TUGAS AKHIR (RC184803)

MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA MENGGUNAKAN ELEMEN PRACETAK DAN *HOLLOW CORE SLAB* SESUAI SNI 2847:2019

AJENG LARASATI
NRP. 03111640000027

Dosen Pembimbing I
Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT.

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

TUGAS AKHIR (RC184803)

MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA MENGGUNAKAN ELEMEN PRACETAK DAN *HOLLOW CORE SLAB* SESUAI SNI 2847:2019

AJENG LARASATI
NRP. 03111640000027

Dosen Pembimbing I
Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT.

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan…”

FINAL PROJECT (RC184803)

MODIFICATION DESIGN OF FACULTY OF ECONOMIC AND BUSINESS PROF. DR. HAMKA MUHAMMADIYAH UNIVERSITY BUILDING USING PRECAST CONCRETE AND HOLLOW CORE SLAB AS STATED IN SNI 2847:2019

AJENG LARASATI
NRP. 03111640000027

Academic Supervisor I
Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT.

Academic Supervisor II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan…”

MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA MENGGUNAKAN ELEMEN PRACETAK DAN *HOLLOW CORE SLAB*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Struktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
AJENG LARASATI
NRP. 03111640000027

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. (Pembimbing I)

2. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka (Pembimbing II)

SURABAYA
AGUSTUS 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan…”

MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMKA MENGGUNAKAN ELEMEN PRACETAK DAN *HOLLOW CORE SLAB* SESUAI SNI 2847:2019

Nama Mahasiswa	**: Ajeng Larasati**
NRP	**: 03111640000027**
Departemen	**: Teknik Sipil FTSPK – ITS**
Dosen Pembimbing	**: Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT.** **Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.**

ABSTRAK

Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka merupakan gedung 9 lantai dengan basement yang pada kondisi sebenarnya direncanakan menggunakan beton konvensional (cast in-situ). Dalam tugas akhir ini akan dilakukan modifikasi perencanaan gedung tersebut menjadi 15 lantai dengan basement dan elemen struktur bangunan akan direncanakan menggunakan metode beton pracetak. Elemen-elemen struktur yang akan dimodifikasi menggunakan beton pracetak adalah kolom, balok, dan pelat. Elemen pelat pada tugas akhir ini akan dimodifikasi menggunakan hollow core slab. Pemilihan hollow core slab pada tugas akhir ini didasari oleh adanya celah menerus pada hollow core slab yang dapat meningkatkan efisiensi yaitu berkurangnya berat sendiri pada pelat dan berkurangnya biaya pelaksanaan konstruksi. Sedangkan untuk sistem bangunan yang dipakai pada gedung ini adalah sistem ganda (dual system).

Perencanaan elemen beton pracetak pada tugas akhir ini mengacu pada beberapa pedoman dan peraturan seperti SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, PCI Handbook, dan beberapa referensi lainnya. Metode penyambungan antar elemen pracetak yang digunakan adalah sambungan mekanis

menggunakan produk Modix Rebar Coupler dari Peikko Group dan NMB Splice Sleeve.

Kata Kunci: Beton Pracetak, Hollow Core Slab, Sistem Ganda, Rebar Couplers, Splice Sleeve

MODIFICATION DESIGN OF FACULTY OF ECONOMIC AND BUSINESS PROF. DR. HAMKA MUHAMMADIYAH UNIVERSITY BUILDING USING PRECAST CONCRETE AND HOLLOW CORE SLAB AS STATED IN SNI 2847:2019

Student Name	**: Ajeng Larasati**
Student ID	**: 03111640000027**
Departement	**: Teknik Sipil FTSPK – ITS**
Academic Supervisor	**: Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT.** **Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.**

ABSTRACT

Faculty of Economic and Business Prof. Dr. Hamka Muhammadiyah University is a 9 story bulding that built with conventional concrete method (cast in-situ). In this final thesis, Faculty of Economic and Business Prof. Dr. Hamka Muhammadiyah University bulding will be modified into a 15 story building using precast concrete method on its column, beam, and slab. The slab element will be modified using hollow core slab. The hollow core slab is chosen due to its continuous gap within its cross section which therefore will reduce the weight of itself and also will increase the cost efficiency. The modified building will be designed using dual system.

The design of this building will refer to several literatures and codes such as SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, PCI Handbook, and the other corelating references. The connections of the precast elements will be using mechanical connection Modix Rebar Coupler from Peikko Group and NMB Splice Sleeve.

Keywords: Precast Concrete, Hollow Core Slab, Dual System, Splice Sleeve

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat, rahmat, dan kasih karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan draft tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.

Tugas akhir yang berjudul "Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan *Hollow Core Slab* Sesuai SNI 2847:2019" ini tidak dapat terealisasikan dengan baik tanpa bantuan-bantuan dari berbagai macam pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. dan Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA selaku dosen pembimbing penyusunan tugas akhir ini.
2. Orang tua penulis yang selalu mendukung dan mendoakan.
3. Rekan-rekan Departemen Teknik Sipil yang telah memberi banyak bantuan dan masukan dalam penyusunan proposal tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan draft tugas akhir ini. Maka, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga draft tugas akhir ini dapat memberi manfaat bagi pembacanya.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
TITTLE PAGE iii
ABSTRAK vii
ABSTRACT ix
KATA PENGANTAR x
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR TABEL xx
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Perumusan Masalah 3
1.2.1. Masalah Utama 3
1.2.2. Detail Masalah 3
1.3. Tujuan 4
1.3.1. Tujuan Utama 4
1.3.2. Tujuan Detail 4
1.4. Batasan Masalah 5
1.5. Manfaat 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1. Umum 7
2.2. Beton Pracetak 7
2.3. Sistem Struktur Gedung 8
2.4. Konstruksi Tahan Gempa 10
2.5. Elemen Struktur Beton Pracetak 11
2.5.1. Pelat Pracetak 11
2.5.2. Balok Pracetak 12
2.5.3. Kolom Pracetak 13
2.6. Dinding Geser (*Shear Wall)* 14
2.7. Sambungan Beton Pracetak 15
2.7.1. Sambungan Kering dengan Menggunakan Baut 16

2.7.2. Sambungan Kering dengan Menggunakan Las 16
2.7.3. Sambungan Basah dengan Cor di Tempat.....17
2.8. Pengangkatan dan Metode *Erection* Beton Pracetak.. 18
2.8.1. Pengangkatan Elemen Beton Pracetak 18
2.8.2. Metode *Erection* Beton Pracetak.....20
2.9. *Basement*.....22
2.9.1 *Sheet Pile Wall*.....22
2.9.2 *Soldier Pile Wall*.....23
2.9.3 *Contiguous Bored Pile Wall* 23
2.9.4 *Secant Pile Wall*.....24
2.9.5 *Diaphragm Wall* 24
2.10. Pondasi 24
2.10.1. Pondasi Dangkal.....25
2.10.2. Pondasi Dalam.....27
BAB III METODOLOGI 30
3.1. Umum.....30
3.2. Bagan Alir Perencanaan 30
3.3. Pengumpulan Data.....31
3.3.1. Data Awal.....31
3.3.2. Data Modifikasi 32
3.4. Peraturan dan Pedoman 33
3.5. Perencanaan Struktur Sekunder.....33
3.5.1. Perencanaan Balok Anak.....33
3.5.2. Perencanaan Tangga 33
3.5.3. Perencanaan dan Kontrol *Hollow Core Slab* ..34
3.6. *Preliminary Design* 37
3.6.1. Perencanaan Dimensi *Hollow Core Slab*.....37
3.6.2. Perencanaan Dimensi Balok.....38
3.6.3. Perencanaan Dimensi Kolom 38
3.6.4. Perencanaan Dimensi Dinding Geser 39
3.7. Pembebanan.....39
3.7.1. Beban Mati 39

3.7.2. Beban Hidup 40
3.7.3. Beban Gempa 40
3.7.4. Kombinasi Pembebanan 50
3.8. Permodelan dan Analisa Struktur 51
3.8.1. Penggunaan Analisa Struktur 51
3.8.2. Perhitungan Gaya Dalam 51
3.8.3. Kontrol Permodelan Struktur 51
3.9. Perencanaan Struktur Primer 56
3.9.1. Penulangan Balok 56
3.9.2. Penulangan Kolom 61
3.9.3. Perencanaan dan Penulangan Dinding Geser 63
3.10. Perencanaan Sambungan 65
3.10.1. Sambungan *Base Plate* – Kolom atau Kolom – Kolom 67
3.10.2. Sambungan Balok – Kolom 68
3.10.3. Sambungan Balok Induk – Balok Anak 69
3.10.4. Sambungan Balok – Pelat 70
3.11. Perencanaan *Basement* 71
3.12. Perencanaan Pondasi 71
3.13.1. Daya Dukung Tiang Pancang Vertikal 71
3.13.2. Perhitungan Jumlah Tiang Pancang 72
3.14. Metode Pelaksanaan Konstruksi Gedung 73
3.15. Gambar Teknik 76
BAB IV PEMBAHASAN 78
4.1. Perencanaan Struktur Sekunder 78
4.1.1. Umum 78
4.1.2. Perencanaan Tangga 78
4.1.3. Perencanaan Balok Bordes 88
4.1.4. Perencanaan *Hollow Core Slab* 92
4.1.5. Perencanaan Pelat Basement 100
4.1.6. Perencanaan Balok Anak 109
4.1.7. Perencanaan Lift 131
4.2. *Preliminary Design* 133
4.2.1. Perencanaan Dimensi Balok Induk 133

4.2.2. Perencanaan Dimensi Kolom 134
4.2.3. Perencanaan Dimensi Dinding Geser 139
4.3. Permodelan dan Analisa Struktur 140
4.3.1. Umum 140
4.3.2. Permodelan Struktur 140
4.3.3. Pembebanan Gravitasi 141
4.3.4. Pembebanan Gempa Dinamis 143
4.3.5. Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental ...147
4.3.6. Kontrol Gaya Geser Dasar (*Base Shear*) 148
4.3.7. Kontrol Partisipasi Massa 152
4.3.8. Kontrol Simpangan (*Drift*) 153
4.3.9. Kontrol *Dual System* 156
4.3.10. Kontrol Pengaruh P-Delta 157
4.3.11. Hasil Analisa Struktur 159
4.4. Perencanaan Struktur Primer 162
4.4.1. Umum 162
4.4.2. Perencanaan Balok Induk 163
4.4.3. Perencanaan Kolom 196
4.4.4. Perencanaan Dinding Geser (*Shear Wall*) 209
4.5. Perencanaan Sambungan 220
4.5.1. Umum 220
4.5.2. Perencanaan Konsol pada Elemen Pracetak .221
4.5.3. Perencanaan Sambungan Balok – Kolom.....225
4.5.4. Perencanaan Sambungan Balok Anak – Balok Induk 230
4.5.5. Perencanaan Sambungan Balok – Plat 234
4.5.6. Perencanaan Sambungan Kolom – Kolom ...234
4.6. Metode Pelaksanaan 236
4.6.1. Umum 236
4.6.2. Transportasi Elemen Beton Pracetak 236
4.6.3. Metode *Erection* 237
4.6.4. Pengangkatan Elemen Pracetak 237
4.7. Perencanaan Struktur Bawah 238
4.7.1. Umum 238

4.7.2. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang 238
4.7.3. Perencanaan Poer 263
4.7.4. Perencanaan Dinding Penahan Tanah 274
4.7.5. Perencanaan Sloof 281
4.7.6. Perencanaan Tusuk Konde 284
BAB V PENUTUP 286
5.1. Rangkuman Perencanaan 286
5.2. Saran 288
DAFTAR PUSTAKA 290
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tampak Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis, UHAMKA 3
Gambar 2.1 Deformasi Akibat Beban Lateral pada Sistem Rangka, Dinding Struktural, dan *Dual System* 10
Gambar 2.2 *Hollow Core Slab* 11
Gambar 2.3 *Solid Flat Slab* 12
Gambar 2.4 *Double Tees Slab* 12
Gambar 2.5 *Rectangular Beam* 13
Gambar 2.6 *L-Shaped Beam* 13
Gambar 2.7 *Inverted Tee Beam* 13
Gambar 2.8 *Single Storey dan Multi Storey Column* 14
Gambar 2.9 Sambungan Menggunakan Baut 16
Gambar 2.10 Sambungan Menggunakan Las 17
Gambar 2.11 Sambungan dengan Cor di Tempat 18
Gambar 2.12 (a) Empat Titik Angkat pada Pelat Pracetak (b) Delapan Titik Angkat pada Pelat Pracetak 19
Gambar 2.13 Pengangkatan Balok Pracetak 19
Gambar 2.14 Pengangkatan Kolom Pracetak 20
Gambar 2.15 Metode *Erection* Arah Vertikal 21
Gambar 2.16 Metode *Erection* Arah Horizontal 21
Gambar 2.17 *Sheet Pile Wall* 23
Gambar 2.18 Soldier Pile Wall 23
Gambar 2.19 Contiguous Bored Pile Wall 23
Gambar 2.20 Secant Pile Wall 24
Gambar 2.21 Diaphragm Wall 24
Gambar 2.22 Pondasi Telapak 26
Gambar 2.23 Pondasi Rakit 26
Gambar 2.24 Pondasi Batu Kali 27
Gambar 2.25 Pondasi Sumuran 28
Gambar 2.26 Pondasi Tiang 28
Gambar 3.1 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir 31
Gambar 3.2 Posisi Titik Angkat Pelat (4 Titik Angkat) 36

Gambar 3.3 Posisi Titik Angkat Pelat (8 Titik Angkat).....37
Gambar 3.4 Data Penampang *Hollow Core Slab* yang Digunakan.....38
Gambar 3.5 Detail Penampang *Hollow Core Slab* yang Digunakan.....38
Gambar 3.6 S_s, Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R).....44
Gambar 3.7 S_1, Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R).....45
Gambar 3.8 Penentuan Simpangan Tiap Lantai.....55
Gambar 3.9 Momen pada Balok Pracetak Saat Pengangkatan 61
Gambar 3.10 Peikko Coupler.....66
Gambar 3.11 NMB Splice Sleeve 66
Gambar 3.12 Pemasangan Sambungan Kolom 68
Gambar 3.13 Parameter Geometri Konsol Pendek 69
Gambar 3.14 Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak..70
Gambar 3.15 Sambungan Balok dengan Pelat Lantai.....70
Gambar 3.16 Sistem Struktur Rangka dengan Kolom Sambungan Setiap Lantai 74
Gambar 3.16 Metode Ereksi Horizontal.....74
Gambar 4.1 Denah Tangga.....79
Gambar 4.2 Ilustrasi Tebal Pelat Tangga 80
Gambar 4.3 Pemodelan Tangga 81
Gambar 4.4 Bidang N pada Tangga 82
Gambar 4.5 Bidang D pada Tangga 83
Gambar 4.6 Bidang M pada Tangga 84
Gambar 4.7 Variasi Jenis Pelat Lantai 92
Gambar 4.8 Denah Pelat Tipe S1 8,4 m x 3,1 m.....93
Gambar 4.9 Denah Pelat Tipe S10 7,2 m x 4 m.....93
Gambar 4.10 Penampang *Hollow Core Slab* Tebal 150 mm .97
Gambar 4.11 Pengangkatan Pelat Pracetak.....99
Gambar 4.12 Denah Pelat Basement.....101
Gambar 4.13 Distribusi Beban Pelat pada Balok Anak 111

Gambar 4.14 Titik Angkat Balok Anak.....125
Gambar 4.15 Jenka PSA Short Inserts.....130
Gambar 4.16 Kait JL 131
Gambar 4.17 Potongan Ruang Lift.....133
Gambar 4.18 Luas Pembebanan Kolom.....135
Gambar 4.19 Permodelan Struktur Menggunakan Etabs 2016 141
Gambar 4.20 Hasil *Output* Pembebanan ETABS 2016.....143
Gambar 4.21 Grafik Respon Spektrum Desain 146
Gambar 4.22 Grafik *Story Drift* Arah X dan Y 155
Gambar 4.23 Grafik Simpangan Arah X dan Y 156
Gambar 4.24 Denah Balok Induk.....164
Gambar 4.25 Tipe Pendistribusian Beban pada Balok Induk 165
Gambar 4.26 Titik Angkat Balok Anak.....190
Gambar 4.27 Jenka PSA Short Inserts.....195
Gambar 4.28 Kait JL 195
Gambar 4.29 Denah Kolom.....197
Gambar 4.30 Diagram Interaksi Beban Aksial dan Momen pada K5.....199
Gambar 4.31 Jenka PSA Short Inserts.....207
Gambar 4.32 Kait JL 208
Gambar 4.33 Denah Dinding Geser 210
Gambar 4.34 Dinding Geser SW1.....211
Gambar 4.35 Diagram Interaksi Beban Aksial dan Momen pada SW1.....213
Gambar 4.36 Detail Sambungan.....221
Gambar 4.37 Detail Konsol Pendek 222
Gambar 4.38 Sambungan Antar Kolom 235
Gambar 4.39 Tulangan Angkat Jenka Lifting System.....238
Gambar 4.40 Penampang *Prestressed Concrete Spun Pile* PT WIKA Beton.....238
Gambar 4.41 Denah Pondasi 239
Gambar 4.42 Konfigurasi Tiang Pancang Tipe 1 247

Gambar 4.43 Konfigurasi Tiang Pancang Tipe 2 248
Gambar 4.44 Konfigurasi Tiang Pancang Tipe 3 248
Gambar 4.45 Konfigurasi Tiang Pancang Tipe 4 249
Gambar 4.46 Konfigurasi Tiang Pancang Tipe 5 249
Gambar 4.47 Grafik *Immediate Settlement of Isolate Footing* 258
Gambar 4.48 Grafik *Influence Value for Laterally Loaded Pile* 259
Gambar 4.49 Grafik *Influence Value for Laterally Loaded Pile* 260
Gambar 4.50 Bidang Kritis Geser Pons Satu Arah Pondasi Tipe 1 265
Gambar 4.51 Bidang Kritis Geser Pons Dua Arah Akibat Kolom Pondasi Tipe 1 266
Gambar 4.52 Bidang Kritis Geser Pons Dua Arah Akibat Tiang Pancang Pondasi Tipe 1 267
Gambar 4.53 Permodelan Poer Pondasi Tipe 1 pada ETABS 2016 269
Gambar 4.54 Output M11 pada Dinding *Basement* 276
Gambar 4.55 Output M22 pada Dinding *Basement* 276
Gambar 4.56 Diagram Interaksi Sloof 282

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tinggi Minimum Balok 38
Tabel 3.2 Jenis dan Besar Beban Mati 39
Tabel 3.3 Klasifikasi Situs 41
Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan 42
Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa (I_e) 43
Tabel 3.6 Koefisien situs, F_a 45
Tabel 3.7 Koefisien situs, F_v 46
Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek, S_{DS} 47
Tabel 3.9 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik, S_{D1} 47
Tabel 3.10 Koefisien *Cu* 53
Tabel 3.11 Koefisien *Ct* dan *x* 53
Tabel 3.12 Simpang Ijin Struktur 54
Tabel 3.13 Angka Pengali Beban Statis Ekivalen untuk Menghitung Gaya Pengangkatan dan Gaya Dinamis 61
Tabel 3.14 Penulangan Minimum untk Dinding Dalam Bidang $Vu \leq 0{,}5\ \phi Vc$ 64
Tabel 3.15 Nilai Vc untuk *Two-Way Shear* 73
Tabel 4.1 Rekapitulasi Penulangan Tangga 88
Tabel 4.2 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi *Hollow Core Slab* 96
Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan Pengangkatan Pelat 100
Tabel 4.4 Rekapitulasi Momen pada Pelat Basement 103
Tabel 4.5 Rekapitulasi Penulangan Pelat Basement 108
Tabel 4.6 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi Balok Anak ...110
Tabel 4.7 Rekapitulasi Tulangan Balok Anak 131
Tabel 4.8 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi Balok Induk ..134
Tabel 4.9 Rekapitulasi Pembebanan Kolom 136
Tabel 4.10 Rekapitulasi Dimensi Kolom 139
Tabel 4.11 Rekapitulasi Pembebanan Gravitasi 142
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan N Rerata 144

Tabel 4.13 Respon Spektrum Desain 145
Tabel 4.14 Periode Fundamental Struktur..... 147
Tabel 4.15 Berat Efektif Struktur..... 149
Tabel 4.16 Gaya Geser Dinamik..... 150
Tabel 4.17 Rekapitulasi Gaya Geser Statik (V) dan Dinamik (Vi) 150
Tabel 4.18 Gaya Geser Dinamik Baru 151
Tabel 4.19 Rekapitulasi Gaya Geser Statik (V) dan Dinamik (Vi) dengan Koreksi *Scale Factor*..... 151
Tabel 4.20 Modal Partisipasi Massa Ragam 152
Tabel 4.21 Tabel Simpangan dengan Gempa Arah X..... 154
Tabel 4.22 Tabel Simpangan dengan Gempa Arah Y..... 154
Tabel 4.23 Reaksi Perletakan untuk Gempa X dan Y..... 156
Tabel 4.24 Pengaruh P-Delta pada Arah X..... 158
Tabel 4.25 Pengaruh P-Delta pada Arah Y 158
Tabel 4.26 Hasil Gaya Dalam Balok..... 159
Tabel 4.27 Hasil Gaya Dalam Kolom 160
Tabel 4.28 Hasil Gaya Dalam Dinding Geser..... 161
Tabel 4.29 Rekapitulasi Perhitungan M_{pr} Balok Induk..... 178
Tabel 4.30 Rekapitulasi Penambahan Tulangan Torsi..... 183
Tabel 4.31 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk..... 195
Tabel 4.32 Rekapitulasi Tulangan Kolom..... 208
Tabel 4.33 Rekapitulasi Penulangan Dinding Geser..... 220
Tabel 4.34 Rekapitulasi Perencanaan Daerah Komponen Batas Dinding Geser..... 220
Tabel 4.35 Rekapitulasi Perencanaan Konsol Pendek 225
Tabel 4.36 Rekapitulasi *Single-Sided Connection* Balok – Kolom..... 228
Tabel 4.37 Rekapitulasi *Double-Sided Connection* Balok – Kolom..... 228
Tabel 4.38 Rekapitulasi *Single-Sided Connection* Balok Induk – Balok Anak..... 233
Tabel 4.39 Rekapitulasi *Double-Sided Connection* Balok Induk – Balok Anak..... 234

Tabel 4.40 Pembebanan Pondasi Tipe 1.....240
Tabel 4.41 Pembebanan Pondasi Tipe 2.....240
Tabel 4.42 Pembebanan Pondasi Tipe 3.....241
Tabel 4.43 Pembebanan Pondasi Tipe 4.....242
Tabel 4.44 Pembebanan Pondasi Tipe 5.....242
Tabel 4.45 Daya Dukung Tiang Pancang.....245
Tabel 4.46 Daya Dukung 1 Tiang Pondasi Tipe 1.....251
Tabel 4.47 Daya Dukung 1 Tiang Pondasi Tipe 2.....251
Tabel 4.48 Daya Dukung 1 Tiang Pondasi Tipe 3.....252
Tabel 4.49 Daya Dukung 1 Tiang Pondasi Tipe 4.....252
Tabel 4.50 Daya Dukung 1 Tiang Pondasi Tipe 5.....253
Tabel 4.51 Daya Dukung Tiang Pancang *Group* Tipe 1 254
Tabel 4.52 Daya Dukung Tiang Pancang *Group* Tipe 2 255
Tabel 4.53 Daya Dukung Tiang Pancang *Group* Tipe 3 255
Tabel 4.54 Daya Dukung Tiang Pancang *Group* Tipe 4 256
Tabel 4.55 Daya Dukung Tiang Pancang *Group* Tipe 5 256
Tabel 4.56 Kontrol Gaya Lateral Pondasi Tipe 1 260
Tabel 4.57 Kontrol Gaya Lateral Pondasi Tipe 2 261
Tabel 4.58 Kontrol Gaya Lateral Pondasi Tipe 3 262
Tabel 4.59 Kontrol Gaya Lateral Pondasi Tipe 4 262
Tabel 4.60 Kontrol Gaya Lateral Pondasi Tipe 5 263
Tabel 4.61 P_{max} dan Output Momen pada Poer 269
Tabel 4.62 Rekapitulasi Penulangan Poer 274
Tabel 5.1 Rekapitulasi Dimensi Struktur Sekunder 286
Tabel 5.2 Rekapitulasi Dimensi Struktur Primer.....286
Tabel 5.3 Rekapitulasi Dimensi Struktur Bawah 287

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

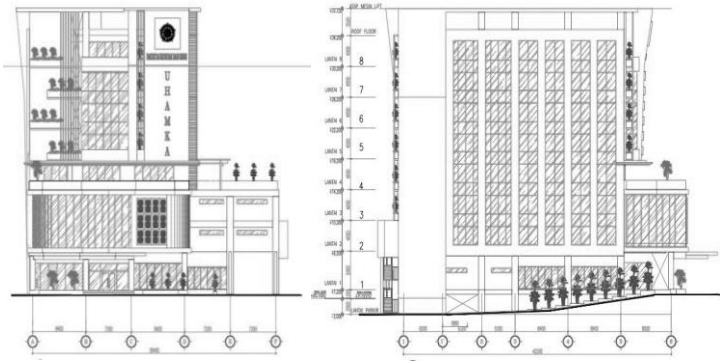
Kota Jakarta merupakan salah satu kota terbesar di Indonesia dengan laju pertumbuhan penduduk yang relatif tinggi dan akan terus meningkat. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, pada tahun 2015 angka laju pertumbuhan penduduk di DKI Jakarta mencapai angka 1,02% yang berarti setiap tahunnya akan ada pertambahan penduduk sebanyak kurang lebih tiga juta orang. Pertambahan penduduk yang semakin meningkat dengan pesat beriringan dengan semakin sempitnya lahan yang tersedia. Hal ini menyebabkan gaya pembangunan gedung tidak lagi mengarah ke model *landed* melainkan menjadi vertikal atau biasa kita sebut sebagai *high rise building*.

Gedung tinggi atau *high rise building* biasanya dibangun dengan metode konvensional dimana struktur beton pada gedung tersebut dicor di tempat proyek konstruksi sehingga membutuhkan waktu yang relatif lama dalam pembangunannya. Selain itu, mutu dan kualitas yang dihasilkan beton konvensional tidak menentu karena pengerjaannya sangat bergantung dengan faktor cuaca dan juga sumber daya manusia. Dengan kondisi tersebut, timbul kebutuhan terhadap pekerjaan konstruksi yang cepat dan efisien dengan tanpa mengurangi mutu dan kemampuan bangunan dalam menerima beban yang ada. Pengaplikasian metode pembangunan menggunakan elemen pracetak dapat memenuhi kebutuhan tersebut karena memiliki beberapa keunggulan. Di antaranya adalah durasi pekerjaan menjadi lebih singkat, kualitas dan mutu beton terjaga dengan baik karena pembuatan produk dilakukan di pabrik tanpa terpengaruh oleh cuaca, membutuhkan tenaga kerja yang lebih sedikit karena beton sudah terfabrikasi, pekerjaan di proyek menjadi lebih sederhana, dan tidak

membutuhkan tempat penyimpanan material terlalu luas (Ervianto, 2006).

Selain menggunakan metode pracetak sebagai salah satu usaha efisiensi dalam pembangunan sebuah gedung, desain lantai dan atap pada gedung tersebut juga memerlukan beberapa pertimbangan. Dimensi elemen struktur berpengaruh terhadap beban gravitasi yang harus dipikul oleh gedung tersebut, semakin besar dimensinya maka semakin besar pula beban gravitasinya. Dengan adanya pengurangan *cross section* pada sebuah struktur, diharapkan dapat mengurangi beban gravitasi yang harus dipikul oleh gedung tersebut. Salah satu upaya pengurangan *cross section* pada elemen struktur gedung yang dapat digunakan adalah *Hollow Core Slab* yang mempunyai lubang longitudinal yang berfungsi untuk mengurangi berat beban gravitasi pelat lantai (El-Arab, 2017).

Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka (UHAMKA) terletak di Jakarta Timur. Gedung ini terdiri dari 9 lantai dengan *basement* dan dibangun dengan beton bertulang menggunakan metode cor *in-situ*. Untuk menghemat biaya dan waktu konstruksi tanpa mengabaikan mutu dan kualitas beton, penulis akan memodifikasi Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis UHAMKA yang awalnya 9 lantai, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1.1, menjadi 15 lantai dengan menggunakan elemen pracetak dan *Hollow Core Slab*.



Gambar 1.1 Tampak Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis, UHAMKA

1.2. Perumusan Masalah

1.2.1. Masalah Utama

Bagaimana merencanakan ulang Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka dengan menggunakan elemen pracetak dan *Hollow Core Slab*?

1.2.2. Detail Masalah

Detail permasalahan yang akan ditinjau pada perencanaan ini adalah:

1. Bagaimana menentukan *preliminary design* pada struktur primer dan struktur sekunder yang sesuai dengan proses perencanaan?
2. Bagaimana perhitungan pembebanan setelah proses perencanaan struktur?
3. Bagaimana analisa permodelan struktur dengan menggunakan program bantu ETABS?
4. Bagaimana menentukan dimensi dari elemen beton pracetak yang efektif dan efisien sehingga mampu menahan beban-beban yang bekerja pada struktur?

5. Bagaimana merencanakan sambungan antar elemen struktur yang tahan gempa?
6. Bagaimana merencanakan pondasi bangunan yang mampu menopang beban yang dipikul dan sesuai dengan kondisi tanah?
7. Bagaimana menerjemahkan hasil perhitungan modifikasi struktur menjadi bentuk gambar teknik?

1.3. Tujuan

1.3.1. Tujuan Utama

Tujuan utama dari perencanaan Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka adalah mampu merencanakan dan menetapkan elemen beton pracetak dan *Hollow Core Slab* dalam pembangunan seluruh komponen struktur sesuai dengan peraturan yang berlaku.

1.3.2. Tujuan Detail

Tugas akhir ini memiliki beberapa tujuan detail, di antaranya adalah:

1. Menentukan *preliminary design* pada struktur primer dan struktur sekunder yang sesuai dengan proses perencanaan.
2. Menghitung pembebanan setelah proses perencanaan struktur.
3. Mendapatkan hasil analisa permodelan struktur dengan menggunakan program bantu ETABS.
4. Menentukan dimensi dari elemen beton pracetak yang efektif dan efisien sehingga mampu menahan beban-beban yang bekerja pada struktur.
5. Merencanakan sambungan antar elemen struktur yang tahan gempa.

6. Merencanakan pondasi bangunan yang mampu menopang beban yang dipikul dan sesuai dengan kondisi tanah.
7. Mendapatkan gambar teknik dari hasil perhitungan struktur.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Perencanaan menggunakan elemen pracetak pada kolom, balok, dan pelat sedangkan dinding geser, pelat *basement*, dinding *basement*, dan tangga menggunakan metode cor *in-situ*.
2. Perencanaan tidak meninjau dari segi produksi beton pracetak dan segi analisis anggaran biaya.
3. Perencanaan tidak meninjau utilitas bangunan, *mechanical*, *electrical*, dan *finishing*.

1.5. Manfaat

Manfaat dari perencanaan ulang Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka adalah untuk mendapatkan alternatif desain pada pembangunan Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka dengan menggunakan elemen pracetak dan *Hollow Core Slab* serta sebagai acuan bagi para pembaca tentang pembangunan dengan elemen pracetak dan *Hollow Core Slab*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan…”

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Tinjauan pustaka ini akan membahas beberapa jurnal dan dasar teori menyangkut perencanaan Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka secara umum dan dengan menggunakan beton pracetak secara khusus.

2.2. Beton Pracetak

Beton pracetak adalah sebuah teknologi konstruksi dimana elemen struktur penyusun sebuah bangunan seperti kolom, balok, dan pelat dicetak terlebih dahulu di suatu tempat, terkadang elemen-elemen tersebut disatukan terlebih dahulu untuk kemudian dilakukan instalasi atau pemasangan di lokasi konstruksi.

Beton pracetak mempunyai keuntungan dan kelebihannya sendiri dibandingkan dengan beton konvensional atau beton cor di tempat. Kelebihan beton pracetak adalah sebagai berikut:

1. Pengurangan penggunaan bekisting dan perancah karena komponen struktur telah terfabrikasi
2. Menghemat waktu konstruksi karena pengerjaannya lebih cepat sehingga menghemat biaya konstruksi pula
3. Meminimalisir kegiatan konstruksi di lapangan
4. Pengecekan mutu dan kualitas dapat menjadi lebih mudah karena dilakukan saat pembuatan di pabrik bukan di lokasi konstruksi
5. Meminimalisir pengaruh cuaca selama proses konstruksi
6. Lebih ramah lingkungan karena minimnya limbah

Sedangkan kekurangan beton pracetak antara lain adalah:

1. Membutuhkan penanganan khusus terhadap komponen yang telah terfabrikasi

2. Membutuhkan perhatian khusus pada kekuatan sambungan dan ketahanan korosi dari sambungan untuk menghindari terjadinya kegagalan pada sambungan
3. Membutuhkan biaya transportasi tambahan untuk pengangkutan elemen pracetak
4. Membutuhkan tenaga profesional untuk mengawasi instalasi elemen pracetak (Yadav & Shah, 2013)

2.3. Sistem Struktur Gedung

Pembebanan lateral pada suatu gedung mempengaruhi tinggi rendahnya bangunan tersebut. Semakin tinggi suatu bangunan, maka sistem pembebanan lateral yang berupa beban angin dan beban gempa akan semakin besar pula. Semakin tinggi suatu bangunan, pentingnya aksi gaya lateral menjadi semakin berarti (Juwana, 2005). Pertimbangan kekakuan menentukan jenis rancangan. Derajat kekakuannya terutama bergantung pada jenis sistem struktur yang dipilih (Schueller, 1989).

Terdapat beberapa sistem struktur yang berkaitan dengan kemampuan suatu gedung untuk menahan beban lateral. Sistem struktur yang umum digunakan sebagai penahan gaya gempa dalam perencanaan gedung antara lain Sistem Dinding Struktural (SDS), Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM), dan Sistem Ganda atau *Dual System* (Paulay & Priestley, 1992).

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah sebuah sistem rangka yang komponen struktur dari sebuah gedung seperti kolom, balok, dan pelatnya terhubung secara *rigid* untuk menahan gaya-gaya yang bekerja, terutama gaya gempa. SRPM dikelompokkan menjadi tiga, yaitu:

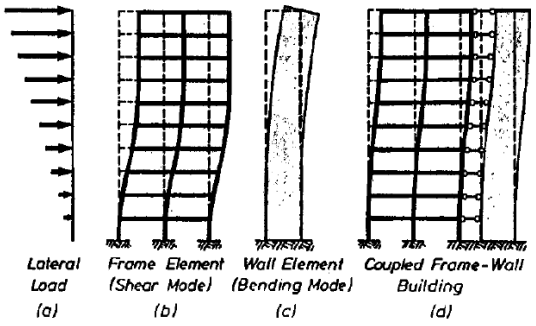
1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), merupakan sistem struktur yang memiliki tingkat daktilitas terbatas dan cocok digunakan di daerah dengan resiko gempa yang rendah.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), merupakan sistem struktur yang memiliki tingkat daktilitas sedang dan dapat digunakan di daerah dengan resiko gempa yang sedang.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), merupakan sistem struktur yang memiliki tingkat daktilitas tinggi sehingga harus digunakan pada daerah dengan tingkat resiko gempa yang tinggi.

Sistem Dinding Struktural (SDS) atau biasa dikenal dengan *Shear Wall* adalah sistem rangka dimana gaya geser dan momen gaya aksial yang ditimbulkan oleh gaya gempa ditahan oleh dinding. Sistem Dinding Struktural dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

1. Dinding Struktural Beton Biasa (SDSB), merupakan sistem struktur dinding yang memiliki tingkat daktilitas terbatas dan cocok digunakan di daerah dengan resiko gempa rendah sampai menengah.
2. Dinding Struktural Beton Khusus (SDSK), merupakan sistem struktur dinding yang memiliki tingkat daktilitas tinggi sehingga dapat digunakan pada daerah dengan resiko gempa yang tinggi

Dual System merupakan sistem struktur dimana rangka beton berinteraksi dengan beton bertulang atau dinding struktural untuk menahan beban-beban lateral yang terjadi pada gedung seperti gaya gempa untuk mengurangi deformasi yang terjadi pada struktur seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Deformasi Akibat Beban Lateral pada Sistem Rangka, Dinding Struktural, dan *Dual System* (Paulay & Priestley, 1992)

2.4. Konstruksi Tahan Gempa

Dalam merencanakan sebuah gedung, perlu dipastikan bahwa struktur gedung tersebut tahan terhadap gempa. Khususnya pada gedung yang berada pada daerah dengan resiko gempa yang tinggi. Taraf keamanan minimum untuk bangunan gedung dan rumah tinggal yang masuk dalam kategori bangunan tahan gempa, yaitu yang memenuhi berikut ini:

a. Bila terkena gempa bumi yang lemah, bangunan tersebut tidak mengalami kerusakan sama sekali.
b. Bila terkena gempa bumi sedang, bangunan tersebut boleh rusak pada elemen-elemen non-struktural, tetapi tidak boleh rusak pada elemen-elemen struktur.
c. Bila terkena gempa bumi yang sangat kuat, bangunan tersebut tidak boleh runtuh baik sebagian maupun seluruhnya; bangunan tersebut tidak boleh mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki; bangunan gedung tersebut boleh mengalami kerusakan tetapi kerusakan yang terjadi harus dapat diperbaiki dengan

cepat sehingga dapat berfungsi kembali (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2006)

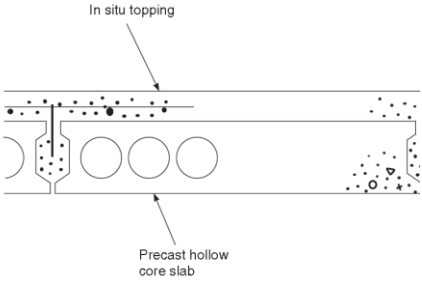
2.5. Elemen Struktur Beton Pracetak

2.5.1. Pelat Pracetak

Terdapat tiga macam pelat pracetak yang umum diproduksi dan digunakan sebagai elemen pracetak, di antaranya adalah:

1. *Hollow Core Slab*

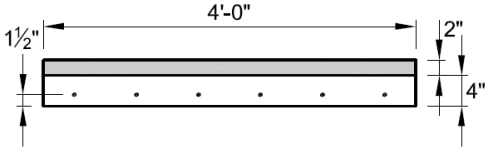
   Merupakan pelat pracetak dimana tebalnya lebih besar dibandingkan dengan pelat pracetak tanpa lubang (*Solid Flat Slab*). Pelat tipe ini biasanya menggunakan kabel prategang. Keuntungan *Hollow Core Slab* adalah lebih ringan karena beban gravitasinya berkurang akibat lubang-lubang yang ada, tingkat durabilitas tinggi, tingkat ketahanan terhadap api tinggi, serta dapat digunakan untuk bentang yang panjang dengan ketebalan yang relatif lebih kecil. Pelat ini memiliki lebar rata-rata 4 hingga 15 inci. Pelat jenis ini akan penulis gunakan dalam perencanaan ulang Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka. Penampang *hollow core slab* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Hollow Core Slab*
(Elliot, 2002)

2. *Solid Flat Slab*

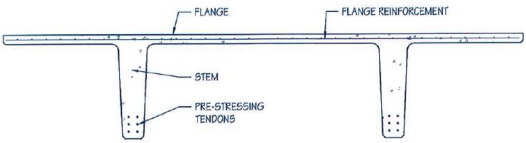
Solid Flat Slab merupakan pelat pracetak tanpa lubang yang berbentuk seperti pelat beton pada umumnya yang dapat dilihat pada Gambar 2.3. Keuntungan dari pelat jenis ini adalah kemudahan dalam proses penyimpanannya karena tidak memakan banyak tempat. Pelat jenis ini dapat berupa beton prategang atau beton bertulang biasa dengan ketebalan dan lebar yang bervariasi.



Gambar 2.3 *Solid Flat Slab*
(Elliot, 2002)

3. *Single Tee* dan *Double Tees Slab*

Single Tee dan *Double Tees Slab* merupakan jenis pelat hasil modifikasi dari *Solid Flat Slab* dimana terdapat kaki vertikal yang membentuk profil "T" dimana pada bagian kaki tersebut terdapat penulangan yang lebih banyak sehingga pelat jenis ini mampu menahan beban yang lebih berat. Pelat jenis ini cocok digunakan untuk bentang yang seperti pada lahan parkir, pabrik, *ballroom*, dan lain-lain (Hogan & Farahmandpour, 2013). Penampang *double tees slab* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Double Tees Slab*
(Hogan & Farahmandpour, 2013)

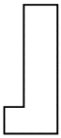
2.5.2. Balok Pracetak

Balok adalah elemen struktur berbentuk batang horizontal yang menahan lentur dan membentang di antara kolom. Balok berfungsi untuk memikul beban dari pelat dan kemudian menyalurkan beban-beban tersebut ke kolom. Terdapat berbagai macam bentang dan dimensi penampang untuk elemen balok pracetak. Berdasarkan *PCI Design Handbook*, 2004 terdapat tiga jenis elemen balok pracetak, di antaranya adalah:

1. Balok Segi Empat (*Rectangular Beam*)

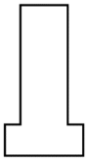
Gambar 2.5 *Rectangular Beam*
(PCI Design Handbook, 2004)

2. Balok Berpenampang L (*L-Shaped Beam*)



Gambar 2.6 *L-Shaped Beam*
(PCI Design Handbook, 2004)

3. Balok Berpenampang T Terbalik (*Inverted Tee Beam*)

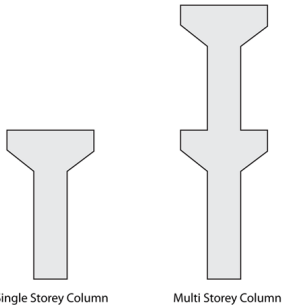


Gambar 2.7 *Inverted Tee Beam*
(PCI Design Handbook, 2004)

2.5.3. Kolom Pracetak

Kolom adalah elemen struktur berbentuk batang vertikal yang menahan beban aksial. Struktur beton pracetak untuk

kolom dapat diproduksi tanpa sambungan atau dengan sambungan. Apabila suatu bangunan memiliki ketinggian di bawah 30 meter, maka penggunaan kolom menerus masih memungkinkan. Namun, untuk bangunan dengan ketinggian lebih dari 30 meter, sebaiknya digunakan kolom dengan sambungan (Ervianto, 2006). Terdapat dua jenis kolom pracetak yang umum digunakan dalam konstruksi, yaitu kolom *single storey* dan kolom *multi storey* yang diilustrasikan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Single Storey dan Multi Storey Column*
(Brosur *Sarawak Consolidated Industries Berhad*, 2017)

2.6. Dinding Geser (*Shear Wall)*

Dinding geser merupakan struktur kaku yang digunakan untuk menahan gaya geser, momen, dan gaya aksial yang timbul akibat beban gempa. Dinding geser yang kaku pada bangunan dapat menyerap sebagian besar beban gempa (Imran & Hendrik, 2014). Terdapat beberapa tipe dinding geser, di antaranya adalah:

1. *Flexural Wall* (Dinding Langsing)
   Merupakan dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \geq 2$, dimana desainnya dikontrol oleh perilaku lentur.
2. *Squat Wall*

Merupakan dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \leq 2$, dimana desainnya dikontrol oleh perilaku geser.

3. *Coupled Shear Wall*

   Momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding yang dihubungkan oleh balok-balok perangkai (balok kopel), sebagai gaya-gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar pasangan dinding tersebut.

Gedung yang diperkaku dengan dinding geser dianggap lebih efektif daripada gedung dengan rangka kaku, dengan mempertimbangkan pembatasan kehancuran, keamanan secara keseluruhan dan keandalan struktur. Hal ini berdasarkan fakta bahwa dinding geser dianggap lebih kaku daripada elemen rangka biasa sehingga dapat menahan beban lateral yang lebih besar akibat gempa, dan di saat yang bersamaan dapat membatasi simpangan antar lantai (Nawy, 2005).

2.7. Sambungan Beton Pracetak

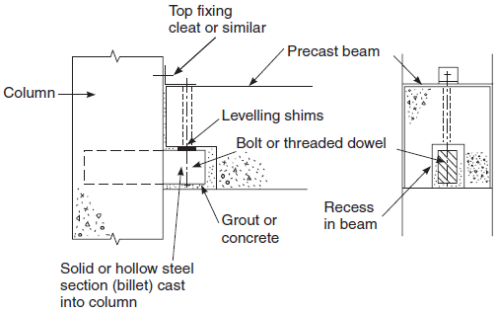
Elemen yang berperan sangat penting dalam desain konstruksi bangunan tahan gempa ialah sambungan. Keruntuhan bangunan akibat gempa terjadi pada sambungan yang relatif kurang kaku atau monolit sehingga lemah dalam menahan beban gempa. Agar bangunan memiliki performa yang baik saat menerima beban gempa, maka harus dipenuhi syarat sambungan balok kolom. Sambungan balok-kolom menempati fungsi yang sangat kritis, karena mekanisme respon struktur terhadap beban terjadi pada penyaluran gaya-gaya dari balok ke kolom-kolom bangunan (Indrayana, 2013).

Secara umum, ada dua jenis sambungan yang biasa digunakan dalam sistem beton pracetak, yaitu sambungan kering (*dry connection*) dan sambungan basah (*wet connection*) (Ervianto, 2006). Untuk sambungan kering dapat digunakan sambungan dengan baut maupun sambungan dengan las.

Sementara untuk sambungan basah merupakan sambungan dengan cor langsung di tempat.

2.7.1. Sambungan Kering dengan Menggunakan Baut

Metode penyambungan jenis ini dilakukan dengan memberikan pelat baja pada ujung-ujung kedua elemen beton pracetak yang akan disambung. Pelat baja tersebut ditanam masuk pada daerah tulangan dan dicor pada waktu pembuatan elemen pracetak. Pelat baja dari kedua komponen tersebut disatukan menggunakan alat sambung berupa baut dengan kuat tarik tinggi. Untuk menghindari terjadinya korosi pada plat baja, setelah proses penyambungan selesai dilakukan maka pelat baja tersebut ditutup dengan adukan semen beton (Ervianto, 2006). Sambungan yang menggunakan baut dapat dilihat pada Gambar 2.9.

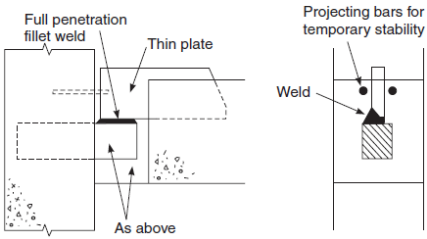


Gambar 2.9 Sambungan Menggunakan Baut
(Elliot, 2002)

2.7.2. Sambungan Kering dengan Menggunakan Las

Alat sambung jenis ini menggunakan pelat baja (pelat sisip) yang ditanam masuk pada daerah tulangan dan ditempatkan pada ujung-ujung beton yang akan disatukan, kemudian di cor pada waktu pembuatan elemen pracetak. Fungsi dari pelat baja ini adalah untuk meneruskan gaya-gaya sehingga pelat baja ini harus benar-benar menyatu dengan material betonnya (Ervianto, 2006). Untuk menyatukan antar

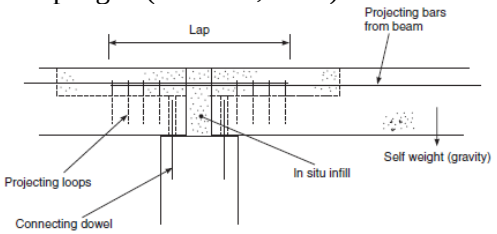
pelat sisip dari beton yang akan disambung digunakan pelat baja (pelat sambung) yang dilas ke pelat sisip. Setelah dilas, pelat disambung tersebut kemudian ditutup dengan menggunakan adukan beton. Hal ini dilakukan untuk melindungi pelat penyambung tersebut dari korosi yang membahayakan kekuatan sambungan. Sambungan yang menggunakan las dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Sambungan Menggunakan Las
(Elliot, 2002)

2.7.3. Sambungan Basah dengan Cor di Tempat

Metode penyambungan jenis ini menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung antar komponen beton pracetak seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.11. Komponen beton pracetak yang sudah berada di tempatnya akan dicor bagian ujungnya untuk menyambungkan komponen satu dengan yang lain. Sambungan jenis ini lebih sering digunakan dalam pelaksanaan beton pracetak karena menghasilkan struktur yang lebih kaku jika dibanding dengan menggunakan sambungan jenis lain. Selain itu sambungan jenis ini lebih mudah untuk dikerjakan dilapangan (Ervianto, 2006).



Gambar 2.11 Sambungan dengan Cor di Tempat
(Elliot, 2002)

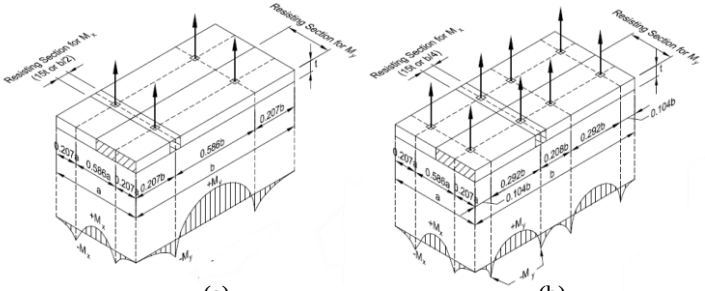
2.8. Pengangkatan dan Metode *Erection* Beton Pracetak

2.8.1. Pengangkatan Elemen Beton Pracetak

Hal yang perlu diperhatikan dan sangat penting dalam sebuah elemen beton pracetak adalah proses pengangkatannya. Karena sebuah kesalahan kecil dapat mengakibatkan keretakan pada beton tersebut. Titik pengangkatannya juga perlu ditinjau sedemikian rupa dalam rangka menjaga keseimbangan gaya tegangan beton pada saat diangkat.

a. Pengangkatan Pelat Pracetak

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diperhatikan bahwa pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu adanya perencanaan terhadap tulangan angkat untuk pelat agar tidak terjadi momen yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk pengangkut dalam perjalanan menuju *site* dimana pelat tersebut akan dipasang. Untuk menyeimbangkan elemen pracetak pada saat pengangkatan, dapat digunakan bantuan balok angkat (*spreader beam*). Terdapat dua jenis titik angkat pada pelat pracetak, yaitu empat titik angkat dan delapan titik angkat seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 (a) Empat Titik Angkat pada Pelat Pracetak (b) Delapan Titik Angkat pada Pelat Pracetak
(PCI Design Handbook, 2004)

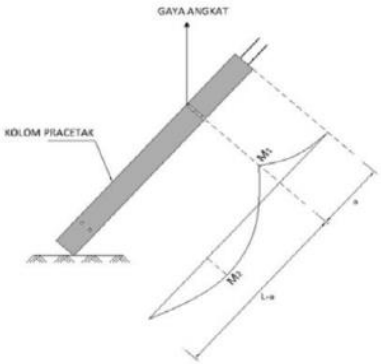
b. Pengangkatan Balok Pracetak

Terdapat dua hal yang harus ditinjau dalam pengangkatan balok pracetak, yaitu kekuatan angkur pengangkatan (*lifting anchor*) dan kekuatan lentur penampang balok pracetak. Karena pada saat pengangkatan, beban yang bekerja adalah berat sendiri balok yang ditumpu oleh angkur pengangkatan sehingga terjadi momen pada tengah bentang dan pada tumpuan. Pengangkatan balok pracetak dapat dilihat seperti pada Gambar 2.13.

Gambar 2.13 Pengangkatan Balok Pracetak
(Brosur Beta Concrete Plant & Lifting Equipment, 2018)

c. Pengangkatan Kolom Pracetak

Kondisi yang perlu diperhatikan saat proses pengangkatan kolom pracetak adalah ketika kolom tersebut berada dalam posisi miring, karena menimbulkan momen pada bentang kolom seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.14.



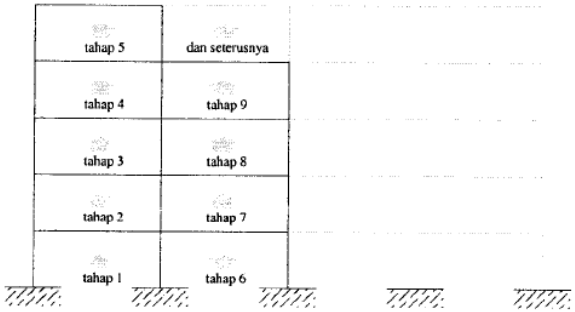
Gambar 2.14 Pengangkatan Kolom Pracetak
(PCI Design Handbook, 2004)

2.8.2. Metode *Erection* Beton Pracetak

Erection merupakan proses penyatuan komponen beton pracetak menjadi satu kesatuan bangunan yang utuh, metode yang dapat digunakan dibedakan menjadi dua, yaitu metode vertikal dan metode horizontal (Ervianto, 2006).

a. Metode Vertikal

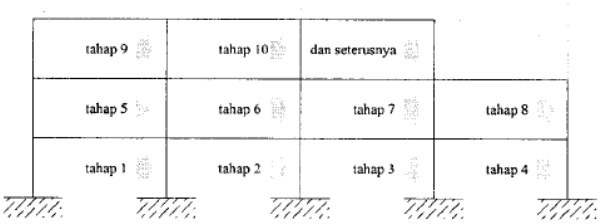
Erection dengan metode vertikal adalah kegaitan penyatuan komponen beton pracetak yang dilaksanakan pada arah vertikal struktur bangunan yang mempunyai kolom menerus dari lantai dasar hingga lantai paling atas, yang dengan cara demikian maka sambungan-sambungan pada lantai di atasnya harus dapat segera bekerja secara efisien. Metode ini biasa diterapkan pada komponen beton pracetk yang berbentuk panel/dinding (*tilt-up construction*) dimana sambungan-sambungannya harus segera dapat berfungsi secara efektif. *Erection* dengan metode vertikal dijelaskan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Metode *Erection* Arah Vertikal
(Ervianto, 2006)

b. Metode Horizontal

Penyatuan komponen beton pracetak dengan metode horizontal adalah proses *erection* yang pelaksanaannya tiap satu lantai (arah horizontal bangunan). Metode ini digunakan untuk struktur bangunan yang terdiri dari komponen kolom *precast* dengan sambungan pada tempat-tempat tertentu. Sambungan pada metode ini tidak harus segera dapat berfungsi sehingga tersedia waktu yang cukup untuk pengerasan beton. Sambungan yang cocok untuk metode ini adalah *in-situ concrete joint*. *Erection* dengan metode horizontal dijelaskan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Metode *Erection* Arah Horizontal
(Ervianto, 2006)

2.9. *Basement*

Basement adalah suatu ruang atau lantai pada gedung yang terletak di bawah permukaan tanah. Pada umumnya, *basement* seringkali dimanfaatkan sebagai area parkir atau ruang utilitas pada gedung-gedung tinggi.

Dinding pada *basement* berfungsi sebagai dinding penahan tanah atau biasa disebut *retaining wall*. Maka, dinding *basement* harus dirancang agar dapat menahan beban akibat tekanan tanah dan tekanan air. Menurut Gue dan Tan (1998), ada beberapa tipe dinding penahan tanah yang umum digunakan pada *basement*, yaitu:

2.9.1 *Sheet Pile Wall*

Sheet pile wall biasa digunakan sebagai dinding penahan tanah sementara seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.17. Penggunaan *sheet pile* pada konstruksi *basement* pada umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah:

a. Kondisi Tanah dan Kemudahan Pemasangan *Pile*

   Kondisi tanah harus memungkinkan agar *sheet pile* dapat dipasang dengan mudah, yaitu pada tanah yang mempunyai nilai N-SPT di bawah 50. Sedangkan untuk pemilihan jenis *sheet pile* yang akan digunakan bergantung pada kekuatan lentur dan kekuatan untuk menahan *driving* yang diperlukan.

b. Kedalaman Galian

   Sheet pile cocok digunakan untuk galian yang dangkal dan untuk konstruksi yang bersifat sementara karena kekakuan *sheet pile* lebih rendah dibandingkan jenis dinding penahan tanah lainnya seperti *diaphragm wall*, *contiguous bored pile,* dan *secant pile*.

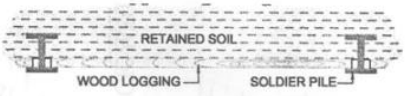
c. Kadar Air

   Sheet pile cocok digunakan untuk jenis tanah yang memiliki kadar air rendah karena rembesan yang sering terjadi.

Gambar 2.17 *Sheet Pile Wall*
(Gue & Tan, 1998)

2.9.2 *Soldier Pile Wall*

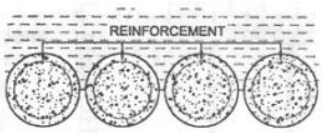
Soldier pile wall memiliki dua komponen utama, yaitu *soldier pile* (komponen vertikal) dan *lagging* (komponen horizontal). *Soldier pile* berfungsi sebagai tumpuan utama untuk menahan tanah dan *lagging* berfungsi sebagai tumpuan sekunder untuk mempertahankan bentuk tanah seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Soldier Pile Wall
(Gue & Tan, 1998)

2.9.3 *Contiguous Bored Pile Wall*

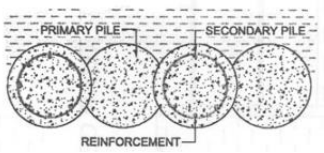
Contiguous bored pile wall dapat berfungsi sebagai dinding penahan tanah yang bersifat sementara maupun permanen seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.19. Dinding penahan tanah jenis ini biasa digunakan pada tanah yang bersifat keras (*stiff*) dan memiliki kadar air yang rendah. Keuntungan penggunaan dinding penahan tanah jenis ini ialah harganya yang relatif murah dan pengerjaannya yang relatif cepat.



Gambar 2.19 Contiguous Bored Pile Wall
(Gue & Tan, 1998)

2.9.4 *Secant Pile Wall*

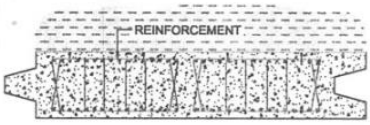
Pada dasarnya *secant pile wall* memiliki fungsi yang sama dengan *contiguous bored pile wall*. Namun dinding penahan tanah jenis ini memiliki keunggulan dibandingkan *contiguous bored pile*, karena dapat digunakan pada jenis tanah yang berkadar air tinggi karena bentuk *secant pile wall* lebih rapat dibandingkan *contiguous bored pile* sehingga dapat mencegah air untuk menembus. *Secant pile wall* dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Secant Pile Wall
(Gue & Tan, 1998)

2.9.5 *Diaphragm Wall*

Diaphragm wall merupakan dinding penahan tanah yang bersifat permanen dan yang paling efektif digunakan untuk tanah dengan kadar air tinggi. Selain itu, pemasangannya juga menimbulkan gangguan suara yang minim dan tidak menyebabkan gangguan getaran yang berlebihan. *Diaphragm wall* diilustrasikan pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Diaphragm Wall
(Gue & Tan, 1998)

2.10. Pondasi

Pondasi adalah struktur bangunan bagian bawah yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi sebagai penahan gaya beban di atasnya. Pondasi dibuat menjadi satu

kesatuan dasar bangunan yang kuat yang terdapat di bawah konstruksi. Pondasi dapat didefinisikan sebagai bagian paling bawah dari suatu konstruksi yang kuat dan stabil. Dalam perencanaan sebuah struktur, dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Untuk memilih pondasi yang memadai perlu dipertimbangkan beberapa hal yaitu keadaan tanah, batasan-batasan konstruksi di atasnya (*superstructure*), batasan-batasan dari sekelilingnya, serta waktu dan biaya pekerjaan (Sosrodarsono & Nakazawa, 2000). Pondasi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*).

2.10.1. Pondasi Dangkal

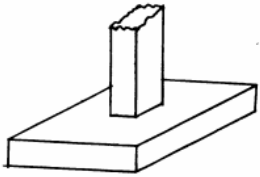
Pondasi dangkal disebut juga pondasi langsung, pondasi ini digunakan apabila laposan tanah pada dasar pondasi yang mampu mendukung beban yang dilimpahkan berada relatif dekat dengan permukaan tanah. Syarat pondasi dangkal adalah:

- $D / B \leq 1$
- Lapisan tanah keras berada di dekat permukaan tanah

Ada beberapa macam pondasi dangkal, yaitu:

a. Pondasi Telapak (*Isolated Footing*)

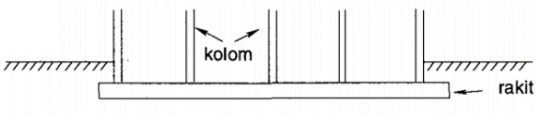
Pondasi yang berdiri sendiri dalam mendukung kolom atau pondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah bilamana terdapat lapisan tanah yang cukup tebal dengan kualitas baik yang mampu mendukung bangunan itu pada permukaan tanah atau sedikit di bawah permukaan tanah seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.22. Sistem kerja pondasi ini menerapkan sistem tanam sehingga pondasi telapak ini menahan kolom yang tertanam di dalamnya agar tidak masuk dalam tanah



Gambar 2.22 Pondasi Telapak
(Gunawan, 1991)

b. Pondasi Rakit (*Raft Foundation*)

Pondasi yang digunakan untuk mendukung bangunan yang terletak pada tanah lunak atau digunakan bila susunan antar kolom jaraknya sedemikian dekat di semua arahnya, sehingga bila menggunakan pondasi telapak, sisi-sisinya berhimpit satu sama lainnya. Ilustrasi pondasi rakit dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Pondasi Rakit
(Hardiyatmo, 1996)

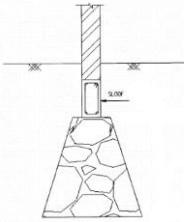
c. Pondasi Rollag Bata

Pondasi rollag bata merupakan pondasi sederhana yang fungsinya bukan menyalurkan beban bangunan, melainkan untuk menyeimbangkan posisi lantai agar tidak terjadi amblas pada ujung lantai. Pondasi ini biasanya digunakan untuk membuat teras rumah, fungsinya hamper sama dengan sloof gantung namun rollag bata tidak sekuat sloof gantung dan tidak semahal sloof gantung.

d. Pondasi Batu Kali

Pondasi batu kali merupakan pondasi penahan dinding yang digunakan pada bangunan sederhana seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.24. Pondasi

ini terdiri dari batu kali dan perekat yang berupa campuran pasir dan semen. Biasanya campuran agregat untuk merekatkan batu kali ini menggunakan perbandingan 1:3 karena batu kali akan selalu menerima rembesan air yang berasal dari tanah.



Gambar 2.24 Pondasi Batu Kali
(Pamungkas & Harianti, 2013)

2.10.2. Pondasi Dalam

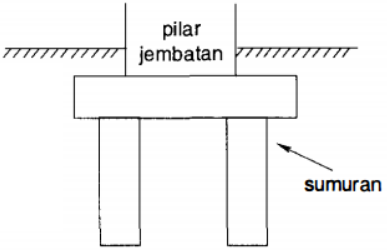
Pondasi dalam adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan. Syarat pondasi dalam adalah:

- $D / B \geq 4$
- Lapisan tanah keras berada jauh dari permukaan tanah

Ada beberapa macam pondasi dalam, yaitu:

a. Pondasi Sumuran (*Pier Foundation*)

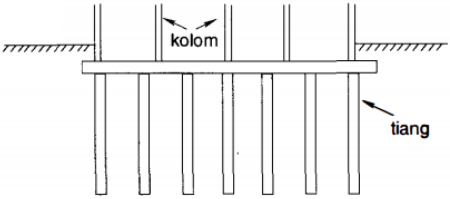
Pondasi sumuran merupakan pondasi peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang, digunakan bila tanah dasar yang kuat terletak pada kedalaman yang relatif dalam, dimana pondasi sumuran nilai $D/B \leq 4$. Ilustrasi pondasi sumuran dapat dilihat pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25 Pondasi Sumuran
(Hardiyatmo, 1996)

b. Pondasi Tiang (*Pile Foundation*)

Pondasi tiang digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Pondasi tiang pada umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibanding dengan pondasi sumuran. Ilustrasi pondasi tiang dapat dilihat pada Gambar 2.26.



Gambar 2.26 Pondasi Tiang
(Hardiyatmo, 1996)

“Halaman ini sengaja dikosongkan…”

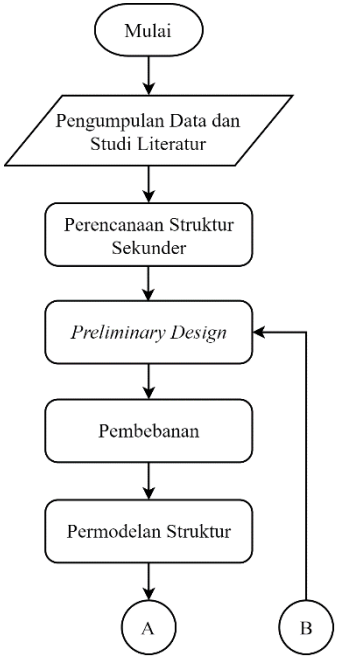
BAB III
METODOLOGI

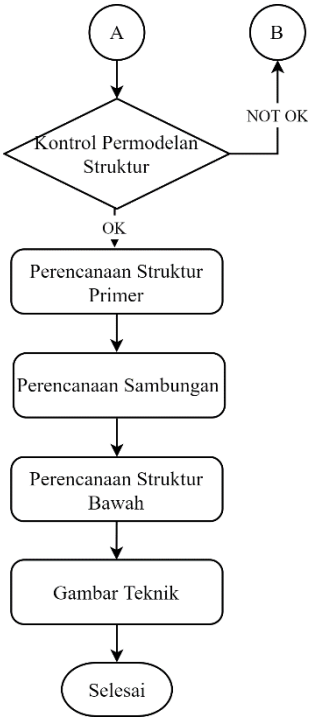
3.1. Umum

Perencanaan gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka (UHAMKA) menggunakan metode beton pracetak tentunya harus memiliki susunan pengerjaan sesuai dengan urutan kegiatan yang akan dilakukan. Urutan pelaksanaan dimulai dari pengumpulan data hingga gambar teknik pada bagian akhirnya.

3.2. Bagan Alir Perencanaan

Lingkup pekerjaan yang akan dilaksanakan dalam penyelesaian tugas akhir ini akan dijelaskan sesuai bagan alir pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir

3.3. Pengumpulan Data

3.3.1. Data Awal

a. Data Umum Bangunan

Nama Gedung	: Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka (UHAMKA)
Lokasi	: Jl. Raya Bogor Km.23 No.99, Ciracas, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus

Ibukota Jakarta
Fungsi : Gedung Perkantoran dan Fasilitas Pendidikan
Jumlah Lantai : 9 lantai dengan *basement*
Tinggi Bangunan : 37,72 meter
Total Luas Area : 407,6 m^2
Struktur Bangunan : Struktur beton bertulang

b. Data Material
Kekuatan Tekan Beton (f'_c) : 30 MPa
Tegangan Leleh Baja (f_y) : 400 MPa
Data Tanah : (Lampiran)

3.3.2. Data Modifikasi

a. Data Umum Bangunan
Nama Gedung : Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka (UHAMKA)
Lokasi : Jl. Raya Bogor Km.23 No.99, Ciracas, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta
Fungsi : Gedung Perkantoran dan Fasilitas Pendidikan
Jumlah Lantai : 15 lantai dengan *basement*
Tinggi Bangunan : 60,00 meter
Total Luas Area : 407,6 m^2
Struktur Bangunan : Struktur beton pracetak

b. Data Material
Kekuatan Tekan Beton (f'_c) : 35, 40, dan 45 MPa
Tegangan Leleh Baja (f_y) : 420 MPa

3.4. Peraturan dan Pedoman

Dalam modifikasi perencanaan struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka (UHAMKA), digunakan beberapa pedoman atau peraturan yang berlaku, di antaranya adalah:

1. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
2. SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain
3. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung
4. PPIUG 1983
5. *PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete 6th Edition*

3.5. Perencanaan Struktur Sekunder

3.5.1. Perencanaan Balok Anak

Pelat sebagai elemen yang paling awal menerima beban kemudian akan mendistribusikan beban ke balok anak. Beban yang diterima balok anak akan dihitung sebagai beban ekivalen trapesium.

Dari beban yang dipikul oleh balok anak tersebut akan digunakan untuk menghitung gaya dalam. Gaya dalam tersebut akan digunakan untuk menghitung gaya dalam. Gaya dalam tersebut digunakan untuk perhitungan penulangan lentur dan geser. Penentuan dimensi awal balok anak sama dengan balok induk yaitu mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 9.3.1. Sementara untuk penulangan balok anak sama dengan penulangan balok induk yang akan dibahas lebih detail pada sub bab selanjutnya.

3.5.2. Perencanaan Tangga

Perencanaan tangga dimulai dengan menghitung lebar dan tinggi injakan pada tanggam dengan syarat sebagai berikut:

$$60\ cm \leq 2t + i \leq 65\ cm \qquad (3\text{-}13)$$

dimana:

t = tinggi injakan

i = lebar injakan

α = sudut kemiringan tangga ($25^o \leq \alpha \leq 40^o$)

Untuk penulangan tangga, perhitungan penulangan pelat bordes dan pelat dasar tangga dilakukan sama dengan perencanaan tulangan pelat dengan anggapan tumpuan sederhana (sendi dan rol). Perencanaan tebal tangga ditentukan sesuai ketentuan dalam perhitungan dimensi awal pelat.

3.5.3. Perencanaan dan Kontrol *Hollow Core Slab*

Pelat pracetak seperti *hollow core slab* biasanya didesain menggunakan tumpuan sederhana dan didesain mengunakan sistem pelat satu arah. Penulangan dalam bentuk tendon *post tension* diletakkan di bawah elemen pracetak untuk menahan momen positif yang terjadi. Penulangan pelat pada bagian atas biasanya digunakan untuk menahan retak lentur pada saat pemasangan dan penyusutan akibat perubahan temperatur.

3.5.3.1. Kontrol Kapasitas *Hollow Core Slab*

Berdasarkan PCI *Manual for the Design of Hollow Core Slab* tahun 1998, untuk pelat yang menerima beban seragam, tabel kapasitas beban yang terlampir pada katalog produsen sudah mempertimbangkan beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh *hollow core slab* antara lain yaitu kontrol tegangan akibat pengaruh kabel prategang, defleksi, kekuatan lentur, dan kekuatan geser. Sehingga untuk perencanaan *hollow core slab* pada tugas akhir ini mengacu pada tabel kapasitas beban dari katalog *Hollow Core Slab* PT. Beton Elemenindo Perkasa.

Untuk mengetahui apakah *Hollow Core Slab* mampu menahan beban yang diterima, maka persamaan berikut harus terpenuhi:

$$Qn \geq Qu \qquad (3\text{-}1)$$

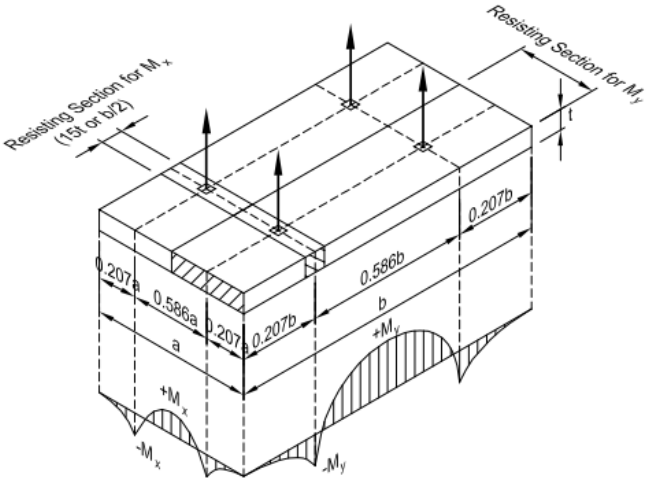
dimana:
Qn = kapasitas *Hollow Core Slab* (kg/m^2)
Qu = beban ultimate yang diterima pelat (kg/m^2)

3.5.3.2. Pengangkatan *Hollow Core Slab*

Pemasangan pelat pracetak harus diperhatikan bahwa pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat untuk pelat dengan tujuan untuk menghindari tegangan yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk pengangkatan dalam proses transportasi. Kondisi yang demikian menyebabkan terjadinya momen-momen pada elemen pracetak seperti pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3. Pada proses pengangkatan dapat menggunakan bantuan balok angkat yang memiliki kegunaan untuk menyeimbangkan elemen pracetak pada saat pengangkatan. Jenis titik angkat pada pelat tersebut dijelaskan berikut ini:

a. Empat Titik Angkat
   Maksimum momen pendekatan:
   $$+M_x = -M_x = 0{,}0107\ w\ a^2\ b \qquad (3\text{-}2)$$
   $$+M_y = -M_y = 0{,}0107\ w\ a\ b^2 \qquad (3\text{-}3)$$
   dimana:

   W = berat per luasan area
   M_x ditahan oleh penampang dengan lebar terkecil dan 15t atau b/4
   M_y ditahan oleh penampang dengan lebar a/2



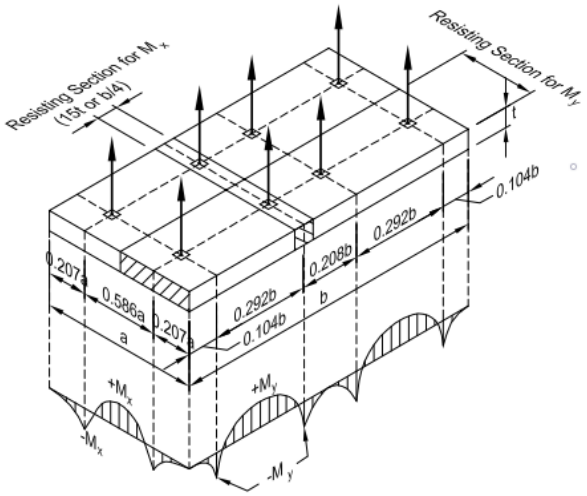
Gambar 3.2 Posisi Titik Angkat Pelat (4 Titik Angkat)
(PCI Design Handbook, 2004)

b. Delapan Titik Angkat
Maksimum momen pendekatan:

$$+M_x = -M_x = 0{,}0054\ w\ a^2\ b \qquad (3\text{-}4)$$

$$+M_y = -M_y = 0{,}0054\ w\ a\ b^2 \qquad (3\text{-}5)$$

dimana:
W = berat per luasan area
M_x ditahan oleh penampang dengan lebar terkecil dan 15t atau b/4
M_y ditahan oleh penampang dengan lebar a/2

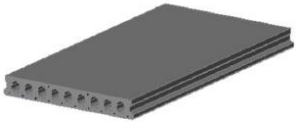


Gambar 3.3 Posisi Titik Angkat Pelat (8 Titik Angkat)
(PCI Design Handbook, 2004)

3.6. *Preliminary Design*

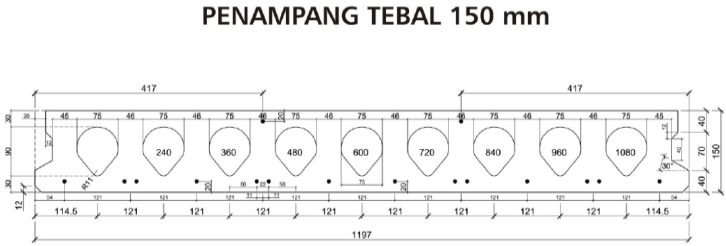
3.6.1. Perencanaan Dimensi *Hollow Core Slab*

Hollow Core Slab yang digunakan pada perencanaan tugas akhir ini menggunakan *Hollow Core Slab* hasil produksi PT. Beton Elemindo Perkasa yang memiliki data dan penampang seperti pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.



Type	Area (cm^2)	Self Load (Kg/m^2)	Rongga
HCS 150	1.117,18	247	35,80%

Gambar 3.4 Data Penampang *Hollow Core Slab* yang Digunakan
(Brosur PT. Beton Elemenindo Perkasa)



Gambar 3.5 Detail Penampang *Hollow Core Slab* yang Digunakan
(Brosur PT. Beton Elemenindo Perkasa)

3.6.2. Perencanaan Dimensi Balok

Untuk menentukan ukuran tinggi balok, baik balok anak maupun balok induk direncanakan dimensi tinggi balok awal berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.3.1 pada tabel 9.3.1.1. Lebar balok ditentukan 2/3 dari tinggi balok (h_{min}). Peraturan mengenai tinggi minimum balok dijelaskan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tinggi Minimum Balok

Kondisi Perletakan	Minimum h
Perletakan sederhana	l/16
Menerus satu sisi	l/18,5
Menerus dua sisi	l/21
Kantilever	l/8

(SNI 2847:2019)

dimana:
h_{min} = tinggi balok
L = panjang balok

3.6.3. Perencanaan Dimensi Kolom

Ukuran kolom ditentukan berdasarkan beban tekan aksial yang dipikul berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.3.1 dengan rumus:

$$Aperlu = \frac{W}{\Phi f'c} \quad (3\text{-}6)$$

dimana:

A = Luas penampang kolom yang dibutuhkan
W = Total beban yang menumpu kolom
Φ = faktor reduksi = 0,5

3.6.4. Perencanaan Dimensi Dinding Geser

Berdasarkan peraturan SNI 2847:2019 pasal 11.3.1.1, tebal dinding minimum untuk tipe dinding tumpu adalah diambil yang terbesar dari:

a. 100 mm
b. 1/25 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu

3.7. Pembebanan

Dalam analisa perhitungan desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur tersebut. Berikut akan dijelaskan lebih lanjut mengenai beban-beban dan kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 1727:2013.

3.7.1. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, kulit bangunan gedung, dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Jenis-jenis dan besarnya beban mati yang akan digunakan dijelaskan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Jenis dan Besar Beban Mati

Jenis Beban	Besar Beban
Beton bertulang	2400 kg/m^3
Aspal	2200 kg/m^3
Plafon	7 kg/m^2
Penggantung plafon	11 kg/m^2
Keramik	24 kg/m^2
Spesi per cm tebal	21 kg/m^2
Ducting dan *plumbing*	30 kg/m^2
Dinding bata ringan 60x20x10	100 kg/m^2

(PPIUG 1983)

3.7.2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat bergerak sehingga untuk menentukan secara pasti nilai beban hidup yang bekerja sangat sulit karena fluktuasi beban hidup yang bervariasi. Oleh karena itu, digunakan peraturan SNI 1727:2013 pada Tabel 4-1 sebagai acuan untuk menentukan beban hidup di Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka (UHAMKA).

3.7.3. Beban Gempa

Menurut SNI 1726:2019, terdapat 2 metode analisa gempa dinamik, yaitu analisis respon spektrum dan analisis respon dinamik riwayat gempa (*time history*). Pada tugas akhir ini digunakan analisis gempa dengan menggunakan respon spektrum. Berikut merupakan tahapan perhitungan analisa respon spektrum untuk mendapatkan nilai gaya gempa lateral yang timbul di semua tingkat.

3.7.3.1. Menentukan Kelas Situs

SNI 1726:2019 pasal 5.3 mengatur tata cara untuk menentukan klasifikasi situs. Salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan menentukan nilai N berdasarkan data hasil SPT. Adapun definisi parameter kelas situs yang menggunakan data SPT dapat dilihat pada SNI 1726:2019 pasal 5.4.2 persamaan (2) yang dijelaskan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Klasifikasi Situs

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

	lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gembut (ketebalan H > 3 m)

(SNI 1726:2019, Tabel 5)

3.7.3.2. Menentukan Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Sesuai Tabel 1 SNI 1726:2019, untuk berbagai resiko struktur bangunan gedung dan non gedung, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan Ie menurut Tabel 4 SNI 1726:2019. Faktor keutamaan gempa bergantung pada kategori resiko bangunan mengikuti Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat	IV

- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangka penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

(SNI 1726:2019, Tabel 3)

Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

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

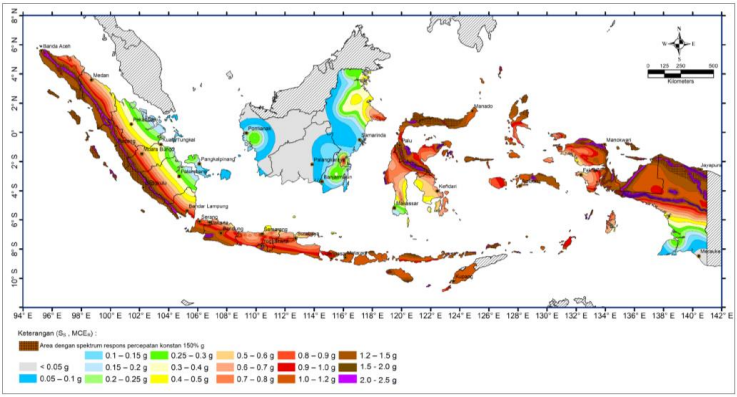
(SNI 1726:2019, Tabel 4)

Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka (UHAMKA) merupakan gedung fasilitas pendidikan sehingga termasuk ke dalam kategori IV dan faktor keutamaan gempanya (I_e) sebesar 1,50.

3.7.3.3. Menentukan Nilai S_s dan S_1

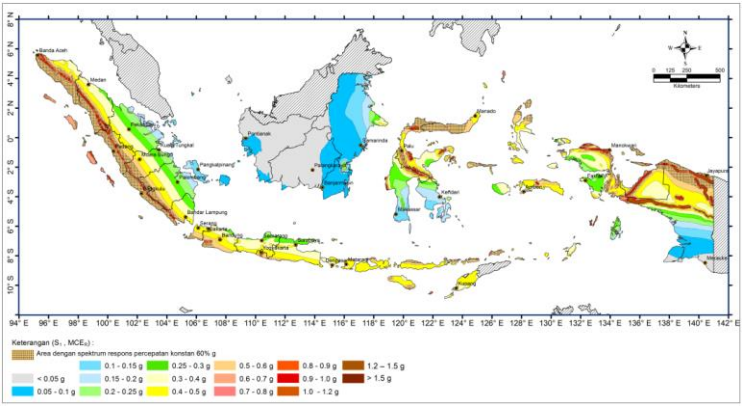
S_s adalah parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek redaman 5 persen (SNI

1726:2019). Nilai S_s diperoleh dari letak bangunan sesuai dengan peta zona gempa Indonesia pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 S_s, Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R)
(SNI 1726:2019, Gambar 15)

S_1 adalah parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik redaman 5 persen (SNI 1726:2019). Nilai S_1 diperoleh dari letak bangunan sesuai dengan peta zona gempa Indonesia pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 S_1, Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R)
(SNI 1726:2019, Gambar 16)

3.7.3.4. Menentukan Faktor Amplifikasi Getaran

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik (F_v). Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) bergantung pada nilai situs terdahulu dan nilai S_s, sementara faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik (F_v) bergantung pada kelas situs terdahulu dan nilai S_1. Nilai F_a dan F_v ditentukan oleh Tabel 3.6 dan Tabel 3.7.

Tabel 3.6 Koefisien situs, F_a

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

(SNI 1726:2019, Tabel 6)

Tabel 3.7 Koefisien situs, F_v

Kelas Situs	**Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1**					
	$S_1 \leq$ 0,1	**S_1 = 0,2**	**S_1 = 0,3**	**S_1 = 0,4**	**S_1 = 0,5**	**$S_1 \geq$ 0,6**
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS[a]					

(SNI 1726:2019, Tabel 7)

3.7.3.5. Menentukan S_{MS} dan S_{M1}

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 6.2, parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3\text{-}7)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (3\text{-}8)$$

3.7.3.6. Menghitung Nilai S_{D1} dan S_{DS}

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 6.3, parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek (S_{DS}) dan pada perioda 1 detik (S_{D1}) harus ditentukan melalui persamaan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3\text{-}9)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3\text{-}10)$$

3.7.3.7. Menentukan Kategori Desain Seismik (K_{DS})

Dari nilai S_{DS}, S_{D1} dan kategori risiko gedung akan didapatkan dua kategori desain seismik. Nilai yang diambil adalah yang paling besar dari kedua K_{DS} tersebut. Nilai tersebut didapatkan harus dari nilai dalam Tabel 3.8 dan Tabel 3.9 berikut ini:

Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek, S_{DS}

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
$0{,}50 \leq S_{DS}$	D	D

(SNI 1726:2019, Tabel 8)

Tabel 3.9 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik, S_{D1}

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

(SNI 1726:2019, Tabel 9)

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur balok, kolom, dan sambungan menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. SRPM dapat dikelompokkan sebagai berikut:

a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB); Suatu sistem rangka yang memenuhi ketentuan-ketentuan SNI beton pasal 1-20 dan 22, serta Pasal 21.1.2 dan 21.2. Sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan untuk bangunan yang dikenakan maksimal KDS B.
b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM); Suatu sistem rangka yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi ketentuan detailing pasal 21.1.2 dan 21.1.8 serta 21.3. Sistem ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas sedang dan dapat digunakan untuk bangunan yang dikenakan maksimum KDS C.
c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK); Suatu sistem rangka yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi ketentuan-ketentuan Pasal 21.1.2 hingga 21.1.8, Pasal 21.5 hingga 21.8, serta Pasal 21.11 hingga 21.13. Sistem ini memiliki tingkat daktilitas penuh dan harus digunakan untuk bangunan yang dikenakan KDS D, E atau F.

Sistem struktur yang dipilih harus sesuai dengan batasan dan memperhatikan koefisien dalam jenis sistem struktur sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2.

3.7.3.8. Menghitung Koefisien Respon Seismik

Koefisien respons seismik (Cs) harus ditentukan sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1:

$$Cs = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{Ie}\right)} \qquad (3\text{-}11)$$

dimana:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek
R = faktor modifikasi respons yang ditentukan oleh sistem penahan gempa yang dipilih
I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan kategori risiko

Nilai Cs yang dihitung ≤ dari:

$$Cs = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{Ie}\right)} \quad (3\text{-}12)$$

Dan Cs ≥ dari:

$$Cs = 0{,}044\ S_{DS}\ I_e \geq 0{,}01 \quad (3\text{-}13)$$

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

$$Cs = \frac{0{,}5\ S_1}{\left(\frac{R}{Ie}\right)} \quad (3\text{-}14)$$

dimana:
S_{D1} = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode 1 detik
T = periode fundamental struktur (detik)
S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum

3.7.3.9. Menghitung Berat Seismik Efektif

Berat seismik efektif struktur, harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya, yaitu:

- Daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25% beban hidup lantai (beban lantai di garasi publik dan struktur parkiran terbuka, serta beban penyimpanan yang tidak melebihi 5 persen dari berat seismik efektif pada suatu lantai tidak perlu disertakan);
- Jika ketentuan untuk partisi diisyaratkan dalam desain beban lantai, diambil yang terbesar di antara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar 0,46 kN/m^2;

- Berat opsional total dari peralatan yang permanen;
- Berat lansekap dan beban lainnya pada taman atap dan luasan sejenis lainnya.

3.7.3.10. Menghitung Distribusi Gaya Vertikal

Gaya gempa lateral (F_x), dalam kN, yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan:

$$F_x = C_{vx}\, V \qquad (3\text{-}15)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} W_i\, h_i^k} \qquad (3\text{-}16)$$

dimana:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

W_i dan W_x = bagian berat seismik efektif total struktur pada tingkat i atau x (kN)

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur berikut ini: struktur dengan perioda 0,5 atau kurang, k = 1; struktur dengan perioda 2,5 atau lebih, k = 2; struktur dengan perioda 0,5 – 2,5, k = 2, atau interpolasi linear antara 1 dan 2.

3.7.4. Kombinasi Pembebanan

Dalam perencanaan pembebanan digunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 2.3.2, sebagai berikut:

- U = 1,4D
- U = 1,2D + 1,6L
- U = 1,2D + 1,0L ± 1,0E
- U = 1,0D + 1,0L
- U = 0,9D ± 1,0E

dimana:
U = beban ultimate
D = beban mati
L = beban hidup
E = beban gempa

3.8. Permodelan dan Analisa Struktur

3.8.1. Penggunaan Analisa Struktur

Analisa struktur utama menggunakan program bantu analisa struktur ETABS untuk mendapatkan reaksi dan gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur. Namun demikian, tetap diperlukan kontrol dalam permodelan struktur agar mendekati keadaan di lapangan.

3.8.2. Perhitungan Gaya Dalam

Untuk memperoleh gaya dalam pada analisa struktur menggunakan program bantu ETABS, diperlukan *input* data berupa:

a. Bentuk dan koordinat gedung
b. Spesifikasi kekuatan material beton yang digunakan
c. Pembebanan struktur
d. Kombinasi pembebanan
e. Respons spektrum gempa sesuai wilayah didirikannya gedung

3.8.3. Kontrol Permodelan Struktur

Permodelan yang dibuat harus memenuhi beberapa kriteria di bawah agar gaya gempa yang terjadi pada permodelan dapat digunakan saat perencanaan. Di antaranya adalah kontrol partisipasi massa, kontrol periode fundamental struktur, kontrol gaya skala dinamis, kontrol *drift*, kontrol sistem ganda, dan kontrol pengaruh p-delta.

Pada Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, terdapat potensi adanya ketidakberaturan struktur baik secara horizontal maupun

vertikal. Namun, karena permodelan yang dilakukan menggunakan analisis linear dinamik yaitu analisis spektrum respons ragam, tidak perlu dilakukan peninjauan terhadap ketidakberaturan struktur. Peninjauan tersebut dilakukan jika permodelan yang dilakukan menggunakan analisis statik ekivalen.

3.8.3.1. Kontrol Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1, nilai partisipasi massa harus sekurang-kurangnya mencapai 90% dari massa aktual struktur. Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami suatu struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

3.8.3.2. Kontrol Periode Fundamental Struktur (SNI 1726:2019 pasal 7.8.2)

Periode fundamental struktur (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (Cu) dari Tabel 3.10 dan periode fundamental pendekatan (Ta) yang ditentukan sesuai dengan pasal 7.8.2.1. Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur (T) diijinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan (Ta) yang dihitung sesuai dengan pasal 7.8.2.1.

$$Ta = Ct \times hn^{x} \qquad (3\text{-}17)$$

dimana:

hn = Ketinggian struktur (m)
Ct = Koefisien yang ditentukan dari Tabel 3.11
x = Koefisien yang ditentukan dari Tabel 3.11

Tabel 3.10 Koefisien *Cu*

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, *SD1*	**Koefisien *Cu***
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

(SNI 1726:2019, Tabel 17)

Tabel 3.11 Koefisien *Ct* dan *x*

Tipe Struktur	***Ct***	***x***
Rangka Baja Pemikul Momen	0,0724	0,8
Rangka Beton Pemikul Momen	0,0466	0,9
Rangka Baja dengan Bresing Eksentris	0,0731	0,75
Rangka Baja dengan Bresing Terkekang Terhadap Tekuk	0,0731	0,75
Semua Sistem Struktur Lainnya	0,0488	0,75

(SNI 1726:2019, Tabel 18)

3.8.3.3. Kontrol Skala Gaya Dinamis

Sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1, gaya dinamis > gaya statis. Bila perioda fundamental struktur (T) yang dihitung melebihi nilai Cu x Ta, maka Cu x Ta harus digunakan sebagai pengganti T dalam arah itu.

Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (Vt) kurang dari 100% dari geser dasar yang dihitung (V) melalui metode statik ekivalen, maka gaya harus dikalikan dengan V/Vt.

