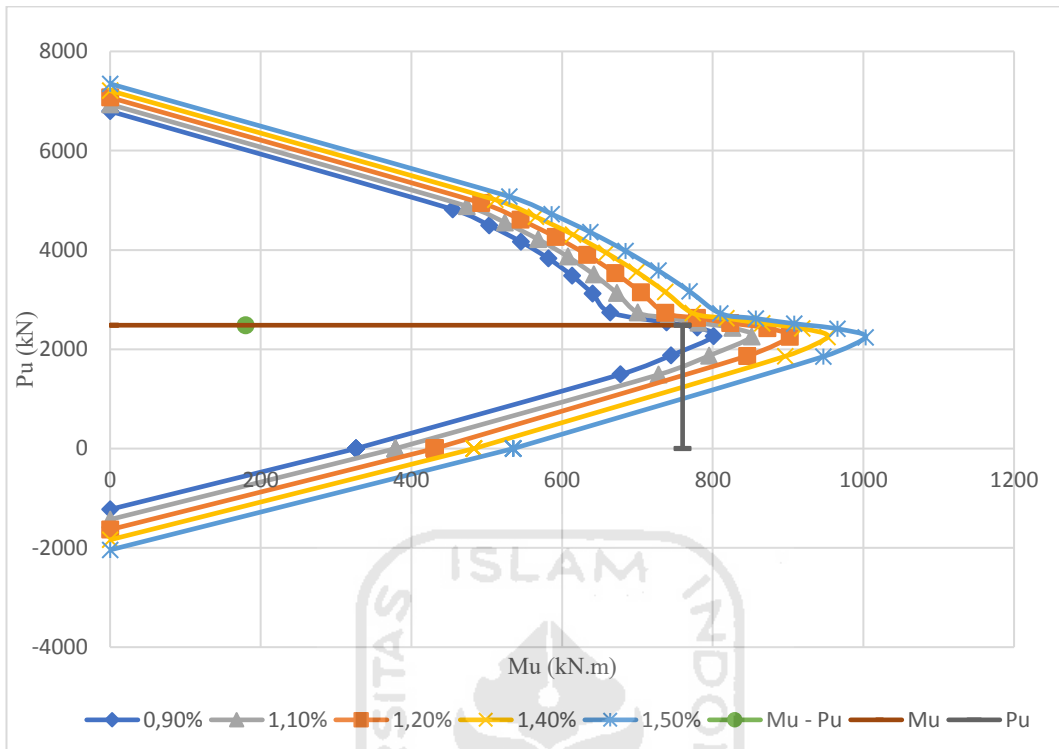
**Lampiran 1. 95 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K11 Arah X**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19	2551,759	9D19	2835,287	10D19
	AS'	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19	2551,759	9D19	2835,287	10D19
Rasio Tulangan		0,90%		1,10%		1,20%		1,40%		1,50%	
Desak Sentris	Mn = 0	0,000	6795,216	0,000	6933,252	0,000	7071,288	0,000	7209,324	0,000	7347,360
Patah Desak	1,6	454,878	4818,649	473,689	4883,060	492,500	4947,470	511,312	5011,881	530,123	5076,292
	1,5	503,144	4495,564	523,917	4552,296	544,690	4609,028	565,463	4665,759	586,237	4722,491
	1,4	545,375	4165,897	568,391	4213,853	591,406	4261,809	614,422	4309,765	637,437	4357,721
	1,3	581,961	3828,129	607,564	3865,959	633,166	3903,789	658,769	3941,619	684,372	3979,449
	1,2	613,418	3480,236	642,039	3506,252	670,660	3532,268	699,281	3558,284	727,902	3584,300
	1,1	640,451	3119,454	672,639	3131,509	704,828	3143,563	737,016	3155,618	769,204	3167,672
Balance	1	664,049	2741,919	700,518	2737,219	736,987	2732,520	773,456	2727,820	809,925	2723,121
Patah Tarik	0,8	738,770	2538,520	781,083	2533,067	823,397	2527,615	865,710	2522,162	908,023	2516,710
	0,7	779,490	2435,852	825,978	2429,862	872,465	2423,871	918,953	2417,881	965,441	2411,890
	0,6	801,065	2262,285	851,560	2255,778	902,055	2249,271	952,551	2242,764	1003,046	2236,257
	0,5	744,758	1878,731	795,254	1872,224	845,749	1865,717	896,245	1859,210	946,740	1852,703
Lentur Murni	Pn = 0	326,437	0,000	378,708	0,000	430,898	0,000	483,026	0,000	535,109	0,000
Tarik Murni	Mn = 0	0,000	-1224,844	0,000	-1428,985	0,000	-1633,126	0,000	-1837,266	0,000	-2041,407

