



TUGAS AKHIR RC141501

PERENCANAAN WIND PALACE TOWER  
MENGUNAKAN STRUKTUR BETON BERTULANG  
DAN BETON PRATEKAN PADA JEMBATAN  
PENGHUBUNG

Alvin Lay Christolove  
NRP 3111 100 051

Dosen Konsultasi  
Ir. Faimun, MSc.PhD

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR RC141501

# FEASIBILITY STUDY OF WIND PALACE TOWER USING REINFORCED CONCRETE AND PRESTRESSED CONCRETE ON SKY BRIDGES

Alvin Lay Christolove  
NRP 3111 100 051

Dosen Konsultasi  
Ir. Faimun, MSc.PhD

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

**PERENCANAAN *WIND PALACE TOWER*  
MENGUNAKAN STRUKTUR BETON  
BERTULANG DAN BETON PRATEKAN PADA  
JEMBATAN PENGHUBUNG**

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh:

**Alvin Lay Christolove**

NRP. 3111 100 051

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

**I. Ir. Faimun, MSc. PhD**

(Pembimbing I)



**SURABAYA  
Juni, 2016**

**PERENCANAAN WIND PALACE TOWER  
MENGUNAKAN STRUKTUR BETON BERTULANG  
DAN BETON PRATEKAN PADA JEMBATAN  
PENGHUBUNG**

Nama Mahasiswa : Alvin Lay Christolove  
NRP : 3111100051  
Jurusan : Teknik Sipil  
Dosen Konsultasi : Ir. Faimun, MSc.PhD

**ABSTRAK**

*Perencanaan Gedung Wind Palace Tower setinggi 34 lantai ( $\pm 136$  m) ini dirancang agar mampu memaksimalkan kecepatan aliran angin dan dirancang dengan menggunakan sistem ganda pada struktur utama dan beton pratekan pada jembatan penghubung.*

*Dalam Tugas Akhir ini dibahas perencanaan dengan menggunakan beton bertulang pada kedua tower, dan beton pratekan pada jembatan penghubung dengan penambahan beban akibat turbin dan beban angin yang disebabkan oleh bentuk bangunan Wind Palace Tower. Perencanaan yang dilakukan pada gedung Wind Palace Tower meliputi perencanaan struktur sekunder, struktur utama, dan struktur jembatan pratekan dari pembangunan gedung tersebut..*

*Perencanaan ini menghasilkan perencanaan gedung dengan menggunakan dinding geser khusus sesuai dengan zona gempa Surabaya. Perencanaan ini harus memenuhi peraturan mengenai bangunan tahan gempa, seperti SNI 2847-2013, dan SNI 1726-2012..*

***Kata Kunci : Wind Palace Tower, Turbin, Sistem Ganda, Beton Pratekan, Beton Bertulang***

# FEASIBILITY STUDY OF WIND PALACE TOWER USING REINFORCED CONCRETE AND PRESTRESSED CONCRETE ON SKY BRIDGES

Nama Mahasiswa : Alvin Lay Christolove  
NRP : 3111100051  
Jurusan : Teknik Sipil  
Dosen Konsultasi : Ir. Faimun, MSc.PhD

## ABSTRACT

*Wind Palace Tower is a 34 stories apartment ( $\pm 136$  m) designed to maximize the speed of wind flow and conducted by using dual systems on the main structure and prestressed concrete on the bridges.*

*The feasibility studies of this building is conducted by using reinforced concrete in both of the buildings, and prestressed concrete on a bridge with addition load caused by wind turbine, and by the shape of Wind Palace Tower. The planning on this building include planning of secondary structure, primary structure, and prestressed structure ..*

*This study yields the building to be designed by using coupled shearwalls considering earthquake zone in Surabaya. This study should fulfill regulatios regarding earthquake resistant buildings, such as SNI 2847-2013 and SNI 1726-2012.*

***Kata Kunci : Wind Palace Tower, Turbine, Dual Systems, Prestressed Concrete, Reinforced Concrete***

## KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji bagi Tuhan yang Maha Pengasih dan Penyayang karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Perencanaan Wind Palace Tower Menggunakan Struktur Beton Bertulang dan Beton Pratekan Pada Jembatan Penghubung”.

Disadari bahwa dalam penyusunan proposal tugas akhir ini tidak akan berhasil tanpa adanya keterlibatan berbagai pihak yang telah membantu dalam penyusunan proposal ini. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada keluarga penulis yang terus memberikan dukungan sampai selesainya proposal tugas akhir ini.
2. Faimun Ir., MSc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sepenuh hati memberikan ilmunya sehingga proposal penelitian ini dapat selesai dengan baik.
3. Seluruh dosen program studi Teknik Sipil ITS yang telah mencurahkan ilmunya kepada penulis selama menempuh studi.
4. Teman-teman Sipil ITS yang telah memberikan dukungan sampai selesainya proposal tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, sehingga saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| KATA PENGANTAR.....              | i   |
| DAFTAR ISI.....                  | ii  |
| DAFTAR GAMBAR.....               | xi  |
| DAFTAR TABEL.....                | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN.....           | 1   |
| 1.1. Latar Belakang.....         | 1   |
| 1.2. Rumusan Masalah.....        | 5   |
| 1.3. Batasan Masalah.....        | 5   |
| 1.4. Manfaat Penelitian.....     | 6   |
| 1.5. Tujuan Penelitian.....      | 6   |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....     | 7   |
| 2.1. Umum.....                   | 7   |
| 2.2. Struktur Bangunan.....      | 7   |
| 2.3. Beton Pratekan.....         | 9   |
| 2.4. Beton Bertulang.....        | 10  |
| 2.5. Pembebanan.....             | 11  |
| 2.5.1. Macam Pembebanan.....     | 11  |
| 2.5.2. Deskripsi Pembebanan..... | 11  |
| 2.5.3. Kombinasi Pembebanan..... | 19  |

|                         |  |    |
|-------------------------|--|----|
| 2.6.                    | Preliminary Design.....                  | 19 |
| 2.7.                    | Struktur Sekunder.....                   | 19 |
| 2.8.                    | Struktur Utama.....                      | 20 |
| 2.9.                    | Dinding Geser.....                       | 20 |
| 2.10.                   | Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....  | 21 |
| 2.11.                   | Sistem Ganda.....                        | 22 |
| BAB III METODOLOGI..... |  | 23 |
| 3.1.                    | Umum.....                                | 23 |
| 3.2.                    | Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir..... | 23 |
| 3.3.                    | Pengumpulan Data.....                    | 25 |
| 3.4.                    | Studi Literatur.....                     | 25 |
| 3.5.                    | Perencanaan Struktur Sekunder.....       | 26 |
| 3.6.                    | Preliminary Design.....                  | 27 |
| 3.7.                    | Pembebanan.....                          | 27 |
| 3.8.                    | Run Pemodelan Struktur.....              | 27 |
| 3.9.                    | Analisa Struktur Utama Non Pratekan..... | 28 |
| 3.10.                   | Analisa Struktur Utama Pratekan.....     | 28 |
| 3.10.1.                 | Gaya Pratekan.....                       | 28 |
| 3.10.2.                 | Pemilihan Tendon Baja Pratekan.....      | 28 |
| 3.10.3.                 | Kehilangan Pratekan.....                 | 28 |
| 3.10.4.                 | Kontrol Kuat Batas Beton Pratekan.....   | 29 |



|  |    |
|--|----|
| 3.10.5. Kontrol Kuat Lentur.....         | 29 |
| 3.10.6. Kontrol Geser.....               | 29 |
| 3.10.7. Kontrol Lendutan.....            | 29 |
| 3.10.8. Pengangkuran.....                | 29 |
| 3.11. Output Gambar.....                 | 30 |
| BAB IV PRELIMINARY DESIGN.....           | 31 |
| 4.1. Umum.....                           | 31 |
| 4.2. Data Perencanaan.....               | 31 |
| 4.2.1. Pembebanan.....                   | 31 |
| 4.3. Perencanaan Balok.....              | 32 |
| 4.4. Perencanaan Tebal Pelat.....        | 33 |
| 4.4.1. Perencanaan Tipe Pelat.....       | 34 |
| 4.5. Perencanaan Kolom.....              | 36 |
| BAB V PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER..... | 41 |
| 5.1. Umum.....                           | 41 |
| 5.2. Perencanaan Struktur Pelat.....     | 41 |
| 5.2.1. Data Perencanaan.....             | 41 |
| 5.2.2. Pembebanan Pelat.....             | 41 |
| 5.2.3. Penulangan Pelat.....             | 42 |
| 5.3. Perencanaan Tangga.....             | 53 |
| 5.3.1. Data-data Perencanaan Tangga..... | 53 |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 5.3.2.   | Perhitungan Pembebanan Tangga.....                       | 55 |
| 5.3.3.   | Analisis Struktur Tangga.....                            | 55 |
| 5.3.4.   | Perhitungan Tulangan Pelat Tangga.....                   | 56 |
| 5.3.5.   | Perhitungan Tulangan Pelat Bordes.....                   | 59 |
| 5.4.   | Perencanaan Balok Lift.....                              | 59 |
| 5.4.1.   | Spesifikasi Lift.....                                    | 59 |
| 5.4.2.   | Perencanaan Awal Dimensi Balok Lift.....                 | 60 |
| 5.4.3.   | Pembebanan Balok Lift.....                               | 60 |
| 5.4.4.   | Penulangan Balok Lift.....                               | 62 |
| 5.4.5.   | Penulangan Balok Penumpu Lift.....                       | 64 |
| 5.5.   | Perencanaan Struktur Balok Pembagi (Balok Anak)<br>..... | 65 |
| 5.5.1.   | Data Perencanaan.....                                    | 65 |
| 5.5.2.   | Analisa Gaya Dalam Balok Anak.....                       | 65 |
| 5.5.3.   | Perhitungan Kebutuhan Tulangan Balok Anak....            | 66 |
| <b>BAB VI PEMBEBANAN DAN ANALISA STRUKTUR</b><br>..... |  | 77 |
| 6.1.   | Umum.....  | 77 |
| 6.2.   | Data Perencanaan.....                                    | 77 |
| 6.3.   | Analisa Beban Angin.....                                 | 77 |
| 6.4.   | Analisa Beban Gempa.....                                 | 82 |
| 6.4.1.   | Percepatan Respon Spektrum.....                          | 82 |

|   |  |            |
|---|--|------------|
| 6.4.2.  | Resiko dan Faktor Keutamaan.....                       | 83         |
| 6.4.3.  | Koefisien Situs.....                                   | 84         |
| 6.4.4.  | Faktor Implikasi.....                                  | 84         |
| 6.4.5.  | Parameter Percepatan Spektral Desain.....              | 85         |
| 6.4.6.  | Respon Spektrum Desain.....                            | 85         |
| 6.5.  | Input SAP.....   | 86         |
| 6.6.  | Kontrol Partisipasi Massa.....                         | 88         |
| 6.7.  | Kontrol Gaya Geser Dalam (Base Shear).....             | 89         |
| 6.8.  | Kontrol Simpangan Antar Lantai (Drift).....            | 90         |
| <b>BAB VII PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA NON PRATEKAN.....</b> |  | <b>101</b> |
| 7.1.  | Umum.....  | 101        |
| 7.2.  | Perencanaan Balok Induk.....                           | 101        |
| 7.2.1.  | Perencanaan Tulangan Torsi Balok Induk.....            | 104        |
| 7.2.2.  | Perencanaan Tulangan Lentur.....                       | 105        |
| 7.2.3.  | Perencanaan Tulangan Geser Balok Induk.....            | 111        |
| 7.2.4.  | Perencanaan Panjang Penyaluran Tulangan Balok<br>..... | 116        |
| 7.3.  | Perencanaan Kolom.....                                 | 118        |
| 7.3.1.  | Perhitungan Penulangan Kolom.....                      | 118        |
| 7.3.2.  | Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal.....               | 119        |
| 7.3.3.  | Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom Terhadap          |            |

|  |            |
|--|------------|
| Beban Aksial Terfaktor.....  | 119        |
| 7.3.4. Persyaratan “Strong Column Weak Beam” .....                                       | 119        |
| 7.3.5. Kontrol Persyaratan Kolom Terhadap Gaya Geser Rencana Ve.....                     | 121        |
| 7.3.6. Perencanaan Tulangan Pengekangan Kolom.....                                       | 122        |
| 7.3.7. Panjang Lewatan Pada Sambungan Tulangan.....                                      | 124        |
| 7.3.8. Kontrol Kebutuhan Penulangan Torsi.....   | 124        |
| 7.4. Perencanaan Dinding Geser.....  | 126        |
| 7.4.1. Perhitungan Tulangan Dinding Geser.....   | 128        |
| 7.4.2. Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal Dinding Geser .....                           | 128        |
| 7.4.3. Kontrol Kapasitas Beban Aksial Dinding Geser Terhadap Beban Aksial Terfaktor..... | 128        |
| 7.4.4. Kontrol Gaya Geser.....   | 129        |
| 7.4.5. Kontrol Komponen Batas Khusus.....  | 130        |
| 7.4.6. Balok Kopel.....  | 133        |
| <b>BAB VIII PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA.....</b>  | <b>139</b> |
| 8.1. Umum.....   | 139        |
| 8.2. Data Perencanaan Beton Pratekan.....  | 139        |
| 8.2.1. Geometri Jembatan.....  | 140        |
| 8.2.2. Material.....   | 140        |
| 8.3. Denah dan Potongan.....   | 140        |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 8.4.    | Perencanaan Pelat Jembatan.....                                      | 142 |
| 8.4.1.  | Data Perencanaan Pelat.....  | 142 |
| 8.4.2.  | Pembebanan Pelat.....  | 142 |
| 8.4.3.  | Penulangan Pelat.....  | 143 |
| 8.5.    | Perencanaan Diafragma.....   | 144 |
| 8.4.    | Geometri Balok dan Sifat Penampang.....                              | 146 |
| 8.5.    | Perhitungan Sifat Penampang Balok Pratekan.....                      | 147 |
| 8.6.    | Geometri Balok dan Sifat Penampang.....                              | 147 |
| 8.7.    | Perhitungan Sifat Penampang Balok Pratekan.....                      | 148 |
| 8.8.    | Penentuan Tegangan Ijin Baja dan Beton.....                          | 153 |
| 8.9.    | Pembebanan Untuk Balok Tengah.....                                   | 154 |
| 8.10.   | Analisa Penampang Global.....  | 155 |
| 8.11.   | Perencanaan Kabel Tendon dan Angker.....                             | 158 |
| 8.12.   | Perhitungan Daerah Limit Kabel.....                                  | 160 |
| 8.13.   | Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang.....                           | 163 |
| 8.13.1. | Kehilangan Prategang Akibat Friksi / Gesekan<br>(Wobble Effect)..... | 164 |
| 8.13.2. | Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan Elastis<br>.....             | 164 |
| 8.13.3. | Kehilangan Prategang Akibat Rangkak.....                             | 165 |
| 8.13.4. | Kehilangan Prategang Akibat Susut.....                               | 165 |