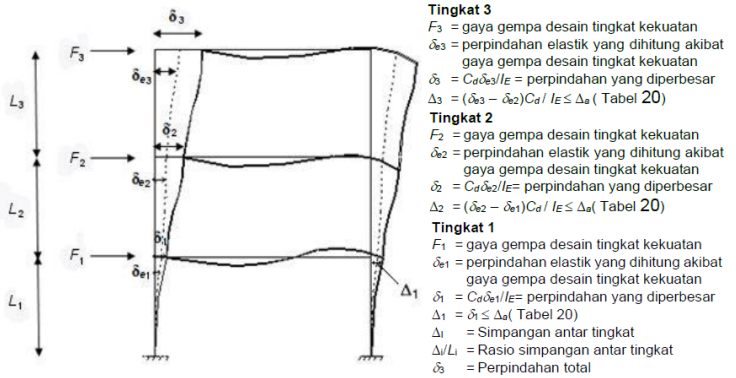
3.8.3.4. Kontrol Simpangan Bangunan (*Drift*) (SNI 1726:2019 pasal 7.8.6)

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa terletak tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan ijin digunakan, defleksi harus dihitung menggunakan gaya gempa dengan tingkat kekuatan yang ditetapkan tanpa reduksi untuk desain tegangan ijin. Penentuan simpangan izin pada struktur dijelaskan pada Tabel 3.12 dan Gambar 3.8.

Tabel 3.12 Simpang Ijin Struktur

Struktur	**Kategori Risiko**		
	I atau II	**III**	**IV**
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat	$0{,}025h_{xx}$[c]	$0{,}020h_{xx}$	$0{,}015h_{xx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata[d]	$0{,}010h_{xx}$	$0{,}010h_{xx}$	$0{,}010h_{xx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0{,}007h_{xx}$	$0{,}007h_{xx}$	$0{,}007h_{xx}$
Semua struktur lainnya	$0{,}020h_{xx}$	$0{,}015h_{xx}$	$0{,}010h_{xx}$

(SNI 1726:2012, Tabel 16)



Gambar 3.8 Penentuan Simpangan Tiap Lantai
(SNI 1726:2019 Gambar 10)

3.8.3.5. Kontrol Sistem Ganda (SNI 1726:2019 pasal 7.2.5.1)

Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus memikul paling sedikit 25% gaya seismik desain. Tahanan gaya seismik total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

3.8.3.6. Kontrol Pengaruh P-Delta (SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.6)

Pada struktur gedung umumnya, khususnya bangunan tinggi, pengaruh P-Delta dapat mungkin terjadi khususnya untuk kolom langsing terhadap pembebanan gravitasi, termasuk beban mati maupun beban hidup. Pengaruhnya dapat menyebabkan kolom tersebut semakin lentur terhadap pembebanan lateral. Sehingga efek P-Delta tidak dapat diabaikan dalam perencanaan dan desain struktur.

Pengaruh P-Delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti yang ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (3\text{-}18)$$

Dimana:

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

Δ : simpangan antar tingkat desain akibat gaya seismik (mm)

I_e : faktor keutamaan gempa

V_x : gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x-1 (kN)

h_{sx} : tinggi tingkat di bawah tingkat x (mm)

C_d : faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas tidak boleh melebihi persamaan berikut

$$\theta_{max} = \frac{0{,}5}{\beta C_d} \quad (3\text{-}19)$$

Dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

Jika $0{,}10 < \theta \leq \theta_{max}$, gaya komponen struktur harus dikalikan oleh faktor peningkatan yaitu sebesar $1{,}0/(1 - \theta)$. Jika $\theta \geq \theta_{max}$, struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang.

3.9. Perencanaan Struktur Primer

3.9.1. Penulangan Balok

Perencanaan penulangan balok untuk struktur primer dan sekunder mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.

3.9.1.1. Perencanaan Tulangan Lentur pada Balok

Berikut tahapan perencanaan dalam perencanaan dalam penulangan lentur pada balok induk:

1. Penentuan data-data yang akan digunakan, yakni d (tinggi efektif beton), fy (kuat leleh tulangan baja), f'c (kuat tekan beton), dan Mu (momen *ultimate*)
2. Menentukan nilai β1, sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.3 yaitu:
   a. Untuk $17 \leq fc' \leq 28$ maka $\beta1 = 0{,}85$
   b. Untuk $28 < fc' < 55$ maka $\beta1 = 0{,}85 - \frac{0{,}05\,(f'c-28)}{7}$
   c. Untuk $fc' \geq 55$ maka $\beta1 = 0{,}65$
3. Menentukan batasan tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang telah disyaratkan sebagai berikut:

   $$\rho_{max} \leq 0{,}025 \qquad (3\text{-}20)$$

   SNI 2847:2019 (Pasal 18.6.3.1)

   $$\rho_{min} \geq \frac{0{,}25\sqrt{f'c}}{fy} \qquad (3\text{-}21)$$

   SNI 2847:2019 (Pasal 9.6.1.2)

   $$\rho_{min} \geq \frac{1{,}4}{fy} \qquad (3\text{-}22)$$

   SNI 2847:2019 (Pasal 9.6.1.2)
4. Menentukan nilai m

   $$m = \frac{fy}{0{,}85\,f'c} \qquad (3\text{-}23)$$

5. Menentukan nilai faktor penahan lentur (Rn)

   $$Rn = \frac{Mn}{\phi b d^2} \qquad (3\text{-}24)$$

   $\phi = 0{,}9$
6. Perhitungan rasio tulangan yang digunakan dalam desain

   $$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\,m\,Rn}{fy}}\right) \qquad (3\text{-}25)$$

   dengan syarat, $\rho < \rho_{pakai} < \rho_{max}$
7. Menghitung luas tulangan (As perlu) berdasarkan ρ yang telah didapat dari perhitungan sebelumnya

As = ρ b d (3-26)

8. Menghitung jumlah tulangan yang dibutuhkan berdasarkan As perlu

$$n = \frac{As\ perlu}{1/4\ \pi\ \emptyset^2} \quad (3\text{-}27)$$

9. Menghitung jarak tulangan yang dibutuhkan (s)

$$s = \frac{b - n.D - 2.d - 2\emptyset S}{n - 1} \quad (3\text{-}28)$$

3.9.1.2. Penulangan Geser Balok

1. Penulangan Geser Balok pada Daerah Tumpuan

   Untuk pemasangan tulangan geser pada daerah sendi plastis (sepanjang 2h dari muka kolom), dilakukan analisis perhitungan sebagai berikut:

   a. Menghitung momen ujung pada tiap tumpuan

   $$a = \frac{As\ .\ fy}{0{,}85\ f'c\ .be} \quad (3\text{-}29)$$

   $$Mpr = As\ (1{,}25\ fy)(d - \frac{a}{2}) \quad (3\text{-}30)$$

   b. Menghitung gaya geser total

   $$Ve = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{Ln} \quad (3\text{-}31)$$

   Dengan asumsi bahwa beton tidak menahan gaya geser, sehingga

   Vc = 0

   Vn = Ve maksimum

   c. Perhitungan tulangan geser yang diperlukan

   $$Vs = \frac{Vn}{\phi} \quad (3\text{-}32)$$

   $$Vs_{max} = \frac{2}{3} bw.d.\sqrt{f'c} \quad (3\text{-}33)$$

   Cek $Vs < Vs_{max}$

2. Penulangan Geser Balok pada Daerah Lapangan

Untuk pemasangan tulangan geser di luar sendi plastis (di luar 2h), terdapat analisis perhitungan sebagai berikut:

$$Vu\ lapangan = Vn - (2h) \quad (3\text{-}34)$$

$$\phi Vs \min = 0{,}75\ x\ \frac{1}{3} x\ bw\ x\ d \quad (3\text{-}35)$$

$$\phi Vc = 0{,}75\ x\ \frac{1}{6}\ x\ \sqrt{f'c}\ x\ bw\ x\ d \quad (3\text{-}36)$$

Cek kondisi:

$Vu \leq 0{,}5\phi Vc$ (3-37)

$0{,}5\phi Vc \leq Vu \leq \phi Vc$ (3-38)

$\phi Vc \leq Vu \leq \phi(Vc + Vsmin)$ (3-39)

$Av = n\ x\ ¼\ x\ \pi\ x\ d^2$ (3-40)

$$Av\ min = \frac{b\ x\ s}{a\ x\ fy} \quad (3\text{-}41)$$

Dengan syarat jarak sengkang maksimum:

$S\ max \leq d/2$

3.9.1.3. Penulangan Torsi Balok

- Pengaruh adanya torsi harus diperhitungkan berdasarkan kondisi berikut:

$$T_u \geq\ \phi\ T_{th} \quad (3\text{-}42)$$

$$Tu\ \leq\ \frac{\varphi\sqrt{f'c}}{12} x\ \left(\frac{Acp^2}{Pcp^2}\right) \quad (3\text{-}43)$$

SNI 2847:2019 (Pasal 22.7.4.1)

- Perencanaan penampang terhadap torsi:

$\phi Tn \geq Tu$ (3-44)

SNI 2847:2019 (Pasal R22.7.6)

- Tulangan sengkang untuk puntir:

$$Tn = \frac{2\ A_0\ A_t\ fy}{s} x\ cot\ \theta \quad (3\text{-}45)$$

SNI 2847:2019 (Pasal 22.7.6.1 persamaan 22.7.6.1a)

$$Tn = \frac{2\ A_0\ A_t\ fy}{p_h} x\ cot\ \theta \qquad (3\text{-}46)$$

SNI 2847:2019 (Pasal 22.7.6.1 persamaan 22.7.6.1b)

Dari kedua harga Tn di atas, digunakan nilai Tn yang memiliki harga terkecil.

Keterangan:

Tu = Momen torsi terfaktor

Tn = Kuat momen torsi

Tc = Kuat torsi nominal beton

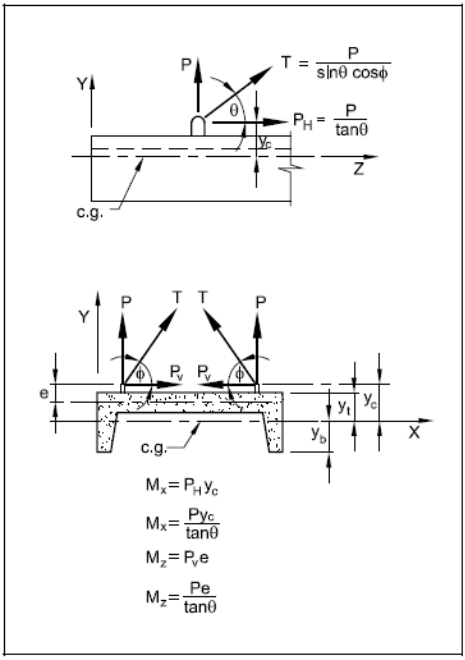
Ts = Kuat torsi nominal geser (sengkang)

A_0 = Luas yang dibatasi oleh lintasan aliran geser (mm^2)

3.9.1.4. Pengangkatan Balok Pracetak

Kondisi pertama adalah saat pengangkatan balok pracetak untuk dipasang pada tumpuannya. Pada kondisi ini beban-beban yang bekerja adalah beban dari berat sendiri balok pracetak yang ditumpu oleh angkur pengangkatan yang menyebabkan terjadinya momen pada tengah bentang dan pada tumpuan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat pada balok. Ada dua hal yang harus ditinjau dalam kondisi ini, yaitu kekuatan angkur pengangkatan dan kekuatan lentur penampang balok pracetak.

Pada saat pengangkatan balok pracetak, balok harus didesain sedemikian rupa agar tidak terjadi kerusakan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok dari kerusakan. Titik pengangkatan balok dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan faktor perbesaran beban pengangkatan dapat dilihat pada Tabel 3.13.



Gambar 3.9 Momen pada Balok Pracetak Saat Pengangkatan (PCI Design Handbook, 2004)

Tabel 3.13 Angka Pengali Beban Statis Ekivalen untuk Menghitung Gaya Pengangkatan dan Gaya Dinamis

Pengangkatan dari bekisting	1,7
Pengangkatan ke tempat penyimpanan	1,2
Transportasi	1,5
Pemasangan	1,2

(PCI Design Handbook, 2004)

3.9.2. Penulangan Kolom

Penulangan kolom dilakukan untuk menahan adanya momen lentur, geser, dan torsi yang disyaratkan sesuai SNI 2847:2019 pasal 22.4, 22.5, dan 22.7.

3.9.2.1. Penulangan Lentur Kolom

Setelah didapatkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada kolom melalui hasil dari analisa struktur menggunakan ETABS, kemudian digunakan *software* analisa kolom dengan spColumn yang akan menghasilkan beberapa tulangan lentur yang digunakan beserta jaraknya. Penulangan kolom akibat beban aksial tekan harus sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 22.4

3.9.2.2. Penulangan Geser Kolom

Penulangan geser kolom dihitung berdasarkan persyaratan di SNI 2847:2019 pasal 22.5 mengenai geser.

3.9.2.3. Penulangan Torsi Kolom

Penulangan torsi kolom dihitung berdasarkan persyaratan di SNI 2847:2019 pasal 22.7 mengenai torsi.

3.9.2.4. Persyaratan *Strong Column Weak Beam*

Sesuai filosofi desain kapasitas, maka SNI 2847:2019 pasal 18.7.3 mensyaratkan bahwa:

$$\Sigma Mn_c \geq 1{,}2\ \Sigma Mn_b \qquad (3\text{-}47)$$

Dimana ΣMn_c adalah momen kapasitas kolom dan ΣMn_b merupakan momen kapasitas balok. Untuk Mn_c didapatkan dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau guna mengontrol syarat *strong column weak beam*. Setelah didapatkan jumlah tulangan kolom yang diperlukan, selanjutnya adalah mengontrol kapasitas kolom tersebut agar memenuhi persyaratan *strong column weak beam*.

3.9.2.5. Pengangkatan Kolom Pracetak

Pemasangan kolom harus diperhatikan bahwa kolom akan mengalami proses pengangkatan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat kolom dengan tujuan untuk menghindari tegangan yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk saat proses transportasi. Perencanaan titik

pengangkatan pada kolom sama halnya dengan perencanaan titik angkat pada balok pracetak, mengacu pada *PCI Design Handbook, Precast and Prestressed Concrete 6th Edition*.

3.9.3. Perencanaan dan Penulangan Dinding Geser

3.9.3.1. Kuat Aksial Rencana

Perhitungan kuat aksial rencana dinding geser atau *shear wall* didasarkan pada SNI 2847:2019 pasal 11.5.3.1.

$$P_u \leq \phi P_n \tag{3-48}$$

$$P_u \leq \phi 0{,}55\, f_c'\, A_g \left[1 - \left(\frac{k\, l_c}{32h}\right)^2\right] \tag{3-49}$$

3.9.3.2. Gaya Geser Dinding

Perhitungan gaya geser untuk dalam bidang dinding atau *in-plane shear* didasarkan pada SNI 2847:2019 pasal 11.5.4.3.

$$V_u \leq \phi V_n \tag{3-50}$$

$$V_u \leq \phi 0{,}83 \sqrt{f_c'}\, h\, d \tag{3-51}$$

Dimana:

h = tebal dinding

d = 0,8 l_w

3.9.3.3. Kuat Geser Beton

Perhitungan kuat geser beton didasarkan pada SNI 2847:2019 pasal 11.5.4.6.

$$V_c = 0{,}27\, \lambda \sqrt{f_c'}\, h\, d + \frac{N_u\, d}{4\, l_w} \tag{3-52}$$

atau

$$V_c = \left[0{,}05 \lambda \sqrt{f_c'} + \frac{l_w \left(0{,}1\, \lambda \sqrt{f'c} + 0{,}2\, \frac{N_u\, d}{4\, l_w}\right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}}\right] \tag{3-53}$$

Dari kedua persamaan V_c di atas, diambil V_c yang memiliki nilai terkecil.

Dimana:

l_w = panjang keseluruhan dinding
N_u = positif untuk gaya tekan dan negatif untuk gaya tarik
$\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}$= apabila bernilai negatif, maka persamaan V_c kedua tidak dapat digunakan

3.9.3.4. Penulangan Geser Vertikal

Perhitungan penulangan geser vertikal didasarkan pada SNI 2847:2019 pasal 11.6.1. Apabila dalam bidang dinding atau *in-plane* $V_u \leq 0{,}5\ \phi V_c$, maka nilai minimum ρ_l dan ρ_t harus mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 11.6.1 yang disajikan dalam Tabel 3.14 dibawah ini dan pasal 11.6.2.

Tabel 3.14 Penulangan Minimum untk Dinding Dalam Bidang $V_u \leq 0{,}5\ \phi V_c$

Wall Type	*Type of Nonprestressed Reinforcement*	*Bar / Wire Size*	f_y *(MPa)*	*Minimum Longitudinal* (ρ_t)	*Minimum Transverse* (ρ_l)
Cast-in-place	*Deformed bars*	≤ No. 16	≥ 420	0.0012	0.0020
			< 420	0.0015	0.0025
		> No. 16	*Any*	0.0015	0.0025
	Welded-wire reinforcement	≤ MW200 or MD200	*Any*	0.0012	0.0020

(SNI 2847:2019)

Akan tetapi, apabila nilai $V_u \geq 0{,}5\ \phi V_c$, maka persamaan yang berlaku ialah sebagai berikut:

$$\rho_l \geq 0{,}0025 + 0{,}5\left(2{,}5 - \frac{h_w}{l_w}\right)(\rho_t - 0{,}0025) \qquad (3\text{-}54)$$

(SNI 2847:2019 pasal 11.6.2)

Dimana:
Rasio tulangan geser vertikal terhadap luas beton bruto penampang horizontal, ρ_l, tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari persamaan pada SNI 2847:2019 pasal 11.6.2 dan 0,0025. Nilai ρ_l yang dihitung tidak perlu lebih besar dari ρ_t yang terdapat pada Tabel 3.14.

3.9.3.5. Penulangan Geser Horizontal

Apabila $V_u > \phi V_c$, maka tulangan geser horizontal harus disediakan untuk memenuhi persamaan berikut:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (3\text{-}55)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (3\text{-}56)$$

(SNI 2847:2019 pasal 11.5.4.4)

dimana:

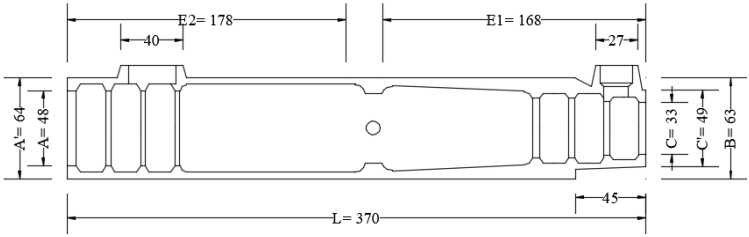
$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (3\text{-}57)$$

(SNI 2847:2019 pasal 11.5.4.8)

3.10. Perencanaan Sambungan

Pada tugas akhir ini direncanakan sambungan antar tulangan dengan menggunakan sambungan mekanis (*mechanical splices*) yaitu dengan menggunakan produk dari Peikko Group seperti pada Gambar 3.10 dan NMB Splice Sleeve seperti pada Gambar 3.11. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.5.7 dikatakan bahwa untuk memastikan kekuatan yang cukup pada sambungan sehingga kelelahan dapat terjadi pada tulangannya, maka sambungan mekanis harus direncanakan memiliki nilai 1,25 dari f_y tulangan.

Gambar 3.10 Peikko Coupler
(Brosur Modix Rebar Couplers, 2016)



Gambar 3.11 NMB Splice Sleeve
(Brosur NMB Splice Sleeve, 2017)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.2.7.1, sambungan mekanis diklasifikasikan menjadi 2 tipe, yaitu:

a. Tipe 1
   Sambungan mekanis yang memenuhi pasal 25.5.7, yaitu memiliki kekuatan leleh 1.25 f_y tulangan yang digunakan.
b. Tipe 2
   Sambungan mekanis memenuhi persyaratan tipe 1 dan harus memiliki kekuatan Tarik yang minimal sama dengan kekuatan tarik spesifikasi batang tulangan yang disambung.

Sambungan mekanis dengan tipe 1 hanya dapat digunakan di luar daerah sendi plastis seperti pada. Sementara tipe 2 dapat digunakan dimana pun sesuai dengan perencanaan.

Sambungan antar komponen pracetak tidak hanya berfungsi sebagai penyalur beban tetapi juga harus mampu secara efektif mengintegrasikan komponen-komponen tersebut sehingga struktur secara keseluruhan dapat berperilaku monolit. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.9.2.1 sambungan daktail pada elemen pracetak yang tahan gempa harus memenuhi persyaratan berikut:

$$V_n \geq 2\, V_e \tag{3-58}$$

dimana:

V_n = kekuatan geser nominal

V_e = kekuatan geser aktual

Sedangkan menurut SNI 2847:2019 pasal 18.9.2.2, *strong connection* pada elemen pracetak yang tahan gempa harus memenuhi persyaratan berikut:

$$\phi\, S_n \geq 1{,}4\, S_e \tag{3-59}$$

dimana:

S_n = kekuatan lentur, geser atau aksial momen sambungan

S_e = gaya lentur, gaya geser, dan gaya aksial pada sambungan yang terkait dengan pembentukan kuat rencana di lokasi leleh yang diharapkan.

3.10.1. Sambungan *Base Plate* – Kolom atau Kolom – Kolom

Untuk sambungan kolom-kolom, harus memenuhi persyaratan berikut:

$$\phi\, M_n \geq 0{,}4\, M_{pr} \tag{3-60}$$

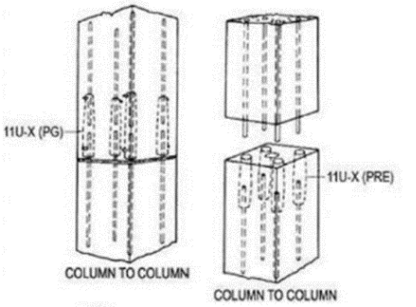
dimana:

M_n = kekuatan lentur nominal pada penampang

M_{pr} = kekuatan lentur mungkin komponen struktur dengan atau tanpa beban aksial

Setelah dilakukan pemancangan dan pembuatan *pile cap*, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pengecoran

pile cap. Pada penyambungan antar kolom dengan dimensi berbeda pada dasarnya sama seperti pada proses penyambungan antar kolom dengan dimensi sama. Akan tetapi, pada tulangan panjang penyaluran pada kondisi ini lebih dilakukan penyesuaian terhadap lubang kolom yang berada di atasnya. Untuk metode penyambungannya di sini penulis menggunakan referensi dari produk *coupler sleeve* dari NMB Splice Sleeve dan SS Mortar *grouting injection*. Maka dari itu, sambungan pada kolom-kolom ini tetap diklasifikasikan dalam kategori sambungan basah (*wet conncetion*). Berikut adalah ilustrasi mengenai proses penyambungan antar kolom dengan menggunakan *coupler sleeve* dan *inject grouting* yang dapat dilihat pada Gambar 3.12.



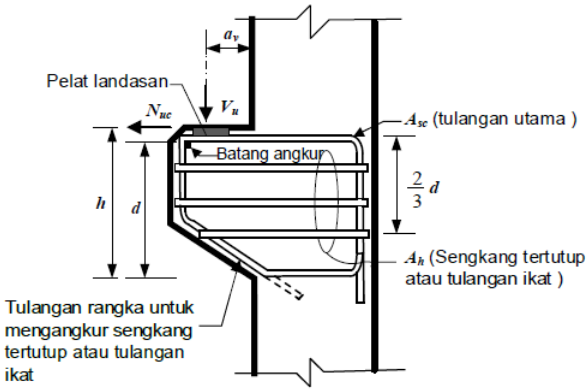
Gambar 3.12 Pemasangan Sambungan Kolom
(Brosur NMB Splice Sleeve, 2017)

3.10.2. Sambungan Balok – Kolom

Sambungan balok dengan kolom memanfaatkan panjang penyaluran pada tulangan balok. Tulangan balok nantinya akan diteruskan atau dikaitkan ke dalam kolom. Panjang penyaluran bagian bawah akan menerima tekan dan panjang penyaluran bagian atas akan menerima tarik. Maka perhitungan panjang penyaluran dihitung dalam dua kondisi yaitu tekan dan tarik. Pada sambungan balok – kolom terdapat dua kondisi yaitu sambungan *single-sided connection* dan *double-sided*

connection. Dalam perencanaan sambungan ini akan digunakan produk sambungan dari Peikko Group yaitu dengan menggunakan Modix Rebar Couplers.

Pada perancangan sambungan balok dan kolom ini menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol pendek pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 16.5 mengenai ketentuan khusus untuk konsol pendek seperti yang dijelaskan pada Gambar 3.13.

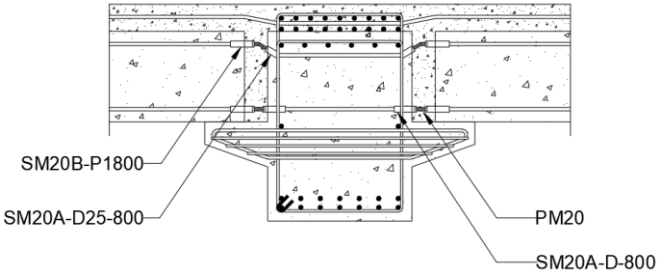


Gambar 3.13 Parameter Geometri Konsol Pendek (SNI 2847:2019)

3.10.3. Sambungan Balok Induk – Balok Anak

Balok anak diletakkan menumpu pada tepi balok induk dengan ketentuan panjang landasan adalah sedikitnya l/180 kali bentang bersih komponen pelat pracetak, tetapi tidak boleh kurang dari 75 mm. Demikian dengan sambungan pada balok induk ke tangga. Untuk membuat integritas struktur, maka tulangan utama balok anak baik yang tulangan atas maupun bawah dibuat menerus atau dengan kait standar yang pendetailannya sesuai dengan aturan SNI 2847:2019 pasal 8.11.3. Dalam perancangan sambungan balok induk dengan

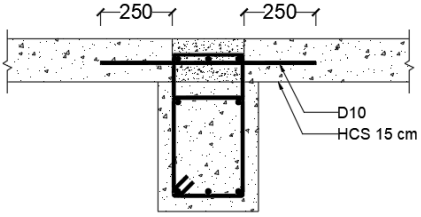
balok anak digunakan konsol pada balok induk. Tulangan positif dan negatif menggunakan Modix Coupler yang diproduksi oleh Peikko Group dengan kontrol kemampuan tarik 1,25ft. Ilustrasi sambungan antar balok dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak
(Penulis, 2020)

3.10.4. Sambungan Balok – Pelat

Untuk mendapatkan sambungan yang memiliki sifat kaku, monolit, dan terintegrasi, gaya dari pelat harus tersalurkan pada balok dengan baik. Hal ini dapat dilakukan dengan memasang *shear connector* pada *Hollow Core Slab* dengan bentang lebih dari 3 meter. *Shear Connector* berupa tulangan D10 yang dipasang pada lubang joint seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Sambungan Balok dengan Pelat Lantai
(Penulis, 2020)

3.11. Perencanaan *Basement*

Dinding pada *basement* harus dirancang agar kokoh dan kuat, mengingat fungsinya sebagai *retaining wall* yaitu menahan beban tekanan tanah dan air. Ketebalan dinding beton untuk *basement* berkisar antara 15 – 17,5 cm, bergantung pada kedalaman *basement* itu sendiri.

Struktur *basement* direncanakan menggunakan material beton bertulang dengan cor di lokasi. Adapun persyaratan yang lain sebagai berikut:

- Penulangan Dinding *Basement*
  Penulangan dinding *basement* dihitung sesuai dengan peraturan dalam SNI 2847:2019 pasal 11.5.
- Kontrol Ketebalan Dinding *Basement*
  Ketebalan dinding *basement* dikontrol sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 11.3.1.1.
- Pelat Lantai *Basement*
  Elevasi air tanah diasumsikan pada kondisi yang paling berbahaya, yaitu sama dengan permukaan tanah. Penulangan pelat lantai *basement* dihitung sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 8.7.

3.12. Perencanaan Pondasi

Dalam suatu bangunan, beban yang diterima oleh struktur atas akan disalurkan ke tanah melalui struktur bawah, yaitu pondasi. Pada tugas akhir ini, penulis merencanakan menggunakan pondasi dalam yaitu pondasi tiang pancang dengan beton pracetak. Perhitungan daya dukung tanah vertikal menggunakan formula dari Luciano Decourt.

3.13.1. Daya Dukung Tiang Pancang Vertikal

Formula daya dukung tiang pancang vertikal yang diberikan oleh Luciano Decourt ialah:

$$Q_L = Q_P + Q_S \quad (3\text{-}61)$$

$$q_p = N_P + K \quad (3\text{-}62)$$

$$Q_S = q_s\, A_s \tag{3-63}$$

$$Q_S = \left(\frac{N_s}{3} + 1\right) A_s \tag{3-64}$$

3.13.2. Perhitungan Jumlah Tiang Pancang

Banyaknya kebutuhan tiang pancang yang akan digunakan pada perencanaan gedung ini berdasarkan pada rumusan berikut:

$$n = \frac{\sum P_u}{P_{ijin}} \tag{3-65}$$

$$S \geq \frac{1{,}57\ (D)_{min} - 2D}{m + n - 2} \tag{3-66}$$

3.13.2.1. Efisiensi Tiang Pancang

Daya dukung tiang pancang yang bekerja dalam grup merupakan daya dukung satu tiang pancang dikalikan dengan nilai efisiensi yang dihitung menggunakan rumus:

$$\eta = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90\ m\ n} \tag{3-67}$$

dimana:

$$\theta = arc\ tg \left(\frac{D}{S}\right) \tag{3-68}$$

$$P_{max} = \frac{\sum Pu}{n} + \frac{My\ X_{max}}{\sum x^2} + \frac{Mx\ Y_{max}}{\sum y^2} \tag{3-69}$$

$$P_{ult} = \text{efisiensi tiang} \times P_{u\ 1\ \text{tiang berdiri}} \tag{3-70}$$

3.13.2.2. Kontrol Kekuatan Tiang Pancang

$$P_{ult} \geq P_{perlu} \tag{3-71}$$

$$P_{ult} = P_{max} \tag{3-72}$$

3.13.2.3. Kontrol Geser Ponds pada Poer

Pada saat merencanakan ketebalan poer, ada syarat yang harus terpenuhi, yaitu kekuatan geser nominal harus lebih besar

dari kekuatan geser pons yang terjadi. Perhitungan kuat geser didasarkan pada SNI 2847:2019 pasal 22.6.5.2 yang disajikan pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15 Nilai Vc untuk *Two-Way Shear*

V_c	
Yang terkecil dari	$0{,}33\ \lambda\sqrt{f_c'}$
	$0{,}17\ \left(1+\frac{2}{\beta}\right)\ \lambda\sqrt{f_c'}$
	$0{,}083\ \left(2+\frac{\alpha_s d}{b_0}\right)\ \lambda\sqrt{f_c'}$

(SNI 2847:2019)

Dimana:

β = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom

b_0 = *critical perimeter* pada poer

= 2 (b_{kolom} + d) + 2 (h_{kolom} + d)

α_s = 40 (untuk kolom interior)

= 30 (untuk kolom tepi)

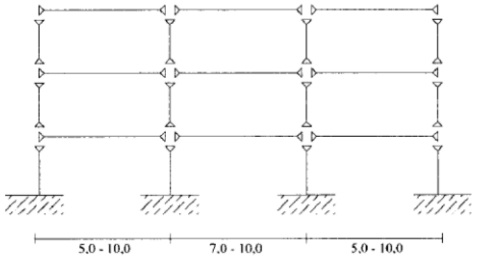
= 20 (untuk kolom pojok)

Ketebalan dan ukuran poer dikatakan memenuhi syarat terhadap geser apabila:

$$P_u < \phi V_c \qquad (3\text{-}74)$$

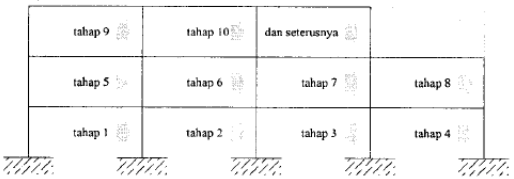
3.14. Metode Pelaksanaan Konstruksi Gedung

Sistem struktur yang digunakan pada gedung ini adalah sistem struktur rangka dengan kolom sambungan, dimana terdapat sambungan antar kolom pada setiap lantai seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.16. Sistem struktur ini sesuai untuk bangunan gedung dengan ketinggian antara 10 meter sampai dengan 60 meter.



Gambar 3.16 Sistem Struktur Rangka dengan Kolom Sambungan Setiap Lantai

Sedangkan untuk metode pelaksanaan yang digunakan pada gedung ini adalah metode horizontal, dimana instalasi dan penyatuan elemen pracetak dilaksanakan tiap satu lantai kemudian dilanjutkan ke lantai berikutnya seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Metode Ereksi Horizontal

Langkah-langkah atau proses pelaksanaan konstruksi gedung pracetak adalah sebagai berikut:

1. Pekerjaan Galian Tanah

   Penggalian tanah dilakukan terlebih dahulu untuk kemudian dilanjutkan dengan pekerjaan pondasi dan *basement*. Pekerjaan galian dilakukan menggunakan alat berat yaitu *backhoe*.

2. Pekerjaan Pondasi

   Pondasi yang digunakan merupakan *spun pile* atau tiang pancang yang sudah terfabrikasi di luar lokasi proyek. Dalam proses pemancangannya digunakan alat

berat *hydraulic hammer*. Setelah tiang pancang terpasang maka akan dilakukan penggalian lagi di sekitar area rencana pile cap. Kemudian dilakukan pengecoran lantai kerja menggunakan *lean concrete* setebal kurang lebih 10-15 cm, pemasangan bekisting, penulangan pile cap, dan dilanjutkan dengan pengecoran pile cap secara *in-situ*.

3. Penulangan dan Pengecoran *Basement*

   Pekerjaan pemasangan bekisting dan penulangan *basement* dapat dilakukan ketika pekerjaan pondasi telah diselesaikan. Setelah pemasangan bekisting dan penulangan kemudian dilanjutkan pengecoran baik dinding maupun lantai *basement* secara *in-situ*.

4. Instalasi Kolom Pracetak

   Kolom yang sudah terfabrikasi di pabrik dipindahkan terlebih dahulu pada lokasi proyek menggunakan sarana angkut seperti truk tunggal, tandem, atau temple kemudian diletakkan pada *stock yard* atau tempat penyimpanan yang berada di lokasi proyek menggunakan *tower crane*.

   Pada proses ereksi atau pengangkatan kolom pracetak juga menggunakan *tower crane*. Setelah kolom diletakkan pada posisinya selanjutnya dilakukan pemasangan sambungan antar kolom menggunakan NMD Splice Sleeve lalu dilakukan *grouting* agar sambungan menjadi monolit.

5. Instalasi Balok Induk Pracetak

   Sama seperti kolom, balok induk juga melalui proses fabrikasi dan pemindahan ke lokasi proyek. Balok yang terfabrikasi merupakan komponen *half beam*. Kemudian balok induk diangkat menggunakan *tower crane* dan ditempatkan pada konsol yang terdapat pada kolom kemudian tulangan balok induk dilewatkan ke tulangan kolom.

6. Instalasi Balok Anak Pracetak

Proses ini sama dengan instalasi balok induk, tetapi balok anak ditempatkan pada konsol yang berada pada balok induk dan tulangan balok anak dilewatkan ke tulangan balok induk.

7. Instalasi *Hollow Core Slab*

   Sama seperti kolom dan balok, pelat yang merupakan *hollow core slab* adalah komponen precast yang terfabrikasi di pabrik yang kemudian dipindahkan ke lokasi proyek. Pelat kemudian diangkat dan diletakkan menumpu pada balok. Setelah pelat terinstal, dilakukan pekerjaan penulangan pada balok induk dan balok anak bagian atas. Kemudian dilakukan pengecoran pada balok dan bagian sambungan antara balok dengan pelat sehingga balok telah menjadi komponen *full beam* dan antara balok dengan pelat memiliki sambungan yang monolit.

8. Penulangan dan Pencecoran Tangga dan Dinding Geser

   Selagi proses instalasi komponen pracetak dilakukan, pekerjaan komponen *cast in-situ* juga dapat dilakukan. Proses pengerjaan komponen *cast in-situ* yang terdiri dari tangga dan dinding geser dimulai dari pemasangan bekisting, pekerjaan penulangan, dan pengecoran. Setelah beton sudah mengeras, bekisting dapat dilepaskan.

3.15. Gambar Teknik

Gambar hasil perencanaan dan perhitungan menggunakan program bantu AutoCAD. Hasil gambar teknik akan dilampirkan pada lampiran tugas akhir.

"Halaman ini sengaja dikosongkan…"

BAB IV
PEMBAHASAN

4.1. Perencanaan Struktur Sekunder

4.1.1. Umum

Struktur gedung dibagi menjadi dua, yaitu struktur utama atau struktur primer dan struktur sekunder. Struktur sekunder tidak menahan beban secara keseluruhan, namun tetap mengalami tegangan akibat pembebanan yang bekerja secara langsung pada bagian tersebut maupun perubahan bentuk dari struktur primer. Bagian dari struktur sekunder antara lain meliputi tangga, pelat, dan balok anak. Pada subbab ini akan dibahas mengenai perencanaan struktur sekunder.

4.1.2. Perencanaan Tangga

Pada tugas akhir ini, terdapat 2 jenis tangga yaitu tangga dengan ketinggian 4 meter dan tangga dengan ketinggian 3,2 meter untuk lantai *basement*. Berikut adalah contoh perhitungan untuk tangga tipe I dengan ketinggian 4 meter dengan denah dan data perencanaan yang diilustrasikan pada Gambar 4.1 dan 4.2.

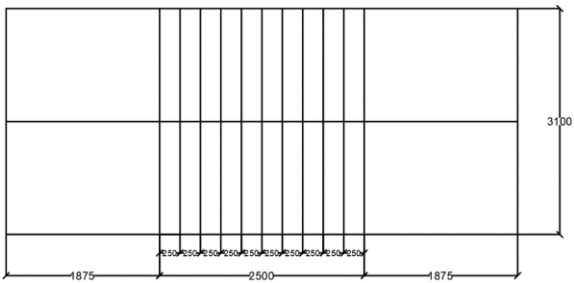
4.1.2.1. Data Perencanaan

- Tinggi Lantai : 400 cm
- Tinggi Injakan (t) : 20 cm
- Lebar Injakan (i) : 25 cm
- Lebar Tangga : 137,5 cm
- Tebal Pelat Tangga : 15 cm
- Jumlah Tanjakan : 20 buah
- Jumlah Injakan : 20 – 1 = 19 buah
- Elevasi Bordes : 200 cm
- Tebal Pelat Bordes : 12 cm
- Lebar Bordes : 187,5 cm
- Panjang Bordes : 275 cm

- Panjang Horizontal Tangga : 250 cm
- Kemiringan Tangga : *arc* tan α $\frac{200}{250}$ = 38,66º

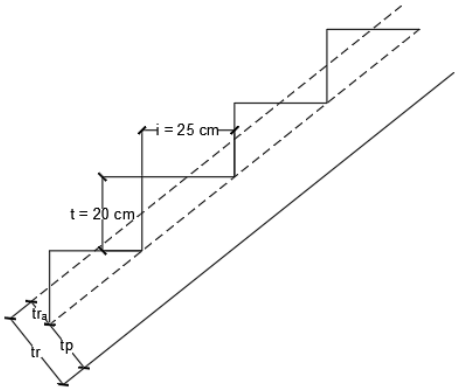
Cek Syarat:

- 25º ≤ α ≤ 40º
  25º ≤ 38,66º ≤ 40º (OK)
- 60 ≤ (2t + i) ≤ 65
  60 ≤ 65 ≤ 65 (OK)



Gambar 4.1 Denah Tangga

- Tebal Pelat Anak Tangga Rata-Rata:
  $\frac{i}{2}$ x sin α = 7,81 cm
- Tebal Pelat Rata-Rata:
  Tr = 15 + 7,81 ≈ 23 cm



Gambar 4.2 Ilustrasi Tebal Pelat Tangga

4.1.2.2. Pembebanan Pelat Tangga dan Bordes

a. Pembebanan Pelat Tangga

- Beban Mati

  Pelat tangga : $\frac{0{,}23 \times 2400 \times 1}{\cos 38{,}66°}$ = 706,9 kg/m

  Tegel 1 cm : 2400 x 0,001 = 24 kg/m

  Spesi 2 cm : 2100 x 0,002 = 42 kg/m

  Sandaran : 50 kg/m

  Tegel + Spesi Vertikal : $\frac{(21+42)\times 1\times 4}{2{,}5}$ = 105,6 kg/m

  q_D : 928,5 kg/m

- Beban Hidup

  q_L : 479 kg/m

- Beban Ultimate

  q_{u1} : 1,2 q_D + 1,6 q_L = 1880,61 kg/m

b. Pembebanan Bordes

- Beban Mati

  Pelat bordes : 0,12 x 2400 x 1 = 288 kg/m

  Tegel 1 cm : 2400 x 0,001 = 24 kg/m

  Spesi 2 cm : 2100 x 0,002 = 42 kg/m

q_D : 354 kg/m

- Beban Hidup

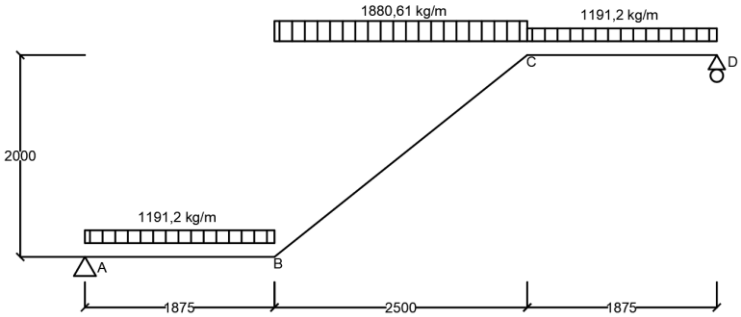
  q_L : 479 kg/m

- Beban Ultimate

  q_{U2} : 1,2 q_D + 1,6 q_D = 1191,2 kg/m

4.1.2.3. Perhitungan Gaya pada Tangga

Pada proses analisa struktur tangga, perhitungan menggunakan mekanika teknik statis dengan permisalan sendi-rol, dengan pembebanan tangga dan output gaya dalam seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pemodelan Tangga

4.1.2.3.1. Perhitungan Reaksi

- ΣMa = 0

  Rd . 6,25 – q_{U2} . 0,5 . $1,875^2$ – q_{U1} . 2,5 . (2,5/2 + 1,875) - q_{U2} . 1,875 . (1,875/2 + 2.5 + 1,875) = 0

  Rd = 4425,857 kg

- ΣMd = 0

  Ra . 6,25 - q_{U2} . 0,5 . $1,875^2$ – q_{U1} . 2,5 . (2,5/2 + 1,875) - q_{U2} . 1,875 . (1,875/2 + 2.5 + 1,875) = 0

  Ra = 4425,857 kg

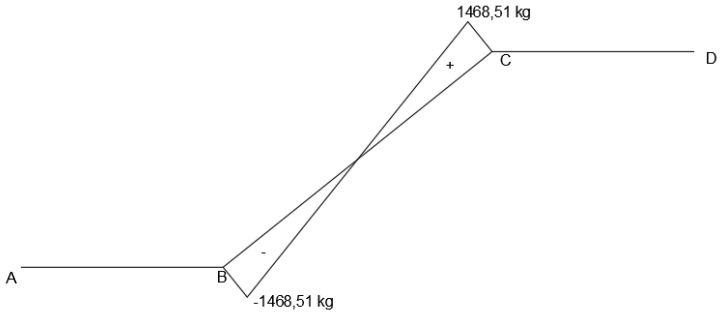
- Cek ΣV = 0

  Ra + Rd – q_{U1} . 2,5 – 2 . q_{U2} . 1,875 = 0 (OK)

4.1.2.3.2. Perhitungan Gaya Dalam

- Gaya Normal
  - Pada Bordes AB
    N = 0 kg
  - Pada Tangga BC
    $N_x = (-Ra + q_{U2} . 1,875 + q_{U1} . x) \sin \alpha$
    x = 0 → $N_{b\ kanan}$ = -1468,51 kg
    x = 2,5 → $N_{c\ kiri}$ = 1468,51 kg
  - Pada Bordes CD
    N = 0 kg

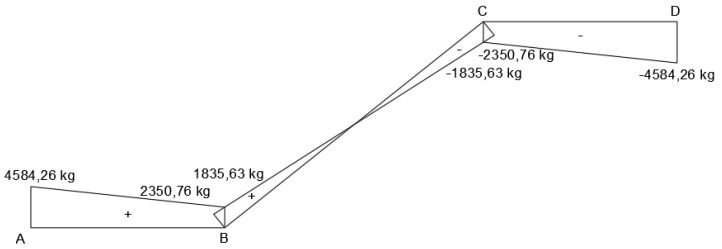
  Sehingga, didapatkan diagram gaya normal seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Bidang N pada Tangga

- Gaya Lintang
  - Pada Bordes AB
    $D_x = Ra – (q_{U2} . x)$
    x = 0 → D_a = 4584,26 kg
    x = 1,875 → $D_{b\ kiri}$ = 2350,76 kg
  - Pada Tangga BC
    $D_x = (Ra – q_{U2} . 1,875 – q_{U1} . x) \cos \alpha$
    x = 0 → $D_{b\ kanan}$ = 1835,63 kg
    x = 2,5 → $D_{c\ kiri}$ = -1835,63 kg
  - Pada Bordes CD

D_x = -Rd + (q_{U2} . x)
x = 0 → D_d = -4584,26 kg
x = 1,875 → $D_{c\ kanan}$ = 2350,76 kg
Sehingga, didapatkan diagram gaya lintang seperti pada Gambar 4.5.

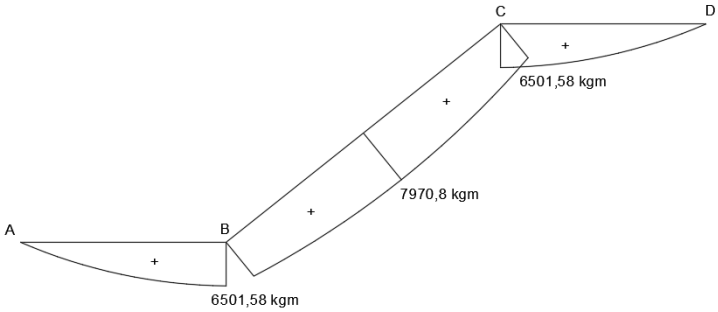


Gambar 4.5 Bidang D pada Tangga

- Gaya Momen
  - Pada Bordes AB
    M_x = Ra . x – (½ q_{U2} . x^2)
    x = 0 → M_a = 0 kgm
    x = 1,875 → $M_{b\ kiri}$ = 6501,58 kgm
  - Pada Tangga BC
    M_x = Ra (1,875 + x) – (q_{U2} . 1,875 . (1,875/2 + x)) – (½ q_{U1} . x^2)
    x = 0 → $M_{b\ kanan}$ = 6501,58 kgm
    x = 2,5 → $M_{c\ kiri}$ = 6501,58 kgm
  - Pada Bordes CD
    M_x = Rd . x – (½ q_{U2} . x^2)
    x = 0 → M_d = 0 kgm
    x = 1,875 → $M_{c\ kanan}$ = 6501,58 kgm

Pada tangga, momen maksimum terjadi pada saat:
D = 0 (Pada Tangga BC)
0 = (Ra – q_{U2} . 1,875 – q_{U1} . x) cos α
x = 1,25 m

M_{max} = Ra (1,875 + x) – (q_{U2} . 1,875 . (1,875/2 + x)) – (½ q_{U1} . x^2) = 7970,8 kgm.
Sehingga, didapatkan diagram momen seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Bidang M pada Tangga

4.1.2.4 Perhitungan Penulangan

4.1.2.4.1 Penulangan Pelat Tangga

- Data Perencanaan
  - fc' : 35 Mpa
  - fy : 420 Mpa
  - Tulangan (D) : D16
  - dx : t_{tangga} – cover – (D/2)
    : 150 – 20 – (16/2)
    : 122 mm
  - ρ_{min} : 0,0035
  - ρ_{max} : 0,025
  - m : $\frac{fy}{0{,}85\ f'c} = \frac{420}{0{,}85\ .\ 35}$ = 14,118
- Penulangan Lentur

  Mu = 7970,8 kgm = 78193544,9 Nmm

  Mn = $\frac{Mu}{\emptyset} = \frac{78193544{,}9}{0{,}9}$ = 86881716,56 Nmm

  Rn = $\frac{Mn}{bd^2} = \frac{86881716{,}56}{1000\ .\ 122^2}$ = 5,837

ρ $= \frac{1}{m}\left(1-\sqrt{1-\frac{2\times m\times Rn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{14{,}118}\left(1-\sqrt{1-\frac{2\times 14{,}118\times 5{,}837}{420}}\right)$

= 0,0156 (dipakai)

As perlu = ρ x b x d

= 0,0156 x 1000 x 122

= 1905,71 mm^2

As D16 = ¼ π D^2

= ¼ π 16^2

= 201,06 mm^2

n perlu $= \frac{As\ perlu}{As\ D16}$

$= \frac{1905{,}71}{201{,}06}$

≈ 10 buah

S $= \frac{1000}{10}$ = 100 mm

Sehingga digunakan Tulangan Lentur D16-100mm

As pakai = n pakai x As D16

= 10 x 201,06

= 2010,6 mm^2

As Tulangan Bagi = 20% x As pakai

= 20% x 2010,6

= 402,12 mm^2

As D10 = ¼ π D^2

= ¼ π 10^2

= 78,54 mm^2

n perlu $= \frac{As\ Tulangan\ Bagi}{As\ D10}$

$= \frac{402{,}12}{78{,}54}$

≈ 6 buah

S $= \frac{1000}{6}$ = 166,67 mm

Sehingga digunakan Tulangan Bagi D10-150mm

- Penulangan Susut

  ρ_{min} = 0,002

  As perlu = ρ x b x d
  = 0,002 x 1000 x 122
  = 244 mm^2

  As D10 = ¼ π D^2
  = ¼ π 10^2
  = 78,54 mm^2

  n perlu = $\frac{As\ perlu}{As\ D10}$
  = $\frac{244}{78,54}$
  ≈ 4 buah

  S = $\frac{1000}{4}$ = 250 mm

  Sehingga digunakan Tulangan Susust D10-250mm

4.1.2.4.2 Penulangan Pelat Bordes

- Data Perencanaan
  - fc' : 35 Mpa
  - fy : 420 Mpa
  - Tulangan (D) : D16
  - dx : t_{tangga} – cover – (D/2)
    : 120 – 20 – (16/2)
    : 92 mm
  - ρ_{min} : 0,0035
  - ρ_{max} : 0,025
  - m : $\frac{fy}{0,85\ f'c} = \frac{420}{0,85\ .\ 35}$ = 14,118
- Penulangan Lentur

  Mu = 6501,58 kgm = 63780463,76 Nmm

  Mn = $\frac{Mu}{\emptyset} = \frac{63780463,76}{0,9}$ = 70867181,95 Nmm

  Rn = $\frac{Mn}{bd^2} = \frac{70867181,95}{1000\ .\ 92^2}$ = 8,37

  ρ = $\frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{14,118}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,118 \times 8,37}{420}}\right)$

= 0,024 (dipakai)

As perlu = ρ x b x d

= 0,024 x 1000 x 92

= 2208,15 mm^2

As D16 = ¼ π D^2

= ¼ π 16^2

= 201,06 mm^2

n perlu = $\frac{As\ perlu}{As\ D16}$

= $\frac{2208,15}{201,06}$

≈ 11 buah

S = $\frac{1000}{11}$ = 90 mm

Sehingga digunakan Tulangan Lentur D16-90mm

As pakai = n pakai x As D16

= 11 x 201,06

= 2211,68 mm^2

As Tulangan Bagi = 20% x As pakai

= 20% x 2211,68

= 442,34 mm^2

As D10 = ¼ π D^2

= ¼ π 10^2

= 78,54 mm^2

n perlu = $\frac{As\ Tulangan\ Bagi}{As\ D10}$

= $\frac{442,34}{78,54}$

≈ 6 buah

S = $\frac{1000}{6}$ = 166,67 mm

Sehingga digunakan Tulangan Bagi D10-150mm

- Penulangan Susut

ρ_{min} = 0,002
As perlu = ρ x b x d
= 0,002 x 1000 x 92
= 184 mm^2
As D10 = ¼ π D^2
= ¼ π 10^2
= 78,54 mm^2
n perlu = $\frac{As\ perlu}{As\ D10}$
= $\frac{184}{78,54}$
≈ 3 buah
S = $\frac{1000}{3}$ = 333,33 mm
Sehingga digunakan Tulangan Susust D10-300mm

Rekapitulasi hasil perhitungan penulangan tangga disajikan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Penulangan Tangga

Jenis Tangga		Tulangan		
		Lentur	Bagi	Susut
Tipe I (4 m)	Pelat Tangga	D16-100	D10-150	D10-250
	Pelat Bordes	D16-90	D10-150	D10-300
Tipe II (3.2 m)	Pelat Tangga	D16-100	D10-150	D10-250
	Pelat Bordes	D16-90	D10-150	D10-300

4.1.3. Perencanaan Balok Bordes

4.1.3.1. Perencanaan Dimensi Balok Bordes

h = $\frac{1}{16}L = \frac{1}{16}(310)$ = 19,37 cm ≈ 30 cm
b = $\frac{2}{3}h = \frac{2}{3}(30)$ = 20 cm

Sehingga balok bordes direncanakan dengan dimensi 20/30 cm.

4.1.3.2. Pembebanan Balok Bordes

- Beban Mati

$q_{D\ bordes}$: 354 x 1,875 = 663,75 kg/m
Berat balok : 0,2 x 0,3 x 2400 = 144 kg/m
q_D : 807,75 kg/m

- Beban Hidup
  q_L : 479 x 1,875 = 898,125 kg/m
- Beban Ultimate
  q_u : 1,2 q_D + 1,6 q_L = 2406,3 kg/m

4.1.3.3. Data Perencanaan Balok Bordes

f'c : 35 MPa
fy : 420 MPa
Tul. Lentur : 16 mm
Tul. Geser : 10 mm
ρ_{min} : 0,0035
ρ_{max} : 0,025
clear cover : 40 mm
d : 300 – 40 – 10 – ½ (16) = 242 mm
m : $\frac{fy}{0{,}85\ f'c} = \frac{420}{0{,}85\ .\ 35}$ = 14,118

4.1.3.4. Penulangan Lentur

- Tulangan Tumpuan

Mu $= \frac{1}{12} qu\ L^2$
$= \frac{1}{12} 2406{,}3\ (3{,}1)^2$
= 1927,0453 kgm
= 19270453 Nmm
Mn $= \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{19270453}{0{,}9}$ = 21411613,89 Nmm
Rn $= \frac{Mn}{bd^2} = \frac{21411613{,}89}{200\ .\ 242^2}$ = 1,82
ρ $= \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$
$= \frac{1}{14{,}118}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14{,}118 \times 1{,}82}{420}}\right)$

$= 0{,}0045 > \rho_{min}$

ρ_{pakai} $= 0{,}0045$

As perlu $= \rho \times b \times d$

$= 0{,}0045 \times 300 \times 242$

$= 170{,}44\ mm^2$

As D16 $= ¼\ \pi\ D^2$

$= ¼\ \pi\ 16^2$

$= 201{,}06\ mm^2$

n perlu $= \frac{As\ perlu}{As\ D16}$

$= \frac{270{,}44}{201{,}06}$

≈ 2 buah

Sehingga digunakan tulangan lentur di bagian tumpuan 2D16.

- Tulangan Lapangan

Mu $= 0{,}5\ Mu_{tumpuan}$

$= 963{,}5226$ kgm

$= 9635226$ Nmm

Mn $= \frac{Mu}{\emptyset} = \frac{9635226}{0{,}9} = 10705806{,}94$ Nmm

Rn $= \frac{Mn}{bd^2} = \frac{10705806{,}94}{200\ .\ 242^2} = 0{,}91$

$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{14{,}118}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14{,}118 \times 0{,}91}{420}}\right)$

$= 0{,}0022 < \rho_{min}$

ρ_{pakai} $= 0{,}0035$

As perlu $= \rho \times b \times d$

$= 0{,}0035 \times 300 \times 242$

$= 170{,}44\ mm^2$

As D16 $= ¼\ \pi\ D^2$

$= ¼\ \pi\ 16^2$

$= 201{,}06\ mm^2$

n perlu $= \frac{As\ perlu}{As\ D16}$

$= \frac{170,44}{201,06}$

$\approx$ 2 buah

Sehingga digunakan tulangan lentur di bagian lapangan 2D16.

4.1.3.5. Penulangan Geser

V_u = ½ q_u L

= ½ x 2406,3 x 3,1 x 10

= 37297,65 N

V_c = $0,17 \sqrt{f'c}\ b\ d$

= $0,17 \sqrt{35}\ (200)(242)$

= 48677,5 N

ϕV_c = 0,75 x 48677,5

= 36508,13 N

$0,5\phi V_c$ = 0,5 x 0,75 x 48677,5

= 14603,25 N

Karena $0,5\phi V_c < V_u < V_c$, maka digunakan tulangan geser minimum.

$V_n = \frac{Vu}{\emptyset}$

$= \frac{37297,65}{0,75}$

= 49730,2 N

V_s = V_n

= 49730,2 N

A_v = 2 x ¼ π 10^2

= 157,08 mm^2

$s = \frac{Av \times fy \times d}{Vs}$

$= \frac{157,08 \times 420 \times 242}{49730,2}$

= 321,043 mm

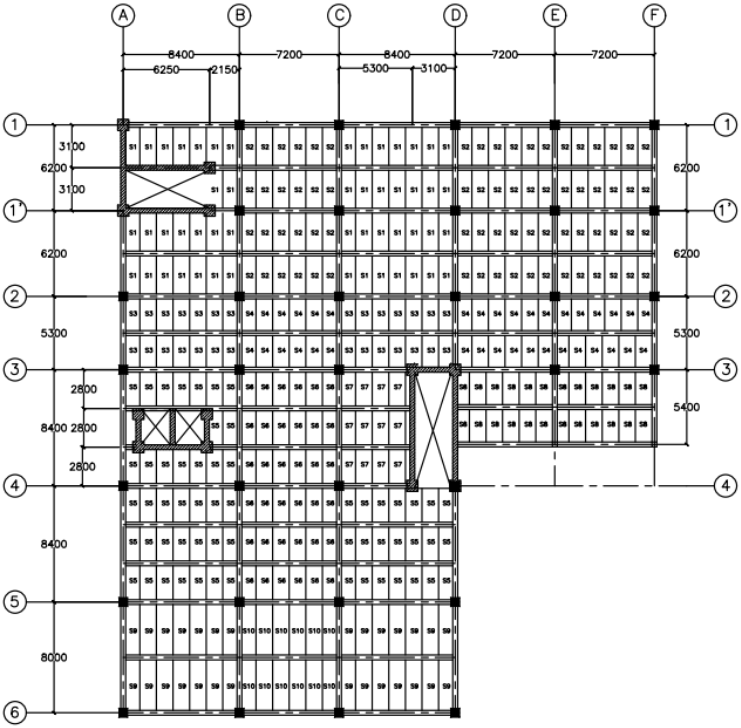
Sehingga digunakan tulangan geser 2D10 – 300 mm.

4.1.4. Perencanaan *Hollow Core Slab*

4.1.4.1. Perencanaan Dimensi Pelat

Pelat akan direncanakan berdasarkan denah pada Gambar 4.7. Tebal pelat minimum pelat yang akan direncanakan memiliki beberapa dimensi, yaitu sebagai berikut:

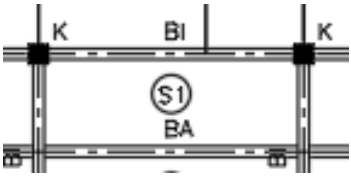
- S1: 8,4 m x 3,1 m
- S2: 7,2 m x 3,1 m
- S3: 8,4 m x 2,65 m
- S4: 7,2 m x 2,65 m
- S5: 8,4 m x 2,8 m
- S6: 7,2 m x 2,8 m
- S7: 5,3 m x 2,8 m
- S8: 7,2 m x 2,7 m
- S9: 8,4 m x 4,0 m
- S10: 7,2 m x 4,0 m



Gambar 4.7 Variasi Jenis Pelat Lantai

Hollow core slab yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan *hollow core slab* yang diproduksi oleh PT. Beton Elemenindo Perkasa dengan perencanaan tebal minimum sebagai berikut:

a. Contoh Perhitungan Tebal Minimum Pelat Satu Arah



Gambar 4.8 Denah Pelat Tipe S1 8,4 m x 3,1 m

Pelat Tipe 1 (S1) memiliki dimensi sebesar 8,4 m x 3,1 m, dengan Ln dan Sn sebagai berikut:

Ln = 840 – ½ (80 + 80) = 760 cm

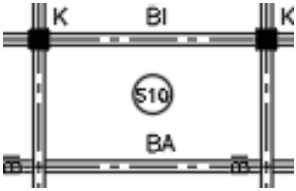
Sn = 310 – ½ (60 + 40) = 260 cm

$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{760}{260} = 2{,}92 > 2$ → Pelat 1 arah

Berdasarkan SNI 2847:2019 persyaratan tebal minimum untuk elemen struktur pelat massif satu arah dengan kedua ujung menerus adalah

$h_{min} = \frac{L}{28} = \frac{840}{28} = 11{,}07$ cm ≈ 15 cm

b. Contoh Perhitungan Tebal Minimum Pelat Dua Arah



Gambar 4.9 Denah Pelat Tipe S10 7,2 m x 4 m

Direncanakan hf = 15 cm

Ln = 720 – ½ (80 + 80) = 640 cm

Sn = 400 – ½ (60 + 40) = 350 cm

$\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{640}{350} = 1{,}83 < 2$ → Pelat 2 arah

Dengan asumsi dimensi balok induk di sisi kanan dan kiri adalah sebesar 80/120, balok induk di sisi atas adalah sebesar 60/90, dan balok anak di sisi bawah adalah sebesar 40/65.

- Balok Induk Kanan-Kiri
  Perhitungan lebar efektif:
- be = bw + 2 x (hw – hf) = 80 + 2 x (120 – 15) = 290 cm
- be = bw + 8 x hf = 80 + 8 x 15 = 200 cm
- be = ¼ x L = ¼ x 640 = 160 cm
- be pakai = be terkecil = 160 cm

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{hw}\right)\left[4 - 6\left(\frac{hf}{hw}\right) + 4\left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{hw}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{160}{80} - 1\right)\left(\frac{15}{120}\right)\left[4 - 6\left(\frac{15}{120}\right) + 4\left(\frac{15}{120}\right)^2 + \left(\frac{160}{80} - 1\right)\left(\frac{15}{120}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{160}{80} - 1\right)\left(\frac{15}{120}\right)}$$

$k = 1{,}26$

$I_{balok} = \frac{1}{12}\ k\ x\ b\ x\ h^3 = \frac{1}{12}\ 1{,}34\ x\ 80\ x\ 120^3 = 14482500\ cm^4$

$I_{pelat} = \frac{1}{12}\ bs\ x\ t^3 = \frac{1}{12}\ 310\ x\ 15^3 = 112500\ cm^4$

$\alpha_m = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{14482500}{112500} = 128{,}73$

- Balok Induk Atas
  Perhitungan lebar efektif:
- be = bw + 2 x (hw – hf) = 60 + 2 x (90 – 15) = 210 cm
- be = bw + 8 x hf = 60 + 8 x 15 = 180 cm
- be = ¼ x L = ¼ x 350 = 87,5 cm
- be pakai = be terkecil = 87,5 cm

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{hw}\right)\left[4 - 6\left(\frac{hf}{hw}\right) + 4\left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{hw}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{87,5}{60} - 1\right)\left(\frac{15}{90}\right)\left[4 - 6\left(\frac{15}{90}\right) + 4\left(\frac{15}{90}\right)^2 + \left(\frac{87,5}{60} - 1\right)\left(\frac{15}{90}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{87,5}{60} - 1\right)\left(\frac{15}{90}\right)}$$

$k = 1{,}15$

$$I_{balok} = \frac{1}{12}\ k\ x\ b\ x\ h^3 = \frac{1}{12}\ 1{,}15\ x\ 60\ x\ 90^3 = 4191645{,}67\ cm^4$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12}\ bs\ x\ t^3 = \frac{1}{12}\ 720\ x\ 15^3 = 202500\ cm^4$$

$$\alpha_m = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{4191645{,}67}{202500} = 20{,}70$$

- Balok Anak Bawah
  Perhitungan lebar efektif:
- be = bw + 2 x (hw – hf) = 40 + 2 x (65 – 15) = 140 cm
- be = bw + 8 x hf = 40 + 8 x 15 = 160 cm
- be = ¼ x L = ¼ x 350 = 87,5 cm
- be pakai = be terkecil = 87,5 cm

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{hw}\right)\left[4 - 6\left(\frac{hf}{hw}\right) + 4\left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{hw}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right)\left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{87,5}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{65}\right)\left[4 - 6\left(\frac{15}{65}\right) + 4\left(\frac{15}{65}\right)^2 + \left(\frac{87,5}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{65}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{87,5}{40} - 1\right)\left(\frac{15}{65}\right)}$$

$k = 1{,}40$

$$I_{balok} = \frac{1}{12}\ k\ x\ b\ x\ h^3 = \frac{1}{12}\ 1{,}40\ x\ 40\ x\ 65^3 = 1278304{,}34\ cm^4$$

$$I_{pelat} = \frac{1}{12}\ bs\ x\ t^3 = \frac{1}{12}\ 720\ x\ 15^3 = 202500\ cm^4$$

$$\alpha_m = \frac{I_{balok}}{I_{pelat}} = \frac{1278304{,}34}{202500} = 6{,}31$$

Maka, α_m rata-rata adalah:

$$\alpha_m = \frac{128{,}73+128{,}73+20{,}70+6{,}31}{4} = 71{,}12$$

$$h_{min} = \frac{Ln\,(0{,}8+\frac{fy}{1400})}{36+9\beta} = \frac{640\,(0{,}8+\frac{420}{1400})}{36+9\ x\ 1{,}83} = 13{,}42 \text{ cm} > \text{hf} = 15 \text{ cm (OK)}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan dimensi *hollow core slab* dengan berbagai bentang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

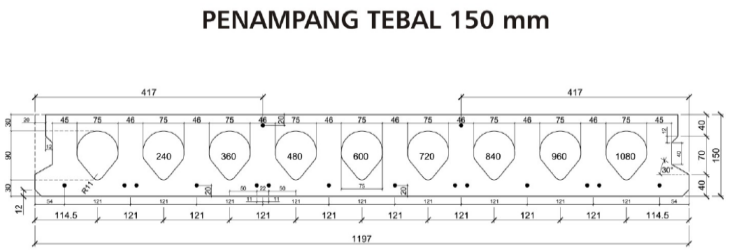
Tabel 4.2 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi *Hollow Core Slab*

Tipe Pelat	Dimensi				β	Tipe Arah	t min (cm)	t rencana (cm)
	p	l	Ln	Sn				
S1	840	310	760	260	2.92	1	11.07	15
S2	720	310	640	260	2.46	1	11.07	15
S3	840	265	760	215	3.53	1	9.46	15
S4	720	265	640	215	2.98	1	9.46	15
S5	840	280	780	230	3.39	1	10.00	15
S6	720	280	660	230	2.87	1	10.00	15
S7	530	280	470	222.5	2.11	1	10.00	15
S8	720	270	640	220	2.91	1	9.64	15
S9	840	400	760	350	2.17	1	14.29	15
S10	720	400	640	350	1.83	2	13.42	15

4.1.4.2. Data Perencanaan *Hollow Core Slab*

Dalam tugas akhir ini, struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka dimodifikasi menggunakan pelat pracetak *hollow core slab* dengan bentang 3,1 meter, 2,65 meter, 2,8 meter, 2,7 meter, dan 4 meter. Berikut merupakan data perencanaan yang digunakan berdasarkan hasil perencanaan dimensi pada subbab sebelumnya dan penampang pelat seperti pada Gambar 4.10.

- Tebal *Hollow Core Slab* : 15 cm
- Mutu Beton (f'c) : 45 MPa
- Jumlah Wire : 12 buah (ϕ = 5 mm)
- Luas Penampang : 1117,18 cm^2
- Berat Sendiri : 247 kg/m^2
- Rongga : 35,80%



Gambar 4.10 Penampang *Hollow Core Slab* Tebal 150 mm

4.1.4.3. Kontrol Kapasitas *Hollow Core Slab*

Perencanaan *hollow core slab* pada tugas akhir ini mengacu pada tabel kapasitas beban dari katalog *Hollow Core Slab* PT. Beton Elemenindo Perkasa. Kapasitas beban untuk pelat tipe 150.05.12 dengan bentang 4 meter adalah sebesar 905 kg/m^2. Kapasitas pelat dengan bentang 4 meter dijadikan acuan pula untuk beban-beban yang terjadi pada bentang 3,1 meter, 2,65 meter, 2,8 meter, dan 2,7 meter.

- Pelat Atap
  Beban Mati Tambahan (DL):

- Utilitas = 30 kg/m^2
- Plafon = 11 kg/m^2
- Penggantung plafon = 7 kg/m^2
- Spesi (1 cm) = 21 kg/m^2
- Total = 69 kg/m^2

Beban Hidup Atap (LL) = 96 kg/m^2
Beban Ultimate (Qu) = 1,2 DL + 1,6 LL
= 1,2 x 69 + 1,6 x 96
= 236,4 kg/m^2

Qn > Qu
905 kg/m^2 > 236,4 kg/m^2 (OK)

- Pelat Lantai 2 – 15

Beban Mati Tambahan (DL):

- Utilitas = 30 kg/m^2
- Plafon = 11 kg/m^2
- Penggantung plafon = 7 kg/m^2
- Spesi (1 cm) = 21 kg/m^2
- Total = 69 kg/m^2

Beban Hidup Lantai Sekolah (LL) = 192 kg/m^2
Beban Ultimate (Qu) = 1,2 DL + 1,6 LL
= 1,2 x 69 + 1,6 x 192
= 390 kg/m^2

Kapasitas HCS > Qu
905 kg/m^2 > 390 kg/m^2 (OK)

- Pelat Lantai 1

Beban Mati Tambahan (DL):

- Utilitas = 30 kg/m^2
- Plafon = 11 kg/m^2
- Penggantung plafon = 7 kg/m^2
- Spesi (1 cm) = 21 kg/m^2
- Total = 69 kg/m^2

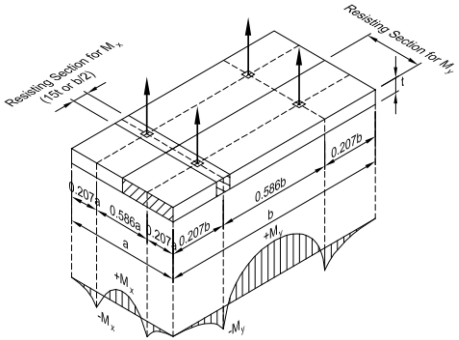
Beban Hidup Koridor (LL) = 479 kg/m^2
Beban Ultimate (Qu) = 1,2 DL + 1,6 LL

= 1,2 x 69 + 1,6 x 479
= 849,2 kg/m^2

Qn > Qu
905 kg/m^2 > 849,2 kg/m^2 (OK)

4.1.4.4. Pengangkatan *Hollow Core Slab*

Pengangkatan pelat pracetak dilaksanakan menggunakan empat titik angkat seperti pada ilustrasi Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Pengangkatan Pelat Pracetak
(PCI Design Handbook, 2004)

Dengan panjang HCS 3,1 meter, maka contoh perhitungan pengangkatan pelat pracetak tersebut adalah sebagai berikut:

a = 1,197 m
b = 3,1 m
I pelat = 21613,33 cm^4
Sx = 2881,78 cm^3
W = 247 kg/m^2
fkub = 450 kg/cm^2
fc = 0,83 x fkub = 0,83 x 450 = 373,5 kg/cm^2
ft ijin = 0,5 x √fc = 0,5 x √373,5 = 9,66 kg/cm^2

Jarak titik angkat:
0,027 b = 0,027 x 3,1 = 0,08 m

Tegangan tarik yang terjadi:
+My = 0,0054 w a^2 b
= 0,0054 x 247 x $1,197^2$ x 3,1
= 5,924 kgm
= 592,4 kgcm
ft = My/Sx = 592,4 / 2881,78 = 0,206 kg/cm^2

ft ijin > ft
9,66 kg/cm^2 > 0,205 kg/cm^2 (OK)

Rekapitulasi perhitungan pengangkatan pelat pracetak untuk variasi bentang lainnya disajikan dalam Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan Pengangkatan Pelat

Bentang	Titik Angkat (m)	My (kgcm)	Ft (kg/cm²)	Ft ijin (kg/cm²)	Cek
3.10	0.084	592.44	0.206	9.66	OK
2.65	0.072	506.44	0.176	9.66	OK
2.80	0.076	535.10	0.186	9.66	OK
2.70	0.073	515.99	0.179	9.66	OK
4.00	0.108	764.43	0.265	9.66	OK

4.1.5. Perencanaan Pelat Basement

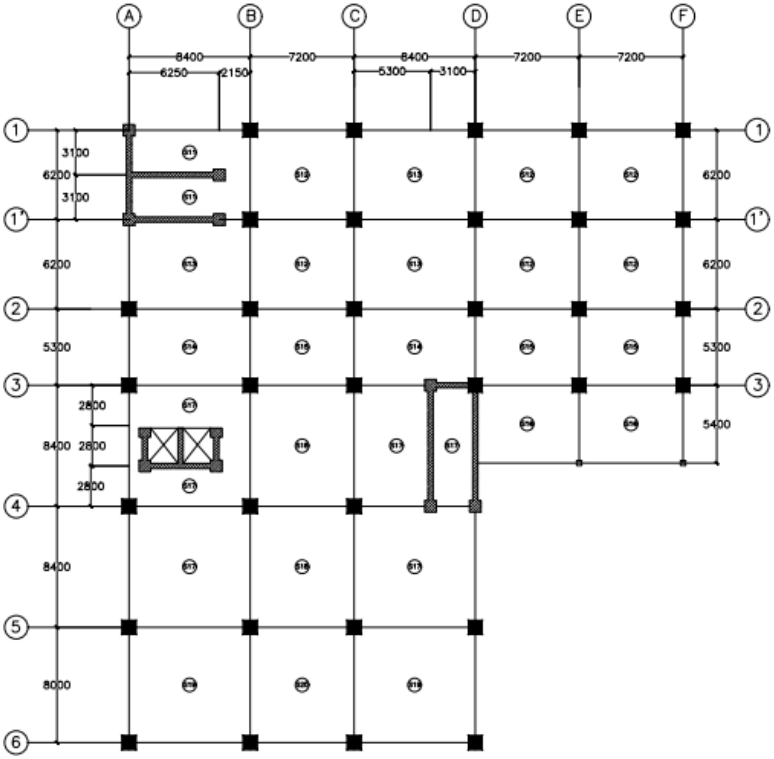
Pada perencanaan ini, pelat basement direncanakan menggunakan metode cor *in-situ*. Sehingga dalam perencanaan ini tidak akan direncanakan tulangan akibat pengangkatan dan kondisi sebelum komposit.

Pelat basement direncanakan dengan data perencanaan sebagai berikut:
Tebal pelat : 35 cm
F'c : 35 MPa
Fy : 420 MPa
Tebal cover : 70 mm

Diameter tulangan (+) : 13 mm
Diameter tulangan (–) : 16 mm

Pelat basement akan direncanakan berdasarkan denah pada Gambar 4.12 dan berbagai jenis bentang sebagai berikut:

- S11: 8,4 m x 3,1 m
- S12: 7,2 m x 6,2 m
- S13: 8,4 m x 6,2 m
- S14: 8,4 m x 5,3 m
- S15: 7,2 m x 5,3 m
- S16: 7,2 m x 5,4 m
- S17: 5,3 m x 8,4 m
- S18: 7,2 m x 8,4 m
- S19: 8,4 m x 8,0 m
- S20: 7,2 m x 8,0 m



Gambar 4.12 Denah Pelat Basement

4.1.5.1. Pembebanan Pelat Basement

Pelat direncanakan menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL) berdasarkan PPIUG 1983 dan SNI 1726:2013 sesuai dengan fungsinya yaitu lantai parkir.

Pada perencanaan pelat basement terdapat 2 kondisi maksimum yang terjadi, yaitu pada saat musim kemarau dan musim hujan. Pada musim kemarau, diasumsikan muka air berada di bawah pelat basement sehingga gaya maksimal yang terjadi pada pelat adalah akibat beban kendaraan. Sedangkan pada musim hujan, diasumsikan muka air berada pada permukaan tanah dan tidak ada kendaraan sehinggaa gaya maksimal yang terjadi adalah akibat beban *uplift*.

- Kondisi Musim Kemarau
  Beban Mati (q_D)
  Pelat Lantai = 2400 x 0,35 = 840 kg/m^2
  Spesi (1 cm) = 21 kg/m^2
  Beban Hidup (q_L)
  Lantai Parkir = 500 kg/m^2
  Beban Ultimate (q_U)
  1,2 q_D + 1,6 q_L = 1833,2 kg/m^2
- Kondisi Musim Hujan
  Beban *Uplift*
  q = 3,2 m x 1000 = 3200 kg/m^2

4.1.5.2. Perhitungan Tulangan Pelat Basement

Pada perhitungan pelat, pelat satu arah dan pelat dua arah memiliki perhitungan momen yang berbeda. Perhitungan momen ultimate pada pelat satu arah akan menggunakan perhitungan momen pada perletakan sederhana. Sedangkan untuk pelat dua arah, momen akan dihitung berdasarkan PBI 1971 Tabel 13.3.1. Contoh perhitungan momen pada pelat dua arah S12 pada pelat basement adalah sebagai berikut:

- Perhitungan penulangan positif:
  q_{pakai} = 1833,2 kg/m

Xx (+) = 28
Xy (+) = 20
M_{ux} = 0,001 . q . lx^2 . Xx
= 6082,118 kgm
M_{uy} = 0,001 . q . lx^2 . Xy
= 5321,853 kgm

- Perhitungan penulangan negatif:
  q_{pakai} = 3200 kg/m
  Xx (+) = 28
  Xx (-) = 64
  Xy (+) = 20
  Xy (-) = 56
  M_{ux} = 0,001 . q . lx^2 . Xx
  = 10616,83 kgm
  M_{uy} = 0,001 . q . lx^2 . Xy
  = 9298,73 kgm

Rekapitulasi perhitungan momen untuk masing-masing jenis pelat dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Rekapitulasi Momen pada Pelat Basement

Tipe Pelat	Momen Positif (Kgm)		Momen Negatif (Kgm)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
S11	16168.82	0.00	28224.00	0.00
S12	6082.12	5321.85	10616.83	9289.73
S13	9442.59	7372.98	16482.82	12870.14
S14	10218.70	7372.98	17837.57	12870.14
S15	6937.42	5416.89	12109.82	9455.62
S16	6937.42	5416.89	12109.82	9455.62
S17	4068.07	2935.19	7101.15	5123.62
S18	6082.12	5321.85	10616.83	9289.73
S19	7631.68	6984.93	13321.73	12192.77
S20	6082.12	5321.85	10616.83	9289.73

Setelah didapatkan momen yang terjadi pada pelat, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan penulangan pada pelat. Contoh perhitungan akan dilakukan pada pelat S12.

- Penulangan Arah X Positif

M_u = 6082,12 kgm

D tulangan = 13 mm

ϕ = 0,90

Rn $= \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

$= \frac{6082{,}12 \times 10^4}{0{,}9\ (1000)\ 273{,}5^2}$

= 0,90 MPa

m $= \frac{fy}{0{,}85\ f'c}$

$= \frac{420}{0{,}85\ (35)}$

= 14,12

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{14{,}12}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14{,}12 \times 0{,}73}{420}}\right)$

= 0,0022

$\rho_{min} = 0{,}0018\ \frac{420}{fy}$

= 0,0018

ρ_{pakai} = 0,0022

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,0022 x 1000 x 273,5

= 596,34 mm^2

$s_{max\ 1}$ = 3h

= 1050 mm

$s_{max\ 2}$ = 450 mm

$s_{pakai} = 1000\ x\ \frac{As\ tulangan}{As\ perlu}$

= 200 mm

Kontrol Regangan:

a $= \frac{As\ fy}{0{,}85\ f'c\ b}$
$= 7{,}37$ mm
c $= \frac{a}{\beta_1}$
$= 9{,}64$ mm
$\varepsilon_t = 0{,}003\ \frac{d-c}{d}$
$= 0{,}136 > 0{,}005$ (OK)
$\therefore$ Maka, digunakan tulangan arah X D13–200 mm

- Penulangan Arah Y Positif
  M_u = 5321,85 kgm
  D tulangan = 13 mm
  ϕ = 0,90
  Rn $= \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$
  $= \frac{5321{,}85 \times 10^4}{0{,}9\ (1000)\ 260{,}5^2}$
  = 0,87 MPa
  m $= \frac{fy}{0{,}85\ f\prime c}$
  = 14,12
  $\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$
  $= \frac{1}{14{,}12}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14{,}12 \times 0{,}87}{420}}\right)$
  = 0,0021
  $\rho_{min} = 0{,}0018\ \frac{420}{fy}$
  = 0,0018
  ρ_{pakai} = 0,0021
  $As_{perlu} = \rho_{pakai}$ x b x d
  = 0,0021 x 1000 x 260,5
  = 547,57 mm^2
  $s_{max\ 1}$ = 3h
  = 1050 mm

$s_{max\ 2}$ = 450 mm

s_{pakai} = 1000 x $\frac{As\ tulangan}{As\ perlu}$

= 225 mm

Kontrol Regangan:

a = $\frac{As\ fy}{0{,}85\ f'c\ b}$

= 6,76 mm

c = $\frac{a}{\beta_1}$

= 8,85 mm

ε_t = 0,003 $\frac{d-c}{d}$

= 0,142 > 0,005 (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan arah Y D13–225 mm

- Penulangan Arah X Negatif

M_u = 10616,83 kgm

D tulangan = 16 mm

ϕ = 0,90

Rn = $\frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

= $\frac{10616{,}32 \times 10^4}{0{,}9\ (1000)\ 272^2}$

= 1,59 MPa

m = $\frac{fy}{0{,}85\ f'c}$

= $\frac{420}{0{,}85\ (35)}$

= 14,12

ρ_{perlu} = $\frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

= $\frac{1}{14{,}12}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14{,}12 \times 1{,}59}{420}}\right)$

= 0,0038

ρ_{min} = 0,0018 $\frac{420}{fy}$

= 0,0018

ρ_{pakai} = 0,004

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,0038 x 1000 x 272

= 1058,02 mm^2

$s_{max\ 1}$ = 3h

= 1050 mm

$s_{max\ 2}$ = 450 mm

s_{pakai} = 1000 x $\frac{As\ tulangan}{As\ perlu}$

= 175 mm

Kontrol Regangan:

a = $\frac{As\ fy}{0{,}85\ f'c\ b}$

= 13,06 mm

c = $\frac{a}{\beta_1}$

= 17,1 mm

ε_t = 0,003 $\frac{d-c}{d}$

= 0,075 > 0,005 (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan arah X D16–175 mm

- Penulangan Arah Y Negatif

M_u = 9289,73 kgm

D tulangan = 16 mm

ϕ = 0,90

Rn = $\frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

= $\frac{9289{,}73 \times 10^4}{0{,}9\ (1000)\ 256^2}$

= 1,58 MPa

m = $\frac{fy}{0{,}85\ f\prime c}$

= $\frac{420}{0{,}85\ (35)}$

= 14,12

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{14,12}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 1,58}{420}}\right)$

$= 0,0038$

$\rho_{min} = 0,0018\,\frac{420}{fy}$

$= 0,0018$

$\rho_{pakai} = 0,0038$

$As_{perlu} = \rho_{pakai}$ x b x d

$= 0,0038$ x 1000 x 256

$= 983,33\ mm^2$

$s_{max\ 1} = 3h$

$= 1050$ mm

$s_{max\ 2} = 450$ mm

$s_{pakai} = 1000$ x $\frac{As\ tulangan}{As\ perlu}$

$= 200$ mm

Kontrol Regangan:

$a = \frac{As\ fy}{0,85\ f'c\ b}$

$= 12,15$ mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$

$= 15,89$ mm

$\varepsilon_t = 0,003\,\frac{d-c}{d}$

$= 0,075 > 0,005$ (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan arah Y D16–200 mm

4.1.5.3. Rekapitulasi Tulangan Pelat Basement

Rekapitulasi penulangan untuk pelat basement disajikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Penulangan Pelat Basement

Tipe Pelat	Tulangan Positif	Tulangan Negatif

	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
S11	D13-75	D13-275	D16-50	D13-275
S12	D13-200	D13-225	D16-175	D16-200
S13	D13-125	D13-150	D16-100	D16-125
S14	D13-125	D13-150	D16-100	D16-125
S15	D13-175	D13-225	D16-150	D16-200
S16	D13-175	D13-225	D16-150	D16-200
S17	D13-250	D13-275	D16-275	D16-350
S18	D13-200	D13-225	D16-175	D16-200
S19	D13-175	D13-175	D16-150	D16-150
S20	D13-200	D13-225	D16-175	D16-200

4.1.6. Perencanaan Balok Anak

Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi biasa. Hal ini dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu pada dua titik, titik tumpu pertama ada pada balok induk dan titik tumpu kedua berada pada balok anak.

4.1.6.1. Perencanaan Dimensi Balok Anak

Dimensi balok anak direncanakan dengan perletakan kedua ujung menerus dan mutu baja 420 Mpa, berikut merupakan salah satu contoh perhitungan dimensi balok anak dengan bentang 8,4 meter:

- Balok Anak (BA 1) dengan L = 8,4 meter

  $h_{min} = \frac{l}{21} = \frac{8.4}{21} = 0{,}40$ m

  $b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 0{,}4 = 0{,}27$ m

Sehingga, direncanakan balok anak BA 1 dengan dimensi 40/65.

Rekapitulasi hasil perhitungan dimensi balok anak dengan berbagai bentang dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi Balok Anak

Tipe Balok	Bentang (m)	h min (m)	b min (m)	Dimensi Balok (cm)	
				h	b
BA 1	8.4	0.40	0.27	65	40
BA 2	7.2	0.34	0.23	65	40
BA 3	5.3	0.25	0.17	60	35

4.1.6.2. Data Perencanaan Balok Anak

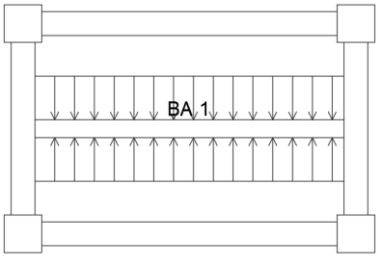
Dalam perencanaan balok anak, ada beberapa kondisi yang harus ditinjau untuk perhitungan tulangan. Kondisi tersebut antara lain yaitu kondisi setelah komposit, sebelum komposit, dan saat pengangkatan. Pengangkatan direncanakan dilakukan pada hari ketujuh dengan nilai kekuatan beton sebesar 25 MPa. Contoh perhitungan yang ditunjukkan dalam subbab ini adalah untuk balok anak tipe 1.