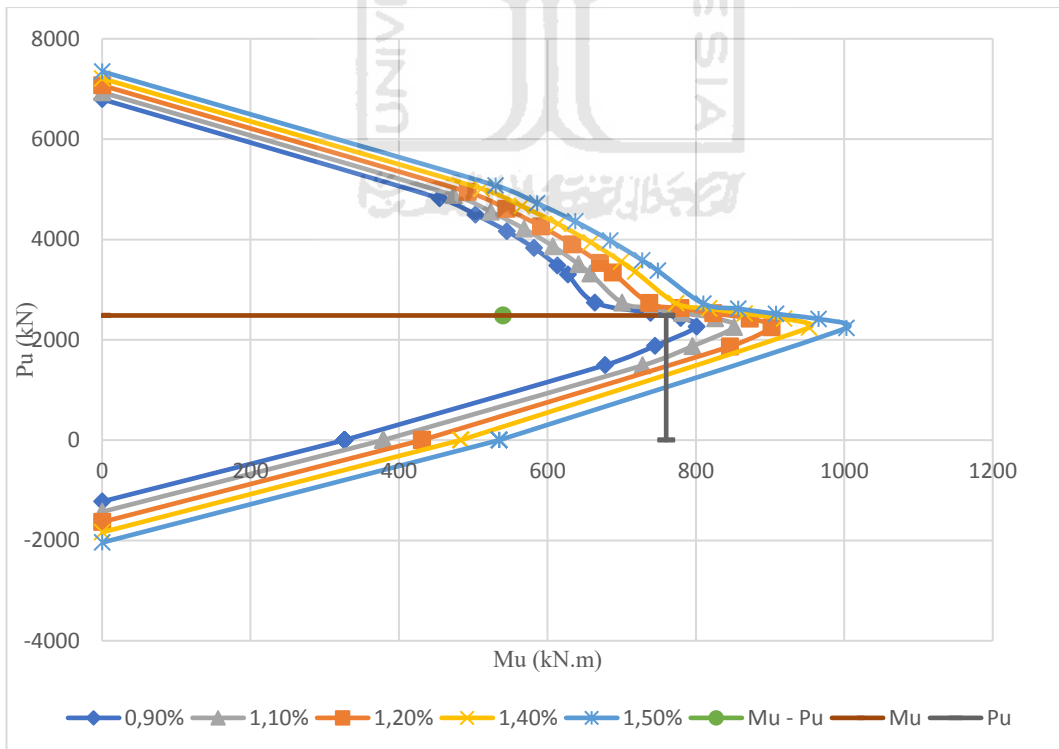
**Lampiran 1. 96 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K11 Arah Y**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19	2551,759	9D19	2835,287	10D19
	AS'	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19	2551,759	9D19	2835,287	10D19
Rasio Tulangan		0,90%		1,10%		1,20%		1,40%		1,50%	
Desak Sentris	Mn = 0	0,000	6795,216	0,000	6933,252	0,000	7071,288	0,000	7209,324	0,000	7347,360
Patah Desak	1,6	454,878	4818,649	473,689	4883,060	492,500	4947,470	511,312	5011,881	530,123	5076,292
	1,5	503,144	4495,564	523,917	4552,296	544,690	4609,028	565,463	4665,759	586,237	4722,491
	1,4	545,375	4165,897	568,391	4213,853	591,406	4261,809	614,422	4309,765	637,437	4357,721
	1,3	581,961	3828,129	607,564	3865,959	633,166	3903,789	658,769	3941,619	684,372	3979,449
	1,2	613,418	3480,236	642,039	3506,252	670,660	3532,268	699,281	3558,284	727,902	3584,300
	1,1	640,451	3119,454	672,639	3131,509	704,828	3143,563	737,016	3155,618	769,204	3167,672
Balance	1	664,049	2741,919	700,518	2737,219	736,987	2732,520	773,456	2727,820	809,925	2723,121
Patah Tarik	0,8	738,770	2538,520	781,083	2533,067	823,397	2527,615	865,710	2522,162	908,023	2516,710
	0,7	779,490	2435,852	825,978	2429,862	872,465	2423,871	918,953	2417,881	965,441	2411,890
	0,6	801,065	2262,285	851,560	2255,778	902,055	2249,271	952,551	2242,764	1003,046	2236,257
	0,5	744,758	1878,731	795,254	1872,224	845,749	1865,717	896,245	1859,210	946,740	1852,703
Lentur Murni	Pn = 0	326,437	0,000	378,708	0,000	430,898	0,000	483,026	0,000	535,109	0,000
Tarik Murni	Mn = 0	0,000	-1224,844	0,000	-1428,985	0,000	-1633,126	0,000	-1837,266	0,000	-2041,407