|  |   |     |
|--|---|-----|
| 8.13.5.                                  | Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi.....      | 167 |
| 8.14.                                    | Analisa Penampang.....                          | 168 |
| 8.15.                                    | Kontrol Momen Retak ( $M_{cr}$ ).....           | 169 |
| 8.16.                                    | Kontrol Momen Nominal ( $M_n$ ).....            | 169 |
| 8.17.                                    | Kontrol Lendutan.....                           | 171 |
| 8.18.                                    | Perhitungan Penulangan Balok Prategang.....     | 173 |
| 8.18.1.                                  | Perhitungan Tulangan Utama Balok Prategang...   | 173 |
| 8.18.2.                                  | Perhitungan Tulangan Geser Balok Prategang...   | 174 |
| 8.19.                                    | Bearing Pad (Elastomer).....                    | 176 |
| 8.20.                                    | Shear Connector.....                            | 177 |
| 8.21.                                    | Reaksi Perletakan.....                          | 180 |
| BAB IX PERENCANAAN STRUKTUR PONDASI..... |   | 181 |
| 9.1.                                     | Umum.....                                       | 181 |
| 9.1.1.                                   | Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal.....          | 177 |
| 9.1.2.                                   | Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok.....         | 181 |
| 9.1.3.                                   | Repartisi Beban-Beban Diatas Tiang Kelompok...  | 186 |
| 9.1.4.                                   | Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral... | 188 |
| 9.2.                                     | Perencanaan Poer.....                           | 188 |
| 9.2.1.                                   | Kontrol <i>Punching Shear</i> .....             | 189 |
| 9.2.2.                                   | Kontrol Geser Pons Pada Poer.....               | 186 |
| 9.2.3.                                   | Penulangan Poer.....                            | 192 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| BAB X KESIMPULAN..... | 197 |
| 10.1. Kesimpulan..... | 197 |
| 9.1. Saran.....       | 199 |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1. 1 Tampak Depan Gedung.....                           | 3  |
| Gambar 1. 2 Tampak Samping Gedung.....                         | 3  |
| Gambar 1. 3 Tampak Perspektif Gedung.....                      | 4  |
| Gambar 1. 4 Penempatan Turbin Angin.....                       | 4  |
| Gambar 1. 5 Pengarahan Aliran Angin.....                       | 5  |
| Gambar 2. 1 Tower A.....                                       | 8  |
| Gambar 2. 2 Tower B.....                                       | 8  |
| Gambar 2. 3 Jembatan Penghubung.....                           | 9  |
| Gambar 2. 4 Penampang Aliran Angin.....                        | 13 |
| Gambar 2. 5 Kondisi Geografi Kota Surabaya.....                | 14 |
| Gambar 2. 6 Ilustrasi Efek Venturi.....                        | 15 |
| Gambar 2. 7 Spesifikasi Turbin.....                            | 16 |
| Gambar 2. 8 Tampak Turbin Angin.....                           | 17 |
| Gambar 2. 9 Diameter Putaran Kincir.....                       | 17 |
| Gambar 2. 10 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Turbin<br>..... | 18 |
| Gambar 3. 1 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir.....           | 25 |
| Gambar 4. 1 Denah Pembebanan Kolom 16.....                     | 37 |
| Gambar 5. 1 Tampak dan Gaya Dalam Struktur Pelat.....          | 43 |



|  |    |
|--|----|
| Gambar 5. 2 Sketsa Bagian Pelat.....                                 | 44 |
| Gambar 5. 3 Perencanaan Anak Tangga.....                             | 54 |
| Gambar 5. 4 Tumpuk Struktur Tangga.....                              | 56 |
| Gambar 5. 5 Perletakan Tangga Dengan Terjepit Kedua<br>Sisi.....     | 57 |
| Gambar 5. 6 Potongan Pelat Tangga.....                               | 57 |
| Gambar 5. 7 Variasi factor reduksi kekuatan.....                     | 67 |
| Gambar 5. 8 Desain Penulangan Lentur Balok Anak BA 4<br>Tumpuan..... | 71 |
| Gambar 5. 9 Desain Penulangan Lentur Balok Anak BA4<br>Lapangan..... | 74 |
| Gambar 6. 1 Nilai $\alpha$ dan $Z_g$ .....                           | 78 |
| Gambar 6. 2 Aliran Kecepatan Angin.....                              | 79 |
| Gambar 6. 3 Koefesien Tekanan Internal.....                          | 80 |
| Gambar 6. 4 Koefesien Internal.....                                  | 81 |
| Gambar 6. 5 Beban Statis Angin.....                                  | 82 |
| Gambar 6. 6 Peta Untuk Menentukan Harga $S_s$ .....                  | 83 |
| Gambar 6. 7 Peta Untuk Menentukan Harga $s_1$ .....                  | 83 |
| Gambar 6. 8 Kategori Resiko Gedung.....                              | 84 |
| Gambar 6. 9 Faktor Keutamaan Gempa.....                              | 84 |
| Gambar 6. 10 Respon Spektrum.....                                    | 85 |
| Gambar 6. 11 Pemodelan Struktur Pada SAP2000.....                    | 87 |
| Gambar 6. 12 Penentuan Simpangan Antar Lantai.....                   | 91 |

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 7. 1 Variasi Faktor Reduksi Kekuatan.....              | 106 |
| Gambar 7. 2 Geser Desain Untuk Balok.....                     | 114 |
| Gambar 7. 3 Penulangan Lentur dan Torsi B 5-8.....            | 117 |
| Gambar 7. 4 Penulangan Geser B 5-8.....                       | 117 |
| Gambar 7. 5 Diagram Interaksi Kolom.....                      | 118 |
| Gambar 7. 6 Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK<br>..... | 120 |
| Gambar 7. 7 Potongan Melintang Kolom 1-14.....                | 125 |
| Gambar 7. 8 Potongan Memanjang Kolom 1-14.....                | 125 |
| Gambar 7. 9 Denah Lokasi Dinding Geser Tipe C.....            | 127 |
| Gambar 7. 10 Pemodelan Dinding Geser Tipe C.....              | 127 |
| Gambar 7. 11 Diagram Interaksi Dinding Geser Tipe C...        | 128 |
| Gambar 7. 12 Penempatan Balok Kopel.....                      | 133 |
| Gambar 7. 13 Profil Balok Kopel.....                          | 136 |
| Gambar 7. 14 Tampak Atas Elemen Pembatas Khusus....           | 136 |
| Gambar 7. 15 Tampak Samping Elemen Pembatas Khusus<br>.....   | 137 |
| Gambar 8. 1 Denah Jembatan.....                               | 141 |
| Gambar 8. 2 Potongan Memanjang Jembatan.....                  | 141 |
| Gambar 8. 3 Potongan Melintang Jembatan.....                  | 141 |
| Gambar 8. 4 Bridge Construction Brochur Wika Beton...         | 147 |

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 8. 5 Potongan Melintang Penampang Balok.....                                       | 148 |
| Gambar 8. 6 Pembagian Luas Penampang Balok.....   | 149 |
| Gambar 8. 7 Momen Inersia Penampang Balok.....  | 150 |
| Gambar 8. 8 Potongan Melintang Balok Komposit.....  | 151 |
| Gambar 8. 9 Pembagian Luasan Balok Komposit.....  | 152 |
| Gambar 8. 10 Momen Inersia Penampang Balok Komposit<br>.....                              | 153 |
| Gambar 8. 11 Spesifikasi Strand (sumber: VSL<br>MULTISTRAND POST-TENSIONING AS 1331)..... | 158 |
| Gambar 8. 12 Spesifikasi Tendon (sumber: VSL<br>MULTISTRAND POST-TENSIONING AS 1331)..... | 159 |
| Gambar 8. 13 Letak Kern dan Garis Netral.....   | 161 |
| Gambar 8. 14 Bentuk Daerah Limit Kabel.....   | 163 |
| Gambar 8. 15 Gelagar Akibat Pengangkatan.....   | 173 |
| Gambar 8. 16 Bearing Pad.....   | 176 |
| Gambar 8. 17 Shear Connector.....   | 178 |
| Gambar 8. 18 Perletakan Pembebanan Jembatan .....   | 180 |
| Gambar 9. 1 Denah Pondasi .....   | 186 |
| Gambar 9. 2 Area <i>Punching Shear</i> .....  | 189 |
| Gambar 9. 3 Model Pondasi dan Kolom Pada SAP2000 Arah<br>X.....                           | 192 |
| Gambar 9. 4 Model Pondasi dan Kolom Pada SAP2000 Arah                                     |     |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| Y.....                               | 194 |
| Gambar 9. 5 Penulangan Pile Cap..... | 196 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 4. 1 Penentuan Jenis Pelat.....                                     | 34 |
| Tabel 4. 2 Tebal Renana Pelat.....  | 35 |
| Tabel 4. 3 Beban Mati Kolom 16.....                                       | 38 |
| Tabel 4. 4 Beban Hidup Kolom 16.....                                      | 39 |
| Tabel 5. 1 Penulangan Pelat Lantai.....                                   | 46 |
| Tabel 5. 2 Penulangan Pelat Atap.....                                     | 49 |
| Tabel 5. 3 Gaya Dalam Balok Anak.....                                     | 65 |
| Tabel 6. 1 Beban Angin.....   | 81 |
| Tabel 6. 2 Rasio Partisipasi Massa.....                                   | 88 |
| Tabel 6. 3 Simpangan Antar Lantai Ijin $\Delta a^{a,b}$ .....             | 91 |
| Tabel 6. 4 Simpangan Antar Lantai yang Terjadi Akibat<br>Beban Gempa..... | 92 |
| Tabel 6. 5 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban<br>Gempa Arah X.....     | 93 |
| Tabel 6. 6 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban<br>Gempa Arah Y.....     | 95 |
| Tabel 6. 7 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban<br>Gempa Arah X.....     | 96 |
| Tabel 6. 8 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban<br>Gempa Arah Y.....     | 98 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabel 8. 1 Perhitungan Garis Netral Penampang Balok....              | 149 |
| Tabel 8. 2 Perhitungan Garis Netral Penampang Balok....              | 152 |
| Tabel 8. 3 Hasil Perhitungan Batas Atas dan Batas Bawah<br>.....     | 162 |
| Tabel 8. 4 Hasil Perhitungan Daerah Limit Kabel.....                 | 163 |
| Tabel 8. 5 Perhitungan Luas Selimut Beton.....                       | 166 |
| Tabel 8. 6 Jarak Shear Connector Tiap Bagian Setengah<br>Batang..... | 179 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah negara dengan jumlah penduduk 259.940.857. jumlah ini terdiri atas 132.240.055 laki-laki dan 127.700.802 perempuan. Pertumbuhan jumlah penduduk, pastilah diiringi oleh peningkatan kebutuhan akan energi terutama energi listrik dan kebutuhan akan tempat tinggal.

Indonesia sebagai negara berkembang saat ini sedang mengalami peningkatan ekonomi, menyebabkan pesatnya pembangunan-pembangunan yang berakibat berkurangnya lahan untuk ditinggali oleh masyarakat yang beraktifitas di dalamnya, oleh karena itu bangunan vertikal sangatlah cocok untuk dibangun di lahan yang semakin berkurang. Bangunan vertikal seperti apartemen, kondotel, rumah susun, sangat diminati oleh masyarakat, selain itu dengan lahan yang terbatas sebuah apartemen contohnya dapat ditinggali oleh banyak orang dibanding dengan perumahan yang memakan banyak lahan tetapi tidak dapat ditinggali banyak orang.

Kebutuhan energi listrik akan naik dengan laju pertumbuhan 3 - 20% per tahun. Dari sektor ketenaga listrikan, saat ini pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil, khususnya batubara. Energi listrik sekarang ini sudah semakin menipis, untuk itu kita harus menggunakan energi listrik tersebut secara hemat dan efisien. Investasi pembangkit listrik dengan bahan bakar minyak relatif mahal, sehingga hal ini membuka kesempatan bagi upaya diversifikasi, dengan pemakaian minyak pada sektoral dapat digantikan dengan pemakaian tenaga listrik yang dibangkitkan oleh energi alternatif.

*Wind Palace Tower* merupakan rancangan *tower apartment* yang terdiri dari 34 lantai dengan tinggi keseluruhan 136 meter yang terletak di Surabaya. Bangunan ini dirancang dengan tujuan untuk meminimalkan kerusakan pada lingkungan dan akan

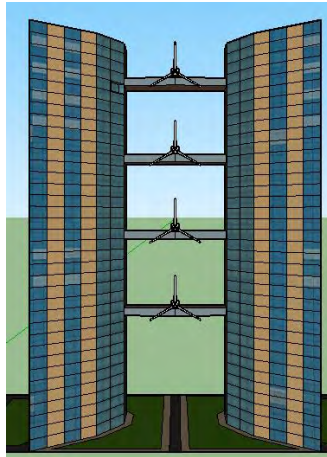
mengkonservasi energi dari sumber daya alam yang berada di sekitar bangunan. Pemanfaatan energi tersebut yaitu berupa adanya turbin angin diantara kedua *tower*. Tampak gedung *Wind Palace Tower* serta penempatan turbin angin pada bangunan ini terlampir pada gambar 1.1., 1.2., 1.3., dan 1.4.

Dengan fokus utama konsep *eco building*, turbin angin yang terpasang pada jembatan penghubung *core wall Wind Palace Tower* sangat membantu dalam penghematan pemakaian energi listrik yang dibutuhkan oleh bangunan apartemen. Pemaksimalan kecepatan angin menjadi fokus utama dari desain bangunan *Wind Palace Tower*. Bagan aliran angin yang terjadi pada *Wind Palace Tower* dapat dilihat pada gambar 1.5.

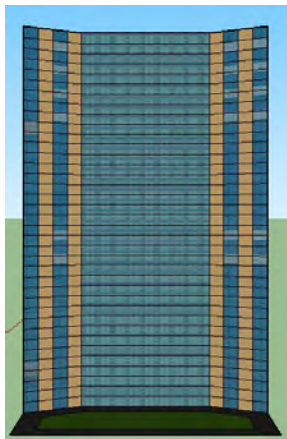
Turbin Angin yang akan dipasang pada *Wind Palace Tower* merupakan jenis Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH). Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) mampu menghasilkan daya yang besar yang diharapkan mampu melakukan penghematan energi listrik bangunan tersebut.

*Wind Palace Tower* direncanakan menggunakan sistem struktur beton bertulang. Dengan adanya penambahan beban berupa turbin angin yang terletak pada jembatan penghubung bangunan, dan desain dari *Wind Palace Tower* yang memaksimalkan kecepatan aliran angin juga berpengaruh terhadap besarnya beban angin yang diterima oleh jembatan penghubung ini. Dengan jumlah berat beban yang diterima oleh jembatan sangat besar, struktur beton pratekan merupakan pilihan yang tepat dalam sistem struktur jembatan penghubung ini. Oleh karena itu, *Wind Palace Tower* memerlukan perhitungan yang lebih detail dalam perhitungan struktur utama.

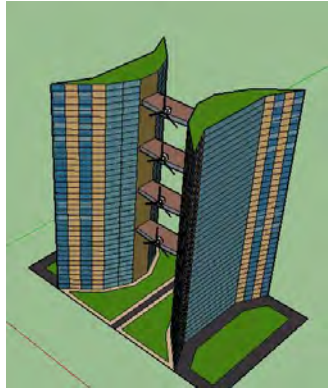




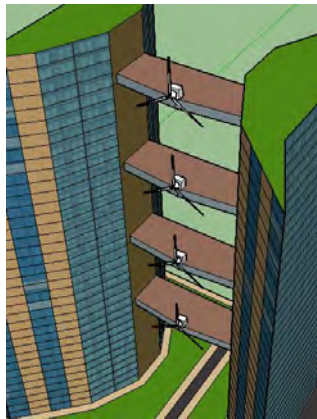
Gambar 1. 1 Tampak Depan Gedung



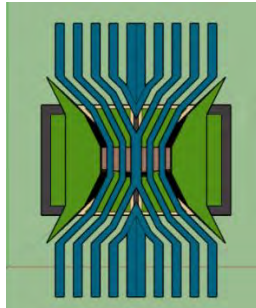
Gambar 1. 2 Tampak Samping Gedung



Gambar 1. 3 Tampak Perspektif Gedung



Gambar 1. 4 Penempatan Turbin Angin



Gambar 1. 5 Pengarahan Aliran Angin

## 1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana menentukan Preliminary Design, struktur primer dan sekunder pada struktur gedung *Wind Palace Tower*?
2. Bagaimana perhitungan pembebanan pada struktur gedung *Wind Palace Tower*?
3. Bagaimana model dan analisa struktur desain jembatan penghubung core bangunan pada gedung *Wind Twin Tower*?
4. Bagaimana model dan analisa struktur gedung *Wind Twind Tower* dengan menggunakan program bantu SAP 2000?
5. Bagaimana merencanakan pondasi yang sesuai dengan besar beban yang dipikul dan kondisi tanah dilapangan?
6. Bagaimana menuangkan hasil perencanaan dan perhitungan struktur gedung *Wind Twin Tower* ke dalam gambar teknik?