- Dimensi Komposit : 30x50 cm
- Dimensi *Half Beam* : 30x35 cm
- *Overtopping* : 15 cm
- F'c setelah komposit : 35 MPa
- F'c sebelum komposit : 30 MPa
- F'c saat pengangkatan : 25 MPa
- Fy : 420 MPa
- L : 8,4 m
- $L_{pracetak}$: 7,34 m
- Tulangan Longitudinal : 19 mm
- Tulangan Transversal : 10 mm
- *Clear Cover* : 50 mm

4.1.6.3. Pembebanan Balok Anak

Beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri balok anak tersebut dan semua beban merata pada pelat. Distribusi beban pada balok pendukung sedemikian rupa

sehingga dianggap sebagai beban persegi panjang pada bentang balok anak dikarenakan pelat yang menumpu pada balok anak adalah pelat satu arah. Beban berbentuk persegi panjang pada balok anak digambarkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Distribusi Beban Pelat pada Balok Anak

- Sebelum Komposit
  - Beban Mati

Berat Sendiri Balok	= 2400 x 0,4 x 0,50	= 480 kg/m
Berat *Overtopping*	= 2400 x 0,4 x 0,15	= 144 kg/m
Berat Pelat	= 247 x 4	= 988 kg/m
q_D		= 1612 kg/m

  - Beban Hidup

q_L		= 100 kg/m

  - Kombinasi Beban

q_{U1}	= $1{,}4q_D$	=2256,6 kg/m
q_{U2}	= $1{,}2q_D + 1{,}6q_L$	=2094,4 kg/m
$q_{u\ pakai}$	= 2256,6 kg/m	

- Setelah Komposit
  - Beban Mati

Berat Sendiri Balok	= 2400 x 0,4 x 0,65	= 624 kg/m
Plafon	= 11 x 4	= 44 kg/m
Penggantung	= 7 x 4	= 28 kg/m
Ducting	= 30 x 4	= 120 kg/m
Keramik	= 24 x 4	= 96 kg/m
Spesi (1 cm)	= 21 x 4	= 84 kg/m

q_D = 1984 kg/m

- Beban Hidup

  q_L = 479 kg/m

- Kombinasi Beban

  q_U = 1,2 x 1984 + 1,6 x 479
  = 5446 kg/m

- Saat Pengangkatan
  - Beban Mati

    Berat Sendiri Balok = 2400 x 0,3 x 0,50 = 480 kg/m
  - Kombinasi Beban

    q_U = 1,4 x 480 = 672 kg/m

4.1.6.4. Perhitungan Tulangan Balok Anak

- Setelah Komposit

β_1 $= 0,85 - 0,05 \frac{f'c-28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{35-28}{7}$
$= 0,80$

ρ_{min1} $= 0,25 \frac{\sqrt{fc}}{420}$
$= 0,25 \frac{\sqrt{35}}{420}$
$= 0,0035$

ρ_{min2} $= \frac{1,4}{fy}$
$= \frac{1,4}{420}$
$= 0,0033$

m $= \frac{fy}{0,85\ fc}$
$= \frac{420}{0,85\ (35)}$
$= 14,12$

d $= h_{balok} - clear\ cover - \varnothing_{sengkang} - 0,5D_{tulangan}$
$= 650 - 50 - 10 - 0,5(19)$
$= 580,5$ mm

Ln_1 $= 8,4 - 2$ x $(0,5$ x $0,3) = 8,1$ m

Ln_2 = 7,2 – 2 x (0,5 x 0,3) = 6,9 m

Ln = $\frac{Ln1 + Ln2}{2} = \frac{8,1 + 6,9}{2}$ = 7,5 m

$M_{tumpuan}$ = $^1/_{10}$ x q_u x Ln^2

= $^1/_{10}$ x 5446 x $7,5^2$

= 29824,49 kgm

$M_{lapangan}$ = $^1/_{14}$ x q_u x Ln^2

= $^1/_{14}$ x 5446 x $7,5^2$

= 21303,20 kgm

V = 1,15 x $\frac{qu \times Ln}{2}$

= 1,15 x $\frac{5446 \times 7,5}{2}$

= 23174,43 kg

- Tulangan Negatif Tumpuan

ϕ = 0,90

Rn = $\frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

= $\frac{29824,49 \times 10^4}{0,9 \times 400 \times 580,5^2}$

= 2,68 N/mm^2

ρ_{perlu} = $\frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

= $\frac{1}{14,12}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 2,68}{420}}\right)$

= 0,0061

ρ_{pakai} = 0,0061 > ρ_{min}

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,0061 x 400 x 580,5

= 1420,53 mm^2

n pakai = $\frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{1420,53}{0,25\ \pi\ (19)^2}$

= 6 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$

= 19 mm

$s_{min\ 2}$ = 25 mm

s_{pakai} $= \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover\ - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{400 - 6(19) - 2(50) - 2(10)}{6 - 1}$

= 33 mm

s_{pakai} > s_{min} (OK)

Kontrol Regangan:

a $= \frac{As\ fy}{0,85\ f'c\ b}$

= 60,04 mm

c $= \frac{a}{\beta_1}$

$= \frac{60,04}{0,80}$

= 75,05 mm

ε_t $= 0,003\frac{d-c}{d}$

= 0,020 > 0,005 (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan negatif tumpuan 6D19

- Tulangan Positif Tumpuan

M_u = 0,5 $M_{u\ negatif\ tumpuan}$

= 0,5 x 29824,49

= 14912,24 kgm

ϕ = 0,90

Rn $= \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

$= \frac{14912,24 \times 10^4}{0,9 \times 400 \times 580,5^2}$

= 1,23 N/mm^2

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{14,12}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 1,23}{420}}\right)$

$= 0,0029 < \rho_{min}$

$\rho_{pakai} = 0,0035$

$As_{perlu} = \rho_{pakai}$ x b x d

$= 0,0035$ x 400 x 580,5

$= 817,69 \text{ mm}^2$

n pakai $= \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{817,69}{0,25\ \pi\ (19)^2}$

$= 3$ buah

$s_{min\ 1} = D_{tulangan}$

$= 19$ mm

$s_{min\ 2} = 25$ mm

$s_{pakai} = \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{400 - 3(19) - 2(50) - 2(10)}{3 - 1}$

$= 112$ mm

$s_{pakai} > s_{min}$ (OK)

Kontrol Regangan:

$a = \frac{As\ fy}{0,85\ f'c\ b}$

$= 30,02$ mm

$c = \frac{a}{\beta_1}$

$= \frac{30,02}{0,80}$

$= 37,53$ mm

$\varepsilon_t = 0,003\ \frac{d-c}{d}$

$= 0,043 > 0,005$ (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan positif tumpuan 3D19

- Tulangan Positif Lapangan

ϕ = 0,90

Rn = $\frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

= $\frac{21303{,}20 \times 10^4}{0{,}9 \times 300 \times 430{,}5^2}$

= 1,76 N/mm^2

ρ_{perlu} = $\frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

= $\frac{1}{14{,}12}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14{,}12 \times 1{,}76}{420}}\right)$

= 0,0043

ρ_{pakai} = 0,0043 > ρ_{min}

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,0043 x 400 x 580,5

= 1001,33 mm^2

n $_{pakai}$ = $\frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

= $\frac{1001{,}33}{0{,}25\ \pi\ (19)^2}$

= 4 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$

= 19 mm

$s_{min\ 2}$ = 25 mm

s_{pakai} = $\frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

= $\frac{400 - 4(19) - 2(50) - 2(10)}{4 - 1}$

= 68 mm

s_{pakai} > s_{min} (OK)

Kontrol Regangan:

a = $\frac{As\ fy}{0{,}85\ f'c\ b}$

= 40,03 mm

c = $\frac{a}{\beta_1}$

$= \frac{40,03}{0,80}$

$= 50,03$ mm

$\varepsilon_t = 0,003 \frac{d-c}{d}$

$= 0,032 > 0,005$ (OK)

$\therefore$ Maka, digunakan tulangan positif lapangan 4D19

- Tulangan Negatif Lapangan

$M_u = 0,5\ M_{u\ positif\ lapangan}$

$= 0,5 \times 21303,20$

$= 10651,60$ kgm

$\phi = 0,90$

$Rn = \frac{Mu}{\phi\ b\ d^2}$

$= \frac{10651 \times 10^4}{0,9 \times 400 \times 530,5^2}$

$= 0,89$ N/mm^2

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{14,12}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 0,89}{420}}\right)$

$= 0,0021 < \rho_{min}$

$\rho_{pakai} = 0,0035$

$As_{perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d$

$= 0,0035 \times 400 \times 580,5$

$= 817,69$ mm^2

$n_{\ pakai} = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{817,69}{0,25\ \pi\ (19)^2}$

$= 3$ buah

$s_{min\ 1} = D_{tulangan}$

$= 19$ mm

$s_{min\ 2} = 25$ mm

s_{pakai} $= \frac{b - n_{pakai}\, D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{400 - 3(19) - 2(50) - 2(10)}{3 - 1}$

$= 112$ mm

s_{pakai} $> s_{min}$ (OK)

Kontrol Regangan:

a $= \frac{As\ fy}{0{,}85\ f'c\ b}$

$= 30{,}02$ mm

c $= \frac{a}{\beta_1}$

$= \frac{30{,}02}{0{,}80}$

$= 37{,}53$ mm

ε_t $= 0{,}003\frac{d-c}{d}$

$= 0{,}043 > 0{,}005$ (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan negatif lapangan 4D19

- Tulangan Geser

V_u $= 231744{,}32$ N

V_c $= 0{,}17\sqrt{f'c}\ bd$

$= 233531{,}33$ N

ϕV_c $= 175148{,}5$ N

$0{,}5\phi V_c$ $= 87574{,}25$ N

$V_{s\,min}$ $= 0{,}062\sqrt{f'c}\ bd$

$= 85857{,}11$ N

$\phi(V_c + V_{s\,min})$ $= 64392{,}83$ N

Syarat:

Kondisi 1:

$V_u \leq 0{,}5\phi V_c \rightarrow$ tidak memenuhi

Kondisi 2:

$0{,}5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ tidak memenuhi

Kondisi 3:

$\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c+V_{s\,min}) \rightarrow$ memenuhi

Oleh karena kondisi 3 persyaratan tulangan geser terpenuhi, maka diperlukan tulangan geser dalam perencanaan balok anak ini.

$s_{max\ 1} = \frac{d}{2}$

$= \frac{580,5}{2}$

$= 290,25$ mm

$s_{max\ 2} = 600$ mm

$s_{pakai} = 275$ mm

$d_{sengkang} = 10$ mm

$fy_{sengkang} = 280$ MPa

$n_{sengkang} = 2$ kaki

$Av_{min\ 1} = 0,062 \sqrt{f'c}\,\frac{bs}{fy}$

$= 96,07$ mm^2

$Av_{min\ 2} = 0,35\,\frac{bs}{fy}$

$= 91,66$ mm^2

$Av_{pakai} = 2 \times 0,25\,\pi\, d_{sengkang}^2$

$= 2 \times 0,25\,\pi\, 10^2$

$= 157,08$ mm^2 > Av_{min} (OK)

$V_{s\ pakai} = \frac{Av\ fy\ d}{s_{pakai}}$

$= \frac{157,08 \times 280 \times 580,5}{275}$

$= 139263,95$ N > $V_{s\ min}$ (OK)

$\therefore$ Maka, digunakan tulangan geser ϕ10–275 mm.

- Sebelum Komposit

$\beta_1 = 0,85 - 0,05\,\frac{f'c-28}{7} = 0,85 - 0,05\,\frac{30-28}{7}$

$= 0,84$

$\rho_{min1} = 0,25\,\frac{\sqrt{f'c}}{420}$

$= 0,25\,\frac{\sqrt{30}}{420}$

$= 0{,}0033$

$\rho_{min2} = \frac{1{,}4}{fy}$

$= \frac{1{,}4}{420}$

$= 0{,}0033$

$m = \frac{fy}{0{,}85\ f'c}$

$= \frac{420}{0{,}85\ (30)}$

$= 16{,}47$

$d = h_{balok} - \textit{clear cover} - \varnothing_{sengkang} - 0{,}5D_{tulangan}$

$= 500 - 50 - 10 - 0{,}5(19)$

$= 430{,}5$ mm

Momen yang terjadi pada balok anak pada kondisi sebelum komposit dihitung dengan anggapan bahwa tumpuan pada balok anak merupakan tumpuan sederhana. Sehingga, momen pada daerah tumpuan dianggap tidak ada.

$M_{tumpuan} = 0$ kgm

$M_{lapangan} = {}^{1}/_{8}$ x q_u x L^2

$= {}^{1}/_{8}$ x 2256,8 x $7{,}34^2$

$= 15198{,}31$ kgm

$M_{lapangan\ pakai} = 15198{,}31$ kgm

$V_u = \frac{qu \times L}{2}$

$= \frac{2256{,}8 \times 7{,}34}{2}$

$= 8282{,}46$ kg

- Tulangan Negatif Tumpuan

$\rho_{pakai} = \rho_{min}$

$= 0{,}0033$

$As_{perlu} = \rho_{pakai}$ x b x d

$= 0{,}0033$ x 400 x 430,5

$= 574\ mm^2$

$n_{\ pakai} = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{574}{0{,}25\ \pi\ (19)^2}$

$= 3$ buah

$s_{min\ 1} = D_{tulangan}$

$= 19$ mm

$s_{min\ 2} = 25$ mm

$s_{pakai} = \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{400 - 3(19) - 2(50) - 2(10)}{3 - 1}$

$= 112$ mm

$s_{pakai} > s_{min}$ (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan negatif tumpuan 3D19

- Tulangan Positif Tumpuan

$\rho_{pakai} = \rho_{min}$

$= 0{,}0033$

$As_{perlu} = \rho_{pakai}$ x b x d

$= 0{,}0033$ x 400 x 430,5

$= 574\ mm^2$

$n_{\ pakai} = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{574}{0{,}25\ \pi\ (19)^2}$

$= 3$ buah

$s_{min\ 1} = D_{tulangan}$

$= 19$ mm

$s_{min\ 2} = 25$ mm

$s_{pakai} = \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{400 - 3(19) - 2(50) - 2(10)}{3 - 1}$

$= 112$ mm

$s_{pakai} > s_{min}$ (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan positif tumpuan 3D19

- Tulangan Positif Lapangan

ϕ = 0,90

Rn $= \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

$= \frac{15198{,}31 \times 10^4}{0{,}9 \times 400 \times 430{,}5^2}$

= 2,28 N/mm^2

ρ_{perlu} $= \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{16{,}47}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16{,}47 \times 2{,}28}{420}}\right)$

= 0,0057

ρ_{pakai} = 0,0057 > ρ_{min}

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,0057 x 400 x 430,5

= 979,88 mm^2

n $_{pakai}$ $= \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{979{,}88}{0{,}25\ \pi\ (19)^2}$

= 4 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$

= 19 mm

$s_{min\ 2}$ = 25 mm

s_{pakai} $= \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{400 - 4(19) - 2(50) - 2(10)}{4 - 1}$

= 68 mm

s_{pakai} > s_{min} (OK)

Kontrol Regangan:

a $= \frac{As\ fy}{0{,}85\ f'c\ b}$

= 46,70 mm

c $= \frac{a}{\beta_1}$

$= \frac{46,70}{0,84}$

$= 55,88$ mm

$\varepsilon_t = 0,003 \frac{d-c}{d}$

$= 0,020 > 0,005$ (OK)

$\therefore$ Maka, digunakan tulangan positif lapangan 4D19

- Tulangan Negatif Lapangan

$M_u = 0,5\ M_{u\ positif\ lapangan}$

$= 0,5 \times 15198,31$

$= 7599,15$ kgm

$\phi = 0,90$

$Rn = \frac{Mu}{\phi\ b\ d^2}$

$= \frac{7599,15 \times 10^4}{0,9 \times 400 \times 430,5^2}$

$= 1,14$ N/mm^2

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{16,47}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 1,14}{420}}\right)$

$= 0,0027$

$\rho_{pakai} = 0,0027 < \rho_{min}$

$As_{perlu} = \rho_{min} \times b \times d$

$= 0,0027 \times 400 \times 430,5$

$= 574$ mm^2

$n_{pakai} = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{574}{0,25\ \pi\ (19)^2}$

$= 3$ buah

$s_{min\ 1} = D_{tulangan}$

$= 19$ mm

$s_{min\ 2} = 25$ mm

s_{pakai} $= \frac{b - n_{pakai}\, D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{400 - 3(19) - 2(50) - 2(10)}{3 - 1}$

$= 112$ mm

s_{pakai} $> s_{min}$ (OK)

Kontrol Regangan:

a $= \frac{As\, fy}{0{,}85\, f'c\, b}$

$= 35{,}02$ mm

c $= \frac{a}{\beta_1}$

$= \frac{35{,}02}{0{,}84}$

$= 41{,}91$ mm

ε_t $= 0{,}003 \frac{d-c}{d}$

$= 0{,}027 > 0{,}005$ (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan negatif lapangan 3D19

- Tulangan Geser

V_u $= 82824{,}6$ N

V_c $= 0{,}17 \sqrt{f'c}\ bd$

$= 160340{,}40$ N

ϕV_c $= 120255{,}22$ N

$0{,}5\phi V_c$ $= 60127{,}61$ N

$V_{s\,min}$ $= 0{,}062 \sqrt{f'c}\ bd$

$= 58948{,}64$ N

Syarat:

Kondisi 1:

$V_u \leq 0{,}5\phi V_c \rightarrow$ tidak memenuhi

Kondisi 2:

$0{,}5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ memenuhi

Oleh karena kondisi 2 persyaratan tulangan geser terpenuhi, maka diperlukan tulangan geser minimum pada kondisi balok sebelum komposit.

s $= \frac{Av\ fy\ d}{V_{s\ min}}$

$= \frac{157{,}08 \times 420 \times 430{,}5}{58948{,}64}$

= 481,8 mm

s_{pakai} = 350 mm

∴ Maka, digunakan tulangan geser ϕ10–350 mm.

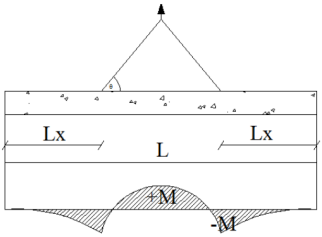
- Saat Pengangkatan

d = h_{balok} – *clear cover* – $\varnothing_{sengkang}$ – 0.5$D_{tulangan}$

= 400 – 50 – 10 – 0,5(19)

= 430,5 mm

Pada saat pengangkatan direncanakan 2 titik angkat dengan lokasi titik pengangkatan berada pada daerah tumpuan seperti pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Titik Angkat Balok Anak

+M $= \frac{WL^2}{8}\left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L\ tan\theta}\right)$

-M $= \frac{WX^2L^2}{8}$

y_t $= \frac{h}{2}$

$= \frac{50}{2}$

= 25 cm

I_{balok} $= \frac{1}{12} bh^3$

$= \frac{1}{12} 40(50)^3$

$= 416666{,}7\ cm^4$

y_c $= y_t + 5$

$= 25 + 5$

$= 30$ cm

Balok direncanakan diangkat dengan sudut 45°

θ $= 45°$

L $= 7{,}34$ m

X $= \frac{1+\frac{4y_c}{Ltan\theta}}{2\left(1+\sqrt{1+\frac{y_t}{y_b}\left(1+\frac{4y_c}{Ltan\theta}\right)}\right)}$

$= 0{,}235$ m

LX $= 7{,}34\ (0{,}235)$

$= 1{,}73$ m

W $= 672$ kg/m

+M $= 1003{,}44$ kgm

-M $= 1003{,}44$ kgm

- Tulangan Negatif Tumpuan

ρ_{min1} $= 0{,}25 \frac{\sqrt{f'c}}{420}$

$= 0{,}25 \frac{\sqrt{25}}{420}$

$= 0{,}0030$

ρ_{min2} $= \frac{1{,}4}{fy}$

$= \frac{1{,}4}{420}$

$= 0{,}0033$

ρ_{pakai} $= \rho_{min}$

$= 0{,}0033$

As_{perlu} $= \rho_{pakai}$ x b x d

$= 0{,}0033$ x 400 x 430,5

$= 574\ mm^2$

$n_{pakai} = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{574}{0{,}25\ \pi\ (19)^2}$

= 3 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$

= 19 mm

$s_{min\ 2}$ = 25 mm

$s_{pakai} = \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{400 - 3(19) - 2(50) - 2(10)}{3 - 1}$

= 112 mm

s_{pakai} > s_{min} (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan negatif lapangan 3D19

- Tulangan Positif Tumpuan

ρ_{pakai} = ρ_{min}

= 0,0033

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,0033 x 400 x 430,5

= 574 mm^2

$n_{pakai} = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{574}{0{,}25\ \pi\ (19)^2}$

= 3 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$

= 19 mm

$s_{min\ 2}$ = 25 mm

$s_{pakai} = \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{400 - 3(19) - 2(50) - 2(10)}{3 - 1}$

= 112 mm

s_{pakai} > s_{min} (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan negatif lapangan 3D19

- Tulangan Positif Lapangan

  Oleh karena pada saat pengangkatan momen yang terjadi sangat kecil, maka untuk menentukan luasan tulangan yang diperlukan dapat langsung menggunakan nilai ρ_{min}.

  $\rho_{pakai} = \rho_{min}$
  $= 0{,}0033$
  $As_{perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d$
  $= 0{,}0033 \times 400 \times 430{,}5$
  $= 574\ mm^2$
  $n_{pakai} = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$
  $= \frac{574}{0{,}25\ \pi\ (19)^2}$
  $= 3$ buah
  $s_{min\ 1} = D_{tulangan}$
  $= 19$ mm
  $s_{min\ 2} = 25$ mm
  $s_{pakai} = \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$
  $= \frac{400 - 3(19) - 2(50) - 2(10)}{3 - 1}$
  $= 112$ mm
  $s_{pakai} > s_{min}$ (OK)

  ∴ Maka, digunakan tulangan negatif lapangan 3D19

- Tulangan Negatif Lapangan

  $\rho_{pakai} = \rho_{min}$
  $= 0{,}0033$
  $As_{perlu} = \rho_{pakai} \times b \times d$
  $= 0{,}0033 \times 400 \times 430{,}5$
  $= 574\ mm^2$
  $n_{pakai} = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$
  $= \frac{574}{0{,}25\ \pi\ (19)^2}$
  $= 3$ buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$
= 19 mm
$s_{min\ 2}$ = 25 mm
s_{pakai} = $\frac{b - n_{pakai}\, D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$
= $\frac{400 - 3(19) - 2(50) - 2(10)}{3 - 1}$
= 112 mm
s_{pakai} > s_{min} (OK)
∴ Maka, digunakan tulangan negatif lapangan 3D19

4.1.6.5. Pengangkatan Balok Anak

Sebelum melakukan instalasi balok anak, balok anak terlebih dahulu mengalami proses pengangkatan menuju titik lokasi pemasangan. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan tulangan angkat untuk balok anak. Untuk pengangkatan balok anak pada tugas akhir ini direncanakan menggunakan dua titik angkat tanpa bantuan *spreader beam*.

- Perhitungan Tulangan Angkat
  Faktor Kejut (K) = 1,2
  DL = $h_{pracetak}$ x $b_{pracetak}$ x L x γ_{beton}
  = 0,5 x 0,4 x 7,34 x 2400
  = 3523 kg
  q = K x 1,4DL
  = 1,2 x 1,4(3523)
  = 5918,98 kg
  Gaya Angkat (Tu):
  Tu = $\frac{q}{2\cos(45)}$
  = $\frac{5918,98}{2\cos(45)}$
  = 4185,35 kg
  = 41,85 kN

- Kontrol Tegangan

$\sigma_{balok} < \sigma_{ijin}$

$\sigma_{ijin} = \frac{0.7\sqrt{f_c'}}{SF}$

$= \frac{0.7\sqrt{25}}{1.5}$

$= 2{,}33$ MPa

$Z = \frac{1}{6} b\left(h_{pracetak}\right)^2$

$= \frac{1}{6} 40(50)^2$

$= 16666{,}67$ cm^3

$\sigma_{balok} = \frac{M_u}{Z}$

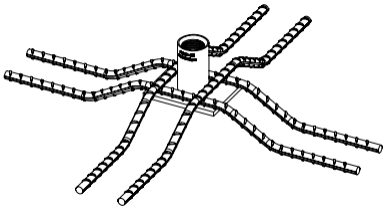
$= \frac{1003{,}44 \times 10^4}{16666{,}67 \times 10^3}$

$= 0{,}6$ MPa

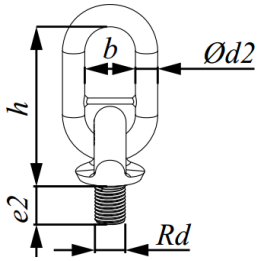
$\sigma_{balok} < \sigma_{ijin}$ (OK)

- Pemilihan Profil Tulangan Angkat

  Tulangan angkat yang digunakan adalah jenis Jenka Lifting System dari Peikko Group seperti pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16. Tipe yang digunakan adalah Jenka PSA Short Insert dengan kait JL. Disetiap titik angkat, profil ini dapat mengangkat beban sebesar 5 – 125 kN dengan sudut 0° - 45°. Untuk BA 1, profil tulangan angkat yang digunakan adalah tipe JRd/JM 36.



Gambar 4.15 Jenka PSA Short Inserts



Gambar 4.16 Kait JL

4.1.6.6. Rekapitulasi Tulangan Balok Anak

Berikut merupakan rekapitulasi tulangan balok anak yang disajikan dalam Tabel 4.7.

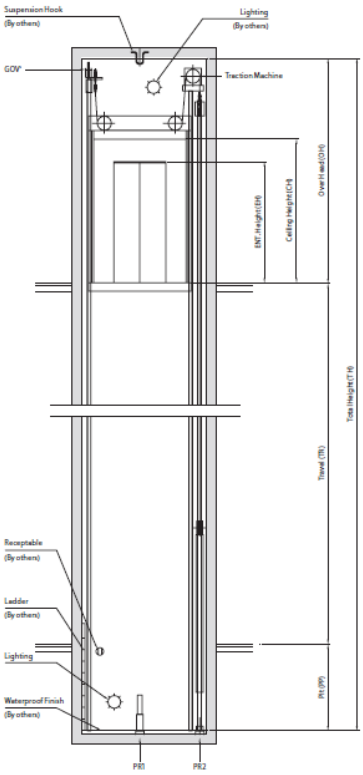
Tabel 4.7 Rekapitulasi Tulangan Balok Anak

BA 1		BA 2		BA 3	
Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
400mm x 650 mm		400mm x 650 mm		350mm x 600 mm	
8.4 m		7.2 m		5.3 m	
50 mm		50 mm		50 mm	
6D19	3D19	5D19	3D19	3D19	3D19
3D19	3D19	2D19	3D19	2D19	2D19
3D19	4D19	3D19	4D19	3D19	3D19
2D-275 mm		2D-275 mm		2D-300 mm	
41.85		41.06		23.80	
JRd/JM36		JRd/JM36		JRd/JM 24	

4.1.7. Perencanaan Lift

Perencanaan lift meliputi pemilihan jenis lift yang akan digunakan pada bangunan. Pada perencanaan ini digunakan lift yang diproduksi Hyundai Elevator dengan tipe YZER-R MRL seperti pada Gambar 4.17, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tipe Lift : *Machine Room-Less* (MRL) EN81-1
- Model : 2 *panel side open*
- Kapasitas : 900 kg
- Kecepatan : 1,5 m/detik
- Lebar Pintu : 1 meter
- Car Size : 1100x2100 mm
- Car Height : 2500 mm
- Hoistway Size : 1700 x 2400 mm
- Overhead : 4000 mm
- Pit Depth : 1300 mm
- Beban PR_1 : 9600 kg
- Beban PR_2 : 7600 kg



Gambar 4.17 Potongan Ruang Lift

4.2. *Preliminary Design*

Preliminary design merupakan proses perencanaan awal yang akan digunakan untuk merencanakan dimensi struktur gedung. Perencanaan awal dilakukan menurut peraturan yang ada. *Preliminary design* dilakukan terhadap komponen struktur primer antara lain balok induk, kolom, dan dinding geser.

4.2.1. Perencanaan Dimensi Balok Induk

Dimensi balok induk direncanakan dengan dua tumpuan sederhana dan mutu baja 420 Mpa, berikut merupakan salah

satu contoh perhitungan dimensi balok induk dengan bentang 8,4 meter:

- Balok Induk (BI 1) dengan L = 8,4 meter

  h_{min} $= \frac{l}{16} = \frac{8.4}{21} = 0{,}53$ m $\approx 0{,}90$ m

  b $= \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 0{,}53 = 0{,}35$ m $\approx 0{,}60$ m

Dalam perencanaan beton pracetak, diutamakan dimensi elemen yang tipikal. Sehingga, balok induk direncanakan dengan dimensi 35/55 cm.

Rekapitulasi hasil perhitungan dimensi balok induk dengan berbagai bentang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Rekapitulasi Perhitungan Dimensi Balok Induk

Balok Induk					
Tipe Balok	**Bentang (m)**	**h min (m)**	**b min (m)**	**Dimensi Balok (cm)**	
				h	**b**
BI 1	8.4	0.53	0.35	90	60
BI 2	7.2	0.45	0.30	90	60
BI 3	6.25	0.39	0.26	120	80
BI 4	5.3	0.33	0.22	120	80
BI 5	5.4	0.34	0.23	120	80
BI 6	8.4	0.53	0.35	120	80
BI 7	8	0.50	0.33	120	80

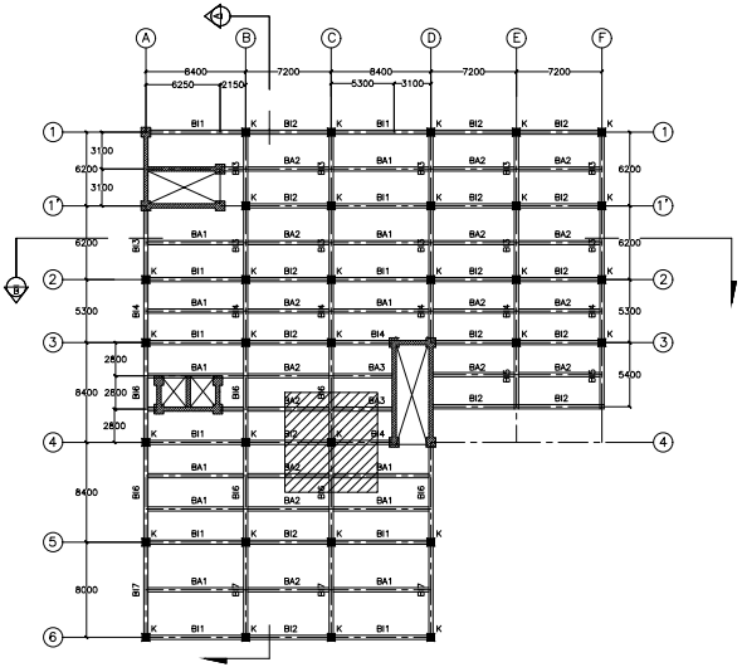
4.2.2. Perencanaan Dimensi Kolom

Kolom yang direncanakan harus mampu memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai. Pada Gambar 4.18 terlihat kolom yang akan direncanakan akan memiliki luasan pelat dengan bentang 7,8 x 8,4 m dari masing-masing seperempat luasan pelat yang menumpu.

Direncanakan kolom dengan data-data sebagai berikut:

- Tebal pelat = 15 cm

- Tinggi lantai 1-15 = 400 cm
- Tinggi lantai *basement* = 320 cm



Gambar 4.18 Luas Pembebanan Kolom

Pembebanan pada kolom didasarkan sesuai dengan ketentuan SNI 1727:2013 untuk beban hidup dan PPIUG 1983 untuk beban mati, yang diberikan pada setiap lantai perencanaan pembebanan. Pada perencanaan ini, direncanakan 4 jenis kolom, yaitu K1 untuk lantai 12 sampai 15, K2 untuk lantai 8 sampai 11, K3 untuk lantai 4 sampai 7, K4 untuk lantai 1 sampai lantai 3, dan K5 untuk lantai basement.

Menurut SNI 1727:2013 pasal 4.7, beban hidup diijinkan untuk direduksi dengan syarat komponen struktur memenuhi syarat berikut:

- $K_{LL}A_{T\ min}$ = 37,16 m^2
- A_T = 7,8 x 8,4 = 65,52 m^2
- K_{LL} = 4
- $K_{LL}A_T$ = 262,08 m^2 > $K_{LL}A_{T\ min}$ (OK)

Berikut adalah contoh perhitungan reduksi beban hidup pada pelat:

- Reduksi beban hidup pelat lantai atap:
  L_0 = 96 kg/m^2
  $0{,}4L_0$ = 38,4 kg/m^2
  R_1 = 0,6 (untuk $A_T \geq 55{,}74\ m^2$)
  R_2 = 1 (untuk atap datar)
  L_r = L_0 x R_1 x R_2
  = 96 x 0,6 x 1
  = 57,60 kg/m^2 > $0{,}4L_0$ (OK)
- Reduksi beban hidup pelat lantai sekolah:
  L_0 = 192 kg/m^2
  $0{,}4L_0$ = 76,8 kg/m^2
  L = $L_0 + \left(0{,}25 + \frac{4{,}57}{\sqrt{K_{LL}\,A_T}}\right)$
  = $192 + \left(0{,}25 + \frac{4{,}57}{\sqrt{262{,}08}}\right)$
  = 102,2 kg/m^2 > $0{,}4L_0$ (OK)
- Reduksi beban hidup pelat lantai koridor lantai 1:
  L_0 = 479 kg/m^2
  $0{,}4L_0$ = 191,6 kg/m^2
  L = $L_0 + \left(0{,}25 + \frac{4{,}57}{\sqrt{K_{LL}\,A_T}}\right)$
  = $479 + \left(0{,}25 + \frac{4{,}57}{\sqrt{262{,}08}}\right)$
  = 254,97 kg/m^2 > $0{,}4L_0$ (OK)

Pembebanan kolom yang ditinjau untuk perencanaan dimensi kolom dijelaskan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Pembebanan Kolom

Pelat Atap

Beban Mati	Berat Sendiri	b (m)	L (m)	t (m)	Berat (kg)
Pelat Atap (15 cm)	247	7.8	8.4		16183.44
Spesi (1 cm)	21	7.8	8.4		1375.92
Plafon	11	7.8	8.4		720.72
Penggantung	7	7.8	8.4		458.64
Ducting dan Plumbing	30	7.8	8.4		1965.60
BI 2	2400	0.6	3.6	0.9	4665.60
BI 3	2400	0.8	4.2	1.2	9676.80
BI 1	2400	0.6	4.2	0.9	5443.20
BI 1	2400	0.6	4.2	0.9	5443.20
BA 2	2400	0.4	1.8	0.65	1123.20
BA 3	2400	0.35	1.33	0.6	667.80
BA 2	2400	0.4	1.8	0.65	1123.20
BA 1	2400	0.4	2.1	0.65	1310.40
				W_{D1} =	50157.72
Beban Hidup	Berat Sendiri	b (m)	L (m)	t (m)	Berat (kg)
Lantai atap	57.60	7.8	8.4		3773.95
Air Hujan	20	7.8	8.4		1310.40
				W_{L1} =	5084.35
Pelat Lt. 2 - 15					
Beban Mati	Berat Sendiri	b (m)	L (m)	t (m)	Berat (kg)
Pelat Lantai (15 cm)	247	7.8	8.4		16183.44
Plafon	11	7.8	8.4		720.72
Penggantung	7	7.8	8.4		458.64
Ducting dan Plumbing	30	7.8	8.4		1965.60
Keramik	24	7.8	8.4		1572.48
Spesi (1 cm)	21	7.8	8.4		1375.92
Dinding Bata Ringan	100	19.8		4	7920.00
BI 2	2400	0.6	3.6	0.9	4665.60
BI 3	2400	0.8	4.2	1.2	9676.80
BI 1	2400	0.6	4.2	0.9	5443.20
BI 1	2400	0.6	4.2	0.9	5443.20
BA 2	2400	0.4	1.8	0.65	1123.20
BA 3	2400	0.35	1.33	0.6	667.80

BA 2	2400	0.4	1.8	0.65	1123.20
BA 1	2400	0.4	2.1	0.65	1310.40
				W_{D2} =	59650.20
Beban Hidup	Berat Sendiri	b (m)	L (m)	t (m)	Berat (kg)
Lantai Sekolah	102.20	7.8	8.4		6696.15
				W_{L2} =	6696.15
Pelat Lt. 1					
Beban Mati	Berat Sendiri	b (m)	L (m)	t (m)	Berat (kg)
Pelat Lantai (15 cm)	247	7.8	8.4		16183.44
Plafon	11	7.8	8.4		720.72
Penggantung	7	7.8	8.4		458.64
Ducting dan Plumbing	30	7.8	8.4		1965.60
Keramik	24	7.8	8.4		1572.48
Spesi (1 cm)	21	7.8	8.4		1375.92
Dinding Bata Ringan	100	19.8		4	7920.00
BI 2	2400	0.6	3.6	0.9	4665.60
BI 3	2400	0.8	4.2	1.2	9676.80
BI 1	2400	0.6	4.2	0.9	5443.20
BI 1	2400	0.6	4.2	0.9	5443.20
BA 2	2400	0.4	1.8	0.65	1123.20
BA 3	2400	0.35	1.33	0.6	667.80
BA 2	2400	0.4	1.8	0.65	1123.20
BA 1	2400	0.4	2.1	0.65	1310.40
				W_{D3} =	59650.20
Beban Hidup	Berat Sendiri	b (m)	L (m)	t (m)	Berat (kg)
Koridor Lantai 1	254.97	7.8	8.4		16705.51
				W_{L3} =	16705.51
Pelat Basement					
Beban Mati	Berat Sendiri	b (m)	L (m)	t (m)	Berat (kg)
Pelat Lantai (40 cm)	2400	7.8	8.4	0.4	62899.20
Spesi (1 cm)	21	7.8	8.4		1375.92
				W_{D4} =	64275.12
Beban Hidup	Berat Sendiri	b (m)	L (m)	t (m)	Berat (kg)

Lantai Parkir	500.00	7.8	8.4		32760.00
				W_{L4} =	32760.00

Berdasarkan pembebanan di atas, berikut adalah contoh perhitungan kolom K1 yang menahan pelat atap dan pelat lantai 12 sampai 15 dengan asumsi dimensi 95 x 95 cm ($A_{rencana}$ = 9025 cm^2)

- W_{DL} = W_{D1} + 3W_{D2} + Beban Sendiri
  = 50157,72 + 3 x 59650,20 + 4 x 8664
  = 263764,32 kg
- W_{LL} = W_{L1} + 3W_{L2}
  = 5084,35 + 3 x 6696,15
  = 25172,81 kg
- W = 1,2W_{DL} + 1,6W_{LL} = 356793,69 kg
- f'c = 40 MPa
- A = W / ⌀f'c
  = 356793,69 / (0,5 x 400)
  = 1783,97 cm^2 < $A_{rencana}$ = 9025 cm^2 (OK)

Rekapitulasi perencanan dimensi kolom disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Rekapitulasi Dimensi Kolom

Tipe Kolom	Dimensi		Beban (kg)			Luas Penampang Kolom		
	h	b	W_{DL}	W_{LL}	W_{TOTAL}	A perlu	A pakai	Check
K1	95	95	263764.32	25172.81	356793.69	1783.97	9025	OK
K2	100	100	540765.12	51957.43	1088843.72	3660.25	10000	OK
K3	105	105	353992.80	78742.04	1639622.35	2753.89	11025	OK
K4	110	110	567791.40	98830.51	2479100.84	4197.39	12100	OK
K5	110	110	701009.52	148296.01	3557585.88	5392.43	12100	OK

4.2.3. Perencanaan Dimensi Dinding Geser

Perencanaan tebal dinding geser mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 11.3.3.1 dimana tebal dinding minimum untuk tipe dinding tumpu adalah diambil yang terbesar dari 100 mm dan 1/25 nilai terkecil dari panjang dan tinggi tidak tertumpu

Dalam tugas akhir ini dinding geser direncanakan dengan ketebalan sebagai berikut:

- Panjang bentang dinding = 8,4 m
- Tinggi lantai 1 – 15 = 4 m (menentukan)
- $T_{min\ 1}$ = 400 / 25 = 16 cm
- $T_{min\ 2}$ = 10 cm

Sehingga direncanakan dinding geser dengan ketebalan sebesar 35 cm, dimana ketebalan tersebut telah memenuhi syarat minimum ketebalan dinding geser.

4.3. Permodelan dan Analisa Struktur

4.3.1. Umum

Dalam perencanaan struktur gedung, perlu adanya perhitungan terkait pembebanan gravitasi dan pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar elemen-elemen struktur mampu memikul beban-beban yang telah diperhitungkan sebelumnya sehingga dapat diperoleh struktur gedung yang kokoh. Pembebanan gravitasi mengacu pada SNI 1727:2013, PPIUG 1983 (Beban Mati Tambahan), dan pembebanan gempa yang mengacu pada SNI 1726:2019.

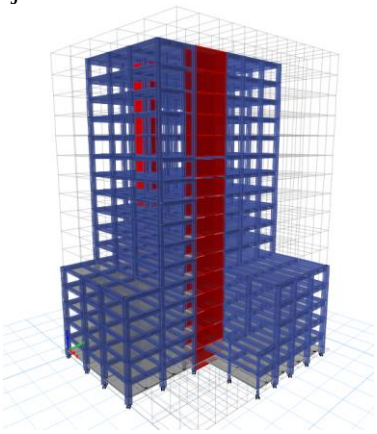
4.3.2. Permodelan Struktur

Permodelan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka dengan tinggi total 60 meter yang terdiri dari 15 lantai, 1 lantai atap, dan 1 lantai *basement* ini menggunakan program bantu ETABS 2016 seperti pada Gambar 4.19. Permodelan struktur ini berguna dalam menganalisis beban gempa yang terjadi pada struktur. Pada permodelan struktur, balok dan kolom struktur direncanakan sebagai *frame*, pelat sebagai *shell*, dan dinding geser sebagai *pier*.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 6.6.3.1.1 momen inersia dan luas penampang yang diizinkan untuk analisis

elastis pada level beban terfaktor, dengan komponen struktur tekan untuk kolom diambil sebesar 0,7 Ig dan dinding retak 0,35 Ig. Sedangkan untuk komponen struktur lentur, digunakan balok sebesar 0,35 Ig dan pelat sebesar 0,25 Ig.

Setelah dilakukan permodelan struktur dan dilakukan input pembebanan, maka selanjutnya permodelan dapat dilakukan proses *running*. Pengambilan *output* gaya dalam untuk masing-masing elemen struktur diperoleh dari *beam forces*, *column forces*, dan *pier forces* untuk dilakukan analisis kontrol lebih lanjut.



Gambar 4.19 Permodelan Struktur Menggunakan Etabs 2016

4.3.3. Pembebanan Gravitasi

Pembebanan gravitasi berupa beban mati dan beban hidup yang bekerja pada gedung. Berikut merupakan beban mati dan beban hidup yang digunakan dalam perhitungan pembebanan:

Beban Mati Tambahan dan Berat Sendiri:

- Berat sendiri beton bertulang : 2400 kg/m^3
- Berat *Hollow Core Slab* : 247 kg/m^2
- Spesi atau finishing (1 cm) : 21 kg/m^2

- Keramik : 24 kg/m^2
- Dinding bata ringan : 100 kg/m^2
- Plafon : 11 kg/m^2
- Penggantung Plafon : 7 kg/m^2
- Ducting dan Plumbing : 30 kg/m^2

Beban Hidup:

- Beban Hujan : 20 kg/m^2
- Lantai Atap : 96 kg/m^2
- Lantai Sekolah : 192 kg/m^2
- Lantai Koridor : 479 kg/m^2

Rekapitulasi pembebanan gravitasi yang bekerja pada struktur disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Rekapitulasi Pembebanan Gravitasi

Keterangan	n Lantai	W_D	W_L
		kg	kg
Atap	1	816,312.00	96,048.00
Lt. 6 - 15	10	9,207,980.75	1,491,693.60
Lt. 3 - 5	3	4,305,939.83	704,910.96
Lt. 2	1	1,494,439.68	242,435.28
Lt. 1	1	1,524,362.88	623,449.04
Basement	1	1,315,094.27	670,282.50
Kolom		4,612,492.80	
Shear wall		2,495,136.00	

Berdasarkan hasil rekapitulasi tersebut diperoleh pembebanan gravitasi dengan kombinasi 1D + 1L sebesar 29.600.577,57 kg.

Pembebanan yang dimasukkan ke dalam program bantu ETABS 2016 harus mendekati perhitungan pembebanan total

yang telah dihitung manual dengan nilai toleransi sebesar 5%. Output pembebanan gravitasi yang telah diperoleh dari program bantu ETABS 2016 dapat dilihat pada Gambar 4.20.

Load Case/Combo	FX kN	FY kN	FZ kN
1D + 1L	0	0	281474,2994

Gambar 4.20 Hasil *Output* Pembebanan ETABS 2016

Perhitungan manual diperoleh sebesar 29.600.577,57 kg. Sedangkan *output* yang diperoleh dari ETABS 2016 sebesar sebesar 281.474,29 kN atau setara dengan 28.625.936,25 kg. Sehingga terdapat selisih beban sebesar 974.641,32 kg atau sebesar **3,40%**. Selisih tersebut kurang dari batas toleransi selisih sebesar 5%. Sehingga pembebanan gravitasi pada ETABS 2016 dapat digunakan dalam perhitungan beban gempa.

4.3.4. Pembebanan Gempa Dinamis

Pembebanan gempa yang digunakan pada tugas akhir ini mengacu pada SNI 1726:2019.

4.3.4.1. Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan SNI 1726:2019 Tabel 4. Untuk gedung fasilitas pendidikan termasuk kategori IV dengan faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,5.

4.3.4.2. Kelas Situs

Penentuan kelas situs berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 5, klasifikasi jenis tanah yang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{N rerata} = \frac{\sum_{1=1}^{n} di}{\sum_{1=1}^{n} \frac{di}{Ni}}$$

dengan:

Ni = nilai NSPT pada lapis ke-i tanpa koreksi
di = tebal lapis ke-i

Hasil perhitungan N rerata pada tanah disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan N Rerata

No.	di	Ni	di/Ni
1	2	13	0.15
2	2	8	0.25
3	2	14	0.14
4	2	8	0.25
5	2	7	0.29
6	2	8	0.25
7	2	9	0.22
8	2	8	0.25
9	2	9	0.22
10	2	8	0.25
11	2	10	0.20
12	2	49	0.04
13	2	61	0.03
14	2	63	0.03
15	2	69	0.03
Total	30		2.61

N rerata = $\frac{30}{2,61}$ = 11,49 < 15, tanah lunak (SE)

4.3.4.3. Parameter Respons Spektral

Data percepatan respons spektral didapatkan dari *website* http://petagempa.pusjatan.pu.go.id/. Untuk lokasi Jakarta Timur dengan kelas situs SE didapatkan data sebagai berikut:

PGA : 0,302
S_s : 0,601
S_1 : 0,243
S_{DS} : 0,900
S_{D1} : 0,735
T_0 : 0,163
T_s : 0,816

4.3.4.4. Kategori Desain Seismik

Penentuan kategori desain seismik mengacu pada SNI 1726:2019 Tabel 8 dan Tabel 9. Untuk nilai $S_{DS} \geq 0,5$, $S_{D1} \geq 0,2$ dan kategori resiko bangunan IV, maka dapat diperoleh kategori desain seismik D. Kategori desain seismik tersebut akan digunakan dalam menentukan batasan sistem dan tinggi struktur, untuk sistem penahan gaya seismik tipe sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus dengan dinding geser bertulang khusus.

4.3.4.5. Respons Spektrum Desain

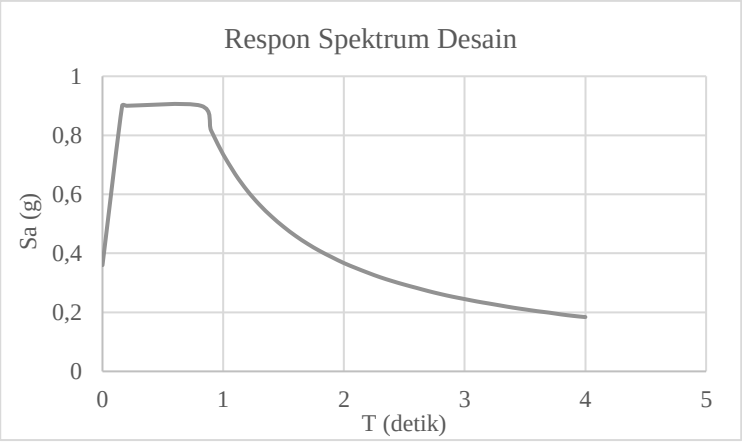
Data respon spektrum desain juga didapatkan dari *website* http://petagempa.pusjatan.pu.go.id/. Untuk lokasi Jakarta Timur dengan kelas situs SE didapatkan data seperti pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Respon Spektrum Desain

Variabel	T (detik)	Sa (g)	Variabel	T (detik)	Sa (g)
As	0	0.36	Ts+1.5	2.3	0.319
T0	0.163	0.9	Ts+1.6	2.4	0.306
SDS	0.2	0.9	Ts+1.7	2.5	0.294
Ts	0.816	0.9	Ts+1.8	2.6	0.283
Ts+0.1	0.9	0.816	Ts+1.9	2.7	0.272
Ts+0.2	1	0.735	Ts+2	2.8	0.262

SD1	1	0.735	Ts+2.1	2.9	0.253
Ts+0.3	1.1	0.668	Ts+2.2	3	0.245
Ts+0.4	1.2	0.612	Ts+2.3	3.1	0.237
Ts+0.5	1.3	0.565	Ts+2.4	3.2	0.23
Ts+0.6	1.4	0.525	Ts+2.5	3.3	0.223
Ts+0.7	1.5	0.49	Ts+2.6	3.4	0.216
Ts+0.8	1.6	0.459	Ts+2.7	3.5	0.21
Ts+0.9	1.7	0.432	Ts+2.8	3.6	0.204
Ts+1	1.8	0.408	Ts+2.9	3.7	0.199
Ts+1.1	1.9	0.387	Ts+3	3.8	0.193
Ts+1.2	2	0.367	Ts+3.1	3.9	0.188
Ts+1.3	2.1	0.35	Ts+3.2	4	0.184
Ts+1.4	2.2	0.334			

Berdasarkan data tersebut maka, didapatkan grafik respon spektrum seperti pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Grafik Respon Spektrum Desain

4.3.5. Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Waktu getar atau periode alami fundamental struktur merupakan waktu yang dibutuhkan struktur untuk menempuh satu siklus gerakan yang nilainya dipengaruhi oleh fungsi massa dan kekakuan. Nilai perioda desain akan digunakan untuk mendapatkan beban gempa rencana. Penentuan periode didasarkan pada peraturan SNI 1726:2019 pasal 7.8.2.1 dimana untuk sistem struktur dengan tipe sistem ganda merupakan kategori sistem struktur lainnya pada Tabel 18, maka diperoleh periode fundamental pendekatan sebagai berikut:

$T_a = C_t \times h_n^x$

$= 0{,}0488 \times h_n^{0{,}75}$

dengan ketinggian struktur 60 meter, maka diperoleh:

$T_a = 0,\ 0488 \times 60^{0{,}75}$

$= 1{,}052$ s

Setelah dilakukan perhitungan periode fundamental pendekatan, selanjutnya dilakukan perhitungan waktu getar alami fundamental dengan nilai C_u diperoleh berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 17. Untuk $S_{D1} \geq 0{,}4$ maka nilai C_u diperoleh sebesar 1,4. Maka, waktu getar alami fundamental untuk struktur didapatkan sebesar:

$T = C_u \times T_a$

$= 1{,}4 \times 1{,}052$

$= 1{,}473$

Dengan menggunakan ETABS 2016, didapatkan nilai periode berdasarkan *mode* untuk masing-masing arah yang disajikan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Periode Fundamental Struktur

Case	Mode	Period
Modal	1	1.447
Modal	2	1.262
Modal	3	1.058

Modal	4	0.434
Modal	5	0.375
Modal	6	0.328
Modal	7	0.228
Modal	8	0.188
Modal	9	0.172
Modal	10	0.144
Modal	11	0.097
Modal	12	0.096

T_x = 1,262 (*mode* 2)
T_y = 1,477 (*mode* 1)

Karena nilai periode T_x dan T_y kurang dari nilai batas atas periode, maka periode struktur menjadi seperti berikut:
T_x = 1,262
T_y = 1,477

4.3.6. Kontrol Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Pada kontrol gaya geser dasar atau *base shear* perlu diketahui terlebih dahulu nilai koefisien respons seismik atau C_s, dimana nilai C_s dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS} \times I_e}{R} = \frac{0,9 \times 1,5}{8} = 0,193$$

$$C_{sx}\ max = \frac{S_{DS} \times I_e}{Tx \times R} = \frac{0,9 \times 1,5}{1,262 \times 8} = 0,153$$

$$C_{sy}\ max = \frac{S_{DS} \times I_e}{Ty \times R} = \frac{0,9 \times 1,5}{1,447 \times 8} = 0,133$$

$C_{sx}\ min_1 = 0,044 \times S_{DS} \times I_e = 0,044 \times 0,9 \times 1,5 = 0,059$

$C_{sy}\ min_1 = 0,044 \times S_{DS} \times I_e = 0,044 \times 0,9 \times 1,5$

$C_{sx}\ min_2 = \frac{S_{D1} \times I_e}{Tx \times R}$

$= \frac{0{,}9 \times 1{,}5}{1{,}262 \times 8}$

$= 0{,}125$

$C_{sx}\ min_3 = 0{,}025$

$= 0{,}059$

$C_{sy}\ min_2 = \frac{S_{D1} \times I_e}{Ty \times R}$

$= \frac{0{,}9 \times 1{,}5}{1{,}447 \times 8}$

$= 0{,}109$

$C_{sy}\ min_3 = 0{,}025$

Dikarenakan nilai C_s lebih besar daripada C_{sx} max dan C_{sy} max, maka nilai C_{sx} dan C_{sy} yang digunakan adalah batas maksimalnya yaitu C_{sx} sebesar 0,153 dan C_{sy} sebesar 0,133. Kemudian perlu diketahui pula nilai berat seismik bangunan dengan kombinasi beban mati dan beban hidup dengan reduksi 0,3 menggunakan program bantu ETABS 2016 dengan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Berat Efektif Struktur

Story	Ux (kg)	Uy (kg)
Roof	984987.76	984987.76
Story15	1298648.37	1298648.37
Story14	1298648.37	1298648.37
Story13	1298648.37	1298648.37
Story12	1305027.72	1305027.72
Story11	1314398.53	1314398.53
Story10	1314398.53	1314398.53
Story9	1314398.53	1314398.53
Story8	1321258.43	1321258.43
Story7	1331109.79	1331109.79
Story6	1331109.79	1331109.79
Story5	1901079.18	1901079.18
Story4	1976361.56	1976361.56
Story3	1992892.61	1992892.61

Story2	2051998.32	2051998.32
Story1	2139546.98	2139546.98
Total	24174512.84	24174512.84

Berdasarkan tabel di atas, maka perhitungan *base shear* adalah sebagai berikut:

V_x = C_{sx} x W
= 0,153 x (24174512,84 x 0,00981)
= 36230,162 kN

V_y = C_{sy} x W
= 0,133 x (24174512,84 x 0,00981)
= 31598,110 kN

Kedua nilai V_x dan V_y tersebut perlu dibandingkan dengan nilai gaya geser ragam atau V_t yang didapatkan menggunakan program bantu ETABS 2016 yang tersaji pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Gaya Geser Dinamik

Kombinasi	Fx	Fy
Ex	18832.147	6825.477
Ey	6717.295	19262.702

Berdasarkan nilai gaya geser ragam dinamik di atas, selanjutnya dibandingkan dengan nilai gaya geser hitung statis. Apabila gaya geser ragam dinamik di bawah 100%, maka perlu dilakukan penyesuaian pada permodelan gempa ETABS dengan mengalikan faktor skala pada gaya seismiknya. Analisa perbandingan antara gaya geser statis dan dinamis disajikan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Rekapitulasi Gaya Geser Statik (V) dan Dinamik (Vi)

	X	Y

W (kN)	237,079.447	237,079.447
Cs	0.153	0.133
V (kN)	36,230.162	31,598.110
Vi (kN)	18,832.147	19,262.702
Vi/V	52%	61%
Cek	NOT OK	NOT OK

Karena Vi/V kurang dari 100% maka perlu dilakukan perhitungan faktor skala untuk koreksi gaya seismik pada ETABS.

Scale Factor X $= \frac{36230,162}{18832,147}$

$= 1,924$

Scale Factor Y $= \frac{31598,110}{19262,702}$

$= 1,640$

Nilai *scale factor* di atas kemudian diinput pada *scale factor* untuk *Respon Spectra* dan *Load Case Response* pada ETABS kemudian dilakukan *running* kembali sehingga didapatkan gaya geser dinamik yang baru seperti pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Gaya Geser Dinamik Baru

Kombinasi	Fx	Fy
Ex	36213.449	11781.109
Ey	12391.759	31617.236

Selanjutnya seperti langkah yang sebelumnya, dianalisa kembali perbandingan nilai antara gaya geser dinamik dan gaya geser statik dengan hasil yang disajikan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Rekapitulasi Gaya Geser Statik (V) dan Dinamik (Vi) dengan Koreksi *Scale Factor*

	X	Y

W (kN)	237,079.447	237,079.447
Cs	0.153	0.133
V (kN)	36,230.162	31,598.110
Vi (kN)	36,243.449	31,617.236
Vi/V	100%	100%
Cek	OK	OK

Berdasarkan tabel di atas, disimpulkan bahwa perbandingan antara gaya geser statik dan gaya geser dinamik sudah memenuhi 100% sehingga perhitungan gaya gempa desain dapat digunakan.

4.3.7. Kontrol Partisipasi Massa

Sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1, perhitungan respons dinamik struktur harus didasarkan pada partisipasi massa paling kecil sebesar 90%. Hasil partisipasi massa pada struktur diperoleh menggunakan program bantu ETABS 2016 yang disajikan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Modal Partisipasi Massa Ragam

Case	Mode	Period	Sum UX	Sum UY
Modal	1	1.447	0.5791	0.0016
Modal	2	1.262	0.5914	0.4286
Modal	3	1.058	0.6015	0.6088
Modal	4	0.434	0.7398	0.6094
Modal	5	0.375	0.7774	0.6799
Modal	6	0.328	0.7914	0.7931
Modal	7	0.228	0.833	0.7953
Modal	8	0.188	0.8551	0.8245
Modal	9	0.172	0.8617	0.8632
Modal	10	0.144	0.884	0.8658

Modal	11	0.097	0.9475	0.8677
Modal	12	0.096	0.9475	0.9437

Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa penjumlahan respon keduabelas ragam menghasilkan partisipasi massa ragam sebesar lebih dari 90% sehingga struktur telah memenuhi persyaratan partisipasi massa.

4.3.8. Kontrol Simpangan (*Drift*)

Gaya gempa desain yang telah direncanakan sebelumnya, akan mempengaruhi kinerja batas layan struktur gedung yang ditentukan oleh simpangan antar lantai. Hal tersebut perlu dipertimbangkan untuk menjaga kenyamanan pengguna gedung, membatasi peretakan beton yang berlebih, dan mencegah kerusakan non struktur.

Nilai simpangan diperoleh menggunakan program bantu ETABS yang selanjutnya akan dikontrol simpangan ijinnya sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.12.1.

Untuk penentuan *story drift* digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \times S_{XE}}{I}$$

dimana:

δ_x = defleksi pada lantai ke-x
C_d = faktor pembesaran defleksi = 5,5
I = faktor keutamaan gedung = 1,5

Untuk perhitungan *story drift* ijin, perhitungan mengacu pada SNI 1726:2019 Tabel 20. Untuk struktur dengan sistem ganda yang termasuk semua struktur lainnya pada tabel tersebut dengan kategori resiko bangunan IV, digunakan batas simpangan ijin dengan persamaan sebagai berikut:

Δ ijin = 0,01 x h_{sx} = 0,01 x 4,0 m = 0,40 m

Rekapitulasi perhitungan simpangan tiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan Tabel 4.22

Tabel 4.21 Tabel Simpangan dengan Gempa Arah X

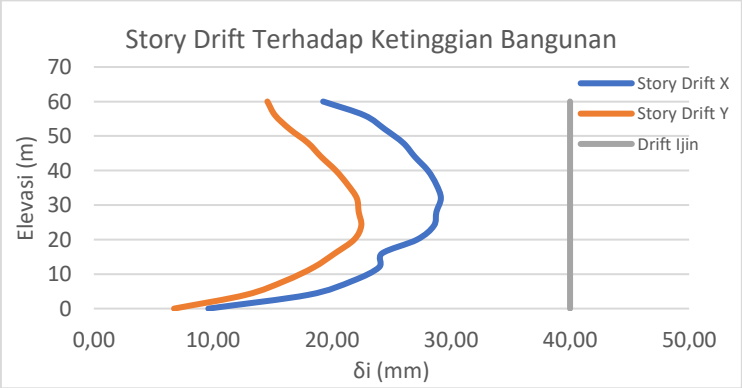
Lantai	h (m)	Δizin (mm)	Drift (mm)	δi (mm)	Cek
Roof	4	40	5.253	19.26	OK
Story15	4	40	6.198	22.73	OK
Story14	4	40	6.663	24.43	OK
Story13	4	40	7.087	25.99	OK
Story12	4	40	7.352	26.96	OK
Story11	4	40	7.652	28.06	OK
Story10	4	40	7.843	28.76	OK
Story9	4	40	7.95	29.15	OK
Story8	4	40	7.847	28.77	OK
Story7	4	40	7.789	28.56	OK
Story6	4	40	7.406	27.16	OK
Story5	4	40	6.603	24.21	OK
Story4	4	40	6.535	23.96	OK
Story3	4	40	5.922	21.71	OK
Story2	4	40	4.918	18.03	OK
Story1	4	40	2.623	9.62	OK

Tabel 4.22 Tabel Simpangan dengan Gempa Arah Y

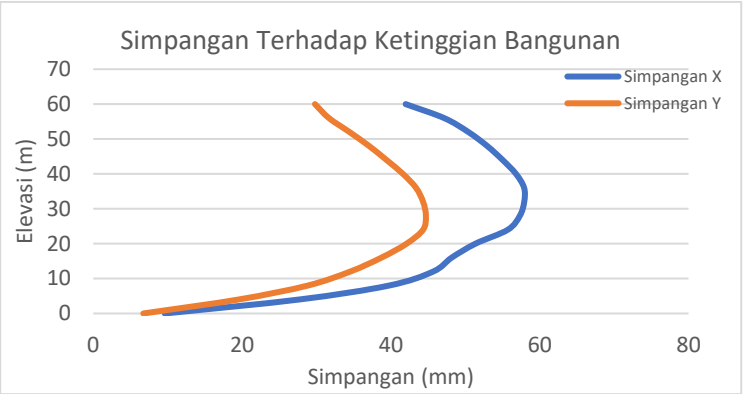
Lantai	h (m)	Δizin (mm)	Drift (mm)	δi (mm)	Cek
Roof	4	40	3.976	14.58	OK
Story15	4	40	4.152	15.22	OK
Story14	4	40	4.487	16.45	OK
Story13	4	40	4.906	17.99	OK
Story12	4	40	5.205	19.09	OK

Story11	4	40	5.543	20.32	OK
Story10	4	40	5.809	21.30	OK
Story9	4	40	6.023	22.08	OK
Story8	4	40	6.067	22.25	OK
Story7	4	40	6.126	22.46	OK
Story6	4	40	5.964	21.87	OK
Story5	4	40	5.521	20.24	OK
Story4	4	40	5.042	18.49	OK
Story3	4	40	4.375	16.04	OK
Story2	4	40	3.485	12.78	OK
Story1	4	40	1.837	6.74	OK

Berdasarkan kedua tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa struktur sudah memenuhi syarat simpangan ijin. Simpangan antar lantai terhadap ketinggian bangunan akan diilustrasikan pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23



Gambar 4.22 Grafik *Story Drift* Arah X dan Y



Gambar 4.23 Grafik Simpangan Arah X dan Y

4.3.9. Kontrol *Dual System*

Persyaratan sistem ganda mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 7.2.5.1. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen harus memikul paling sedikit 25% dari gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh rangka pemikul momen dan dinding geser. *Joint reaction* yang diperoleh menggunakan program bantu ETABS 2016 disajikan pada Tabe; 4.23.

Tabel 4.23 Reaksi Perletakan untuk Gempa X dan Y

Elemen	Gempa Arah X		Gempa Arah Y	
	Fx (kgf)	%	Fy (kgf)	%
SRPM	12529.08	33.43%	9987.47	27.93%
Shear Wall	24954.08	66.57%	25774.64	72.07%
Total	37483.15	100.00%	35762.11	100.00%

Berdasarkan perolehan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa presentase total untuk SRPM memiliki nilai sebesar lebih dari 25%, sehingga layout dan konfigurasi struktur gedung telah memenuhi persyaratan *dual system*.

4.3.10. Kontrol Pengaruh P-Delta

Untuk menghitung ada atau tidaknya pengaruh P-Delta, perlu diketahui nilai koefisien stabilitas (θ). Jika:

- $0{,}1 > \theta \rightarrow$ tidak ada pengaruh P-Delta
- $0{,}1 < \theta < \theta_{max} \rightarrow$ ada pengaruh P-Delta
- $\theta \geq \theta_{max} \rightarrow$ struktur tidak stabil dan perlu desain ulang

Berikut adalah contoh perhitungan pengaruh P-Delta pada lantai atap:

1. Arah X

   P_x = 8414,9 kN
   Δ_x = 19,26 mm
   I_e = 1,5
   V_x = 3915,9 kN
   h_{sx} = 4000 mm
   Cd = 5,5
   $\theta_{max} = \frac{0{,}5}{\beta C_d}$
   = 0,09
   $\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$
   = 0,0028

   Karena $\theta < 0{,}1$ maka tidak ada pengaruh P-Delta

2. Arah Y

   P_y = 8414,9 kN
   Δ_y = 14,58 mm
   I_e = 1,5
   V_y = 3400,2 kN
   h_{sx} = 4000 mm
   Cd = 5,5
   $\theta_{max} = \frac{0{,}5}{\beta C_d}$
   = 0,09
   $\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d}$

= 0,0025

Karena θ < 0,1 maka tidak ada pengaruh P-Delta

Rekapitulasi perhitungan pengaruh P-Delta untuk setiap lantai akan disajikan dalam Tabel 4.24 dan Tabel 4.25.

Tabel 4.24 Pengaruh P-Delta pada Arah X

Arah X								
Lantai	Px	Δ	Ie	Vx	hsx	Cd	θ	Pengaruh P-Delta
	kN	mm		kN	mm			
Atap	8414.9	19.26	1.5	3915.9	4000	5.5	0.0028	Tidak Ada
15	22182.1	22.73	1.5	8341.5	4000	5.5	0.0041	Tidak Ada
14	35949.4	24.43	1.5	12022.0	4000	5.5	0.0050	Tidak Ada
13	49716.6	25.99	1.5	15060.9	4000	5.5	0.0058	Tidak Ada
12	63454.5	26.96	1.5	17616.1	4000	5.5	0.0066	Tidak Ada
11	77376.2	28.06	1.5	19832.6	4000	5.5	0.0075	Tidak Ada
10	91297.9	28.76	1.5	21795.3	4000	5.5	0.0082	Tidak Ada
9	105219.6	29.15	1.5	23574.7	4000	5.5	0.0089	Tidak Ada
8	119112.0	28.77	1.5	25220.4	4000	5.5	0.0093	Tidak Ada
7	133197.6	28.56	1.5	26751.8	4000	5.5	0.0097	Tidak Ada
6	147283.1	27.16	1.5	28148.0	4000	5.5	0.0097	Tidak Ada
5	166935.3	24.21	1.5	30034.9	4000	5.5	0.0092	Tidak Ada
4	187787.2	23.96	1.5	31878.7	4000	5.5	0.0096	Tidak Ada
3	208963.2	21.71	1.5	33434.4	4000	5.5	0.0093	Tidak Ada
2	230762.7	18.03	1.5	34548.0	4000	5.5	0.0082	Tidak Ada
1	256657.7	9.62	1.5	35349.6	4000	5.5	0.0048	Tidak Ada

Tabel 4.25 Pengaruh P-Delta pada Arah Y

Arah Y								
Lantai	Px	Δ	Ie	Vy	hsx	Cd	θ	Pengaruh P-Delta
	kN	mm		kN	mm			
Atap	8414.9	14.58	1.5	3400.2	4000	5.5	0.0025	Tidak Ada
15	22182.1	15.22	1.5	7229.1	4000	5.5	0.0032	Tidak Ada
14	35949.4	16.45	1.5	10393.1	4000	5.5	0.0039	Tidak Ada
13	49716.6	17.99	1.5	12993.1	4000	5.5	0.0047	Tidak Ada
12	63454.5	19.09	1.5	15189.6	4000	5.5	0.0054	Tidak Ada
11	77376.2	20.32	1.5	17137.6	4000	5.5	0.0063	Tidak Ada
10	91297.9	21.30	1.5	18912.6	4000	5.5	0.0070	Tidak Ada
9	105219.6	22.08	1.5	20544.5	4000	5.5	0.0077	Tidak Ada
8	119112.0	22.25	1.5	22035.9	4000	5.5	0.0082	Tidak Ada
7	133197.6	22.46	1.5	23391.1	4000	5.5	0.0087	Tidak Ada
6	147283.1	21.87	1.5	24607.1	4000	5.5	0.0089	Tidak Ada
5	166935.3	20.24	1.5	26177.8	4000	5.5	0.0088	Tidak Ada
4	187787.2	18.49	1.5	27726.1	4000	5.5	0.0085	Tidak Ada
3	208963.2	16.04	1.5	29015.3	4000	5.5	0.0079	Tidak Ada
2	230762.7	12.78	1.5	29967.9	4000	5.5	0.0067	Tidak Ada
1	256657.7	6.74	1.5	30764.4	4000	5.5	0.0038	Tidak Ada

4.3.11. Hasil Analisa Struktur

Analisa dan permodelan struktur yang telah dilakukan menghasilkan gaya-gaya dalam yang selanjutnya akan digunakan pada perencanaan struktur primer seperti balok, kolom, dan dinding geser. Hasil analisa struktur ini didapatkan menggunakan program bantu ETABS 2016. Gaya-gaya dalam tersebut akan disajikan pada Tabel 4.26, Tabel 4.27, dan Tabel 4.28 berikut.

Tabel 4.26 Hasil Gaya Dalam Balok

Tipe Balok	Tumpuan		Lapangan		Vu (+)	Vu (-)	Tu (+)	Tu (-)
	Mu (+) (kN-m)	Mu (-) (kN-m)	Mu (+) (kN-m)	Mu (-) (kN-m)	(kN)	(kN)	(kN-m)	(kN-m)
BI 1	574.877	-785.041	180.993	-18.228	297.897	-296.319	147.077	-131.897
BI 2	764.335	-945.693	204.113	-72.854	383.344	-399.364	63.847	-82.465
BI 3	2250.245	-2822.353	676.994	-636.547	1059.532	-921.123	596.775	-723.621
BI 4	2213.223	-2794.329	436.629	-328.267	1237.944	-993.574	471.392	-412.856
BI 5	280.123	-629.456	360.437	-254.623	355.858	-204.019	467.278	-434.605
BI 6	1548.356	-1830.141	788.197	-891.424	1210.400	-1282.381	1045.640	-917.063
BI 7	1144.988	-1567.139	466.985	-133.084	482.985	-595.961	439.681	-435.805

Tabel 4.27 Hasil Gaya Dalam Kolom

K1	**Lantai 15 - 12**					
Kombinasi Beban	P	Vux	Vuy	T	Muy	Mux
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN-m)	(kN-m)	(kN-m)
1D + 1L	1979.63	234.14	207.94	5.28	370.53	417.14
1,2D + 1,6L	2470.01	296.23	261.90	6.60	467.44	527.90
1,4D	2440.88	274.37	247.82	6.44	438.93	488.32
1,2D + 1L ± 1Ex	2751.93	1071.32	580.95	67.41	1127.99	2083.08
1,2D + 1L ± 1Ey	3003.10	573.70	895.95	95.22	1739.05	1068.81
0,9D ± 1Ex	2120.47	1002.37	541.50	66.08	1067.22	1947.85
0,9D ± 1Ey	2273.92	486.88	884.12	93.94	1719.77	922.98
K2	**Lantai 8 - 11**					
Kombinasi Beban	P	Vux	Vuy	T	Muy	Mux
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN-m)	(kN-m)	(kN-m)
1D + 1L	4116.26	193.04	166.34	3.94	325.07	379.01
1,2D + 1,6L	5144.90	244.70	210.46	4.91	411.32	480.46
1,4D	5043.94	224.59	194.88	4.88	380.78	440.84
1,2D + 1L ± 1Ex	6067.09	1248.07	729.92	89.42	1458.90	2486.04
1,2D + 1L ± 1Ey	6393.69	609.25	1135.54	139.14	2247.59	1214.01
0,9D ± 1Ex	5201.16	1182.24	702.94	88.06	1399.44	2355.02
0,9D ± 1Ey	4879.66	543.42	1127.72	137.84	2230.18	1082.99
K3	**Lantai 4 - 7**					
Kombinasi Beban	P	Vux	Vuy	T	Muy	Mux
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN-m)	(kN-m)	(kN-m)
1D + 1L	6418.02	156.45	246.31	4.60	370.38	306.02
1,2D + 1,6L	8027.27	198.66	311.78	5.75	469.09	388.64
1,4D	7845.44	180.78	288.14	5.64	432.31	353.46
1,2D + 1L ± 1Ex	11115.72	1309.95	814.84	109.82	1609.59	2595.34
1,2D + 1L ± 1Ey	9973.76	627.24	1252.94	175.30	2464.95	1237.33
0,9D ± 1Ex	9651.29	1248.97	787.10	108.15	1555.00	2476.13
0,9D ± 1Ey	8484.67	566.25	1245.26	173.63	2450.68	1118.12
K4	**Lantai 1 - 3**					

Kombinasi Beban	P	Vux	Vuy	T	Muy	Mux
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN-m)	(kN-m)	(kN-m)
1D + 1L	4116.26	193.04	166.34	3.94	325.07	379.01
1,2D + 1,6L	5144.90	244.70	210.46	4.91	411.32	480.46
1,4D	5043.94	224.59	194.88	4.88	380.78	440.84
1,2D + 1L ± 1Ex	6067.09	1248.07	729.92	89.42	1458.90	2486.04
1,2D + 1L ± 1Ey	6393.69	609.25	1135.54	139.14	2247.59	1214.01
0,9D ± 1Ex	5201.16	1182.24	702.94	88.06	1399.44	2355.02
0,9D ± 1Ey	4879.66	543.42	1127.72	137.84	2230.18	1082.99
K5	**Lantai Basement**					
Kombinasi Beban	P	Vux	Vuy	T	Muy	Mux
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN-m)	(kN-m)	(kN-m)
1D + 1L	10636.64	127.52	140.45	5.76	166.85	161.08
1,2D + 1,6L	13467.99	173.79	188.35	7.17	223.66	217.31
1,4D	12427.21	105.88	127.29	7.17	151.56	141.46
1,2D + 1L ± 1Ex	18339.66	614.33	372.92	58.92	925.92	1708.42
1,2D + 1L ± 1Ey	15087.31	314.10	478.90	76.80	1267.84	984.55
0,9D ± 1Ex	15902.84	599.28	376.21	58.25	917.50	1701.72
0,9D ± 1Ey	11995.67	283.06	467.18	74.62	1262.66	977.84

Tabel 4.28 Hasil Gaya Dalam Dinding Geser

SW 1						
Kombinasi Beban	P	Vux	Vuy	T	Muy	Mux
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN-m)	(kN-m)	(kN-m)
1D + 1L	25267.7	-296.2	268.2	-638.6	-1042.8	2648.6
1,2D + 1,6L	24550.7	-293.2	278.5	-616.6	-1280.1	3164.1
1,4D	19856.3	-236.2	222.0	-499.4	-986.2	2450.5
1,2D + 1L ± 1Ex	2664.1	12090.5	5540.4	18664.6	40592.1	98332.1
1,2D + 1L ± 1Ey	49596.1	-12647.4	-5019.8	-19845.9	-42862.5	-92674.4
0,9D ± 1Ex	11811.8	6805.6	7177.9	17102.0	59926.7	47203.9
0,9D ± 1Ey	35120.2	-7362.5	-6657.3	-18283.3	-62197.1	-41546.1

SW 2						
Kombinasi Beban	P	Vux	Vuy	T	Muy	Mux
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN-m)	(kN-m)	(kN-m)
1D + 1L	33742.3	-206.4	-171.1	-634.1	-443.6	-2244.2
1,2D + 1,6L	33535.1	-215.6	-182.6	-636.5	-521.4	-2419.0
1,4D	26984.8	-171.6	-144.7	-511.0	-405.1	-1912.6
1,2D + 1L ± 1Ex	16111.6	6860.6	4882.3	20519.9	45545.8	43002.4
1,2D + 1L ± 1Ey	47498.7	-7262.8	-5220.5	-21723.1	-46482.8	-47468.9
0,9D ± 1Ex	26521.7	13412.0	1443.9	6939.0	16368.5	106341.4
0,9D ± 1Ey	37088.6	-13814.3	-1782.2	-8142.2	-17305.5	-110807.8
SW 3						
Kombinasi Beban	P	Vux	Vuy	T	Muy	Mux
	(kN)	(kN)	(kN)	(kN-m)	(kN-m)	(kN-m)
1D + 1L	23402.8	-32.8	-54.4	4.0	82.6	789.3
1,2D + 1,6L	23040.0	-49.5	-63.0	-3.7	96.1	1136.8
1,4D	18579.1	-36.8	-49.1	-1.6	74.8	851.4
1,2D + 1L ± 1Ex	19040.6	9204.5	2496.9	15801.5	4837.3	72468.1
1,2D + 1L ± 1Ey	24804.1	-9287.4	-2610.6	-15803.6	-4664.1	-70539.7
0,9D ± 1Ex	15822.8	3114.3	4948.6	6123.8	11470.1	24305.0
0,9D ± 1Ey	28021.9	-3197.2	-5062.4	-6125.8	-11296.9	-22376.6

4.4. Perencanaan Struktur Primer

4.4.1. Umum

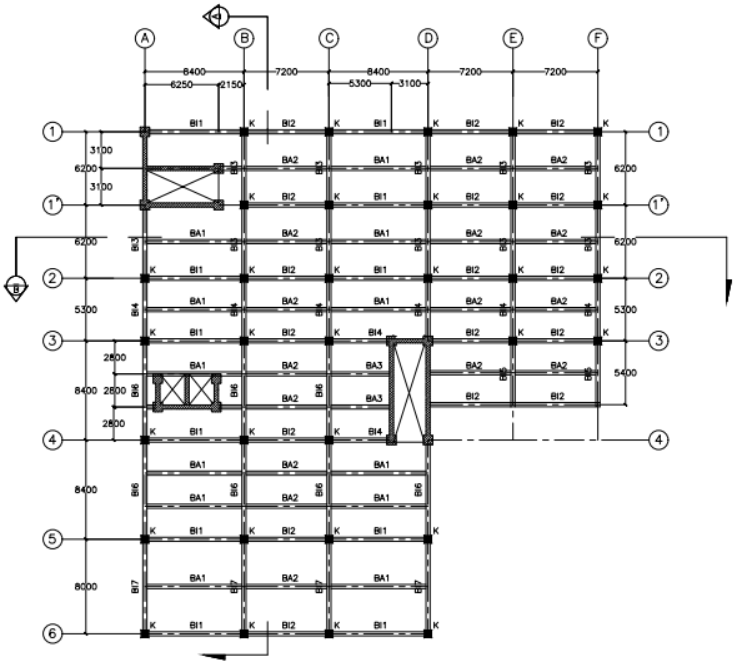
Struktur primer atau struktur utama merupakan struktur yang menahan seluruh kombinasi beban yang berasal dari beban gravitasi maupun beban lateral seperti beban gempa. Komponen struktur primer yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah balok induk, kolom, dan dinding geser. Berikut merupakan perhitungan dalam perencanaan kebutuhan tulangan untuk masing-masing komponen struktur primer tersebut.

4.4.2. Perencanaan Balok Induk

Pada tugas akhir ini akan direncanakan beberapa jenis dimensi balok induk dengan bentang yang berbeda-beda berdasarkan denah pada Gambar 4.24, di antaranya adalah:

- BI 1 dengan dimensi 60/90 dan bentang 8,4 meter
- BI 2 dengan dimensi 60/90 dan bentang 7,2 meter
- BI 3 dengan dimensi 80/120 dan bentang 6,2 meter
- BI 4 dengan dimensi 80/120 dan bentang 5,3 meter
- BI 5 dengan dimensi 80/120 dan bentang 5,4 meter
- BI 6 dengan dimensi 80/120 dan bentang 8,4 meter
- BI 7 dengan dimensi 80/120 dan bentang 8 meter

Sama dengan perencanaan penulangan balok anak, perencanaan balok induk juga ditinjau dalam 3 kondisi yaitu kondisi setelah komposit, sebelum komposit, dan saat pengangkatan. Pada contoh perhitungan berikut akan direncanakan balok induk 1 (BI 1).



Gambar 4.24 Denah Balok Induk

4.4.2.1. Data Perencanaan Balok Induk

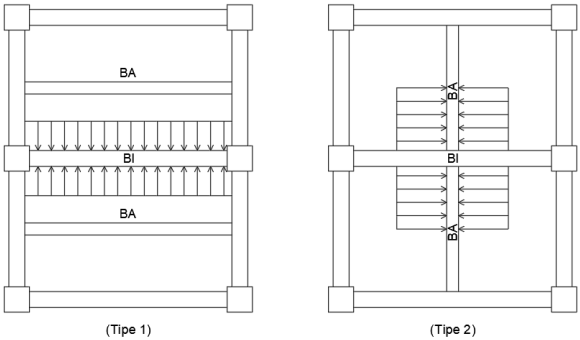
Balok Induk 1 yang akan direncanakan memiliki data perencanaan sebagai berikut:

- Dimensi Komposit : 60x90 cm
- Dimensi *Half Beam* : 60x75 cm
- *Overtopping* : 15 cm
- F'c setelah komposit : 35 MPa
- F'c sebelum komposit : 30 MPa
- F'c saat pengangkatan : 25 MPa
- fy : 420 MPa
- L : 8,4 m
- $L_{pracetak}$: 6,988 m

- Tulangan Longitudinal : 25 mm
- Tulangan Transversal : 13 mm
- *Clear Cover* : 50 mm

4.4.2.2. Pembebanan Balok Induk

Beban yang bekerja pada balok induk terdiri dari berat sendiri balok tersebut, beban merata dan berat sendiri pelat, serta berat sendiri balok anak yang menumpu pada balok induk. Pada tugas akhir ini, tidak semua balok induk menerima beban dari balok anak, seperti pada BI 1 dan BI 2. Tipe-tipe pendistribusian beban akan diilustrasikan pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Tipe Pendistribusian Beban pada Balok Induk

- Sebelum Komposit
  - Beban Mati

    Berat Sendiri Balok = 2400 x 0,6 x 0,75 = 1080 kg/m

    Berat *Overtopping* = 2400 x 0,6 x 0,15 = 216 kg/m

    Berat Pelat = 274 x 4,2 = 1037,4 kg/m

    q_D = 2333,4 kg/m
  - Kombinasi Beban

    q_U = 1,4 x 2333,4 = 3266,8 kg/m
- Saat Pengangkatan
  - Beban Mati

Berat Sendiri Balok = 2400 x 0,6 x 0,75 = 1080 kg/m

- Kombinasi Beban

  q_U = 1,4 x 1080 = 1512 kg/m

4.4.2.3. Perhitungan Tulangan Balok Induk

- Setelah Komposit

β_1 $= 0,85 - 0,05 \frac{f'c-28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{35-28}{7}$

$= 0,80$

ρ_{min1} $= 0,25 \frac{\sqrt{f'c}}{420}$

$= 0,25 \frac{\sqrt{35}}{420}$

$= 0,0035$

ρ_{min2} $= \frac{1,4}{fy}$

$= \frac{1,4}{420}$

$= 0,0033$

m $= \frac{fy}{0,85\ f'c}$

$= \frac{420}{0,85\ (35)}$

$= 14,12$

d $= h_{balok} - \textit{clear cover} - D_{sengkang} - 0,5D_{tulangan}$

$= 900 - 50 - 13 - 0,5(25)$

$= 824,5$ mm

d' $= \textit{clear cover} + D_{sengkang} + 0,5D_{tulangan}$

$= 50 + 13 + 0,5(25)$

$= 75,5$ mm

$M_{tumpuan -}$ = 78504,08 kgm (hasil ETABS)

$M_{tumpuan +}$ = 57487,69 kgm (hasil ETABS)

$M_{lapangan +}$ = 18099,28 kgm (hasil ETABS)

$M_{lapangan -}$ = 1822,75 kgm (hasil ETABS)

V_u = 29789,6 kg (hasil ETABS)

- Tulangan Negatif Tumpuan

ϕ = 0,90

Rn $= \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

$= \frac{78504{,}08 \times 10^4}{0{,}9 \times 600 \times 824{,}5^2}$

= 2,14 N/mm^2

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{14{,}12}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14{,}12 \times 2{,}14}{420}}\right)$

= 0,0052

ρ_{pakai} = 0,0052 > ρ_{min}

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,0052 x 600 x 824,5

= 2616,58 mm^2

n $_{pakai}$ $= \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{2616{,}58}{0{,}25\ \pi\ (25)^2}$

= 6 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$

= 25 mm

$s_{min\ 2}$ = 25 mm

$s_{pakai} = \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{600 - 6(25) - 2(50) - 2(13)}{6 - 1}$

= 65 mm

s_{pakai} > s_{min} (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan negatif tumpuan 6D25

- Tulangan Positif Tumpuan

ϕ = 0,90

Rn $= \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

$= \frac{57487{,}69 \times 10^4}{0{,}9 \times 600 \times 824{,}5^2}$

$= 1{,}57\ N/mm^2$

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{14{,}12}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14{,}12 \times 1{,}57}{420}}\right)$

$= 0{,}0038$

$\rho_{pakai} = 0{,}0038 > \rho_{min}$

$As_{perlu} = \rho_{pakai} \text{ x } b \text{ x } d$

$= 0{,}0038 \text{ x } 600 \text{ x } 824{,}5$

$= 1895{,}84\ mm^2$

$n_{pakai} = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{1895{,}84}{0{,}25\ \pi\ (25)^2}$

$= 4$ buah

$s_{min\ 1} = D_{tulangan}$

$= 25$ mm

$s_{min\ 2} = 25$ mm

$s_{pakai} = \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{600 - 4(25) - 2(50) - 2(13)}{4 - 1}$

$= 125$ mm

$s_{pakai} > s_{min}$ (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan positif tumpuan 4D25

- Kontrol Tulangan Rangkap Tumpuan Negatif

$\rho = \frac{As}{bd}$

$= \frac{6 \times 490{,}87}{600 \times 824{,}5}$

$= 0{,}0059$

$\rho' = \frac{As'}{bd}$

$= \frac{4 \times 490{,}87}{600 \times 824{,}5}$

$= 0{,}0039$

$\rho - \rho' = 0{,}0059 - 0{,}0039$

$= 0{,}0020$

$\rho_{cy} = \frac{0{,}85 f'c\, d'}{d\, f_y} \beta_1 \left(\frac{600}{600 - f_y}\right)$

$= \frac{0{,}85 \times 35 \times 75{,}5}{824{,}5 \times 420} 0{,}8 \left(\frac{600}{600-420}\right)$

$= 0{,}017$

$\rho - \rho' \leq \rho_{cy} \rightarrow$ tulangan tekan belum leleh

$f'_s = 600 \left(\frac{c - d'}{c}\right)$

$A_s f_y = 0{,}85 f'_c\, ab + A'_s (f'_s - 0{,}85 f'_c)$

$a = \frac{A_s f_y - A'_s (f'_s - 0{,}85 f'_c)}{0{,}85 f'_c b}$

$\beta_1 c = \frac{A_s f_y - A'_s (f'_s - 0{,}85 f'_c)}{0{,}85 f'_c b}$

Kedua persamaan di atas diselesaikan dan diperoleh nilai:

$c_1 = 83{,}14$

$c_2 = -74{,}92$

$c_{pakai} = 83{,}14$

$a = \beta_1 c$

$= 0{,}8 \text{ x } 83{,}14$

$= 66{,}51$

$f'_s = 600 \left(\frac{c - d'}{c}\right)$

$= 600 \left(\frac{83{,}14 - 75{,}5}{83{,}14}\right)$

$= 55{,}11$

$M_n = \left(A_s f_y - A'_s f'_y\right) \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s f'_y (d - d')$

$= (2945{,}24 \text{ x } 420 - 1963{,}49 \text{ x } 420) \left(824{,}5 - \frac{66{,}51}{2}\right) +$
$1963{,}49 \text{ x } 420 \, (824{,}5 - 75{,}5)$

$= 97420{,}021 \text{ kgm}$

$\phi M_n = 0{,}9 \, (97420{,}021)$

$= 87678{,}02 \text{ kgm}$

$\phi M_n \geq M_u = 78504{,}08$ (OK)

Kontrol Regangan:

$\varepsilon_t = 0{,}003\frac{d-c}{d}$

$= 0{,}026 > 0{,}005$ (OK)

- Kontrol Tulangan Rangkap Tumpuan Positif

$\rho = \frac{As}{bd}$

$= \frac{4 \times 490{,}87}{600 \times 824{,}5}$

$= 0{,}0039$

$\rho' = \frac{As'}{bd}$

$= \frac{6 \times 490{,}87}{600 \times 824{,}5}$

$= 0{,}0059$

$\rho - \rho' = 0{,}0039 - 0{,}0059$

$= -0{,}0020$

$\rho_{cy} = \frac{0{,}85 f'c\, d'}{d\, f_y}\beta_1\left(\frac{600}{600-f_y}\right)$

$= \frac{0{,}85 \times 35 \times 75{,}5}{824{,}5 \times 420}0{,}8\left(\frac{600}{600-420}\right)$

$= 0{,}017$

$\rho - \rho' \leq \rho_{cy} \rightarrow$ tulangan tekan belum leleh

$f'_s = 600\left(\frac{c-d'}{c}\right)$

$A_s f_y = 0{,}85 f_c' ab + A_s'(f_s' - 0{,}85 f_c')$

$a = \frac{A_s f_y - A_s'(f_s' - 0{,}85 f_c')}{0{,}85 f_c' b}$

$\beta_1 c = \frac{A_s f_y - A_s'(f_s' - 0{,}85 f_c')}{0{,}85 f_c' b}$

Kedua persamaan di atas diselesaikan dan diperoleh nilai:

$c_1 = 71{,}26$

$c_2 = -131{,}12$

$c_{pakai} = 71{,}26$

$a = \beta_1 c$

$= 0{,}8$ x $71{,}26$

$= 57$

$f'_s = 600\left(\frac{c-d'}{c}\right)$

$= 600\left(\frac{71{,}26 - 75{,}5}{71{,}26}\right)$

$= -35{,}73$

$M_n = \left(A_s f_y - A'_s f'_y\right)\left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s f'_y (d - d')$

$= (1963{,}49 \times 420 - 2945{,}24 \times 420)\left(824{,}5 - \frac{66{,}51}{2}\right) +$
$2945{,}24 \times 420\ (824{,}5 - 75{,}5)$

$= 66138{,}02$ kgm

$\phi M_n = 0{,}9\ (66138{,}02)$

$= 59524{,}22$ kgm

$\phi M_n \geq M_u = 57487{,}69$ (OK)

Kontrol Regangan:

$\varepsilon_t = 0{,}003\frac{d-c}{d}$

$= 0{,}031 > 0{,}005$ (OK)

- Tulangan Positif Lapangan

$\phi = 0{,}90$

$Rn = \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

$= \frac{19626{,}02 \times 10^4}{0{,}9 \times 600 \times 824{,}5^2}$

$= 0{,}53$ N/mm^2

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{14{,}12}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14{,}12 \times 0{,}53}{420}}\right)$

$= 0{,}0013 < \rho_{min}$

$\rho_{pakai} = \rho_{min} = 0{,}0035$

$As_{perlu} = \rho_{pakai}$ x b x d

$= 0{,}0035$ x 600 x 824,5

$= 1742{,}07$ mm^2

$n_{pakai} = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{1742,07}{0,25\,\pi\,(25)^2}$

= 4 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$

= 25 mm

$s_{min\ 2}$ = 25 mm

s_{pakai} $= \frac{b - n_{pakai}\,D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{600 - 4(25) - 2(50) - 2(13)}{4 - 1}$

= 125 mm

s_{pakai} > s_{min} (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan positif lapangan 4D25

- Tulangan Negatif Lapangan

ϕ = 0,90

Rn $= \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

$= \frac{19626,02 \times 10^4}{0,9 \times 600 \times 824,5^2}$

= 0,53 N/mm^2

ρ_{perlu} $= \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{14,12}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 0,53}{420}}\right)$

= 0,0013 < ρ_{min}

ρ_{pakai} = ρ_{min} = 0,0035

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,0035 x 600 x 824,5

= 1742,07 mm^2

n $_{pakai}$ $= \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{1742,07}{0,25\,\pi\,(25)^2}$

= 4 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$

$= 25$ mm

$s_{min\ 2} = 25$ mm

$s_{pakai} = \frac{b - n_{pakai}\, D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{600 - 4(25) - 2(50) - 2(13)}{4 - 1}$

$= 125$ mm

$s_{pakai} > s_{min}$ (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan positif negatif 4D25

- Kontrol Tulangan Rangkap Lapangan Positif

$\rho = \frac{As}{bd}$

$= \frac{4 \times 490{,}87}{600 \times 824{,}5}$

$= 0{,}0039$

$\rho' = \frac{As'}{bd}$

$= \frac{4 \times 490{,}87}{600 \times 824{,}5}$

$= 0{,}0039$

$\rho - \rho' = 0{,}0039 - 0{,}0039$

$= 0$

$\rho_{cy} = \frac{0{,}85 f'c\, d'}{d\ f_y} \beta_1 \left(\frac{600}{600 - f_y}\right)$

$= \frac{0{,}85 \times 35 \times 75{,}5}{824{,}5 \times 420} 0{,}8 \left(\frac{600}{600 - 420}\right)$

$= 0{,}017$

$\rho - \rho' \leq \rho_{cy} \rightarrow$ tulangan tekan belum leleh

$f'_s = 600 \left(\frac{c - d'}{c}\right)$

$A_s f_y = 0{,}85 f'_c\ ab + A'_s (f'_s - 0{,}85 f'_c)$

$a = \frac{A_s f_y - A'_s (f'_s - 0{,}85 f'_c)}{0{,}85 f'_c b}$

$\beta_1 c = \frac{A_s f_y - A'_s (f'_s - 0{,}85 f'_c)}{0{,}85 f'_c b}$

Kedua persamaan di atas diselesaikan dan diperoleh nilai:

$c_1 = 69{,}26$

c_2 = -89,92
c_{pakai} = 69,26
a = $\beta_1 c$
= 0,8 x 69,26
= 49,20
f'$_s$ = $600\left(\frac{c-d'}{c}\right)$
= $600\left(\frac{69,26-75,5}{69,26}\right)$
= -54
M_n = $\left(A_s f_y - A'_s f'_y\right)\left(d-\frac{a}{2}\right) + A'_s f'_y (d-d')$
= (1963,49 x 420 – 1963,49 x 420) (824,5$-\frac{49,20}{2}$) +
1963,49 x 420 (824,5 – 75,5)
= 66215,80 kgm
ϕM_n = 0,9 (66215,80)
= 59594,22 kgm
$\phi M_n \geq M_u$ = 19626,02 (OK)
Kontrol Regangan:
ε_t = $0,003\frac{d-c}{d}$
= 0,033 > 0,005 (OK)

- Kontrol Tulangan Rangkap Lapangan Negatif

ρ = $\frac{As}{bd}$
= $\frac{4 \times 490,87}{600 \times 824,5}$
= 0,0039
ρ' = $\frac{As'}{bd}$
= $\frac{4 \times 490,87}{600 \times 824,5}$
= 0,0039
ρ–ρ' = 0,0039 – 0,0039
= 0
ρ_{cy} = $\frac{0,85 f'c\, d'}{d\, f_y}\beta_1\left(\frac{600}{600-f_y}\right)$

$= \frac{0{,}85 \times 35 \times 75{,}5}{824{,}5 \times 420} 0{,}8 \left(\frac{600}{600-420}\right)$

$= 0{,}017$

$\rho - \rho' \leq \rho_{cy} \rightarrow$ tulangan tekan belum leleh

$f'_s = 600 \left(\frac{c-d'}{c}\right)$

$A_s f_y = 0{,}85 f_c' \, ab + A_s'(f_s' - 0{,}85 f_c')$

$a = \frac{A_s f_y - A_s'(f_s' - 0{,}85 f_c')}{0{,}85 f_c' b}$

$\beta_1 c = \frac{A_s f_y - A_s'(f_s' - 0{,}85 f_c')}{0{,}85 f_c' b}$

Kedua persamaan di atas diselesaikan dan diperoleh nilai:

$c_1 = 69{,}26$

$c_2 = -89{,}92$

$c_{pakai} = 69{,}26$

$a = \beta_1 c$

$= 0{,}8 \text{ x } 69{,}26$

$= 49{,}20$

$f'_s = 600 \left(\frac{c-d'}{c}\right)$

$= 600 \left(\frac{69{,}26 - 75{,}5}{69{,}26}\right)$

$= -54$

$M_n = \left(A_s f_y - A_s' f_y'\right)\left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' f_y'(d - d')$

$= (1963{,}49 \text{ x } 420 - 1963{,}49 \text{ x } 420)\ (824{,}5 - \frac{49{,}20}{2}) +$
$1963{,}49 \text{ x } 420\ (824{,}5 - 75{,}5)$

$= 66215{,}80 \text{ kgm}$

$\phi M_n = 0{,}9\ (66215{,}80)$

$= 59594{,}22 \text{ kgm}$

$\phi M_n \geq M_u = 19626{,}02$ (OK)

Kontrol Regangan:

$\varepsilon_t = 0{,}003 \frac{d-c}{d}$

$= 0{,}033 > 0{,}005$ (OK)

- Kontrol Balok T Lapangan

  b_{e1} $= \frac{l}{4}$

  $= \frac{8400}{4}$

  $= 2100$ mm

  b_{e2} $= b_w + 2(8h_f)$

  $= 600 + 2(8 \text{ x } 150)$

  $= 3000$ mm

  b_{e3} $=$ *total transverse span*

  $= 3400$ mm

  be_{pakai} $= 2100$ mm

  a $= \frac{A_s f_y}{0{,}85 f_c' b}$

  $= 13{,}20$ mm

  t_f $= 150$ mm

  a $\leq t_f \rightarrow$ balok tidak bekerja sebagai balok T

  Mn $= A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$

  $= 4 \text{ x } 490{,}87 \text{ x } 420 \left(824{,}5 - \frac{13{,}20}{2}\right)$

  $= 67449{,}60$ kgm

  ϕM_n $= 0{,}9\ (67449{,}60)$

  $= 60704{,}62$ kgm

  ϕM_n $\geq M_u = 19626{,}02$ kgm (OK)

  Kontrol Regangan:

  c $= \frac{a}{\beta_1}$

  $= \frac{13{,}20}{0{,}8}$

  $= 16{,}50$

  ε_t $= 0{,}003 \frac{d-c}{d}$

  $= 0{,}146 > 0{,}005$ (OK)

- Kontrol Balok T Tumpuan

  b_{e1} $= \frac{l}{4}$

$= \frac{8400}{4}$

$= 2100$ mm

b_{e2} $= b_w + 2(8h_f)$

$= 600 + 2(8 \times 150)$

$= 3000$ mm

b_{e3} = *total transverse span*

$= 3400$ mm

be_{pakai} $= 2100$ mm

a $= \frac{A_s f_y}{0{,}85 f_c' b}$

$= 13{,}20$ mm

t_f $= 150$ mm

a $\leq t_f \rightarrow$ balok tidak bekerja sebagai balok T

Mn $= A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$

$= 4 \times 490{,}87 \times 420 \left(824{,}5 - \frac{13{,}20}{2}\right)$

$= 67449{,}60$ kgm

ϕM_n $= 0{,}9\ (67449{,}60)$

$= 60704{,}62$ kgm

ϕM_n $\geq M_u = 57487{,}69$ kgm (OK)

Kontrol Regangan:

c $= \frac{a}{\beta_1}$

$= \frac{13{,}20}{0{,}8}$

$= 16{,}50$

ε_t $= 0{,}003 \frac{d-c}{d}$

$= 0{,}146 > 0{,}005$ (OK)

- Tulangan Geser

  Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.1, dalam perencanaan tulangan geser perlu ditinjau gaya-gaya maksimum akibat adanya tulangan yang terpasang pada muka-muka balok atau pada daerah tumpuan (M_{pr}). Nilai

dari gaya-gaya maksimum didapatkan melalui persamaan berikut:

$M_{pr} = 1.25\ A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$

$a = \frac{1.25\ A_s f_y}{0{,}85 f_c' b}$

Sehingga didapatkan nilai M_{pr} pada balok induk seperti yang disajikan pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Rekapitulasi Perhitungan M_{pr} Balok Induk

Lokasi			As (mm²)	a (mm)	Mpr (kNm)
Tumpuan	Kiri	-	2945.24	86.63	1207.91
	Kanan	+	1963.50	57.75	820.16
	Kiri	+	1963.50	57.75	820.16
	Kanan	-	2945.24	86.63	1207.91

M_{pr1} = 1207,91 kNm
M_{pr2} = 820,16 kNm
L_n = 7,3 m
W_u = 48,08 kN/m

$V_{e1,2} = \frac{M_{pr1}+M_{pr2}}{L_n} \pm \frac{W_u \times L_n}{2}$

$= \frac{1207{,}91+820{,}16}{7{,}3} \pm \frac{48{,}08 \times 7{,}3}{2}$

V_{e1} = 453,314 kN
V_{e2} = 102,322 kN
$V_{e\ pakai}$ = 453,314 kN

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2.5, tulangan transversal harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan Vc = 0 apabila kedua persyaratan berikut terpenuhi:

1. $M_{pr} = \frac{M_{pr1}+M_{pr2}}{L_n} \geq 0{,}5\ V_{e\ pakai}$

   $M_{pr} = \frac{1207{,}91+820{,}16}{7{,}3} \geq 0{,}5 \times 453{,}314$

M_{pr} = 277,818 kNm ≥ 266,657 kNm

2. P_u $\leq \frac{1}{20} A_g f_c'$

Karena nilai P_u pada balok sangat kecil, maka syarat kedua dapat diabaikan, sedangkan karena syarat 1 terpenuhi maka nilai Vc beton dapat diabaikan.