**Lampiran 1. 97 Diagram Mu-Pu Kolom K11 Arah X**



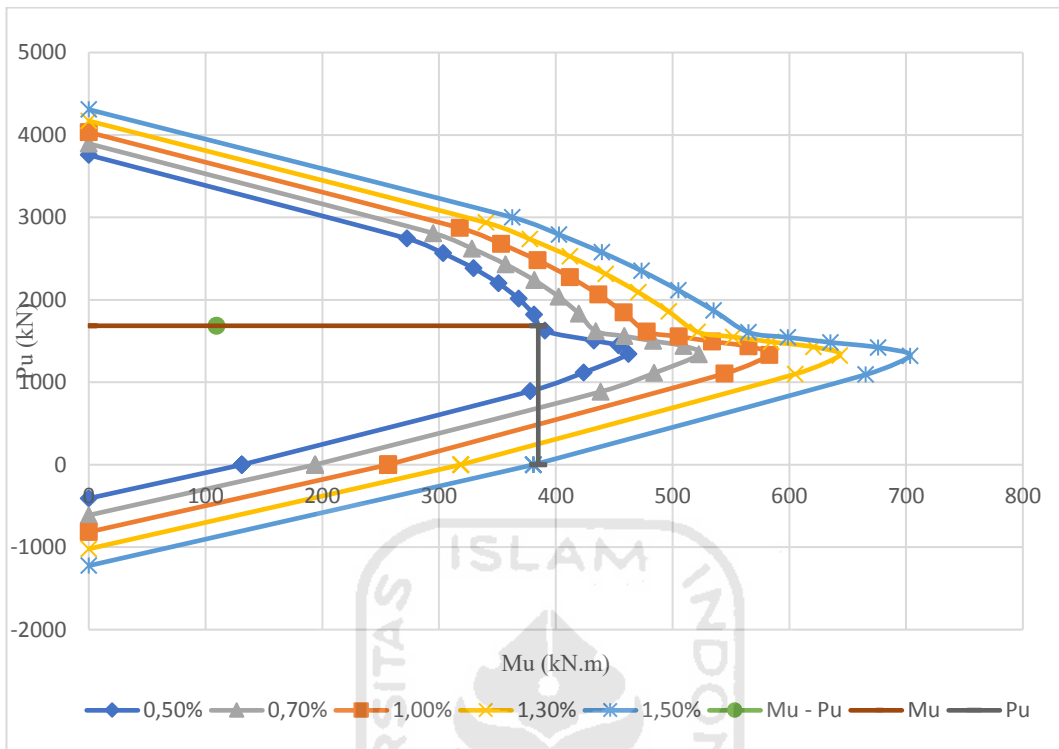
**Lampiran 1. 98 Diagram Mu-Pu Kolom K11 Arah Y**