## 1.3. Batasan Masalah

1. Perencanaan tidak meninjau perhitungan struktur bangunan bawah, manajemen kontruksi, dan analisis biaya.

2. Meninjau metode pelaksanaan yang hanya berkaitan dengan perhitungan struktur.
3. Analisa Struktur dengan menggunakan program bantuan SAP 2000.

#### **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari Tugas Akhir ini sebagai upaya diversifikasi dan pengadaan energi listrik yang semakin langka. Konsep bangunan ini mampu menambah pasokan energi listrik suatu bangunan, sehingga dapat mengurangi tingkat pemakain energi listrik yang berasal dari Sumber Daya Alam (SDA) yang tidak dapat diperbaharui dan juga terciptanya suatu suasana tempat tinggal yang nyaman dalam suatu gedung bertingkat. Desain konsep bertipe *High Rise Building* ini juga bermanfaat dalam upaya penghematan lahan.

#### **1.5. Tujuan Penelitian**

1. Menentukan Preliminary Design, struktur primer dan sekunder pada struktur gedung *Wind Palace Tower*.
2. Menghitung pembebanan pada struktur gedung *Wind Palace Tower*.
3. Memodelkan dan menganalisa struktur jembatan penghubung *core* bangunan pada gedung *Wind Palace Tower*.
4. Memodelkan dan menganalisa struktur gedung *Wind Palace Tower* dengan menggunakan program bantu SAP 2000.
5. Merencanakan pondasi yang sesuai dengan besar beban yang dipikul dan kondisi tanah dilapangan
6. Menuangkan hasil perencanaan dan perhitungan gedung *Wind Palace Tower* ke dalam gambar teknik.

## **BAB II**

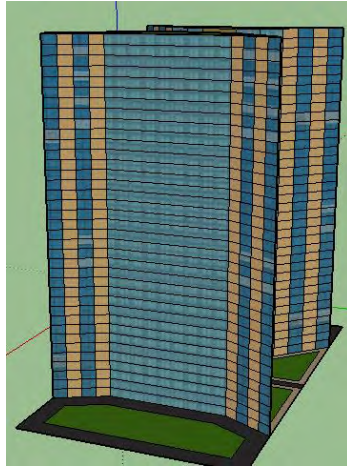
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Umum**

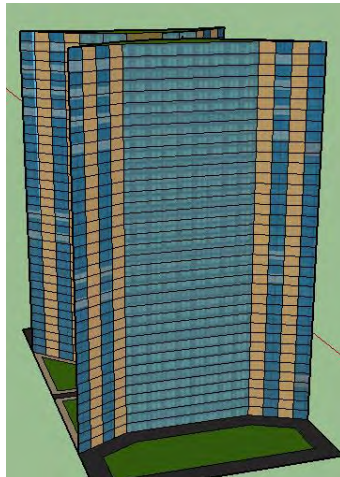
Dalam bab tinjauan pustaka ini penulis akan membahas beberapa dasar teori yang berkaitan dengan perencanaan bangunan *Wind Palace Tower*. Struktur suatu bangunan dipengaruhi oleh beban mati (*dead load*) berupa berat sendiri, beban hidup (*live load*) berupa beban akibat penggunaan ruangan, beban angin (W) yang lebih besar yang diterima oleh jembatan penghubung, dan beban khusus yang terjadi pada bangunan jembatan penghubung yang berupa beban turbin.

#### **2.2. Struktur Bangunan**

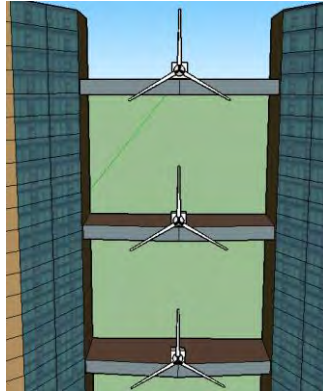
Gedung menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah bangunan tembok dan sebagainya yang berukuran besar sebagai tempat kegiatan, seperti perkantoran, pertemuan, perniagaan, pertunjukan, olahraga, dan sebagainya. Pada perencanaan *Wind Palace Tower* struktur gedung dibagi menjadi tiga bagian, Tower A, Tower B, dan jembatan Penghubung yang memikul beban turbin angin. Pembagian struktur gedung dilampirkan dalam gambar 2.1., 2.2., dan 2.3. struktur Tower A dan Tower B direncanakan menggunakan beton bertulang biasa, sementara struktur jembatan direncanakan menggunakan beton pratekan.



Gambar 2. 1 Tower A



Gambar 2. 2 Tower B



Gambar 2. 3 Jembatan Penghubung

### 2.3. Beton Pratekan

Beton Pratekan adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan benar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu. (*Abeles P.W., et al,* )

Dengan diberikannya gaya pratekan terlebih dahulu, diharapkan beton pratekan akan menimbulkan tegangan-tegangan awal yang berlawanan dengan tegangan-tegangan yang ditimbulkan oleh beban-beban kerja. Dengan demikian konstruksi dapat memikul beban yang lebih besar tanpa merubah mutu betonnya.

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013, tendon pada beton pratekan tidak boleh sama sekali memikul beban gempa, bahkan tidak dianjurkan digunakan pada zona gempa tinggi. Tetapi jika ada gempa maka beban tersebut harus dipikul oleh tulangan lunak.

Pada Tugas Akhir perencanaan bangunan ini, struktur pratekan diapit oleh dua buah *core wall* dari masing-masing tower yang diharapkan mampu mengurangi beban gempa yang akan diterima oleh struktur pratekan.

#### **2.4. Beton Bertulang**

Beton merupakan bahan utama yang seringkali dipakai dalam pembuatan struktur bangunan. Beton sendiri merupakan suatu campuran yang terdiri dari semen, air, pasir, kerikil, dan terkadang ditambahkan pula campuran bahan lain untuk memperbaiki kualitas beton.

Sifat utama dari beton merupakan kuat terhadap tekan dan lemah terhadap tarik, sehingga pada perhitungan suatu struktur, kuat tarik dari beton diabaikan. Sifat utama dari baja merupakan kuat terhadap tekan dan tarik, tetapi dikarenakan harga yang relatif mahal, maka sebisa mungkin penggunaan baja terhadap kuat tekan dihindari.

Beton bertulang merupakan perpaduan antara beton dan tulangan baja menjadi satu kesatuan secara komposit, dimana beban tarik diterima oleh tulangan baja, sementara beban tekan diterima oleh beton.

Pada umumnya beton bertulang memiliki dua jenis tulangan yaitu tulangan longitudinal dan tulangan geser. Tulangan longitudinal (tulangan memanjang) merupakan tulangan yang dipasang pada serat-serat beton yang mengalami gaya tarik, dan dipasang searah sumbu batang. Fungsi utama dari tulangan longitudinal ini adalah untuk menahan momen lentur yang terjadi pada beton, sehingga sering mengakibatkan terjadinya retakan beton akibat tegangan lentur yang umumnya terjadi di daerah lapangan atau diatas tumpuan.

Tulangan geser merupakan tulangan-miring/tulangan-senggang atau berupa sengkang/begel yang berfungsi sebagai penahan gaya geser. Secara teori jarak pemasangan tulangan geser dibedakan sesuai besarnya gaya geser yang diterima oleh beton. Pada daerah dengan gaya geser besar dipasang begel dengan jarak yang kecil/rapat, sementara pada daerah dengan gaya geser kecil dipasang begel dengan jarak yang besar/renggang. Perhitungan dan perencanaan pemasangan tulangan disesuaikan dengan tata cara peraturan SNI-2847-2013.



## 2.5. Pembebanan

Berikut merupakan beberapa acuan standar dalam perencanaan pembebanan pada Tugas Akhir ini:

1. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013).
2. Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012).
3. Perencanaan Pembebanan Indonesia Untuk Rumah dan Gedung (PPIUG 1983).

### 2.5.1. Macam Pembebanan

Berdasarkan peraturan-peraturan diatas, struktur sebuah gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap beban-beban berikut:

1. Beban Mati (*Dead Load*), dinyatakan dengan lambang D.
2. Beban Hidup (*Live Load*), dinyatakan dengan lambang L.
3. Beban Gempa (*Earthquake Load*), dinyatakan dengan lambang E.
4. Beban Angin (*Wind Load*), dinyatakan dengan lambang W.

### 2.5.2. Deskripsi Pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada perencanaan struktur bangunan ini adalah:

1. Beban Mati (D)  
Beban mati adalah berat mati yang ditumpu oleh komponen struktur, sebagaimana didefinisikan oleh tata cara bangunan gedung umum dimana standar ini merupakan bagiannya. (SNI 2847-2013). Beban dari berat sendiri elemen-elemen tersebut sesuai dengan yang sudah diatur dalam PPIUG-1983.
2. Beban Hidup (L)  
Beban hidup yang diperhitungkan dalam Tugas Akhir ini adalah beban hidup selama masa layan, karena

diperkirakan beban hidup masa layan lebih besar dari beban hidup pada masa konstruksi. Beban hidup yang direncanakan sesuai dengan PPIUG-1983.

3. Beban Gempa (E)

Beban gempa adalah beban yang timbul akibat percepatan getaran tanah pada saat gempa terjadi. Wilayah Indonesia dibagi menjadi beberapa zona gempa dan beberapa kelas situs tanah yang disesuaikan dengan pasal 5 SNI 1726-2012, dimana akan didapatkan nilai  $S_s$ ,  $F_a$ ,  $S_i$ , dan  $F_v$ .

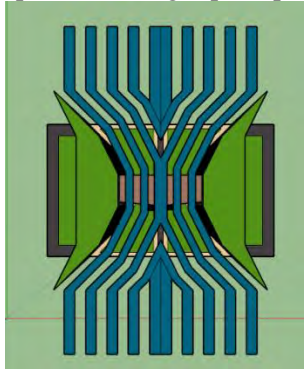
Dari hasil perhitungan zona gempa dan kelas situs tanah akan didapatkan kategori desain seismik yang disesuaikan dengan jenis Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) yang diatur pada SNI 1726-2012, dimana akan didapatkan nilai periode (T). Setelah didapatkan T, maka dapat diacri nilai koefisien respon seismik ( $C_s$ ), yang diperlukan dalam menghitung nilai gaya geser dasar seismik (V).

Perhitungan gaya dasar seismik didistribusikan ke setiap lantai disesuaikan dengan beban yg dipikul dari tiap-tiap lantai. Dari hasil gaya dasar seismik tiap lantai tersebut akan didapatkan pembebanan gempa total yang akan diterima oleh perencanaan struktur bangunan *Wind Palace Tower*.

4. Beban Angin (W)

Beban Angin merupakan beban yang diterima oleh struktur akibat pergerakan angin yang menumbuk kondisi fisik bangunan tersebut. Dalam desain gedung *Wind Palace Tower* yang memaksimalkan kecepatan angin (dilampirkan pada gambar 2.4.), kecepatan angin pada jembatan penghubung yang terjadi menjadi lebih besar dari kecepatan rata-rata yang sudah diatur oleh SNI 2847-2013. Diambil dari web pemerintah surabaya ([www.surabaya.go.id](http://www.surabaya.go.id)), kecepatan angin rata-rata di surabaya mencapai

3,29m/s, dengan kecepatan angin maksimal 10,44 m/s, dan tekanan udara rata-rata minimum 1942,3 Mbs dan maksimum 1012,5 Mbs. Profil geografi yang mencakup kecepatan dan tekanan udara kota Surabaya dilampirkan pada gambar 2.5. Perhitungan pembebanan beban angin mengacu pada SNI 1727-2013, dan disesuaikan dengan peraturan ASCE 7-05 untuk input beban angin pada program SAP2000.



Gambar 2. 4 Penampang Aliran Angin

## Geografi

Surabaya adalah ibu kota Propinsi Jawa Timur yang dikenal sebagai Kota Pahlawan

|                        |  |
|------------------------|--|
| Letak                  | : 07 derajat 9 menit - 07 derajat 21 menit LS (Lintang Selatan) dan 112 derajat 36 menit - 112 derajat 54 menit BT (Bujur Timur)   |
| Ketinggian             | : 3 - 6 meter di atas permukaan air laut (dataran rendah), kecuali di bagian selatan terdapat dua bukit landai di daerah Lidah & Gayungan dengan ketinggian 25-50 meter di atas permukaan air laut |
| Batas Wilayah          | : Sebelah Utara : Selat Madura<br>Sebelah Timur : Selat Madura<br>Sebelah Selatan : Kabupaten Sidoarjo<br>Sebelah Barat : Kabupaten Gresik   |
| Luas Wilayah           | : 33.306,30 Ha   |
| Jumlah Kecamatan       | : 31   |
| Jumlah Desa /Kelurahan | : 160  |
| Kelembapan Udara       | : rata-rata minimum 50% dan maksimum 92%   |
| Tekanan Udara          | : rata-rata minimum 1012,3 Mbs dan maksimum 1012,5 Mbs   |
| Temperatur             | : rata-rata minimum 23,6 °C dan maksimum 33,8 °C   |
| Musim Kemarau          | : Mei – Oktober  |
| Musim hujan            | : Nopember – April   |
| Curah Hujan            | : rata-rata 165,3 mm, curah hujan diatas 200 mm terjadi pada bulan Januari s/d Maret dan Nopember s/d Desember   |
| Kecepatan Angin        | : rata-rata 6,4 Knot dan maksimum 20,3 Knot  |

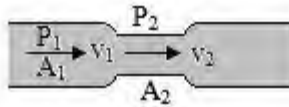
Gambar 2. 5 Kondisi Geografi Kota Surabaya

Nilai kecepatan angin pada jembatan penghubung dapat dihitung dengan prinsip efek venturi yang merupakan penurunan hukum bernoulli. Dari hukum kontinuitas yang merupakan penerapan dari efek venturi didapatkan nilai kecepatan angin pada kedua aliran penampang yang berbeda. Gambar ilustrasi efek venturi terlampir pada gambar 2.6, sementara rumus Hukum kontinuitas, merupakan perbandingan debit aliran masuk dengan debit aliran keluar pada penampang yang memiliki luasan berbeda, dimana:

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

Sehingga bisa didapatkan kecepatan angin pada luas penampang yang lebih kecil,  $V_2 = A_1 \cdot V_1 / A_2$ . Penerapan hukum kontinuitas pada *Wind Twin Tower* terlampir pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Ilustrasi Efek Venturi

5. **Beban Khusus**

Beban khusus yang diterima oleh bangunan ini berupa beban akibat Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH). Beban ini dimasukkan kedalam kategori beban hidup (L) dalam kombinasi pembebanan. Berdasarkan brosur Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) Aeolos Wind Turbine, satu turbin angin memiliki beban total seberat 6800 kg dengan diameter putaran kincir dan tinggi total kincir sebesar 22,3 m d. Spesifikasi, diameter pisau kincir, dan bentuk nyata dari Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) ini tertera pada gambar 2.7., gambar 2.8., dan gambar 2.9.