V_e = 453314 N

V_c = 0,17√f'c bd

= 497536,4 N

ϕV_c = 373152,3 N

$0{,}5\phi V_c$ = 186576,15 N

$V_{s\ min}$ = 0,017√f'c bd

= 182917,8 N

$\phi(V_c+V_{s\ min})$ = 510340,6 N

V'_s = 0,35√f'c bd

= 975561,5 N

$\phi V'_s$ = 731671,2 N

$\phi(V_c+V'_s)$ = 1104823,5 N

Syarat:

Kondisi 1

$V_u \leq 0{,}5\phi V_c \rightarrow$ tidak memenuhi

Kondisi 2:

$0{,}5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ tidak memenuhi

Kondisi 3:

$\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c+V_{s\ min}) \rightarrow$ memenuhi

Oleh karena kondisi 3 persyaratan tulangan geser terpenuhi, maka diperlukan tulangan geser dalam perencanaan balok induk ini.

$s_{max\ 1}$ = $\frac{d}{2}$

= $\frac{824{,}5}{2}$

= 412,25 mm

$s_{max\ 2}$ = 6 $D_{longitudinal}$

= 150 mm

$s_{max\ 3}$ = 600 mm
$s_{max\ pakai}$ = 150 mm
$D_{sengkang}$ = 13 mm
$fy_{sengkang}$ = 420 MPa
$n_{sengkang}$ = 2 kaki
$Av_{min\ 1}$ = $0{,}062\sqrt{f'c}\frac{bs}{fy}$
= 78,59 mm^2
$Av_{min\ 2}$ = $0{,}35\frac{bs}{fy}$
= 75 mm^2
Av_{pakai} = 2 x 0,25 π $d_{sengkang}^2$
= 2 x 0,25 π 13^2
= 265,5 mm^2 > Av_{min} (OK)
V_u = 453314 N
$V_{s\ perlu}$ = V_u / ϕ
= 604419,2 N
s = $\frac{Av\ fy\ d}{V_{s\ perlu}}$
= $\frac{265{,}5 \times 420 \times 824{,}5}{604419{,}2}$
= 152 mm
s_{pakai} = 150 ≤ s_{max} (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan geser tumpuan D13–150 mm sepanjang daerah plastis (l_o = 2050 mm) dengan sengkang pertama dipasang 50 mm dari tumpuan.

$V_{u\ lapangan}$ = V_u – W_u x l_o
= 453314 – 48080 x 2,05
= 354747,9 N
V_c = 0,17√f'c bd
= 497536,4 N
ϕV_c = 373152,3 N
0,5ϕV_c = 186576,15 N

$V_{s\ min}$ = 0,017√f'c bd
= 182917,8 N
$\phi(V_c+V_{s\ min})$ = 510340,6 N
Syarat:
Kondisi 1
$V_u \leq 0{,}5\phi V_c \rightarrow$ tidak memenuhi
Kondisi 2:
$0{,}5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ memenuhi

Oleh karena kondisi 2 persyaratan tulangan geser terpenuhi, maka digunakan tulangan geser minimum pada perencanaan balok induk ini.

s $= \frac{Av\ fy\ d}{V_{s\ min}}$
$= \frac{265{,}5 \times 420 \times 824{,}5}{182917{,}8}$
= 502 mm
s_{pakai} = 300 mm

∴ Maka, digunakan tulangan geser lapangan D13–300 mm di luar daerah plastis.

- Tulangan Torsi

T_u = 147,07 kNm (Hasil ETABS)
V_u = 297,89 kN (Hasil ETABS)
A_{cp} = 600 x 900
= 540000 mm^2
P_{cp} = 2(600 + 900)
= 3000 mm

Perencanaan tulangan torsi berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.7.4.1 yaitu pengaruh torsi dapat diabaikan jika momen torsi terfaktor T_u kurang dari ϕT_{cr} dengan perhitungan sebagai berikut:

$T_u \leq \phi T_{cr}$

$T_{cr} = 0{,}33\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{{A_{cp}}^2}{P_{cp}}\right)$

$= 0{,}33(1)\sqrt{35}\left(\frac{540000^2}{3000}\right)$

$= 189{,}76$ kNm

ϕT_{cr} $= 0{,}75\ (189{,}76)$

$= 142{,}32$ kNm

ϕT_{cr} $\leq Tu = 147{,}07$ kNm $\rightarrow$ perlu tulangan torsi

x_1 $= b - 2$ *clear cover* - $D_{sengkang}$

$= 600 - 2(50) - 13$

$= 487$ mm

y_1 $= h - 2$ *clear cover* - $D_{sengkang}$

$= 900 - 2(50) - 13$

$= 787$ mm

A_{oh} $= x_1\ y_1$

$= 487$ x 787

$= 383269$ mm^2

A_o $= 0{,}85\ A_{oh}$

$= 325778{,}65$ mm^2

P_h $= 2(x_1 + y_1)$

$= 2(487 + 787)$

$= 2548$ mm

θ $= 45^o$

$\cot \theta$ $= 1$

Cek Penampang Balok:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{bd}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7{A_{oh}}^2}\right)} \leq \phi\left(\frac{V_c}{bd} + 0{,}66\sqrt{f_c'}\right)$$

$\sqrt{\left(\frac{297{,}89\times10^3}{600(824{,}5)}\right)^2 + \left(\frac{147{,}07\times10^6\times2548}{1{,}7(383269)^2}\right)}$ $= 1{,}62$

$0{,}75\left(\frac{497536{,}4}{600(824{,}5)} + 0{,}66\sqrt{35}\right)$ $= 3{,}68$

$1{,}62 \leq 3{,}68 \rightarrow$ penampang cukup menahan torsi

Tulangan Geser:

T_n $= \frac{T_u}{\phi}$

$= 196{,}1$ kNm

$\frac{A_t}{s}$ $= \frac{T_n}{2A_o\, f_{yt}\, cot\, \theta}$

$= \frac{196{,}1 \times 10^6}{2 \times 383269 \times 420 \times 1}$

$= 0{,}716$ mm^2/mm/*one leg*

V_s $= V_n - V_c$

$= 397195{,}47 - 497536{,}4$

$= -100340{,}9 \rightarrow$ tidak perlu sengkang untuk torsi

Tulangan Longitudinal:

A_l $= \frac{A_t}{s} P_h \frac{f_{yt}}{f_y} cot^2\theta$

$= 1825{,}92$ mm^2

$A_{l\,min}$ $= \frac{0{,}42\sqrt{f_c'} A_{cp}}{f_y} - \frac{A_t}{s} P_h \frac{f_{yt}}{f_y}$

$= 1368{,}75$ mm^2

$A_{l\,min}$ $\leq A_l$ (OK)

$\frac{A_t}{s}_{\,min}$ $= 0{,}175\frac{b}{f_{yt}}$

$= 0{,}25$ mm^2/mm/*one leg*

$\frac{A_t}{s}_{\,min}$ $\leq \frac{A_t}{s}$ (OK)

Tulangan longitudinal untuk torsi dibagi menjadi 4 bagian, 25% didistribusikan ke atas, 25% didistribusikan ke bawah, dan 50% didistribusikan merata ke kiri dan ke kanan. Hasil dari kebutuhan luas tulangan longitudinal torsi akan digabung dengan kebutuhan luas tulangan lentur yang dihitung sebelumnya dan akan disajikan pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Rekapitulasi Penambahan Tulangan Torsi

Keterangan		As lentur	As Torsi	As butuh total	As Tersedia	As perlu	Tambahan Tulangan
Tulangan Lapangan	Atas	1742.1	456.5	2198.6	1963.5	235.1	1
	Samping	0.0	913.0	913.0	0.0	913.0	2
	Bawah	1742.1	456.5	2198.6	1963.5	235.1	1
Tulangan Tumpuan	Atas	2616.6	456.5	3073.1	2945.2	127.8	1
	Samping	0.0	913.0	913.0	0.0	913.0	2
	Bawah	1895.8	456.5	2352.3	1963.5	388.8	1

- Sebelum Komposit

$\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05 \frac{f'c-28}{7} = 0{,}85 - 0{,}05 \frac{35-28}{7}$

$= 0{,}83$

$\rho_{min1} = 0{,}25 \frac{\sqrt{f'c}}{420}$

$= 0{,}25 \frac{\sqrt{30}}{420}$

$= 0{,}0033$

$\rho_{min2} = \frac{1{,}4}{fy}$

$= \frac{1{,}4}{420}$

$= 0{,}0033$

$m = \frac{fy}{0{,}85\, f'c}$

$= \frac{420}{0{,}85\ (30)}$

$= 16{,}47$

$d = h_{balok} - \textit{clear cover} - D_{sengkang} - 0{,}5D_{tulangan}$

$= 750 - 50 - 13 - 0{,}5(25)$

$= 674{,}5$ mm

Momen yang terjadi pada balok induk sebelum komposit dihitung dengan anggapan bahwa tumpuan pada balok induk merupakan tumpuan sederhana, sehingga momen pada tumpuan dianggap tidak ada.

$M_{tumpuan} = 0$ kgm

$M_{lapangan} = \frac{1}{8} q_u l^2$

$= \frac{1}{8}(3266{,}8)6{,}988^2$
$= 19940{,}36$ kgm

V_u $= \frac{1}{2} q_u l$
$= \frac{1}{2}(3266{,}8)6{,}988$
$= 11414{,}06$ kg

- Tulangan Negatif Tumpuan

ρ_{pakai} $= \rho_{min}$
$= 0{,}0033$

As_{perlu} $= \rho_{pakai}$ x b x d
$= 0{,}0033$ x 600 x 674,5
$= 1349$ mm^2

n pakai $= \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$
$= \frac{1349}{0{,}25\ \pi\ (25)^2}$
$= 3$ buah

$s_{min\ 1}$ $= D_{tulangan}$
$= 25$ mm

$s_{min\ 2}$ $= 25$ mm

s_{pakai} $= \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$
$= \frac{600 - 3(25) - 2(50) - 2(13)}{3 - 1}$
$= 200$ mm

s_{pakai} $> s_{min}$ (OK)

$\therefore$ Maka, digunakan tulangan negatif tumpuan 3D25

- Tulangan Positif Tumpuan

ρ_{pakai} $= \rho_{min}$
$= 0{,}0033$

As_{perlu} $= \rho_{pakai}$ x b x d
$= 0{,}0033$ x 600 x 674,5
$= 1349$ mm^2

$n_{pakai} = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{1349}{0{,}25\ \pi\ (25)^2}$

= 3 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$

= 25 mm

$s_{min\ 2}$ = 25 mm

$s_{pakai} = \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{600 - 3(25) - 2(50) - 2(13)}{3 - 1}$

= 200 mm

s_{pakai} > s_{min} (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan positif tumpuan 3D25

- Tulangan Positif Lapangan

ϕ = 0,90

$Rn = \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

$= \frac{19940{,}36 \times 10^4}{0{,}9 \times 600 \times 674{,}5^2}$

= 0,81 N/mm^2

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{16{,}47}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16{,}47 \times 0{,}81}{420}}\right)$

= 0,0019 < ρ_{min}

ρ_{pakai} = 0,0033

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,0033 x 600 x 674,5

= 1349 mm^2

$n_{pakai} = \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{1349}{0{,}25\ \pi\ (25)^2}$

= 3 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$
= 25 mm
$s_{min\ 2}$ = 25 mm
s_{pakai} = $\frac{b - n_{pakai}\, D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$
= $\frac{600 - 3(25) - 2(50) - 2(13)}{3 - 1}$
= 200 mm
s_{pakai} > s_{min} (OK)

Kontrol Regangan:

a = $\frac{As\ fy}{0{,}85\ f'c\ b}$
= 34,65 mm
c = $\frac{a}{\beta_1}$
= $\frac{34{,}65}{0{,}80}$
= 43,31 mm
ε_t = 0,003 $\frac{d-c}{d}$
= 0,044 > 0,005 (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan positif lapangan 3D25

- Tulangan Negatif Lapangan

M_u = 0,5 $M_{u\ positif\ lapangan}$
= 9970,18
ϕ = 0,90
Rn = $\frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$
= $\frac{9970{,}18 \times 10^4}{0{,}9 \times 600 \times 674{,}5^2}$
= 0,41 N/mm^2
ρ_{perlu} = $\frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$
= $\frac{1}{16{,}47}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16{,}47 \times 0{,}41}{420}}\right)$
= 0,00097 < ρ_{min}

ρ_{pakai} = 0,0033

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,0033 x 600 x 674,5

= 1349 mm^2

n_{pakai} = $\frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

= $\frac{1349}{0{,}25\,\pi\,(25)^2}$

= 3 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$

= 25 mm

$s_{min\ 2}$ = 25 mm

s_{pakai} = $\frac{b - n_{pakai}\,D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

= $\frac{600 - 3(25) - 2(50) - 2(13)}{3 - 1}$

= 200 mm

s_{pakai} > s_{min} (OK)

Kontrol Regangan:

a = $\frac{As\ fy}{0{,}85\ f'c\ b}$

= 34,65 mm

c = $\frac{a}{\beta_1}$

= $\frac{34{,}65}{0{,}80}$

= 43,31 mm

ε_t = 0,003 $\frac{d-c}{d}$

= 0,044 > 0,005 (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan negatif lapangan 3D25

- Tulangan Geser

V_u = 114140,6 N

V_c = 0,17√f'c bd

= 376827,6 N

ϕV_c = 282620,7 N

$0{,}5\phi V_c$ = 141310,4 N
$V_{s\,min}$ = $0{,}017\sqrt{f'c}\,bd$
= 138539,6 N
$\phi(V_c+V_{s\,min})$ = 386526,41 N
Syarat:

Kondisi 1

$V_u \leq 0{,}5\phi V_c \rightarrow$ memenuhi

Oleh karena kondisi 1 persyaratan tulangan geser terpenuhi, maka digunakan tulangan geser minimum pada perencanaan balok induk ini.

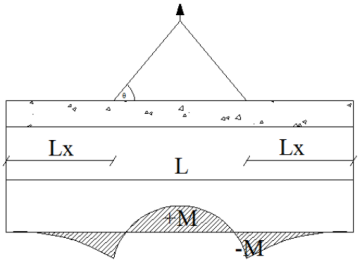
$s = \frac{Av\ fy\ d}{V_{s\,min}}$
$= \frac{265{,}5 \times 420 \times 674{,}5}{149639}$
= 502 mm
s_{pakai} = 300 mm

∴ Maka, digunakan tulangan geser tumpuan D13–150 mm dan tulangan geser lapangan D13–300 mm.

- Saat Pengangkatan

d = h_{balok} – *clear cover* – $D_{sengkang}$ – $0{,}5D_{tulangan}$
= 750 – 50 – 13 – 0,5(25)
= 674,5 mm

Pada saat pengangkatan direncanakan 2 titik angkat dengan lokasi titik pengangkatan berada pada daerah tumpuan. Rencana pengangkatan balok induk diilustrasikan pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Titik Angkat Balok Anak

+M $= \frac{WL^2}{8}\left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L\,tan\theta}\right)$

-M $= \frac{WX^2L^2}{8}$

$y_t = \frac{h}{2}$

$= \frac{75}{2}$

= 37,5 cm

$I_{balok} = \frac{1}{12}bh^3$

$= \frac{1}{12}60(75)^3$

= 2109375 cm^4

$y_c = y_t + 5$

= 37,5 + 5

= 42,5 cm

Balok direncanakan diangkat dengan sudut 45°

θ = 45°

L = 6,988 m

$X = \frac{1+\frac{4y_c}{Ltan\theta}}{2\left(1+\sqrt{1+\frac{y_t}{y_b}\left(1+\frac{4y_c}{Ltan\theta}\right)}\right)}$

= 0,248 m

LX = 6,988 (0,248)

= 1,75 m

W = 1512 kg/m

+M = 2286,66 kgm
-M = 2286,66 kgm

- Tulangan Negatif Tumpuan

Karena pada saat pengangkatan momen yang terjadi sangat kecil, maka untuk menentukan luasan tulangan yang di[erlukan dapat langsung menggunakan nilai ρ_{min}.

ρ_{pakai} $= \rho_{min}$
$= 0{,}0033$

As_{perlu} $= \rho_{pakai}$ x b x d
$= 0{,}0033$ x 600 x 674,5
$= 1349$ mm^2

n pakai $= \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$
$= \frac{1349}{0{,}25\ \pi\ (25)^2}$
$= 3$ buah

$s_{min\ 1}$ $= D_{tulangan}$
$= 25$ mm

$s_{min\ 2}$ $= 25$ mm

s_{pakai} $= \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$
$= \frac{600 - 3(25) - 2(50) - 2(13)}{3 - 1}$
$= 200$ mm

s_{pakai} $> s_{min}$ (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan negatif tumpuan 3D25

- Tulangan Positif Tumpuan

ρ_{pakai} $= \rho_{min}$
$= 0{,}0033$

As_{perlu} $= \rho_{pakai}$ x b x d
$= 0{,}0033$ x 600 x 674,5
$= 1349$ mm^2

n pakai $= \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{1349}{0{,}25\ \pi\ (25)^2}$

= 3 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$

= 25 mm

$s_{min\ 2}$ = 25 mm

$s_{pakai} = \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{600 - 3(25) - 2(50) - 2(13)}{3 - 1}$

= 200 mm

s_{pakai} > s_{min} (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan positif tumpuan 3D25

- Tulangan Positif Lapangan

Karena pada saat pengangkatan momen yang terjadi sangat kecil, maka untuk menentukan luasan tulangan yang di[erlukan dapat langsung menggunakan nilai ρ_{min}.

ρ_{pakai} = ρ_{min}

= 0,0033

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,0033 x 600 x 674,5

= 1349 mm^2

n $_{pakai}$ $= \frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$

$= \frac{1349}{0{,}25\ \pi\ (25)^2}$

= 3 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$

= 25 mm

$s_{min\ 2}$ = 25 mm

$s_{pakai} = \frac{b - n_{pakai}\ D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$

$= \frac{600 - 3(25) - 2(50) - 2(13)}{3 - 1}$

= 200 mm

s_{pakai} > s_{min} (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan positif lapangan 3D25

- Tulangan Negatif Lapangan

ρ_{pakai} = ρ_{min}
= 0,0033

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d
= 0,0033 x 600 x 674,5
= 1349 mm^2

n_{pakai} = $\frac{As_{perlu}}{As_{tulangan}}$
= $\frac{1349}{0{,}25\,\pi\,(25)^2}$
= 3 buah

$s_{min\ 1}$ = $D_{tulangan}$
= 25 mm

$s_{min\ 2}$ = 25 mm

s_{pakai} = $\frac{b - n_{pakai}\,D_{tulangan} - 2\ clear\ cover - 2\emptyset_{sengkang}}{n_{pakai} - 1}$
= $\frac{600 - 3(25) - 2(50) - 2(13)}{3 - 1}$
= 200 mm

s_{pakai} > s_{min} (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan negatif lapangan 3D25

4.4.2.4. Pengangkatan Balok Induk

Sebelum melakukan instalasi balok induk, balok induk terlebih dahulu mengalami proses pengangkatan menuju titik lokasi pemasangan. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan tulangan angkat untuk balok induk. Untuk pengangkatan balok induk pada tugas akhir ini direncanakan menggunakan dua titik angkat tanpa bantuan *spreader beam.*

- Perhitungan Tulangan Angkat

Faktor Kejut (K) = 1,2

DL = $h_{pracetak}$ x $b_{pracetak}$ x L x γ_{beton}
= 0,75 x 0,6 x 6,988 x 2400

= 7547,04 kg

q = K x 1,4DL
= 1,2 x 1,4(7547,04)
= 12679,03 kg

Gaya Angkat (Tu):

Tu $= \frac{q}{2\cos(45)}$
$= \frac{12679,03}{2\cos(45)}$
= 8965,43 kg
= 89,65 kN

- Kontrol Tegangan

$\sigma_{balok} < \sigma_{ijin}$

$\sigma_{ijin} = \frac{0.7\sqrt{f_c'}}{SF}$
$= \frac{0.7\sqrt{25}}{1.5}$
= 2,33 MPa

Z $= \frac{1}{6} b\left(h_{pracetak}\right)^2$
$= \frac{1}{6} 60(75)^2$
= 56250 cm^3

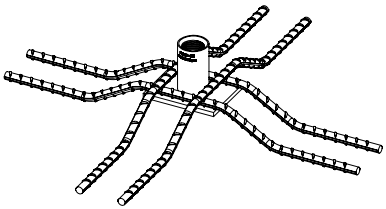
$\sigma_{balok} = \frac{M_u}{Z}$
$= \frac{2309,718 \times 10^4}{56250 \times 10^3}$
= 0,41 MPa

$\sigma_{balok} < \sigma_{ijin}$ (OK)

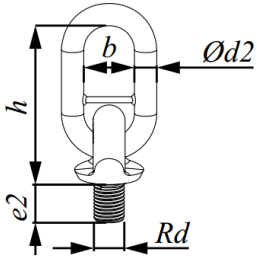
- Pemilihan Profil Tulangan Angkat

Tulangan angkat yang digunakan adalah jenis Jenka Lifting System dari Peikko Group. Tipe yang digunakan adalah Jenka PSA Short Insert dengan kait JL seperti pada Gambar 4.27 dan Gambar 4.28. Disetiap titik angkat, profil ini dapat mengangkat beban sebesar 5 – 125 kN dengan

sudut 0° - 45°. Untuk BA 1, profil tulangan angkat yang digunakan adalah tipe JRd/JM 52.



Gambar 4.27 Jenka PSA Short Inserts



Gambar 4.28 Kait JL

4.4.2.5. Rekapitulasi Tulangan Balok Induk

Rekapitulasi perencanaan tulangan balok induk akan disajikan dalam Tabel 4.31 berikut.

Tabel 4.31 Rekapitulasi Tulangan Balok Induk

Tipe Balok	BI 1		BI 2		BI 3	
Tulangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Dimensi	600 mm x 900 mm		600 mm x 900 mm		800 mm x 1200 mm	
Bentang	8.4 m		7.2 m		6.2 m	
Decking	50 mm		50 mm		50 mm	
Atas	7D25	5D25	8D25	5D25	18D25	10D25
Tengah	2D25	2D25	2D25	2D25	6D25	6D25
Bawah	5D25	5D25	6D25	4D25	14D25	12D25
Sengkang	2D13-150 mm	2D13-300 mm	2D13-100 mm	2D13-325 mm	2D13-50 mm	2D13-100 mm
Tu (kN)	89.65		76.18		118.26	
Tipe JRd/M	JRd/JM 52		JRd/JM 52		JRd/JM 52	

Tipe Balok	BI 4		BI 5		BI 6	
Tulangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Dimensi	800 mm x 1200 mm		800 mm x 1200 mm		800 mm x 1200 mm	
Bentang	5.3 m		5.4 m		8.4 m	
Decking	50 mm		50 mm		50 mm	
Atas	17D25	9D25	9D25	9D25	14D25	12D25
Tengah	5D25	5D25	5D25	5D25	10D25	10D25
Bawah	14D25	11D25	9D25	11D25	13D25	15D25
Sengkang	2D13-50 mm	2D13-100 mm	2D13-75 mm	2D13-350 mm	2D13-50 mm	2D13-250 mm
Tu (kN)	96.71		99.10		170.95	
Tipe JRd/M	JRd/JM 52		JRd/JM 52		JRd/JM 52	

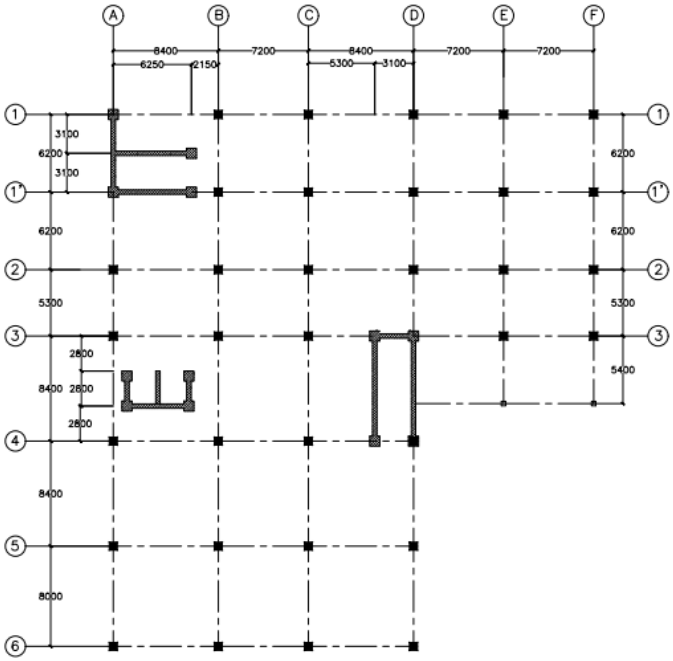
Tipe Balok	BI 7	
Tulangan	Tumpuan	Lapangan
Dimensi	800 mm x 1200 mm	
Bentang	8 m	
Decking	50 mm	
Atas	10D25	9D25
Tengah	4D25	4D25
Bawah	9D25	11D25
Sengkang	2D13-75 mm	2D13-475 mm
Tu (kN)	161.37	
Tipe JRd/M	JRd/JM 52	

4.4.3. Perencanaan Kolom

Kolom adalah struktur primer pada suatu gedung yang berfungsi sebagai pemikul seluruh beban struktur seperti struktur sekunder dan balok induk untuk kemudian diteruskan pada pondasi. Pada tugas akhir ini akan direncanakan kolom berdasarkan denah pada Gambar 4.29 yang terbagi menjadi 5 tipe, di antaranya adalah:

- K1 dengan dimensi 95x95 cm dan tinggi 4 meter
- K2 dengan dimensi 100x100 cm dan tinggi 4 meter
- K3 dengan dimensi 105x105 cm dan tinggi 4 meter

- K4 dengan dimensi 110x110 cm dan tinggi 4 meter
- K5 dengan dimensi 110x110 cm dan tinggi 3,2 meter



Gambar 4.29 Denah Kolom

Pada subbab ini akan diberikan contoh perhitungan untuk K5.

4.4.3.1. Data Perencanaan Kolom

Data perencanaan untuk kolom tipe K1 adalah sebagai berikut:

- Dimensi Kolom : 110x110 cm
- f'c : 40 MPa
- fy : 420 MPa

- Tinggi Lantai : 3,2 m
- Tulangan Longitudinal : 32 mm
- Tulangan Transversal : 16 mm
- *Clear Cover* : 50 mm

Data lain yang didapatkan dari program bantu ETABS 2016 untuk perhitungan kolom K5 adalah sebagai berikut:

- P_u : 18339,66 kN
- V_{ux} : 614,33 kN
- V_{uy} : 478,90 kN
- M_{ux} : 1708,42 kNm
- M_{uy} : 1267,84 kNm
- T_u : 76,80 kNm

4.4.3.2. Perhitungan Tulangan Kolom

- Kontrol Dimensi Kolom

  Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1, jika komponen struktur SRPMK menahan gaya tekan aksial terfaktor akibat sembarang kombinasi memiliki nilai lebih dari $\frac{A_g f_c'}{10}$, maka elemen struktur ini harus memenuhi 2 syarat yang terdapat pada pasal tersebut.

  $P_u \geq \frac{A_g f_c'}{10}$

  $18339{,}66 \text{ kN} \geq \frac{1100 \times 1100 \times 40}{10}$

  $18339{,}66 \text{ kN} \geq 4940 \text{ kN}$

  Maka, kolom harus memenuhi kedua syarat berikut:

  Syarat 1:

  Dimensi penampang terpendek ≥ 300 mm

  1100 mm ≥ 300 mm (OK)

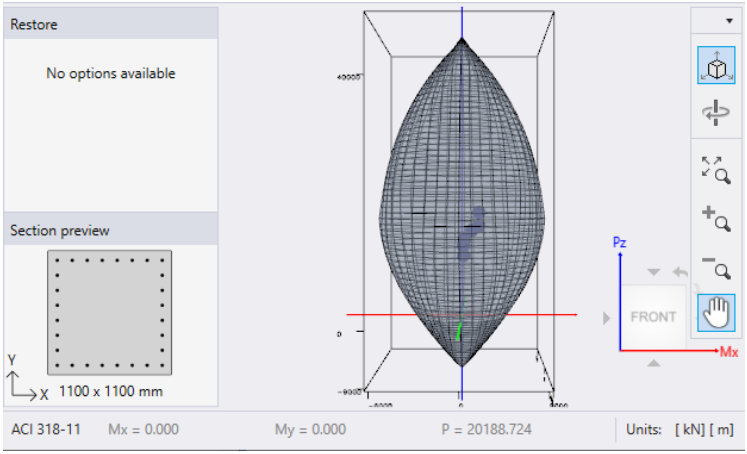
  Syarat 2:

  Rasio dimensi penampang ≥ 0,4

  $\frac{1100}{1100} = 1 \geq 0{,}4$ (OK)

- Penulangan Longitudinal Kolom

Perencanaan tulangan longitudinal kolom dilakukan dengan meng-*input* beban-beban aksial dan momen yang terjadi pada kolom akibat setiap kombinasi pada program bantu spColumn beserta dimensi kolom dan desain konfigurasi tulangannya. Kemudian melalui diagram interaksi yang dihasilkan program tersebut dapat dievaluasi apakah desain kolom dapat mengakomodir beban-beban yang terjadi. Diagram interaksi untuk K5 dapat dilihat pada Gambar 4.30 dimana koordinat setiap kombinasi pembebanan berada di dalam area kapasitas kolom, sehingga desain dapat digunakan.



Gambar 4.30 Diagram Interaksi Beban Aksial dan Momen pada K5

Jumlah tulangan yang digunakan untuk K5 dalah 28D32. Kemudian dari program bantu spColumn juga didapatkan pula momen nominal masing-masing pada sumbu x dan y sebagai berikut:

Sumbu x:	Sumbu y:
$\phi M_{nx} \geq M_{ux}$	$\phi M_{ny} \geq M_{uy}$
$0{,}9(7218{,}923) \geq 1708{,}42$	$0{,}9(7218{,}923) \geq 1267{,}84$

$6497{,}03 \geq 1708{,}42$ (OK) $6497{,}03 \geq 1267{,}84$ (OK)

- Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal Kolom

  Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1, luas tulangan longitudinal (A_{st}) tidak boleh kurang dari $0{,}01A_g$ atau lebih dari $0{,}06A_g$.

  $A_{st} = n \times A_s$
  $= 56 \times 0{,}25\pi(32)^2$
  $= 45047{,}87\ mm^2$
  $A_g = 1100 \times 1100$
  $= 1210000\ mm^2$
  $0{,}01A_g = 12100\ mm^2$
  $0{,}06A_g = 72600\ mm^2$
  $0{,}01A_g \leq A_{st} \leq 0{,}06A_g$ (OK)

- Integritas Struktur

  Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 16.2.4.3, kolom pracetak harus mempunyai kekuatan nominal dalam kondisi tarik sebesar:

  $A_s fy \geq 1{,}4A_g$
  $9.457.953\ N \geq 1.694.000\ N$ (OK)

- Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom Terhadap Beban Aksial Terfaktor

  Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.4.2.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor dari hasil analisa struktur

  $P_n \leq P_{n\,max}$
  $P_u \leq \phi\ 0{,}8\ P_o$
  $\phi = 0{,}65$
  $P_o = 0{,}85\ f'c\ (A_g - A_{st}) + fy\ A_{st}$
  $= 49832309{,}35\ N$
  $= 49832{,}31\ kN$
  $P_u \leq 0{,}65\ (0{,}8)\ (49832{,}31)$
  $18339{,}66\ kN \leq 25912{,}8\ kN$ (OK)

- Persyaratan *Strong Column Weak Beam*

  Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, SNI 2847:2019pasal 18.7.3.2 mensyaratkan bahwa:
  $\Sigma M_{nc} \geq 1{,}2\ \Sigma M_{nb.}$

  M_{nc} merupakan nilai momen kapasitas kolom yang didapatkan dari program bantu spColumn, sedangkan M_{nb} merupakan nilai momen kapasitas balok yang telah dihitung pada subbab 4.4.2.3 sesuai dengan tulangan terpasang yang ada pada balok induk.

  Pada K5, posisi kritis kolom terjadi ketika kolom menahan BI 2 dan BI 4 di sumbu x. Sedangkan pada sumbu y kolom menahan BI 3 dan BI 4. Persyaratan *strong column weak beam* harus dipenuhi pada kedua sumbu, baik sumbu x dan sumbu y.

  1. Sumbu x

     M_{ncx} = 6497,03 kNm
     $M_{n\ BI\ 2}$ = 1139,89 kNm
     $M_{n\ BI\ 4}$ = 1990,07 kNm
     $\Sigma M_{nc} \geq 1{,}2\ \Sigma M_{nb.}$
     2 (6497,03) $\geq$ 1,2 (1139,89 + 1990,07)
     12994,06 kNm $\geq$ 3755,95 kNm (OK)

  2. Sumbu y

     M_{ncy} = 6497,03 kNm
     $M_{n\ BI\ 3}$ = 1965,96 kNm
     $M_{n\ BI\ 4}$ = 1990,07 kNm
     $\Sigma M_{nc} \geq 1{,}2\ \Sigma M_{nb.}$
     2 (6497,03) $\geq$ 1,2 (1965,96 + 1990,07)
     12994,06 kNm $\geq$ 4745,24 kNm (OK)

- Kontrol Gaya Tekan Terhadap Gaya Geser Desain

  Gaya geser desain (V_e) didapatkan dari program bantu spColumn dengan menggunakan fs = 1,25 fy.

  1. Sumbu x

     fs = 525 MPa

L_u = 3,2 – 1,2 = 2 m
M_{prx} = 6390,261 kNm
V_{ex} = $\frac{2M_{prx}}{L_u}$
= $\frac{2(6390,261)}{2}$
= 6390,261 kN
V_{ex} ≥ V_{ux} = 614,33 kN (OK)

2. Sumbu y
fs = 525 MPa
L_u = 3,2 – 1,2 = 2 m
M_{pry} = 6390,261 kNm
V_{ey} = $\frac{2M_{pry}}{L_u}$
= $\frac{2(6390,261)}{2}$
= 6390,261 kN
V_{ey} ≥ V_{uy} = 478,90 kN (OK)

- Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.1, tulangan transversal harus disediakan sepanjang l_0 dari muka *joint* dengan nilai l_o yang terbesar dari:

$l_{o\,1}$ = dimensi kolom
= 1100 mm
$l_{o\,2}$ = $^1/_6$ L_u
= 333,3 mm
$l_{o\,pakai}$ = 1100 mm

Kemudian berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3, spasi yang digunakan untuk tulangan geser tidak boleh melebihi dari nilai-nilai berikut ini:

$s_{max\,1}$ = $^1/_4$ dimensi kolom
= $^1/_4$ (1100)
= 275 mm
$s_{max\,2}$ = $6D_{longitudinal}$

$= 6\ (32)$

$= 132$ mm

$100 \leq s_{max\ 3} \leq 150$ mm

$s_{pakai} = 50$ mm

Jumlah minimum untuk tulangan transversal ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4 sebagai berikut:

$b_{c\ 1}$ = jarak terjauh antar tulangan longitudinal

$= 1100 - 2(50) - 2(16) - 32$

$= 936$ mm

$b_{c\ 2} = b_{c\ 1}$

$= 936$ mm

$A_{ch} = b_{c\ 1} \times b_{c\ 2}$

$= 876096$ mm^2

$0{,}3A_g f'c = 0{,}3\ (1210000)\ (40)\ (10^{-3})$

$= 14520$ kN

$0{,}3A_g f'c \leq P_u = 18339{,}66 \rightarrow$ memerlukan syarat $A_{sh\ min\ 3}$

$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0{,}6 \geq 1$

$= \frac{40}{175} + 0{,}6 \geq 1$

$= 0{,}83 \leq 1$

$= 1$

$k_n = \frac{n_l}{n_l - 2}$

$= \frac{56}{56-2}$

$= 1{,}04$

$A_{sh\ min\ 1} = 0{,}3\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right)\frac{f'_c}{f_{yt}} s b_c$

$= 509{,}62$ mm^2

$A_{sh\ min\ 2} = 0{,}09\frac{f'_c}{f_{yt}} s b_c$

$= 401{,}14$ mm^2

$A_{sh\ min\ 3} = 0{,}2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$

$= 0{,}01$ mm^2

$A_{sh\ min\ pakai} = 509{,}62$ mm^2

$A_{sh\ tulangan}$ $= 0{,}25\pi(16)^2$
$= 201{,}06\ mm^2$

$n_{min} = \frac{A_{sh\ min}}{A_{sh\ tulangan}}$
$= \frac{509{,}62}{201{,}06}$
$= 3$ buah

$n_{pakai} = 4$ buah $\geq n_{min}$ (OK)

Kontrol Kapasitas Geser Desain Kolom:

Kapasitas geser beton (V_c) dapat diasumsikan sama dengan nol jika kedua syarat berikut terpenuhi:

Syarat 1: $V_u < 0{,}5V_e$

$0{,}5V_e = 0{,}5(6390{,}261)$
$= 3195{,}13$ kN

$V_u = 614{,}33$ kN

$V_u < 0{,}5V_e \rightarrow$ terpenuhi

Syarat 2: $P_u < \frac{A_g f_c'}{20}$

$\frac{A_g f_c'}{20} = \frac{1210000(40)(10^{-3})}{20}$
$= 2420$ kN

$P_u = 18339{,}66$ kN

$P_u > \frac{A_g f_c'}{20} \rightarrow$ tidak terpenuhi

Maka, V_c harus diperhitungkan

$V_c = 0{,}17\left(1 + \frac{P_u}{14A_g}\right)\lambda\sqrt{f_c'}\,b_w d$
$= 2507{,}44$ kN

$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$
$= \frac{4(201{,}06)(420)(1017{,}5)}{50}$
$= 6877{,}28$ kN

$V_n = \phi(V_c + V_s)$
$= 0{,}75\ (2507{,}44 + 6877{,}28)$
$= 7038{,}54$ kN

V_n $> V_e = 6390{,}261$ kN (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan geser 4D16–50 mm sepanjang daerah plastis ($l_o = 1100$ mm).

Untuk spasi tulangan transversal di luar sendi plastis dipasang berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.7.4, yaitu sebesar:

$s_{max\ 1}$ $= 6D_{longitudinal}$
$= 192$ mm
$s_{max\ 2}$ $= 150$ mm
s_{pakai} $= 150$ mm

∴ Maka, digunakan tulangan geser 8=4D16–150 mm di luar daerah plastis.

- Tulangan Torsi

T_u $= 76{,}79$ kNm
P_u $= 18339{,}66$ kN
A_{cp} $= 1100 \times 1100$
$= 1210000$ mm^2
P_{cp} $= 2(1100 + 1100)$
$= 4400$ mm

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.7.4.1, pengaruh torsi dapat diabaikan jika momen terfaktor orsi dapat diabaikan jika momen terfaktor T_u kurang dari persamaan berikut:

T_u $\leq \phi T_{cr}$

$$T_{cr} = 0{,}33\lambda\sqrt{f_c'}\left(\frac{A_{cp}{}^2}{P_{cp}}\right)\sqrt{1+\frac{P_u}{0{,}33A_g\lambda\sqrt{f_c'}}}$$

$$= 0{,}33(1)\sqrt{40}\left(\frac{121\times10^4{}^2}{4400}\right)\sqrt{1+\frac{18339{,}66}{0{,}33(121\times10^4)(1)\sqrt{40}}}$$

$= 697$ kNm

ϕT_{cr} $= 0{,}75\ (697)$
$= 522{,}75$ kNm

$\phi T_{cr} \geq T_u = 76{,}79$ kNm $\rightarrow$ torsi tidak perlu diperhitungkan

4.4.3.3. Pengangkatan Kolom

- Perhitungan Tulangan Angkat

DL = 9292,8 kg

K = 1,2

q = 11151,36 kg

$T_u = \frac{q}{\cos 45}$

$= \frac{11151,36}{\cos 45}$

= 15770,4 kg

$T_{u\ atas} = \frac{T_u}{2}$

$= \frac{15770,4}{2}$

= 7885,2 kg

= 78,85 kN

$T_{u\ bawah} = \frac{T_u}{4}$

$= \frac{15770,4}{4}$

= 3942,6 kg

= 39,43 kN

- Kontrol Tegangan

$M_{max\ 1}$ = -0,0054 w l^2

= -0,0054 (3484,8) $(3,2)^2$

= -192,70 kgm

$M_{max\ 2}$ = 0,0034 w l^2

= 0,0034 (3484,8) $(3,2)^2$

= 121,33 kgm

$P_{u\ max}$ = 0,96 w l

= 0,96 (3484,8) (3,2)

= 107,705 kg

$\sigma_{ijin} = \frac{0,7\sqrt{f_c'}}{SF}$

$$= \frac{0{,}7\sqrt{25}}{1{,}5}$$

$$= 2{,}33 \text{ MPa}$$

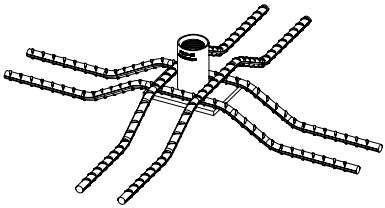
$$\sigma_{kolom} = \frac{M_u}{Z}$$

$$= \frac{192{,}70}{\frac{1}{6}(1{,}1)(3{,}2)^2}$$

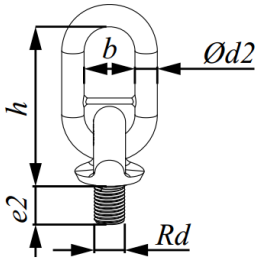
$$= 0{,}103 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kolom} < \sigma_{ijin} \text{ (OK)}$$

Tulangan angkat yang digunakan adalah jenis Jenka Lifting System dari Peikko Group. Tipe yang digunakan adalah Jenka PSA Short Insert dengan kait JL seperti pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32. Disetiap titik angkat, profil ini dapat mengangkat beban sebesar 5 – 125 kN dengan sudut 0° - 45°. Untuk K5, profil tulangan angkat yang digunakan adalah tipe JRd/JM 42 untuk bagian atas dan JRd/JM 30 untuk bagian bawah.



Gambar 4.31 Jenka PSA Short Inserts



Gambar 4.32 Kait JL

4.4.3.4. Rekapitulasi Tulangan Kolom

Rekapitulasi perencanaan tulangan kolom akan disajikan dalam Tabel 4.32 berikut.

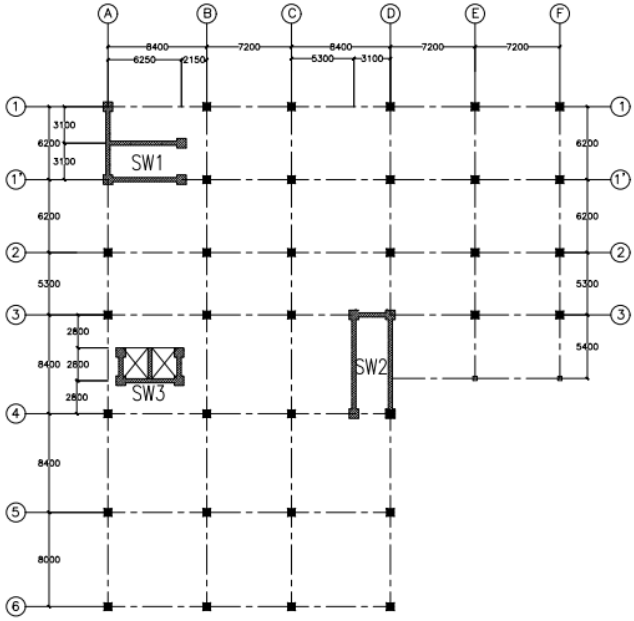
Tabel 4.32 Rekapitulasi Tulangan Kolom

Tipe	K1		K2	
Kondisi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Penampang	95x95 cm		100x100 cm	
Tulangan	28 D32		28 D32	
Sengkang	4D16-75mm	4D16-150mm	4D16-75mm	4D16-150mm
Tu (kN)	73.52		81.46	
	36.76		40.73	
Tipe JL	JRd/JM 42		JRd/JM 52	
	JRd/JM 30		JRd/JM 36	
Tipe	K3		K4	
Kondisi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Penampang	105x105 cm		110x110 cm	
Tulangan	28 D32		28 D32	
Sengkang	4D16-75mm	4D16-150mm	4D16-75mm	4D16-150mm
Tu (kN)	89.81		98.57	
Tipe JL	JRd/JM 52		JRd/JM 52	
	JRd/JM 36		JRd/JM 36	

Tipe	K5		
Kondisi	Tumpuan	Lapangan	
Penampang	110x110 cm		
Tulangan	28 D32		
Sengkang	4D16-50mm	4D16-150mm	
Tu (kN)	78.85		
	39.43		
Tipe JL	JRd/JM 42		
	JRd/JM 30		

4.4.4. Perencanaan Dinding Geser (*Shear Wall*)

Pada tugas akhir ini, terdapat 3 jenis dinding geser dengan bentuk dan dimensi yang berbeda-beda. Dalam perencanaannya, satu dinding geser ditinjau dalam dua sumbu, yaitu sumbu x dan sumbu y. Denah dan bentuk dari masing-masing dinding geser dalam tugas akhir ini dijelaskan pada Gambar 4.33. Pada subbab ini akan dicontohkan perhitungan dinding geser SW1 dengan bentuk yang diilustrasikan pada Gambar 4.34.



Gambar 4.33 Denah Dinding Geser

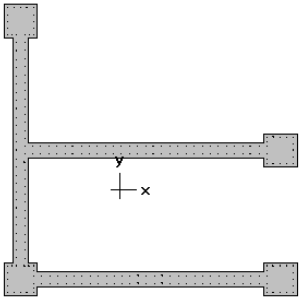
4.4.4.1. Data Perencanaan Dinding Geser

Data perencanaan untuk dinding geser SW1 adalah sebagai berikut:

- Tebal Dinding : 35 cm
- Lebar Dinding : 625 cm
- Panjang Dinding : 620 cm
- Tinggi Dinding : 4 m
- f'c : 45 MPa
- fy : 420 MPa
- $D_{longitudinal}$: 32 mm
- $D_{transversal}$: 16 mm
- *Clear Cover* : 50 mm
- d : 268 mm

Data lain yang didapatkan dari program bantu ETABS 2016 untuk perhitungan dinding geser SW1 adalah sebagai berikut:

- P_u : 49596,1 kN
- V_{ux} : 12647,4 kN
- V_{uy} : 6745,17 kN
- M_{ux} : 98332,14 kNm
- M_{uy} : 62197,1 kNm



Gambar 4.34 Dinding Geser SW1

4.4.4.2. Perhitungan Tulangan Dinding Geser

- Kontrol Dimensi Penampang Terhadap Gaya Geser

  Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.4.4, nilai V_n tidak boleh diambil lebih besar dari $0{,}83A_{cw}\sqrt{f_c'}$.

  Kontrol Arah X:

  A_{cwx} $= 350(6250)(2)$
  $= 4375000\ mm^2$

  $V_{nx\ max}$ $= 0{,}83A_{cwx}\sqrt{f_c'}$
  $= 0{,}83(4375000)\sqrt{45}$
  $= 24359{,}166\ kN$

  V_{nx} $= \frac{V_{ux}}{\phi}$
  $= \frac{12647{,}4}{0{,}75}$
  $= 16863{,}25\ kN$

V_{nx} < $V_{nx\ max}$ (OK)

Kontrol Arah Y:

$A_{cw\ y}$ = 350(6200)

= 2170000 mm^2

$V_{ny\ max}$ = $0{,}83A_{cwy}\sqrt{f_c'}$

= $0{,}83(2170000)\sqrt{45}$

= 12082,15 kN

V_{ny} = $\frac{V_{uy}}{\phi}$

= $\frac{6745{,}17}{0{,}75}$

= 8993,55 kN

V_{ny} < $V_{ny\ max}$ (OK)

- Jumlah Lapis Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.2.2 dan pasal 11.7.2.3, pada sebuah dinding paling sedikit digunakan 2 lapis tulangan jika memenuhi kedua syarat berikut:

1. $V_u > 0{,}17A_{cv}\sqrt{f_c'}$

   Kontrol Arah X:

   A_{cvx} = 4375000

   V_{ux} > $0{,}17A_{cv}\sqrt{f_c'}$

   12647,4 kN > $0{,}17(4375000)\sqrt{45}$

   12647,4 kN > 4989,23 kN $\rightarrow$ 2 lapis tulangan

   Kontrol Arah Y:

   A_{cvy} = 2170000

   V_{uy} > $0{,}17A_{cv}\sqrt{f_c'}$

   6745,17 kN > $0{,}17(2170000)\sqrt{45}$

   6745,17 kN > 45,18 kN $\rightarrow$ 2 lapis tulangan

2. h > 250 mm

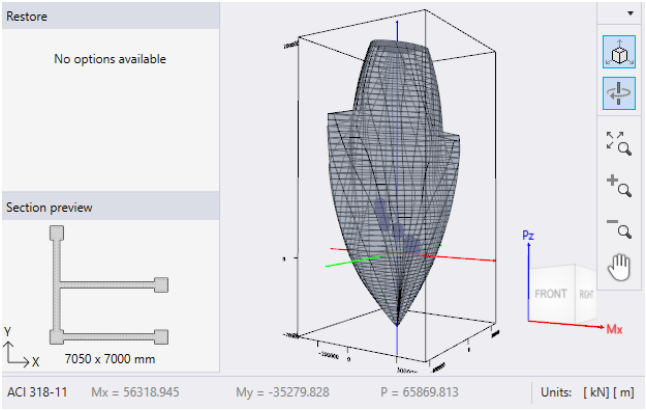
   h = 350 mm

   h > 250 mm 2 lapis tulangan

Karena kedua syarat tersebut terpenuhi, maka SW1 direncanakan menggunakan 2 lapis tulangan.

- Tulangan Longitudinal

  Perencanaan tulangan longitudinal dinding geser dilakukan seperti perencanaan tulangan longitudinal pada kolom. Beban-beban aksial dan momen yang terjadi pada dinding geser akibat setiap kombinasi di-*input* pada program bantu spColumn beserta dimensi dinding geser dan desain konfigurasi tulangannya. Kemudian melalui diagram interaksi yang dihasilkan program tersebut dapat dievaluasi apakah desain tersebut dapat mengakomodir beban-beban yang terjadi. Diagram interaksi untuk SW1 dapat dilihat pada Gambar 4.35 dimana koordinat setiap kombinasi pembebanan berada di dalam area kapasitas dinding geser, sehingga desain dapat digunakan.



Gambar 4.35 Diagram Interaksi Beban Aksial dan Momen pada SW1

Tulangan longitudinal yang digunakan untuk SW1 baik pada arah x maupun arah y adalah D32–200mm. Kemudian dari program bantu spColumn juga didapatkan pula momen nominal masing-masing pada sumbu x dan y sebagai berikut:

Kontrol Arah X:

ϕM_{nx} $\geq M_{ux}$
0,9(227266,73) $\geq$ 98332,14 kN
170450,05 kN $\geq$ 98332,14 kN (OK)
Kontrol Arah Y:
ϕM_{ny} $\geq M_{uy}$
0,9(285195,59) $\geq$ 62197,1 kN
213896,69 kN $\geq$ 62197,1 kN (OK)

- Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.4.1, kuat geser pada *shear wall* harus memenuhi persamaan:

$V_u < \phi\ A_{cv}\ (\alpha_c\ \lambda\sqrt{f_c'} + \rho_t\ f_y)$

Tulangan Geser Arah X:

$\frac{h_w}{l_w} = \frac{3850}{625}$
$= 0.62$
$\frac{h_w}{l_w} < 1.5$
$\alpha_c = 0.25$
$D_{sengkang} = 16$ mm
$A_v = 2\pi(16^2)$
$= 402{,}124\ mm^2$
$s = 250$ mm
$\rho_t = \frac{A_v}{sd}$
$= \frac{402{,}124}{250(268)}$
$= 0{,}006$
$\rho_{t\ min} = 0{,}0025$
$\rho_{t\ pakai} = 0{,}006$
$V_{ux} < \phi\ A_{cv}\ (\alpha_c\ \lambda\sqrt{f_c'} + \rho_t\ f_y)$
$< 0{,}75(4375000)(0{,}17(1)\ \sqrt{45} + 0{,}006x420)$
12647,4 kN < 13774,12 kN (OK)

Tulangan Geser Arah Y:

$\frac{h_w}{l_w}$ $= \frac{3850}{620}$

$= 0.62$

$\frac{h_w}{l_w}$ < 1.5

α_c $= 0.25$

$D_{sengkang}$ $= 16$ mm

A_v $= 2\pi(16^2)$

$= 402{,}124$ mm^2

s $= 250$ mm

ρ_t $= \frac{A_v}{sd}$

$= \frac{402{,}124}{250(268)}$

$= 0{,}006$

$\rho_{t\ min}$ $= 0{,}0025$

$\rho_{t\ pakai}$ $= 0{,}006$

V_{ux} $< \phi\ A_{cv}\ (\alpha_c\ \lambda\sqrt{f_c'} + \rho_t\ f_y)$

$< 0{,}75(2170000)(0{,}17(1)\ \sqrt{45} + 0{,}006x420)$

6745,17 kN < 6831,96 kN (OK)

Sehingga, digunakan tulangan transversal 2D16–250 mm untuk dinding geser bagian arah x maupun arah y.

- Kontrol Spasi Tulangan

  Kontrol spasi pada tulangan longitudinal maupun transversal harus tidak boleh melebihi syarat-syarat pada pasal berikut:

  4.1. SNI 2847:2019 pasal 18.10.2.1

  $s_{transversal}$ = 250 mm < 450 mm (OK)

  $s_{longitudinal}$ = 200 mm < 450 mm (OK)

  4.2. SNI 2847:2019 pasal 11.7.3.1

  $s_{t\ horizontal}$ < 3h

  < 3(350)

  < 1050 mm

  $s_{t\ horizontal}$ < 450 mm

$s_{t\ horizontal}$ $< \frac{l_w}{5}$

$< \frac{6250}{5}$

< 1250 mm

$s_{t\ horizontal}$ $= 200$ mm (OK)

4.3. SNI 2847:2019 pasal 11.7.2.1

$s_{t\ vertikal}$ $< 3h$

$< 3(350)$

< 1050 mm

$s_{t\ vertikal}$ < 450 mm

$s_{t\ vertikal}$ $< \frac{l_w}{5}$

$< \frac{6200}{5}$

< 1240 mm

$s_{t\ vertikal}$ $= 200$ mm (OK)

- Kontrol Komponen Batas

  Komponen batas berdasarkan pendekatan perpindahan akan diperlukan dalam perencanaan dinding geser apabila kedua syarat berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.2 dan 18.10.6.3 berikut terpenuhi:

  Arah X:

  δ_u $= 29{,}15$ mm

  $\frac{\delta_u}{h_w}$ $= \frac{29{,}15}{3850}$

  $= 0{,}008$

  $\frac{\delta_u}{h_w}_{min}$ $= 0{,}005$

  $\frac{\delta_u}{h_w}_{pakai}$ $= 0{,}008$

  c_x $= \frac{l_w}{600(\frac{1{,}5\delta_u}{h_w})}$

  c_x $= \frac{6250}{600(1{,}5\times 0{,}008)}$

  $= 917{,}2$ mm

  $c_{x\ spCol.}$ $= 4648$ mm $\geq c_x \rightarrow$ syarat 1 terpenuhi

$0{,}2\ f'_c$ = 9 MPa

$\frac{M_{ux}}{W} + \frac{P_u}{A_c} = \frac{98332{,}14 \times 10^6}{10992451613} + \frac{49596{,}1 \times 10^3}{437500000}$

= 9,06 > 0.2 f'c → syarat 2 terpenuhi

Arah Y:

δ_u = 22,46 mm

$\frac{\delta_u}{h_w} = \frac{22{,}46}{3850}$

= 0,006

$\frac{\delta_u}{h_w}_{min}$ = 0,005

$\frac{\delta_u}{h_w}_{pakai}$ = 0,006

$c_y = \frac{l_w}{600(\frac{1{,}5\delta_u}{h_w})}$

$c_y = \frac{6200}{600(1{,}5 \times 0{,}006)}$

= 1190,4 mm

$c_{y\ spCol.}$ = 1682 mm ≥ c_y → syarat 1 terpenuhi

$0{,}2\ f'_c$ = 9 MPa

$\frac{M_{uy}}{W} + \frac{P_u}{A_c} = \frac{62197{,}1 \times 10^6}{15739840000} + \frac{49596{,}1 \times 10^3}{217000000}$

= 4,18 < 0,2 f'c → syarat 2 tidak terpenuhi

Sehingga dapat disimpulkan bahwa diperlukan elemen batas baik pada arah x maupun arah y. Elemen batas direncanakan sesuai dengan perhitungan berikut:

Arah X:

$c - 0{,}1\ l_w$ = 4648 – 0,1(6250)

= 4012 mm

$\frac{c}{2} = \frac{4648}{2}$

= 2324 mm

c_{pakai} = 4100 mm

b_{cx} = jarak pembatas – cover

= 4100 – 50

= 4050 mm

b_{cy} = h_w – 2 clear cover
= 350 – 2 x 50
= 250 mm

A_{ch} = b_{cx} x b_{cy}
= 4050 x 250
= 1012500 mm^2

A_g = 1435000 mm^2

$A_{sh}/b_{c\,1}$ = $0{,}3\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right)\frac{f_c'}{f_{yt}}$
= $0{,}3\left(\frac{1435000}{1012500} - 1\right)\frac{45}{420}$
= 0,013

$A_{sh}/b_{c\,2}$ = $0{,}09\frac{f_c'}{f_{yt}}$
= $0{,}09\frac{45}{420}$
= 0,010

A_{sh}/b_c = 0,013

$D_{tulangan}$ = 16 mm

n_x = 4

A_{shx} = 4(0,25) $\pi(16^2)$
= 804,25 mm^2

s_x = $\frac{A_{sh}}{0{,}013 \times b_{cx}}$
= 75 mm

n_y = 7

A_{shy} = 7(0,25) $\pi(16^2)$
= 1407,43 mm^2

s_y = $\frac{A_{sh}}{0{,}013\ x\ b_{cy}}$
= 350 mm

Arah y:

c – 0,1 l_w = 1682 – 0,1(6200)
= 1062 mm

$\frac{c}{2}$ = $\frac{1682}{2}$
= 841 mm

c_{pakai} = 1100 mm

b_{cx} = h_w – 2 clear cover
= 350 – 2 x 50
= 250 mm

b_{cy} = jarak pembatas – cover
= 1100 – 50
= 1050 mm

A_{ch} = b_{cx} x b_{cy}
= 250 x 1050
= 262500 mm^2

A_g = 385000 mm^2

$A_{sh}/b_{c\ 1}$ = $0{,}3\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f_c'}{f_{yt}}$
= $0{,}3\left(\frac{385000}{262500}-1\right)\frac{45}{420}$
= 0,015

$A_{sh}/b_{c\ 2}$ = $0{,}09\frac{f_c'}{f_{yt}}$
= $0{,}09\frac{45}{420}$
= 0,010

A_{sh}/b_c = 0,015

$D_{tulangan}$ = 16 mm

n_x = 4

A_{shx} = 4(0,25) $\pi(16^2)$
= 804,25 mm^2

s_x = $\frac{A_{sh}}{0{,}015 \times b_{cx}}$
= 200 mm

n_y = 4

A_{shy} = 4(0,25) $\pi(16^2)$
= 804,25 mm^2

s_y = $\frac{A_{sh}}{0{,}015\ x\ b_{cy}}$
= 50 mm

4.4.4.3. Rekapitulasi Tulangan Dinding Geser

Rekapitulasi perencanaan tulangan dinding geser akan disajikan dalam Tabel 4.33 dan Tabel 4.34 berikut.

Tabel 4.33 Rekapitulasi Penulangan Dinding Geser

Tipe Dinding Geser	SW 1		SW 2		SW 3	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Longitudinal	D32-200mm	D32-200mm	D32-200mm	D32-200mm	D32-100mm	D32-100mm
Transversal	2D16-250mm	2D16-250mm	2D16-75mm	2D16-75mm	2D16-100mm	2D16-100mm

Tabel 4.34 Rekapitulasi Perencanaan Daerah Komponen Batas Dinding Geser

Komponen Batas		SW 1		SW 2		SW 3	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
c (mm)		4100	1100	900	Tanpa	300	Tanpa
Tul. Trans	x	4D16-75mm	4D16-200mm	4D16-50mm	Komponen	5D16-150mm	Komponen
	y	7D16-350mm	4D16-50mm	2D16-100mm	Batas	2D16-75mm	Batas

4.5. Perencanaan Sambungan

4.5.1. Umum

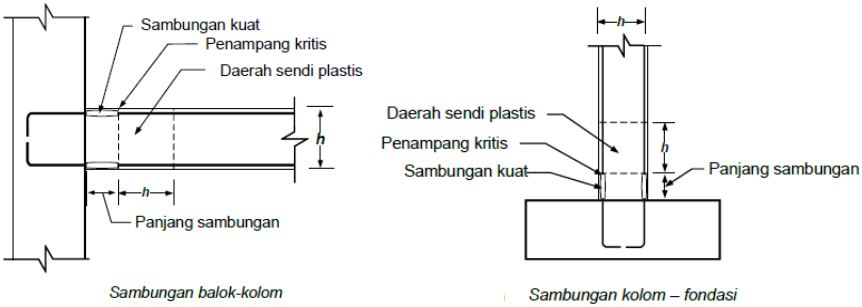
Perencanaan sambungan merupakan salah satu bagian penting dalam perencanaan konstruksi pracetak karena sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh satu elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya seperti pelat, balok, kolom, dan pondasi. Selain itu, desain sambungan juga direncanakan agar struktur gedung secara keseluruhan menjadi stabil.

Pada tugas akhir ini, gedung direncanakan menggunakan sambungan mekanis untuk menyambung antar tulangannya. Pada daerah *joint*, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser pada beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Dalam pelaksanaan biasanya digunakan *shear connector* yang befungsi untuk menahan gaya geser.

Sambungan antar elemen beton pracetak harus direncanakan agar mempunyai kekuatan, kekakuan, serta dapat

mengakomodir kebutuhan daktilitas sesuai dengan peraturan yang berlaku. Baik sambungan cor *in-situ* maupun sambungan *grouting* sudah banyak dipergunakan untuk alternatif pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak yang setara dengan konstruksi cor *in-situ*.

Perencanaan sambungan yang digunakan pada tugas akhir ini mengacu pada peraturan detail sambungan yang disyaratkan pada SNI 2847:2019 pasal 18.9 yang diilustrasikan pada Gambar 4.36 berikut.



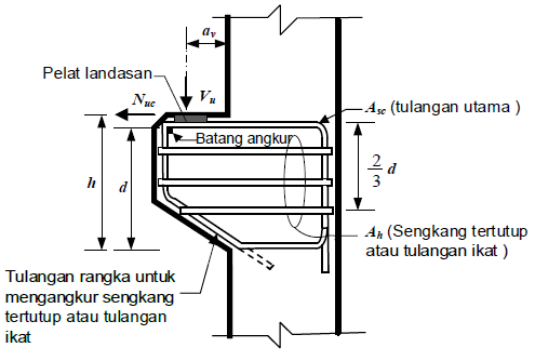
Gambar 4.36 Detail Sambungan

Pada tugas akhir ini, sambungan antar balok dan sambungan balok – kolom direncanakan menggunakan produk dari Peikko Group sedangkan untuk sambungan antar kolom menggunakan produk dari NMB Splice Sleeve. Untuk menahan beban balok dan gaya geser friksi akan digunakan konsol pendek baik pada kolom maupun balok induk.

4.5.2. Perencanaan Konsol pada Elemen Pracetak

Untuk sambungan antara balok induk dengan kolom maupun balok induk dengan balok anak, direncanakan menggunakan konsol pendek. Balok induk akan diletakkan pada konsol yang berada di kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Hal tersebut juga berlaku pada sambungan antara balok induk dan balok anak dimana konsol

pendek berada pada balok induk. Perencanaan konsol pendek mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 16.5. Bentuk dari konsol pendek yang akan direncanakan akan diilustrasikan pada Gambar 4.37.



Gambar 4.37 Detail Konsol Pendek

4.5.2.1. Data Perencanaan

Data perencanaan konsol pendek pada kolom yang akan menahan balok induk berdimensi 60/90 adalah sebagai berikut:

- f'_c : 45 MPa
- f_y : 420 MPa
- Tul. Longitudinal : 16 mm
- Tul. Transversal : 13 mm
- *Clear cover* : 50 mm
- b : 600 mm
- h : 300 mm
- d : h – *clear cover* – 0,5D
  : 242 mm
- a_v : 150 mm

Data-data lain yang diperlukan dalam perhitungan tulangan konsol pendek adalah:

- V_u : 399,36 kN
- N_u : 78,87 kN

4.5.2.2. Perhitungan Tulangan Konsol Pendek

- Luas Pelat Landasan

  $V_u = \phi\ 0{,}85\ f'_c\ A_1$

  $A_1 = \frac{V_u}{\phi\ 0{,}85\ f'_c}$

  $= \frac{399{,}36 \times 10^3}{0{,}75(0{,}85)(45)}$

  $= 13921{,}19\ mm^2$

  ∴ Maka, digunakan pelat landasan dengan ukuran 600x175 dan tebal 15 mm.

- Luas Tulangan Geser Friksi

  Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 16.5.2.4, untuk beton normal, kuat geser (V_n) tidak boleh diambil melebihi nilai-nilai berikut:

  1. $V_{n\ max1} \leq 0{,}2\ f'_c\ b\ d$
     $\leq 0{,}2 \times 45 \times 600 \times 242$
     $\leq 1306{,}8\ kN$
  2. $V_{n\ max2} \leq (3{,}3 + 0{,}08 f'_c)\ b\ d$
     $\leq (3{,}3 + 0{,}08 \times 45)\ 600 \times 242$
     $\leq 1001{,}9\ kN$
  3. $V_{n\ max3} \leq 11\ b\ d$
     $\leq 11 \times 600 \times 300$
     $\leq 1597{,}2\ kN$

  Cek V_n:

  $V_n = \frac{V_u}{\phi}$

  $= \frac{399{,}36}{0{,}75}$

  $= 532{,}49\ kN \leq V_{n\ max}$ (OK)

- Luas Tulangan Lentur

  Perhitungan penulangan lentur didasarkan pada SNI 2847:2019 pasal 16.3.5.2.

  $M_u = V_u \times a_v + N_u\ (h - d)$

$= 399{,}36(10^3)(150) + 78{,}87(10^3)(300 - 242)$
$= 64{,}65 \times 10^6$ Nmm
$= 64{,}65$ kNm

$A_f = \frac{M_u}{\emptyset f_y jd}$
$= \frac{64{,}65 \times 10^6}{0{,}75(420)(0{,}85)(242)}$
$= 996{,}01$ mm^2

$A_n = \frac{N_u}{\emptyset f_y}$
$= \frac{78{,}87 \times 10^3}{0{,}75(420)}$
$= 253{,}56$ mm^2

$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu}$
$= \frac{532{,}49 \times 10^3}{420 \times 1{,}4}$
$= 905{,}59$ mm^2

- Pemilihan Tulangan

$A_{sc1} = A_f + A_n$
$= 996{,}01 + 253{,}56$
$= 1249{,}58$ mm^2

$A_{sc2} = \frac{2}{3} A_{vf} + A_n$
$= \frac{2}{3}\ 905{,}59 + 253{,}56$
$= 857{,}29$

$A_{sc3} = 0{,}04\ \frac{f_c'}{f_y}\ b\ d$
$= 0{,}04\ \frac{45}{420}\ 600\ (242)$
$= 622{,}29$ mm^2

$A_{sc\ pakai} = 1249{,}58$ mm^2

$n = \frac{A_{sc\ pakai}}{0{,}25\pi 16^2}$
$= \frac{1249{,}58}{201{,}06}$
$= 7$ buah

A_h $= 0{,}5(A_{sc} - A_n)$
$= 0{,}5(1249{,}58 - 253{,}56)$
$= 498{,}01\ mm^2$

n $= \frac{A_h}{0{,}25\pi 13^2}$
$= \frac{498{,}01}{132{,}73}$
$= 4$ buah

Tulangan dipasang sepanjang $\frac{2}{3}$d = 161,3 mm.

4.5.2.3. Rekapitulasi Perencanaan Konsol Pendek

Pada subbab di atas telah dilakukan perencanaan konsol pendek pada kolom yang akan menahan balok induk. Selain itu, konsol pendek juga diperlukan pada balok induk yang akan menahan balok anak. Perhitungan konsol pendek pada balok induk dilakukan dengan cara yang sama seperti konsol pendek pada kolom. Rekapitulasi perencanaan konsol pendek akan disajikan pada Tabel 4.35 berikut.

Tabel 4.35 Rekapitulasi Perencanaan Konsol Pendek

Sambu-ngan	Vu (kN)	Nu (kN)	Dimensi (mm)		Asc (mm²)	n	Ah (mm²)	n
			b	h				
K - BI 60/90	399	80	600	300	1250	7	498	4
K - BI 80/120	356	71	800	400	1173	6	473	4
BI - BA 35/60	127	25	350	250	480	3	200	2
BI - BA 40/65	232	46	400	250	876	5	364	3
SW - Tangga	37	8	3100	200	658	5	236	3

4.5.3. Perencanaan Sambungan Balok – Kolom

Balok dengan kolom disambungkan dengan memanfaatkan panjang penyaluran pada tulangan balok.

Tulangan balok akan diteruskan atau dikaitkan ke dalam kolom. Pada sambungan balok – kolom terdapat 2 tipe sambungan, yaitu *single-sided connection* dan *double-sided connection*.

Perencanaan sambungan balok – kolom pada tugas akhir ini menggunakan produk dari Peikko Group yaitu Modix Rebar Coupler. Sambungan Modix Rebar Coupler tersebut didesain untuk sambungan elemen pracetak yang tahan terhadap gaya tarik maupun tekan. Namun karena baik tulangan atas maupun tulangan bawah pada balok dapat menerima tarik maupun tekan sesuai dengan kombinasi beban yang terjadi, maka seluruh tulangan diasumsikan mengalami kondisi tarik dimana kebutuhan panjang penyaluran akan lebih besar.

Kekuatan leleh pada Modix Rebar Coupler adalah sebesar 550 MPa dimana kuat leleh tersebut lebih besar dari kekuatan leleh pada baja tulangan yang sebesar 420 MPa sehingga sambungan tersebut dapat digunakan.

4.5.3.1. Data Perencanaan

Data perencanaan untuk sambungan antara balok dengan kolom adalah sebagai berikut:

- f'_c = 35 MPa
- f_y = 420 MPa
- $d_{b\ BI1}$ = 25 mm
- $d_{b\ BI6}$ = 25 mm

4.5.3.2. Perhitungan *Single-Sided Connection*

Pada subbab ini akan dicontohkan perhitungan sambungan *single-sided connection* antara BI1 dengan K1. Panjang penyaluran dihitung berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.3.4.1.

$$l_{dh1} = \frac{0{,}24 f_y \psi_e \psi_c \psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b$$

$$= \frac{0{,}24(420)}{\sqrt{35}} (25)$$

= 425,96 mm

l_{dh2} = $8d_b$

= 8(25)

= 200 mm

l_{dh3} = 150 mm

$l_{dh\ pakai}$ = 450 mm

Maka digunakan l_{dh} sebesar 450 mm dengan kait minimum panjang penyaluran yang masuk ke dalam kolom dengan panjang kait standar 90̊ sebesar $12d_b$ atau sama dengan 300 mm.

Sambungan pada tulangan antara BI1 dengan K1 untuk *single-sided connection* menggunakan Modix Coupler dengan tipe SM25A-P12-750(450)-PM25-SM25B-P-2100.

4.5.3.3. Perhitungan *Double-Sided Connection*

Pada subbab ini akan dicontohkan perhitungan sambungan *double-sided connection* antara BI6 – K1 – BI6. Panjang penyaluran dihitung berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.3.4.1.

l_{dh1} = $\frac{0{,}24 f_y \psi_e \psi_c \psi_r}{\lambda \sqrt{f_c'}} d_b$

= $\frac{0{,}24(420)}{\sqrt{35}}(25)$

= 425,96 mm

l_{dh2} = $8d_b$

= 8(25)

= 200 mm

l_{dh3} = 150 mm

$l_{dh\ pakai}$ = 450 mm

Maka digunakan l_{dh} sebesar 450 mm dengan kait minimum panjang penyaluran yang masuk ke dalam kolom dengan panjang kait standar 90̊ sebesar $12d_b$ atau sama dengan 300 mm.

Sambungan pada tulangan antara BI6 dengan K1 untuk *double-sided connection* menggunakan Modix Coupler dengan tipe SM25B-P-2100-PM25-SM25A-D-950-PM25-SM25B-P-2100.

4.5.3.4. Rekapitulasi Sambungan Balok – Kolom

Rekapitulasi perencanaan sambungan antara balok dengan kolom akan disajikan pada Tabel 4.36 untuk *single-sided connection* dan Tabel 4.37 untuk *double-sided connection.*

Tabel 4.36 Rekapitulasi *Single-Sided Connection* Balok – Kolom

Tipe Kolom	Tipe Sambungan	Sambungan
K1, K2, K3, K4, K5	BI 1	SM25A-P12-750(450)-PM25-SM25B-P-2100
	BI 2	SM25B-P-1800-PM25-SM25A-P12-750(450)
	BI 3	SM25B-P-1550-PM25-SM25A-P12-750(450)
	BI 7	SM25A-P12-750(450)-PM25-SM25B-P-2000

Tabel 4.37 Rekapitulasi *Double-Sided Connection* Balok – Kolom

Tipe Kolom	Tipe Sambungan	Sambungan
K1	BI 1 - BI 2	SM25B-P-2100-PM25-SM25A-D-950-PM25-SM25B-P-1800
	BI 2 - BI 2	SM25B-P-1800-PM25-SM25A-D-950-PM25-SM25B-P-1800
	BI 3 - BI 3	SM25B-P-1550-PM25-SM25A-D-950-PM25-SM25B-P-1550

	BI 4 - BI 3	SM25B-P-1325-PM25-SM25A-D-950-PM25-SM25B-P-1550
	BI 5 - BI 4	SM25B-P-1350-PM25-SM25A-D-950-PM25-SM25B-P-1325
	BI 6 - BI 4	SM25B-P-2100-PM25-SM25A-D-950-PM25-SM25B-P-1325
	BI 6 - BI 6	SM25B-P-2100-PM25-SM25A-D-950-PM25-SM25B-P-2100
	BI 6 - BI 7	SM25B-P-1325-PM25-SM25A-D-950-PM25-SM25B-P-2000
K2	BI 1 - BI 2	SM25B-P-2100-PM25-SM25A-D-1000-PM25-SM25B-P-1800
	BI 2 - BI 2	SM25B-P-1800-PM25-SM25A-D-1000-PM25-SM25B-P-1800
	BI 3 - BI 3	SM25B-P-1550-PM25-SM25A-D-1000-PM25-SM25B-P-1550
	BI 4 - BI 3	SM25B-P-1325-PM25-SM25A-D-1000-PM25-SM25B-P-1550
	BI 5 - BI 4	SM25B-P-1350-PM25-SM25A-D-1000-PM25-SM25B-P-1325
	BI 6 - BI 4	SM25B-P-2100-PM25-SM25A-D-1000-PM25-SM25B-P-1325
	BI 6 - BI 6	SM25B-P-2100-PM25-SM25A-D-1000-PM25-SM25B-P-2100
	BI 6 - BI 7	SM25B-P-1325-PM25-SM25A-D-1000-PM25-SM25B-P-2000
K3	BI 1 - BI 2	SM25B-P-2100-PM25-SM25A-D-1050-PM25-SM25B-P-1800
	BI 2 - BI 2	SM25B-P-1800-PM25-SM25A-D-1050-PM25-SM25B-P-1800
	BI 3 - BI 3	SM25B-P-1550-PM25-SM25A-D-1050-PM25-SM25B-P-1550
	BI 4 - BI 3	SM25B-P-1325-PM25-SM25A-D-1050-PM25-SM25B-P-1550
	BI 5 - BI 4	SM25B-P-1350-PM25-SM25A-D-1050-PM25-SM25B-P-1325

	BI 6 - BI 4	SM25B-P-2100-PM25-SM25A-D-1050-PM25-SM25B-P-1325
	BI 6 - BI 6	SM25B-P-2100-PM25-SM25A-D-1050-PM25-SM25B-P-2100
	BI 6 - BI 7	SM25B-P-1325-PM25-SM25A-D-1050-PM25-SM25B-P-2000
K4 & K5	BI 1 - BI 2	SM25B-P-2100-PM25-SM25A-D-1100-PM25-SM25B-P-1800
	BI 2 - BI 2	SM25B-P-1800-PM25-SM25A-D-1100-PM25-SM25B-P-1800
	BI 3 - BI 3	SM25B-P-1550-PM25-SM25A-D-1100-PM25-SM25B-P-1550
	BI 4 - BI 3	SM25B-P-1325-PM25-SM25A-D-1100-PM25-SM25B-P-1550
	BI 5 - BI 4	SM25B-P-1350-PM25-SM25A-D-1100-PM25-SM25B-P-1325
	BI 6 - BI 4	SM25B-P-2100-PM25-SM25A-D-1100-PM25-SM25B-P-1325
	BI 6 - BI 6	SM25B-P-2100-PM25-SM25A-D-1100-PM25-SM25B-P-2100
	BI 6 - BI 7	SM25B-P-1325-PM25-SM25A-D-1100-PM25-SM25B-P-2000

4.5.4. Perencanaan Sambungan Balok Anak – Balok Induk

Pada perencanaan sambungan ini, panjang penyaluran tulangan atas didesain untuk menerima tarik sedangkan panjang penyaluran tulangan bawah didesain untuk menerima tekan. Sama seperti perencanaan sambungan pada balok – kolom, pada sambungan ini juga digunakan Modix Rebar Coupler dimana SM adalah sambungan standar, PM adalah sambungan untuk menyamakan posisi tulangan yang tidak bertemu, dan RM adalah sambungan untuk menyambungkan tulangan dengan diameter berbeda.

4.5.4.1. Data Perencanaan

Data perencanaan untuk sambungan antara balok dengan kolom adalah sebagai berikut:

- f'_c = 35 MPa
- f_y = 420 MPa
- $d_{b\ BA}$ = 19 mm

4.5.4.2. Perhitungan *Single-Sided Connection*

Pada subbab ini akan dicontohkan perhitungan sambungan *single-sided connection* antara BI3 dengan BA1.

- Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.3.4.1, panjang penyaluran untuk tulangan tarik adalah sebagai berikut:

$l_{dh1} = \frac{0{,}24 f_y \psi_e \psi_c \psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} d_b$

$= \frac{0{,}24(420)}{\sqrt{35}}(19)$

$= 323{,}73$ mm

$l_{dh2} = 8d_b$

$= 8(19)$

$= 152$ mm

$l_{dh3} = 150$ mm

$l_{dh\ pakai} = 330$ mm

Maka digunakan l_{dh} sebesar 330 mm dengan kait minimum panjang penyaluran yang masuk ke dalam balok induk dengan panjang kait standar 90˚ sebesar $12d_b$ atau sama dengan 228 mm.

Panjang penyaluran pada tulangan tarik antara balok anak dan balok induk merupakan sambungan konvensional tanpa menggunakan Modix Rebar Coupler.

- Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.4.9.2, panjang penyaluran untuk tulangan tekan adalah sebagai berikut:

l_{dc1} $= \frac{0{,}24 f_y \psi_r}{\lambda \sqrt{f_c'}} d_b$

$= \frac{0{,}24(420)}{\sqrt{35}} (19)$

$= 323{,}73$ mm

l_{dc2} $= 8d_b$

$= 8(19)$

$= 152$ mm

l_{dc3} $= 0{,}043\ f_y\ \psi_r\ d_b$

$= 0{,}043\ (420)\ (19)$

$= 343{,}14$ mm

$l_{dc\ pakai}$ $= 350$ mm

Sambungan pada tulangan antara BI3 dengan BA1 untuk *single-sided connection* menggunakan Modix Coupler bertipe SM20A-L-350-PM8400-SM20B-P-2100.

4.5.4.3. Perhitungan *Double-Sided Connection*

Pada subbab ini akan dicontohkan perhitungan sambungan *double-sided connection* antara BA1 – BI3 – BA2.

- Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.3.4.1, panjang penyaluran untuk tulangan tarik adalah sebagai berikut:

l_{dh1} $= \frac{0{,}24 f_y \psi_e \psi_c \psi_r}{\lambda \sqrt{f_c'}} d_b$

$= \frac{0{,}24(420)}{\sqrt{35}} (19)$

$= 323{,}73$ mm

l_{dh2} $= 8d_b$

$= 8(19)$

$= 152$ mm

l_{dh3} $= 150$ mm

$l_{dh\ pakai}$ $= 330$ mm

Maka digunakan l_{dh} sebesar 330 mm dengan kait minimum panjang penyaluran yang masuk ke dalam balok

induk dengan panjang kait standar 90° sebesar $12d_b$ atau sama dengan 228 mm.

Panjang penyaluran pada tulangan tarik antara balok anak dan balok induk merupakan sambungan konvensional tanpa menggunakan Modix Rebar Coupler.

- Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.4.9.2, panjang penyaluran untuk tulangan tekan adalah sebagai berikut:

$l_{dc1} = \frac{0{,}24 f_y \psi_r}{\lambda \sqrt{f_c'}} d_b$

$= \frac{0{,}24(420)}{\sqrt{35}} (19)$

$= 323{,}73$ mm

$l_{dc2} = 8d_b$

$= 8(19)$

$= 152$ mm

$l_{dc3} = 0{,}043\ f_y\ \psi_r\ d_b$

$= 0{,}043\ (420)\ (19)$

$= 343{,}14$ mm

$l_{dc\ pakai} = 350$ mm

Sambungan pada tulangan antara BA1 – BI3 – BA2 untuk *double-sided connection* menggunakan Modix Coupler dengan tipe SM20B-P-1800-PM20-SM20A-D26-800(100-(45)-100-(-45))-PM20-SM20B-P-1800.

4.5.4.4. Rekapitulasi Sambungan Balok Induk – Balok Anak

Rekapitulasi perencanaan sambungan antara balok induk dengan balok anak akan disajikan pada Tabel 4.38 untuk *single-sided connection* dan Tabel 4.39 untuk *double-sided connection*.

Tabel 4.38 Rekapitulasi *Single-Sided Connection* Balok Induk – Balok Anak

Tipe Sambungan	Sambungan
BA 1	SM20A-L15-350(50-30)-PM20-SM20B-P-2100
	SM20A-L-350-PM20-SM20B-P-2100
BA 2	SM20B-P-1800-PM20-SM20A-L15-350(50-30)
	SM20B-P-1800-PM20-SM20A-L-350

Tabel 4.39 Rekapitulasi *Double-Sided Connection* Balok Induk – Balok Anak

Tipe Sambungan	Sambungan
BA1 - BA2	SM20B-P-2100-PM20-SM20A-D25-800-(50-(30)-50(30))-PM20-SM20B-P-1800
	SM20B-P-2100-PM20-SM20A-D-800-PM20-SM20B-P-1800
BA2 - BA2	SM20B-P-1800-PM20-SM20A-D25-800-(50-(30)-50(30))-PM20-SM20B-P-1800
	SM20B-P-1800-PM20-SM20A-D-800-PM20-SM20B-P-1800
BA2 - BA3	SM20B-P-1800-PM20-SM20A-D25-800-(50-(30)-50(30))-PM20-SM20B-P-1325
	SM20B-P-1800-PM20-SM20A-D26-600(250-(45)-100-(-45))-PM20-SM20B-P-1325

4.5.5. Perencanaan Sambungan Balok – Plat

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.5.9.1, panjang transfer tulangan prategang (l_{tr}) diasumsikan $50d_b$ untuk strand.

Pada subbab 4.1.4.2 dalam perencanaan *hollow core slab*, diketahui strand pada pelat berdiameter 5 mm.

$l_{tr} = 50d_b$

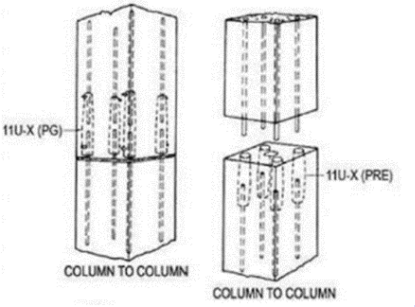
$= 50(5)$

$= 250$ mm

Maka digunakan l_{tr} sebesar 250 mm.