**Lampiran 1. 99 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K21 Arah X**

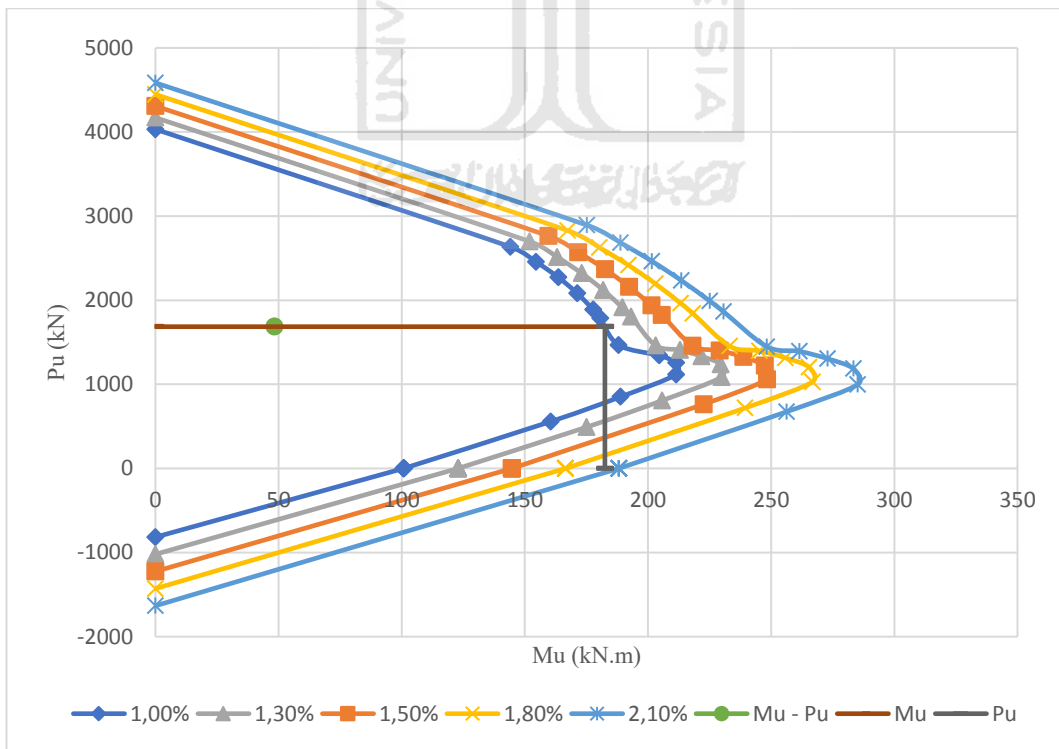
		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	567,057	2D19	850,586	3D19	1134,115	4D19	1417,644	5D19	1701,172	6D19
	AS'	567,057	2D19	850,586	3D19	1134,115	4D19	1417,644	5D19	1701,172	6D19
Rasio Tulangan		0,50%		0,70%		1,00%		1,30%		1,50%	
Desak Sentris	Mn = 0	0,000	3756,822	0,000	3894,858	0,000	4032,894	0,000	4170,930	0,000	4308,966
Patah Desak	1,6	272,626	2743,851	295,118	2808,261	317,611	2872,672	340,103	2937,082	362,596	3001,493
	1,5	303,380	2565,053	328,219	2621,785	353,057	2678,517	377,895	2735,249	402,734	2791,980
	1,4	329,433	2384,062	356,952	2432,018	384,472	2479,974	411,991	2527,930	439,511	2575,886
	1,3	350,938	2200,371	381,551	2238,201	412,164	2276,031	442,777	2313,860	473,390	2351,690
	1,2	368,103	2013,304	402,325	2039,320	436,547	2065,336	470,769	2091,353	504,991	2117,369
	1,1	381,208	1821,942	419,696	1833,996	458,183	1846,051	496,670	1858,105	535,158	1870,159
Balance	1	390,648	1624,994	434,253	1620,295	477,859	1615,595	521,465	1610,896	565,070	1606,196
Patah Tarik	0,8	432,702	1506,147	483,296	1500,694	533,890	1495,242	584,483	1489,789	635,077	1484,337
	0,7	453,832	1446,401	509,417	1440,410	565,002	1434,419	620,587	1428,429	676,173	1422,438
	0,6	462,098	1344,790	522,475	1338,283	582,852	1331,776	643,229	1325,269	703,606	1318,762
	0,5	423,803	1118,489	484,180	1111,982	544,557	1105,475	604,934	1098,968	665,311	1092,461
Lentur Murni	Pn = 0	131,162	0,000	193,840	0,000	256,277	0,000	318,590	0,000	380,832	0,000
Tarik Murni	Mn = 0	0,000	-408,281	0,000	-612,422	0,000	-816,563	0,000	-1020,703	0,000	-1224,844