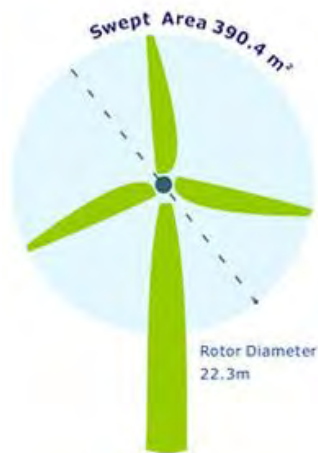
## Aeolos-H 60kW Specification

|                      |   |
|----------------------|---|
| Rated Power          | 60 kw   |
| Maximum Output Power | 65 kw   |
| Generator            | Direct-Drive Permanent Magnet Generator           |
| Blade Quantity       | 3 Glass Fiber Blades                              |
| Rotor Blade Diameter | 22.3 m (73.2 ft)                                  |
| Start-up Wind Speed  | 3.0 m/s (6.7 mph)                                 |
| Rated Wind Speed     | 9.0 m/s (20.1 mph)                                |
| Survival Wind Speed  | 59.5 m/s (133.1 mph)                              |
| Controller           | PLC With Touch Screen                             |
| Safety System        | Pitch Control, Electrical Brake & Hydraulic Brake |
| Turbine Weight       | 6800 kg (14991.4 lbs)                             |
| Noise                | 58.5 db(A) @ 7m/s                                 |
| Temperature Range    | -20°C to +50°C                                    |
| Design Lifetime      | 20 Years  |

Gambar 2. 7 Spesifikasi Turbin



Gambar 2. 8 Tampak Turbin Angin



Gambar 2. 9 Diameter Putaran Kincir

Kapasitas daya yang dihasilkan oleh turbin angin ini sendiri berdasarkan brosur *Aeolos Wind Turbine*, dipengaruhi oleh besarnya nilai kecepatan angin yang berada di daerah sekitar turbin. Grafik daya yang dihasilkan oleh Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) ini dilampirkan pada gambar 2.10.



| Wind Speed (M/s) | Annual Energy Yield(kWh) |
|------------------|--------------------------|
| 3.0              | 34028                    |
| 3.5              | 57353                    |
| 4.0              | 85813                    |
| 4.5              | 117166                   |
| 5.0              | 149115                   |
| 5.5              | 179661                   |
| 6.0              | 209153                   |
| 6.5              | 236404                   |
| 7.0              | 262524                   |
| 7.5              | 285030                   |
| 8.0              | 305212                   |
| 8.5              | 324308                   |
| 9.0              | 340494                   |

Gambar 2. 10 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Turbin



### 2.5.3. Kombinasi Pembebanan

Standar kombinasi pembebanan pada perencanaan struktur gedung bangunan ini disesuaikan dengan peraturan SNI 2847-2013 pasal 9.2.1, dengan standar kombinasi pembebanan sebagai berikut:

- 1,4 D
- $1,2 D + 1,6 L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
- $1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
- $1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$
- $0,9 D + 1,0 W$
- $0,9 D + 1,0 E$

Keterangan:

- D = beban mati.  
 L = beban hidup.  
 W = beban angin.  
 E = beban gempa.  
 Lr = beban hidup atap.  
 R = beban hujan.

### 2.6. Preliminary Design

*Preliminary Design* dilakukan dengan tujuan untuk menentukan dimensi awal dari struktur utama (balok, dan kolom), dan struktur sekunder (balok anak, pelat, dan tangga). Pada perencanaan Tugas Akhir ini *preliminary design* dihitung sesuai peraturan SNI 2847-2013.

### 2.7. Struktur Sekunder

Perencanaan struktur sekunder terpisah dari perencanaan struktur utama dikarenakan struktur sekunder berfungsi hanya untuk meneruskan beban yang ada ke struktur utama. Pada Tugas Akhir ini perencanaan struktur sekunder mangacu pada peraturan SNI 2847-2013. Perencanaan struktur sekunder antara lain meliputi:

1. Perencanaan Pelat.
2. Perencanaan Balok Lift.

3. Perencanaan Tangga.
4. Perencanaan Balok Anak.

## 2.8. Struktur Utama

Setelah mendapatkan analisa gaya dalam dengan menggunakan program SAP 2000, dilakukan kontrol desain penulangan struktur utama sesuai dengan aturan SNI 2847-2013. Perencanaan struktur utama antara lain:

1. Balok Induk  
Perhitungan penulangan balok induk dilaksanakan setelah mendapatkan analisa gaya dalam yang terjadi dengan menggunakan program SAP 2000, dan mengacu pada peraturan SNI 2847-2013.
2. Kolom  
Perhitungan penulangan kolom dilaksanakan setelah mendapatkan analisa gaya dalam yang terjadi dengan menggunakan program SAP 2000 dengan mengacu pada peraturan SNI 2847-2013 dan program bantu PCACOL.
3. Jembatan Penghubung / *Skybridge*  
Perhitungan jembatan penghubung menggunakan beton pratekan dilaksanakan dengan mengacu pada peraturan SNI 2847-2013, dan ACI 2008.

## 2.9. Dinding Geser

Dinding geser (*shearwall*) adalah unsur pengaku vertikal yang dirancang untuk menahan gaya lateral atau gempa yang bekerja pada struktur bangunan. Dalam bangunan dengan menggunakan *shearwall*, gaya-gaya horizontal (lateral) akibat angin atau gempa semata ditahan oleh dinding geser. Selain menahan gaya horizontal. Kolom-kolom dianggap tidak ikut mendukung gaya horizontal sehingga hanya didesign untuk menahan gaya normal (gaya vertikal).

Secara struktural dinding geser dapat dianggap sebagai balok kantilever vertikal yang terjepit bagian bawahnya pada pondasi atau basemen. Dinding geser berperilaku sebagai balok lentur kantilever, oleh karena itu dinding geser atau *shearwall* selain menahan gaya geser (*shear force*) juga menahan lentur.

Dinding geser yang digunakan dalam perencanaan Tugas Akhir ini adalah dinding struktural beton bertulang khusus, dimana harus mengikuti ketentuan pada SNI 2847 pasal 21.

Perhitungan dinding geser (*shearwall*) dimulai dengan pengumpulan data *shearwall* yang meliputi  $F_c, F_y$ , diameter tulangan, dimensi kolom, dan gaya beban yang terjadi pada *shearwall* berupa  $P, M_x$ , dan  $M_y$  yang didapat dari run pemodelan struktur, lalu kontrol dimensi kolom yang mengacu pada SNI 2847, perhitungan tulangan *shearwall* dengan menggunakan program bantu PCACOL, kontrol rasio tulangan longitudinal, kontrol kapasitas beban aksial *shearwall* lantai dasar terhadap beban aksial terfaktor, kontrol momen kapasitas terhadap momen ultimate yang mengacu pada SNI 2847.

## **2.10. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus**

Sistem rangka pemikul momen merupakan sistem rangka ruang dalam mana komponen-komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. (SNI 2847)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan sebuah sistem rangka pemikul momen dimana sendi plastis terbentuk pada seluruh balok pemikul gempa sebelum terjadi keruntuhan, yang persyaratannya diatur dalam SNI 2847. Oleh karena itu, Struktur Rangka Pemikul Momen khusus (SRPMK) dikenal dengan sistem *strong column weak beam*, dimana dalam hal ini kombinasi pembebanan yang dihitung hanya kombinasi yang terdapat beban gempa (E) di dalamnya untuk memeriksa syarat *strong column weak beam* ini. Dalam Struktur Rangka Pemikul Momen khusus (SRPMK) detailing balok, kolom, serta hubungan balok-kolom sangat penting, dalam perhitungan

penulangan balok tulangan geser sendi plastis terjadi di 2h dari muka kolom.

### **2.11. Sistem Ganda**

Dalam sistem struktur sistem ganda (*dual system*) rangka ruang lengkap berupa sistem rangka pemikul momen (SRPM) yang berfungsi memikul beban gravitasi, serta pemikul beban lateral dilakukan oleh dinding geser (*Shearwall*) dan sistem rangka pemikul momen (SRPM) dimana yang tersebut terakhir ini harus secara tersendiri sanggup memikul sedikitnya 25 % dari beban dasar geser nominal (V).

Gedung yang direncanakan dalam rangka menyelesaikan Tugas Akhir ini menggunakan Sistem Ganda (*dual system*). Dengan menggunakan sistem ganda ini semua beban lateral (gempa dan angin) diteruskan oleh elemen-elemen pelat lantai dengan pembagian gaya minimal 75% dipikul oleh dinding geser dan sisanya dipikul oleh Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) juga dirancang untuk memikul beban-beban vertikal (beban gravitasi).

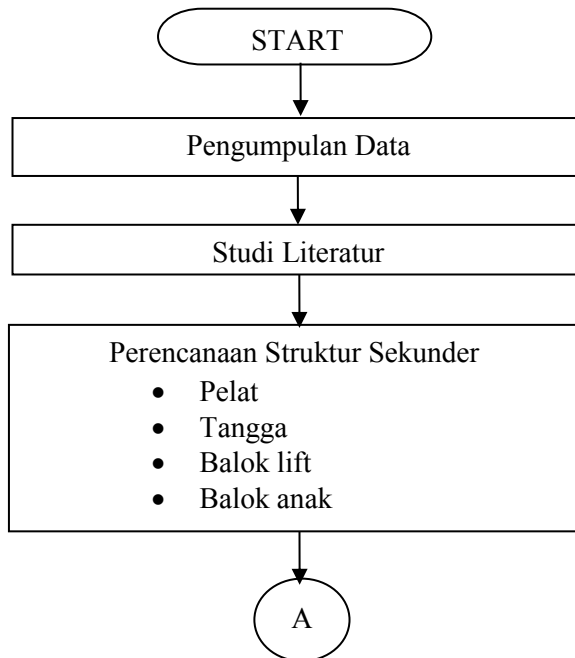
## BAB III METODOLOGI

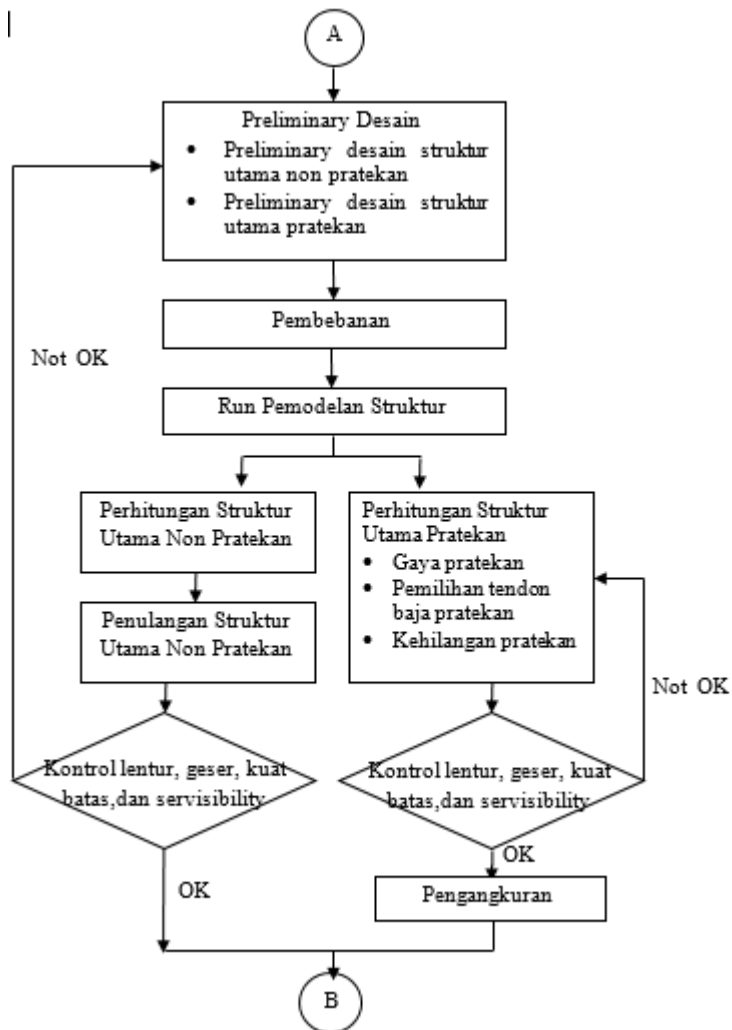
### 3.1. Umum

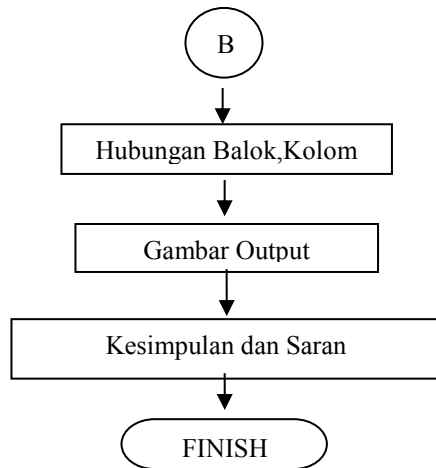
Dalam mengerjakan Tugas Akhir, perlu disusun langkah-langkah pengerjaan sesuai dengan uraian kegiatan yang akan dilakukan terlebih dahulu. Urutan pelaksanaan dalam mengerjakan Tugas Akhir dimulai dari pengumpulan data, pedoman perancangan, dan sampai tujuan akhir dari analisa struktur yang akan disajikan.

### 3.2. Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir

Berikut merupakan bagan alir dari lingkup pekerjaan yang akan dilaksanakan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini:







Gambar 3. 1 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir

### 3.3. Pengumpulan Data

Data bangunan yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir yaitu:

- Tipe Bangunan : Gedung Apartement
- Lokasi : Surabaya
- Ketinggian lantai : 4 m
- Tinggi Total Bangunan : 136 m
- Mutu Baja ( $f'y$ ) : 420 Mpa
- Data tanah telah diberikan

### 3.4. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan dengan menggunakan beberapa buku pustaka, peraturan mengenai perancangan beton bertulang, dan struktur gedung secara umum yang menjadi pedoman dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. SNI 2847-2013 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.
2. SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
3. Perancangan Pembebanan Indonesia Untuk Rumah dan Gedung (PPIUG) 1983.
4. ACI 208 (American Concrete Institute) khusus untuk pendetailan balok pratekan.
5. Perancangan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa (Rahmat Purnowo, 2003).
6. Balok dan Pelat Beton Bertulang (Ali Asroni, 2010).
7. Beton Bertulang Edisi Revisi (J.Thambah Sembiring Gurki, 2010).

### **3.5. Perencanaan Struktur Sekunder**

Perencanaan struktur sekunder terpisah dari perencanaan struktur utama dikarenakan struktur sekunder berfungsi hanya untuk meneruskan beban yang ada ke struktur utama. Perencanaan struktur sekunder antara lain meliputi:

1. Perencanaan Pelat.
  - Perencanaan Dimensi Pelat  
Dimensi pelat harus memenuhi syarat lendutan, dan ketebalan minimum dari pelat yang berpedoman pada persyaratan SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3 dan pasal 9.5.3.
  - Perencanaan Penulangan Pelat
2. Perencanaan Tangga.
3. Perencanaan balok Lift.
4. Perencanaan Balok Anak.
  - Perencanaan Dimensi balok Anak  
Perencanaan balok anak berpedoman pada peraturan SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.2.
  - Penulangan Balok Anak.



### 3.6. Preliminary Design

Preliminary Design bertujuan untuk memperkirakan dimensi awal dari struktur sesuai dengan ketentuan SNI 2847-2013.

### 3.7. Pembebanan

Penggunaan beban yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini mengikuti peraturan PPIUG 1983 dan kombinasi pembebanan mengikuti peraturan SNI 2847-2013, diantaranya:

1. Beban Mati  
Beban mati terdiri dari berat struktur sendiri, dinding, pelat, serta berat finishing arsitektur (PPIUG 1983).
2. Beban Hidup  
Beban hidup untuk lantai apartemen/hotel adalah 250 kg/m<sup>2</sup>, dan 100 kg/m<sup>2</sup> untuk beban pekerja (atap).
3. Beban Gempa  
Beban gempa yang digunakan sesuai SNI 03-176-2012, dimana wilayah gempa terbagi sesuai percepatan respon spektrumnya. Beban geser dasar nominal statik ekuvalen  $V$  yang terjadi dari tingkat dasar dihitung sesuai SNI 1726-2012 pasal 7.8. Beban geser  $V$  ini harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung ke masing-masing lantai sesuai SNI 1726-2012 pasal 7.8.3.

Beban-beban yang dibebankan kepada struktur tersebut dibebankan kepada kompone struktur menggunakan kombinasi beban berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.2.1.

### 3.8. Run Pemodelan Struktur

Analisa struktur utama pada Tugas Akhir ini menggunakan *software* SAP 2000, dengan tujuan untuk mendapatkan reaksi dan gaya dalam yang bekerja pada rangka utama.

### **3.9. Analisa Struktur Utama Non Pratekan**

Setelah mendapatkan analisa gaya dalam dengan menggunakan Sap 2000, dan PCACOL, dilakukan kontrol desain penulangan struktur utama sesuai dengan aturan SNI 2847-2013. Kontrol desain yang dilakukan berupa pengecekan terhadap kontrol geser, kontrol lentur, momen nominal, beban layan, dan beban *ultimate*. Jika desain memenuhi, maka dilanjutkan ke *output* gambar, jika tidak maka harus mendesain ulang dimensi struktur bangunan.