4.5.6. Perencanaan Sambungan Kolom – Kolom

Pada tugas akhir ini, sambungan antara kolom menggunakan produk NMB Splice Sleeve. Pada sambungan jenis ini, tidak perlu dilakukan perhitungan panjang penyaluran karena tulangan antar kolom disambung menggunakan *coupler* menerus. Sambungan antar kolom diilustrasikan pada Gambar 4.38 berikut:



Gambar 4.38 Sambungan Antar Kolom

Pada penyambungannya, dilakukan proses *grouting* pada pertemuan tulangan antar kolom menggunakan mortar dengan tipe *non-shrinkage* agar tidak terjadi kegagalan dan susut pada beton.

Pada perencanaan kolom, diameter yang digunakan pada setiap jenis kolom adalah 32 mm sehingga, dipilih *splice sleeve* dengan tipe 10U-X dengan tegangan leleh sebesar 586 MPa. Kemudian digunakan *grouting non-shrinkage* SS Mortar Tipe 2 dengan kekuatan minimum sebesar 65,5 MPa.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.9.2.2, sambungan antar kolom harus memenuhi persamaan $\phi M_n > 0{,}4\ M_{pr}$ dengan perhitungan sebagai berikut:

1. K1 950 x 950

   $0{,}4\ M_{pr} = 0{,}4\ (6556{,}97)$

   $= 2622{,}79$ kN

   $\phi M_{nx} = 4457{,}143$ kN $> 0{,}4\ M_{pr}$ (OK)

   $\phi M_{ny} = 4503{,}276$ kN $> 0{,}4\ M_{pr}$ (OK)

2. K2 1000 x 1000
   $0,4\ M_{pr}$ = 0,4 (7676,12)
   = 3070,448 kN
   ϕM_{nx} = 5659,948 kN > $0,4\ M_{pr}$ (OK)
   ϕM_{ny} = 5819,801 kN > $0,4\ M_{pr}$ (OK)
3. K3 1050 x 1050
   $0,4\ M_{pr}$ = 0,4 (8472,98)
   = 3389,192 kN
   ϕM_{nx} = 6603,108 kN > $0,4\ M_{pr}$ (OK)
   ϕM_{ny} = 5964,448 kN > $0,4\ M_{pr}$ (OK)
4. K4 1100 x 1100
   $0,4\ M_{pr}$ = 0,4 (10198,64)
   = 4079,456 kN
   ϕM_{nx} = 6612,389 kN > $0,4\ M_{pr}$ (OK)
   ϕM_{ny} = 5671,358 kN > $0,4\ M_{pr}$ (OK)
5. K5 1100 x 1100
   $0,4\ M_{pr}$ = 0,4 (10198,64)
   = 4079,456 kN
   ϕM_{nx} = 6181,366 kN > $0,4\ M_{pr}$ (OK)
   ϕM_{ny} = 4587,272 kN > $0,4\ M_{pr}$ (OK)

4.6. Metode Pelaksanaan

4.6.1. Umum

Metode pelaksanaan merupakan salah satu faktor penting yang berkaitan dengan perencanaan konstruksi menggunakan elemen pracetak. Sebelum hasil perencanaan direalisasikan di lapangan perlu dipertimbangkan terlebih dahulu apakah pengerjaan dari hasil tersebut dapat diwujudkan. Pada subbab ini akan diuraikan mengenai komponen dan material pendukung yang akan digunakan dalam pelaksanaan khususnya beton pracetak.

4.6.2. Transportasi Elemen Beton Pracetak

Sistem transportasi untuk elemen pracetak meliputi:

1. Pemindahan beton pracetak di area pabrik yang dilaksanakan setelah 7 hari ketika beton terfabrikasi atau ketika beton mencapai kurang lebih 65% dari kuat rencana.
2. Pemindahan dari pabrik ke tempat penampungan di proyek yang dilaksanakan 28 hari ketika beton terfabrikasi atau ketika beton sudah mencapai 100% dari kuat rencana.
3. Pemindahan dari tempat penampungan di area proyek ke titik rencana.

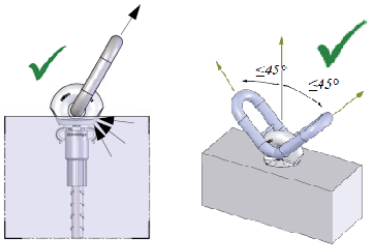
Tahap pemindahan elemen pracetak dari area pabrik ke lokasi proyek memerlukan sarana angkut seperti truk tunggal, tandem, atau temple. Truk yang digunakan pada umumnya berukuran 2,4 m x 16 m atau 1,4 m x 18 m dengan kapasitas angkut kurang lebih 50 ton.

4.6.3. Metode *Erection*

Erection merupakan proses penyusunan elemen-elemen pracetak menjadi satu kesatuan. Metode yang digunakan untuk menyusun elemen-elemen tersebut pada tugas akhir ini direncanakan menggunakan metode horizontal dimana proses *erection* akan dilakukan setiap satu lantai.

4.6.4. Pengangkatan Elemen Pracetak

Pengangkatan elemen pracetak menggunakan Jenka Lifting System dari Peikko Group. Tipe tulangan angkat yang digunakan adalah Jenka PSA Short Insert dengan kait JL seperti pada Gambar 4.39. Disetiap titik angkat, profil ini dapat mengangkat beban sebesar 5 – 125 kN dengan sudut 0° - 45°.



Gambar 4.39 Tulangan Angkat Jenka Lifting System

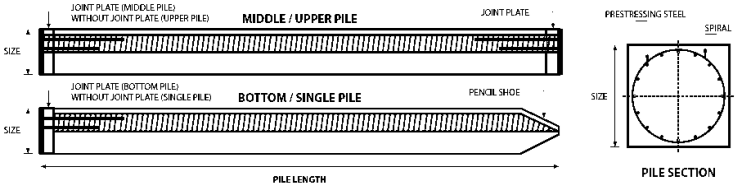
4.7. Perencanaan Struktur Bawah

4.7.1. Umum

Perencanaan struktur bawah meliputi perencanaan pondasi, perencanaan dinding penahan tanah pada *basement*, dan perencanaan sloof.

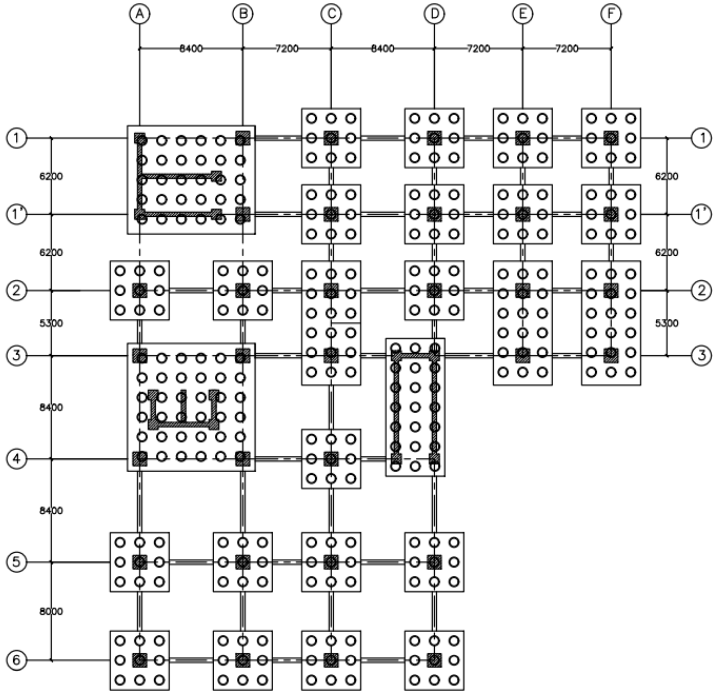
4.7.2. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Pondasi merupakan komponen struktur yang berfungsi sebagai pendukung struktur atas dengan meneruskan beban-beban ke dalam tanah. Pada tugas akhir ini, gedung direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang dengan jenis *prestressed concrete spun pile* dari PT WIKA Beton seperti pada Gambar 4.40. Perencanaan pondasi tiang pancang pada subbab ini meliputi perencanaan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan pada poer atau *pile cap*.



Gambar 4.40 Penampang *Prestressed Concrete Spun Pile* PT WIKA Beton

Pondasi akan direncanakan sesuai dengan denah pada Gambar 4.41 berikut.



Gambar 4.41 Denah Pondasi

4.7.2.1. Pembebanan Pondasi Tiang Pancang

Beban struktur yang bekerja pada pondasi dianalisa berdasarkan SNI 1726:2010 yang mensyaratkan kombinasi beban untuk metode tegangan ijin. Kombinasi pembebanan yang bekerja pada tiang pancang adalah sebagai berikut:

1. D
2. D + L
3. D + 0,75L
4. D + 0,7E

5. D + 0,75L + 0,75(0,7E)
6. 0,6D + 0,7E

Berdasarkan kombinasi pembebanan di atas, didapatkan output *joint reactions* menggunakan program bantu ETABS 2016 yang kemudian akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya. Beban-beban yang bekerja pada setiap pondasi disajikan pada Tabel 4.40, Tabel 4.41, Tabel 4.42, Tabel 4.43, dan Tabel 4.44.

Tabel 4.40 Pembebanan Pondasi Tipe 1

Kombinasi	HX (kN)	HY (kN)	P (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)
Dead	26.34	3.77	7323.89	17.02	22.81
1D + 1L	39.28	3.30	10118.31	21.22	33.19
1D + 0,75L	36.50	3.78	9722.47	20.71	31.61
0,6D + 0,7Ex	325.21	91.87	8081.60	205.71	1038.99
0,6D - 0,7Ex	359.01	85.59	2160.31	228.72	1071.25
0,6D + 0,7Ey	109.08	223.66	7404.37	564.93	365.90
0,6D - 0,7Ey	142.88	217.37	2837.55	587.94	398.16
1D + 0,7Ex	313.95	93.97	11495.58	198.04	1028.24
1D - 0,7Ex	370.27	83.49	5574.28	236.39	1082.00
1D + 0,7Ey	97.81	225.76	10818.34	557.26	355.15
1D - 0,7Ey	154.14	215.28	6251.52	595.61	408.91
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	228.42	71.79	10755.41	143.74	764.46
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	284.75	61.31	6314.44	182.09	818.22
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	66.32	170.63	10247.49	413.15	259.64
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	122.65	160.15	6822.37	451.50	313.40

Tabel 4.41 Pembebanan Pondasi Tipe 2

Kombinasi	HX (kN)	HY (kN)	P (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)

Dead	27.96	13.89	13095.43	1154.57	39.25
1D + 1L	38.82	20.25	18116.80	2106.39	54.43
1D + 0,75L	36.81	19.06	17432.65	1993.27	52.25
0,6D + 0,7Ex	601.68	155.32	12355.62	5206.88	1719.34
0,6D - 0,7Ex	638.62	173.92	6100.63	7191.60	1774.16
0,6D + 0,7Ey	187.42	403.84	11192.05	1685.07	556.98
0,6D - 0,7Ey	224.35	422.45	7264.20	299.65	611.80
1D + 0,7Ex	589.37	149.11	18507.70	4545.30	1701.07
1D - 0,7Ex	650.93	180.13	12252.71	7853.17	1792.43
1D + 0,7Ey	175.11	397.64	17344.13	2346.65	538.70
1D - 0,7Ey	236.66	428.65	13416.28	961.22	630.07
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	434.34	107.96	17725.83	2995.49	1264.38
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	495.89	138.97	13034.58	6303.36	1355.75
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	123.64	294.35	16853.15	2173.47	392.61
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	185.19	325.37	13907.26	1134.40	483.98

Tabel 4.42 Pembebanan Pondasi Tipe 3

Kombinasi	HX (kN)	HY (kN)	P (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)
Dead	107.61	16.14	33451.73	3383.67	10595.59
1D + 1L	181.73	7.33	43524.30	9125.36	13973.97
1D + 0,75L	165.50	10.70	42207.52	8144.42	13465.93
0,6D + 0,7Ex	2954.18	1369.38	74077.65	39603.35	15043.91
0,6D - 0,7Ex	2884.11	1356.89	28169.02	45845.28	713.70
0,6D + 0,7Ey	1068.59	1963.53	53842.21	21020.34	18107.24
0,6D - 0,7Ey	998.52	1951.04	7933.57	27262.28	3777.04
1D + 0,7Ex	2977.54	1373.54	89380.53	37522.70	19820.64
1D - 0,7Ex	2860.75	1352.73	12866.14	47925.93	4063.03

1D + 0,7Ey	1091.95	1967.69	69145.08	18939.70	22883.97
1D - 0,7Ey	975.16	1946.88	7369.30	29342.92	999.70
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	2247.75	1032.76	76599.70	26841.62	17850.94
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	2130.96	1011.94	85.31	37244.85	6032.73
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	833.56	1478.37	61423.11	12904.37	20148.44
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	716.77	1457.56	15091.28	23307.59	3735.23

Tabel 4.43 Pembebanan Pondasi Tipe 4

Kombinasi	HX (kN)	HY (kN)	P (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)
Dead	110.18	166.95	24932.28	312.51	894.70
1D + 1L	151.01	215.91	31533.75	440.96	1255.89
1D + 0,75L	144.50	209.47	30617.96	435.36	1181.81
0,6D + 0,7Ex	1033.06	1511.99	51446.48	13285.55	2218.93
0,6D - 0,7Ex	1083.05	1435.93	18001.75	12783.28	1067.45
0,6D + 0,7Ey	380.97	2796.28	52817.08	2703.28	1137.38
0,6D - 0,7Ey	430.97	2720.22	19372.35	2201.01	14.10
1D + 0,7Ex	1016.39	1537.34	62594.72	13452.98	2602.75
1D - 0,7Ex	1099.71	1410.58	6853.50	12615.86	683.62
1D + 0,7Ey	364.31	2821.63	63965.33	2870.70	1521.20
1D - 0,7Ey	447.63	2694.87	8224.11	2033.58	397.93
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	751.88	1168.85	53913.70	10194.37	2191.96
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	835.20	1042.09	1827.53	9357.25	272.83
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	262.82	2132.07	54941.65	2257.66	1380.79
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	346.14	2005.30	799.57	1420.55	538.34

Tabel 4.44 Pembebanan Pondasi Tipe 5

Kombinasi	HX (kN)	HY (kN)	P (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)

Dead	198.69	212.13	24058.57	2381.04	126.07
1D + 1L	270.98	287.97	30202.56	4852.72	146.44
1D + 0,75L	260.17	274.67	29394.05	4533.69	145.05
0,6D + 0,7Ex	3560.53	1631.73	68916.69	20495.52	2323.32
0,6D - 0,7Ex	3423.88	1772.59	36554.48	24787.45	2154.27
0,6D + 0,7Ey	2209.29	2128.63	60920.02	30194.88	1113.91
0,6D - 0,7Ey	2072.63	2269.48	28557.82	34486.81	944.86
1D + 0,7Ex	3155.32	1584.78	71704.09	19064.88	2379.67
1D - 0,7Ex	3378.32	1819.54	25767.08	26218.10	2097.92
1D + 0,7Ey	2254.84	2081.68	71707.42	28764.23	1170.26
1D - 0,7Ey	2027.08	2316.43	17770.42	35917.45	888.51
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	2733.03	1159.24	66520.19	13404.51	1819.97
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	2505.27	1394.00	12583.19	20557.72	1538.22
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	1719.60	1531.91	60522.69	20679.02	912.91
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	1491.84	1766.67	6585.69	27832.24	631.16

4.7.2.2. Data Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Data perencanaan untuk tiang pancang yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Diameter : 800 mm
- Tebal : 120 mm
- Kelas : A1
- Luas Penampang : 2563,54 cm^2
- Berat : 641 kg/m
- *Bending Moment Crack* : 40 ton.m
- *Bending Moment Break* : 60 ton.m
- *Allowable Compression* : 415 ton
- f'_c : 52 MPa

4.7.2.3. Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Nilai SPT

Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh daya dukung perlawanan tanah pada ujung tiang pondasi (Q_p) dan daya dukung tanah dari lekatan lateral tanah (Q_s) sehingga daya dukung total dari tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Selain ditinjau berdasarkan kekuatan tanah dimana tiang tersebut ditanam, daya dukung tiang juga ditinjau berdasarkan kekuatan dari material tiang tersebut. Dari kedua nilai daya dukung tersebut, nilai yang lebih kritis akan digunakan sebagai acuan untuk kontrol perencanaan tiang pancang.

Selain itu, perhitungan daya dukung tiang pancang ditinjau pula dalam dua keadaan, yaitu daya dukung tiang pancang tunggal dan daya dukung tiang pancang yang bekerja sebagai *group*.

Untuk menghitung daya dukung tiang pancang, data nilai SPT yang didapatkan di lapangan tidak dapat langsung digunakan untuk perencanaan. Nilai tersebut harus dikoreksi terlebih dahulu. Metode pengoreksian nilai SPT menggunakan teori dari Terzaghi Bazaara 1960, dengan perhitungan sebagai berikut.

1. Koreksi Terhadap Muka Air Tanah

   Untuk tanah berpasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung, yang berada di bawah muka air tanah dan hanya bila N > 15 maka akan dikoreksi sebesar:

   a. $N_1 = 15 + ½(N – 15)$
   b. $N_1 = 0{,}6\ N$

   Dari kedua nilai koreksi tersebut kemudian dipilih N_1 yang terkecil.
2. Koreksi Terhadap *Overburden Pressure* dari Tanah

Nilai N_1 dikoreksi lagi akibat pengaruh tekanan tanah vertikal pada kedalaman tersebut dengan rumus sebagai berikut:

$N_2 = \frac{4N_1}{1+0,4P_o}$ untuk $P_o \leq 7,5$ ton/m^2

$N_2 = \frac{4N_1}{3,25+0,1P_o}$ untuk $P_o > 7,5$ ton/m^2

Nilai N_2 yang didapatkan diambil tidak lebih dari $2N_1$.

3. Perhitungan Daya Dukung Satu Tiang Pancang

Perhitungan daya dukung untuk satu tiang pancang didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{ult} = C_n \text{ x } A_{ujung} + \Sigma C_{li}\, A_{si}$$

dimana:

C_{li} = hambatan geser selimut tiang
= $\frac{N_i}{2}$ untuk tanah lempung atau lanau
= $\frac{N_i}{5}$ untuk tanah berpasir

A_{si} = Luas selimut tiang

C_n = $40\overline{N}$

$\overline{N}$ = Nilai rerata N_i sepanjang 4D di bawah ujung tiang sampai 8D di atas ujung tiang.

Daya dukung ijin dari satu tiang pancang merupakan daya dukung tiang dibagi dengan suatu faktor keamanan. Pada perencanaan ini diambil faktor keamanan sebesar 3 untuk perencanaan jangka panjang.

$$P_{ijin} = \frac{P_{ult}}{3}$$

Hasil perhitungan daya dukung tiang pancang untuk setiap kedalaman 1 meter pada lokasi pembangunan Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis UHAMKA disajikan pada Tabel 4.45.

Tabel 4.45 Daya Dukung Tiang Pancang

Kedalaman (m)	N	$C_{n\ ujung}$	$\sum C_{li}.A_{si}$ (ton)	P_{ult} (ton)	P_{ijin} (t)
2	13.00	876.11	16.34	456.72	152.24

3	10.50	843.69	45.87	469.95	156.65
4	8.00	787.25	69.12	464.83	154.94
5	11.00	737.07	92.99	463.48	154.49
6	14.00	692.16	122.22	470.14	156.71
7	11.00	656.12	148.33	478.13	159.38
8	8.00	626.50	166.08	480.99	160.33
9	7.50	602.39	179.19	481.98	160.66
10	7.00	544.98	190.47	464.41	154.80
11	7.50	502.18	200.92	453.34	151.11
12	8.00	474.04	211.32	449.59	149.86
13	8.50	427.07	221.80	436.47	145.49
14	9.00	372.85	232.61	420.02	140.01
15	8.50	341.62	243.25	414.97	138.32
16	8.00	327.95	253.13	417.97	139.32
17	8.50	322.10	262.85	424.75	141.58
18	9.00	323.15	273.00	435.43	145.14
19	8.50	345.55	283.00	456.69	152.23
20	8.00	399.44	292.29	493.07	164.36
21	9.00	520.60	301.72	563.40	187.80
22	10.00	653.57	312.10	640.62	213.54
23	29.50	788.04	318.05	714.16	238.05
24	49.00	923.97	327.96	792.40	264.13
25	55.00	1063.23	345.35	879.79	293.26
26	61.00	1205.69	368.84	974.88	324.96
27	62.00	1350.05	393.26	1071.86	357.29
28	63.00	1496.27	417.59	1169.70	389.90
29	66.00	1639.90	442.23	1266.53	422.18
30	69.00	1781.04	467.53	1362.78	454.26

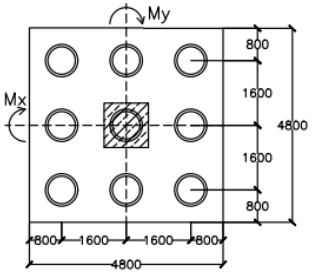
Pada perencanaan tugas akhir ini, digunakan tiang pancang sepanjang 24 m menggunakan 2 segmen tiang pancang 12 m yang disambung. Sehingga daya dukung yang digunakan berada pada kedalaman 30 m dengan nilai 454,26 ton sedangkan daya dukung tiang pancang berdasarkan brosur adalah sebesar 415 ton.

4.7.2.4. Konfigurasi Tiang Pancang

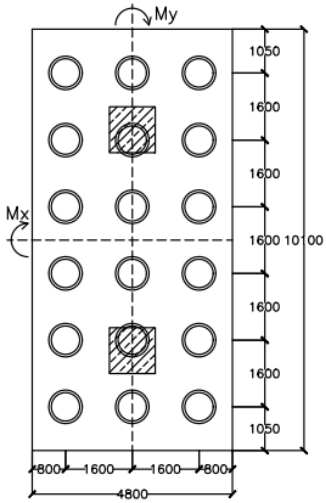
Terdapat lima tipe susunan tiang pancang yang akan direncanakan pada tugas akhir ini. Jumlah tiang pancang direncanakan jaraknya sesuai dengan yang diijinkan. Tebal poer yang direncanakan untuk satu grup tiang pancang adalah sebesar 1,5 meter. Jarak dalam konfigurasi satu grup tiang pancang dibatasi dengan perhitungan berikut:

Jarak antar tiang $\geq 2D$
≥ 1600 mm
Jarak tepi tiang $\geq D$
≥ 800 mm

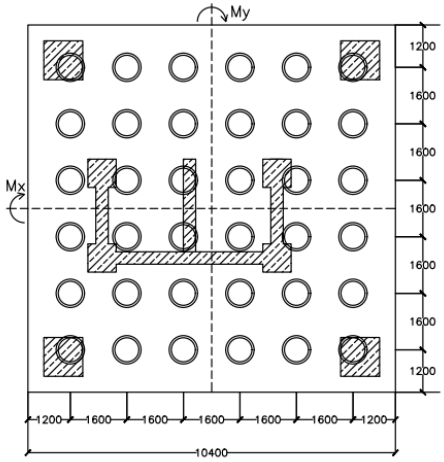
Kelima tipe konfigurasi tiang pancang ditunjukkan pada Gambar 4.42, Gambar 4.43, Gambar 4.44, Gambar 4.45, dan Gambar 4.46



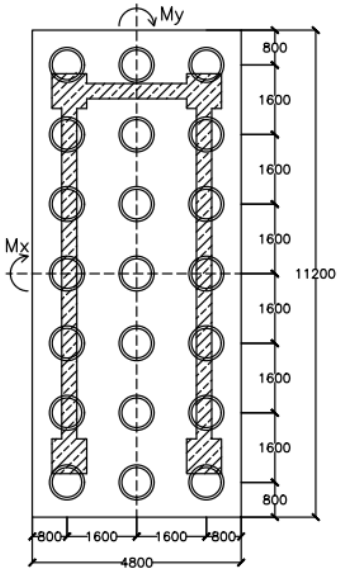
Gambar 4.42 Konfigurasi Tiang Pancang Tipe 1



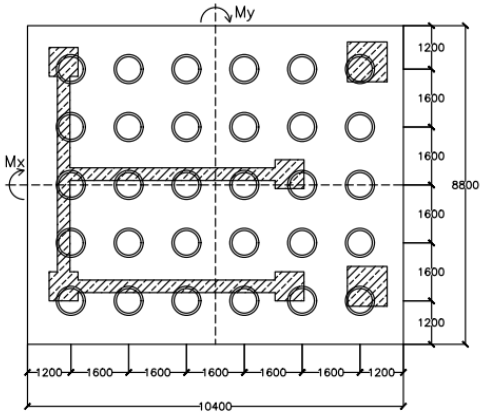
Gambar 4.43 Konfigurasi Tiang Pancang Tipe 2



Gambar 4.44 Konfigurasi Tiang Pancang Tipe 3



Gambar 4.45 Konfigurasi Tiang Pancang Tipe 4



Gambar 4.46 Konfigurasi Tiang Pancang Tipe 5

4.7.2.5. Kontrol Kekuatan Satu Tiang Pancang

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam kelompok dihitunga berdasarkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada tiang. Momen pada tiang dapat menyebabkan gaya tekan atau tarik, namun yang diperhitungka hanya gaya tekan karena gaya tarik dianggap lebih kecil dari beban gravitasi struktur. Pada subbab ini akan dicontohkan perhitungan beban maksimum yang terjadi pada pondasi tipe satu dengan kombinasi beban 1D + 0,7Ex dimana kombinasi tersebut menghasilkan beban aksial yang paling besar.

P_{ijin} = 415 ton

P = 1149,6 ton

n = 9 tiang

$M_x = M_x + (H_y \times t_{poer})$

$= 19{,}804 + (9{,}397 \times 1{,}5)$

$= 33{,}89$ ton.m

$M_y = M_y + (H_x \times t_{poer})$

$= 108{,}2 + (31{,}39 \times 1{,}5)$

$= 149{,}92$ ton.m

x_{max} = 1,6 m

y_{max} = 1,6 m

$$P = \frac{P}{n} \pm \frac{M_y\, x_{max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x\, y_{max}}{\sum y^2}$$

$$P_{(++)} = \frac{1149{,}6}{9} + \frac{149{,}92(1{,}6)}{1{,}6^2} + \frac{33{,}89(1{,}6)}{1{,}6^2}$$

$= 146{,}88$ ton $\leq P_{ijin}$ (OK)

$$P_{(+-)} = \frac{1149{,}6}{9} + \frac{149{,}92(1{,}6)}{1{,}6^2} - \frac{33{,}89(1{,}6)}{1{,}6^2}$$

$= 115{,}64$ ton $\leq P_{ijin}$ (OK)

$$P_{(-+)} = \frac{1149{,}6}{9} - \frac{149{,}92(1{,}6)}{1{,}6^2} + \frac{33{,}89(1{,}6)}{1{,}6^2}$$

$= 139{,}81$ ton $\leq P_{ijin}$ (OK)

$$P_{(--)} = \frac{1149{,}6}{9} - \frac{149{,}92(1{,}6)}{1{,}6^2} - \frac{33{,}89(1{,}6)}{1{,}6^2}$$

$= 108{,}58$ ton $\leq P_{ijin}$ (OK)

Rekapitulasi perhitungan kekuatan tiang pancang akan ditunjukkan pada Tabel 4.46, Tabel 4.47, Tabel 4.48. Tabel 4.49, dan Tabel 4.50.

Tabel 4.46 Daya Dukung 1 Tiang Pondasi Tipe 1

Kombinasi	P_{max} (+ +) (ton)	P_{max} (+ -) (ton)	P_{max} (- +) (ton)	P_{max} (- -) (ton)	P_{ijin} (ton)	Kontrol
Dead	82.26	80.96	81.79	80.49	415.00	OK
1D + 1L	113.66	111.74	113.11	111.19	415.00	OK
1D + 0,75L	109.20	107.40	108.65	106.85	415.00	OK
0,6D + 0,7Ex	109.28	77.47	102.12	70.31	415.00	OK
0,6D - 0,7Ex	44.49	10.95	37.05	3.52	415.00	OK
0,6D + 0,7Ey	97.17	86.13	78.41	67.38	415.00	OK
0,6D - 0,7Ey	47.43	34.67	28.39	15.63	415.00	OK
1D + 0,7Ex	146.88	115.64	139.81	108.58	415.00	OK
1D - 0,7Ex	82.76	48.65	75.23	41.11	415.00	OK
1D + 0,7Ey	134.76	124.31	116.10	105.64	415.00	OK
1D - 0,7Ey	85.70	72.36	66.56	53.23	415.00	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	133.66	110.59	128.42	105.35	415.00	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	85.99	60.04	80.28	54.33	415.00	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	124.57	117.09	110.63	103.15	415.00	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	88.19	77.83	73.78	63.42	415.00	OK

Tabel 4.47 Daya Dukung 1 Tiang Pondasi Tipe 2

Kombinasi	P_{max} (+ +) (ton)	P_{max} (+ -) (ton)	P_{max} (- +) (ton)	P_{max} (- -) (ton)	P_{ijin} (ton)	Kontrol
Dead	77.50	76.65	68.85	68.01	415.00	OK
1D + 1L	109.09	107.92	93.38	92.21	415.00	OK
1D + 0,75L	104.84	103.72	89.97	88.86	415.00	OK
0,6D + 0,7Ex	102.30	74.99	62.30	34.99	415.00	OK
0,6D - 0,7Ex	75.52	47.06	20.72	-7.74	415.00	OK
0,6D + 0,7Ey	74.97	66.24	58.12	49.39	415.00	OK
0,6D - 0,7Ey	48.73	38.85	41.86	31.99	415.00	OK
1D + 0,7Ex	133.82	106.89	98.75	71.82	415.00	OK
1D - 0,7Ex	112.36	83.51	52.63	23.78	415.00	OK
1D + 0,7Ey	111.35	103.00	89.71	81.36	415.00	OK

1D - 0,7Ey	85.56	75.30	73.77	63.51	415.00	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	120.06	100.11	96.85	76.89	415.00	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	107.29	85.42	59.41	37.54	415.00	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	106.25	100.23	87.03	81.00	415.00	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	87.19	79.26	75.27	67.33	415.00	OK

Tabel 4.48 Daya Dukung 1 Tiang Pondasi Tipe 3

Kombinasi	P_{max} (+ +) (ton)	P_{max} (+ -) (ton)	P_{max} (- +) (ton)	P_{max} (- -) (ton)	P_{ijin} (ton)	Kontrol
Dead	120.59	78.57	107.28	65.26	415.00	OK
1D + 1L	166.57	110.92	130.88	75.23	415.00	OK
1D + 0,75L	159.97	106.40	128.09	74.52	415.00	OK
0,6D + 0,7Ex	325.17	249.10	162.45	86.37	415.00	OK
0,6D - 0,7Ex	181.61	161.92	-5.43	-25.11	415.00	OK
0,6D + 0,7Ey	234.87	157.87	141.25	64.26	415.00	OK
0,6D - 0,7Ey	91.30	70.70	-26.62	-47.23	415.00	OK
1D + 0,7Ex	373.03	278.15	218.40	123.53	415.00	OK
1D - 0,7Ex	149.62	116.99	-45.51	-78.15	415.00	OK
1D + 0,7Ey	282.72	186.93	197.21	101.42	415.00	OK
1D - 0,7Ey	88.29	78.67	-37.73	-47.35	415.00	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	309.68	226.78	198.78	115.88	415.00	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	93.97	57.92	-57.45	-93.50	415.00	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	241.95	158.36	182.88	99.29	415.00	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	101.11	82.32	1.52	-17.27	415.00	OK

Tabel 4.49 Daya Dukung 1 Tiang Pondasi Tipe 4

Kombinasi	P_{max} (+ +) (ton)	P_{max} (+ -) (ton)	P_{max} (- +) (ton)	P_{max} (- -) (ton)	P_{ijin} (ton)	Kontrol
Dead	125.11	115.65	121.80	112.34	415.00	OK
1D + 1L	159.03	145.79	154.53	141.29	415.00	OK
1D + 0,75L	154.25	141.76	149.84	137.35	415.00	OK
0,6D + 0,7Ex	307.55	273.90	216.07	182.42	415.00	OK
0,6D - 0,7Ex	141.67	117.63	53.81	29.78	415.00	OK

0,6D + 0,7Ey	279.42	264.17	238.85	223.60	415.00	OK
0,6D - 0,7Ey	113.67	107.77	76.73	70.83	415.00	OK
1D + 0,7Ex	362.84	325.99	270.15	233.30	415.00	OK
1D - 0,7Ex	86.38	65.54	-0.27	-21.10	415.00	OK
1D + 0,7Ey	334.72	316.26	292.94	274.48	415.00	OK
1D - 0,7Ey	61.80	52.26	26.07	16.52	415.00	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	306.69	277.05	236.42	206.78	415.00	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	47.63	34.01	-16.60	-30.22	415.00	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	285.60	269.75	253.51	237.66	415.00	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	21.55	12.11	-4.49	-13.94	415.00	OK

Tabel 4.50 Daya Dukung 1 Tiang Pondasi Tipe 5

Kombinasi	P_{max} (+ +) (ton)	P_{max} (+ -) (ton)	P_{max} (- +) (ton)	P_{max} (- -) (ton)	P_{ijin} (ton)	Kontrol
Dead	87.93	85.96	74.43	72.47	415.00	OK
1D + 1L	115.17	112.61	88.74	86.18	415.00	OK
1D + 0,75L	111.58	109.11	86.86	84.38	415.00	OK
0,6D + 0,7Ex	274.34	269.34	190.11	154.62	415.00	OK
0,6D - 0,7Ex	207.34	173.59	70.11	36.36	415.00	OK
0,6D + 0,7Ey	267.11	276.29	129.85	109.35	415.00	OK
0,6D - 0,7Ey	199.30	180.54	9.85	-8.92	415.00	OK
1D + 0,7Ex	405.20	412.28	201.87	168.94	415.00	OK
1D - 0,7Ex	174.85	141.67	30.11	-3.06	415.00	OK
1D + 0,7Ey	409.20	408.02	169.85	148.77	415.00	OK
1D - 0,7Ey	166.81	148.62	-30.15	-48.34	415.00	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	273.30	245.89	197.58	170.17	415.00	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	110.83	86.31	-2.42	-26.94	415.00	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	267.27	251.10	152.38	136.22	415.00	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	104.80	91.52	-47.61	-60.89	415.00	OK

4.7.2.6. Kontrol Kekuatan Tiang Pancang dalam *Group*

Perhitungan daya dukung tiang pancang dalam *group* diperlukan faktor koreksi dengan koefisien efisiensi

berdasarkan *Seileer-Keeney Formula*. Pada subbab ini akan dicontohkan perhitungan daya dukung tiang pancang *group* pada pondasi tipe satu dengan kombinasi beban 1D + 0,7Ex dimana kombinasi tersebut menghasilkan beban aksial yang paling besar.

m = 3
n = 3
s = 1,6
P = 1149,6 ton
P_{ijin} = 415 ton
ŋ $= \left(1 - \frac{36s\,(m+1-2)}{(75s^2-7)(m+n-1)}\right) + \frac{0,3}{m+n}$
$= 0,80$
Q $= m \times n \times P_{ijin} \times ŋ$
$= 3 \times 3 \times 415 \times 0,8$
$= 2991,43$ ton > P (OK)

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan rekapitulasi perhitungan kekuatan tiang pancang dalam *group* yang akan ditunjukkan pada Tabel 4.51, Tabel 4.52, Tabel 4.53, Tabel 4.54, dan Tabel 4.55.

Tabel 4.51 Daya Dukung Tiang Pancang *Group* Tipe 1

Kombinasi	P (ton)	ŋ	n	P_{ijin} (ton)	Q_l (ton)	Kontrol
Dead	732.39	0.80	9	415.00	2991.43	OK
1D + 1L	1011.83	0.80	9	415.00	2991.43	OK
1D + 0,75L	972.25	0.80	9	415.00	2991.43	OK
0,6D + 0,7Ex	808.16	0.80	9	415.00	2991.43	OK
0,6D - 0,7Ex	216.03	0.80	9	415.00	2991.43	OK
0,6D + 0,7Ey	740.44	0.80	9	415.00	2991.43	OK
0,6D - 0,7Ey	283.75	0.80	9	415.00	2991.43	OK
1D + 0,7Ex	1149.56	0.80	9	415.00	2991.43	OK
1D - 0,7Ex	557.43	0.80	9	415.00	2991.43	OK
1D + 0,7Ey	1081.83	0.80	9	415.00	2991.43	OK
1D - 0,7Ey	625.15	0.80	9	415.00	2991.43	OK

1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	1075.54	0.80	9	415.00	2991.43	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	631.44	0.80	9	415.00	2991.43	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	1024.75	0.80	9	415.00	2991.43	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	682.24	0.80	9	415.00	2991.43	OK

Tabel 4.52 Daya Dukung Tiang Pancang *Group* Tipe 2

Kombinasi	P (ton)	ŋ	n	P_{ijin} (ton)	Q_l (ton)	Kontrol
Dead	1309.54	0.76	18	415.00	5683.93	OK
1D + 1L	1811.68	0.76	18	415.00	5683.93	OK
1D + 0,75L	1743.27	0.76	18	415.00	5683.93	OK
0,6D + 0,7Ex	1235.56	0.76	18	415.00	5683.93	OK
0,6D - 0,7Ex	610.06	0.76	18	415.00	5683.93	OK
0,6D + 0,7Ey	1119.20	0.76	18	415.00	5683.93	OK
0,6D - 0,7Ey	726.42	0.76	18	415.00	5683.93	OK
1D + 0,7Ex	1850.77	0.76	18	415.00	5683.93	OK
1D - 0,7Ex	1225.27	0.76	18	415.00	5683.93	OK
1D + 0,7Ey	1734.41	0.76	18	415.00	5683.93	OK
1D - 0,7Ey	1341.63	0.76	18	415.00	5683.93	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	1772.58	0.76	18	415.00	5683.93	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	1303.46	0.76	18	415.00	5683.93	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	1685.31	0.76	18	415.00	5683.93	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	1390.73	0.76	18	415.00	5683.93	OK

Tabel 4.53 Daya Dukung Tiang Pancang *Group* Tipe 3

Kombinasi	P (ton)	ŋ	n	P_{ijin} (ton)	Q_l (ton)	Kontrol
Dead	3345.17	0.74	36	415.00	11084.78	OK
1D + 1L	4352.43	0.74	36	415.00	11084.78	OK
1D + 0,75L	4220.75	0.74	36	415.00	11084.78	OK
0,6D + 0,7Ex	7407.77	0.74	36	415.00	11084.78	OK
0,6D - 0,7Ex	2816.90	0.74	36	415.00	11084.78	OK
0,6D + 0,7Ey	5384.22	0.74	36	415.00	11084.78	OK

0,6D - 0,7Ey	793.36	0.74	36	415.00	11084.78	OK
1D + 0,7Ex	8938.05	0.74	36	415.00	11084.78	OK
1D - 0,7Ex	1286.61	0.74	36	415.00	11084.78	OK
1D + 0,7Ey	6914.51	0.74	36	415.00	11084.78	OK
1D - 0,7Ey	736.93	0.74	36	415.00	11084.78	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	7659.97	0.74	36	415.00	11084.78	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	8.53	0.74	36	415.00	11084.78	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	6142.31	0.74	36	415.00	11084.78	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	1509.13	0.74	36	415.00	11084.78	OK

Tabel 4.54 Daya Dukung Tiang Pancang *Group* Tipe 4

Kombinasi	P (ton)	ŋ	n	P_{ijin} (ton)	Q_l (ton)	Kontrol
Dead	2493.23	0.75	21	415.00	6564.51	OK
1D + 1L	3153.37	0.75	21	415.00	6564.51	OK
1D + 0,75L	3061.80	0.75	21	415.00	6564.51	OK
0,6D + 0,7Ex	5144.65	0.75	21	415.00	6564.51	OK
0,6D - 0,7Ex	1800.17	0.75	21	415.00	6564.51	OK
0,6D + 0,7Ey	5281.71	0.75	21	415.00	6564.51	OK
0,6D - 0,7Ey	1937.23	0.75	21	415.00	6564.51	OK
1D + 0,7Ex	6259.47	0.75	21	415.00	6564.51	OK
1D - 0,7Ex	685.35	0.75	21	415.00	6564.51	OK
1D + 0,7Ey	6396.53	0.75	21	415.00	6564.51	OK
1D - 0,7Ey	822.41	0.75	21	415.00	6564.51	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	5391.37	0.75	21	415.00	6564.51	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	182.75	0.75	21	415.00	6564.51	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	5494.16	0.75	21	415.00	6564.51	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	79.96	0.75	21	415.00	6564.51	OK

Tabel 4.55 Daya Dukung Tiang Pancang *Group* Tipe 5

Kombinasi	P (ton)	ŋ	n	P_{ijin} (ton)	Q_l (ton)	Kontrol
Dead	2405.86	0.75	30	415.00	9300.85	2405.86

1D + 1L	3020.26	0.75	30	415.00	9300.85	3020.26
1D + 0,75L	2939.40	0.75	30	415.00	9300.85	2939.40
0,6D + 0,7Ex	6891.67	0.75	30	415.00	9300.85	6891.67
0,6D - 0,7Ex	3655.45	0.75	30	415.00	9300.85	3655.45
0,6D + 0,7Ey	6092.00	0.75	30	415.00	9300.85	6092.00
0,6D - 0,7Ey	2855.78	0.75	30	415.00	9300.85	2855.78
1D + 0,7Ex	7170.41	0.75	30	415.00	9300.85	7170.41
1D - 0,7Ex	2576.71	0.75	30	415.00	9300.85	2576.71
1D + 0,7Ey	7170.74	0.75	30	415.00	9300.85	7170.74
1D - 0,7Ey	1777.04	0.75	30	415.00	9300.85	1777.04
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	6652.02	0.75	30	415.00	9300.85	6652.02
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	1258.32	0.75	30	415.00	9300.85	1258.32
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	6052.27	0.75	30	415.00	9300.85	6052.27
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	658.57	0.75	30	415.00	9300.85	658.57

4.7.2.7. Kontrol Kekuatan Tiang Pancang terhadap Gaya Lateral

Gaya lateral yang bekerja pada tiang dapat menyebabkan terjadinya defleksi dan momen. Oleh karena itu perlu dilakukan kontrol terhadap defleksi dan momen yang terjadi pada tiang. Pada subbab ini, akan dicontohkan perhitungan kontrol gaya lateral pada pondasi tipe 1 dengan kombinasi beban 1D - 0,7Ex dimana kombinasi tersebut menghasilkan gaya lateral paling besar.

1. Kontrol Defleksi

   n = 9 tiang

   H_{max} = 370,273 kN

   $P = \frac{H_{max}}{n}$

   $= \frac{370{,}273}{9}$

   = 41,14 kN

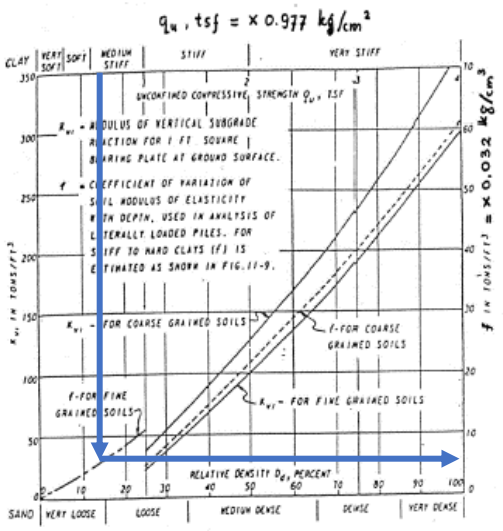
   C_u = 0,23 kg/cm^2

   $Q_u = 2C_u$

   = 0,46 kg/cm^2

$= 0{,}47\ t/ft^2$

Berdasarkan nilai $Q_u = 0{,}47\ t/ft^2$ didapatkan nilai f dari grafik *immediate settlement of isolate footing* pada Gambar 4.47.



Gambar 4.47 Grafik *Immediate Settlement of Isolate Footing*

Dari grafik di atas, didapatkan nilai f sebesar 5 t/ft^3.

f $= 5\ t/ft^3$

$= 0{,}16\ kg/cm^3$

E $= 4700\sqrt{f'_c}$

$= 4700\sqrt{52}$

$= 338921{,}82\ kg/cm^2$

I $= 1527869{,}6\ cm^4$

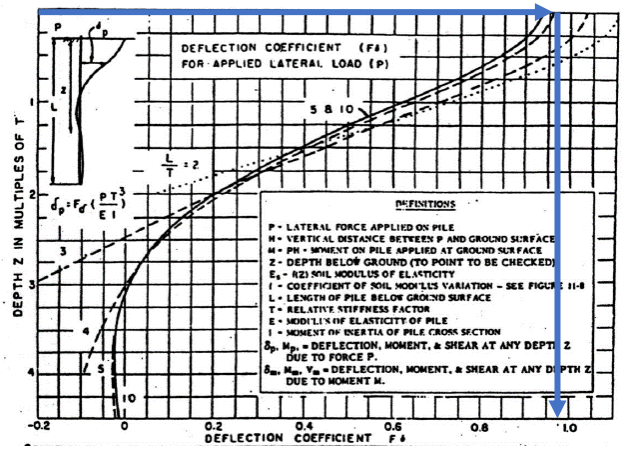
T $= \left(\frac{EI}{f}\right)^{\frac{1}{5}}$

$= \left(\frac{338921{,}82 \times 1527869{,}6}{0{,}16}\right)^{\frac{1}{5}}$

$= 317{,}7\ cm$

L = 24 m
= 2400 cm
L/T = 7,55

Berdasarkan nilai z = 0 m pada pangkal tiang pancang dan L/T = 7,55 dan didapatkan nilai koefisien defleksi dari grafik *influence value for laterally loaded pile* pada Gambar 4.48.



Gambar 4.48 Grafik *Influence Value for Laterally Loaded Pile*

Dari grafik di atas, didapatkan nilai koefisien defleksi sebesar 0,97 sehingga nilai defleksi pada tiang pancang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Fδ = 0,97

$$\delta = F_\delta \left(\frac{PT^3}{EI}\right)$$

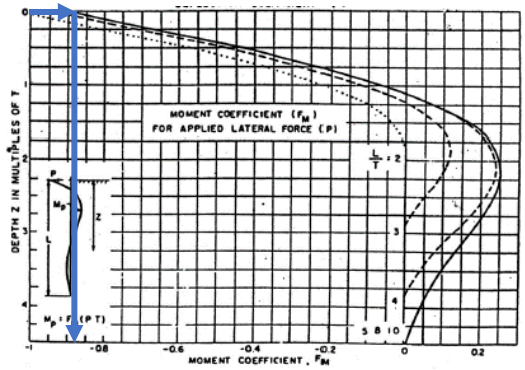
$$= 0{,}97 \left(\frac{4114 \times 317{,}7^3}{338921{,}82 \times 1527869{,}6}\right)$$

= 0,247 cm < 2,5 cm (OK)

2. Kontrol Momen

Berdasarkan nilai z = 0 m pada pangkal tiang pancang dan L/T = 7,55 dan didapatkan nilai koefisien momen dari

grafik *influence value for laterally loaded pile* pada Gambar 4.49.



Gambar 4.49 Grafik *Influence Value for Laterally Loaded Pile*

Dari grafik di atas, didapatkan nilai koefisien momen sebesar 0,88 sehingga momen pada tiang pancang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Fm = 0,88

M_{crack} = 40 ton.m

M = Fm (PT)

= 0,88 (4,14 x 3,177)

= 11,5 ton.m < M_{crack} (OK)

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan rekapitulasi perhitungan kekuatan tiang pancang terhadap gaya lateral yang akan disajikan pada Tabel 4.56, Tabel 4.57, Tabel 4.58, Tabel 4.59, dan Tabel 4.60.

Tabel 4.56 Kontrol Gaya Lateral Pondasi Tipe 1

Kombinasi	H_{max} (kN)	$H_{max\ 1\ tiang}$ (kN)	δ	Kontrol	M_{max} (ton.m)	Kontrol
Dead	26.34	2.93	0.02	OK	0.82	OK
1D + 1L	39.28	4.36	0.03	OK	1.22	OK
1D + 0,75L	36.50	4.06	0.02	OK	1.13	OK

0,6D + 0,7Ex	325.21	36.13	0.22	OK	10.10	OK
0,6D - 0,7Ex	359.01	39.89	0.24	OK	11.15	OK
0,6D + 0,7Ey	223.66	24.85	0.15	OK	6.95	OK
0,6D - 0,7Ey	217.37	24.15	0.15	OK	6.75	OK
1D + 0,7Ex	313.95	34.88	0.21	OK	9.75	OK
1D - 0,7Ex	370.27	41.14	0.25	OK	11.50	OK
1D + 0,7Ey	225.76	25.08	0.15	OK	7.01	OK
1D - 0,7Ey	215.28	23.92	0.14	OK	6.69	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	228.42	25.38	0.15	OK	7.10	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	284.75	31.64	0.19	OK	8.85	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	170.63	18.96	0.11	OK	5.30	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	160.15	17.79	0.11	OK	4.97	OK

Tabel 4.57 Kontrol Gaya Lateral Pondasi Tipe 2

Kombinasi	H_{max} (kN)	$H_{max\ 1\ tiang}$ (kN)	δ	Kontrol	M_{max} (ton.m)	Kontrol
Dead	27.96	1.55	0.01	OK	0.43	OK
1D + 1L	38.82	2.16	0.01	OK	0.60	OK
1D + 0,75L	36.81	2.05	0.01	OK	0.57	OK
0,6D + 0,7Ex	601.68	33.43	0.20	OK	9.35	OK
0,6D - 0,7Ex	638.62	35.48	0.21	OK	9.92	OK
0,6D + 0,7Ey	403.84	22.44	0.13	OK	6.27	OK
0,6D - 0,7Ey	422.45	23.47	0.14	OK	6.56	OK
1D + 0,7Ex	589.37	32.74	0.20	OK	9.15	OK
1D - 0,7Ex	650.93	36.16	0.22	OK	10.11	OK
1D + 0,7Ey	397.64	22.09	0.13	OK	6.18	OK
1D - 0,7Ey	428.65	23.81	0.14	OK	6.66	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	434.34	24.13	0.14	OK	6.75	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	495.89	27.55	0.17	OK	7.70	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	294.35	16.35	0.10	OK	4.57	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	325.37	18.08	0.11	OK	5.05	OK

Tabel 4.58 Kontrol Gaya Lateral Pondasi Tipe 3

Kombinasi	H_{max} (kN)	$H_{max\ 1\ tiang}$ (kN)	δ	Kontrol	M_{max} (ton.m)	Kontrol
Dead	107.61	2.99	0.02	OK	0.84	OK
1D + 1L	181.73	5.05	0.03	OK	1.41	OK
1D + 0,75L	165.50	4.60	0.03	OK	1.29	OK
0,6D + 0,7Ex	2954.18	82.06	0.49	OK	22.94	OK
0,6D - 0,7Ex	2884.11	80.11	0.48	OK	22.40	OK
0,6D + 0,7Ey	1963.53	54.54	0.33	OK	15.25	OK
0,6D - 0,7Ey	1951.04	54.20	0.33	OK	15.15	OK
1D + 0,7Ex	2977.54	82.71	0.50	OK	23.12	OK
1D - 0,7Ex	2860.75	79.47	0.48	OK	22.22	OK
1D + 0,7Ey	1967.69	54.66	0.33	OK	15.28	OK
1D - 0,7Ey	1946.88	54.08	0.32	OK	15.12	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	2247.75	62.44	0.38	OK	17.46	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	2130.96	59.19	0.36	OK	16.55	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	1478.37	41.07	0.25	OK	11.48	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	1457.56	40.49	0.24	OK	11.32	OK

Tabel 4.59 Kontrol Gaya Lateral Pondasi Tipe 4

Kombinasi	H_{max} (kN)	$H_{max\ 1\ tiang}$ (kN)	δ	Kontrol	M_{max} (ton.m)	Kontrol
Dead	166.95	7.95	0.05	OK	2.22	OK
1D + 1L	215.91	10.28	0.06	OK	2.87	OK
1D + 0,75L	209.47	9.97	0.06	OK	2.79	OK
0,6D + 0,7Ex	1511.99	72.00	0.43	OK	20.13	OK
0,6D - 0,7Ex	1435.93	68.38	0.41	OK	19.12	OK
0,6D + 0,7Ey	2796.28	133.16	0.80	OK	37.23	OK
0,6D - 0,7Ey	2720.22	129.53	0.78	OK	36.21	OK
1D + 0,7Ex	1537.34	73.21	0.44	OK	20.47	OK
1D - 0,7Ex	1410.58	67.17	0.40	OK	18.78	OK
1D + 0,7Ey	2821.63	134.36	0.81	OK	37.56	OK
1D - 0,7Ey	2694.87	128.33	0.77	OK	35.88	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	1168.85	55.66	0.33	OK	15.56	OK

1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	1042.09	49.62	0.30	OK	13.87	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	2132.07	101.53	0.61	OK	28.38	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	2005.30	95.49	0.57	OK	26.70	OK

Tabel 4.60 Kontrol Gaya Lateral Pondasi Tipe 5

Kombinasi	H_{max} (kN)	$H_{max\ 1\ tiang}$ (kN)	δ	Kontrol	M_{max} (ton.m)	Kontrol
Dead	212.13	7.07	0.04	OK	1.98	OK
1D + 1L	287.97	9.60	0.06	OK	2.68	OK
1D + 0,75L	274.67	9.16	0.05	OK	2.56	OK
0,6D + 0,7Ex	3560.53	118.68	0.71	OK	33.18	OK
0,6D - 0,7Ex	3423.88	114.13	0.69	OK	31.91	OK
0,6D + 0,7Ey	2209.29	73.64	0.44	OK	20.59	OK
0,6D - 0,7Ey	2269.48	75.65	0.45	OK	21.15	OK
1D + 0,7Ex	3155.32	105.18	0.63	OK	29.40	OK
1D - 0,7Ex	3378.32	112.61	0.68	OK	31.48	OK
1D + 0,7Ey	2254.84	75.16	0.45	OK	21.01	OK
1D - 0,7Ey	2316.43	77.21	0.46	OK	21.59	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ex)	2733.03	91.10	0.55	OK	25.47	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ex)	2505.27	83.51	0.50	OK	23.35	OK
1D + 0,75L + 0,75(0,7Ey)	1719.60	57.32	0.34	OK	16.03	OK
1D + 0,75L - 0,75(0,7Ey)	1766.67	58.89	0.35	OK	16.46	OK

4.7.3. Perencanaan Poer

Poer direncanakan terhadap gaya geser ponds pada penampang kritis dan penulangan akibat momen lentur. Pada subbab ini akan dicontohkan perencanaan poer dari pondasi tipe 1.

4.7.3.1. Data Perencanaan Poer

Poer pada tipe pondasi 1 akan direncanakan berdasarkan data perencanaan sebagai berikut:

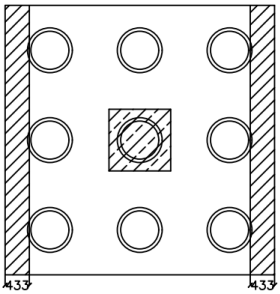
B_{kolom}	: 1100 mm
H_{kolom}	: 1100 mm
P_u	: 1522,54 ton
D_{pile}	: 800 mm
P_{max}	: 205,64 ton
n	: 9 tiang
B_{poer}	: 4800 mm
L_{poer}	: 4800 mm
t_{poer}	: 1500 mm
f'_c	: 45 MPa
f_y	: 420 MPa
$D_{tulangan}$	: 25 mm
Clear cover	: 70 mm
λ	: 1 untuk beton normal
α_s	: 40 untuk kolom interior
dx	: 1500 – 70 – 0,5(25)
	: 1417,5 mm
dy	: 1500 – 70 – 25 – 0,5(25)
	: 1392,5 mm

4.7.3.2. Kontrol Geser Poer

Dalam perencanaan kontrol geser poer, poer akan ditinjau kekuatannya terhadap 3 jenis geser. Diantaranya adalah geser pons satu arah, geser pons dua arah akibat kolom, dan geser pons dua arah akibat tiang pancang.

1. Geser Pons Satu Arah

   Geser pons satu arah direncanakan pada bidang kritis yang berada pada jarak d = 1417,5 mm dari muka kolom. Bidang geser pons satu arah pada pondasi tipe 1 digambarkan pada Gambar 4.50.



Gambar 4.50 Bidang Kritis Geser Pons Satu Arah Pondasi Tipe 1

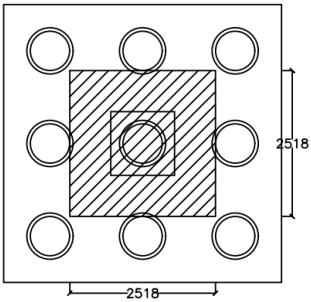
V_u = 2,4 x 1,5 x 4,8 x 0,433
= 7,482 ton

ϕV_c = $0{,}75\sqrt{f'_c}$ b d
= $0{,}75\sqrt{45}$ (4800) (1417,5)
= 34231964,67 N
= 3425,2 ton

ϕV_c > V_u (OK)

2. Geser Pons Dua Arah Akibat Kolom

Geser pons dua arah direncanakan pada bidang kritis yang berada pada jarak d/2 = 708,75 mm dari muka kolom. Bidang geser pons dua arah pada pondasi tipe 1 digambarkan pada Gambar 4.51.



Gambar 4.51 Bidang Kritis Geser Pons Dua Arah Akibat Kolom Pondasi Tipe 1

b_o = 10070 mm
a_1 = 2518 mm
b_1 = 2518 mm
P_u = 1522,4 ton
W_u = 2,4 x 4,8 x 4,8 x 1,5
= 82,94 ton
$P_{u\ punch}$ = 1545,35 ton
V_{c1} $= 0{,}17\left(1+\frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f_c'}b_o d$
$= 0{,}17\left(1+\frac{2}{1}\right)1\sqrt{45}(10070)(1417{,}5)$
= 48834750,26 N
V_{c2} $= 0{,}083\left(\frac{\alpha_s d}{b_o}+2\right)\lambda\sqrt{f_c'}b_o d$
$=0{,}083\left(\frac{40(1417{,}5)}{10070}+2\right)1\sqrt{45}(10070)(1417{,}5)$
= 60644968,25 N
V_{c3} $= 0{,}333\ \lambda\sqrt{f_c'}b_o d$
$= 0{,}333(1)\sqrt{45}(10070)(1417{,}5)$
= 31886219,29 N
$V_{c\ pakai}$ = 31886219,29 N
ϕV_c = 23914664,47 N
ϕV_c > $P_{u\ punch}$ (OK)

τ_u $= \frac{P_u}{U \times d}$

$= \frac{1545,35}{10070 \times 1417,5}$

$= 1,083$ MPa

τ_c $= 0,333\ \lambda \sqrt{f_c'}$

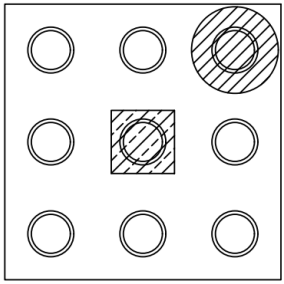
$= 0,333\ (1)\ \sqrt{45}$

$= 2,236$ MPa

τ_c $> \tau_u$ (OK)

3. Geser Ponds Dua Arah Akibat Tiang Pancang

Geser pons dua arah direncanakan pada bidang kritis yang berada pada jarak d/2 = 708,75 mm dari muka tiang. Bidang geser pons dua arah pada pondasi tipe 1 digambarkan pada Gambar 4.52.



Gambar 4.52 Bidang Kritis Geser Pons Dua Arah Akibat Tiang Pancang Pondasi Tipe 1

b_o = 4739,878 mm

P_{max} = 205,64 ton

P_u = 205,64 ton

V_{c1} $= \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f_c'} b_o d$

$= \left(1 + \frac{2}{1}\right) 1\sqrt{45}(4739,878)(1417,5)$

$= 135212780$ N

V_{c2} $= 0{,}083\left(\frac{\alpha_s d}{b_o}+2\right)\lambda\sqrt{f_c'}\,b_o d$

$= 0{,}083\left(\frac{40(1417{,}5)}{10070}+2\right)1\sqrt{45}(4739{,}8)(1417{,}5)$

$= 52231509{,}65$ N

V_{c3} $= 0{,}333\,\lambda\sqrt{f_c'}\,b_o d$

$= 0{,}333(1)\sqrt{45}(4739{,}878)(1417{,}5)$

$= 15008618{,}6$ N

$V_{c\ pakai}$ $= 15008618{,}6$ N

ϕV_c $= 11256463{,}95$ N

ϕV_c $> P_u$ (OK)

τ_u $= \frac{P_u}{U \times d}$

$= \frac{205{,}64}{4739{,}8 \times 1417{,}5}$

$= 0{,}31$ MPa

τ_c $= 0{,}333\,\lambda\sqrt{f_c'}$

$= 0{,}333\ (1)\ \sqrt{45}$

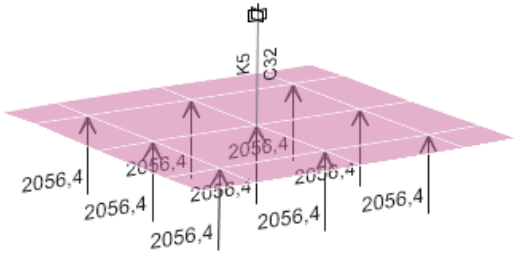
$= 2{,}236$ MPa

τ_c $> \tau_u$ (OK)

Berdasarkan perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa tebal poer sebesar 1500 mm dapat digunakan.

4.7.3.3. Perencanaan Penulangan Poer

Untuk penulangan lentur, poer dianalisa sebagai pelat (*shell thick*) dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat pada setiap titik tiang pancang, beban *uplift*, dan berat sendiri poer. Perhitungan gaya dalam pada poer menggunakan program bantu ETABS 2016. Pada subbab ini akan dicontohkan perhitungan penulangan untuk poer pada pondasi tipe 1. Permodelan poer pada ETABS 2016 ditunjukkan pada Gambar 4.53.



Gambar 4.53 Permodelan Poer Pondasi Tipe 1 pada ETABS 2016

q_D = 2,4 x t_{poer}
= 2,4 x 1,5
= 3,6 ton/m^2
q_{uplift} = 10 x h
= 10 x 6
= 60 ton/m^2
P_{max} = 2056,4 ton

Berdasarkan pembebanan di atas, didapatkan output nilai M_u dari program bantu ETABS 2016. Output M_u dan P_{max} yang terjadi pada setiap tipe pondasi akan ditunjukkan pada Tabel 4.61.

Tabel 4.61 P_{max} dan Output Momen pada Poer

Tipe Pondasi	P_{max} tiang pancang (kN)	M_{ux} (kN.m)		M_{uy} (kN.m)	
		+	-	+	-
1	2056.40	4,491.15	492.46	4,491.15	492.46
2	1842.26	4,767.08	594.68	4,238.07	1,187.42
3	904.09	1,316.15	1,238.92	1,335.84	614.83
4	5725.05	2,930.51	3,093.27	5,296.40	3,958.14
5	5673.84	12,546.85	14,913.78	9,959.24	6,408.28

Penulangan poer untuk masing-masing arah pada pondasi tipe 1 dihitung sebagai berikut:

1. Penulangan Arah X Positif (Atas)

M_u = 4491,15 kNm

$D_{tulangan}$ = 25 mm

ϕ = 0,90

$Rn = \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

$= \frac{4491{,}15 \times 10^3}{0{,}9\ (1000)\ 1417{,}5^2}$

= 0,52 MPa

$m = \frac{fy}{0{,}85\ f'c}$

$= \frac{420}{0{,}85\ (45)}$

= 10,98

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{10{,}98}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10{,}98 \times 0{,}52}{420}}\right)$

= 0,0012

$\rho_{min1} = 0{,}25\ \frac{\sqrt{f'c}}{fy}$

= 0,00399

$\rho_{min2} = \frac{1{,}4}{fy}$

= 0,00333

$\rho_{min\ pakai}$ = 0,00399

ρ_{pakai} = 0,00399

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,00399 x 1000 x 1417,5

= 5660,05 mm^2

$s_{max\ 1}$ = 3h

= 4500 mm

$s_{max\ 2}$ = 450 mm

s_{hasil} = 1000 x $\frac{As\ tulangan}{As\ perlu}$

= 86,72 mm

S_{pakai} = 75 mm

∴ Maka, digunakan tulangan atas arah X D25–75 mm.

2. Penulangan Arah X Negatif (Bawah)

M_u = 492,46 kNm

$D_{tulangan}$ = 25 mm

ϕ = 0,90

$Rn = \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

$= \frac{492{,}46 \times 10^3}{0{,}9\ (1000)\ 1417{,}5^2}$

= 0,056 MPa

$m = \frac{fy}{0{,}85\ f'c}$

$= \frac{420}{0{,}85\ (45)}$

= 10,98

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{10{,}98}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10{,}98 \times 0{,}056}{420}}\right)$

= 0,0012

$\rho_{min1} = 0{,}25\ \frac{\sqrt{f'c}}{fy}$

= 0,00399

$\rho_{min2} = \frac{1{,}4}{fy}$

= 0,00333

$\rho_{min\ pakai}$ = 0,00399

ρ_{pakai} = 0,00399

$As_{perlu} = \rho_{pakai}$ x b x d

= 0,00399 x 1000 x 1417,5

= 5660,05 mm^2

$s_{max\ 1}$ = 3h

= 4500 mm

$s_{max\ 2}$ = 450 mm

s_{hasil} = 1000 x $\frac{As\ tulangan}{As\ perlu}$

= 86,72 mm

S_{pakai} = 75 mm

∴ Maka, digunakan tulangan bawah arah X D25–75 mm.

3. Penulangan Arah Y Positif (Atas)

M_u = 4491,15 kNm

$D_{tulangan}$ = 25 mm

ϕ = 0,90

Rn = $\frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

= $\frac{4491{,}15 \times 10^3}{0{,}9\ (1000)\ 1417{,}5^2}$

= 0,52 MPa

m = $\frac{fy}{0{,}85\ f\prime c}$

= $\frac{420}{0{,}85\ (45)}$

= 10,98

ρ_{perlu} = $\frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

= $\frac{1}{10{,}98}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10{,}98 \times 0{,}52}{420}}\right)$

= 0,0012

ρ_{min1} = 0,25 $\frac{\sqrt{f\prime c}}{fy}$

= 0,00399

ρ_{min2} = $\frac{1{,}4}{fy}$

= 0,00333

$\rho_{min\ pakai}$ = 0,00399

ρ_{pakai} = 0,00399

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,00399 x 1000 x 1417,5

$= 5660{,}05\ mm^2$

$s_{max\ 1} = 3h$

$= 4500\ mm$

$s_{max\ 2} = 450\ mm$

$s_{hasil} = 1000 \times \frac{As\ tulangan}{As\ perlu}$

$= 86{,}72\ mm$

$S_{pakai} = 75\ mm$

∴ Maka, digunakan tulangan atas arah Y D25–75 mm.

4. Penulangan Arah Y Negatif (Bawah)

$M_u = 492{,}46\ kNm$

$D_{tulangan} = 25\ mm$

$\phi = 0{,}90$

$Rn = \frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

$= \frac{492{,}46 \times 10^3}{0{,}9\ (1000)\ 1417{,}5^2}$

$= 0{,}056\ MPa$

$m = \frac{fy}{0{,}85\ f'c}$

$= \frac{420}{0{,}85\ (45)}$

$= 10{,}98$

$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

$= \frac{1}{10{,}98}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10{,}98 \times 0{,}056}{420}}\right)$

$= 0{,}0012$

$\rho_{min1} = 0{,}25\ \frac{\sqrt{f'c}}{fy}$

$= 0{,}00399$

$\rho_{min2} = \frac{1{,}4}{fy}$

$= 0{,}00333$

$\rho_{min\ pakai} = 0{,}00399$

ρ_{pakai} = 0,00399
As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d
= 0,00399 x 1000 x 1417,5
= 5660,05 mm^2
$s_{max\ 1}$ = 3h
= 4500 mm
$s_{max\ 2}$ = 450 mm
s_{hasil} = 1000 x $\frac{As\ tulangan}{As\ perlu}$
= 86,72 mm
S_{pakai} = 75 mm
∴ Maka, digunakan tulangan bawah arah Y D25–75 mm.

Berdasarkan perhitungan penulangan poer di atas, didapatkan rekapitulasi perhitungan penulangan poer yang disajikan pada Tabel 4.62 berikut.

Tabel 4.62 Rekapitulasi Penulangan Poer

Tipe Pondasi	Tulangan Positif		Tulangan Negatif	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1	D25 – 75mm	D25 – 75mm	D25 – 75mm	D25 – 75mm
2	D25 – 75mm	D25 – 75mm	D25 – 75mm	D25 – 75mm
3	D25 – 75mm	D25 – 75mm	D25 – 75mm	D25 – 75mm
4	D25 – 75mm	D25 – 75mm	D25 – 75mm	D25 – 75mm
5	D25 – 75mm	D25 – 75mm	D25 – 75mm	D25 – 75mm

4.7.4. Perencanaan Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah direncanakan berdasarkan gaya horizontal yang bekerja pada konstruksi penahan dengan massa tanah yang ditahan. Data perencanaan untuk dinding penahan tanah adalah sebagai berikut:

h : 3,2 m
t : 35 mm
f'_c : 40 MPa

f_y : 420 MPa
clear cover : 70 mm
$D_{tulangan}$: 16 mm
dz : 272 mm
dx : 256 mm

Pada perencanaan ini, dinding penahan tanah direncanakan dengan kondisi muka air tertinggi dan juga *surcharge load* akibat kendaraan sebesar 0,8 t/m^2.

γ_{sat} : 1,71 t/m^3
γ_{air} : 1 t/m^3
γ’ : 0,71 t/m^3
ϕ : 6,3^o
c’ : 0,23 t/m^2

4.7.4.1. Tekanan Aktif Tanah

Pada perencanaan ini hanya akan diperhitungkan tekanan aktif tanah, karena pada struktur *basement* tidak terdapat tanah pasif yang menahan dinding *basement*.

$K_a = \tan^2 (45 - \frac{\phi}{2})$
$= \tan^2 (45 - \frac{6,3}{2})$
$= 0,80$

$\sigma v'_{(0)} = q + \gamma' h$
$= 0,8 + 0,71 \times 0$
$= 0,8$ t/m^2

$\sigma h'_{(0)} = \sigma v'_{(0)} \times K_a - (2c'\sqrt{K_a})$
$= 0,8 \times 0,8 - (2 \times 0,23\sqrt{0,8})$
$= 0,23$ t/m^2

$\sigma h_{air\ (0)} = \gamma_{air}\, h$
$= 1 \times 0$
$= 0$ t/m^2

$\sigma h_{total\ (0)} = \sigma h'_{(0)} + \sigma h_{air\ (0)}$
$= 0,8$ t/m^2

$\sigma v'_{(3,2)} = q + \gamma' h$

$= 0{,}8 + 0{,}71 \times 3{,}2$

$= 3{,}07\ t/m^2$

$\sigma h'_{(3,2)} = \sigma v'_{(3,2)} \times K_a - (2c'\sqrt{K_a})$

$= 3{,}07 \times 0{,}8 - (2 \times 0{,}23\sqrt{0{,}8})$

$= 2{,}05\ t/m^2$

$\sigma h_{air\ (3,2)} = \gamma_{air}\, h$

$= 1 \times 3{,}2$

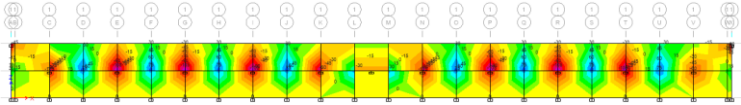
$= 3{,}2\ t/m^2$

$\sigma h_{total\ (3,2)} = \sigma h'_{(3,2)} + \sigma h_{air\ (3,2)}$

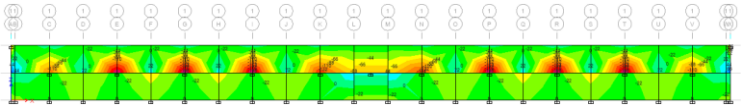
$= 5{,}25\ t/m^2$

Beban yang terjadi pada dinding penahan tanah merupakan beban merata trapesium sebesar 0,8 t/m^2 pada titik paling atas dinding dan sebesar 5,25 t/m^2 pada titik paling bawah dinding. Pembebanan tersebut kemudian diinput dalam permodelan dinding *basement* menggunakan program bantu ETABS 2016.

Pada perencanaan ini, dinding penahan tanah akan direncanakan menggunakan angkur dengan jarak antar angkur 2 meter pada sepanjang permukaan dinding sebagai penahan lateral dan penyumbang gaya pasif untuk menjaga agar dinding *basement* tetap stabil. Angkur akan dimodelkan sebagai perletakan jepit pada muka dinding *basement*. Hasil permodelan dinding *basement* yang didapatkan dari program bantu ETABS 2016 ditunjukkan pada Gambar 4.54 dan Gambar 4.55.



Gambar 4.54 Output M11 pada Dinding *Basement*



Gambar 4.55 Output M22 pada Dinding *Basement*

M_{x+} = 85,743 kNm
M_{x-} = 118,897 kNm
M_{y+} = 81,492 kNm
M_{y+} = 204,684 kNm

4.7.4.2. Penulangan Dinding Basement

1. Penulangan Tulangan Positif Arah X

M_u = 85,743 kNm
$D_{tulangan}$ = 16 mm
ϕ = 0,90
Rn $= \frac{Mu}{\emptyset\, b\, d^2}$
$= \frac{85{,}743 \times 10^3}{0{,}9\ (1000)\ 272^2}$
= 1,29 MPa
m $= \frac{fy}{0{,}85\ f'c}$
$= \frac{420}{0{,}85\ (40)}$
= 12,35
$\rho_{perlu} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$
$= \frac{1}{12{,}35}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}35 \times 1{,}29}{420}}\right)$
= 0,00313
$\rho_{min} = 0{,}0018\frac{420}{fy}$
= 0,0018
ρ_{pakai} = 0,00313
As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d
= 0,00313 x 1000 x 272
= 850,36 mm^2
$s_{max\ 1}$ = 3h
= 1050 mm
$s_{max\ 2}$ = 450 mm

s_{hasil} = 1000 x $\frac{As\ tulangan}{As\ perlu}$

= 263,44 mm

S_{pakai} = 225 mm

∴ Maka, digunakan tulangan positif arah X D16–225 mm.

2. Penulangan Tulangan Positif Arah Y

M_u = 82,492 kNm

$D_{tulangan}$ = 16 mm

ϕ = 0,90

Rn = $\frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

= $\frac{81{,}492 \times 10^3}{0{,}9\ (1000)\ 256^2}$

= 1,38 MPa

m = $\frac{fy}{0{,}85\ f'c}$

= $\frac{420}{0{,}85\ (40)}$

= 12,35

ρ_{perlu} = $\frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

= $\frac{1}{12{,}35}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}35 \times 1{,}38}{420}}\right)$

= 0,00336

ρ_{min} = $0{,}0018\frac{420}{fy}$

= 0,0018

ρ_{pakai} = 0,00336

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,00336 x 1000 x 256

= 859,98 mm^2

$s_{max\ 1}$ = 3h

= 1050 mm

$s_{max\ 2}$ = 450 mm

s_{hasil} = 1000 x $\frac{As\ tulangan}{As\ perlu}$

= 233,79 mm

S_{pakai} = 225 mm

∴ Maka, digunakan tulangan positif arah Y D16–225 mm.

3. Penulangan Tulangan Negatif Arah X

M_u = 118,897 kNm

$D_{tulangan}$ = 16 mm

ϕ = 0,90

Rn = $\frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

= $\frac{118{,}897 \times 10^3}{0{,}9\ (1000)\ 272^2}$

= 1,79 MPa

m = $\frac{fy}{0{,}85\ f'c}$

= $\frac{420}{0{,}85\ (40)}$

= 12,35

ρ_{perlu} = $\frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

= $\frac{1}{12{,}35}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}35 \times 1{,}79}{420}}\right)$

= 0,00436

ρ_{min} = $0{,}0018\frac{420}{fy}$

= 0,0018

ρ_{pakai} = 0,00436

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,00436 x 1000 x 272

= 1188,48 mm^2

$s_{max\ 1}$ = 3h

= 1050 mm

$s_{max\ 2}$ = 450 mm

s_{hasil} = 1000 x $\frac{As\ tulangan}{As\ perlu}$

= 169,17 mm

S_{pakai} = 150 mm

∴ Maka, digunakan tulangan negatif arah X D16–150 mm.

4. Penulangan Tulangan Negatif Arah Y

M_u = 204,684 kNm

$D_{tulangan}$ = 16 mm

ϕ = 0,90

Rn = $\frac{Mu}{\emptyset\ b\ d^2}$

= $\frac{204{,}684 \times 10^3}{0{,}9\ (1000)\ 256^2}$

= 3,47 MPa

m = $\frac{fy}{0{,}85\ f\prime c}$

= $\frac{420}{0{,}85\ (40)}$

= 12,35

ρ_{perlu} = $\frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}\right)$

= $\frac{1}{12{,}35}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12{,}35 \times 3{,}47}{420}}\right)$

= 0,00873

ρ_{min} = $0{,}0018\frac{420}{fy}$

= 0,0018

ρ_{pakai} = 0,00873

As_{perlu} = ρ_{pakai} x b x d

= 0,00873 x 1000 x 256

= 2235,81 mm^2

$s_{max\ 1}$ = 3h

= 1050 mm

$s_{max\ 2}$ = 450 mm

s_{hasil} = 1000 x $\frac{As\ tulangan}{As\ perlu}$

= 89,93 mm

S_{pakai} = 75 mm

∴ Maka, digunakan tulangan negatif arah Y D16–75 mm.

4.7.5. Perencanaan Sloof

Struktur sloof berfungsi untuk membuat penurunan secara bersamaan pada pondasi atau sebagai pengaku yang menghubungkan antara satu pondasi dengan pondasi lainnya. Beban-beban yang ditumpukan ke sloof yaitu berat sloof sendiri, beban aksial tekan atau tarik yang diambil 10% dari beban aksial kolom.

Sloof akan direncanakan dengan data perencanaan sebagai berikut:

b : 600 mm
h : 900 mm
f'_c : 45 MPa
f_y : 420 MPa
clear cover : 70 mm
D_{lentur} : 32 mm
$D_{transversal}$: 16 mm
d : 900 – 70 – 16 – 0,5(32)
: 798 mm

Penulangan sloof didasarkan atas kondisi pembebanan dimana beban yang diterima adalah beban aksial dan lentur sehingga perilakunya diasumsikan seperti kolom. Dalam perencanaan ini akan digunakan program bantu spColumn untuk mengetahui diagram interaksi pada sloof.

Pembebanan pada sloof ditinjau atas dua kondisi, yaitu beban akibat kendaraan pada basement dan akibat uplift.

- Akibat Kendaraan

  q_D = 2400 kg/m^2

q_L = 500 kg/m^2

- Akibat Uplift

  q_{uplift} = 3200 kg/m^2

Beban-beban tersebut kemudian dimodelkan pada program bantu ETABS 2016 dengan kombinasi pembebanan sebagai berikut:

q_{U1} = 1,4q_D

q_{U2} = 1,2q_D + 1,6q_D

q_{U1} = q_{uplift} − q_D

Sehingga didapatkan output gaya-gaya yang bekerja pada sloof sebesar:

M_u = 392,53 kNm

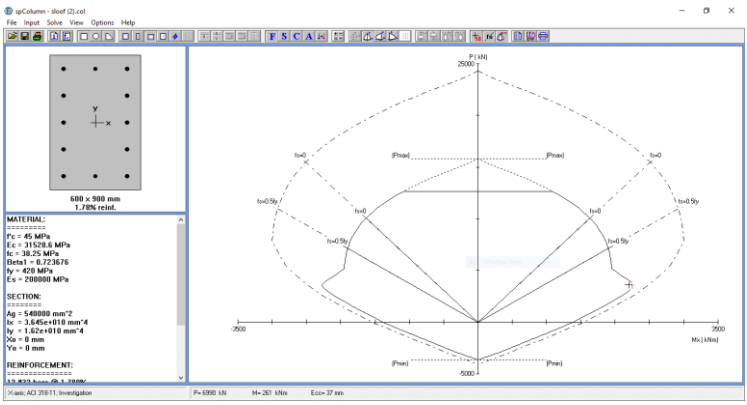
V_u = 336,6357 kN

P_u = 36177,538 kN

P = 10% P_u

= 3617,8 kN

Tulangan sloof direncanakan menggunakan 12D32. Diagram interaksi yang terjadi pada sloof dari hasil analisa menggunakan program bantu spColumn ditunjukkan pada Gambar 4.56.



Gambar 4.56 Diagram Interaksi Sloof

M_u = 392,53 kNm
M_n = 2523,7 kNm
ϕM_n = 2271,3 kNm
ϕM_n > M_u (OK)

Tulangan geser pada sloof akan direncanakan seperti perencanaan tulangan geser pada balok.

V_u = 336635,7 N
V_c = $0,17\sqrt{f'c}\ bd$
= 546020,96 N
ϕV_c = 409515,73 N
$0,5\phi V_c$ = 204757,86 N
$V_{s\ min}$ = $0,017\sqrt{f'c}\ bd$
= 200743,00 N
$\phi(V_c+V_{s\ min})$ = 560072,97 N

Syarat:

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5\phi V_c \rightarrow$ tidak memenuhi

Kondisi 2:

$0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \rightarrow$ memenuhi

Oleh karena kondisi 2 persyaratan tulangan geser terpenuhi, maka diperlukan tulangan geser minimum pada sloof.

s_{pakai} = 300 mm
$D_{sengkang}$ = 16 mm
$fy_{sengkang}$ = 420 MPa
$n_{sengkang}$ = 2 kaki
$Av_{min\ 1}$ = $0,062\ \sqrt{f'c}\ \frac{bs}{fy}$
= 178,25 mm^2
$Av_{min\ 2}$ = $0,35\ \frac{bs}{fy}$
= 150 mm^2
Av_{pakai} = 2 x 0,25 π $d_{sengkang}^2$
= 2 x 0,25 π 16^2

$= 402{,}13\ mm^2 > Av_{min}$ (OK)

∴ Maka, digunakan tulangan geser pada sloof sebesar 2D16–300 mm.

4.7.6. Perencanaan Tusuk Konde

Pada perencanaan tulangan tusuk konde digunakan rasio tulangan minimum, yaitu sebesar 2% dari diameter dalam tiang pancang. Tiang pancang yang digunakan dalam perencanaan tugas akhir ini merupakan tiang pancang berdiameter 800 mm dengan ketebalan dinding 120 mm.

Diameter tulangan

Diameter dalam = 800 – 2 x 120 = 560 mm

$A_{s\ perlu} = \rho \times \frac{1}{4}\pi d^2$

$= 0{,}02 \times \frac{1}{4}\pi(560)^2$

$= 4926\ mm^2$

n tulangan $= \frac{4926}{\frac{1}{4}\pi 32^2} = 6$

Sehingga, digunakan tulangan tusuk konde 6 D32.

“Halaman ini sengaja dikosongkan…”

BAB V
PENUTUP

5.1. Rangkuman Perencanaan

Berdasarkan hasil analisa perhitungan struktur yang telah direncanakan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan beberapa hasil perencanaan sesuai dengan perumusan masalah sebagai berikut:

1. Sesuai dengan perhitungan yang mengacu pada SNI 2847:2019, diperoleh dimensi untuk struktur sekunder, primer, dan struktur bawah yang akan ditunjukkan pada Tabel 5.1, Tabel 5.2, dan Tabel 5.3.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Dimensi Struktur Sekunder

Struktur Sekunder				
Elemen	Tipe	Kondisi	Dimensi	Satuan
Pelat	Lantai	Pracetak	15	cm
	Atap	Pracetak	15	cm
	Basement	Cast in-situ	35	cm
Balok Anak	BA 1	Komposit	40/65	cm
		Pracetak	40/50	cm
	BA 2	Komposit	40/65	cm
		Pracetak	40/50	cm
	BA 3	Komposit	35/60	cm
		Pracetak	35/45	cm
Tangga	Pelat Tangga	Cast in-situ	15	cm
	Pelat Bordes		12	cm
	Balok Bordes		20/30	cm

Tabel 5.2 Rekapitulasi Dimensi Struktur Primer

Struktur Primer				
Elemen	Tipe	Kondisi	Dimensi	Satuan
	BI 1	Komposit	60/90	cm

Balok Induk		Pracetak	60/75	cm
	BI 2	Komposit	60/90	cm
		Pracetak	60/75	cm
	BI 3	Komposit	80/120	cm
		Pracetak	80/105	cm
	BI 4	Komposit	80/120	cm
		Pracetak	80/105	cm
	BI 5	Komposit	80/120	cm
		Pracetak	80/105	cm
	BI 6	Komposit	80/120	cm
		Pracetak	80/105	cm
	BI 7	Komposit	80/120	cm
		Pracetak	80/105	cm
Kolom	K1	Pracetak	95 x 95	cm
	K2	Pracetak	100 x 100	cm
	K3	Pracetak	105 x 105	cm
	K4	Pracetak	110 x 110	cm
	K5	Pracetak	110 x 110	cm
Dinding Geser	SW 1	Cast in-situ	35	cm
	SW 2	Cast in-situ	35	cm
	SW 3	Cast in-situ	35	cm

Tabel 5.3 Rekapitulasi Dimensi Struktur Bawah

Struktur Bawah				
Elemen	Tipe	Kondisi	Dimensi	Satuan
Spun Pile	Tipikal	Diameter	80	cm
		Kedalaman	24	m
Pile Cap	Tipe 1	Cast in-situ	4,8 x 4,8 x 1,5	m
	Tipe 2	Cast in-situ	4,8 x 10,1 x 1,5	m
	Tipe 3	Cast in-situ	10,4 x 10,4 x 1,5	m
	Tipe 4	Cast in-situ	4,8 x 11,2 x 1,5	m
	Tipe 5	Cast in-situ	10,4 x 8,8 x 1,5	m
Dinding	Basement	Cast in-situ	35	cm

Sloof	Tipikal	Cast in-situ	60/90	cm

2. Perencanaan pembebanan struktur berdasarkan SNI 1727:2013 untuk beban hidup, PPIUG 1983 untuk beban mati, dan SNI 1726:2019 untuk beban gempa.
3. Dalam proses analisa struktur gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka menggunakan program bantu ETABS 2016. Data respon spektrum diambil dari petagempa.pusjatan.pu.go.id untuk wilayah Jakarta Timur dan permodelan analisa struktur tersebut dikontrol berdasarkan SNI 1726:2019.
4. Sambungan pada elemen balok – kolom dan balok induk – balok anak menggunakan produk sambungan mekanis *Modix Rebar Coupler* dari Peikko Group sedangkan sambungan antar kolom menggunakan produk sambungan mekanis *Coupler Sleeve* dari NMB Splice Sleeve. Pada elemen cast in-situ seperti tangga, dinding geser, pelat *basement* menggunakan sambungan konvensional dengan tulangan menerus.
5. Pondasi yang direncanakan sesuai dengan ketentuan perhitungan tiang pancang dari PT WIKA Beton dengan metode tegangan ijin dan perencanaan pile cap berdasarkan metode tegangan desain.
6. Hasil analisa struktur yang telah direncanakan akan diterjemahkan menjadi gambar teknik menggunakan program bantu AutoCAD dan akan dilampirkan.

5.2. Saran

Berdasarkan analisa saat proses penyusunan tugas akhir ini, terdapat beberapa saran yang dapat disampaikan yaitu:

1. Denah bangunan yang tidak simetris baik secara vertikal maupun horizontal akan menghasilkan gaya torsi yang besar sehingga mempengaruhi kebutuhkan dimensi struktur menjadi relatif besar. Maka dalam proses awal

perencanaan sebuah bangunan, perlu dipertimbangkan tata letak denah yang efisien.

2. Perlu adanya analisa lanjutan dari segi biaya dan waktu pelaksanaan konstruksi gedung pracetak sesuai dengan desain yang telah direncanakan.
3. Pada pelaksanaan *erection* dan instalasi sambungan antar elemen pracetak, perlu adanya pengawasan dan perhatian lebih untuk meminimalisir gaya tak terduga yang dapat menyebabkan kegagalan struktur.

DAFTAR PUSTAKA

Direktorat Jenderal Cipta Karya. (2006). *Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Tahan Gempa.* Jakarta.

El-Arab, I. M. (2017). Web Shear Strengthening Technique of Deep Precast Prestressed Hollow Core Slabs under Truck Loads. *Journal of Building Construction and Planning Research, 5*, 129-145.

Elliot, K. S. (2002). *Precast Concrete Structures.* Oxford: British Library Cataloguing.

Ervianto, W. I. (2006). *Eksplorasi Teknologi dalam Proyek Konstruksi Beton Pracetak & Bekisting.* Yogyakarta: ANDI.

Gue, S. S., & Tan, Y. (1998). *Design and Construction Considerations for Deep Excavation.* Malaysia: SSP Geotechnics Sdn Bhd.

Gunawan, R. (1991). *Pengantar Teknik Fondasi* (5th ed.). Yogyakarta: Kanisius.

Hardiyatmo, H. C. (1996). *Teknik Fondasi 1.* Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Hogan, L. D., & Farahmandpour, K. (2013). Roof Decks A to Z Part V: Precast, Prestressed Concrete Tees.

Imran, I., & Hendrik, F. (2014). *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang.* Bandung: ITB.

Indrayana, A. B. (2013). *Analisis Desain Sambungan Balok - Kolom Sistem Pracetak untuk Ruko Tiga Lantai* (Skripsi tidak dipublikasikan). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Juwana, J. S. (2005). *Panduan Sistem Bangunan Tinggi untuk Arsitek dan Praktisi Bangunan.* Erlangga.

Nawy, E. G. (2005). *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach.* New Jersey: Pearson Education, Inc.

Pamungkas, A., & Harianti, E. (2013). *Desain Pondasi Tahan Gempa.* Yogyakarta: ANDI.

Paulay, T., & Priestley, M. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings.* Canada: John Wiley & Sons, Inc.

PCI Design Handbook. (2004). *Precast and Prestressed Concrete* (6th ed.).

Schueller, W. (1989). *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi.* Bandung: PT. ERESCO.

SNI 1726:2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung.*

SNI 1727:2013. *Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.*

SNI 2847:2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.*

Sosrodarsono, S., & Nakazawa, K. (2000). *Mekanika Tanah & Teknik Pondasi.* Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Yadav, N. B., & Shah, R. A. (2013). Pre-Cast Technology: An Initial Step to Sustainable Development. *International Journal for Scientific Research & Development, I*(7), 1434-1436.