**Lampiran 1. 100 Rekapitulasi Perhitungan Mu-Pu Kolom K21 Arah Y**

		Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu	Mu	Pu
n Tulangan	As	1134,115	4D19	1417,644	5D19	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19
	AS'	1134,115	4D19	1417,644	5D19	1701,172	6D19	1984,701	7D19	2268,230	8D19
Rasio Tulangan		1,00%		1,30%		1,50%		1,80%		2,10%	
Desak Sentris	Mn = 0	0,000	4032,894	0,000	4170,930	0,000	4308,966	0,000	4447,002	0,000	4585,038
Patah Desak	1,6	144,059	2635,969	151,827	2700,380	159,594	2764,791	167,362	2829,201	175,129	2893,612
	1,5	154,521	2456,608	163,098	2513,340	171,676	2570,072	180,254	2626,804	188,831	2683,535
	1,4	163,541	2272,859	173,044	2320,815	182,548	2368,771	192,051	2416,727	201,555	2464,683
	1,3	171,226	2083,710	181,798	2121,540	192,370	2159,370	202,941	2197,199	213,513	2235,029
	1,2	177,719	1887,810	189,538	1913,826	201,356	1939,842	213,174	1965,858	224,992	1991,874
	1,15	180,577	1786,778	193,100	1806,117	205,622	1825,455	218,145	1844,794	230,667	1864,133
Balance	1	187,984	1467,656	203,043	1462,957	218,101	1458,257	233,160	1453,558	248,218	1448,858
Patah Tarik	0,8	204,544	1342,776	221,616	1333,537	238,688	1324,297	255,760	1315,057	272,833	1305,818
	0,7	211,424	1256,544	229,410	1239,086	247,396	1221,629	265,382	1204,171	283,368	1186,714
	0,6	211,452	1116,723	229,872	1087,179	248,292	1057,634	266,712	1028,090	285,132	998,545
	0,5	188,830	851,648	205,687	807,289	222,544	762,930	239,401	718,571	256,258	674,213
Lentur Murni	Pn = 0	100,765	0,000	122,850	0,000	144,740	0,000	166,496	0,000	188,152	0,000
Tarik Murni	Mn = 0	0,000	-816,563	0,000	-1020,703	0,000	-1224,844	0,000	-1428,985	0,000	-1633,126



Lampiran 1. 101 Diagram Mu-Pu Kolom K21 Arah X



Lampiran 1. 102 Diagram Mu-Pu Kolom K21 Arah Y