### **3.10. Analisa Struktur Utama Pratekan**

Langkah-langkah perencanaan yang digunakan ialah sebagai berikut:

#### **3.10.1. Gaya Pratekan**

Gaya pratekan dipengaruhi oleh momen total yang terjadi. Gaya pratekan yang disalurkan harus memenuhi kontrol batas pada saat kritis

#### **3.10.2. Pemilihan Tendon Baja Pratekan**

Pemilihan tendon baja pratekan sangat dipengaruhi oleh gaya pratekan yang ada. Pemilihan tendon harus disesuaikan dengan tegangan ijin yang berlaku pada SNI 2847-2013 pasal 18.5.

Setelah memilih tendon baja pratekan, maka dilanjutkan dengan menentukan tata letak kabel sesuai dengan batas yang telah ditetapkan pada peraturan SNI 2847-2013

#### **3.10.3. Kehilangan Pratekan**

Kehilangan pratekan adalah berkurangnya gaya pratekan dalam tendon pada saat tertentu dibanding pada saat stressing. Kehilangan pratekan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yaitu kehilangan langsung sesaat setelah pemberian gaya pratekan pada komponen balok pratekan, dan Kehilangan yang tergantung oleh waktu dan terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang relatif lama.

#### **3.10.4. Kontrol Kuat Batas Beton Pratekan**

Kuat batas balok pratekan yang diakibatkan oleh beban luar berfaktor harus memiliki nilai-nilai sesuai SNI 2847 2013 pasal 18.13.

#### **3.10.5. Kontrol Kuat Lentur**

Kontrol terhadap tegangan yang terjadi di balok dilakukan pada tahap yang kritis, baik pada saat jacking atau tahap beban layan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah dimensi dari balok mampu untuk memikul tegangan yang diberikan, dimana tegangan ijin yang diberikan berdasarkan (SNI 2847-2013 Ps.18.4.1).

#### **3.10.6. Kontrol Geser**

Kontrol geser dan perhitungan tulangan geser harus sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.3, dimana dapat digunakan dua perumusan yaitu perumusan secara umum dan perumusan secara rinci.

#### **3.10.7. Kontrol Lentutan**

Lentutan merupakan tanda akan terjadinya kegagalan struktur, sehingga kita perlu untuk menghitung lentutan struktur agar tidak melebihi batas-batas yang telah ditetapkan. Lentutan dihitung menurut pembebanan, dimana berat sendiri dan beban eksternal mempengaruhi.

Kontrol lentutan yang harus dilakukan yaitu lentutan akibat tekanan tendon, akibat eksentrisitas tepi balok, dan akibat beban sendiri.

#### **3.10.8. Pengangkuran**

Kegagalan balok pratekan pasca tarik bisa disebabkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Kegagalan ini diperhitungkan pada kondisi ekstrim saat transfer, yaitu saat gaya pratekan maksimum dan kekuatan beton minimum. Kuat tekan nominal beton pada daerah pengangkuran global disyaratkan oleh SNI 2847-2013 pasal 18.13.4. Bila diperlukan, pada daerah pengangkuran dapat dipasang tulangan untuk memikul gaya

pencar, belah dan pecah yang timbul akibat pengankuran tendon sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.13.1.

### **3.11. Output Gambar**

Hasil analisa baik dari struktur sekunder maupun struktur utama dituangkan dalam gambar teknik yang mampu menjelaskan secara nyata hasil perhitungan dengan menggunakan software bantu sipil AutoCAD sesuai standar yang ada.

## **BAB IV**

### **PRELIMINARY DESIGN**

#### **4.1. Umum**

*Preliminary design* adalah proses perhitungan perencanaan awal yang akan dijadikan pedoman untuk merencanakan dimensi struktur gedung. Perhitungan *preliminary design* dilaksanakan menurut peraturan yang ada. *Preliminary design* yang dilakukan perhitungan terhadap komponen struktur antara lain balok induk, balok anak, balok pratekan, pelat, dan kolom. Penentuan data perencanaan dan beban yang akan diterima oleh struktur gedung perlu dilakukan sebelum melakukan perhitungan *preliminary design*.

#### **4.2. Data Perencanaan**

Data bangunan yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yaitu:

- Tipe Bangunan : Gedung Apartement
- Lokasi : Surabaya
- Ketinggian lantai : 4m
- Tinggi Total Bangunan : 136 m
- Mutu Beton Balok ( $f'c$ ) : 35 Mpa
- Mutu Beton Pelat ( $f'c$ ) : 35 Mpa
- Mutu Beton Kolom ( $f'c$ ) : 45 Mpa
- Mutu Baja ( $f'y$ ) : 420 Mpa
- Data tanah telah diberikan

##### **4.2.1. Pembebanan**

###### **1. Beban Gravitasi**

- Beban Mati (PPIUG 1983)
  - Berat sendiri beton bertulang : 2400 kg/m<sup>3</sup>
  - Adukan finishing : 2100 kg/m<sup>3</sup>
  - Dinding setengah bata : 250 kg/m<sup>2</sup>

- Aspal (1cm) : 1 x 14 : 14 kg/m<sup>2</sup>
  - Tegel (2cm) : 2 x 24 : 48 kg/m<sup>2</sup>
  - Spesi (2cm) : 2 x 21 : 42 kg/m<sup>2</sup>
  - Plafond : 11 kg/m<sup>2</sup>
  - Penggantung : 7 kg/m<sup>2</sup>
  - Plumbing +ducting : 25 kg/m<sup>2</sup>
- Beban Hidup
    - Lantai atap : 100 kg/m<sup>2</sup>
    - Hujan : 20 kg/m<sup>2</sup>
    - Lantai : 250 kg/m<sup>2</sup>
    - Pelat tangga : 300 kg/m<sup>2</sup>
2. Beban Angin
- Dekat dari pantai : 40 kg/m<sup>3</sup>
3. Beban Gempa
- Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 03-1726-2012.

### 4.3. Perencanaan Balok

Penentuan tinggi balok min ( $h_{\min}$ ) dilaksanakan berdasarkan SNI 2847-2013 Tabel 9.5(a), dimana bila persyaratan ini telah dipenuhi maka tidak perlu dilakukan lagi kontrol terhadap lendutan. Dimana pada perhitungan balok induk dilakukan berdasarkan rumus:

$$h_{\min} = \frac{1}{16} L \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right); b = 2/3 h$$

Perhitungan balok anak dilakukan berdasarkan rumus:

$$h_{\min} = \frac{1}{21} L \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right); b = 2/3 h$$

Contoh perhitungan :

- Balok induk (BI 5-6)  
L = 6000 mm

$$h_{\min} = \frac{1}{16} L \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$$

$$h_{\min} = \frac{1}{16} 6000 \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 364,28 \text{ mm} \approx 370$$

mm

$$b = 2/3 h = 2/3 * 370 = 246,67 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

- Balok anak (BA 5)

$$L = 6000 \text{ mm}$$

$$h_{\min} = \frac{1}{21} L \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$$

$$h_{\min} = \frac{1}{21} 6000 \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) = 277,55 \text{ mm} \approx 280 \text{ mm}$$

$$b = 2/3 h = 2/3 * 280 = 186,67 \text{ mm} \approx 190 \text{ mm}$$

#### 4.4. Perencanaan Tebal Pelat

Dalam perhitungan perencanaan pelat, pelat dibagi menjadi dua jenis yaitu :

1. Pelat satu arah, yaitu pelat yang rasio panjang ( $L_y$ ) dan lebarnya ( $L_x$ ) lebih dari atau sama dengan 2. Pada pelat satu arah, pembebanan yang diterima akan diteruskan pada balok-balok (pemikul bagian yang lebih panjang) dan hanya sebagian kecil saja yang akan diteruskan pada gelagar pemikul bagian yang lebih pendek.
2. Pelat dua arah, yaitu pelat yang rasio panjang ( $L_y$ ) dan lebarnya ( $L_x$ ) kurang dari 2, sehingga besar pembebanan yang diterima diteruskan pada keseluruhan pemikul di sekeliling panel pelat tersebut.

Pemodelan struktur yang digunakan adalah sistem rangka pemikul momen, dimana pelat difokuskan hanya menerima beban

gravitasi. Tumpuan pada sisi pelat diasumsikan sebagai perletakan jepit elastis.

Dalam perhitungan perencanaan preliminary design tugas akhir ini, pelat direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Mutu beton : 35 Mpa
- Mutu tulangan : 420 Mpa
- Rencana tebal pelat : 17 cm

#### 4.4.1. Perencanaan Tipe Pelat

Terdapat delapan jenis pelat dalam perencanaan Tugas Akhir ini, dimana terdapat pelat yang berbentuk segitiga, jajar genjang, trapesium, dan segi empat. Perhitungan pelat yang tidak berbentuk segi empat dihitung dengan diasumsikan menjadi bentuk segi empat.

Perhitungan penentuan jenis pelat terlampir dalam tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Penentuan Jenis Pelat

| No | Type Pelat | Ly    | Lx   | Ly / Lx   | Keterangan   |
|----|------------|-------|------|-----------|--------------|
|    |            | (m)   | (m)  |           |              |
| 1  | I          | 5.58  | 5.53 | 1.0090416 | Pelat 2 Arah |
| 2  | II         | 5.59  | 2.71 | 2.0627306 | Pelat 1 Arah |
| 3  | III        | 7.09  | 2.71 | 2.6162362 | Pelat 1 Arah |
| 4  | IV         | 8.53  | 2.68 | 3.1828358 | Pelat 1 Arah |
| 5  | V          | 10.03 | 2.63 | 3.8136882 | Pelat 1 Arah |
| 6  | VI         | 4.06  | 2.66 | 1.5263158 | Pelat 2 Arah |
| 7  | VII        | 5.56  | 2.66 | 2.0902256 | Pelat 1 Arah |
| 8  | VIII       | 5.49  | 2.64 | 2.0795455 | Pelat 1 Arah |



|    |    |      |      |           |              |
|----|----|------|------|-----------|--------------|
| 9  | IX | 7.07 | 2.63 | 2.6882129 | Pelat 1 Arah |
| 10 | XI | 8.57 | 2.65 | 3.2339623 | Pelat 1 Arah |
| 11 | X  | 5.95 | 2.95 | 2.0169492 | Pelat 1 Arah |

Perhitungan tebal minimum pelat berdasarkan SNI 2847-2013 Tabel 9.5(c), dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_y = 280 \text{ Mpa} \quad \rightarrow t = l_n / 36$$

$$F_y = 420 \text{ Mpa} \quad \rightarrow t = l_n / 33$$

Pada perencanaan Tugas Akhir ini, diketahui  $F_y = 420 \text{ Mpa}$ .

Hasil tebal rencana untuk setiap tipe pelat terlampir dalam tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Tebal Rencana Pelat

| No | Type Pelat | Tebal (m) |
|----|------------|-----------|
| 1  | I          | 0.17      |
| 2  | II         | 0.17      |
| 3  | III        | 0.17      |
| 4  | IV         | 0.17      |
| 5  | V          | 0.17      |
| 6  | VI         | 0.17      |
| 7  | VII        | 0.17      |
| 8  | VIII       | 0.17      |

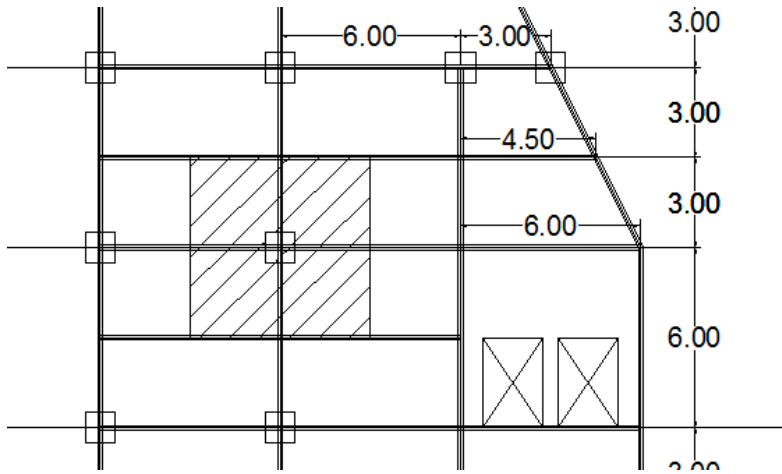
|    |    |      |
|----|----|------|
| 9  | IX | 0.17 |
| 10 | X  | 0.17 |
| 11 | XI | 1.17 |

#### **4.5. Perencanaan Kolom**

Menurut SNI 03-2847-2013 kolom harus direncanakan untuk mampu memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau.

Pada perhitungan kolom dalam Tugas Akhir ini, direncanakan terdapat lima macam kolom yaitu kolom Lt. 1-7, kolom Lt. 8-14, kolom Lt.15-21, kolom Lt. 22-28 dan kolom Lt.29-atap.

Dalam perencanaan kolom, pemilihan yang dilakukan adalah kolom yang mengalami pembebanan terbesar, yaitu kolom 16 . Pembebanan kolom 16 terlampir pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Denah Pembebanan Kolom 16

- Contoh Perhitungan Kolom:

Kolom lantai 29-atap

Direncanakan dimensi awal 80cm x 80cm

Beban-beban yang terjadi berdasarkan PPIUG 1983 dilampirkan pada tabel 4.3, dan tabel 4.4.

Tabel 4. 3 Beban Mati Kolom 16

| Beban Mati      |                     |                    |           |            |            |        |        |             |
|-----------------|---------------------|--------------------|-----------|------------|------------|--------|--------|-------------|
| Bagian Tinjauan |                     | Uraian Perhitungan |           |            |            |        |        | Berat Total |
| No.             | Nama                | L (panjang)        | b (lebar) | h (tinggi) | Pembebanan | Berat  | Jumlah |             |
|                 |                     | M                  | m         | m          |            | kg     |        |             |
| 1               | Pelat               | 6                  | 6         | 0,17       | 2400       | 14688  | 7      | 102816      |
| 2               | Dinding             | 14,5               | -         | 28         | 250        | 203000 | 1      | 101500      |
| 3               | BI 15-16            | 3                  | 0,25      | 0,37       | 2400       | 666    | 7      |             |
|                 | BI 16-I             | 3                  | 0,25      | 0,37       | 2400       | 666    | 7      |             |
|                 | BI 12-16            | 3                  | 0,25      | 0,37       | 2400       | 666    | 7      |             |
|                 | BI 16-18            | 3                  | 0,25      | 0,37       | 2400       | 666    | 7      |             |
|                 | BA 7                | 3                  | 0,095     | 0,28       | 2400       | 191,52 | 7      |             |
|                 | BA 8                | 3                  | 0,095     | 0,28       | 2400       | 191,52 | 7      |             |
|                 | BA 9                | 3                  | 0,095     | 0,28       | 2400       | 191,52 | 7      |             |
|                 | BA 10               | 3                  | 0,095     | 0,28       | 2400       | 191,52 | 7      |             |
|                 | Balok Total         |                    |           |            |            |        |        | 75841       |
| 4               | Kolom (80x80)       | 0,8                | 0,8       | 28         | 2400       | 86016  | 1      | 43008       |
| 5               | Penggantung Palfond | 6                  | 6         | -          | 7          | 252    | 7      | 1764        |

|                  |                  |   |   |   |    |      |   |           |
|------------------|------------------|---|---|---|----|------|---|-----------|
| 6                | Plafond          | 6 | 6 | - | 11 | 396  | 7 | 2772      |
| 7                | Plumbing+Ducting | 6 | 6 | - | 40 | 1440 | 7 | 10080     |
| 8                | Aspal (1cm)      | 6 | 6 | - | 14 | 504  | 1 | 504       |
| 9                | Tegel (2cm)      | 6 | 6 | - | 48 | 1728 | 6 | 10368     |
| 10               | Spesi (2cm)      | 6 | 6 | - | 42 | 1512 | 6 | 9072      |
| Berat Total (DL) |                  |   |   |   |    |      |   | 357725,92 |

Tabel 4. 4 Beban Hidup Kolom 16

| Beban Hidup      |          |                    |           |            |            |       |        |             |
|------------------|----------|--------------------|-----------|------------|------------|-------|--------|-------------|
| Bagian Tinjauan  |          | Uraian Perhitungan |           |            |            |       |        | Berat Total |
| No.              | Nama     | L (panjang)        | b (lebar) | h (tinggi) | Pembebanan | Berat | Jumlah | Kg          |
|                  |          | m                  | M         | m          |            | kg    |        |             |
| 1                | Lt. Atap | 6                  | 6         | -          | 100        | 3600  | 1      | 3600        |
| 2                | Lt.29-41 | 6                  | 6         | -          | 250        | 9000  | 6      | 54000       |
| Berat Total (LL) |          |                    |           |            |            |       |        | 57600       |

Berat total yang dipikul kolom Lt.28-atap

$$\begin{aligned} W &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 429271.1 + 92160 \\ &= 521431.1 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$F'c = 50 \text{ Mpa} = 510 \text{ Kg/cm}^2$$

Sesuai SNI 03-2847-2002 Psl.25.3.1.1., maka:

$$0,45 F'c = P/A$$

$$A = \frac{P}{0,45 \times f'c'}$$

$$A = \frac{521431.1 \text{ kg}}{0,45 \times 510 \text{ kg/cm}^2} = 2272,031 \text{ cm}^2$$

Diasumsikan kolom berbentuk persegi dengan  $b=h$ , sehingga

$$b=h = \sqrt{A} = \sqrt{2272,031} = 47,67 \text{ cm}$$

Maka kolom dengan dimensi 80cm x 80cm dapat memenuhi sebagai *preliminary design* kolom Lt. 29 - Atap.