LAMPIRAN

LOG BOR

Bor No *DB-01 (30m)*
Location *Kampus UHAMKA Fakultas Ekonomi, Pasar Rebo, Jakarta Timur*
Date *Agustus 2015*
Type *Wash Boring*

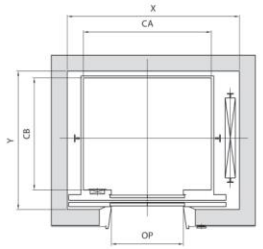
GWL	DEPTH (m)	LITHOLOGY	DESCRIPTION	Strength	UDS (m)	SPT (nBlow/15cm) N-1	N-2	N-3	N-Spt	Graph 0–80
	0									
	-1									
	-2		*Clay: Lempung, coklat*			3	6	7	13	
	-3				UDS-1 (2.50-3.00)					
	-4					2	3	5	8	
	-5				UDS-2 (4.50-5.00)					
	-6					4	6	8	14	
	7.00 -7			stiff						
	-8		*Clay: Lempung, lanau, coklat*			2	2	4	8	
	-9									
	-10					2	3	4	7	
	-11									
	-12					2	3	5	8	
	-13									
	-14					2	4	5	9	
	-15									
	-16					2	4	4	8	
	-17									
	-18					2	4	5	9	
	-19									
	-20					2	3	5	8	
	-21									
	-22					3	5	5	10	
	23.50 -23			very stiff-hard						
	-24		*Sand: Pasir halus, coklat*			7	15	34	49	
	25.00 -25			hard						
	-26		*Claystone: Batu lempung, coklat*			21	28	33	61	
	27.50 -27			hard						
	-28		*Claystone: Batu lempung, abu-abu*			17	26	37	63	
	-29									
	30.00 -30			hard		19	29	40	69	
	-31									

UDS
SPT

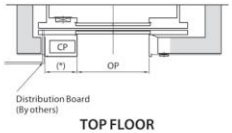
HOISTWAY PLAN AND SECTION

YZER-R MRL

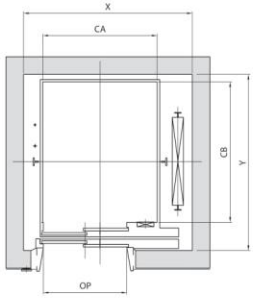
LAYOUT OF HOISTWAY



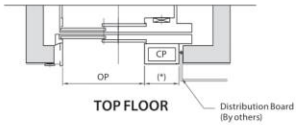
TYPICAL FLOORS



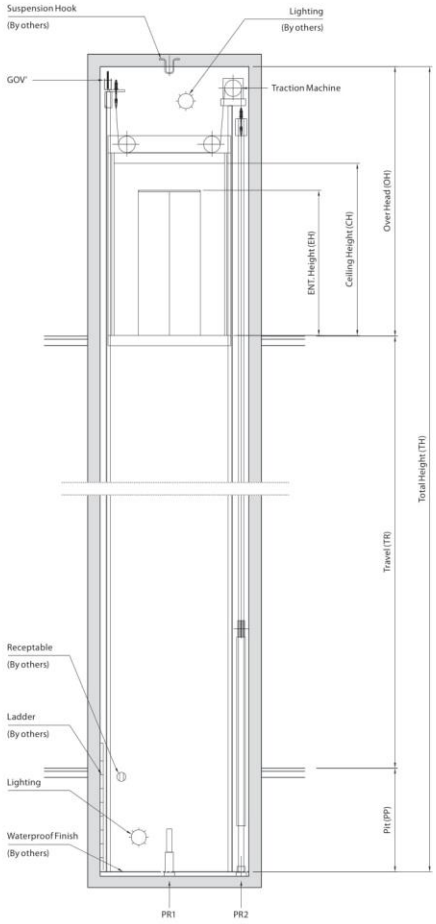
TOP FLOOR



TYPICAL FLOORS



TOP FLOOR



Notes:

1. The lighting of hoistway should be installed less than 500mm from above the ceiling of hoistway and within 500mm above the bottom of the pit. (By others)
2. Machine room temperature should be maintained below 40°C with ventilating fan and/or air conditioner (if necessary) and humidity below 90%.

STANDARD DIMENSIONS AND REACTIONS

YZER-R MRL

MANUFACTURER STANDARD

Unit: mm

	Speed (m/sec)	Capacity		Opening Type	Clear Opening	Car Size (mm)	Hoistway Size (mm)	Control Panel Box (mm)	PIT Reaction (Kg)	
		Persons	Kg		OP	CA x CB	X x Y	CP	PR1	PR2
Center	1.0	6	450	2P-CO	700	1100 x 1100	1700 x 1450	505	5600	4700
		7	550		800	1100 x 1300	1800 x 1650		6100	5000
	1.0	8	630		800	1100 x 1400	1800 x 1750		7000	5700
						1400 x 1100	2000 x 1450			
	1.5	9	700		800	1250 x 1400	1900 x 1750		7400	6000
	1.75	10	800		800	1300 x 1400	1900 x 1750		7800	6200
		12	900		900	1600 x 1300	2200 x 1650		8700	6900
		13	1000		900	1600 x 1400	2200 x 1750		9600	7600
Side	1.0	5	400	2P-SO	800	1000 x 1100	1600 x 1500	505	5300	4500
		6	450		800	1100 x 1100	1700 x 1550		5600	4700
		7	550		800	1100 x 1300	1700 x 1700		6100	5000
		8	630		800	1100 x 1400	1700 x 1800		7000	5700
	1.0	9	700		900	1200 x 1400	1800 x 1800		7400	6000
	1.5	10	800		900	1300 x 1400	1900 x 1800		7800	6200
	1.75	12	900		900	1300 x 1600	1900 x 2000		8700	6900
		13	1000		900	1100 x 2100	1700 x 2500		9600	7600
					1200	2100 x 1100	2700 x 1550			

Notes:

1. Above dimensions are applied base on standard car size & opening size for other applicable dimensions, please contact us.
2. If apply the safety gear on counterweight side, please consult with us.
3. If need to apply safety gear on counterweight, please consult with us.

OVERHEAD & PIT DEPTH

Unit: mm

	Speed (m/s)	Max.Travel (TR)	Overhead (OH)	Pit Depth (PP)
EN81-1	1.0	50,000	CH+1400	1200
	1.5	70,000	CH+1500	1300
	1.75	80,000	CH+1600	1400
EN81-20	1.0	50,000	CH+1700	1200
	1.5	70,000	CH+1800	1300
	1.75	80,000	CH+1900	1400

Notes:

1. Above dimentions are applied base on standard car size & opening for other applicable dimensions, please contact us.
2. In case of 1.0m/s with travel is above 25m, Pit depth should be increased 100mm to apply the compensation device.
3. When non-satandard capacites and dimensions are required to meet the local code, Please consult us.

HOLLOW CORE SLAB (HCS)

SPESIFIKASI PRODUK

Lebar	1.200 mm
Panjang	Sesuai Pesanan
Tebal	120 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm
Berat	209 kg/m^2, 247 kg/m^2
	260 kg/m^2, 297 kg/m^2
Mutu Beton	K-450
Permukaan Atas	Siap pasang keramik
Permukaan Bawah	Beton Expose
Tulangan	PC Wire ϕ 5 mm dan ϕ 7 mm

Hollow Core Slab (HCS) atau plat beton berongga adalah produk utama dari PT. Beton Elemenindo Perkasa yang berfungsi sebagai plat lantai. HCS diproduksi dengan menggunakan mesin Slipformer dan akan dipotong sesuai dengan pesanan atau cutting list. Dengan menggunakan HCS, pekerjaan konstruksi akan menjadi lebih cepat dan biaya konstruksi akan mengecil dibandingkan pekerjaan secara konvensional. HCS cocok digunakan untuk berbagai jenis bangunan, seperti: rumah tinggal, villa, gedung kantoran, ruko, pabrik, pusat perbelanjaan, tempat parkir, hotel, dan juga apartemen.

KEUNTUNGAN

- Menggunakan sistem prategang yang menghasilkan lendutan yang sangat kecil disebabkan lawan lendut dari gaya prategang itu sendiri.
- "Precompression Effect", memberikan ketahanan terhadap suhu tingg daripada beton konvensional.
- Rongga di tengah HCS yang membuat berat sendirinya lebih ringan 28%-49% jika dibandingkan lantai konvensional, membuat struktur bangunan dan dimensi pondasi menjadi lebih kecil.
- Dapat mereduksi dimensi balok dan kolom bahkan mengurangi balok dan kolom bila dibandingkan dengan sistem konvensional sehingga menghasilkan ruangan yang lebih luas.
- HCS dapat langsung dipasang keramik.
- Permukaan bawah expose sehingga dapat langsung dijadikan plafond.
- Pekerjaan pembutan bekisting dapat dihilangkan.
- Pemasangan tidak membutuhkan scaffolding/perancah sehingga lantai bawah dapat digunakan sebagai lantai kerja.

PENGIRIMAN

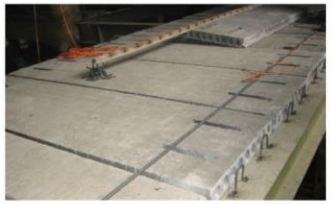
Pengiriman material ke lokasi

1. Dengan menggunakan HOIST

2. Dengan menggunakan mobil crane

3. Dengan menggunakan tower crane

PELETAKAN

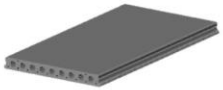


1. Di atas struktur baja

2. Di atas struktur beton

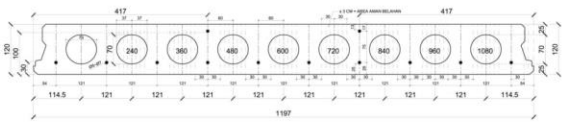
HOLLOW CORE SLAB (HCS)

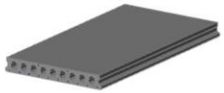
SPESIFIKASI UKURAN DAN TIPE PLAT BETON BERONGGA PRATEGANG PRACETAK (HCS)



Type	Area (cm^2)	Self Load (Kg/m^2)	Rongga
HCS 120	990,88	209	26%

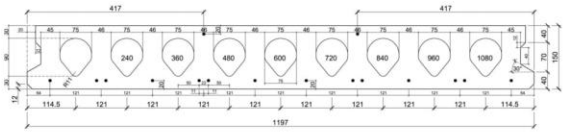
PENAMPANG TEBAL 120 mm

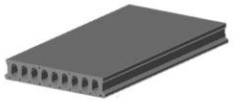




Type	Area (cm^2)	Self Load (Kg/m^2)	Rongga
HCS 150	1.117,18	247	35,80%

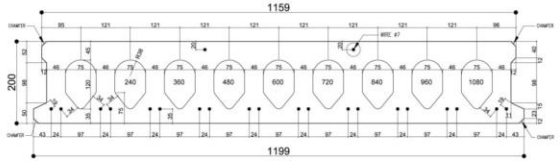
PENAMPANG TEBAL 150 mm

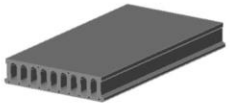




Type	Area (cm^2)	Self Load (Kg/m^2)	Rongga
HCS 200	1.323,68	260	42,60%

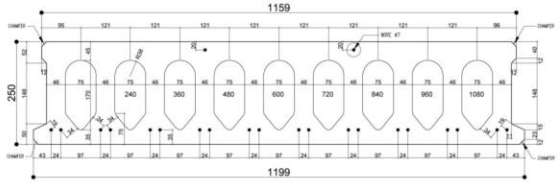
PENAMPANG TEBAL 200 mm





Type	Area (cm^2)	Self Load (Kg/m^2)	Rongga
HCS 250	1.530,18	306	46,70%

PENAMPANG TEBAL 250 mm



1. Shear Connector

Untuk HCS dengan bentang lebih dari 3 meter, lubang joint dimasukan besi D10 sebagai tulangan share connector.

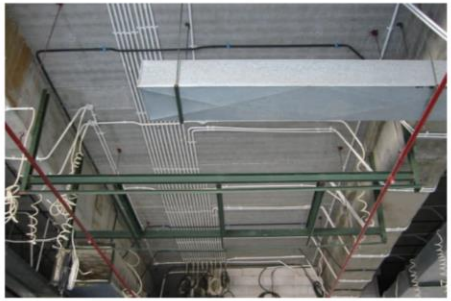
2. Alternatif HCS Dengan Topping

PERMUKAAN ATAS

Permukaan atas HCS dapat langsung dipasang keramik.

PEMASANGAN BERSIH DARI PERANCAH

Pemasangan bersih dari perancah atau scaffolding, sehingga lantai masih digunakan sebagai lantai kerja.

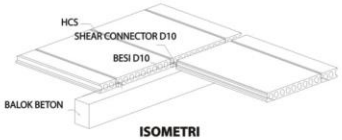


PERMUKAAN BAWAH

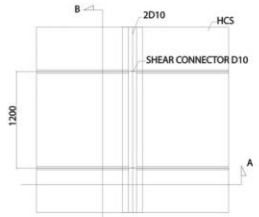
Permukaan pelat bagian bawah expose dan dapat langsung digantungi saluran udara ataupun jalur listrik.

SPESIFIKASI KONSTRUKSI PEMASANGAN PLAT BETON BERONGGA PRATEGANG PRACETAK (HCS)

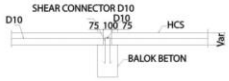
Peletakan HCS Pada Struktur Beton



ISOMETRI

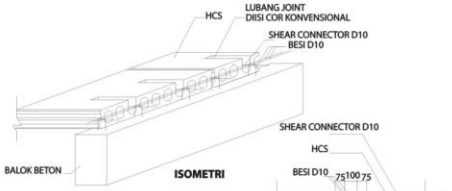


TAMPAK ATAS

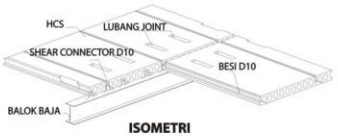


POTONGAN A

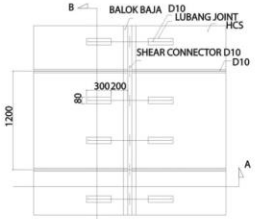
POTONGAN B



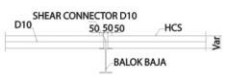
Peletakan HCS Pada Struktur Baja



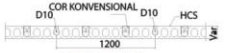
ISOMETRI



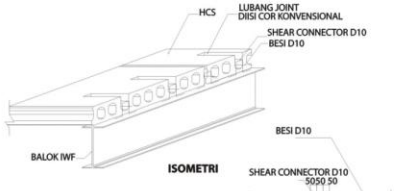
TAMPAK ATAS



POTONGAN A

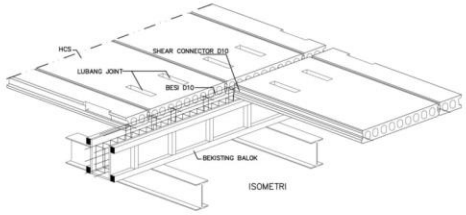


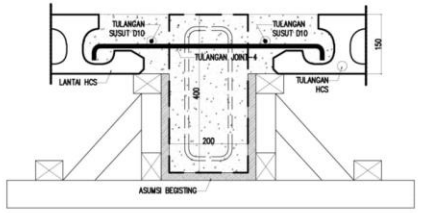
POTONGAN B



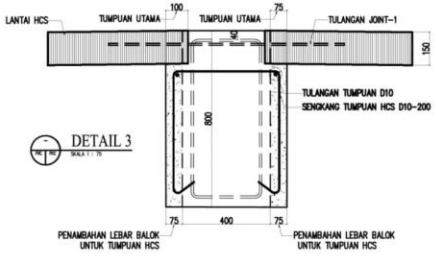
Peletakan HCS Pada Bekisting Beton

Keuntungan peletakan HCS pada bekisting struktur beton adalah:
1. Fllor to floor tetap, tidak berkurang oleh tebal HCS.
2. Lantai lebih solid karena dicor bersamaan dengan bekisting struktur.
3. Lebih efisien karena proyek strultur dan lantai bisa selesai bersamaan.





Potongan peletakan HCS di tumpuan samping



Potongan peletakan HCS di tumpuan utama

Peletakan HCS di tumpuan samping

Peletakan HCS di tumpuan utama

LOAD CAPACITY OF HCS (kg/m^2)
Without Topping

TIPE (t.d.n)	DAYA DUKUNG MAXIMAL (kg/m^2) (Netto, setelah dikurangi berat sendiri)																
Bentang (m)	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00
120.05.12	590,00	500,00	420,00														
120.05.14	690,00	585,00	500,00	425,00													
120.05.16	790,00	675,00	575,00	495,00													
150.05.12	905,00	775,00	665,00	570,00	490,00	425,00											
150.05.14	1.040,00	895,00	770,00	670,00	580,00	500,00	435,00	375,00									
150.05.16	1.180,00	1.015,00	880,00	765,00	665,00	580,00	510,00	445,00	385,00	340,00							
150.07.12	1.530,00	1.330,00	1.160,00	1.015,00	890,00	785,00	695,00	615,00	545,00	480,00	425,00	380,00					
150.07.14	1.800,00	1.565,00	1.370,00	1.205,00	1.060,00	940,00	835,00	731,66	643,00	569,74	506,49	452,28	405,53	365,01			
200.05.12	1.470,00	1.270,00	1.100,00	960,00	840,00	735,00	645,00	565,00	495,00	435,00	380,00	330,00					
200.05.14	1.670,00	1.445,00	1.255,00	1.100,00	965,00	850,00	745,00	660,00	580,00	515,00	455,00	400,00	350,00				
200.05.16	1.865,00	1.620,00	1.415,00	1.240,00	1.090,00	960,00	850,00	755,00	670,00	595,00	530,00	470,00	415,00	370,00	325,00		
200.07.12	2.370,00	2.065,00	1.810,00	1.595,00	1.415,00	1.255,00	1.120,00	1.000,00	895,00	800,00	720,00	645,00	580,00	520,00	470,00	420,00	375,00
200.07.14	2.755,00	2.410,00	2.120,00	1.870,00	1.660,00	1.480,00	1.325,00	1.185,00	1.065,00	960,00	865,00	780,00	705,00	640,00	580,00	525,00	475,00
200.07.16	3.145,00	2.750,00	2.425,00	2.145,00	1.910,00	1.705,00	1.525,00	1.375,00	1.235,00	1.120,00	1.010,00	915,00	835,00	755,00	690,00	625,00	570,00
250.07.12	3.240,00	2.830,00	2.490,00	2.200,00	1.955,00	1.745,00	1.560,00	1.400,00	1.255,00	1.135,00	1.025,00	925,00	835,00	755,00	685,00	620,00	565,00
250.07.14	3.740,00	3.275,00	2.885,00	2.555,00	2.275,00	2.035,00	1.825,00	1.640,00	1.480,00	1.340,00	1.215,00	1.100,00	1.000,00	910,00	830,00	755,00	690,00
250.07.16	4.245,00	3.720,00	3.285,00	2.915,00	2.595,00	2.325,00	2.090,00	1.885,00	1.705,00	1.545,00	1.405,00	1.275,00	1.165,00	1.065,00	970,00	890,00	815,00

t = tebal pelat (mm); d = diameter PC - WIRE (mm); n = jumlah PC - WIRE

LOAD CAPACITY OF HCS (kg/m^2)
With Topping = 50,00 mm + Wire Mesh M5-150

TIPE (t.d.n)	DAYA DUKUNG MAXIMAL (kg/m^2) (Netto, setelah dikurangi berat sendiri)																
Bentang (m)	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00
120.05.12	831,70	675,40	544,41	433,56	338,92												
120.05.14	999,10	823,68	676,68	522,27	446,05	354,64											
120.05.16	1.166,49	971,96	808,94	670,98	553,18	451,82	363,95										
150.05.12	1.220,89	1.022,24	855,78	714,90	594,61	491,10	401,38	323,11									
150.05.14	1.426,92	1.204,75	1.018,56	861,00	726,47	610,70	510,36	422,81	345,98								
150.05.16	1.632,95	1.387,25	1.181,35	1.007,10	858,33	730,30	619,33	522,52	437,55	362,57							
150.07.12	2.165,03	1.858,57	1.601,76	1.384,42	1.198,86	1.039,17	900.76	780,01	674,03	580,51	497,58	423,69					
150.07.14	2.568,84	2.216,28	1.920,83	1.670,78	1.457,3	1.273,59	1.114,35	975,43	853,50	745,92	650,5	565,50	489,43	421,10	359,49		
200.05.12	1.880,67	1.605,75	1.375,37	1.180,4	1.013,93	870,67	746,51	638,18	543,11	459,22	384,82	318,53					
200.05.14	2.150,64	1.844,89	1.588,68	1.371,84	1.186,71	1027,39	889,3	768,82	663,09	569,79	487,05	413,33	347,37				
200.05.16	2.420,6	2.084,30	1.081,98	1.563,28	1.359,49	1184,10	1.032,09	899,47	783,03	680,37	589,29	508,14	435,52	370,29	311,47		
200.07.12	3.112,45	2.696,88	2.348,63	2.053,90	1.802,27	1.585,72	1.398,02	1.234,28	1.090,56	963,75	851,29	751,09	661,43	580,89	508,26	442,55	382,91
200.07.14	3.641,58	3.165,59	2.766,71	2.429,13	2.140,91	1.892,88	1.677,9	1.490,34	1.325,73	1.180,48	1.051,67	936,90	834,21	742,95	658,77	583,51	515,19
200.07.16	4.053,03	3.590,23	3.184,79	2.804,36	2.479,56	2.200,04	1.957,77	1.746,40	1.560,90	1.397,22	1.252,05	1.122,71	1.006,99	903,02	809,28	724,46	647,47
250.07.12	4.087,93	3.557,85	3.113,63	2.737,68	2.416,71	2.140,49	1.901,07	1.692,20	1.508,89	1.347,13	1.203,67	1.075,86	961,49	858,76	766,12	682,30	606,22
250.07.14	4.741,06	4.136,40	3.629,68	3.200,84	2.834,71	2.519,63	2.246,53	2.008,27	1.799,16	1.614,65	1.451,01	1.305,22	1.174,76	1.057,57	951,90	856,29	769,50
250.07.16	5.394,19	4.714,95	4.145,73	3.664,00	3.252,71	2.898,77	2.591,98	2.324,34	2.089,44	1.882,17	1.698,35	1.534,57	1.388,03	1.256,38	1.137,68	1.030,27	932,78

t = tebal pelat (mm); d = diameter PC - WIRE (mm); n = jumlah PC - WIRE

1.2.3 Safe working loads for JENKA Short Inserts

The resistance of the JENKA Lifting System is determined by a design concept that makes reference to the following standards and regulations.

EN1992-1-1:2011
Machinery directive 2006/42/EC
VDI/BV-BS6205:2012

The load capacities depend very much on how and in which combination the items will be used. For short JENKA Lifting Inserts, all JENKA Lifting Keys (TLL, JL, JLW) can be used at an angle β of 0–45°.

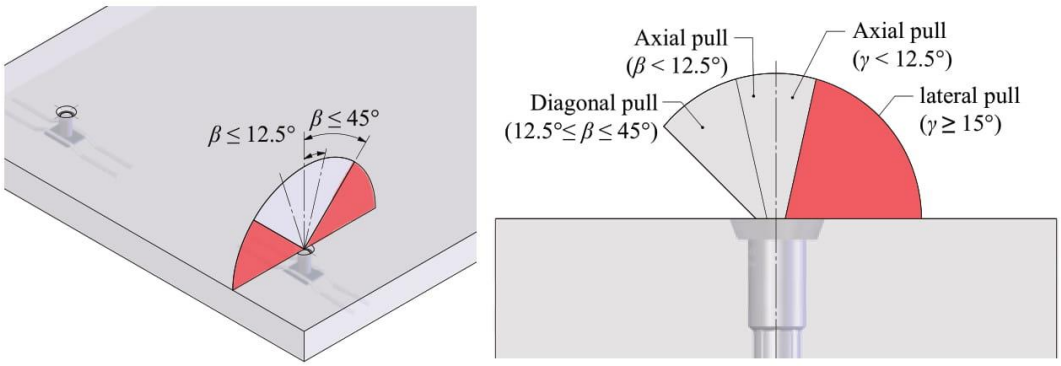
The safe working load capacities (SWL) are based upon specific dimensions and edge distances as given in the following sections. Before selecting an insert, take note of the design assumptions in this manual. **The minimum compressive strength of the concrete at the moment of load application is 15 MPa.** Min 15MPa

Table 17 shows the safe working load levels of JENKA Short Inserts. Select inserts that are suitable for the planned load directions. *Figure 21* illustrates the load directions related to this table.

Table 17. Safe working load (SWL) for JENKA Short Inserts.

Item No. JRd/JM	Load Class	WAS SWL for β 0-45° [kN]	BSA SWL for β 0-45° [kN]	PSA SWL for β 0-45° at 15 MPa[kN]	at 20 MPa[kN]	at 25 MPa[kN]
12	500	5	5	5	5	5
14	800	8	8	8	8	8
16	1200	12	12	10	12	12
18	1600	16	16	14.2	16	16
20	2000	20	20	18.3	20	20
24	2500	25	25	25	25	25
30	4000	40	40	40	40	40
36	6300	63		63	63	63
42	8000	80		80	78	80
52	12500			95	110	125

Figure 21. Load directions for JENKA Short Inserts.



PLEASE NOTE:
Diagonal pull between 12.5° and 45° is only permitted with additional reinforcement in accordance with the following section.

1.2.4 Unit geometry and spacing

The use of Peikko Lifting systems requires a specific element geometry. The load capacities given in this section of the manual are based on specific dimensions and edge and axial distances. The safety factors can only be ensured as described if the geometric specifications are complied with. Peikko's engineering service offers customized solutions to make special applications possible.

Before selecting and installing an insert, consider the general information in the previous sections of this manual. The required part geometry specification for JENKA Long Inserts differs from that for short inserts. The two types cannot replace each other or be applied in the same way unless the geometric requirements are complied with.

JENKA Short Inserts are commonly used in thin, flat elements with limited anchorage depth. With this insert type, most of the anchor loads are transferred over the width of the element. In many cases, capacities are limited by the element thickness c due to slab bending during lifting. The minimum element thickness and minimum edge and axial distances for respective insert types are shown in *Table 18*. *Figure 22* visualizes the requirements.

Table 18. Minimum unit geometry for JENKA Short Inserts.

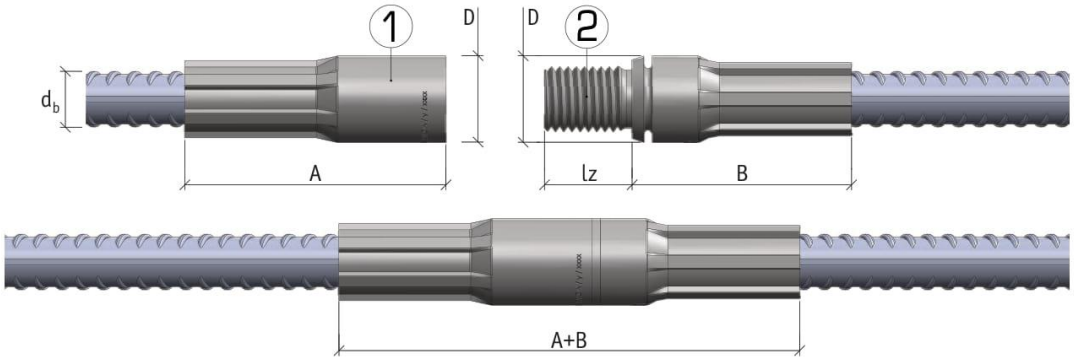
Item No. JRd/JM	WAS			BSA			PSA		
	b [mm]	*a* [mm]	*c* [mm]	*b* [mm]	*a* [mm]	*c* [mm]	*b* [mm]	*a* [mm]	*c* [mm]
12	200	95	140	360	180	80	350	180	70
14	200	115	160	420	210	90	350	180	80
16	260	135	190	180	240	100	500	250	85
18	300	155	210	540	270	110	600	300	95
20	350	170	215	600	300	120	600	300	100
24	440	220	270	690	345	135	800	400	115
30	550	275	335	900	450	170	1000	500	140
36	600	300	420				1300	650	160
42	800	400	480				1300	650	175
52							1500	750	215

MODIX® SM (Standard Coupler)

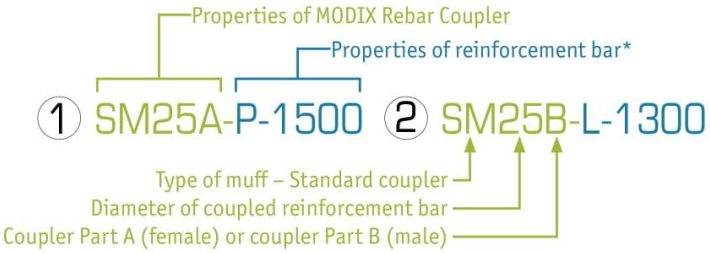
- For connecting bars with the same diameter
- At least one bar can be moved axially and rotated

Coupler type	Bar Ø d_b [mm]	Coupler Ø D [mm]	Length Part A [mm]	Length Part B [mm]	Parts A+B fitted together [mm]	ISO metric thread M	Thread length lz [mm]	Color of thread protector
SM10	10	17.5	52	46	96	M 12 x 1.75	16.0	Orange
SM12	12	21.0	63	52	113	M 16 x 2	21.2	Yellow
SM14	14	24.0	72	57	127	M 18 x 2.5	24.8	Blue
SM16	16	27.0	80	63	141	M 20 x 2.5	27.5	White
SM20	20	33.0	98	77	173	M 24 x 3	31.6	Gray
SM25	25	41.0	122	98	218	M 30 x 3.5	39.0	Red
SM28	28	47.0	141	111	250	M 36 x 4	46.0	Black
SM32	32	53.0	156	124	278	M 42 x 4.5	53.5	Brown
SM40	40	63.5	163	136	297	M 48 x 5.0	61.7	Green

- Part A and Part B can be ordered separately.



Example of a product code:



*Detailed explanations of the properties of reinforcement bars are described in Annex A

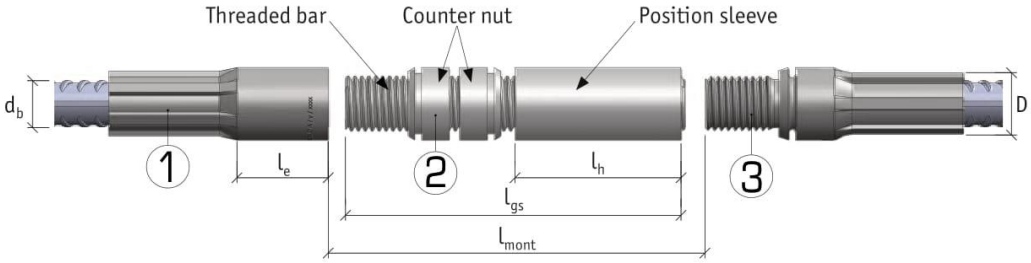
Application

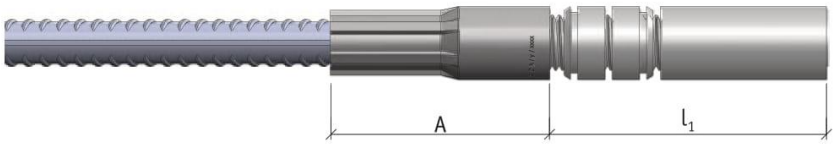
MODIX SM Standard Couplers are used as regular connections for reinforcement bars with the same diameters with full tension and compression capacity.

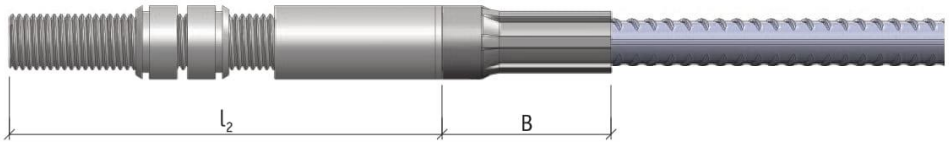
MODIX® PM (Position Coupler)

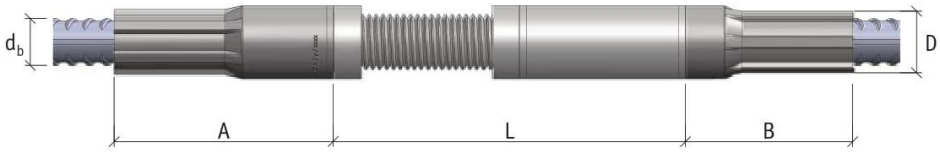
- For connecting straight or bent bars
- None of the bars can move axially or rotate

Coupler type	Bar Ø d_b [mm]	Coupler Ø D [mm]	Length Part A [mm]	Thread length Part A L_e	Length L_1	Length L_2	Length of position sleeve L_h	Length threaded bar L_{gs}	Max. free spacing L_{mont}	Length L	ISO metric thread M	Color of thread protector
PM10	10	17.5	52	21	58	95	37	79	59	74	M 12 x 1.75	Orange
PM12	12	21.0	63	26	72	119	48	98	73	93	M 16 x 2	Yellow
PM14	14	24.0	72	30	81	135	55	111	82	105	M 18 x 2.5	Blue
PM16	16	27.0	80	33	88	148	61	121	89	115	M 20 x 2.5	White
PM20	20	33.0	98	37	99	167	69	136	100	130	M 24 x 3	Gray
PM25	25	41.0	122	44	117	200	83	161	118	156	M 30 x 3.5	Red
PM28	28	47.0	141	51	136	233	97	187	137	182	M 36 x 4	Black
PM32	32	53.0	156	59	155	267	112	214	156	208	M 42 x 4.5	Brown
PM40	40	63.5	163	65	175	301	127	240	173	234	M 48 x 5.0	Green





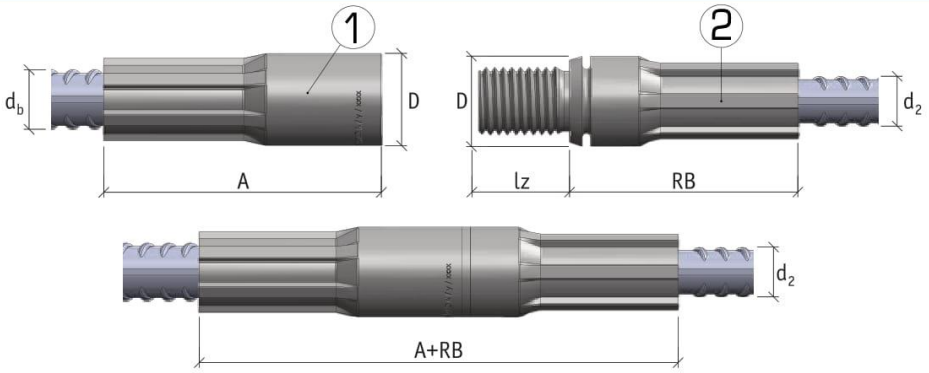




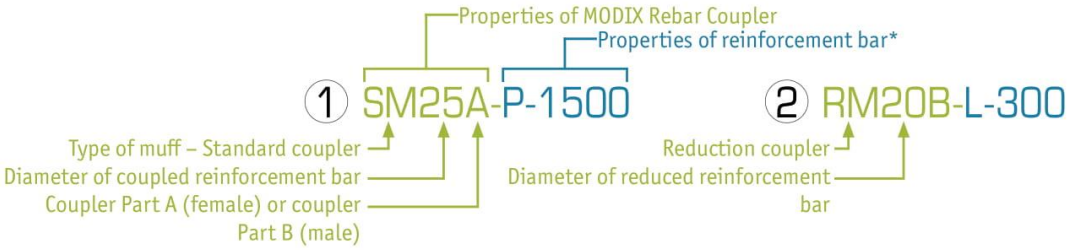
MODIX® RM (Reduction Coupler)

- For connecting bars with different diameters
- At least one bar can be moved axially and rotated

Coupler type	Bar Ø d_b [mm]	Reduced bar Ø d_2 [mm]	Coupler Ø D [mm]	Length Part A [mm]	Reduced Part length RB [mm]	Thread length lz [mm]	Parts A + RB fitted together [mm]	ISO metric thread M	Color of thread protector
RM12/10	12	10	21.0	63	52	21.2	113	M 16 x 2	Yellow
RM14/12	14	12	24.0	72	57	24.8	127	M 18 x 2.5	Blue
RM16/14	16	14	27.0	80	63	27.5	141	M 20 x 2.5	White
RM20/16	20	16	33.0	98	77	31.6	173	M 24 x 3	Gray
RM25/20	25	20	41.0	122	98	39.0	218	M 30 x 3.5	Red
RM28/25	28	25	47.0	141	111	46.0	250	M 36 x 4	Black
RM32/28	32	28	53.0	156	124	53.5	278	M 42 x 4.5	Brown
RM40/32	40	32	63.5	163	136	61.7	297	M 48 x 5.0	Green



Example of a product code:



*Detailed explanations of the properties of reinforcement bars are described in Annex A

Combinations of bar diameters:

Only bars that are one size smaller in diameter can be connected (please refer to the table above, column "Coupler type"). MODIX Part B (male) is commonly used for reduction. If a MODIX Part A part is to be used as reduction, please specify this in the ordering list.

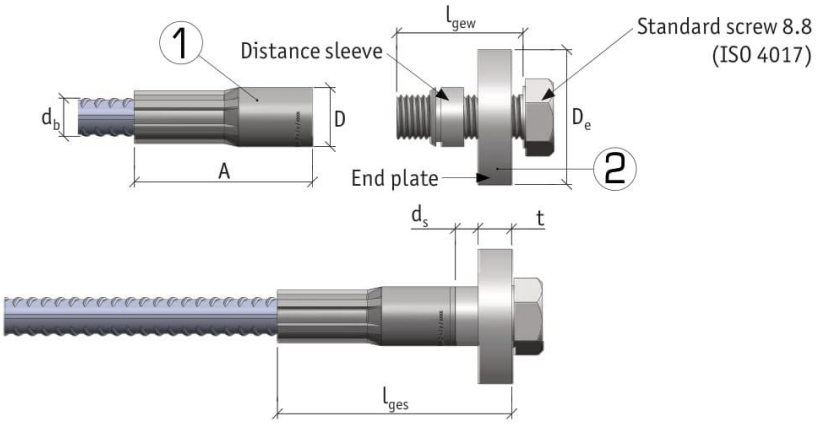
Application

MODIX RM Reduction Couplers are used when the reinforcement bar diameter should be reduced by one size with full tension and compression capacity.

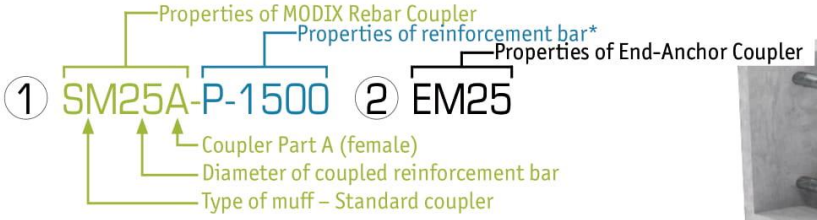
MODIX® EM (End-Anchor Coupler)

- Alternative to end hooks
- Anchor or plug for reinforcement bar
- No axial movement and rotation of SM A muff required

Coupler type	Bar Ø d_b [mm]	Coupler Ø D [mm]	Length Part A [mm]	Thread length Part A l_e	Thickness of distance sleeve d_s	Length fitted together l_{ges}	End-Plate Ø D_e	End-plate thickness t	Thread length of screw l_{gew}	ISO metric thread M	Color of thread protector
EM10	10	17.5	52	21	9	71	40	10.0	40.0	M 12 x 1.75	Orange
EM12	12	21.0	63	26	10	85	48	12.0	45.0	M 16 x 2	Yellow
EM14	14	24.0	72	30	11	97	55	14.0	50.0	M 18 x 2.5	Blue
EM16	16	27.0	80	33	11	106	63	15.0	55.0	M 20 x 2.5	White
EM20	20	33.0	98	37	12	129	80	19.0	60.0	M 24 x 3	Gray
EM25	25	41.0	122	44	14	160	95	24.0	75.0	M 30 x 3.5	Red
EM28	28	47.0	141	51	16	185	110	28.0	90.0	M 36 x 4	Black
EM32	32	53.0	156	59	18	205	130	31.0	100.0	M 42 x 4.5	Brown
EM40	40	63.5	163	65	20	223	150	40.0	120	M 48 x 5.0	Green



Example of a product code:



*Properties of reinforcement bars are described in detail in Annex A.

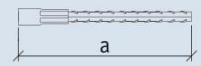
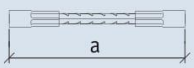
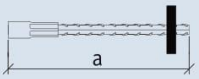
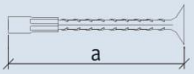
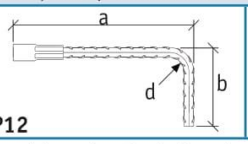
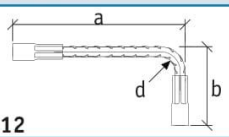
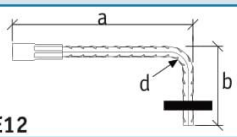
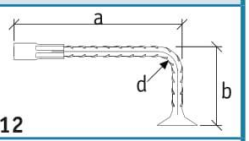
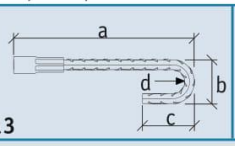
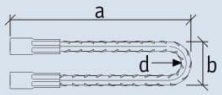
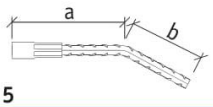
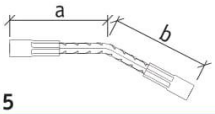
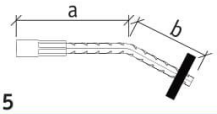
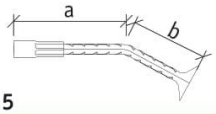
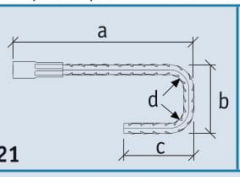
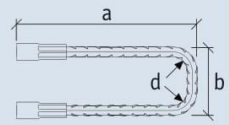
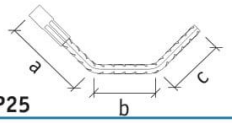
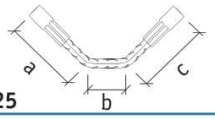
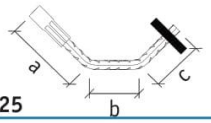
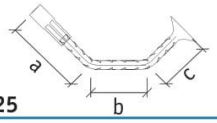
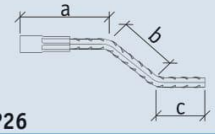
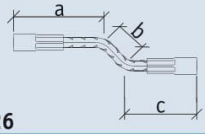
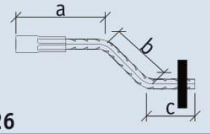
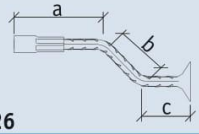
Design of end-anchor

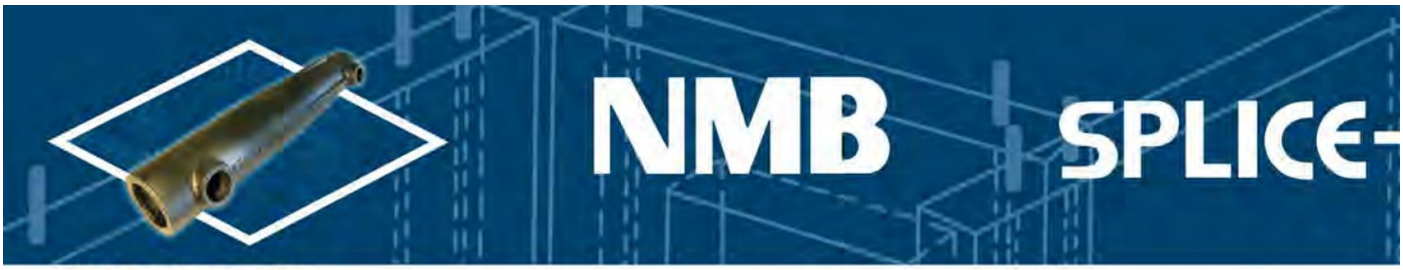
The end-anchor plates are dimensioned to transfer the full strength of the respective bar. The center line and edge spacing result from the proof of the partial area pressure. Supplementary transverse reinforcement should be designed according to EN 1992-1-1 chapter 9.8.4.

Application

MODIX EM End-Anchor Couplers are used to reduce the anchorage length of the rebar.

Table 3. MODIX rebar Product shape list.

P – Straight end	D – Double sided	E – End plate	L - Headed stud
 **P**	 **D**	 **E**	 **L**
Total length calculation: $l_e = a$ Example of product code: SM25A-E-1200			
 **P12**	 **D12**	 **E12**	 **L12**
Total length calculation: $l_e = a + b - ¼d - d_b$ Example of product code: SM25A-P12-1200(500)			
 **P13**	 **D13**		
Total length calculation: $l_e = a + 0.57b + c - 1.57d_b$ or $l_e = 2a + 0.57b - 1.57d_b$ Example of product code: SM25A-D13-SM25A-1200(500-300)			
 **P15**	 **D15**	 **E15**	 **L15**
Total length calculation: $l_e = a + b$ Example of product code: SM25A-E15-1000(500-(-30))			
 **P21**	 **D21**		
Total length calculation: $l_e = a + b + c - ½d - 2d_b$ Example of product code: SM25A-P21-1500(700-600)			
 **P25**	 **D25**	 **E25**	 **L25**
Total length calculation: $l_e = a + b + c$ Example of product code: SM25A-L25-1500(700-(45)-600-(45))			
 **P26**	 **D26**	 **E26**	 **L26**
Total length calculation: $l_e = a + b + c$ Example of product code: SM25A-L26-1500(700-(-45)-600-(45))			



NMB SPLICE-SLEEVE

Steel Specification: The material properties of the NMB Splice Sleeve® iron castings conform to proprietary specification based on ASTM A536-84. The Models 5U-X and 6U-X satisfy the ASTM A536 Grade 65-45-12 [minimum yield and tensile strength of 65,000 and 45,000 psi respectively], Model 7U-X through Model 14U-X, Model A11W, and Model SNX11 satisfy ASTM A536 [Grade 80-55-06] with a Grade of 85-60-06 [minimum yield and tensile strength of 85,000 and 60,000 psi respectively].

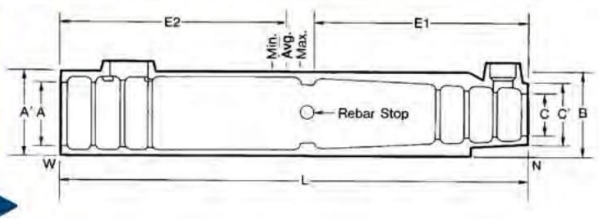
Grout Specification: The grout used in the NMB must be non-metallic, "SS Mortar®". Minimum grout strength requirements for ASTM A615 Grade 60 rebars:

Type 2 (ACI)*	(100% Fu = 150% Fy = 90 ksi)	**9,500 psi**
Type 1 & AASHTO	(125% Fy = 75 ksi)	**6,500 psi**
Yield Strength	(100% Fy = 60 ksi)	**4,000 psi**

NOTE: to allow for variations in curing, typically cube breaks of 4,000-psi are specified by the EOR for removal of bracing and continued erection.
*Note that for ASTM A706 Grade 60 rebars, 100% of specified tensile equals 133% of specified yield.

DIMENSIONS OF NMB SPLICE-SLEEVES*											RECOMMENDED REBAR EMBEDMENT LENGTH					
Sleeve No.	Bar Diameter	ASTM Bar Size		Sleeve Length (L) inch (mm)	Narrow End Diameter		Max. Dia. (B) inch (mm)	Wide End Diameter			Factory Dowel (E1) inch (mm)		Field Dowel (E2) inch (mm)			SS Mortar lbs. per Sleeve (kg)
		U.S.	Metric		I.D. (C) inch (mm)	O.D. (C') inch (mm)		I.D. (A) inch (mm)	Total Tolerance inch (mm)	O.D. (A') inch (mm)	Min.	Max.	Min.	Avg.	Max.	
5U-X	0.625	#5	16 MM	9.65 (245)	0.87 (22)	1.50 (38)	1.81 (46)	1.26 (32)	0.63 (16)	1.89 (48)	4.13 (105)	4.33 (110)	4.13 (105)	4.53 (115)	4.92 (125)	1.26 (0.57)
6U-X	0.750	#6	20 MM	11.22 (285)	1.02 (26)	1.65 (42)	1.97 (50)	1.42 (36)	0.67 (17)	2.05 (52)	4.92 (125)	5.12 (130)	4.92 (125)	5.32 (135)	5.71 (145)	1.76 (0.80)
7U-X	0.875	#7	22 MM	12.80 (325)	1.14 (29)	1.77 (45)	2.28 (58)	1.73 (44)	0.86 (22)	2.36 (60)	5.71 (145)	5.91 (150)	5.71 (145)	6.11 (155)	6.50 (165)	2.65 (1.20)
8U-X	1.000	#8	25 MM	14.57 (370)	1.30 (33)	1.93 (49)	2.48 (63)	1.89 (48)	0.89 (23)	2.52 (64)	6.50 (165)	6.69 (170)	6.50 (165)	6.99 (178)	7.48 (190)	3.46 (1.57)
9U-X	1.128	#9	28 MM	16.34 (415)	1.42 (36)	2.06 (52)	2.60 (66)	2.01 (51)	0.89 (23)	2.67 (68)	7.40 (188)	7.56 (192)	7.40 (188)	7.88 (200)	8.35 (212)	3.95 (1.79)
10U-X	1.270	#10	32 MM	17.91 (455)	1.57 (40)	2.28 (58)	2.80 (71)	2.16 (55)	0.89 (23)	2.87 (73)	8.19 (208)	8.35 (212)	8.19 (208)	8.66 (220)	9.13 (232)	4.94 (2.24)
11U-X	1.410	#11	35 MM	19.49 (495)	1.73 (44)	2.40 (61)	3.03 (77)	2.32 (59)	0.91 (23)	3.03 (77)	8.98 (228)	9.13 (232)	8.98 (228)	9.45 (240)	9.92 (252)	6.02 (2.73)
SNX11	1.410	#11	35 MM	19.09 (485)	1.69 (43)	3.03 (77)	3.03 (77)	2.32 (59)	0.91 (23)	3.03 (77)	8.86 (225)	9.25 (235)	8.27 (210)	8.86 (225)	9.45 (240)	6.99 (3.17)
A11W	1.410	#11	35 MM	19.49 (495)	1.73 (44)	3.31 (84)	3.30 (84)	2.60 (66)	1.19 (30)	3.30 (84)	8.86 (225)	9.69 (246)	8.27 (210)	8.96 (228)	9.50 (241)	7.74 (3.52)
14U-X	1.693	#14	40 MM	24.41 (620)	2.01 (51)	2.80 (71)	3.46 (88)	2.60 (66)	0.91 (23)	3.46 (88)	11.42 (290)	11.61 (295)	11.42 (290)	11.91 (303)	12.40 (315)	9.19 (4.17)
18U	2.257	#18	57 MM	36.22 (920)	2.68 (68)	3.66 (93)	4.72 (120)	3.27 (83)	1.01 (26)	4.25 (108)	17.00 (432)	18.11 (460)	17.00 (432)	17.56 (446)	18.11 (460)	25.31 (11.48)

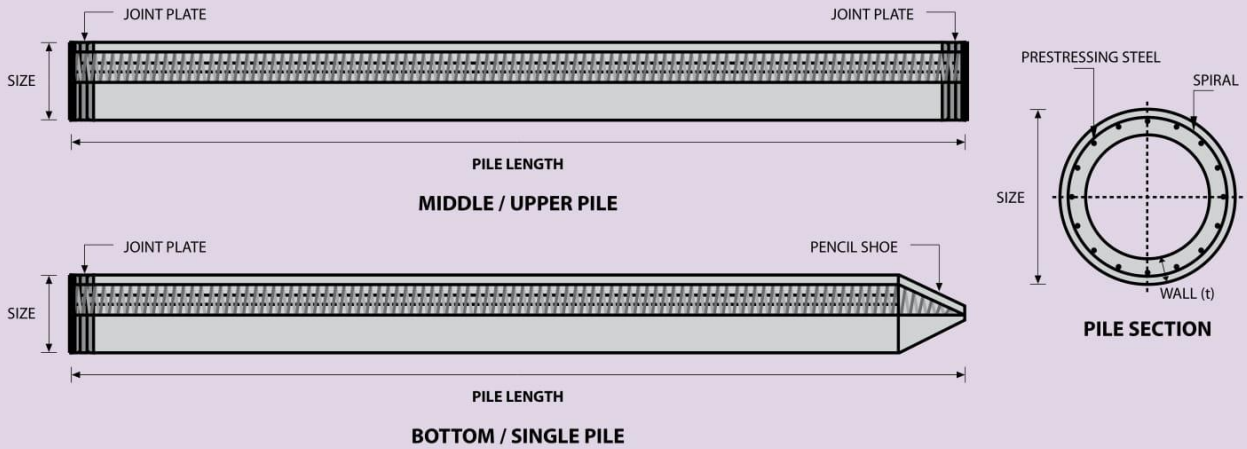
**The minimum embedment length for the bars using a larger size sleeve must follow the requirements for the sleeve size, not the bar size. For example, for a #9 bar with #11U-X sleeve, the embedment length must be based upon 11U-X, i.e. the maximum factory dowel (E1) is 9.13"; the maximum field dowel (E2) is 9.92".



MATERIAL **SPECIFICATION**

ITEM	REFERENCE	DESCRIPTION	SPECIFICATION
Aggregate	ASTM C 33 / C 33M-11a	Standard Specification for Concrete Aggregates	
Cement	SNI 15 - 2049 - 2004	Portland Cement	Standard Product Type I Special Order : Type II or V
Admixture	ASTM C 494 / C 494M - 99a	Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete	Type F : High Range Water Reducing Admixture
Concrete	SNI 03 - 2834 - 1993 SNI 03 - 2493 - 1991	Concrete Mix Design Making and Curing Concrete Sample	
PC Strand	ASTM A 416 / A 416M - 99	Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete	Grade 270 (Low Relaxation Type)
PC Wire	JIS G 3536 - 1999	Uncoated Stress-Relieved Steel Wires and Strands for Prestressed Concrete	SWPD1 (Deformed Wire Type)
PC Bar	JIS G 3137 - 1994	Small Size-Deformed Steel Bars for Prestressed Concrete	Grade D - Class 1 - SBPD 1275/1420
Rebar	SNI 07 - 2052 - 2002	Reinforcement Steel for Concrete	Steel Class : BjTS 40 (Deformed) Steel Class : BjTP 24 (Round)
Spiral Wire	JIS G 3532 - 2000	Low Carbon Steel Wires	SWM-P (Round Type) Cold-reduced steel wire for the reinforcement of concrete and the manufacture of welded fabric.
Joint Plate	JIS G 3101 - 2004	Rolled Steels for General Structure	SS400 (Tensile Strength 400 N/mm2) Applicable steel product for steel plates and sheets, steel strip in coil, sections, flats and bars.
Welding	ANSI / AWS D1.1 - 900	Structural Welding Code Steel	AWS A5.1/E6013 NIKKO STEEL RB 26 / RD 260, LION 26, or equivalent.

PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES



PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES **SPECIFICATION**

Concrete Compressive Strength fc' = 52 MPa (Cube 600 kg/cm²)

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm^2)	Section Inertia (cm^4)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack * (ton.m)	Break (ton.m)			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17
					C	12.50	25.00	134.90	100.45	6 - 18
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17
					B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18
					C	17.00	34.00	169.00	122.04	6 - 19
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17
					A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19
					C	29.00	58.00	229.50	163.67	6 - 20
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20
					A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23
					C	65.00	130.00	368.17	290.82	6 - 24
1000 ***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24
					C	120.00	240.00	555.23	385.70	6 - 24
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24
					B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24
					C	200.00	400.00	721.50	522.20	6 - 24

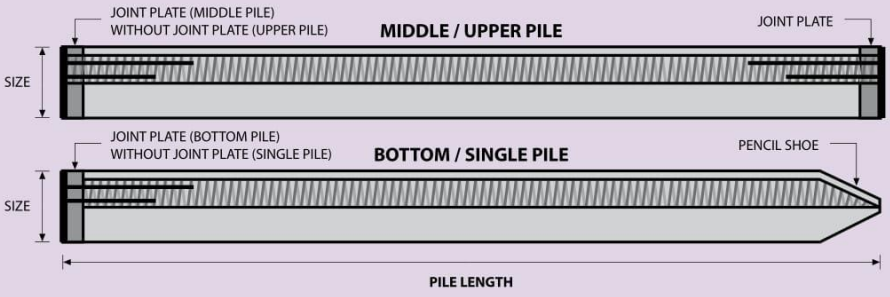
*Note : *) Crack Moment Based on JIS A 5335-1987 (Prestressed Spun Concrete Piles)*

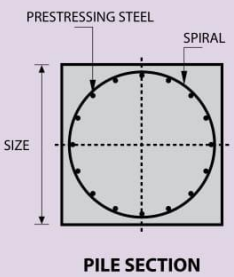
***) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position*

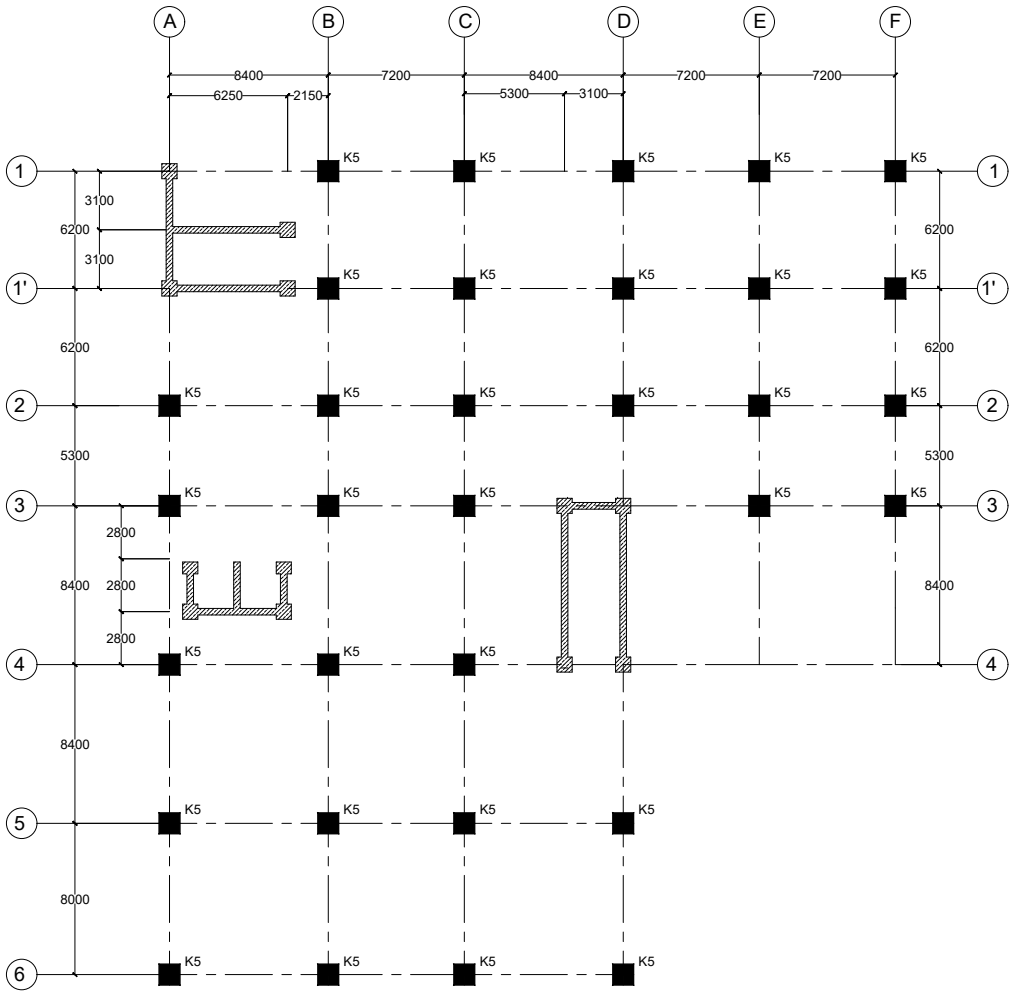
****) Type of Shoe for Bottom Pile is Mamira Shoe*

Unit Conversion : 1 ton = 9.8060 kN

PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE SQUARE PILES



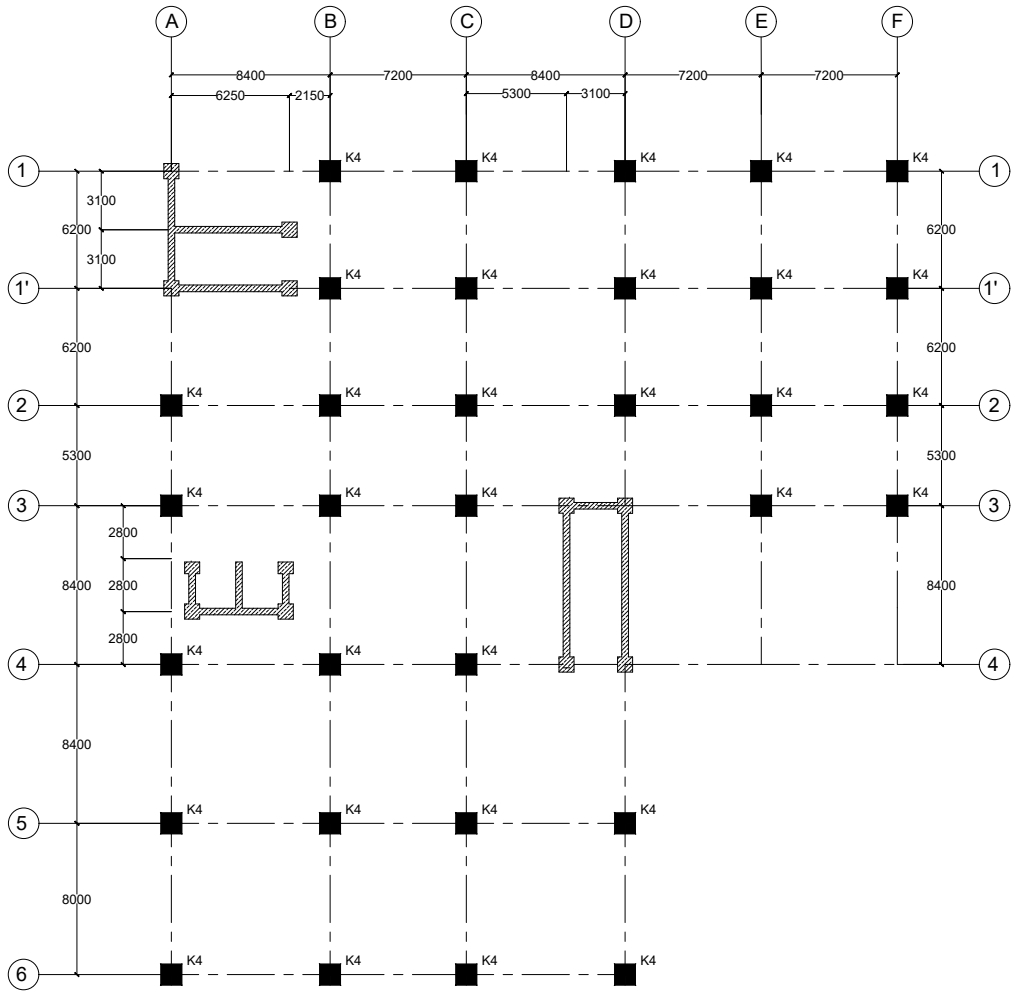




DENAH KOLOM Lt. BASEMENT

SKALA 1 : 400

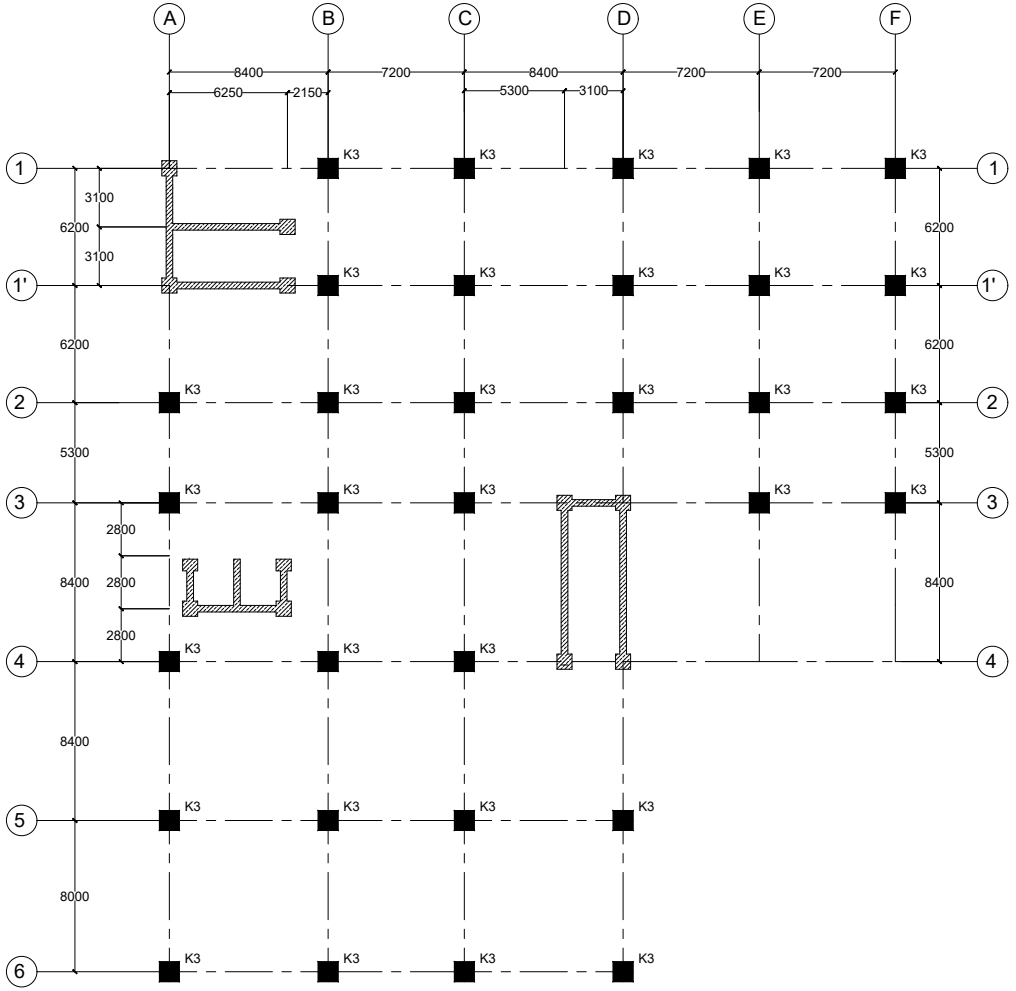
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Kolom	01 / 60



DENAH KOLOM Lt. 1 - 3

SKALA 1 : 400

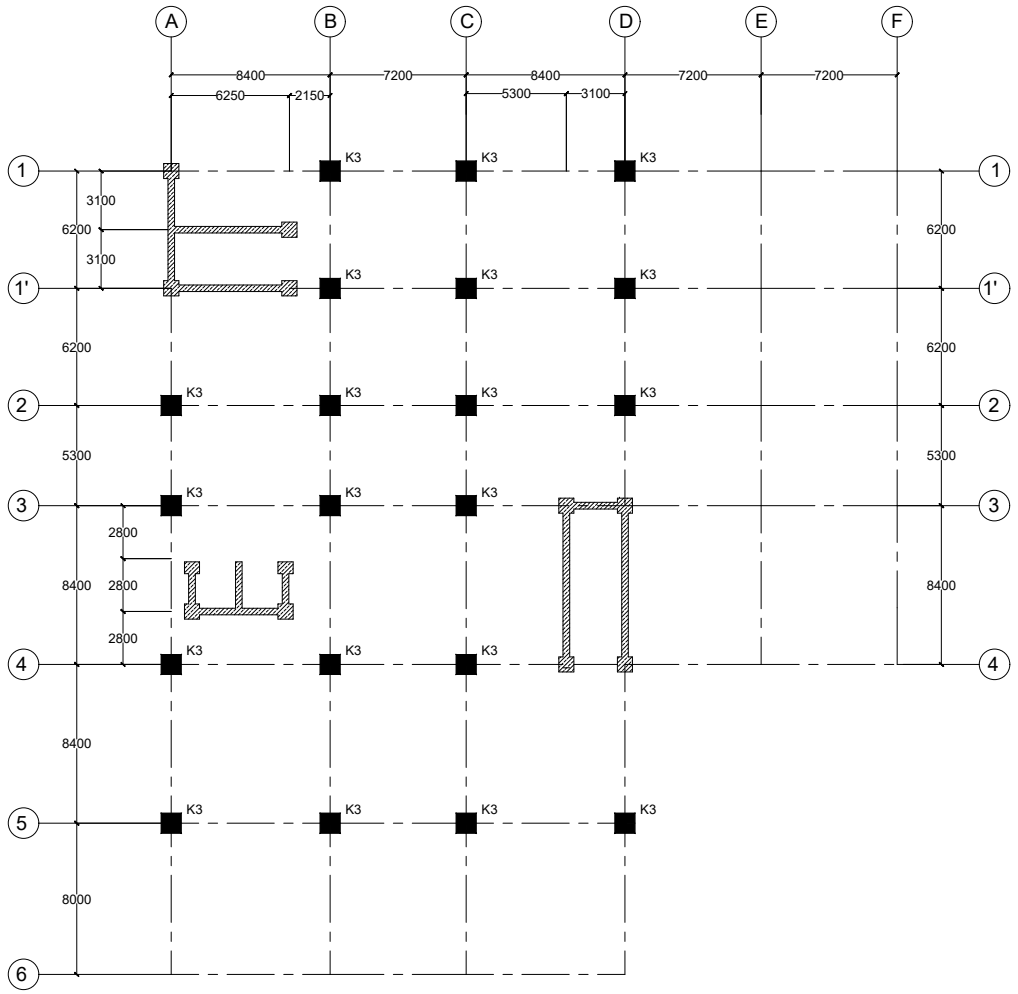
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Kolom	02 / 60



DENAH KOLOM Lt. 4 - 5

SKALA 1 : 400

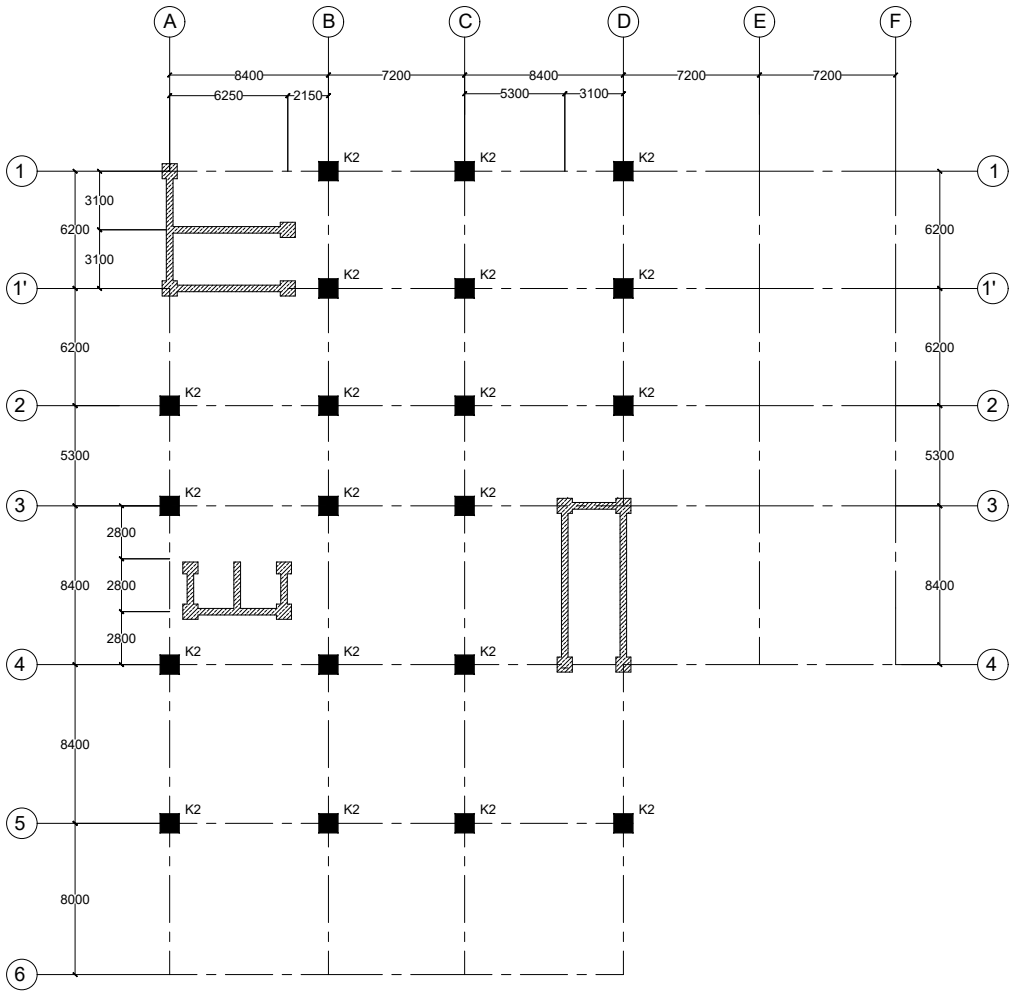
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Kolom	03 / 60



DENAH KOLOM Lt. 6 - 7

SKALA 1 : 400

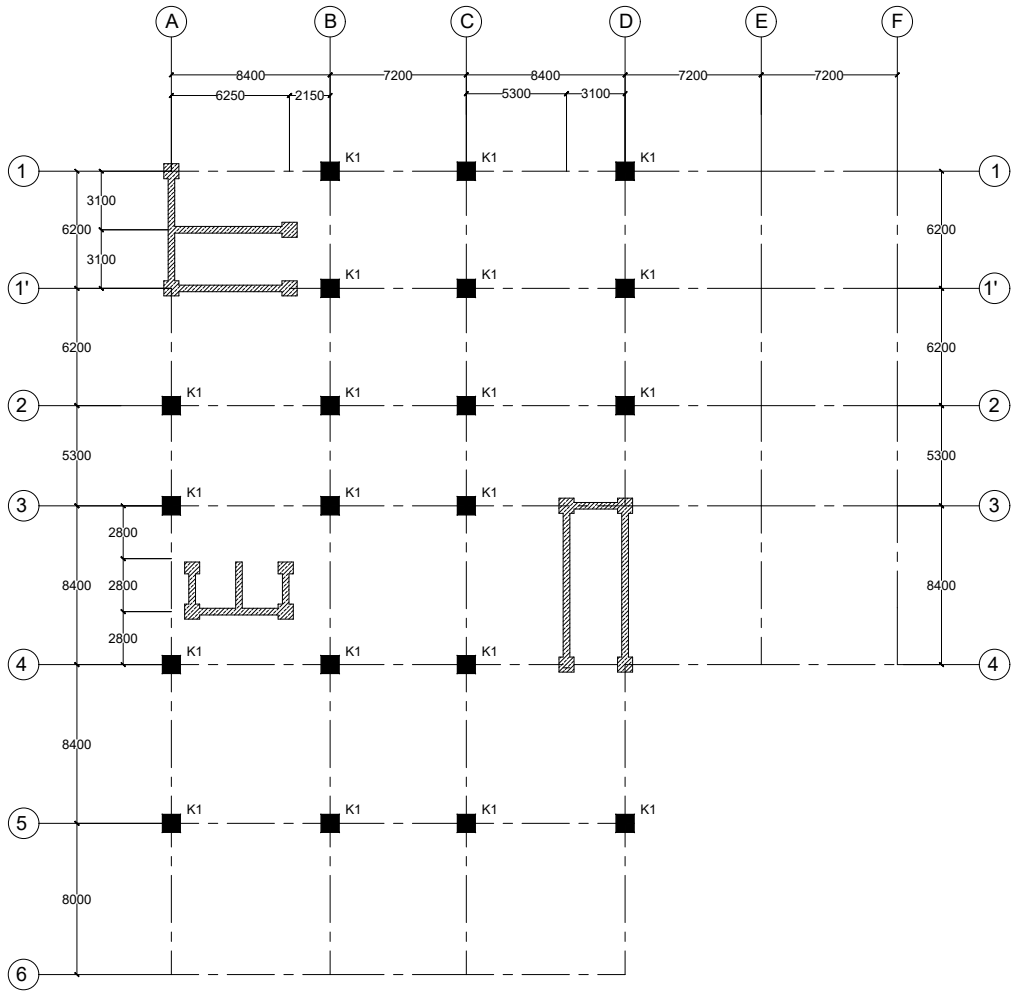
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Kolom	04 / 60



DENAH KOLOM Lt. 8 - 11

SKALA 1 : 400

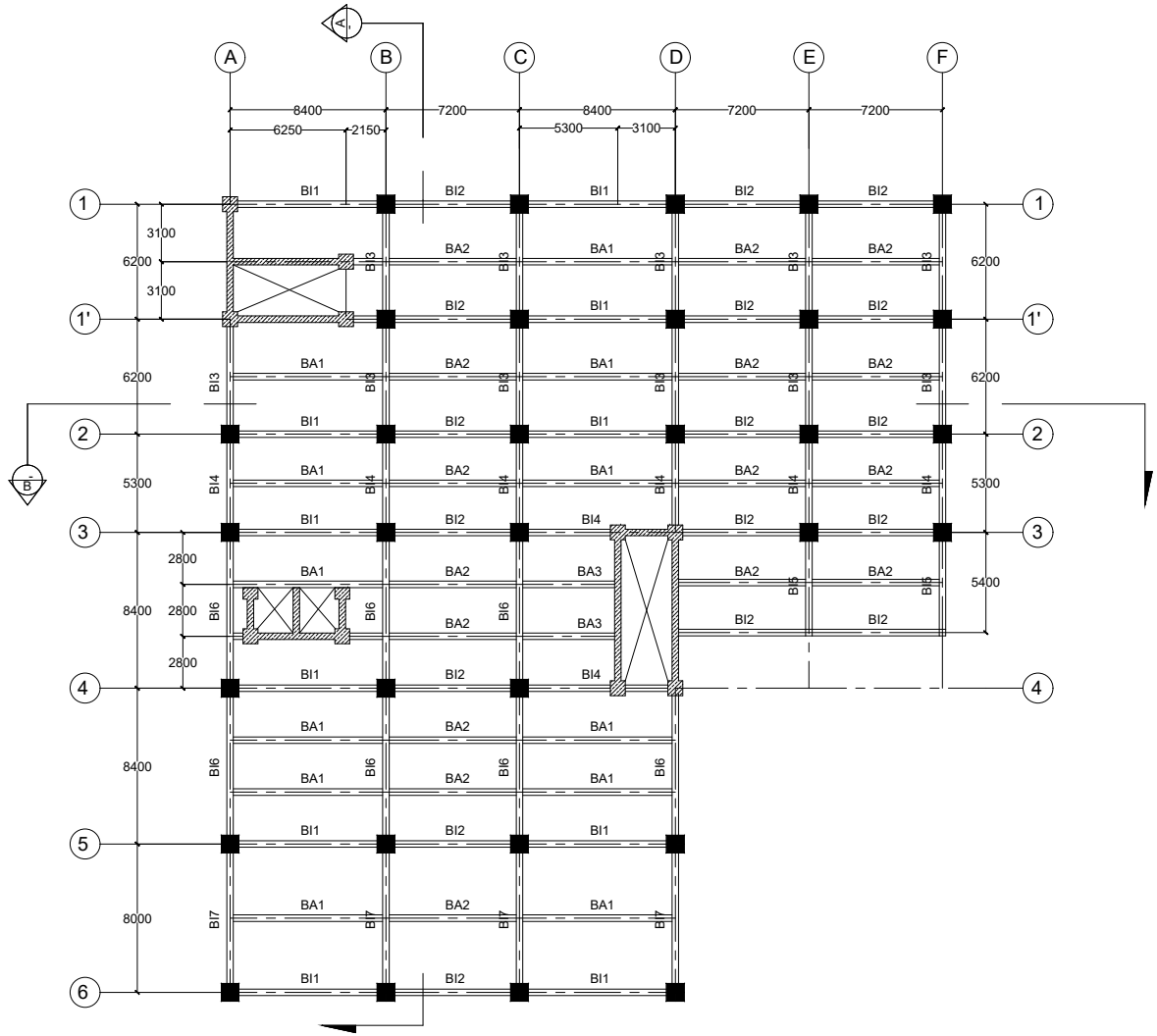
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Kolom	05 / 60



DENAH KOLOM Lt. 12 - 15

SKALA 1 : 400

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Kolom	06 / 60

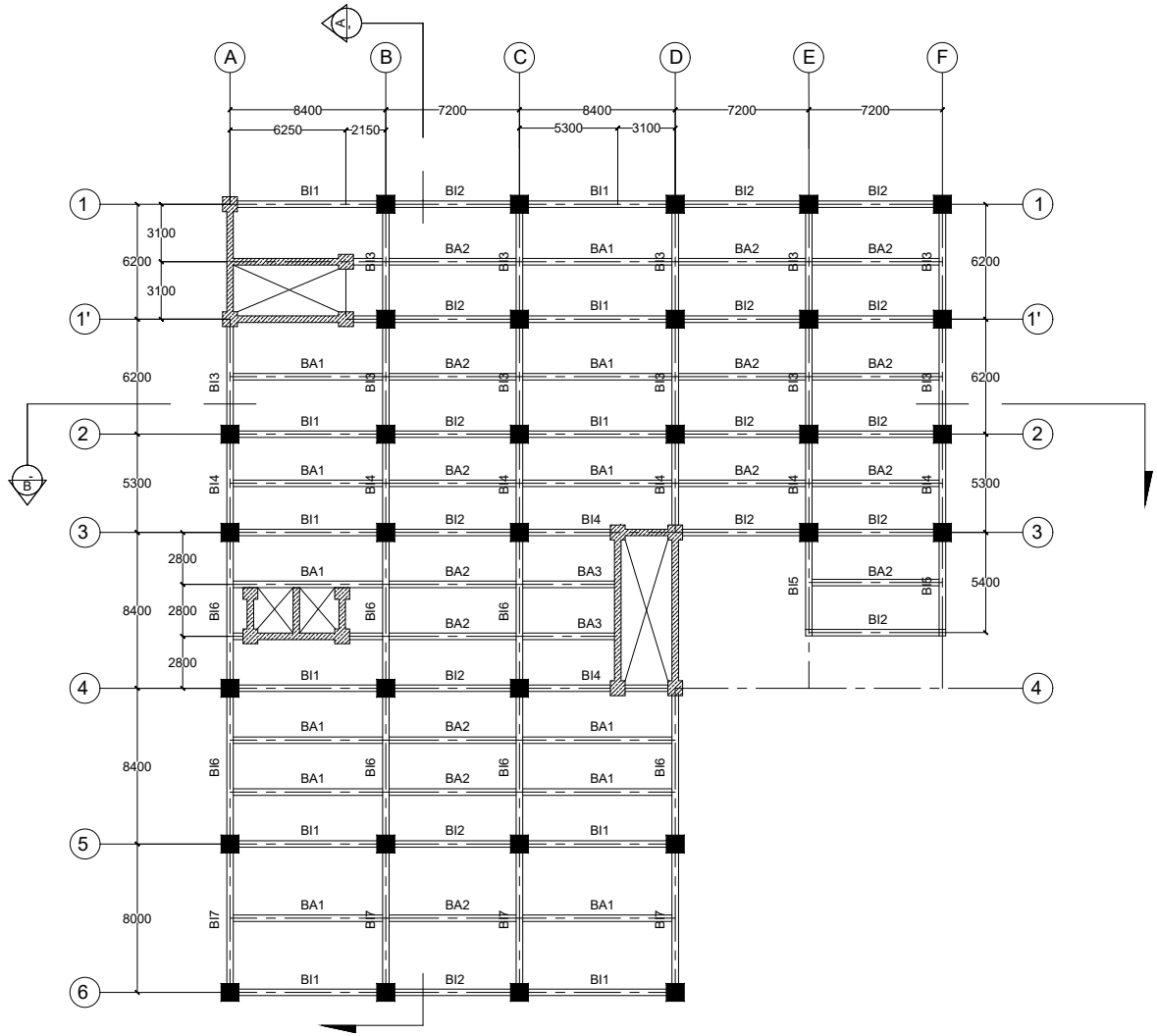


DIMENSI BALOK	
TIPE	UKURAN (cm)
BA 1	40/65
BA 2	40/65
BA 3	35/60
BI 1	60/90
BI 2	60/90
BI 3	80/120
BI 4	80/120
BI 5	80/120
BI 6	80/120
BI 7	80/120

DENAH BALOK Lt. 1

SKALA 1 : 400

	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Balok	07 / 60

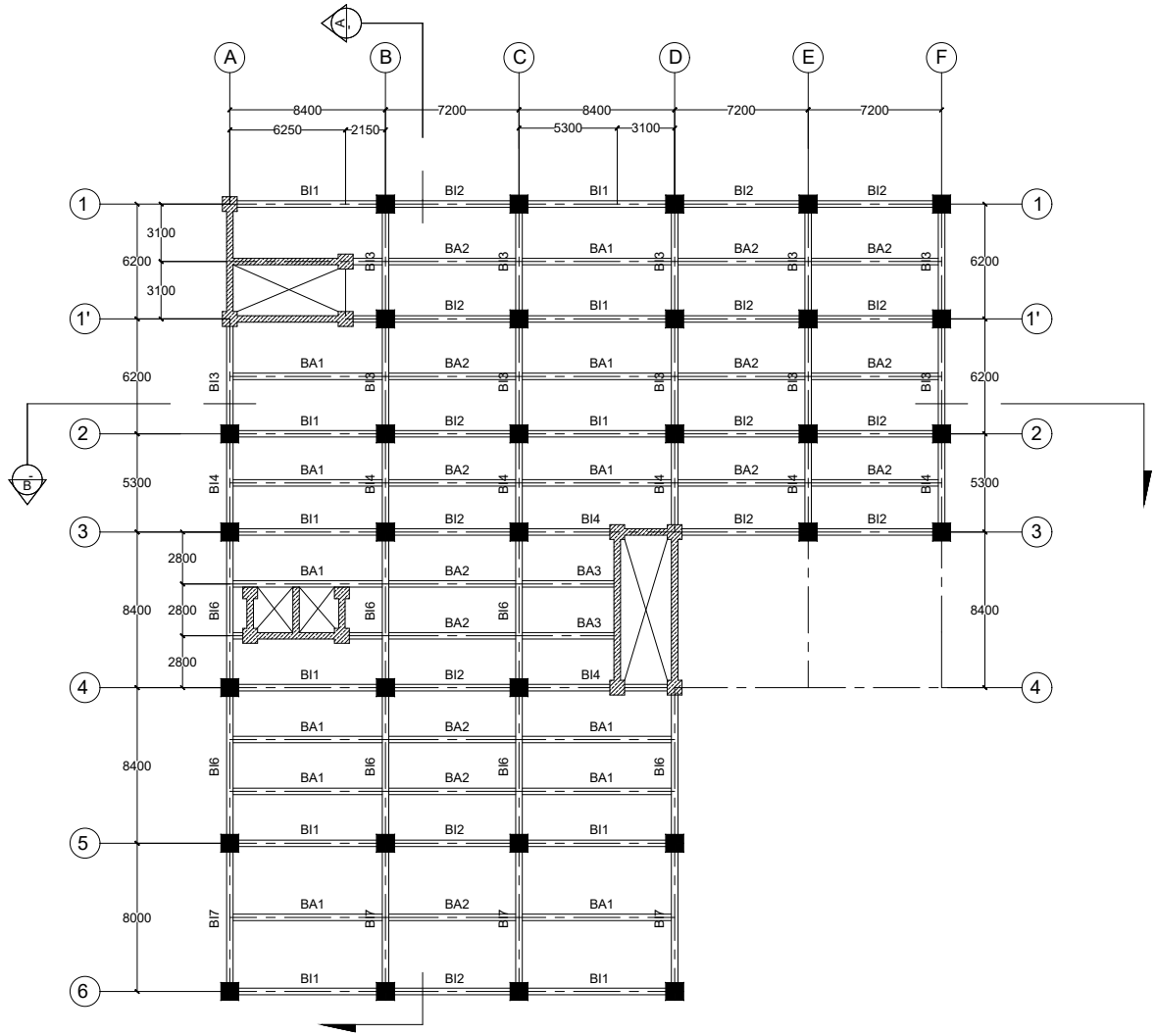


DIMENSI BALOK	
TIPE	UKURAN (cm)
BA 1	40/65
BA 2	40/65
BA 3	35/60
BI 1	60/90
BI 2	60/90
BI 3	80/120
BI 4	80/120
BI 5	80/120
BI 6	80/120
BI 7	80/120

DENAH BALOK Lt. 2

SKALA 1 : 400

	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Balok	08 / 60

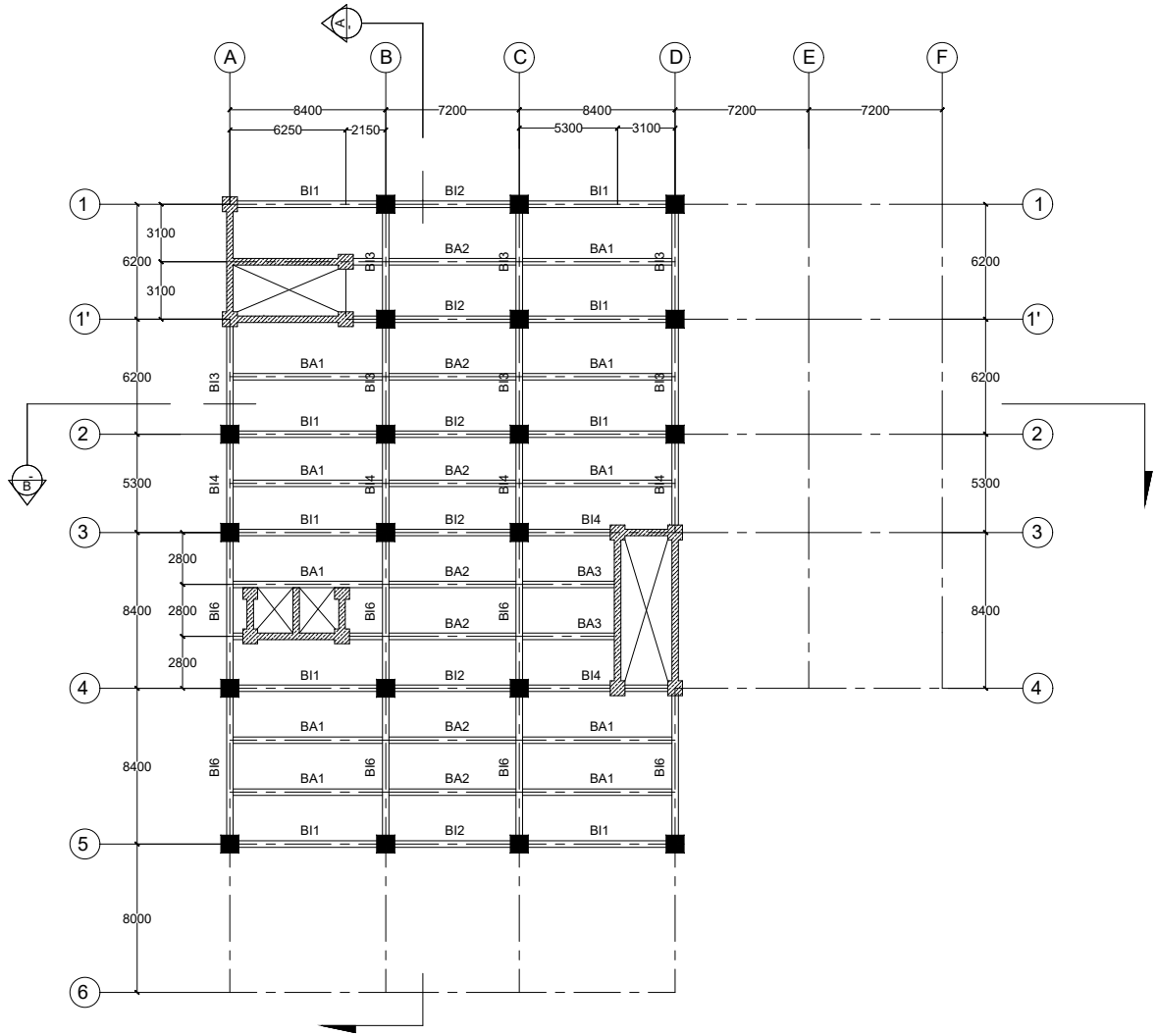


DIMENSI BALOK	
TIPE	UKURAN (cm)
BA 1	40/65
BA 2	40/65
BA 3	35/60
BI 1	60/90
BI 2	60/90
BI 3	80/120
BI 4	80/120
BI 5	80/120
BI 6	80/120
BI 7	80/120