Dari perhitungan *preliminary design* kolom, didapatkan data dimensi perencanaan awal kolom sebagai berikut:

- Kolom Lt. 1 – 7 = 160 cm x 160 cm
- Kolom Lt. 8 – 14 = 150 cm x 150 cm
- Kolom Lt. 15 – 21 = 130 cm x 130 cm
- Kolom Lt. 21 – 28 = 100 cm x 100 cm
- Kolom Lt. 29 – Atap = 80 cm x 80 cm

## **BAB V**

### **PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER**

#### **5.1. Umum**

Struktur sekunder merupakan salah satu dari dua bagian yang dibagi dalam struktur gedung selain struktur utama. Perencanaan dan perhitungan struktur sekunder dilakukan terpisah dari struktur utama. Struktur sekunder direncanakan untuk meneruskan beban-beban yang ada pada struktur utama. Perhitungan yang dilakukan dalam perhitungan struktur sekunder ini meliputi struktur pelat, balok anak, balok lift dan tangga.

#### **5.2. Perencanaan Struktur Pelat**

Pelat yang direncanakan terbagi menjadi dua bagian, yaitu pelat atap, dan pelat lantai. Pada bab 4 ketebalan pelat telah direncanakan.

##### **5.2.1. Data Perencanaan**

Berikut ini merupakan data perencanaan pelat yang meliputi mutu bahan dan tulangan yang hendak direncanakan, dimensi, dan diameter tulangan rencana yang terdapat di pelat atap dan pelat lantai.

Data perencanaan pelat yang digunakan sesuai dengan *preliminary design* sebagai berikut:

- Mutu Beton = 35 Mpa
- Mutu Baja = 420 Mpa
- Decking = 20 mm (SNI 03-2847-2013 Ps.7.7.1.c.)

##### **5.2.2. Pembebanan Pelat**

Pelat Lantai

Beban Mati:

Pelat = SAP 2000

Adukan Finishing = 0,01 x 2100 = 21 Kg/m<sup>2</sup>

|   |            |                         |
|---|------------|-------------------------|
| Penggantung Plafond                       |            | = 7 Kg/m <sup>2</sup>   |
| Plafond                                   |            | = 11 Kg/m <sup>2</sup>  |
| Spesi (2 cm)                              | = 2 x 21   | = 42 Kg/m <sup>2</sup>  |
| Plumbing & Ducting                        |            | = 40 Kg/m <sup>2</sup>  |
| Q <sub>DT</sub>                           |            | = 121 Kg/m <sup>2</sup> |
| Beban Hidup                               |            |                         |
| Lantai                                    |            | = 250 Kg/m <sup>2</sup> |
| Q <sub>LT</sub>                           |            | = 250 Kg/m <sup>2</sup> |
| Pelat Atap                                |            |                         |
| Beban Mati:                               |            |                         |
| Pelat                                     | = SAP 2000 |                         |
| Aspal (1cm)                               | = 1 x 14   | = 14 Kg/m <sup>2</sup>  |
| Penggantung Plafond                       |            | = 7 Kg/m <sup>2</sup>   |
| Plafond                                   |            | = 11 Kg/m <sup>2</sup>  |
| Instalasi listrik, AC, Lift, dll (Asumsi) |            | = 40 Kg/m <sup>2</sup>  |
| Q <sub>DT</sub>                           |            | = 72 Kg/m <sup>2</sup>  |
| Beban Hidup                               |            |                         |
| Lantai Atap                               |            | = 100 Kg/m <sup>2</sup> |
| Hujan                                     |            | = 20 Kg/m <sup>2</sup>  |
| Q <sub>LT</sub>                           |            | = 120 Kg/m <sup>2</sup> |

### 5.2.3. Penulangan Pelat

Kebutuhan tulangan pelat ditentukan oleh besar dari momen yang terjadi pada pelat, baik di daerah lapangan atau tumpuan. Nilai momen yang terjadi dihitung dengan program bantuan SAP2000. Pada subbab kali ini akan diberikan contoh perhitungan pada pelat atap tipe VIII.

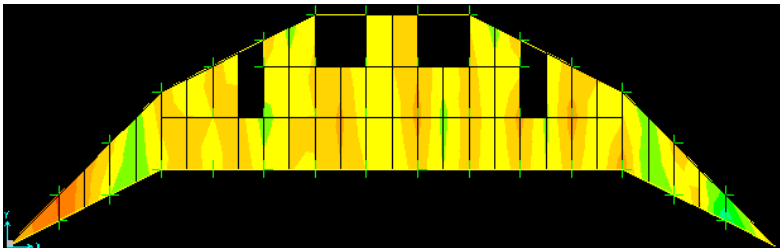
Berikut ini merupakan beberapa parameter yang diperlukan dalam perhitungan penulangan pelat:

- $\rho_{\min} = 1,4 / f_y = 1,4 / 420 = 0,0033$
- $\beta_1 = 0,85 - \frac{(f_c - 28)}{7} \times 0,05$   
 $\beta_1 = 0,85 - \frac{(35 - 28)}{7} \times 0,05 = 0,8$



- $\rho_b = \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0,0333$
- $\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0333 = 0,025$
- $m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 35} = 14,118$

Perhitungan momen dihitung berdasarkan program bantuan SAP2000 dalam menghitung gaya-gaya yang terjadi dalam struktur pelat. Gambar tampak, dan gaya-gaya dalam yang terjadi dalam struktur tangga ini terlampir pada gambar 5.1.



Gambar 5. 1 Tampak dan Gaya Dalam Struktur Pelat

Mencari tinggi efektif pelat :

$$d_x = h - d - 0,5 \cdot \phi_b$$

$$d_y = h - d - \phi_a - 0,5 \cdot \phi_a$$

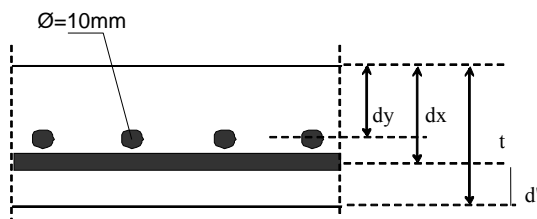
Dimana :

$h$  : tebal pelat

$d$  : tebal selimut beton

$\phi_a$  : diameter tulangan atas

$\phi_b$  : diameter tulangan bawah



Gambar 5. 2 Sketsa Bagian Pelat

$$\begin{aligned}
 L_x &= 2,77 \text{ m} \\
 L_y &= 5,71 \text{ m} \\
 d_x &= 170 - 20 - 0,5 \cdot 10 = 144 \text{ mm} \\
 d_y &= 170 - 20 - 10 - 0,5 \cdot 10 = 132 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penulangan arah x

Sesuai dengan hasil perhitungan dari program bantu SAP2000 didapatkan nilai momen x adalah sebagai berikut:

$$M_u = 1.475,4 \text{ Kgm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times 1000 \times d \times d} = \frac{14.754.000}{0,8 \times 1000 \times 143^2} = 0,88 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{14,118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,118 \times 0,88}{420}} \right) = 0,0021$$

$$4/3 \rho = 4/3 * 0,0021 = 0,0028$$

$$\text{karena } \rho_{\min} > 4/3 \rho, \text{ maka } \rightarrow \rho_{\text{pakai}} = 0,0028$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0029$$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0028 \times 1000 \times 143 = 409,91 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} = 2 \cdot h = 2 \cdot 170 = 340 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan lentur  $\varnothing 10 - 150$  ( As Pasang = 523,81 mm<sup>2</sup> )

Penulangan arah y

Sesuai dengan hasil perhitungan dari program bantu SAP2000 didapatkan nilai momen y adalah sebagai berikut:

$$Mu = 1.815,4 \text{ Kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi x 1000 x dx^2} = \frac{18.154.000}{0,8 x 1000 x 129^2} = 1,3 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{14,118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,118 \times 1,3}{420}} \right) = 0,0032$$

karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka  $\rightarrow \rho_{\text{pakai}} = 0,0033$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0033$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho b d \\ &= 0,0033 \times 1000 \times 132 = 435,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} = 2.h = 2.170 = 340 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan lentur  $\varnothing 10 - 150$  (  $A_s$  Pasang = 523,81  $\text{mm}^2$  )

Perencanaan penulangan pelat untuk setiap tipe ditampilkan pada tabel 5.1., dan 5.2.

Tabel 5. 1 Penulangan Pelat Lantai

| Type pelat |              | $L_y/L_x$ | Mu<br>(kg.m) | $r$ Perlu | $r$ Pakai | $A_{S_{actual}}$<br>(mm <sup>2</sup> ) | Tulangan<br>Terpasang | $A_{S_{terpasang}}$<br>(mm <sup>2</sup> ) |
|------------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|--|-----------------------|---|
| I          | h = 0.17 m   | 1,03      |              |           |           |  |                       |   |
|            | Lx = 5.38 m  |           | 500,487      | 0.0011    | 0.0015    | 213,81                                 | ϕ 10 - 150            | 523.81                                    |
|            | Ly = 5.53 m  |           |              |           |           |  |                       |   |
|            | dx = 0.145 m |           | 392,695      | 0.0009    | 0.0011    | 153,23                                 | ϕ 10 - 150            | 523.81                                    |
|            | dy = 0.135 m |           |              |           |           |  |                       |   |
| II         | h = 0.17 m   | 2.04      |              |           |           |  |                       |   |
|            | Lx = 2.79 m  |           | 866,2        | 0.0012    | 0.0016    | 239,14                                 | ϕ 10 - 150            | 523.81                                    |
|            | Ly = 5.67 m  |           |              |           |           |  |                       |   |
|            | dx = 0.145 m |           | 716,3        | 0.0012    | 0.0016    | 212,33                                 | ϕ 10 - 150            | 523.81                                    |
|            | dy = 0.135 m |           |              |           |           |  |                       |   |
| III        | h = 0.17 m   | 2.57      |              |           |           |  |                       |   |
|            | Lx = 2.79 m  |           | 1228,87      | 0.0018    | 0.0023    | 340,54                                 | ϕ 10 - 150            | 523.81                                    |
|            | Ly = 7.17 M  |           |              |           |           |  |                       |   |
|            | dx = 0.145 m |           | 767,143      | 0.0013    | 0.0017    | 227,53                                 | ϕ 10 - 150            | 523.81                                    |

|    |              |      |           |        |        |        |                 |        |
|----|--------------|------|-----------|--------|--------|--------|-----------------|--------|
|    | dy = 0.135 m |      |           |        |        |        |                 |        |
| IV | h = 0.17 m   | 3.15 |           |        |        |        |                 |        |
|    | Lx = 2.76 m  |      | 2153,272  | 0.0031 | 0.0033 | 478,50 | $\phi$ 10 - 100 | 785.71 |
|    | Ly = 8.69 m  |      |           |        |        |        |                 |        |
|    | dx = 0.145 m |      | 1344,802  | 0.0022 | 0.0030 | 401,62 | $\phi$ 10 - 100 | 785.71 |
|    | dy = 0.135 m |      |           |        |        |        |                 |        |
| V  | h = 0.17 m   | 3.70 |           |        |        |        |                 |        |
|    | Lx = 2.76 m  |      | 2,833,978 | 0.0041 | 0.0041 | 599,16 | $\phi$ 10 - 100 | 785,71 |
|    | Ly = 10.19 m |      |           |        |        |        |                 |        |
|    | dx = 0.145 m |      | 2572,248  | 0.0043 | 0.0043 | 584,97 | $\phi$ 10 - 100 | 785,71 |
|    | dy = 0.135 m |      |           |        |        |        |                 |        |
| VI | h = 0.17 m   | 1.52 |           |        |        |        |                 |        |
|    | Lx = 2.79 m  |      | 1820,04   | 0.0026 | 0.0033 | 478.50 | $\phi$ 10 - 100 | 785.71 |
|    | Ly = 4.24 m  |      |           |        |        |        |                 |        |
|    | dx = 0.145 m |      | 1002,687  | 0.0017 | 0.0022 | 298,22 | $\phi$ 10 - 100 | 785.71 |
|    | dy = 0.135 m |      |           |        |        |        |                 |        |

|      |              |      |          |        |        |        |                 |        |
|------|--------------|------|----------|--------|--------|--------|-----------------|--------|
| VII  | h = 0.17 m   | 2.06 |          |        |        |        |                 |        |
|      | Lx = 2.79 m  |      | 1553,383 | 0.0022 | 0.0030 | 431,93 | $\phi$ 10 - 100 | 785.71 |
|      | Ly = 5.74 m  |      |          |        |        |        |                 |        |
|      | dx = 0.145 m |      | 956,071  | 0.0016 | 0.0021 | 282,20 | $\phi$ 10 - 100 | 785.71 |
|      | dy = 0.135 m |      |          |        |        |        |                 |        |
| VIII | h = 0.17 m   | 2.06 |          |        |        |        |                 |        |
|      | Lx = 2.77 m  |      | 1246,7   | 0.0018 | 0.0024 | 345,55 | $\phi$ 10 - 100 | 785.71 |
|      | Ly = 5.71 m  |      |          |        |        |        |                 |        |
|      | dx = 0.145 m |      | 1160,6   | 0.0019 | 0.0026 | 345,85 | $\phi$ 10 - 100 | 785.71 |
|      | dy = 0.135 m |      |          |        |        |        |                 |        |
| IX   | h = 0.17 m   | 2.62 |          |        |        |        |                 |        |
|      | Lx = 2.76 m  |      | 1491,473 | 0.0021 | 0.0029 | 414,45 | $\phi$ 10 - 150 | 523.81 |
|      | Ly = 7.21 m  |      |          |        |        |        |                 |        |
|      | dx = 0.145 m |      | 1363,143 | 0.0023 | 0.0030 | 407,19 | $\phi$ 10 - 150 | 523.81 |
|      | dy = 0.135 m |      |          |        |        |        |                 |        |

Tabel 5. 2 Penulangan Pelat Atap

| Type pelat |              | $L_y/L_x$ | Mu<br>(kg.m) | $r$ Perlu | $r$ Pakai | $A_{sactual}$      | Tulangan<br>Terpasang | $A_{sterpasang}$   |
|------------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|--------------------|-----------------------|--------------------|
|            |              |           |              |           |           | (mm <sup>2</sup> ) |                       | (mm <sup>2</sup> ) |
| I          | h = 0.17 m   | 1.03      |              |           |           |                    |                       |                    |
|            | Lx = 5.38 m  |           | 500,487      | 0.0007    | 0.0009    | 137,66             | ∅ 10 - 150            | 523.81             |
|            | Ly = 5.53 m  |           |              |           |           |                    |                       |                    |
|            | dx = 0.145 m |           | 392,695      | 0.0006    | 0.0009    | 115,96             | ∅ 10 - 150            | 523.81             |
|            | dy = 0.135 m |           |              |           |           |                    |                       |                    |
| II         | h = 0.17 m   | 2.04      |              |           |           |                    |                       |                    |
|            | Lx = 2.79 m  |           | 702,1        | 0.0010    | 0.0013    | 193,52             | ∅ 10 - 150            | 523.81             |
|            | Ly = 5.67 m  |           |              |           |           |                    |                       |                    |
|            | dx = 0.145 m |           | 559,3        | 0.0009    | 0.0012    | 165,48             | ∅ 10 - 150            | 523.81             |
|            | dy = 0.135 m |           |              |           |           |                    |                       |                    |
| III        | h = 0.17 m   | 2.57      |              |           |           |                    |                       |                    |
|            | Lx = 2.79 m  |           | 934,993      | 0.0013    | 0.0018    | 258,32             | ∅ 10 - 150            | 523.81             |
|            | Ly = 7.17 m  |           |              |           |           |                    |                       |                    |
|            | dx = 0.145 m |           | 591,405      | 0.0010    | 0.0013    | 175,04             | ∅ 10 - 150            | 523.81             |

|    |              |      |          |        |        |        |                 |        |
|----|--------------|------|----------|--------|--------|--------|-----------------|--------|
|    | dy = 0.135 m |      |          |        |        |        |                 |        |
| IV | h = 0.17 m   | 3.15 |          |        |        |        |                 |        |
|    | Lx = 2.76 m  |      | 1609,676 | 0.0023 | 0.0031 | 447,85 | $\phi$ 10 - 150 | 523,81 |
|    | Ly = 8.69 m  |      |          |        |        |        |                 |        |
|    | dx = 0.145 m |      | 1045,896 | 0.0017 | 0.0030 | 407,84 | $\phi$ 10 - 150 | 523,81 |
|    | dy = 0.135 m |      |          |        |        |        |                 |        |
| V  | h = 0.17 m   | 3.70 |          |        |        |        |                 |        |
|    | Lx = 2.76 m  |      | 2693,277 | 0.0039 | 0.0039 | 568,54 | $\phi$ 10 - 100 | 785,71 |
|    | Ly = 10.19 m |      |          |        |        |        |                 |        |
|    | dx = 0.145 m |      | 2124,976 | 0.0036 | 0.0036 | 480,54 | $\phi$ 10 - 100 | 785,71 |
|    | dy = 0.135 m |      |          |        |        |        |                 |        |
| VI | h = 0.17 m   | 1.52 |          |        |        |        |                 |        |
|    | Lx = 2.79 m  |      | 1281,274 | 0.0018 | 0.0025 | 355,26 | $\phi$ 10 - 150 | 523,81 |
|    | Ly = 4.24 m  |      |          |        |        |        |                 |        |
|    | dx = 0.145 m |      | 892,089  | 0.0015 | 0.0020 | 264,98 | $\phi$ 10 - 150 | 523,81 |
|    | dy = 0.135 m |      |          |        |        |        |                 |        |



|      |              |      |          |        |        |        |        |    |   |     |        |
|------|--------------|------|----------|--------|--------|--------|--------|----|---|-----|--------|
| VII  | h = 0.17 m   | 2.06 |          |        |        |        |        |    |   |     |        |
|      | Lx = 2.79 m  |      | 1364,582 | 0.0020 | 0.0026 | 378,68 | $\phi$ | 10 | - | 150 | 523.81 |
|      | Ly = 5.74 m  |      |          |        |        |        |        |    |   |     |        |
|      | dx = 0.145 m |      | 741,621  | 0.0012 | 0.0016 | 219,89 | $\phi$ | 10 | - | 150 | 523.81 |
|      | dy = 0.135 m |      |          |        |        |        |        |    |   |     |        |
| VIII | h = 0.17 m   | 2.06 |          |        |        |        |        |    |   |     |        |
|      | Lx = 2.77 m  |      | 1475,4   | 0.0021 | 0.0028 | 409,91 | $\phi$ | 10 | - | 150 | 523.81 |
|      | Ly = 5.71 m  |      |          |        |        |        |        |    |   |     |        |
|      | dx = 0.145 m |      | 1815,4   | 0.0032 | 0.0033 | 435.60 | $\phi$ | 10 | - | 150 | 523.81 |
|      | dy = 0.135 m |      |          |        |        |        |        |    |   |     |        |
| IX   | h = 0.17 m   | 2.62 |          |        |        |        |        |    |   |     |        |
|      | Lx = 2.76 m  |      | 1233,401 | 0.0018 | 0.0024 | 341,81 | $\phi$ | 10 | - | 150 | 523.81 |
|      | Ly = 7.21 m  |      |          |        |        |        |        |    |   |     |        |
|      | dx = 0.145 m |      | 956,832  | 0.0016 | 0.0021 | 284,43 | $\phi$ | 10 | - | 150 | 523.81 |
|      | dy = 0.135 m |      |          |        |        |        |        |    |   |     |        |
| X    | h = 0.17 m   | 2.02 |          |        |        |        |        |    |   |     |        |
|      | Lx = 2.95 m  |      | 484,460  | 0.0007 | 0.0009 | 133,23 | $\phi$ | 10 | - | 150 | 523.81 |

|    |              |      |          |        |        |        |                 |        |
|----|--------------|------|----------|--------|--------|--------|-----------------|--------|
|    | Ly = 5.95 m  |      |          |        |        |        |                 |        |
|    | dx = 0.145 m |      | 848,794  | 0.0014 | 0.0019 | 251,99 | $\phi$ 10 - 150 | 523.81 |
|    | dy = 0.135 m |      |          |        |        |        |                 |        |
| XI | h = 0.17 m   | 3.23 |          |        |        |        |                 |        |
|    | Lx = 2.65 m  |      | 1394,352 | 0.0020 | 0.0027 | 387,07 | $\phi$ 10 - 150 | 523.81 |
|    | Ly = 8.57 m  |      |          |        |        |        |                 |        |
|    | dx = 0.145 m |      | 968,816  | 0.0016 | 0.0021 | 288,03 | $\phi$ 10 - 150 | 523.81 |
|    | dy = 0.135 m |      |          |        |        |        |                 |        |

### 5.3. Perencanaan Tangga

#### 5.3.1. Data-data Perencanaan Tangga

Tinggi antar lantai = 400 cm

Tinggi bordes = 200 cm

Panjang tangga = 275 cm

Lebar tangga = 300 cm

Panjang bordes = 165 cm

Lebar bordes = 600 cm

Lebar injakan (i) = 25 cm

Tinggi tanjakan (t) = 20 cm

$$\text{Jumlah tanjakan (nt)} = \frac{\text{Tinggi bordes}}{t} = \frac{200 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} = 10$$

$$\text{Jumlah injakan (ni)} = \text{nt} - 1 = 10 - 1 = 9$$

$$\text{Sudut kemiringan } (\alpha) = \text{arc tan } \frac{200 \text{ cm}}{(25 \times 9) \text{ cm}} = 36,03^\circ$$

Syarat perencanaan tangga meliputi ;

Syarat dimensi anak tangga:

$$60 \leq (2t + i) \leq 66$$

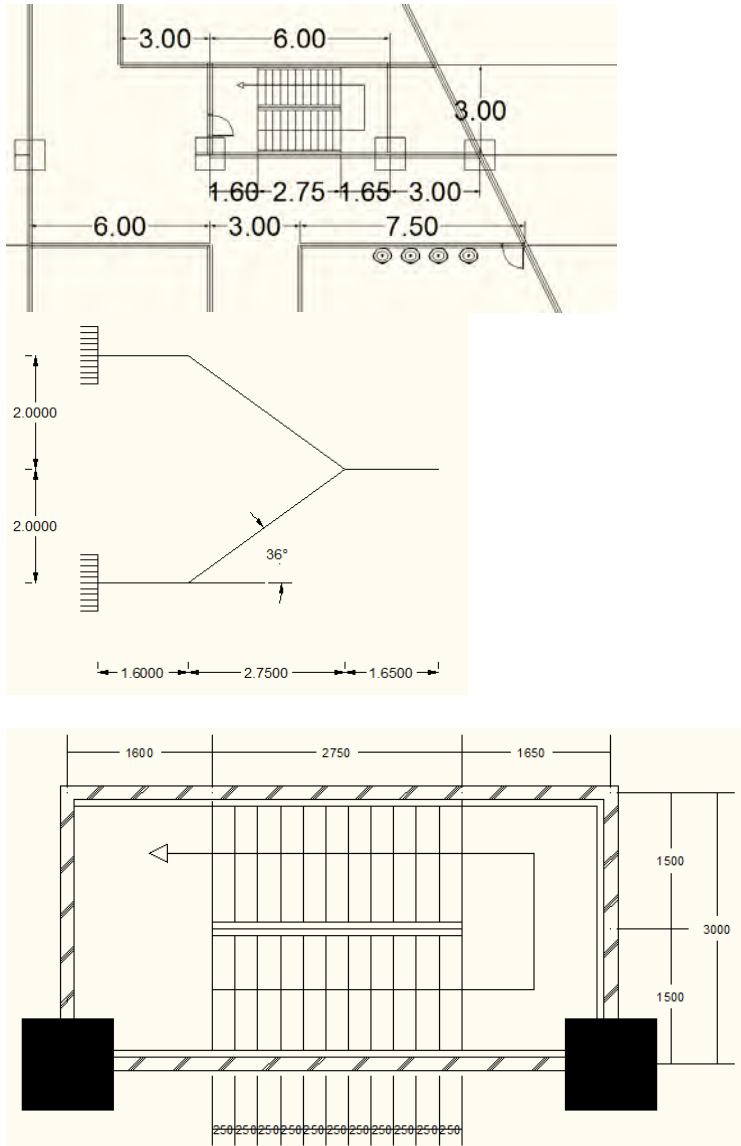
$$60 \leq (2 \cdot 20 \text{ cm} + 25 \text{ cm}) \leq 66$$

$$60 \leq 61 \leq 66 \dots \dots \text{memenuhi.}$$

Syarat kemiringan:

$$25^\circ < \alpha < 40^\circ$$

$$25^\circ < 36,03^\circ < 40^\circ \dots \dots \text{memenuhi.}$$



Gambar 5. 3 Perencanaan Anak Tangga

### 5.3.2. Perhitungan Pembebanan Tangga

- Pelat Tangga

Beban Mati:

|                    |                                  |                         |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Pelat tangga       |                                  | = SAP 2000              |
| Anak Tangga        | = 2400 x 11 x (0,5 x 0,25 x 0,2) | = 660 kg/m <sup>2</sup> |
| Spesi (t = 2 cm)   | = 2 x 21                         | = 42 kg/m <sup>2</sup>  |
| Keramik (1 cm)     | = 1 x 13                         | = 13 kg/m <sup>2</sup>  |
| Berat pegangan     |                                  | = 30 kg/m <sup>2</sup>  |
| Q <sub>DT</sub>    |                                  | = 745 kg/m <sup>2</sup> |
| <u>Beban Hidup</u> |                                  |                         |
| Q <sub>LT</sub>    |                                  | = 300 kg/m <sup>2</sup> |

- Pelat Bordes:

Beban Mati

|                    |          |                         |
|--------------------|----------|-------------------------|
| Pelat bordes       |          | = SAP 2000              |
| Spesi (t = 2 cm)   | = 2 x 21 | = 42 kg/m <sup>2</sup>  |
| Keramik (1 cm)     | = 1 x 13 | = 13 kg/m <sup>2</sup>  |
| Berat pegangan     |          | = 30 kg/m <sup>2</sup>  |
| Q <sub>DT</sub>    |          | = 85 kg/m <sup>2</sup>  |
| <u>Beban Hidup</u> |          |                         |
| Q <sub>LT</sub>    |          | = 300 kg/m <sup>2</sup> |

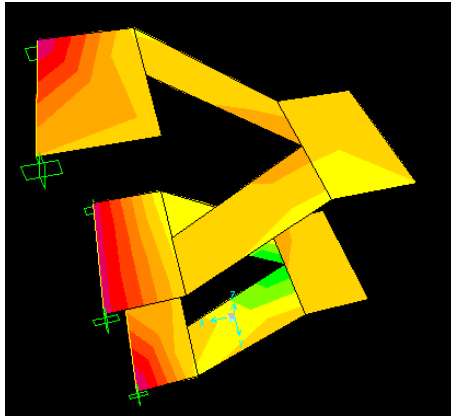
### 5.3.3. Analisis Struktur Tangga

Pada perhitungan analisa struktur tangga, digunakan program bantu SAP2000 dalam menghitung gaya-gaya dalam yang terjadi di dalam struktur tangga. Dari program bantu SAP2000 didapatkan nilai gaya-gaya dalam sebagai berikut:

|              |   |                 |
|--------------|---|-----------------|
| Pelat tangga | : |                 |
| Mu           | = | 20331.90907 Kgm |
| Pelat Bordes | : |                 |
| Mu           | = | 21020.95059 Kgm |

Gambar tampak struktur tangga ini terlampir pada gambar

5.4.



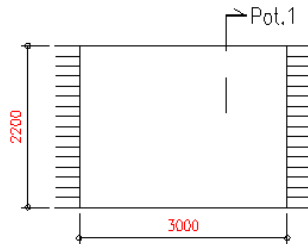
Gambar 5. 4 Tumpuk Struktur Tangga

#### 5.3.4. Perhitungan Tulangan Pelat Tangga

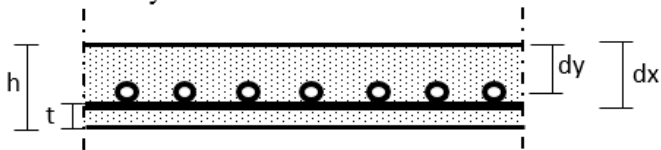
- Data Perencanaan.
 

|   |   |
|---|---|
| Mutu beton ( $f_c'$ )                   | = 30 Mpa                                  |
| Mutu baja ( $f_y$ )                     | = 400 Mpa                                 |
| Tebal pelat tangga                      | = 120 mm                                  |
| Tebal selimut beton                     | = 20 mm (SNI 03-2847-2013<br>Ps.7.7.1.c.) |
| Tulangan rencana ( $\emptyset$ ) arah Y | = 19 mm.                                  |
| Tulangan rencana ( $\emptyset$ ) arah X | = 10 mm.                                  |
- Tebal Efektif Pelat dan Rasio Tulangan.