DENAH BALOK Lt. 3 - 5

SKALA 1 : 400

	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Balok	09 / 60

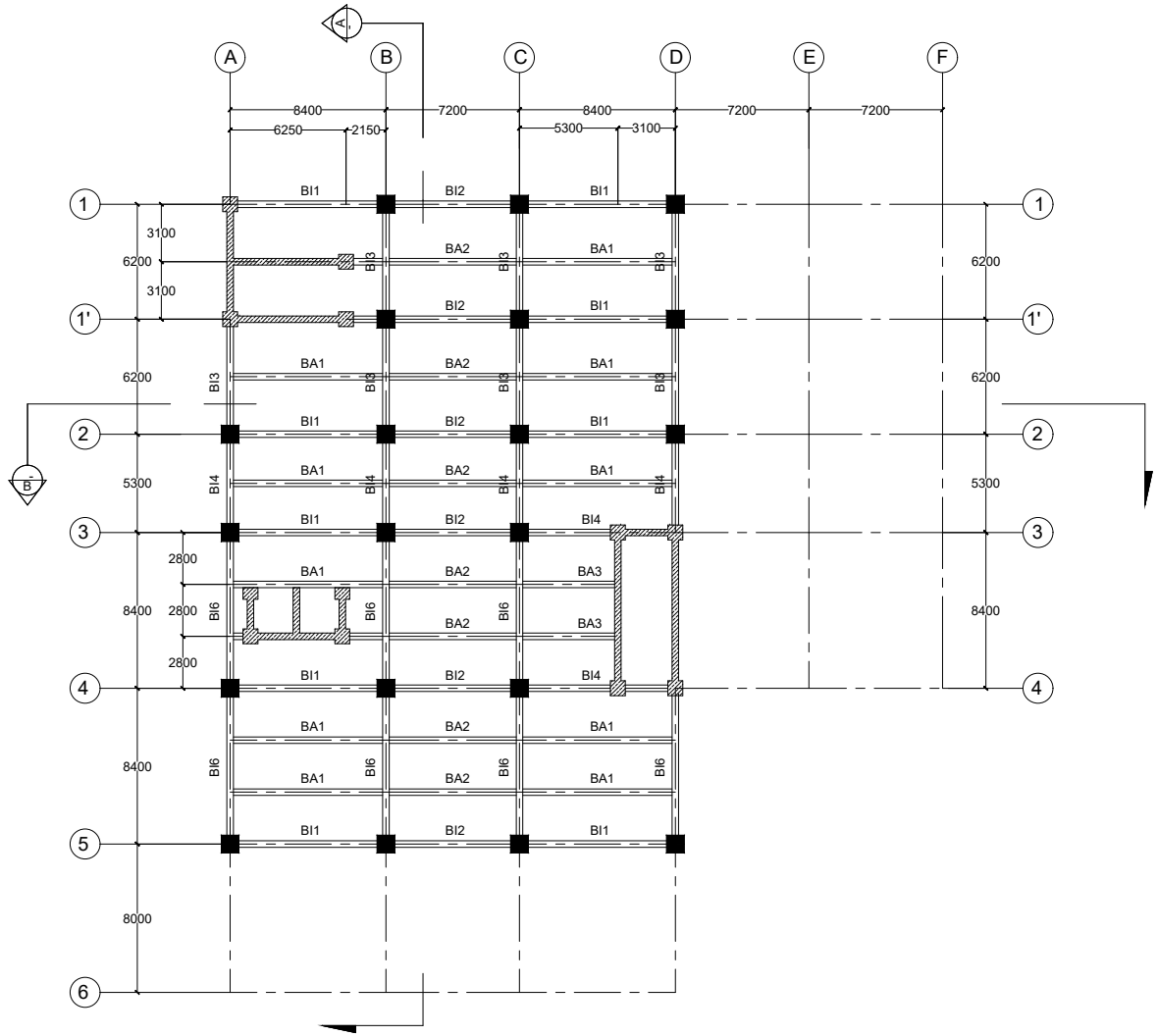


DIMENSI BALOK	
TIPE	UKURAN (cm)
BA 1	40/65
BA 2	40/65
BA 3	35/60
BI 1	60/90
BI 2	60/90
BI 3	80/120
BI 4	80/120
BI 5	80/120
BI 6	80/120
BI 7	80/120

DENAH BALOK Lt. 6 - 15

SKALA 1 : 400

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Balok	10 / 60

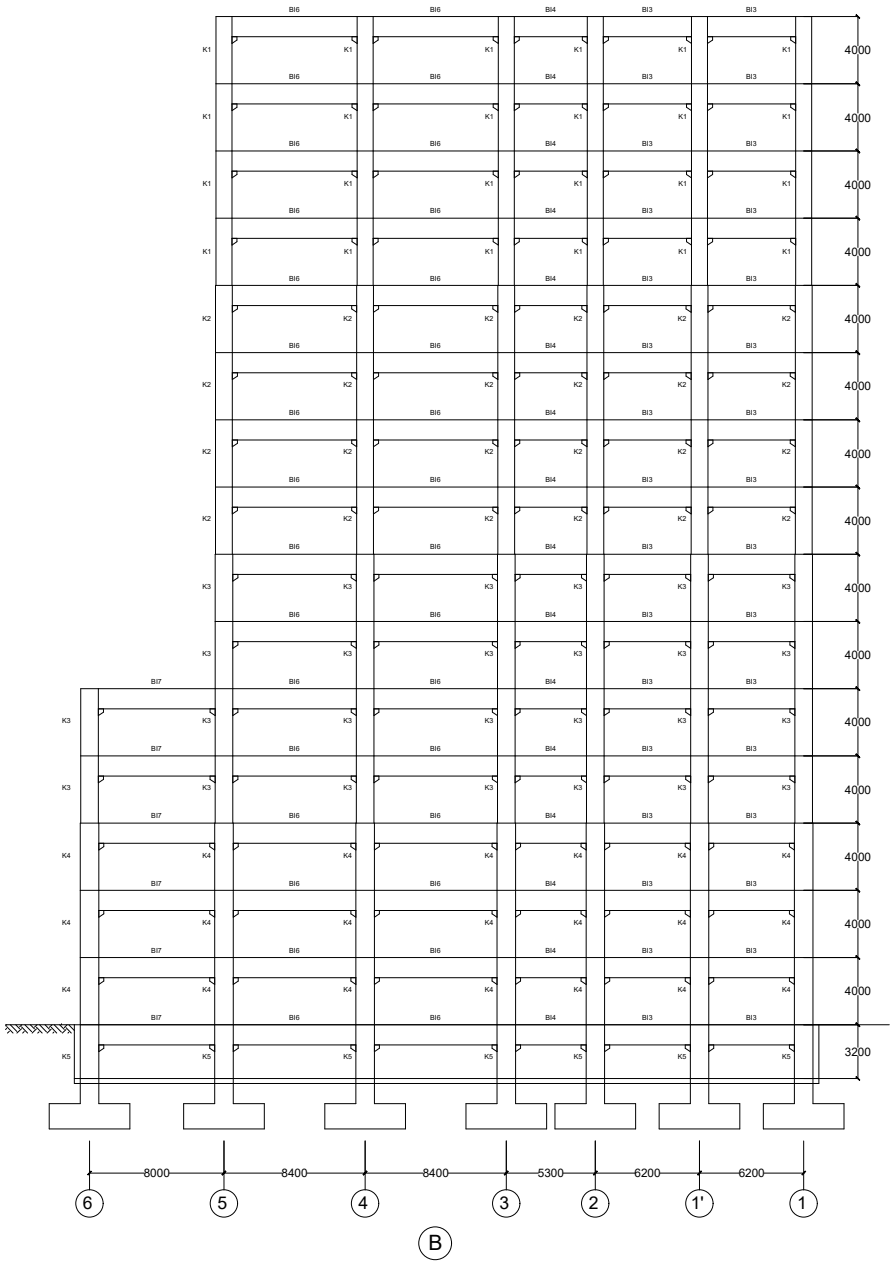


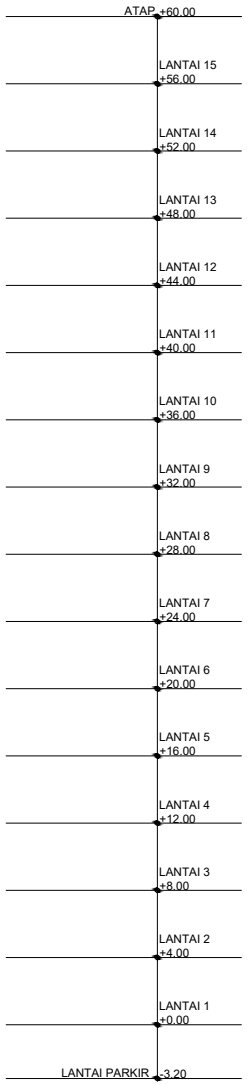
DIMENSI BALOK	
TIPE	UKURAN (cm)
BA 1	40/65
BA 2	40/65
BA 3	35/60
BI 1	60/90
BI 2	60/90
BI 3	80/120
BI 4	80/120
BI 5	80/120
BI 6	80/120
BI 7	80/120

DENAH BALOK Lt. ATAP

SKALA 1 : 400

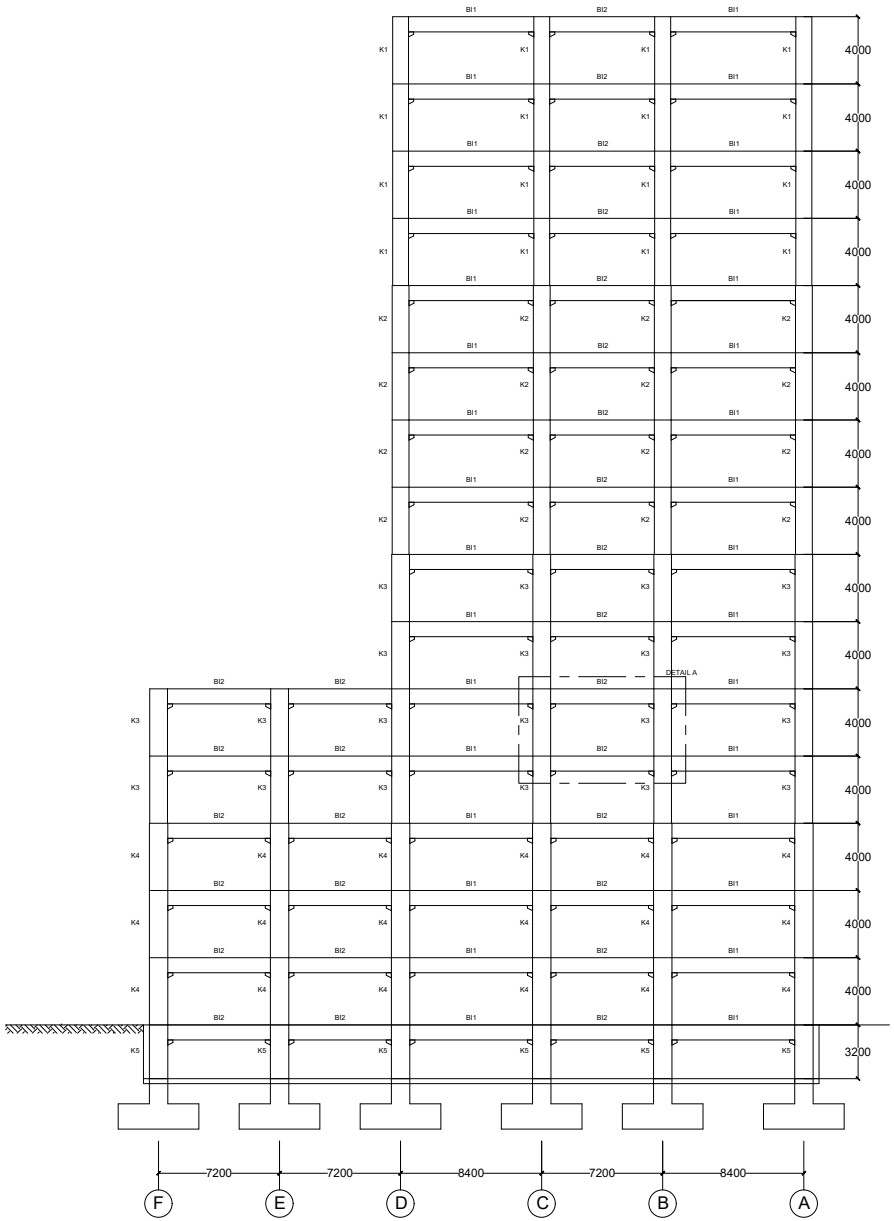
	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Balok	11 / 60

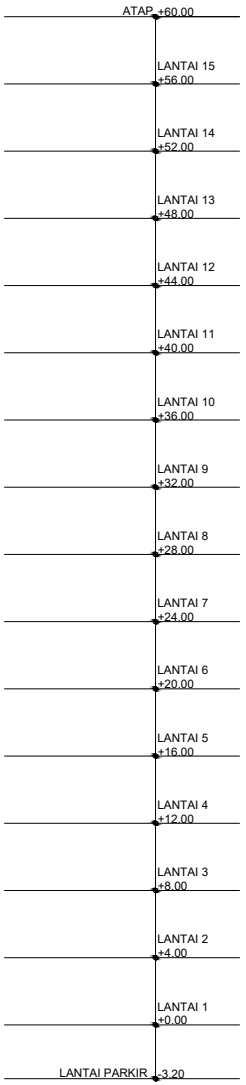




POTONGAN A - A
SKALA 1 : 450

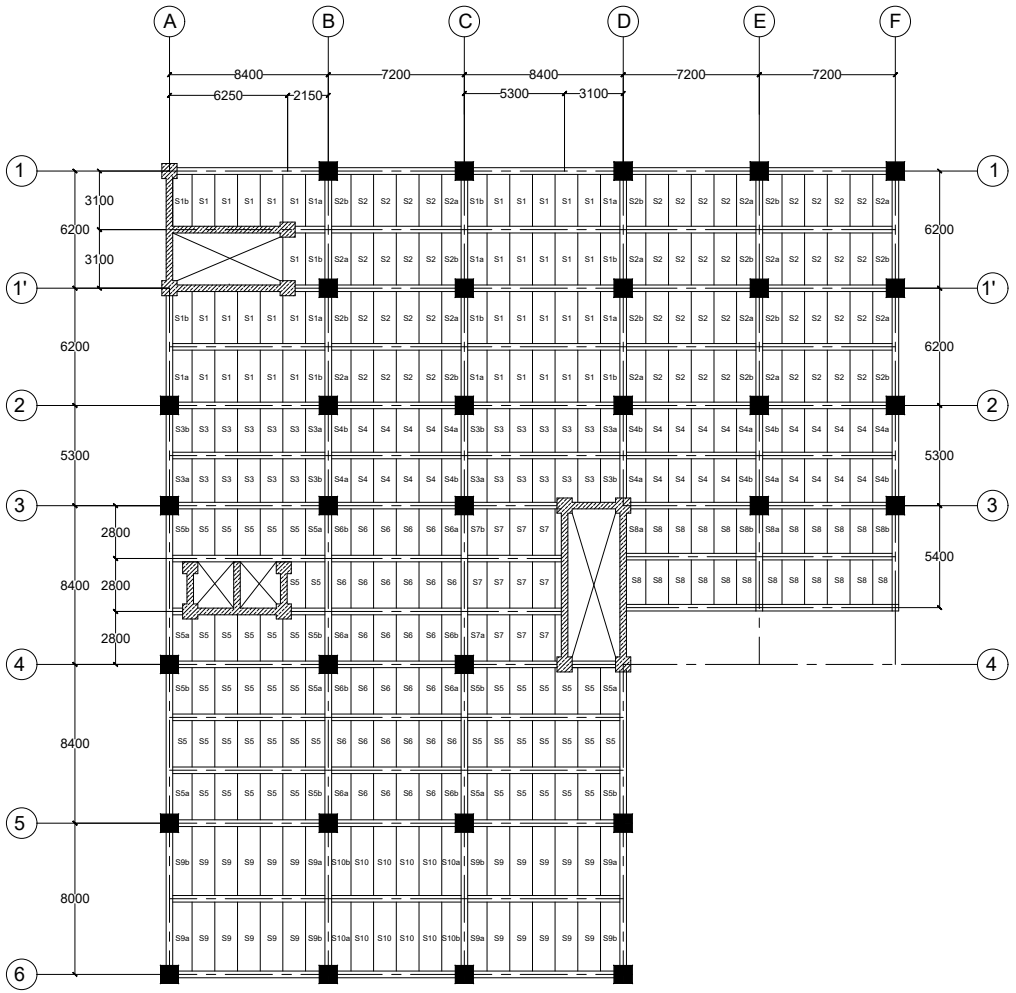
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Potongan Portal A - A	12 / 60





POTONGAN B - B
SKALA 1 : 450

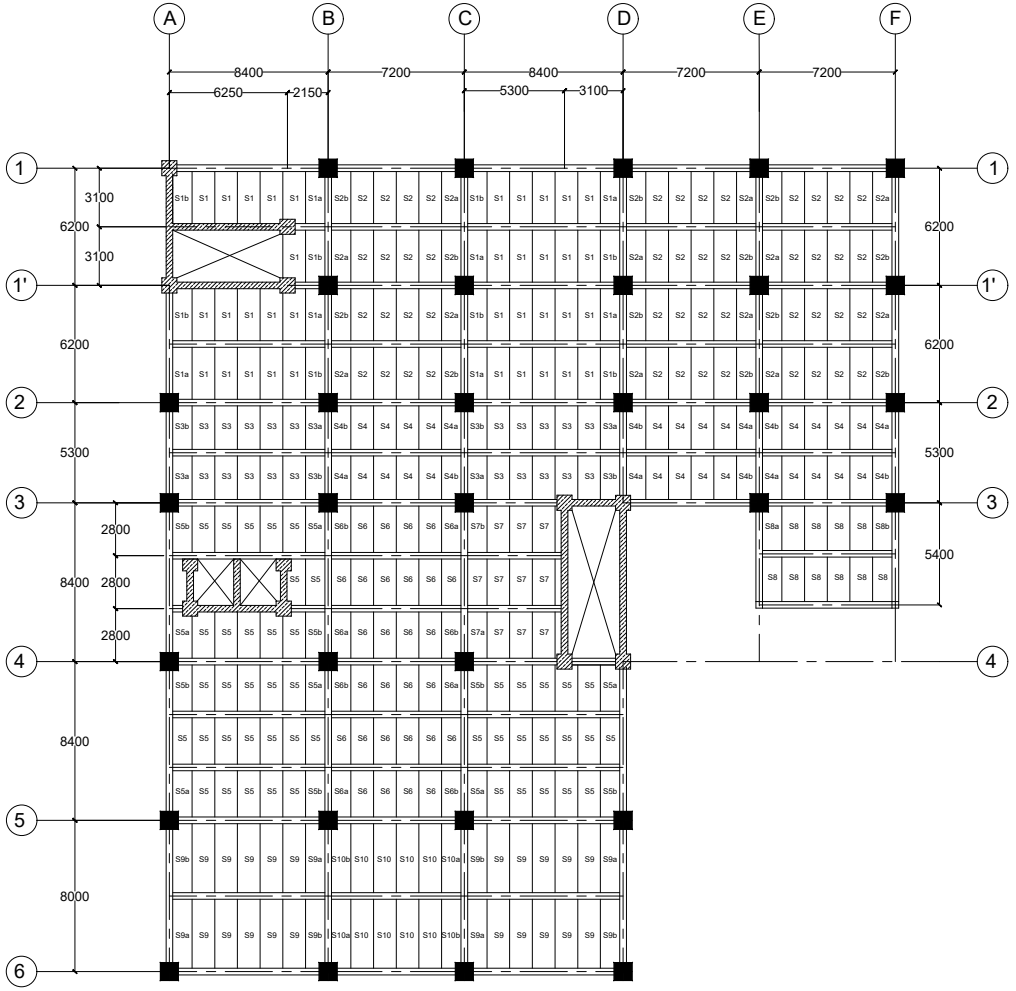
	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Potongan Portal B - B	13 / 60



DENAH PELAT Lt. 1

SKALA 1 : 400

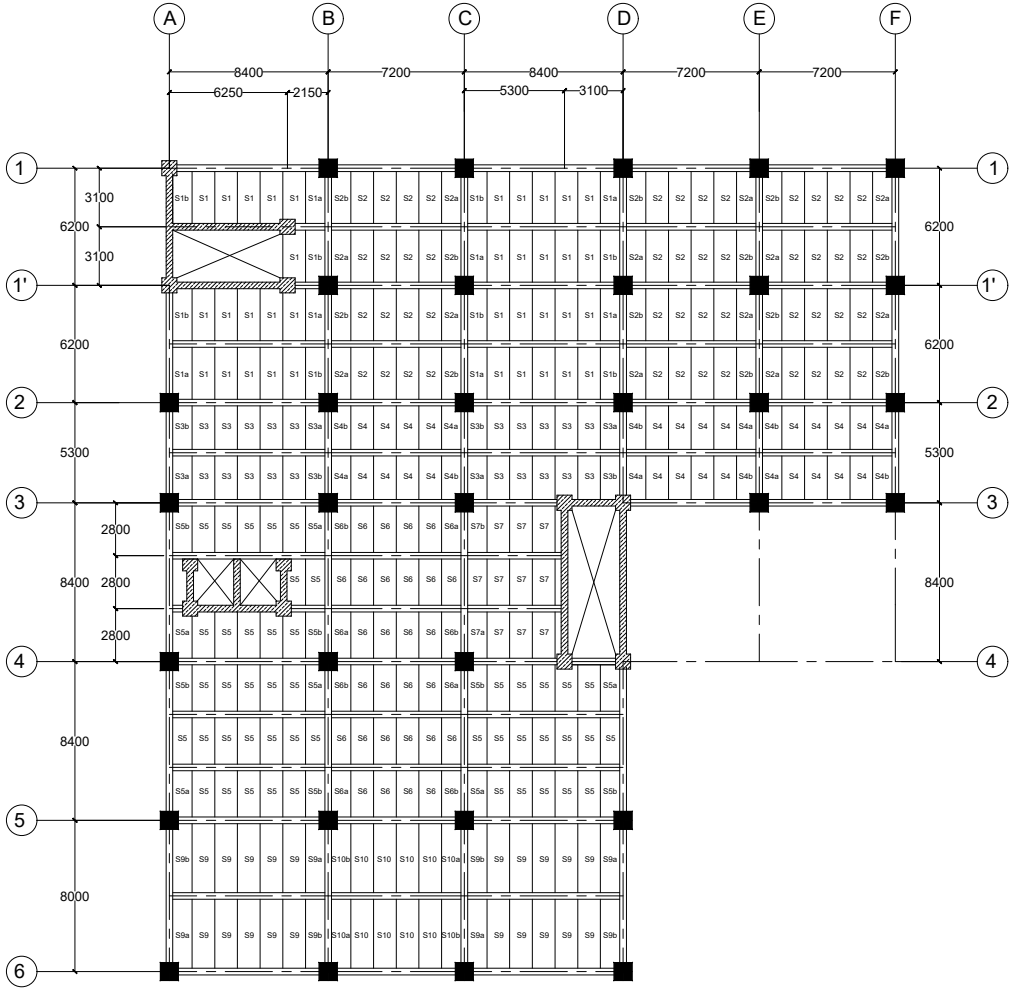
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Pelat	14 / 60



DENAH PELAT Lt. 2

SKALA 1 : 400

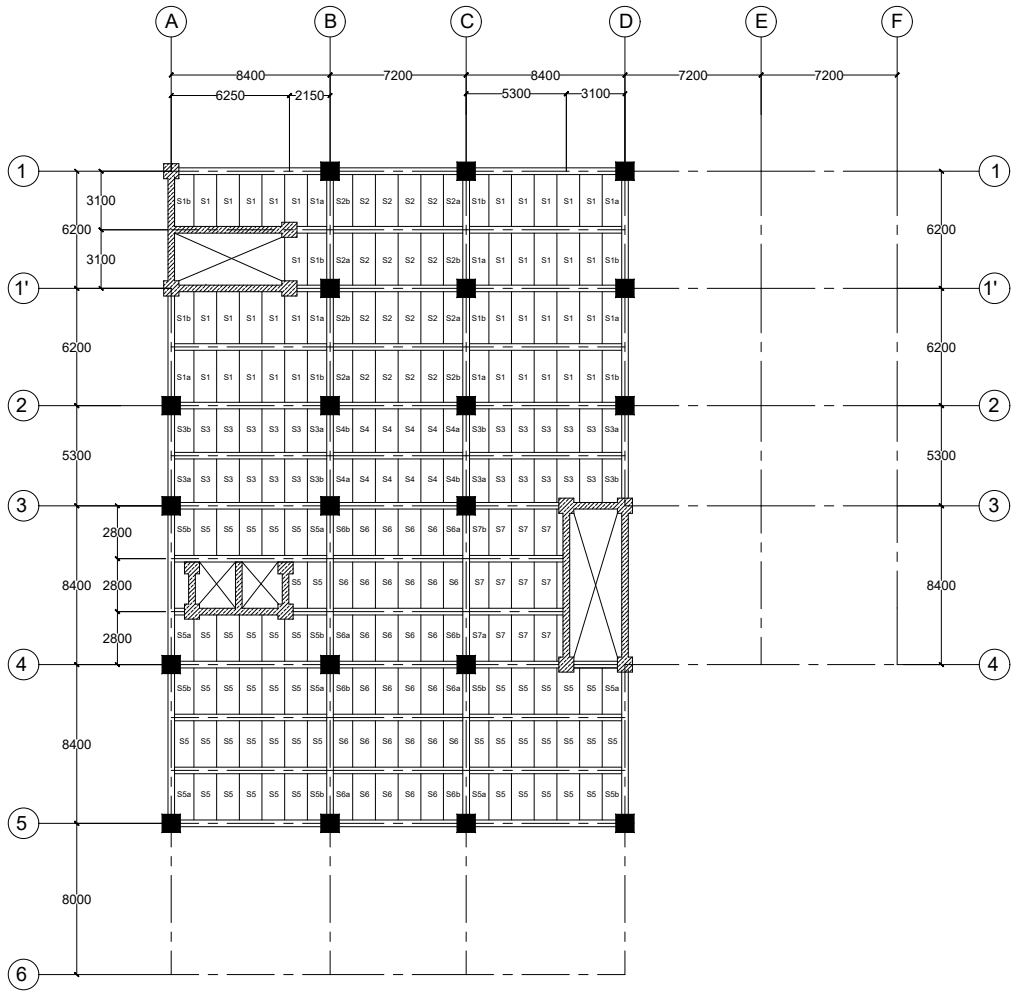
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Pelat	15 / 60



DENAH PELAT Lt. 3 - 5

SKALA 1 : 400

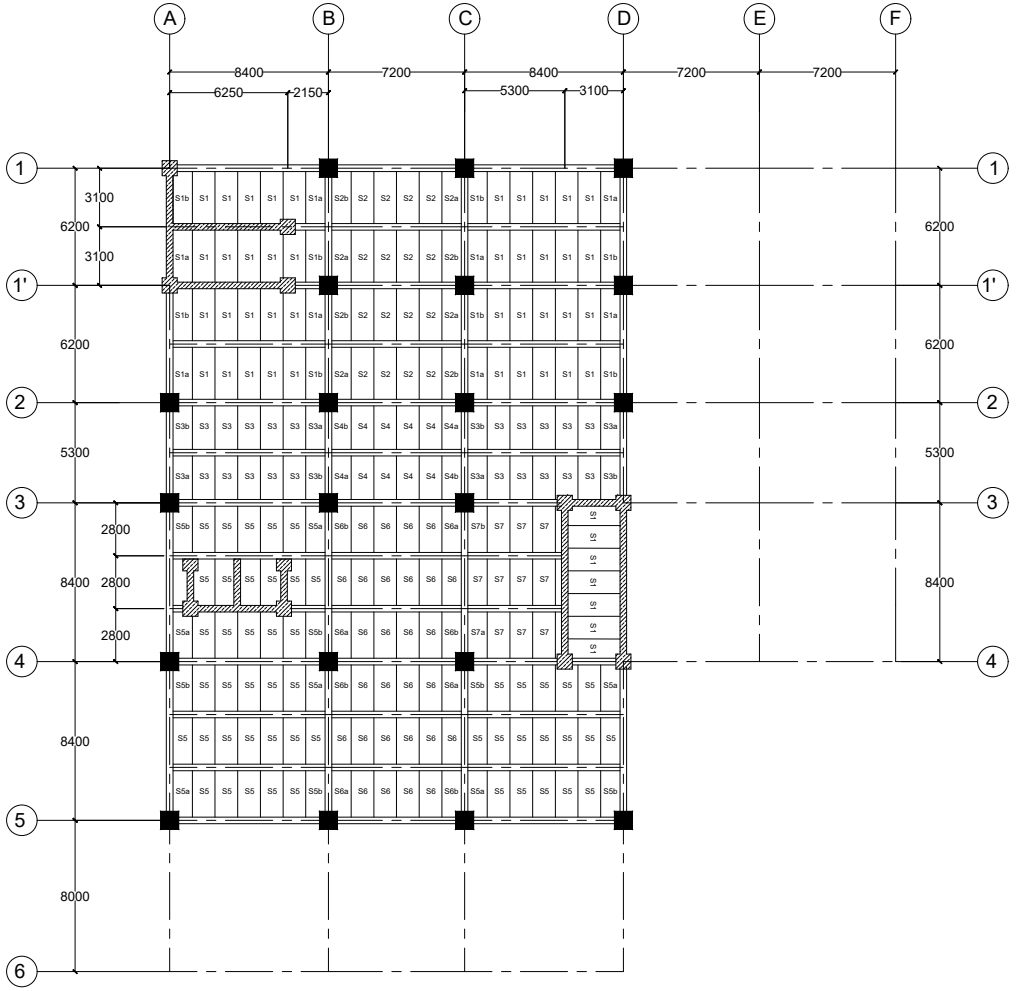
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Pelat	16 / 60



DENAH PELAT Lt. 6 - 15

SKALA 1 : 400

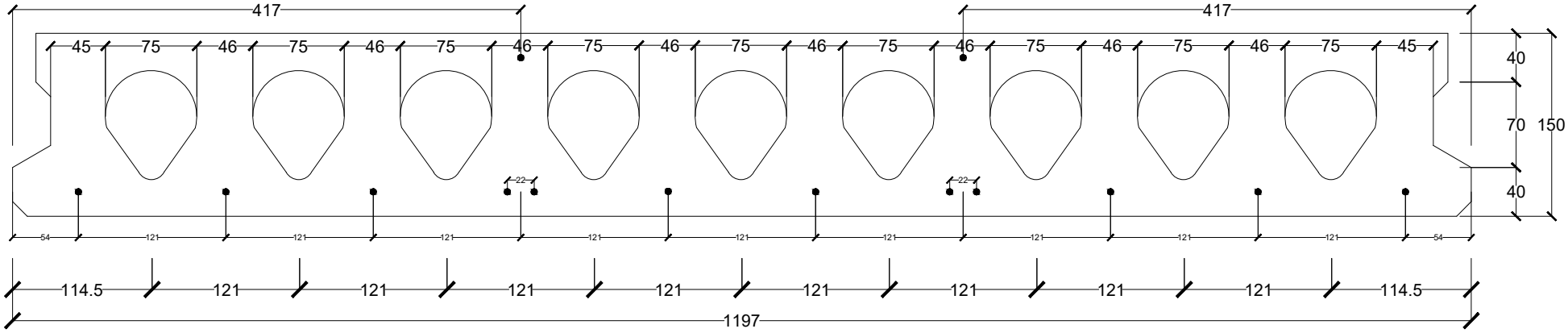
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Pelat	17 / 60



DENAH PELAT Lt. ATAP

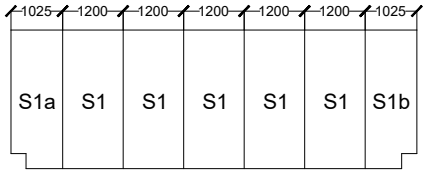
SKALA 1 : 400

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Pelat	18 / 60



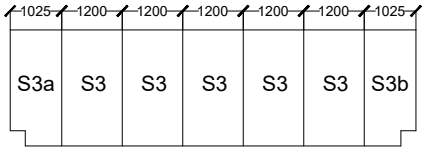
DETAIL SEGMEN HOLLOW CORE SLAB

SKALA 1 : 5



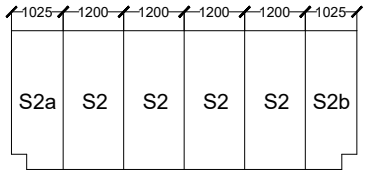
DETAIL PEMASANGAN PELAT S1

SKALA 1 : 150



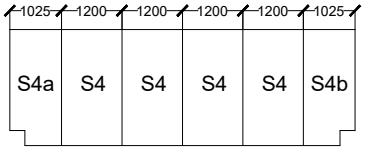
DETAIL PEMASANGAN PELAT S3

SKALA 1 : 150



DETAIL PEMASANGAN PELAT S2

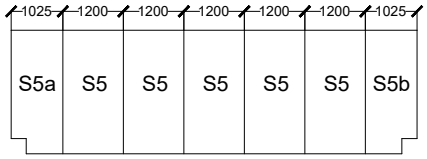
SKALA 1 : 150



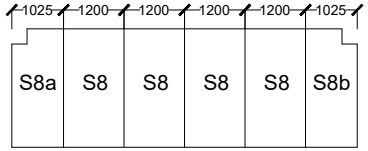
DETAIL PEMASANGAN PELAT S4

SKALA 1 : 150

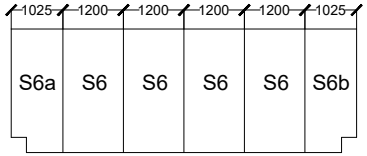
	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Pelat Pracetak	19 / 60



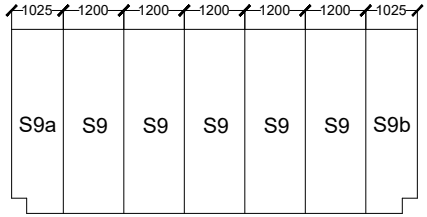
DETAIL PEMASANGAN PELAT S5
SKALA 1 : 150



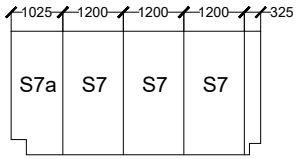
DETAIL PEMASANGAN PELAT S8
SKALA 1 : 150



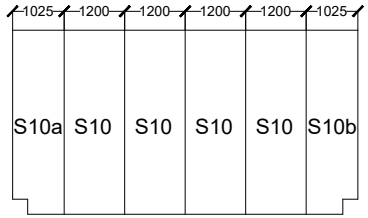
DETAIL PEMASANGAN PELAT S6
SKALA 1 : 150



DETAIL PEMASANGAN PELAT S9
SKALA 1 : 150

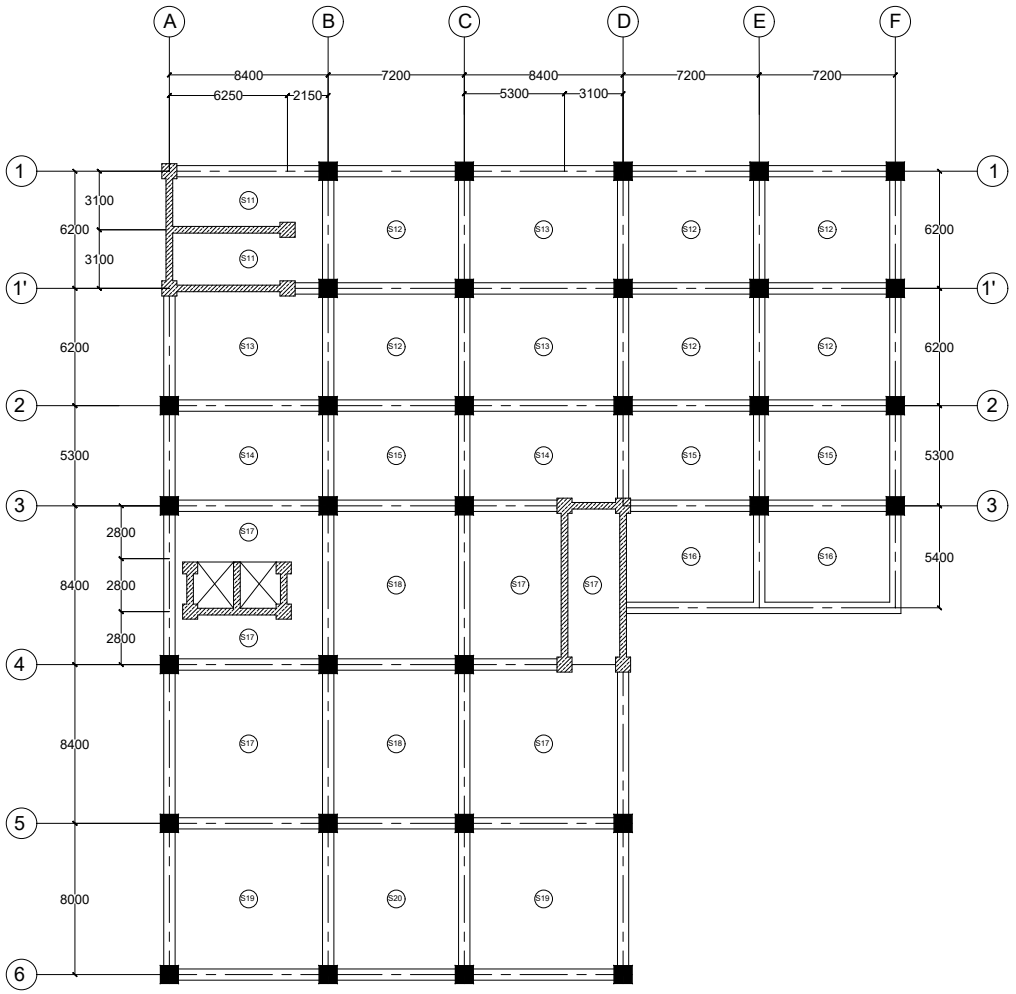


DETAIL PEMASANGAN PELAT S7
SKALA 1 : 150



DETAIL PEMASANGAN PELAT S10
SKALA 1 : 150

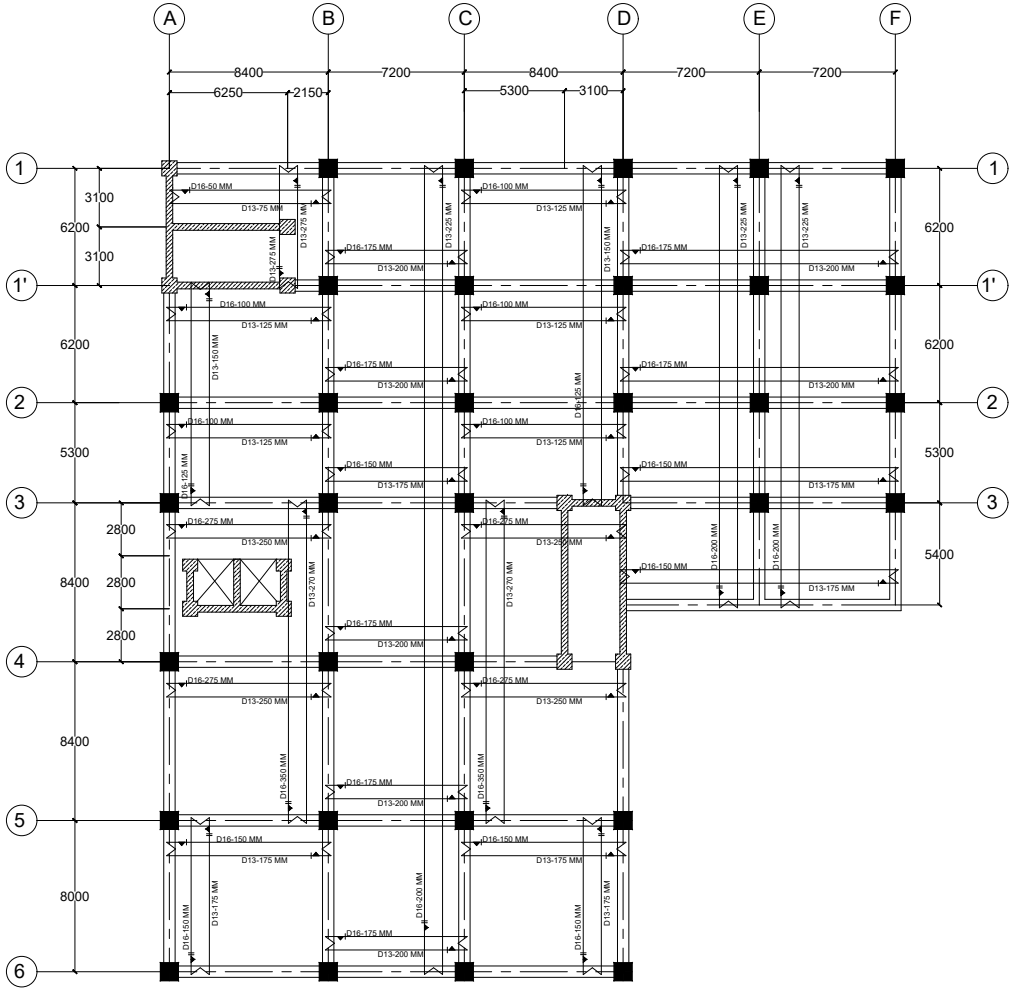
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Pelat Pracetak	20 / 60



DENAH PELAT Lt. BASEMENT

SKALA 1 : 400

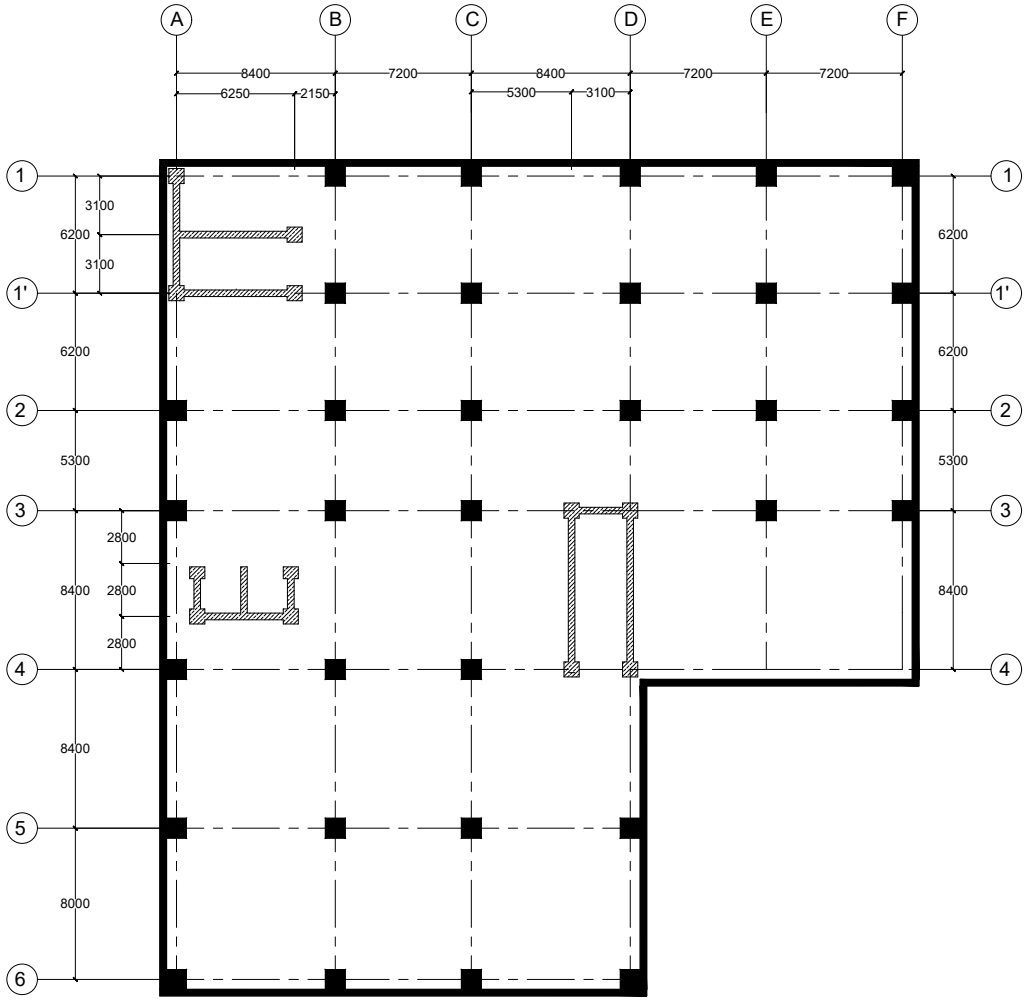
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Pelat Basement	21 / 60



PENULANGAN PELAT BASEMENT

SKALA 1 : 400

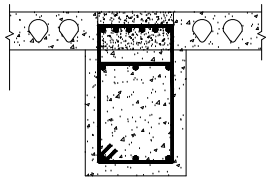
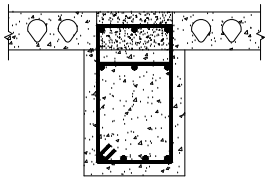
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Penulangan Pelat Basement	22 / 60

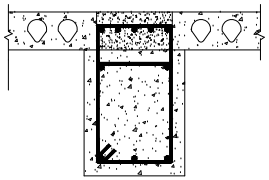
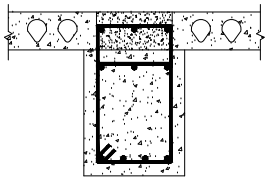


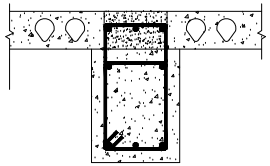
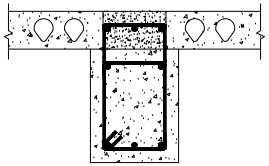
DENAH DINDING BASEMENT

SKALA 1 : 400

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Dinding Basement	23 / 60

TIPE BALOK	BA 1	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
DETAIL BALOK		
DIMENSI	400 × 650 mm	400 × 650 mm
TULANGAN ATAS	6 D19	3 D19
TULANGAN SAMPING	3 D19	3 D19
TULANGAN BAWAH	3 D19	4 D19
SENGKANG	2 D10 - 275 mm	2 D10 - 275 mm

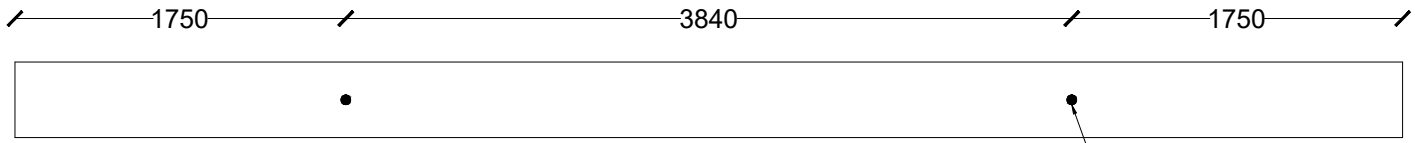
TIPE BALOK	BA 2	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
DETAIL BALOK		
DIMENSI	400 × 650 mm	400 × 650 mm
TULANGAN ATAS	5 D19	3 D19
TULANGAN SAMPING	2 D19	3 D19
TULANGAN BAWAH	3 D19	4 D19
SENGKANG	2 D10 - 275 mm	2 D10 - 275 mm

TIPE BALOK	BA 3	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
DETAIL BALOK		
DIMENSI	350 × 600 mm	350 × 600 mm
TULANGAN ATAS	3 D19	3 D19
TULANGAN SAMPING	2 D19	2 D19
TULANGAN BAWAH	3 D19	3 D19
SENGKANG	2 D10 - 300 mm	2 D10 - 300 mm

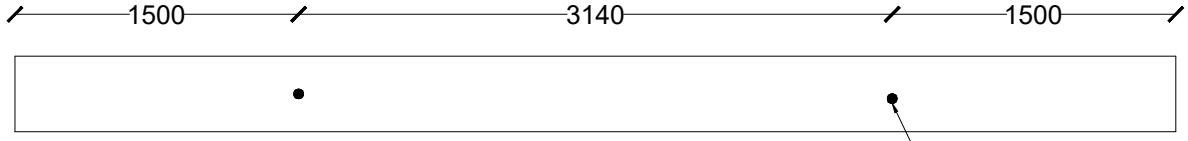
DETAIL PENULANGAN BALOK ANAK

SKALA 1 : 30

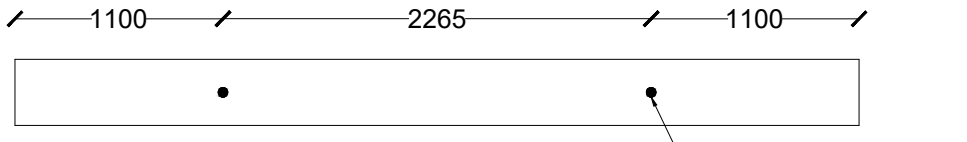
	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Balok	24 / 60



DETAIL TAMPAK ATAS TULANGAN ANGKAT BA 1
SKALA 1 : 40

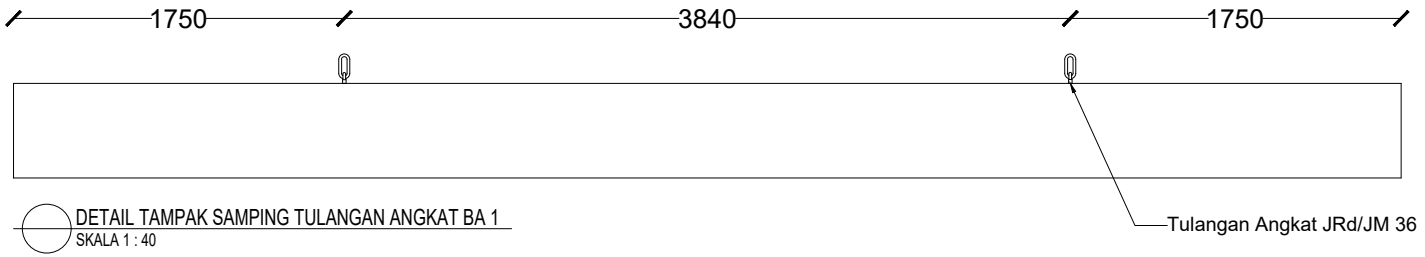


DETAIL TAMPAK ATAS TULANGAN ANGKAT BA 2
SKALA 1 : 40

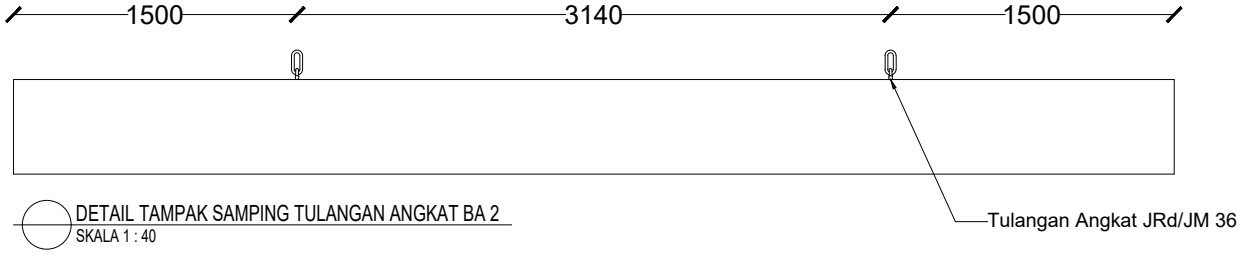


DETAIL TAMPAK ATAS TULANGAN ANGKAT BA 3
SKALA 1 : 40

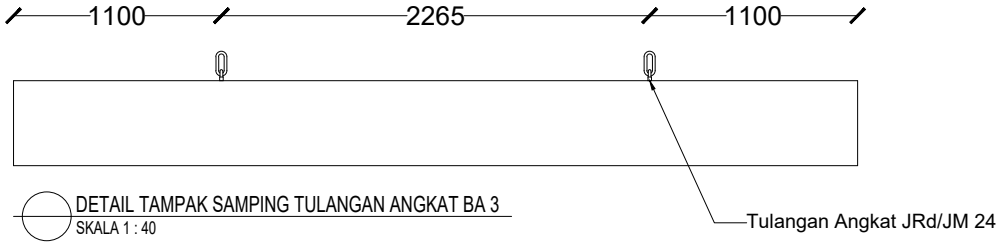
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Balok	25 / 60



DETAIL TAMPAK SAMPING TULANGAN ANGKAT BA 1
SKALA 1 : 40

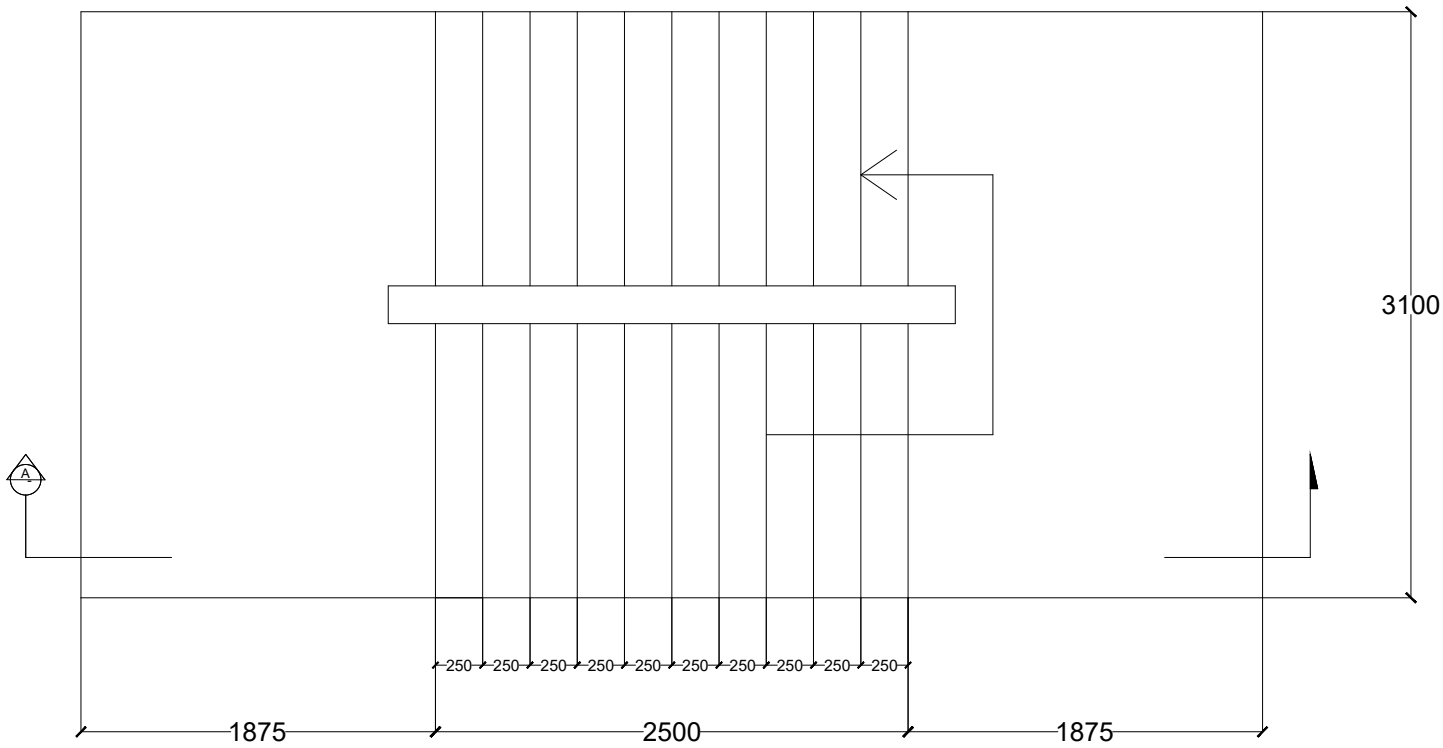


DETAIL TAMPAK SAMPING TULANGAN ANGKAT BA 2
SKALA 1 : 40



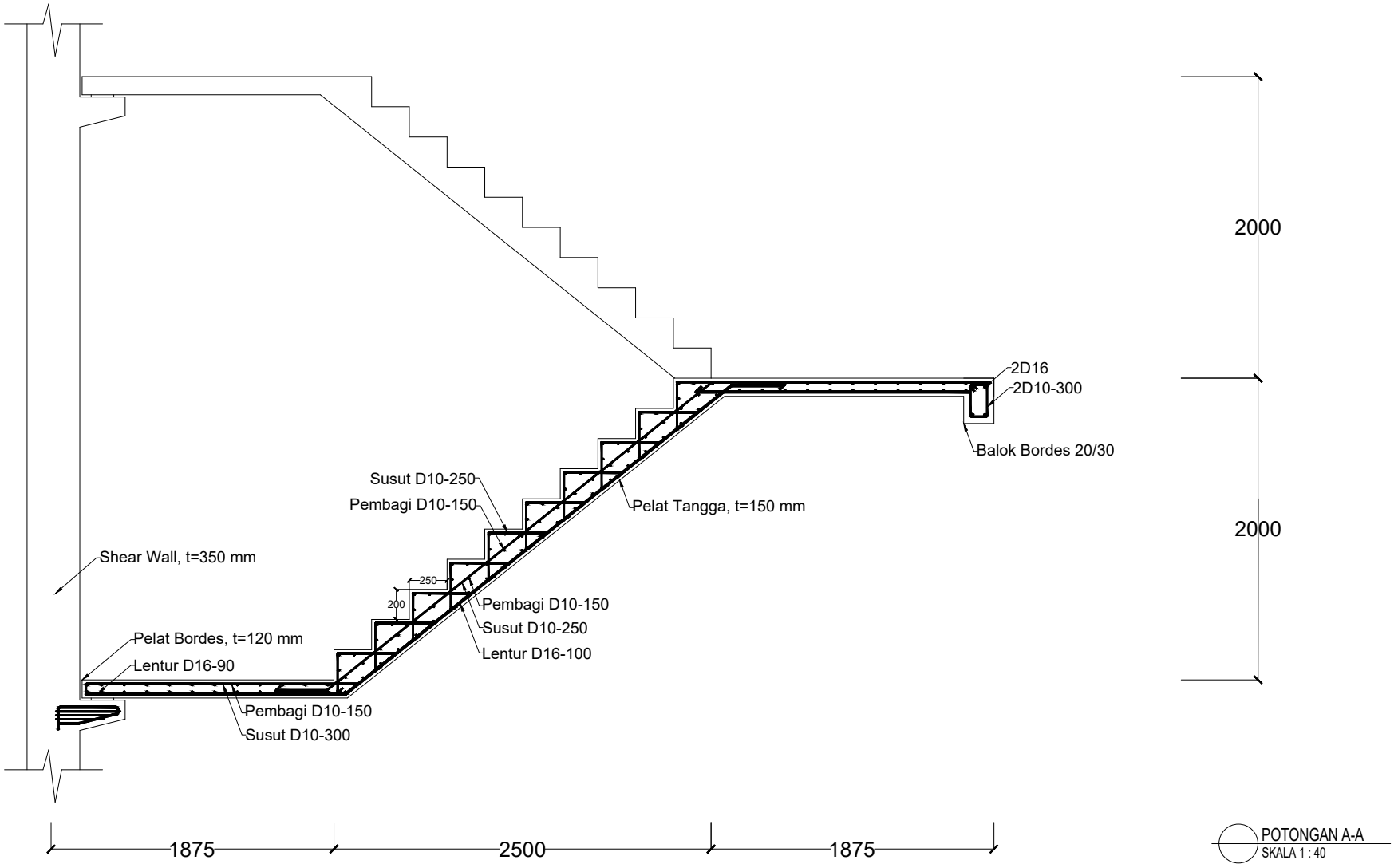
DETAIL TAMPAK SAMPING TULANGAN ANGKAT BA 3
SKALA 1 : 40

	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Balok	26 / 60



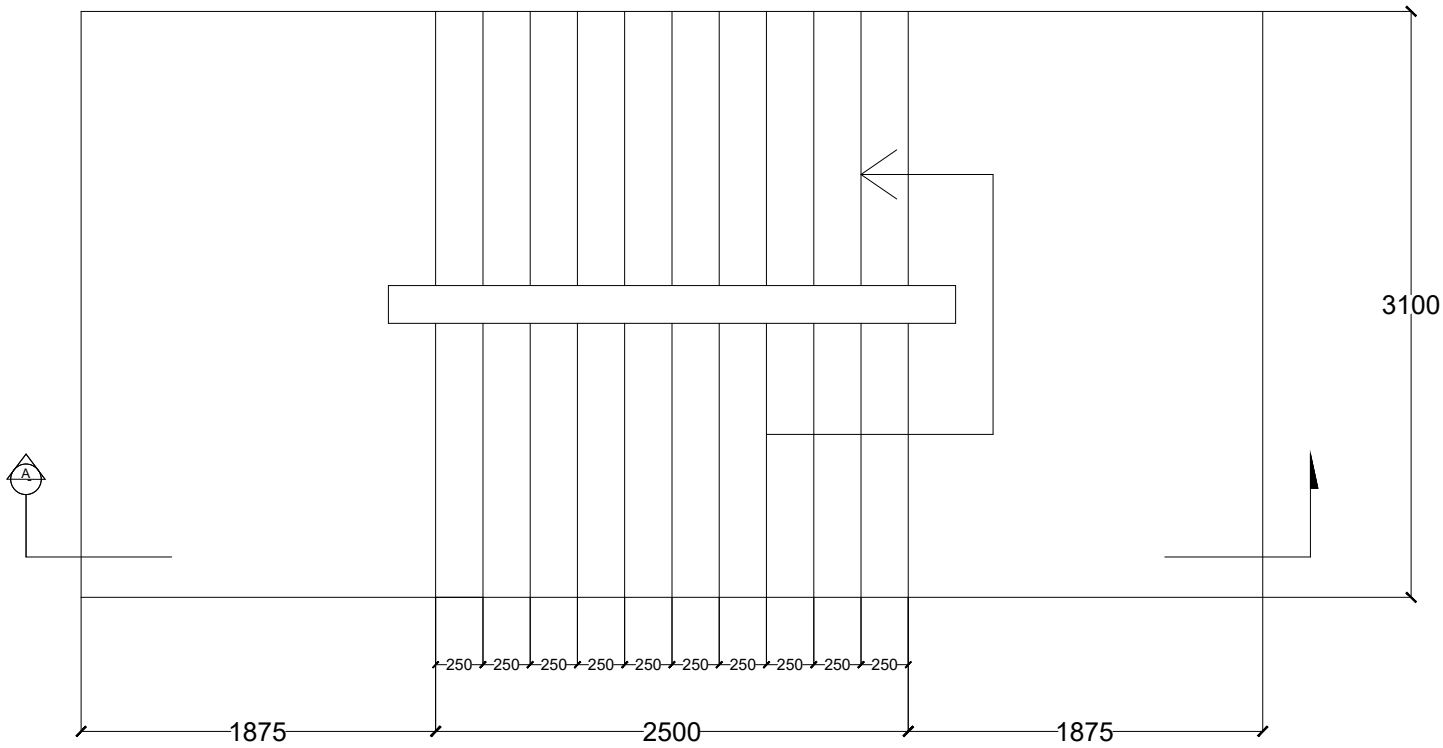
DENAH TANGGA 1
SKALA 1 : 40

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Tangga	27 / 60



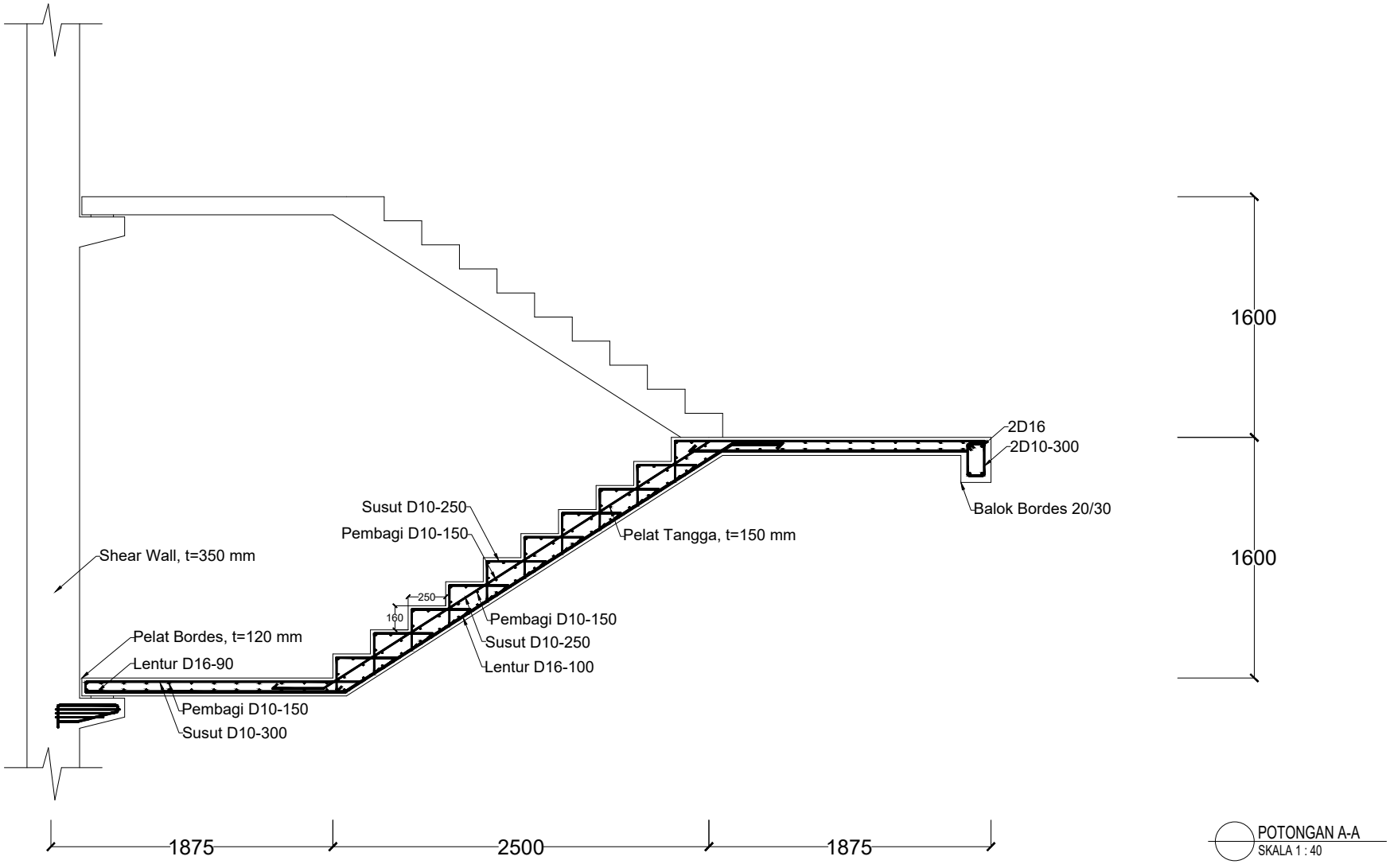
POTONGAN A-A
SKALA 1 : 40

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Tangga	28 / 60



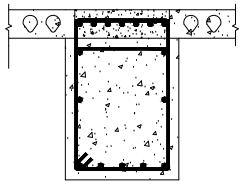
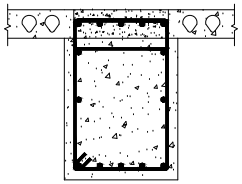
DENAH TANGGA 2
SKALA 1 : 40

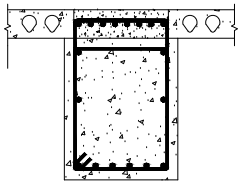
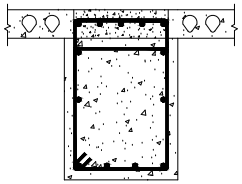
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Tangga	29 / 60

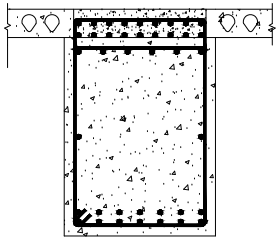
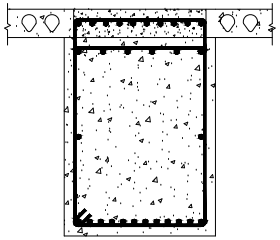


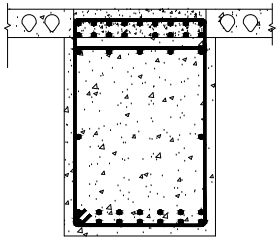
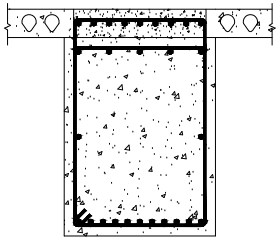
POTONGAN A-A
SKALA 1 : 40

	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Tangga	30 / 60

TIPE BALOK	BI 1	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
DETAIL BALOK		
DIMENSI	600 × 900 mm	600 × 900 mm
TULANGAN ATAS	7 D25	5 D25
TULANGAN SAMPING	2 D25	2 D25
TULANGAN BAWAH	5 D25	5 D25
SENGKANG	2 D13 - 150 mm	2 D13 - 300 mm

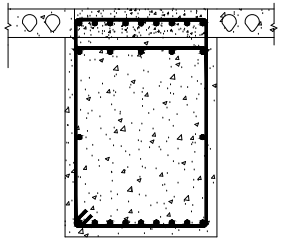
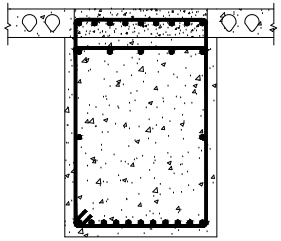
TIPE BALOK	BI 2	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
DETAIL BALOK		
DIMENSI	600 × 900 mm	600 × 900 mm
TULANGAN ATAS	8 D25	5 D25
TULANGAN SAMPING	2 D25	2 D25
TULANGAN BAWAH	6 D25	4 D25
SENGKANG	2 D13 - 100 mm	2 D13 - 325mm

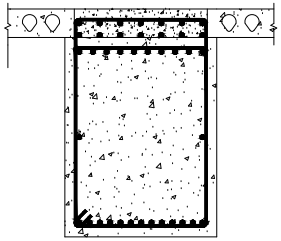
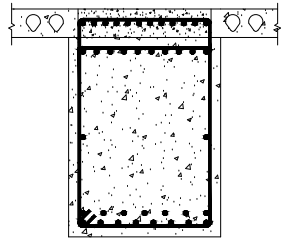
TIPE BALOK	BI 3	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
DETAIL BALOK		
DIMENSI	800 × 1200 mm	800 × 1200 mm
TULANGAN ATAS	18 D25	10 D25
TULANGAN SAMPING	6 D25	6 D25
TULANGAN BAWAH	14 D25	12 D25
SENGKANG	2 D13 - 50 mm	2 D13 - 100 mm

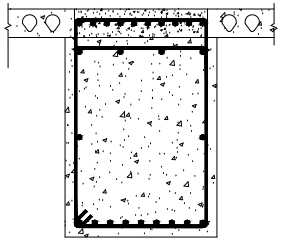
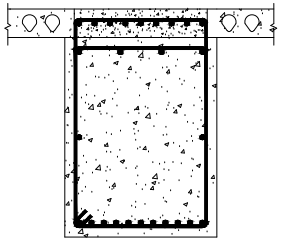
TIPE BALOK	BI 4	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
DETAIL BALOK		
DIMENSI	800 × 1200 mm	800 × 1200 mm
TULANGAN ATAS	17 D25	9 D25
TULANGAN SAMPING	5 D25	5 D25
TULANGAN BAWAH	14 D25	11 D25
SENGKANG	2 D13 - 50 mm	2 D13 - 100 mm

DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK
SKALA 1 : 40

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Balok	31 / 60

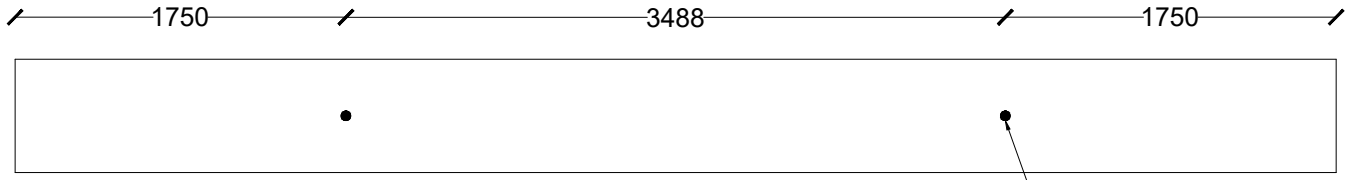
TIPE BALOK	BI 5	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
DETAIL BALOK		
DIMENSI	800 × 1200 mm	800 × 1200 mm
TULANGAN ATAS	9 D25	9 D25
TULANGAN SAMPING	5 D25	5 D25
TULANGAN BAWAH	9 D25	11 D25
SENGKANG	2 D13 - 75 mm	2 D13 - 350 mm

TIPE BALOK	BI 6	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
DETAIL BALOK		
DIMENSI	800 × 1200 mm	800 × 1200 mm
TULANGAN ATAS	14 D25	12 D25
TULANGAN SAMPING	10 D25	10 D25
TULANGAN BAWAH	13 D25	15 D25
SENGKANG	2 D13 - 50 mm	2 D13 - 250 mm

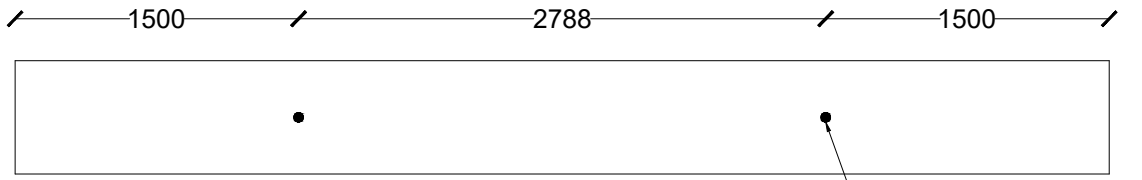
TIPE BALOK	BI 7	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
DETAIL BALOK		
DIMENSI	800 × 1200 mm	800 × 1200 mm
TULANGAN ATAS	10 D25	9 D25
TULANGAN SAMPING	4 D25	4 D25
TULANGAN BAWAH	9 D25	11 D25
SENGKANG	2 D13 - 75 mm	2 D13 - 475 mm

DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK
SKALA 1 : 40

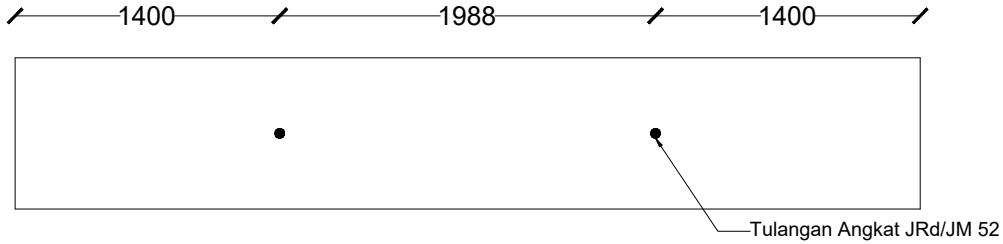
		JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Balok	32 / 60



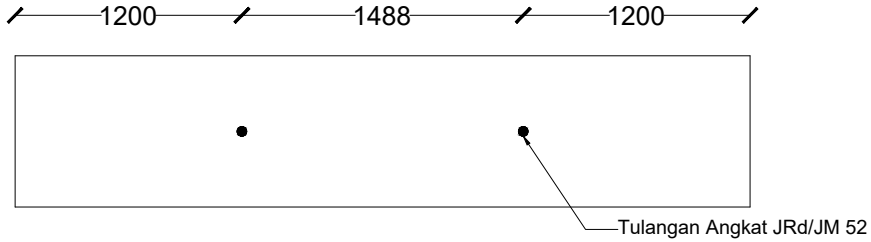
DETAIL TAMPAK ATAS TULANGAN ANGKAT BI 1
SKALA 1 : 40



DETAIL TAMPAK ATAS TULANGAN ANGKAT BI 2
SKALA 1 : 40

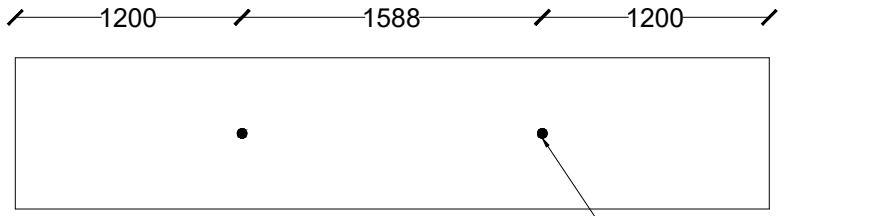


DETAIL TAMPAK ATAS TULANGAN ANGKAT BI 3
SKALA 1 : 40

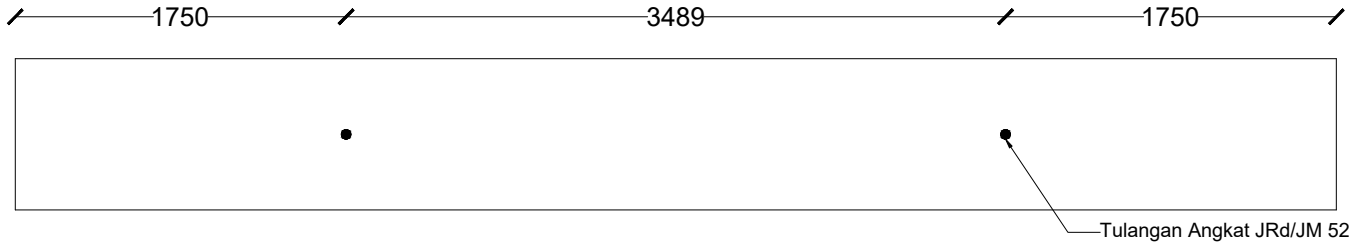


DETAIL TAMPAK ATAS TULANGAN ANGKAT BI 4
SKALA 1 : 40

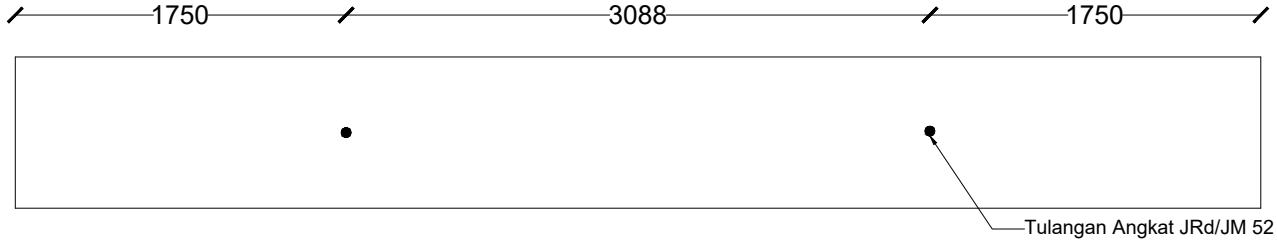
		JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Balok	33 / 60



DETAIL TAMPAK ATAS TULANGAN ANGKAT BI 5
SKALA 1 : 40

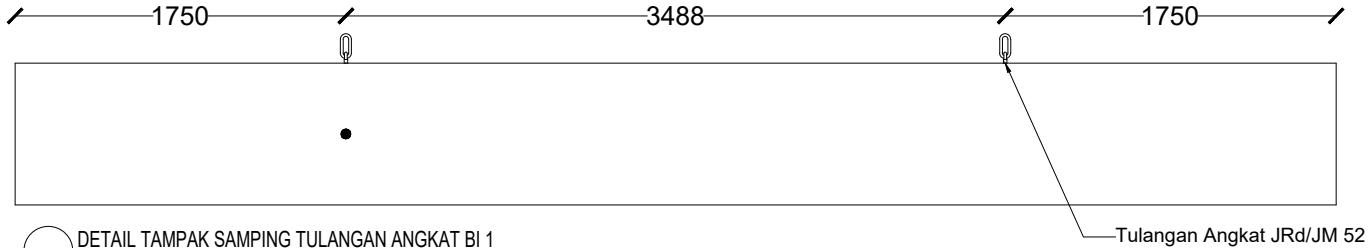


DETAIL TAMPAK ATAS TULANGAN ANGKAT BI 6
SKALA 1 : 40

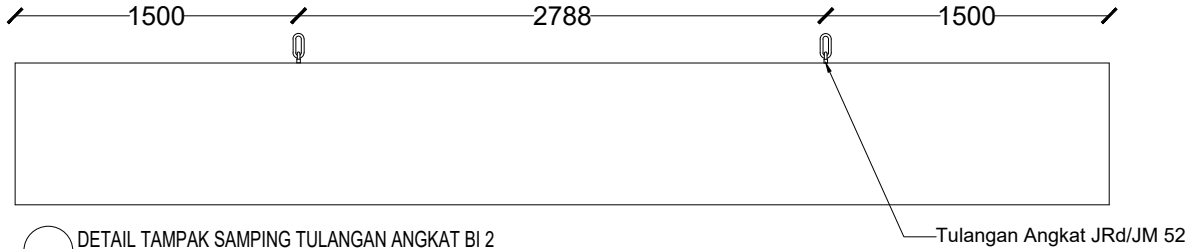


DETAIL TAMPAK ATAS TULANGAN ANGKAT BI 7
SKALA 1 : 40

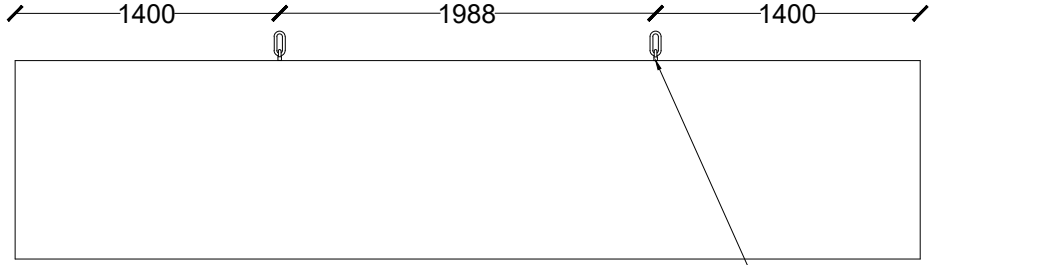
	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
		Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Balok	34 / 60



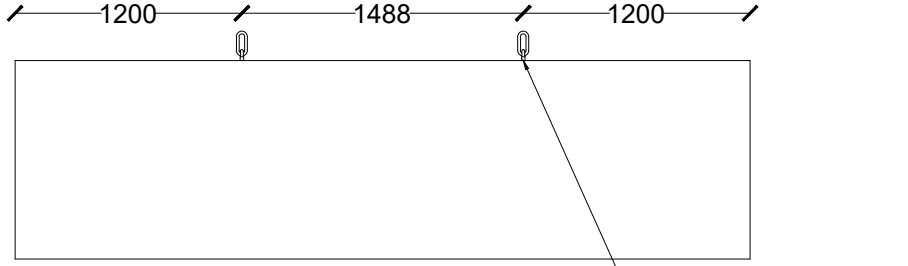
DETAIL TAMPAK SAMPING TULANGAN ANGKAT BI 1
SKALA 1 : 40



DETAIL TAMPAK SAMPING TULANGAN ANGKAT BI 2
SKALA 1 : 40

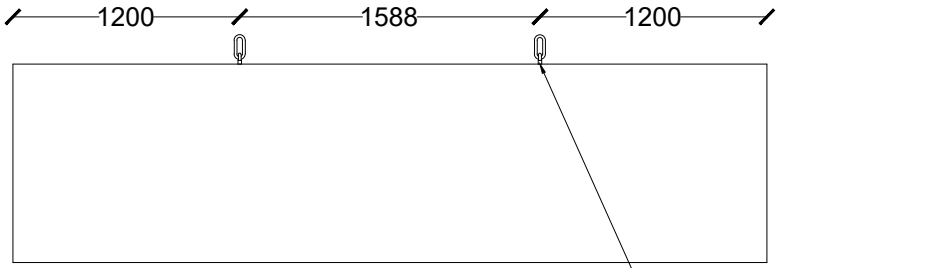


DETAIL TAMPAK SAMPING TULANGAN ANGKAT BI 3
SKALA 1 : 40

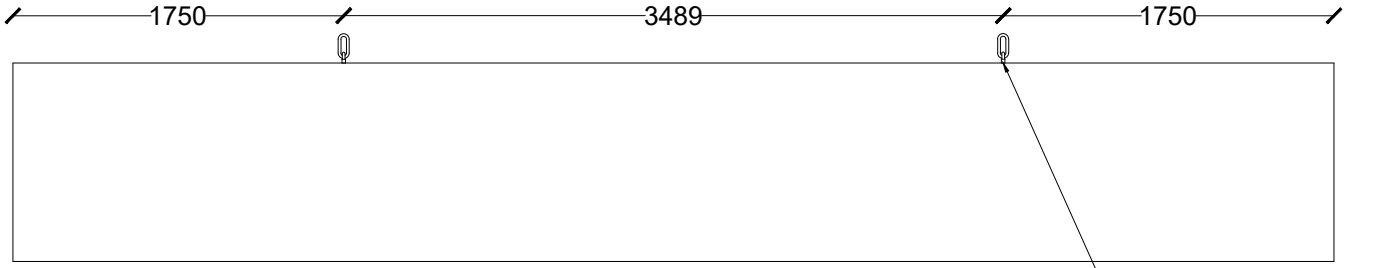


DETAIL TAMPAK SAMPING TULANGAN ANGKAT BI 4
SKALA 1 : 40

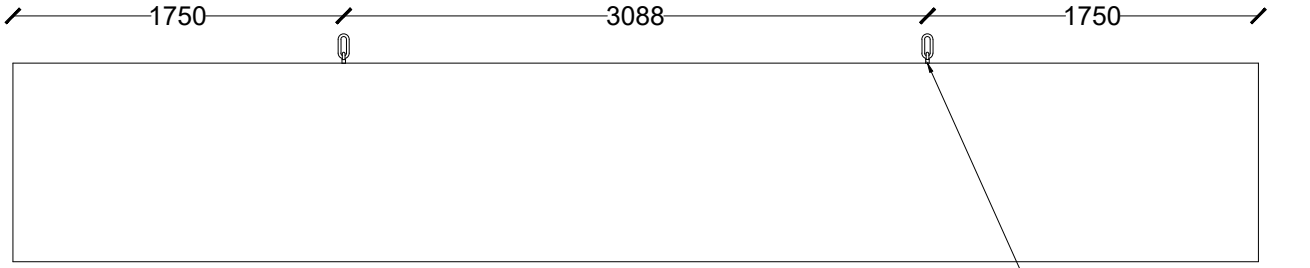
	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Balok	35 / 60



DETAIL TAMPAK SAMPING TULANGAN ANGKAT BI 5
SKALA 1 : 40

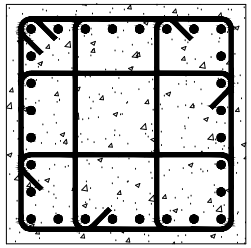


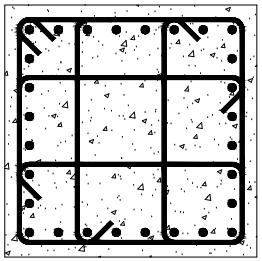
DETAIL TAMPAK SAMPING TULANGAN ANGKAT BI 6
SKALA 1 : 40

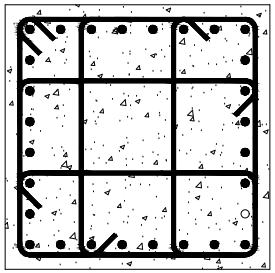


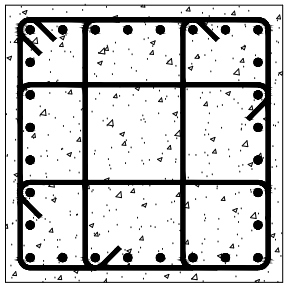
DETAIL TAMPAK SAMPING TULANGAN ANGKAT BI 7
SKALA 1 : 40

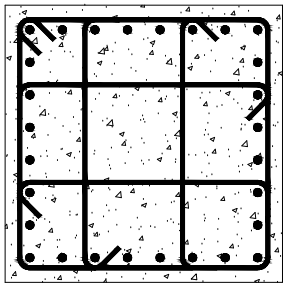
	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Balok	36 / 60

TIPE KOLOM	K1
DETAIL KOLOM	
DIMENSI	950 x 950 mm
TINGGI	4 meter
TULANGAN	28 D32
SENGKANG TUMPUAN	4 D16 - 75 mm
SENGKANG LAPANGAN	4 D16 - 150 mm

TIPE KOLOM	K2
DETAIL KOLOM	
DIMENSI	1000 x 1000 mm
TINGGI	4 meter
TULANGAN	28 D32
SENGKANG TUMPUAN	4 D16 - 75 mm
SENGKANG LAPANGAN	4 D16 - 150 mm

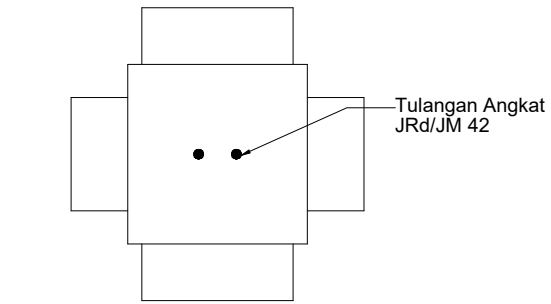
TIPE KOLOM	K3
DETAIL KOLOM	
DIMENSI	1050 x 1050 mm
TINGGI	4 meter
TULANGAN	28 D32
SENGKANG TUMPUAN	4 D16 - 75 mm
SENGKANG LAPANGAN	4 D16 - 150 mm

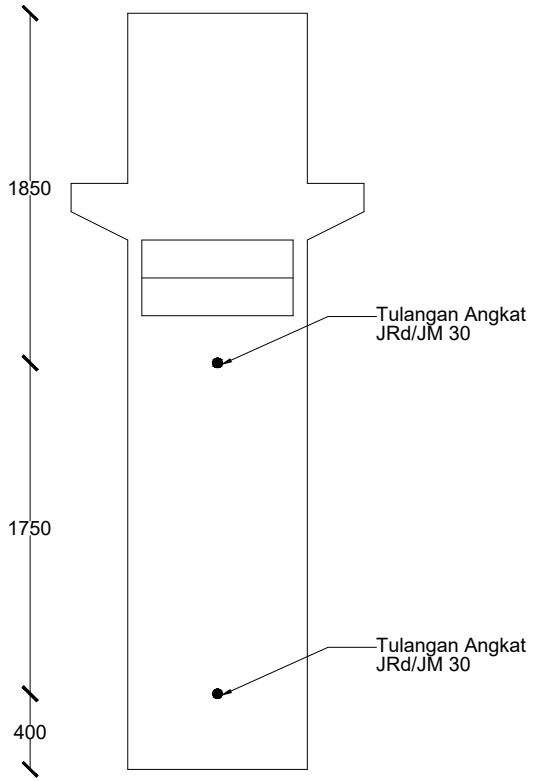
TIPE KOLOM	K4
DETAIL KOLOM	
DIMENSI	1100 x 1100 mm
TINGGI	4 meter
TULANGAN	28 D32
SENGKANG TUMPUAN	4 D16 - 75 mm
SENGKANG LAPANGAN	4 D16 - 150 mm

TIPE KOLOM	K5
DETAIL KOLOM	
DIMENSI	1100 x 1100 mm
TINGGI	3,2 meter
TULANGAN	28 D32
SENGKANG TUMPUAN	4 D16 - 50 mm
SENGKANG LAPANGAN	4 D16 - 150 mm

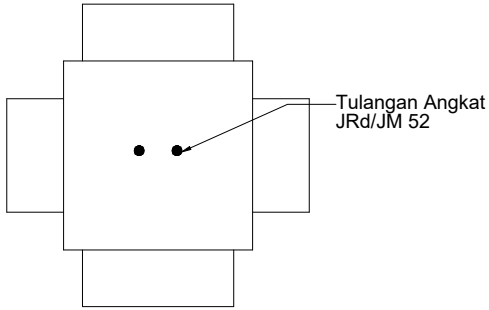
DETAIL PENULANGAN KOLOM
SKALA 1 : 30

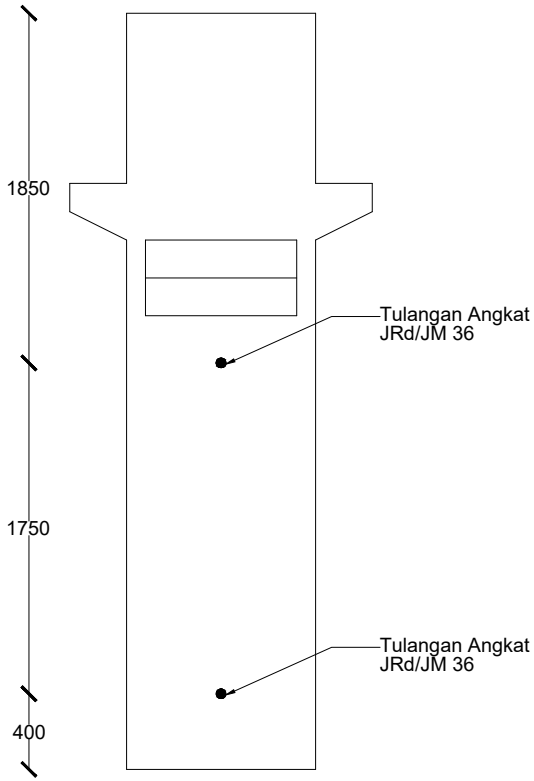
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Kolom	37 / 60



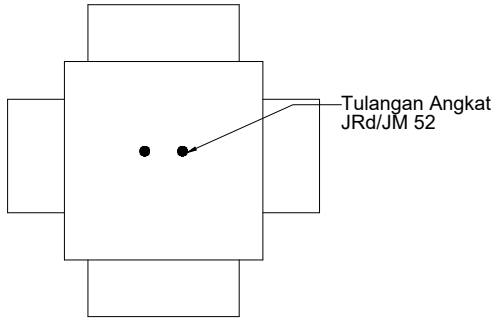


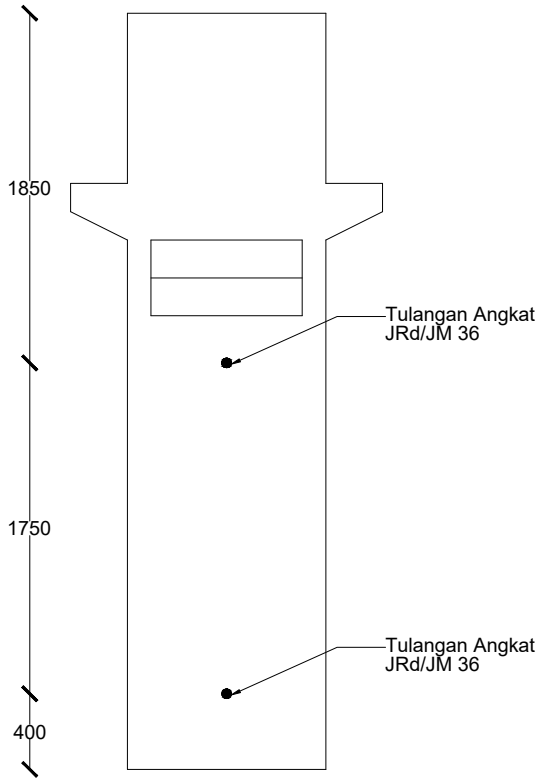
DETAIL TULANGAN ANGKAT K1
SKALA 1 : 40





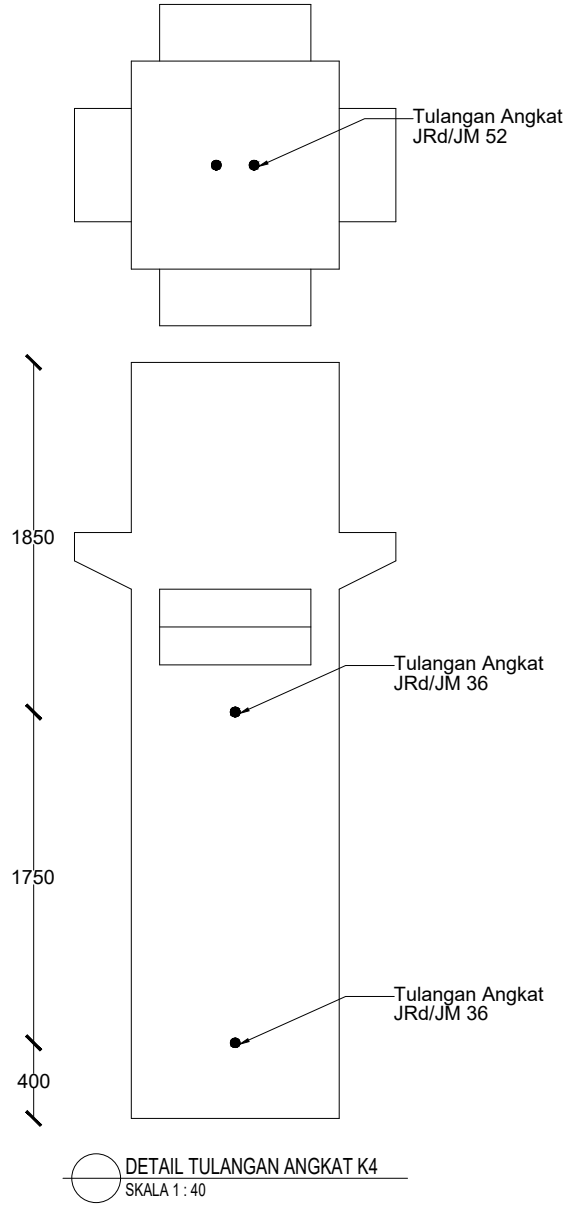
DETAIL TULANGAN ANGKAT K2
SKALA 1 : 40



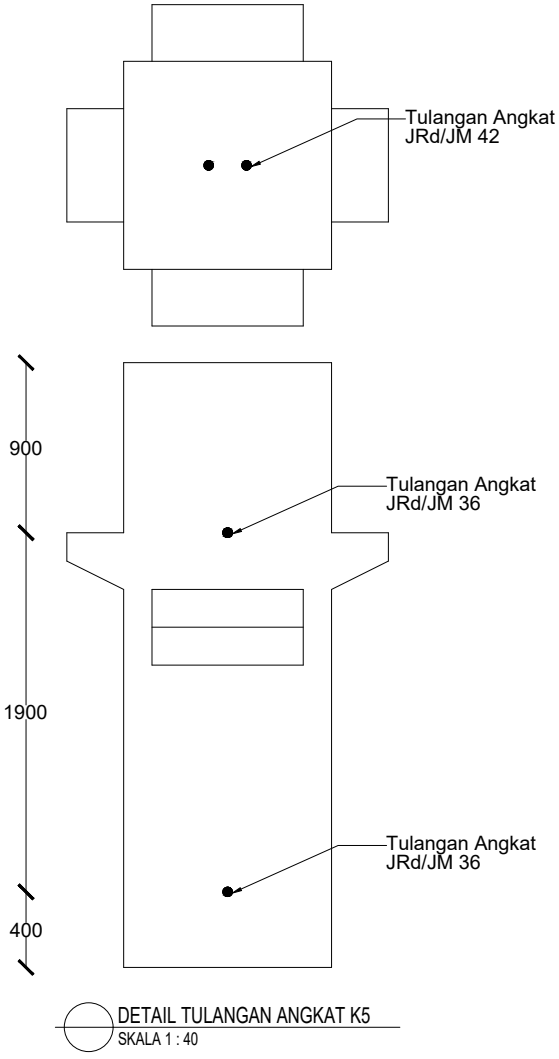


DETAIL TULANGAN ANGKAT K3
SKALA 1 : 40

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Kolom	38 / 60

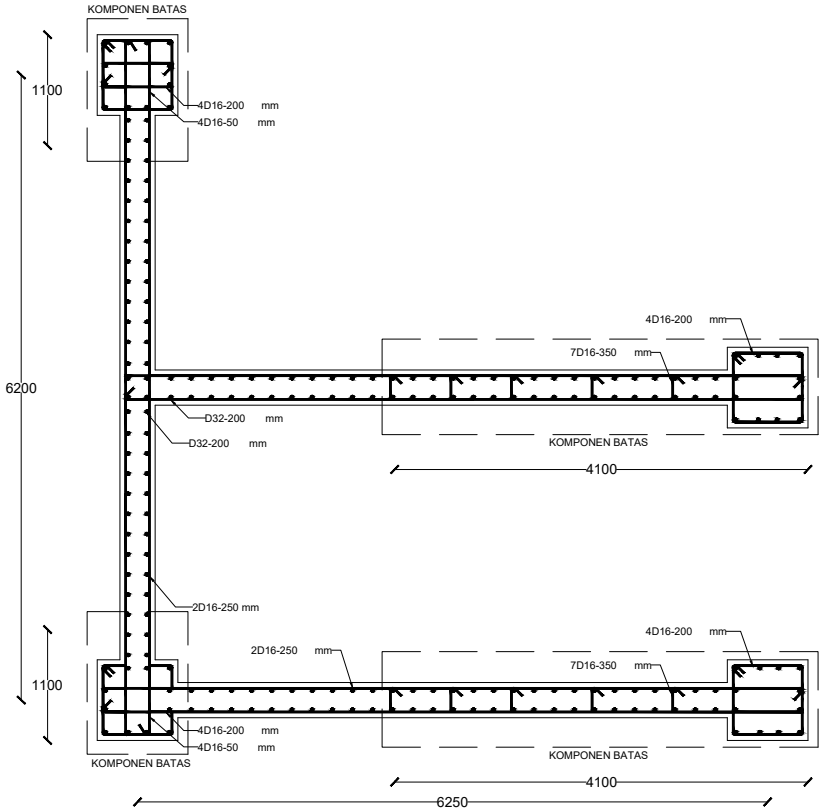


DETAIL TULANGAN ANGKAT K4
SKALA 1 : 40

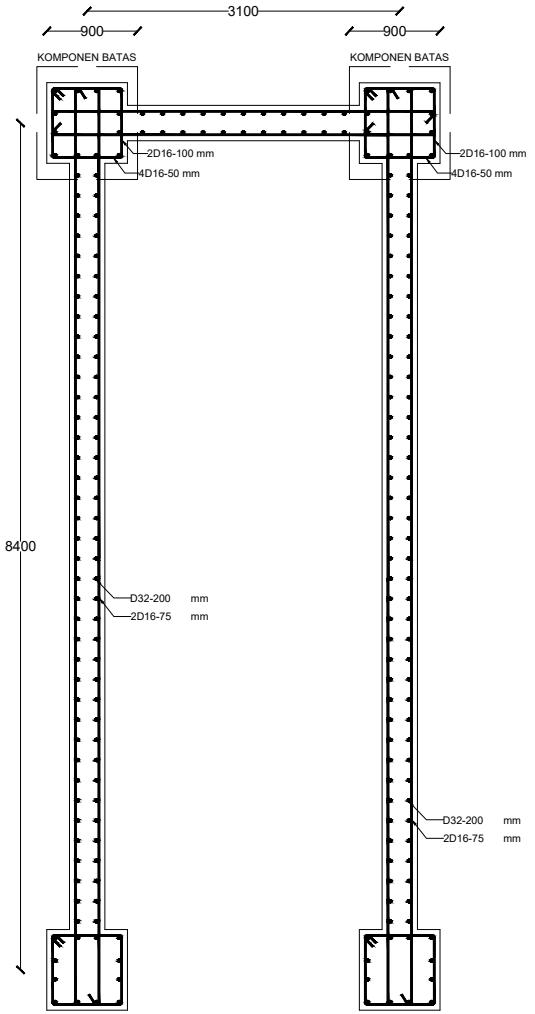


DETAIL TULANGAN ANGKAT K5
SKALA 1 : 40

		JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Kolom	39 / 60

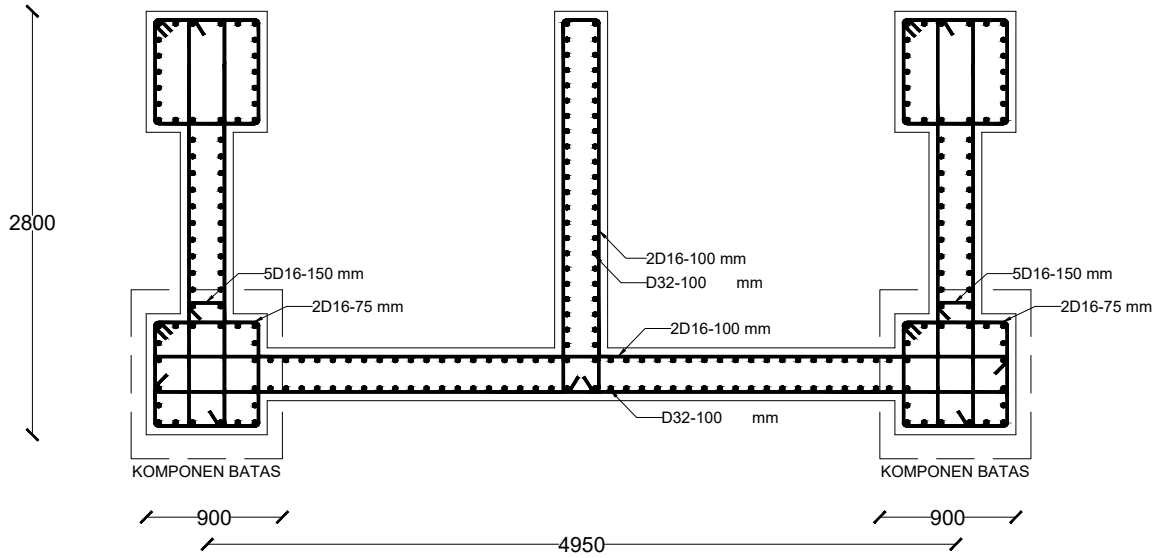


DETAIL SHEAR WALL 1
SKALA 1 : 75



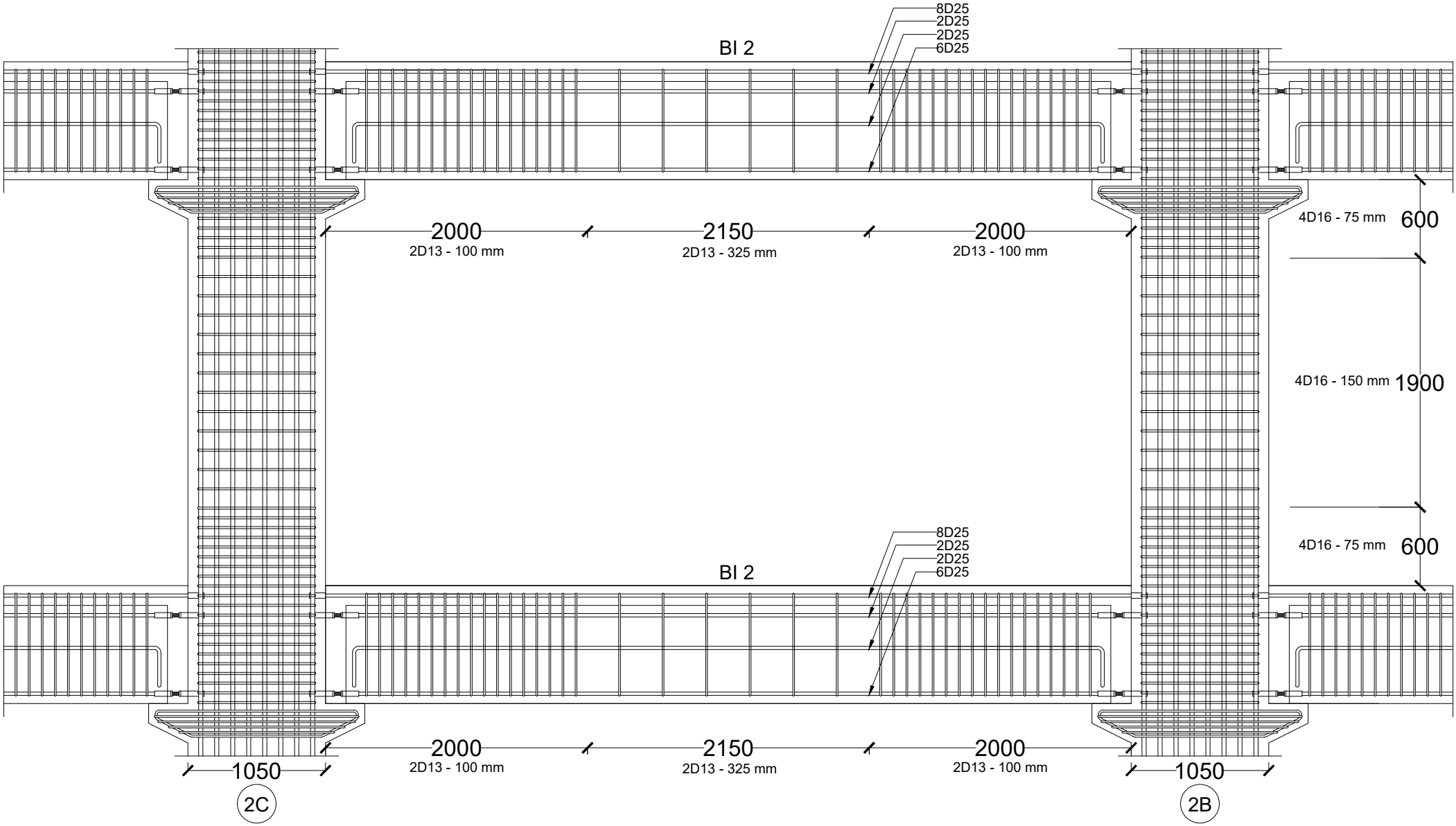
DETAIL SHEAR WALL 2
SKALA 1 : 75

		JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Shear Wall	40 / 60



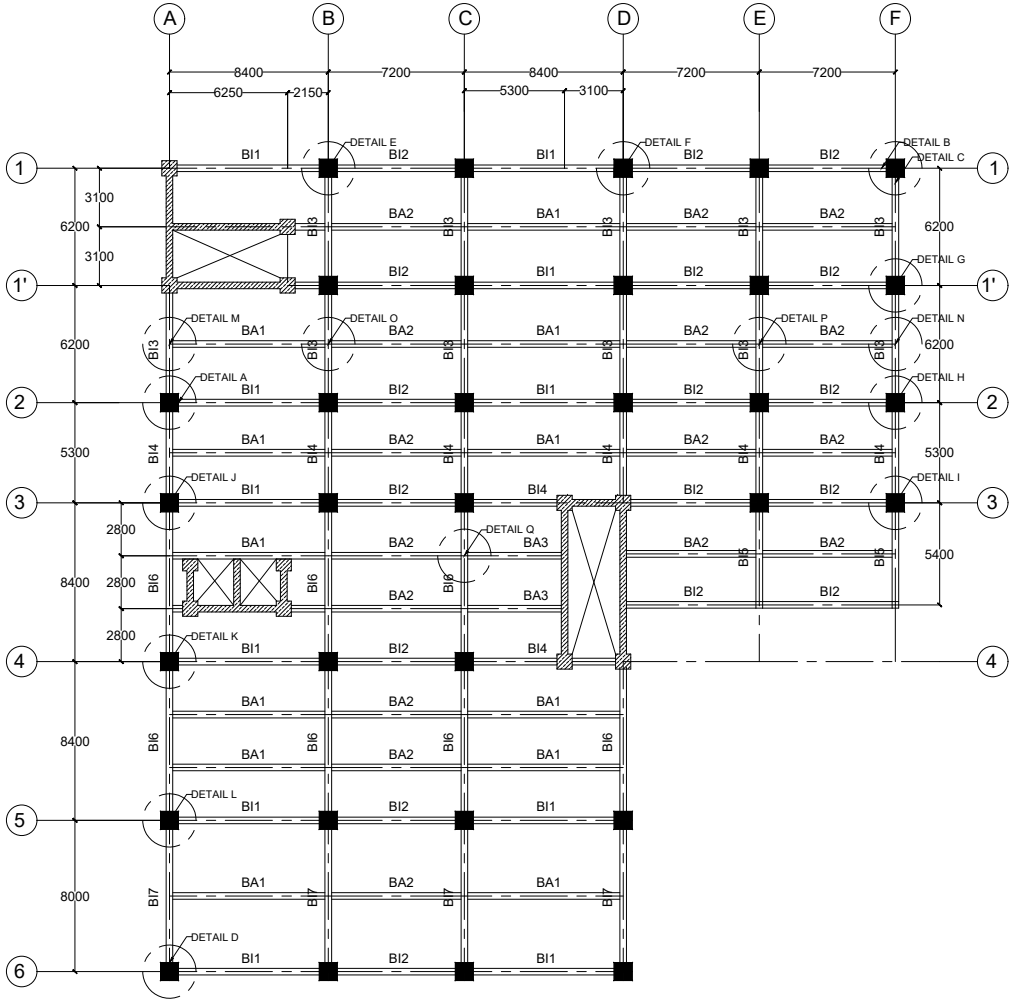
DETAIL SHEAR WALL 3
SKALA 1 : 50

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Shear Wall	41 / 60



DETAIL A POTONGAN B-B
SKALA 1 : 40

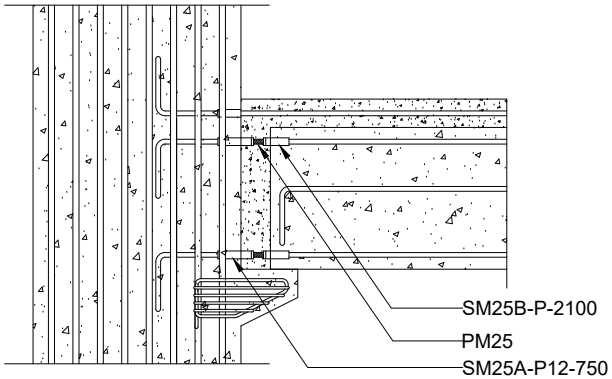
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Portal	42 / 60



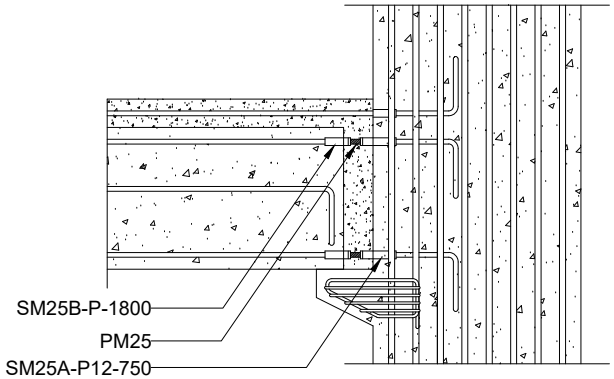
PERENCANAAN SAMBUNGAN LANTAI 1

SKALA 1 : 400

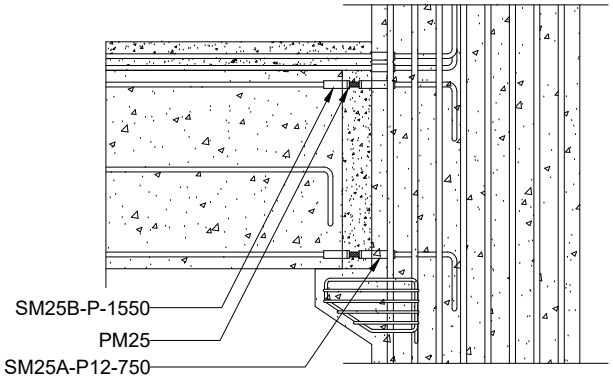
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Perencanaan Sambungan	43 / 60



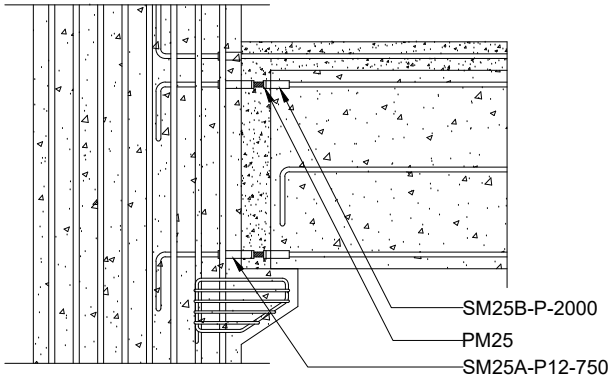
SAMBUNGAN K 1 - BI 1 (DETAIL A)
SKALA 1 : 40



SAMBUNGAN K 1 - BI 2 (DETAIL B)
SKALA 1 : 40

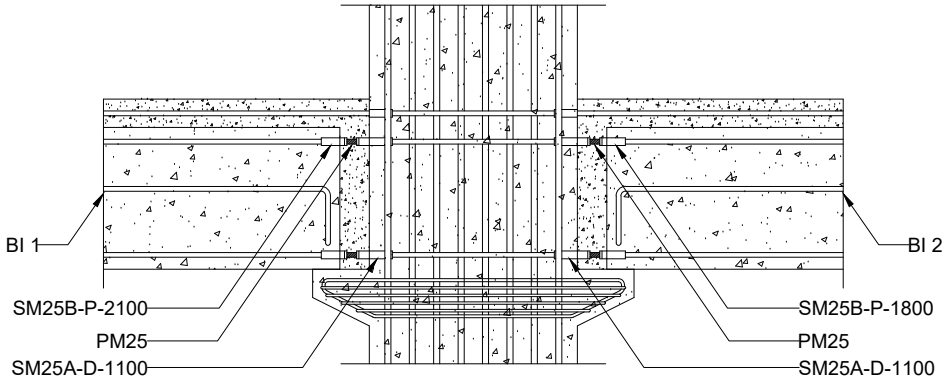


SAMBUNGAN K 1 - BI 3 (DETAIL C)
SKALA 1 : 40

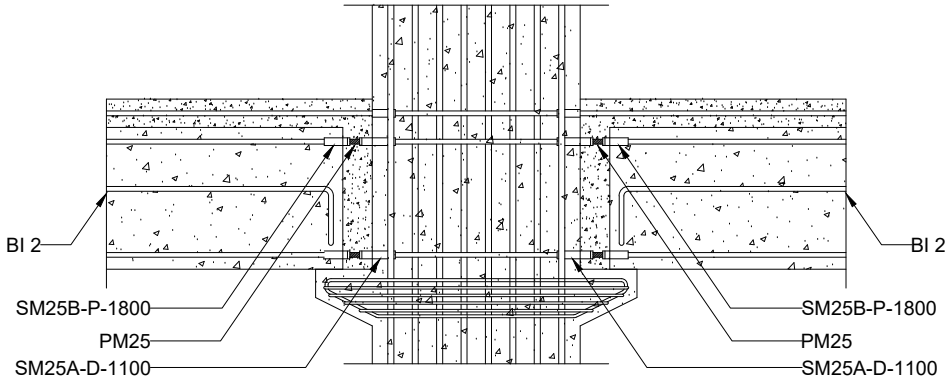


SAMBUNGAN K 1 - BI 7 (DETAIL D)
SKALA 1 : 40

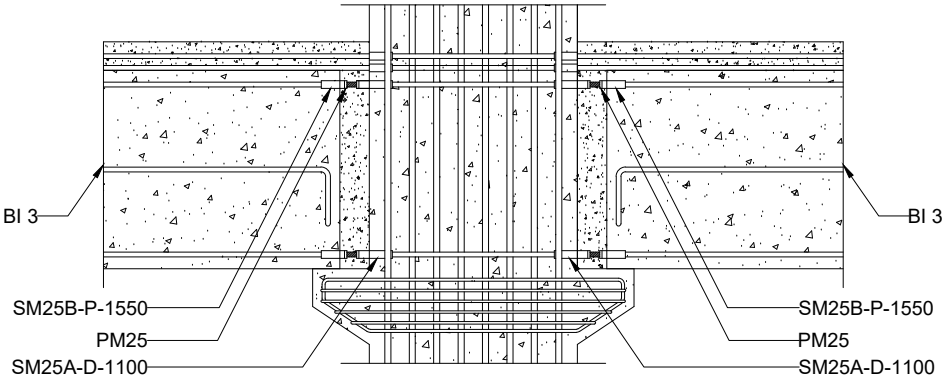
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Sambungan Balok - Kolom	44 / 60



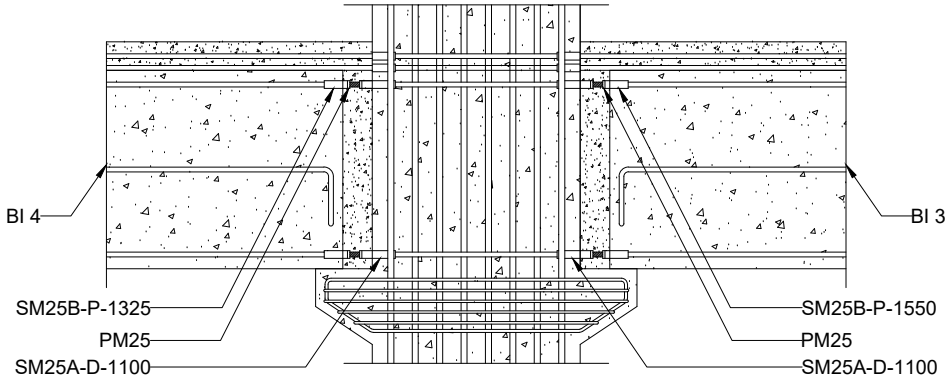
SAMBUNGAN BI 1 - K 1 - BI 2 (DETAIL E)
SKALA 1 : 40



SAMBUNGAN BI 2 - K 1 - BI 2 (DETAIL F)
SKALA 1 : 40

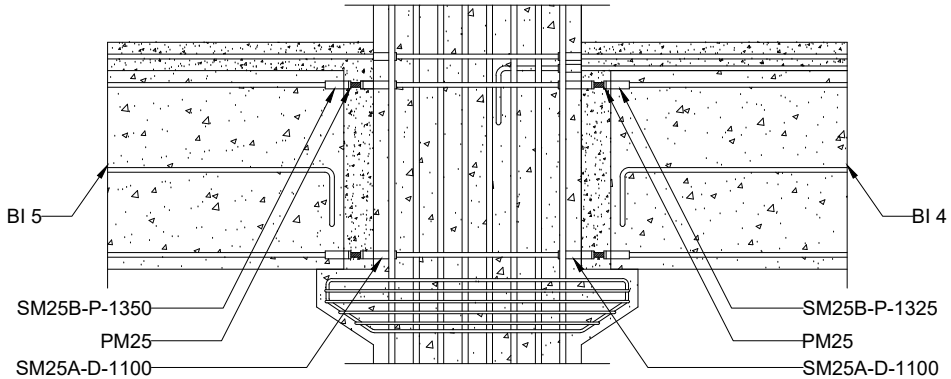


SAMBUNGAN BI 3 - K 1 - BI 3 (DETAIL G)
SKALA 1 : 40

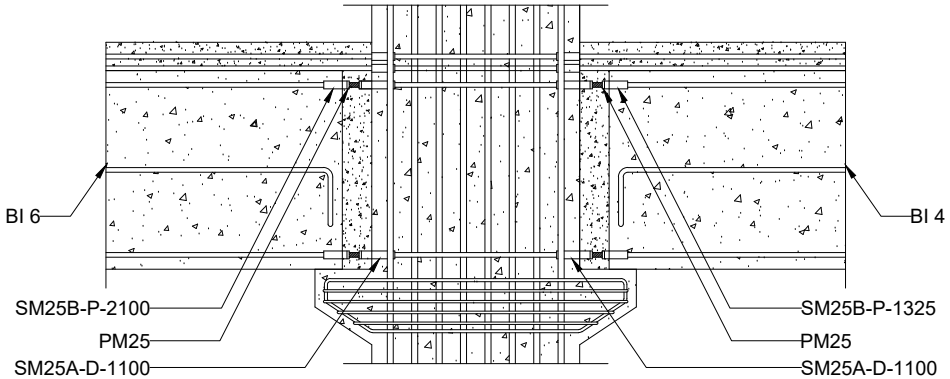


SAMBUNGAN BI 4 - K 1 - BI 3 (DETAIL H)
SKALA 1 : 40

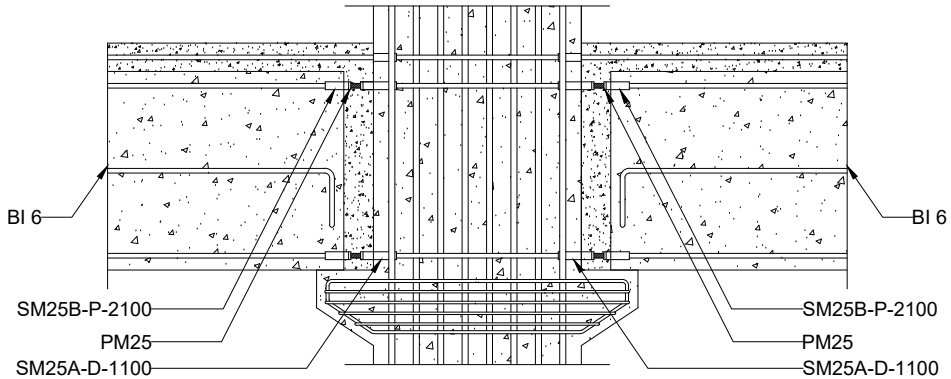
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Sambungan Balok - Kolom	45 / 60



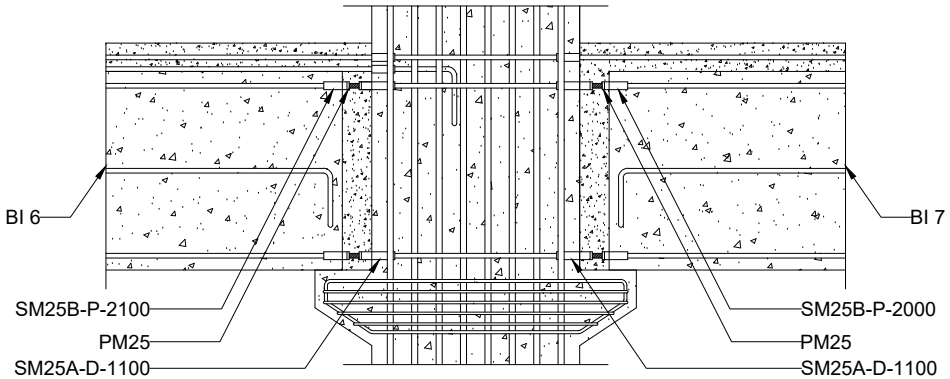
SAMBUNGAN BI 5 - K 1 - BI 4 (DETAIL I)
SKALA 1 : 40



SAMBUNGAN BI 6 - K 1 - BI 4 (DETAIL J)
SKALA 1 : 40

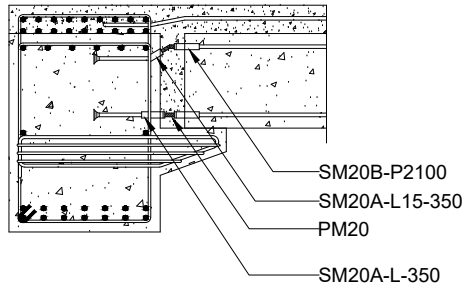


SAMBUNGAN BI 6 - K 1 - BI 6 (DETAIL K)
SKALA 1 : 40

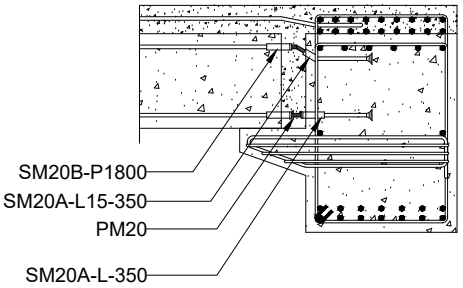


SAMBUNGAN BI 6 - K 1 - BI 7 (DETAIL L)
SKALA 1 : 40

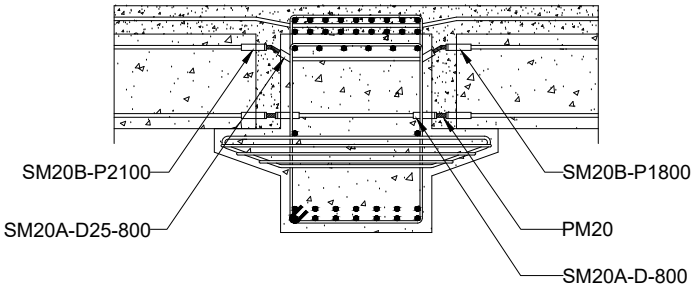
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Sambungan Balok - Kolom	46 / 60



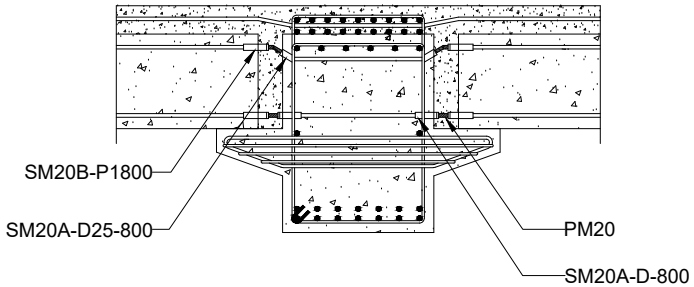
SAMBUNGAN BI 3 - BA 1 (DETAIL M)
SKALA 1 : 40



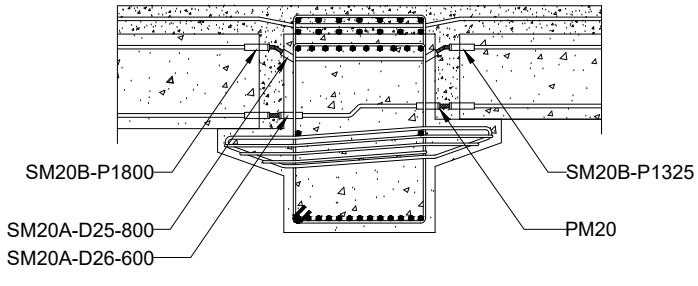
SAMBUNGAN BI 3 - BA 2 (DETAIL N)
SKALA 1 : 40



SAMBUNGAN BA 1 - BI 3 - BA 2 (DETAIL O)
SKALA 1 : 40

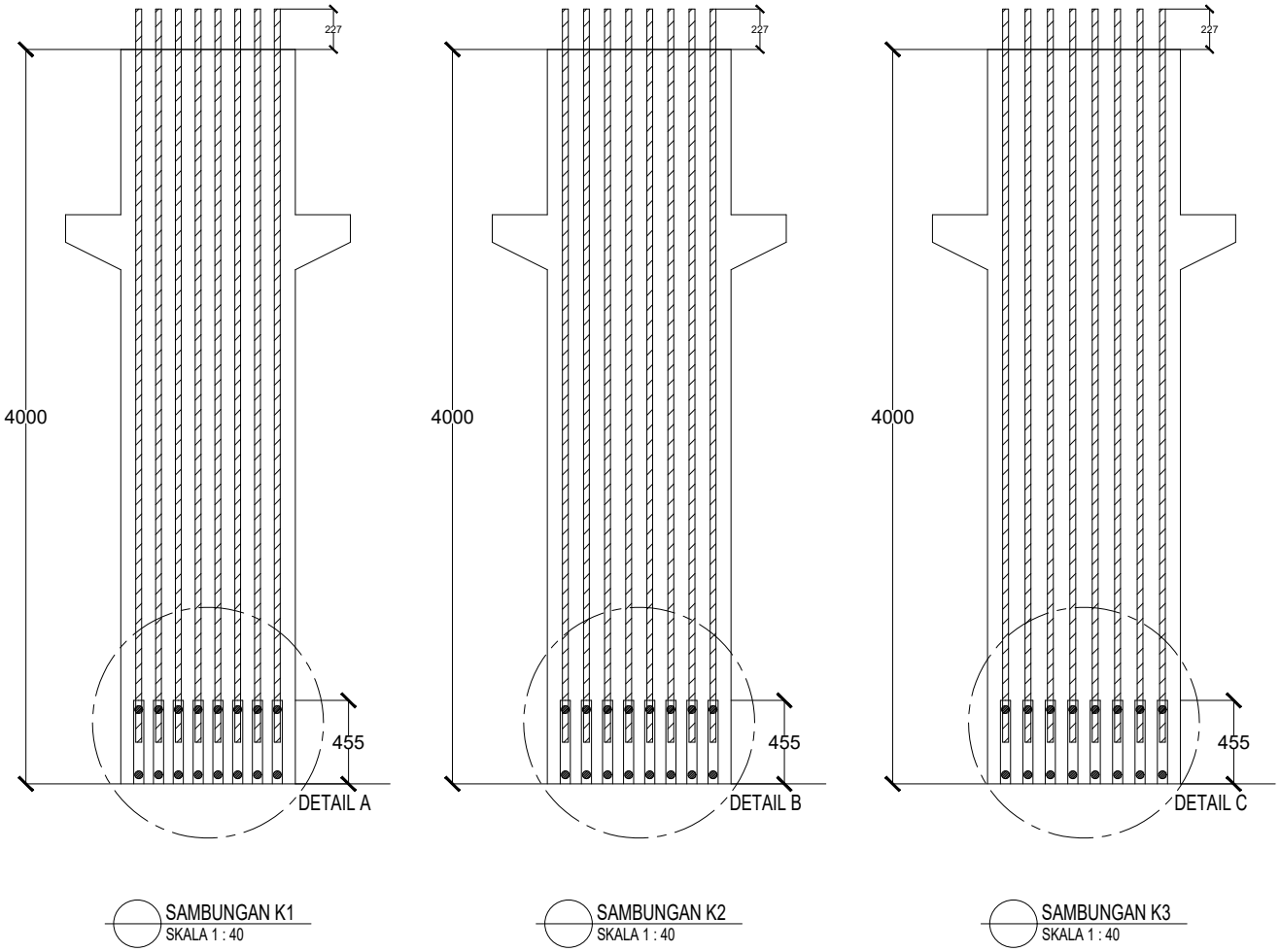


SAMBUNGAN BA 2 - BI 3 - BA 2 (DETAIL P)
SKALA 1 : 40



SAMBUNGAN BA 2 - BI 6 - BA 3 (DETAIL Q)
SKALA 1 : 40

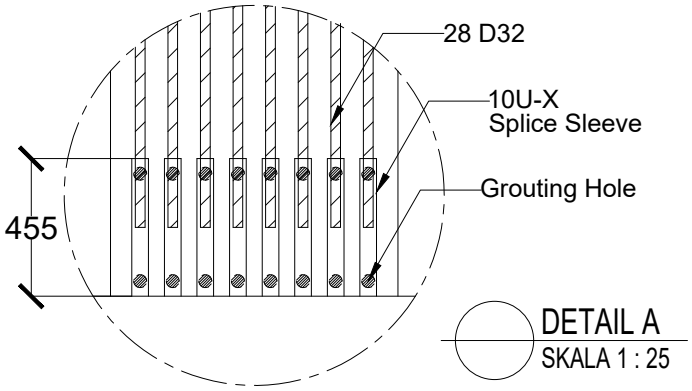
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Sambungan Balok - Balok	47 / 60



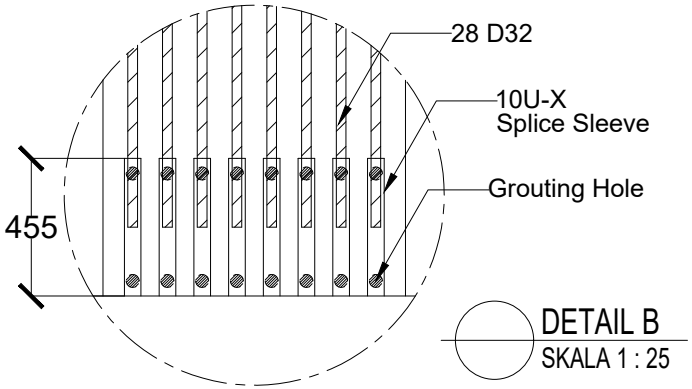
SAMBUNGAN K1
SKALA 1 : 40

SAMBUNGAN K2
SKALA 1 : 40

SAMBUNGAN K3
SKALA 1 : 40

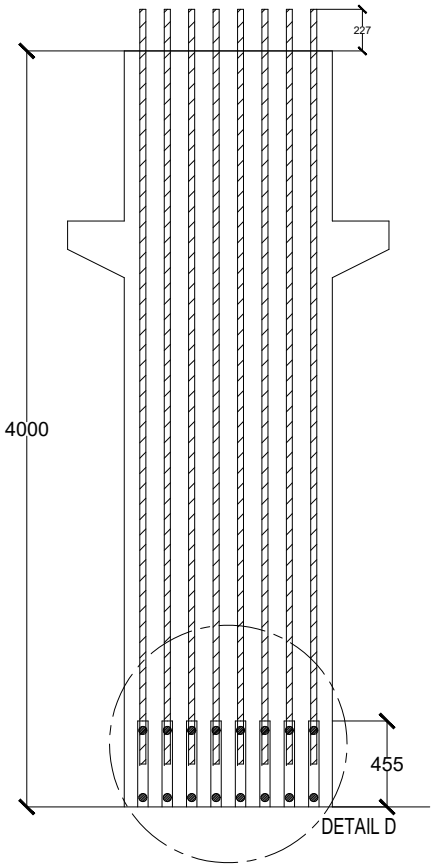


DETAIL A
SKALA 1 : 25

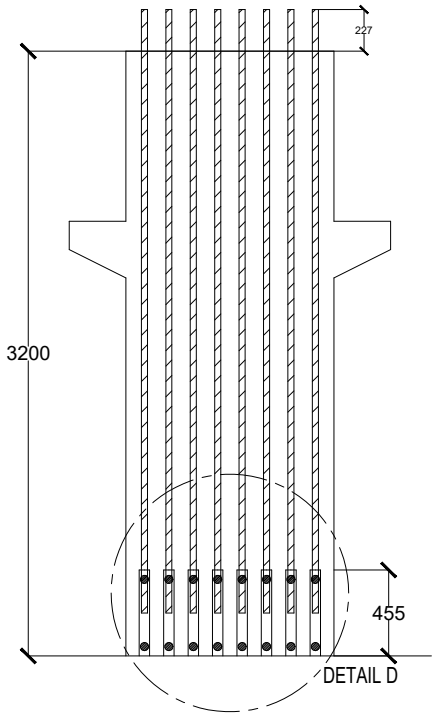


DETAIL B
SKALA 1 : 25

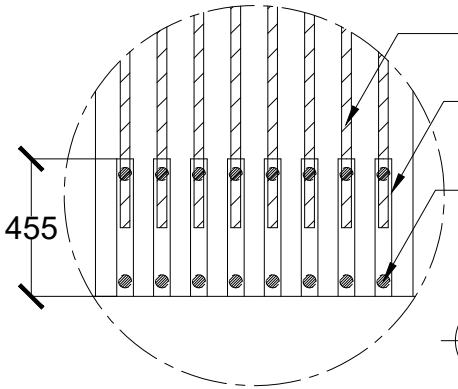
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Sambungan Kolom - Kolom	48 / 60



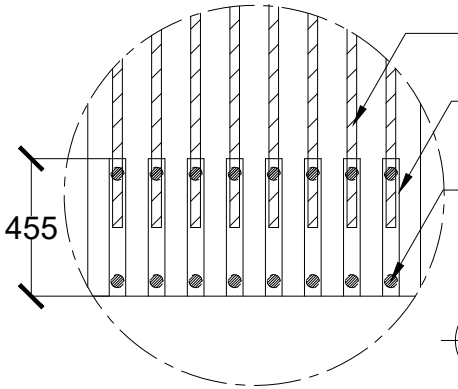
SAMBUNGAN K4
SKALA 1 : 40



SAMBUNGAN K5
SKALA 1 : 40

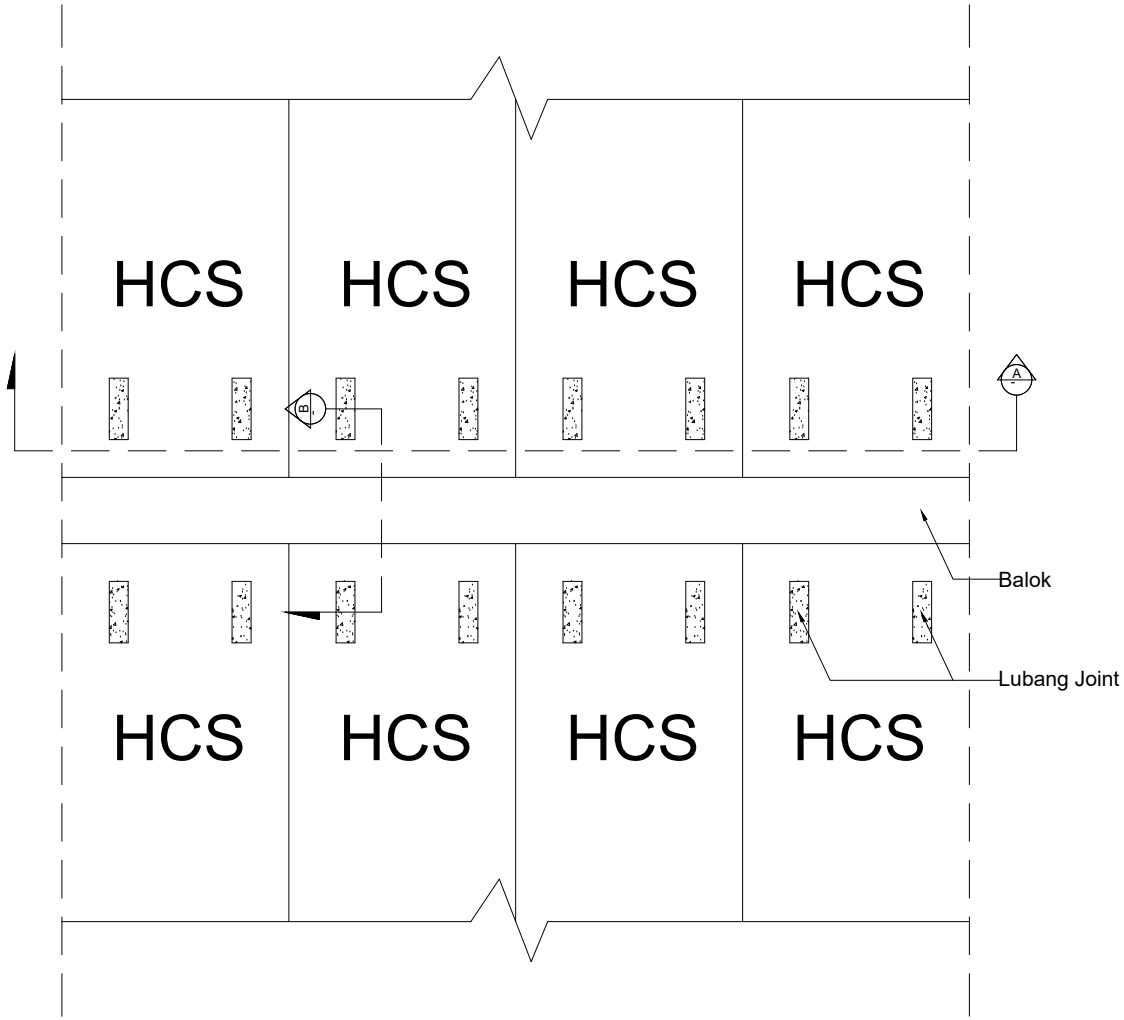


DETAIL C
SKALA 1 : 25



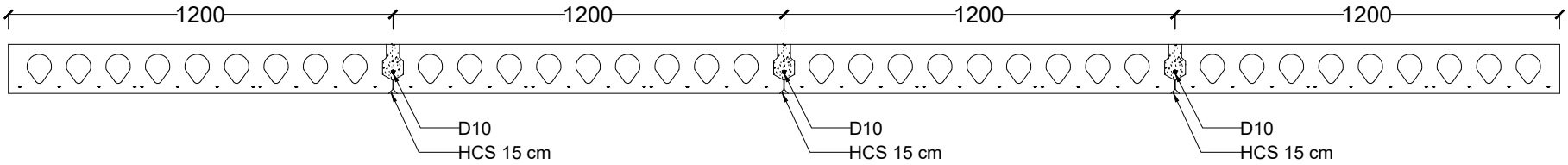
DETAIL D
SKALA 1 : 25

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Sambungan Kolom - Kolom	49 / 60

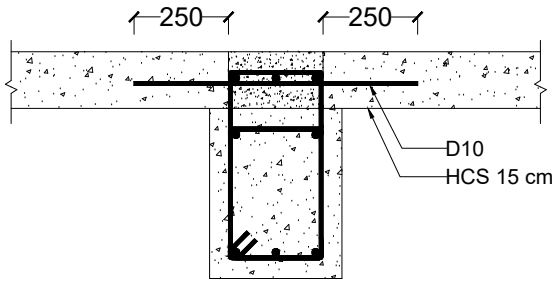


TAMPAK ATAS SAMBUNGAN PELAT
SKALA 1 : 40

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Sambungan Balok Pelat	50 / 60

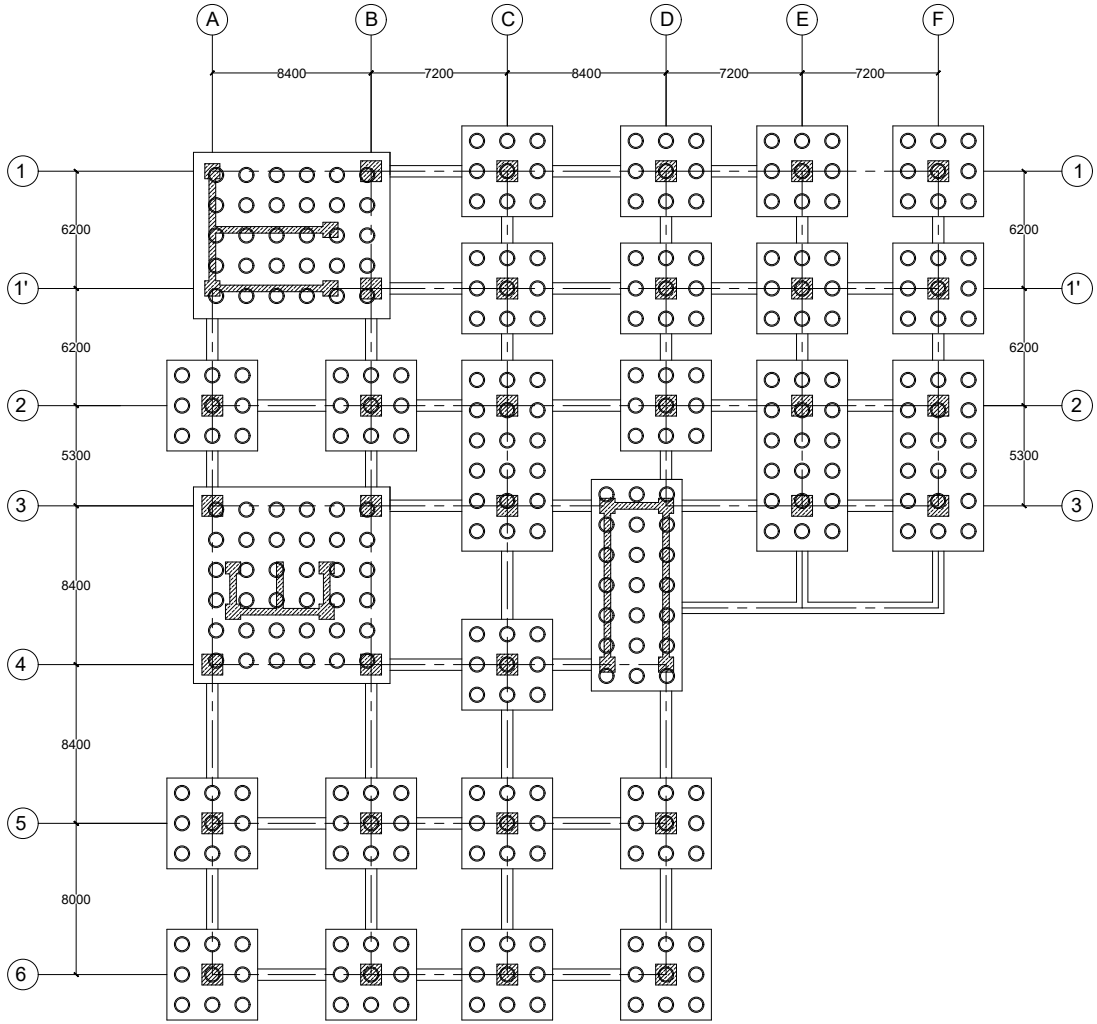


POTONGAN A-A
SKALA 1 : 20



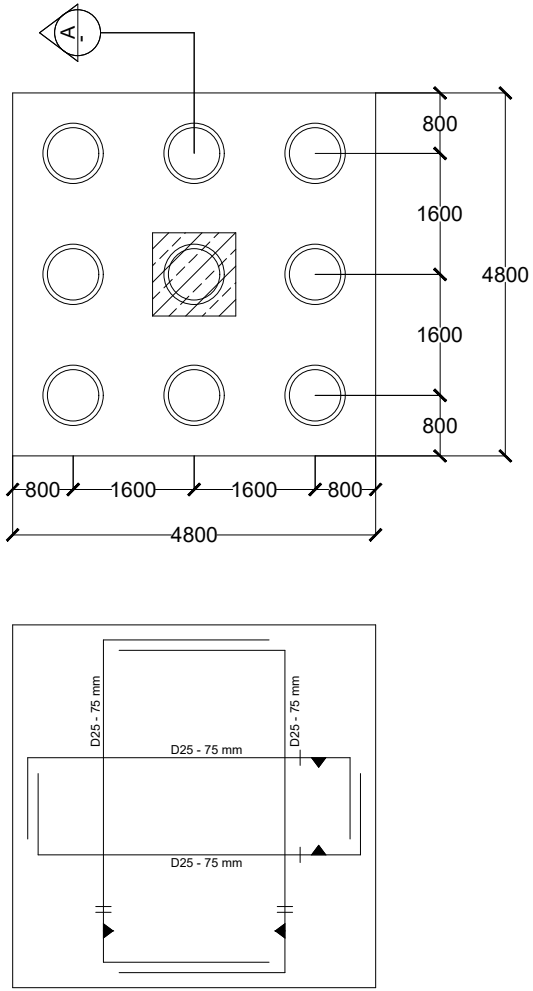
POTONGAN B-B
SKALA 1 : 20

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
		Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Sambungan Balok Pelat	51 / 60

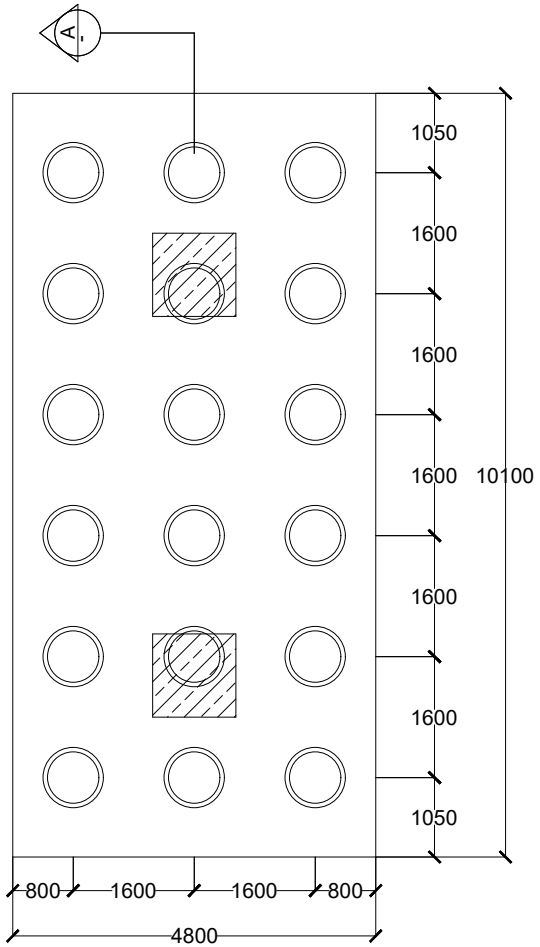


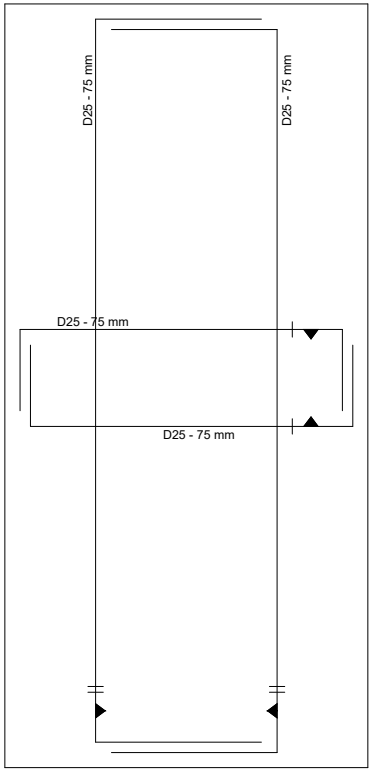
DENAH PONDASI
SKALA 1 : 400

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Denah Pondasi	52 / 60



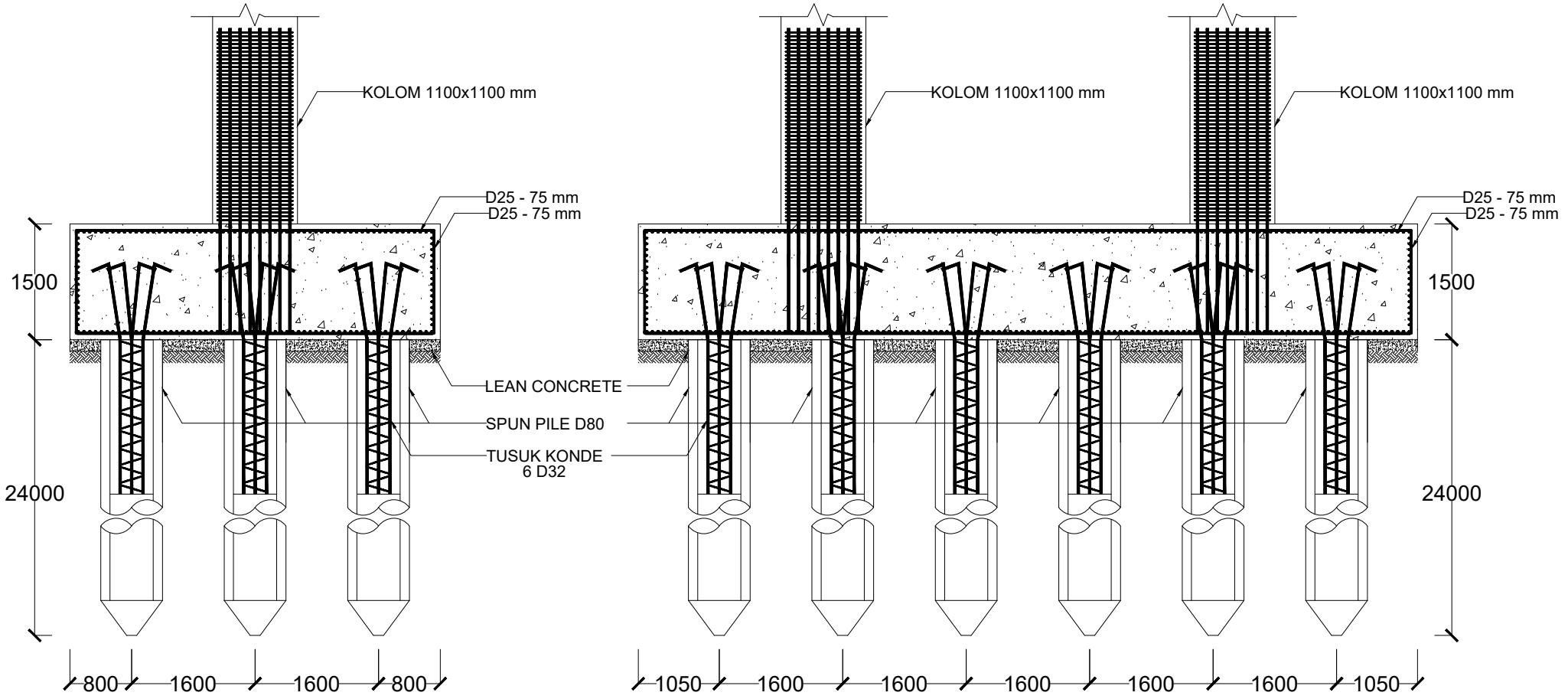
PENULANGAN POER TIPE 1
SKALA 1 : 100





PENULANGAN POER TIPE 2
SKALA 1 : 100

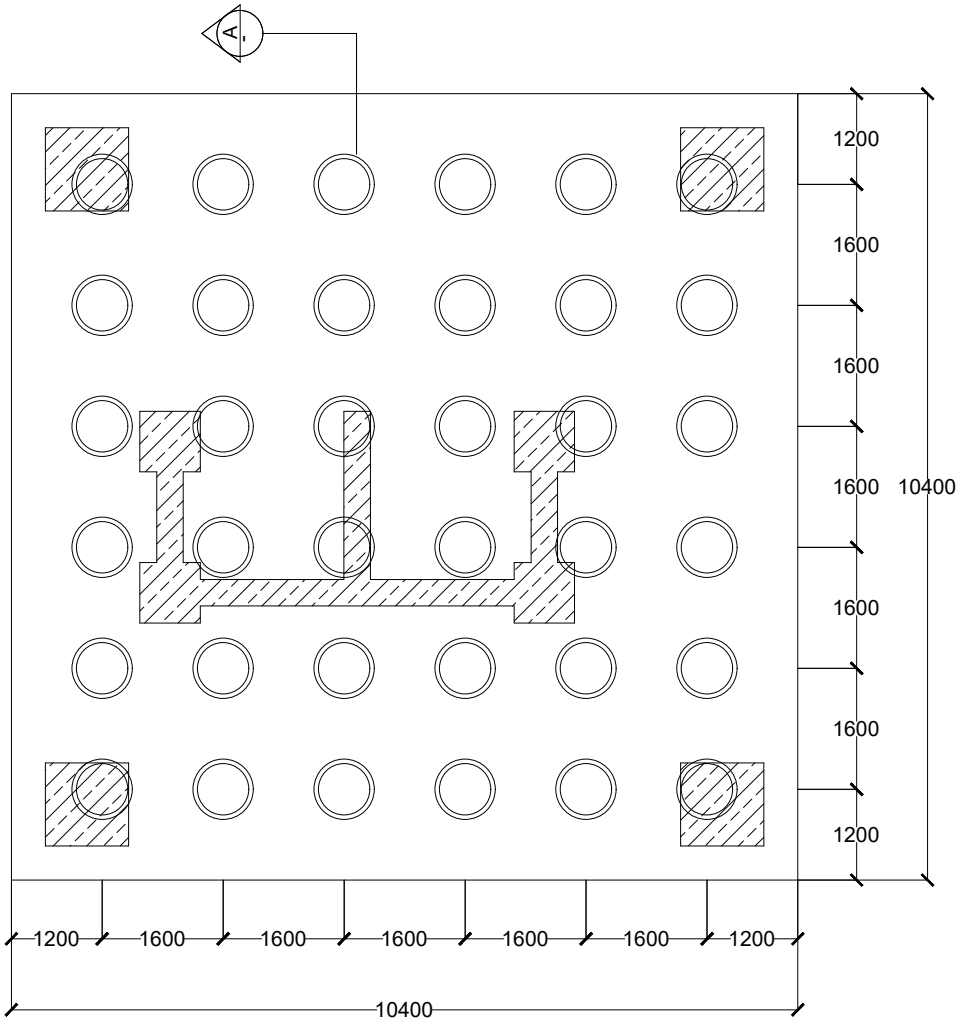
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Pondasi	53 / 60

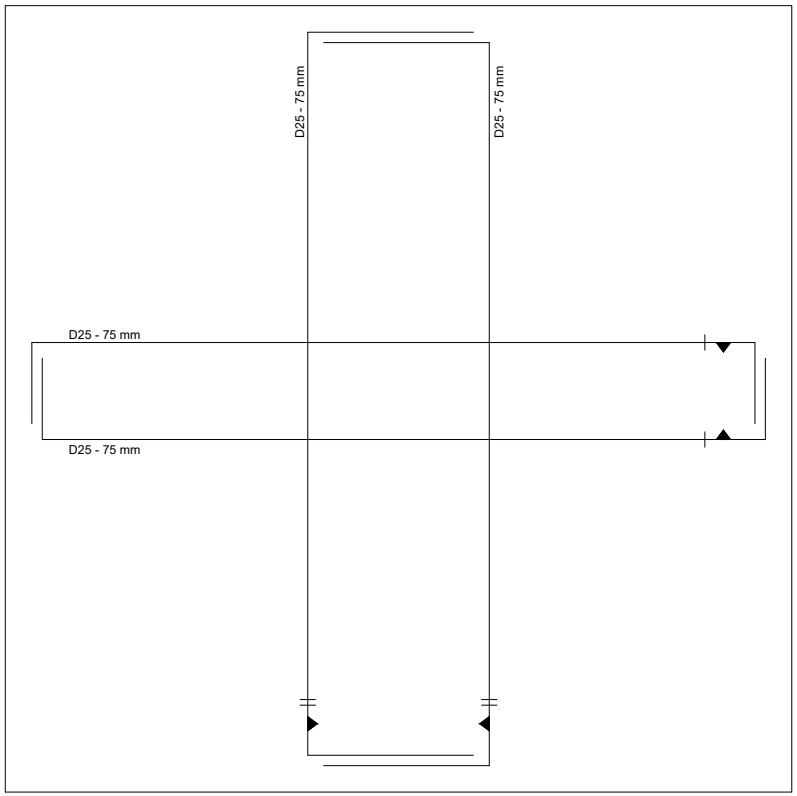


POTONGAN A POER TIPE 1
SKALA 1 : 75

POTONGAN A POER TIPE 2
SKALA 1 : 75

	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Pondasi	54 / 60

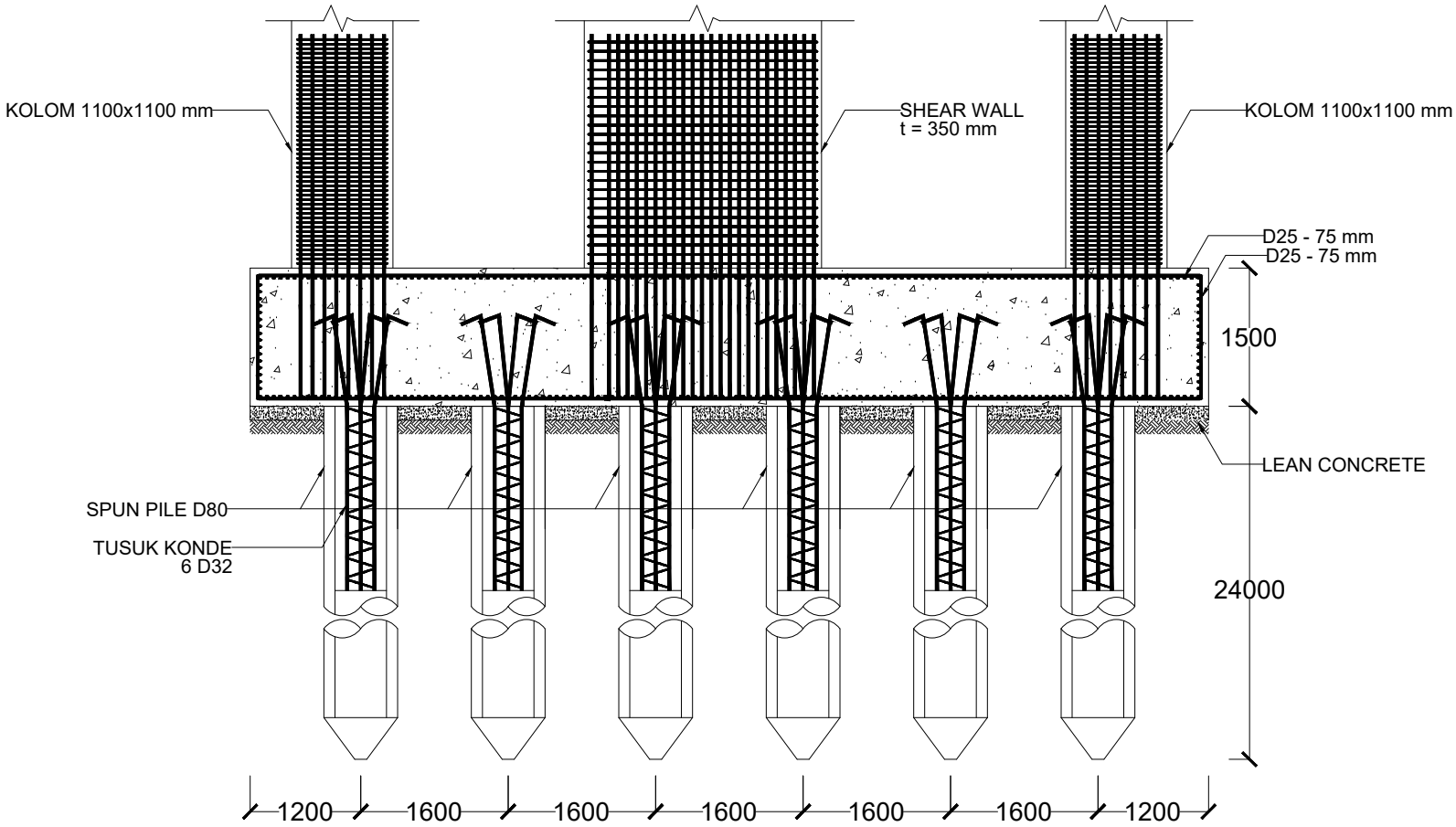




PENULANGAN POER TIPE 3

SKALA 1 : 100

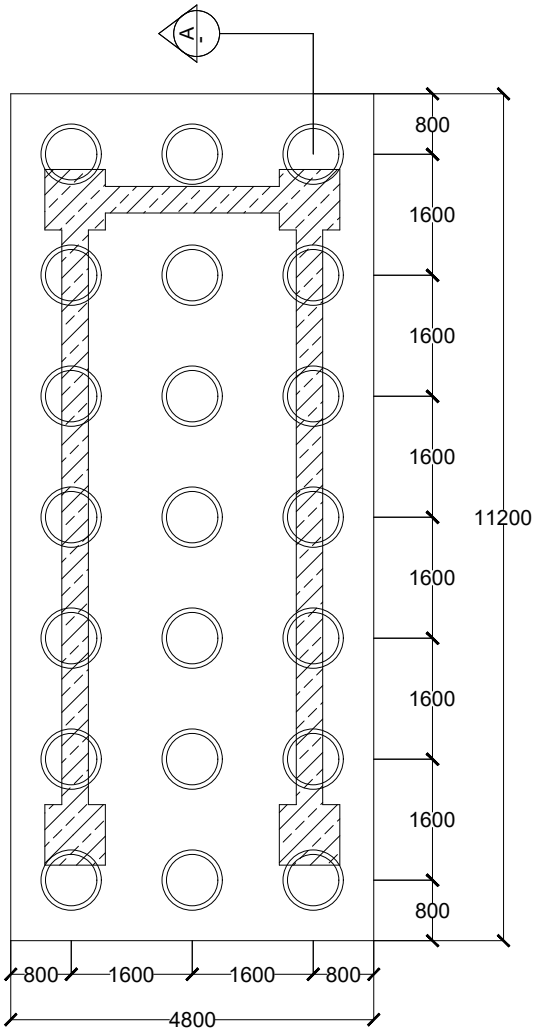
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Pondasi	55 / 60

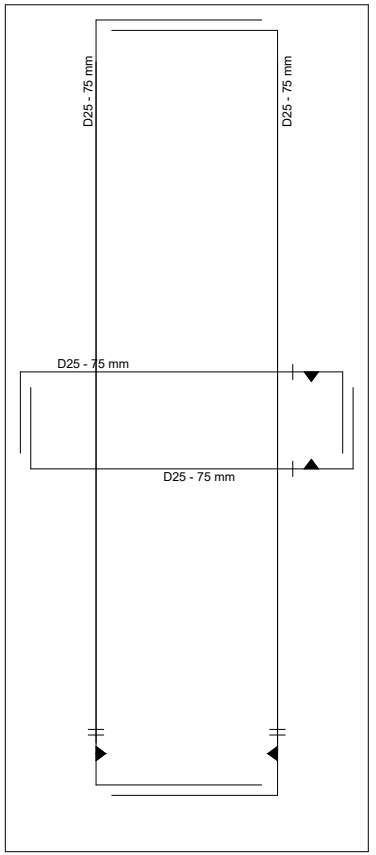


POTONGAN A POER TIPE 3

SKALA 1 : 75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
		Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Pondasi	56 / 60

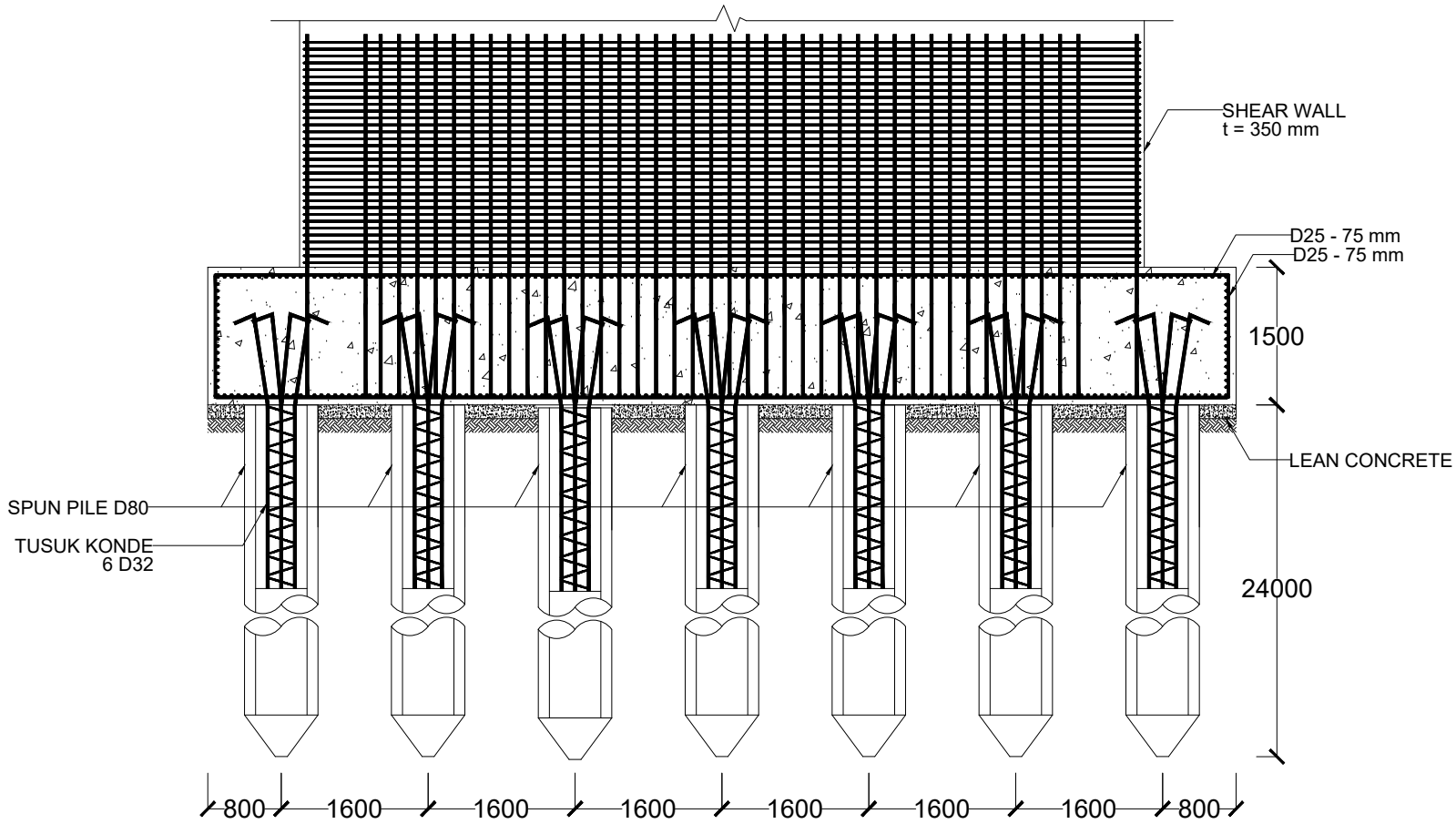




PENULANGAN POER TIPE 4

SKALA 1 : 100

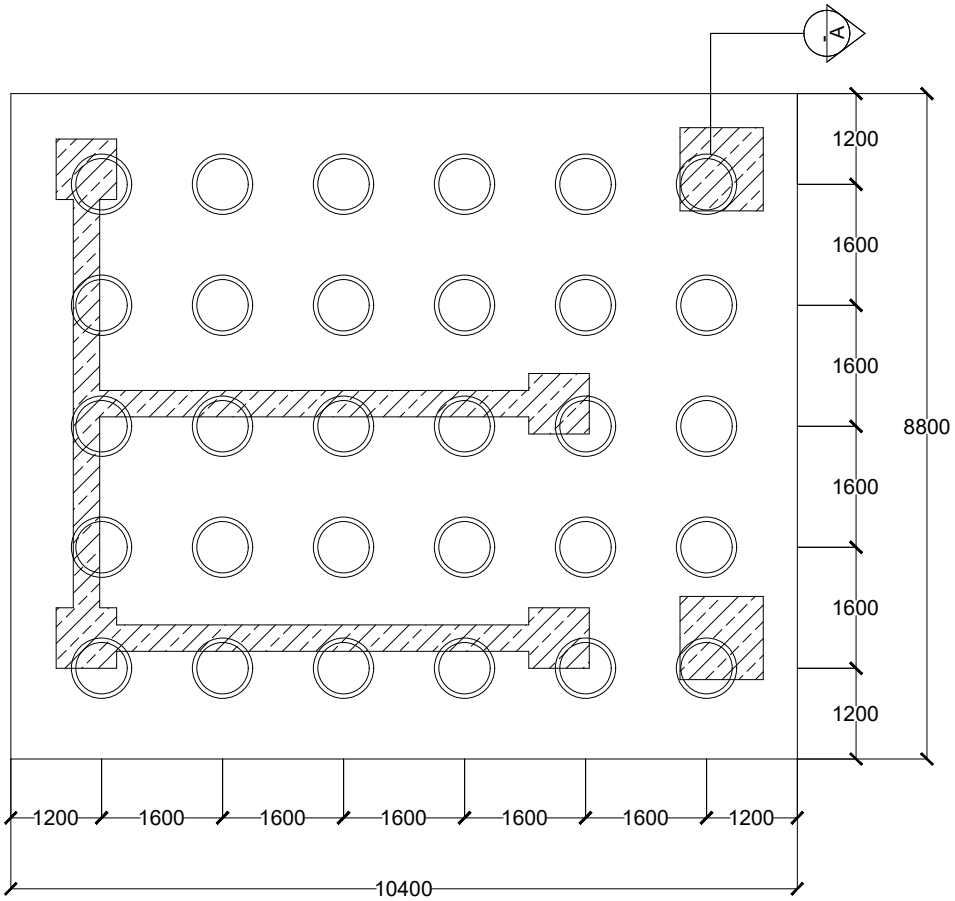
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Pondasi	57 / 60

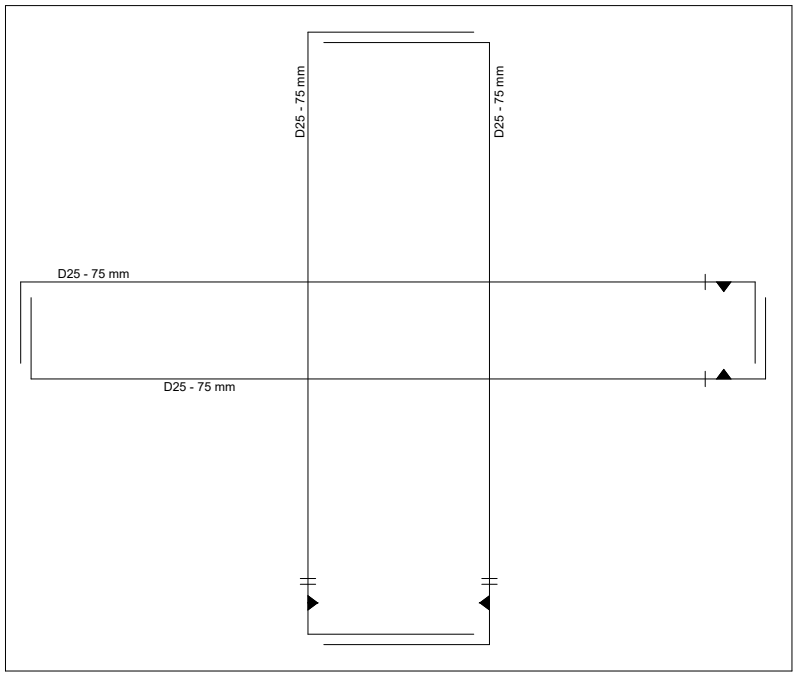


POTONGAN A POER TIPE 4

SKALA 1 : 75

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Pondasi	58 / 60

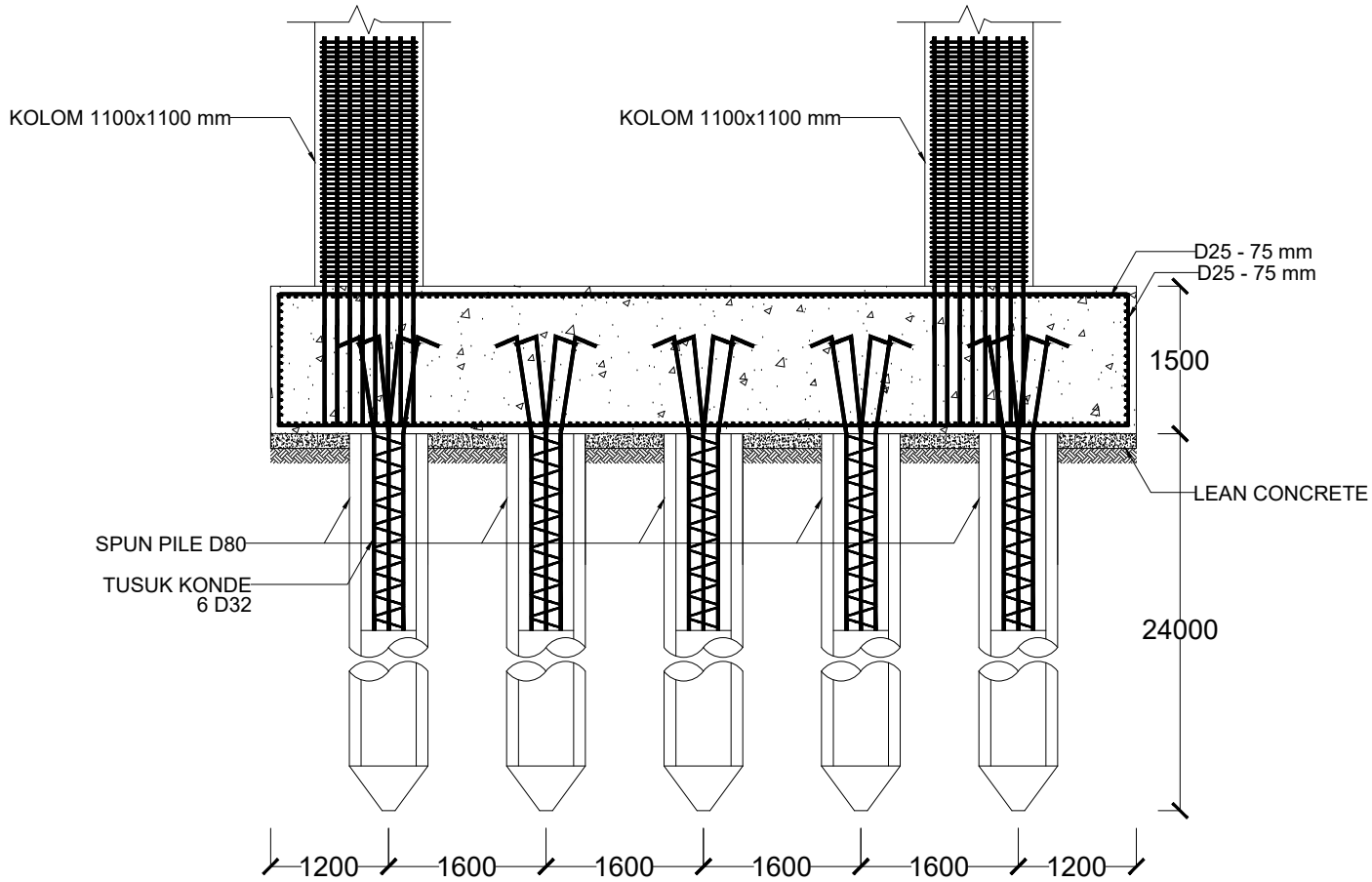




PENULANGAN POER TIPE 5

SKALA 1 : 100

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Pondasi	59 / 60



POTONGAN A POER TIPE 5

SKALA 1 : 75

	DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA DAN NRP MAHASISWA	JUDUL GAMBAR	NO. GAMBAR
		Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka Menggunakan Elemen Pracetak dan Hollow Core Slab	Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.	Ajeng Larasati 03111640000027	Detail Penulangan Pondasi	60 / 60

BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Ajeng Larasati, dilahirkan di Surabaya pada tanggal 13 Juli 1998 merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Kristen Petra 13 Surabaya, SD Kristen Petra 13 Surabaya, SMP Kristen Petra 5 Surabaya, dan SMA Negeri 15 Surabaya. Setelah lulus dari SMA, penulis diterima di Departemen Teknik Sipil FTSPK–ITS pada tahun 2016 melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP 03111640000027. Semasa kuliah, penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi terutama di Himpunan Mahasiswa Sipil sebagai Bendahara pada periode kepengurusan 2017/2018 sampai 2018/2019. Selain itu penulis juga kerap berpartisipasi dalam kepanitiaan pada acara himpunan dan departemen.