Pelat tangga disumsikan terjepit penuh pada ke-dua sisinya, terlihat seperti gambar dibawah ini ;



Gambar 5. 5 Perletakan Tangga Dengan Terjepit Kedua Sisi



Gambar 5. 6 Potongan Pelat Tangga

$$\begin{aligned}
 dx &= t \text{ pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \text{ } \emptyset \\
 &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm}) \\
 &= 90,5 \text{ mm} \\
 dy &= t \text{ pelat} - \text{decking} - \emptyset - \frac{1}{2} \emptyset \\
 &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 19 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \times 10 \text{ mm}) \\
 &= 76 \text{ mm} \\
 \rho_{\min} &= 1,4/f_y = 1,4/400 = 0,0035 \\
 \beta_1 &= 0,85 - \frac{(f_c - 28)}{7} \times 0,05 \\
 \beta_1 &= 0,85 - \frac{(30 - 28)}{7} \times 0,05 = 0,836 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,032 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,032 = 0,024 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686
 \end{aligned}$$

Perhitungan Kebutuhan Tulangan.

$$M_u = 199.387.916,0813 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,8}$$

$$= \frac{199.387.916,0813 \text{ N.mm}}{0,8}$$

$$= 249.234.895 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{249.234.895 \text{ N.mm}}{3400 \text{ mm} \times (90,5 \text{ mm})^2} = 8,95$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,686} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,686 \times 8,95}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$= 0,02895$$

karena  $\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{max}}$ , maka  $\rightarrow \rho_{\text{pakai}} = 0,024$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,024 \times 3400 \text{ mm} \times 90,5 \text{ mm}$$

$$= 7384,8 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan  $\emptyset 19-100\text{mm}$  ( $A_{S_{\text{pasang}}} = 9635,09 \text{ mm}^2$ )

- Kontrol Kapasitas

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b_w}$$

$$= \frac{9635,09 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 3400 \text{ mm}} = 44,45$$

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - (a/2))$$

$$= 9635,09 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times (94 \text{ mm} - (44,45/2))$$

$$= 263.129.395,89 \text{ N.mm}$$

Kontrol:

$$249.234.895 \text{ N.mm} < 263.129.395,89 \text{ N.mm} \dots \text{memenuhi}$$



### 5.3.5. Perhitungan Tulangan Pelat Bordes

- Data Perencanaan.
  - Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 Mpa
  - Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 Mpa
  - Tebal pelat bordes = 170 mm
  - Tebal selimut beton = 20 mm, sesuai (SNI 03-2847-2013 Ps.7.7.1.c.)
  - Tulangan rencana ( $\emptyset$ ) arah Y = 22 mm.
  - Tulangan rencana ( $\emptyset$ ) arah X = 19 mm.
- Perhitungan tulangan pelat bordes dilakukan dengan cara yang sama dengan perhitungan pelat tangga. Dari perhitungan yang sudah dilakukan didapatkan hasil:
  - Tulangan Longitudinal  $\emptyset 22 - 100$
  - Tulangan Pembagi  $\emptyset 19 - 100$

## 5.4. Perencanaan Balok Lift

### 5.4.1. Spesifikasi Lift

Lift merupakan struktur sekunder yang berfungsi untuk mengangkut orang/barang menuju ke lantai yang berbeda tinggi. Perencanaan balok lift meliputi balok balok yang ada di sekeliling ruang lift maupun mesin lift. Balok balok tersebut diantaranya ialah balok penggantung lift dan balok penumpu lift. Lift yang digunakan pada perencanaan Tugas Akhir ini adalah lift yang diproduksi oleh *Mitsubishi Corporation* dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Merk : Mitsubishi
- Kecepatan : 1,75 m/s
- Kapasitas : 750 kg
- Lebar pintu (opening width) : 1200 mm
- Dimensi sangkar (car size) :
  - outside : 1650 x 2150 mm<sup>2</sup>
  - inside : 1500 x 2000 mm<sup>2</sup>
- Dimensi ruang luncur : 2300 x 2570 mm<sup>2</sup>
- Dimensi ruang mesin : 3000 x 4000 mm<sup>2</sup>

- Beban reaksi ruang mesin :  
 $R_1 = 2750 \text{ kg}$  (Berat mesin penggerak + beban kereta + perlengkapan)  
 $R_2 = 2580 \text{ kg}$  (Berat bandul pemberat + perlengkapan)

#### 5.4.2. Perencanaan Awal Dimensi Balok Lift

Balok Penggantung Lift

Panjang balok penggantung lift = 200 cm

$$h = \frac{L}{\frac{16}{16}} = \frac{200}{\frac{16}{16}} = 12,5 \text{ cm, ambil dimensi } h = 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 40 = 26,67 \text{ cm, ambil dimensi } b = 30 \text{ cm}$$

Diperoleh dimensi balok penggantung lift 30/40.

Balok Penumpu Lift

Balok penumpu lift direncanakan sama dengan balok penggantung lift karena mempunyai panjang yang sama yaitu 200 cm. Sehingga digunakan dimensi balok penumpu lift 30/40.

#### 5.4.3. Pembebanan Balok Lift

##### Beban Yang Bekerja Pada Balok Penumpu

Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan, dan akibat bandul pemberat + perlengkapan.

##### Koefisien Kejut Beban Hidup Oleh Keran

Pasal 3.3.(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus berikut :

$$\Psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1,15$$

Dimana :

$\Psi$  = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15.

$v$  = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/s.

$k_1$  = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6.

$k_2$  = koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan diambil sebesar 1,3

Jadi, beban yang bekerja pada balok adalah :

$$\begin{aligned} P = \Sigma R \cdot \Psi &= (2750 + 2580) \cdot (1 + 0,6 \cdot 1,3 \cdot 1) \\ &= 5330 \cdot 1,78 \\ &= 9487,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Pembebanan balok penggantung lift

Beban mati ( $q_d$ ) :

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,30 \times 0,40 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat pelat beton} = 0,12 \times 1,50 \times 2400 = 432 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat aspal (t = 2 cm)} = 2 \times 1,50 \times 14 = 42 \text{ kg/m}$$

$$q_d = 762 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup ( $q_l$ ) :

$$Q_l = 250 \text{ kg/m}$$

$$q_l = 250 \times 1,50 = 375 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$q_u = 1,2 q_d + 1,6 q_l$$

$$= 1,2 \times 762 + 1,6 \times 375$$

$$= 1514,4 \text{ kg/m}$$

Beban terpusat lift  $P = 9487,4 \text{ kg}$

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1}{2}q_u L + \frac{1}{2}P \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1514,4 \cdot 2,00 + \frac{1}{2} \cdot 9487,4 \\
 &= 6258,1 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{8}q_u L^2 + \frac{1}{4}PL \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 1514,4 \cdot 2,00^2 + \frac{1}{4} \cdot 9487,4 \cdot 2,00 \\
 &= 5500,9 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

#### Pembebanan balok penumpu lift

Pembebanan pada balok penumpu lift memiliki beban-beban yang sama pada balok penggantung lift. Oleh karena itu dalam perencanaan pembebanan yang digunakan yaitu seperti di bawah ini :

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2 q_d + 1,6 q_l = 1514,4 \text{ kg/m} \\
 P &= 9487,4 \text{ kg} \\
 V_u &= \frac{1}{2}q_u L + \frac{1}{2}P = 6258,1 \text{ kg} \\
 M_u &= \frac{1}{8}q_u L^2 + \frac{1}{4}PL = 5500,9 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

#### 5.4.4. Penulangan Balok Lift

Penulangan balok penggantung lift

Data Perencanaan :

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| $f_c'$                                   |  | = 30 MPa  |
| $f_y$                                    |  | = 400 Mpa |
| Tul. Balok Diameter ( $D_{16}$ )         |  | = 16 mm   |
| Tul. Senggang Diameter ( $\emptyset_8$ ) |  | = 8 mm    |
| $b$                                      |  | = 30 cm   |
| $h$                                      |  | = 40 cm   |
| $d'$                                     | $= h' + \emptyset_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset_{\text{tul. utama}}$ |           |
|  | $= 40 + 8 + 0,5 \times 16$   | = 56 mm   |
| $d$                                      | $= 400 - 56$   | = 344 mm  |
| $\rho_{\text{min}}$                      |  | = 0,0035  |

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - \frac{(fy-28)}{28} \times 0,05 \\ \beta_1 &= 0,85 - \frac{(30-28)}{28} \times 0,05 = 0,836 \\ \rho_b &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,032 \\ \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,032 = 0,024 \\ m &= \frac{fy}{0,85 fc'} = \frac{400}{0,85 \times 30} = 15,686\end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Lentur

$$c = 200 \text{ mm}$$

$$d_t = 344 \text{ mm}$$

$$c/d_t = 0,581$$

Berdasarkan gambar S 9.3.2 SNI 03-2847-2013 didapat

$$\phi = 0,758$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b \times d^2} = \frac{55009000}{0,758 \times 300 \times 344^2} = 2,044$$

$$\rho = \frac{1}{16,47} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,044 \times 16,47}{400}} \right) = 0,00508$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$ , pakai  $\rho_{\text{perlu}}$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,00508$$

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{pakai}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00508 \times 300 \times 344 \\ &= 524,22 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan **3 D 16 ( 603 mm<sup>2</sup> )**

Spasi bersih antar tulangan

$$S = \frac{bw - 2\phi_{sengkan} - 2.decking - n.\phi_{tul.utama}}{n-1} \geq 25mm$$

$$= \frac{300 - (2).(8) - (2).(40) - (2).(16)}{3-1} = 78mm \geq 25mm$$

Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 62581 \text{ N}$$

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$= 1/6 \cdot \sqrt{30} \cdot 300 \cdot 344$$

$$= 94208,28 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 94208,28 = 70656,21 \text{ N}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 94208,28 = 35328,1 \text{ N}$$

Penulangan geser berada pada kondisi berikut

$0,5\phi V_c < V_u < \phi V_c \rightarrow$  perlu tulangan geser minimum.

Syarat  $s_{max} < d/2 = 344/2 = 172 \text{ mm}$  dan  $s_{max} < 600 \text{ mm}$

Dipakai  $S = 150 \text{ mm}$

$$A_{vmin} = \frac{0.062 \cdot \sqrt{f_y} \cdot b_w \cdot s}{f_{yt}} \geq \frac{0.35 \cdot b_w \cdot s}{f_{yt}}$$

$$\frac{0.062 \cdot \sqrt{30} \cdot 300 \cdot 150}{400} \geq \frac{0.35 \cdot 300 \cdot 150}{400}$$

$$38,203 \text{ mm}^2 \geq 39,375 \text{ mm}^2 \quad (\text{NOT OK})$$

Dipakai  $A_{vmin} = 39,375 \text{ mm}^2$

$$A_{vpakai} = \frac{1}{4} \times \pi \cdot 8^2 = 50,27 \text{ mm}^2$$

Pasang  $\phi 8 - 150 \text{ mm}$

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut :

Tulangan lentur : 3 D 16

Tulangan geser :  $\phi 8 - 150$

### 5.4.5. Penulangan Balok Penumpu Lift

Balok penumpu lift memiliki dimensi dan pembebanan yang sama dengan balok penggantung lift. Oleh karena itu dalam perencanaannya, balok penumpu lift direncanakan sama dengan balok penggantung lift. Didapat perencanaan tulangan lentur dan tulangan geser adalah sebagai berikut :

Tulangan lentur : 3 D 16  
 Tulangan geser :  $\phi$  8 – 150

## 5.5. Perencanaan Struktur Balok Pembagi (Balok Anak)

### 5.5.1. Data Perencanaan

Mutu Beton ( $f_c'$ ) = 35 Mpa  
 Mutu Baja ( $f_y$ ) = 420 Mpa

### 5.5.2. Analisa Gaya Dalam Balok Anak

Pada perhitungan analisa struktur tangga, digunakan program bantu SAP2000 dalam menghitung gaya-gaya dalam yang terjadi di dalam struktur balok anak, dengan beban yang diterima hanyalah beban gravitasi. Dari program bantu SAP2000 didapatkan nilai gaya-gaya dalam yang terlampir sesuai tabel 5.3.

Tabel 5. 3 Gaya Dalam Balok Anak

| Tipe | Ln   | Mu<br>TUMPUA<br>N | Mu<br>LAPANGAN | Vu      | Dimensi   |           |
|------|------|-------------------|----------------|---------|-----------|-----------|
|      | (m)  | (KgM)             | (KgM)          | (Kg)    | b<br>(mm) | h<br>(mm) |
| BA 1 | 4.01 | 2579.91           | 3518.186319    | 2779.63 | 180       | 270       |
| BA 2 | 7.11 | 10064.07          | 13583.48       | 6505.58 | 240       | 360       |
| BA 3 | 3.88 | 2918.65           | 4039.19        | 3015.11 | 180       | 270       |
| BA 4 | 5.34 | 6318.14           | 8628.642       | 4934.63 | 220       | 330       |
| BA 6 | 4    | 2918.65           | 4039.19        | 3015.11 | 180       | 270       |

### 5.5.3. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Balok Anak

Pada subbab kali ini akan diberikan contoh perhitungan kebutuhan tulangan balok anak BA 4.

Penulangan Lentur Balok Anak

Tinggi Manfaat ( $d$  dan  $d''$ ).

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \text{Senggang} - \left(\frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}}\right) \\ &= 330 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm}\right) \\ &= 270.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= \text{decking} + \text{Senggang} + \left(\frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}}\right) \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \left(\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm}\right) \\ &= 59.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rasio Tulangan.

$$\rho_{\min} = 1,4/f_y = 1,4/420 = 0,0033$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{(f_c - 28)}{7} \times 0,05$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{(35 - 28)}{7} \times 0,05 = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,8 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0,0333$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0333 = 0,025$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 35} = 14,118$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2 mengenai faktor reduksi kekuatan

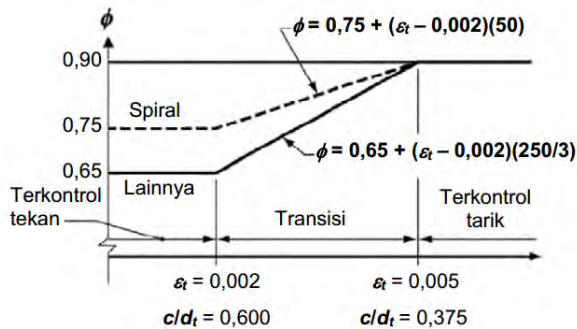
$$\phi = 0,65 + 0,25 \times \left[ \left( \frac{1}{\frac{c}{dt}} \right) - \left( \frac{5}{3} \right) \right]$$

dimana :

$c$  = jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral (mm)

$dt$  = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat lapisan terjauh tulangan tarik longitudinal (mm)





Interpolasi pada  $c/d_t$ :  
 Spiral  $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t) - 5/3)]$   
 Lainnya  $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t) - 5/3)]$

Gambar 5. 7 Variasi factor reduksi kekuatan

Cek penampang terkendali beton :

Dicoba tulangan  $6\phi 19$  ( $A_s = 1700,31 \text{ mm}^2$ ) untuk tarik, dan  
 $3\phi 19$  ( $A_s = 850,16 \text{ mm}^2$ ) untuk tekan

$f_s$  asumsi = 100 Mpa

Menentukan nilai a :

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{(A_{s \text{ tarik terpasang}} \times f_y) - (A_{s \text{ tekan terpasang}} \times f_s \text{ asumsi})}{0,85 \times f_c' \times bw} \\
 &= \\
 &= \frac{(1700,31 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ Mpa}) - (850,16 \text{ mm}^2 \times 100 \text{ Mpa})}{0,85 \times 35 \text{ Mpa} \times 220 \text{ mm}} \\
 &= 96,121 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menentukan garis netral C :

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{96,121 \text{ mm}}{0,8} = 120,15 \text{ mm}$$

Nilai  $\frac{c}{dt} = \frac{120,15}{270,5} = 0,442$  sehingga nilai diperoleh nilai :

$$\phi = 0,65 + 0,25 \times \left[ \left( \frac{1}{0,442} \right) - \left( \frac{5}{3} \right) \right] = 0,7962$$

Nilai Gaya Dalam Yang Digunakan.

Berdasarkan perhitungan sebelumnya yang terlampir dalam tabel 5.3. didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut :

$$\text{Mu Tumpuan} = 6318,1 \text{ Kgm}$$

$$\text{Mu Lapangan} = 8628,6 \text{ Kgm}$$

$$\text{Vu} = 3015,1 \text{ Kg}$$

Perhitungan Kebutuhan TulanganDaerah Tumpuan.

$$\text{Mu} = 63.181.400 \text{ N.mm}$$

$$\text{Mn} = \frac{\text{Mu}}{0,8} = \frac{63.181.400 \text{ N.mm}}{0,79} = 78.976.750 \text{ N.mm}$$

$$\text{Rn} = \frac{\text{Mn}}{b \times d^2} = \frac{78.976.750 \text{ N.mm}}{220 \text{ mm} \times (210,5 \text{ mm})^2} = 4,91$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times \text{Rn}}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{14,118} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,118 \times 4,91}{420 \text{ Mpa}}} \right) \\ &= 0,0128 \end{aligned}$$

karena  $\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$ , maka  $\rightarrow \rho_{\text{pakai}} = 0,0128$

$$\begin{aligned} \text{A}_{\text{Starik}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0128 \times 220 \text{ mm} \times 210,5 \text{ mm} \\ &= 764,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan butuh ;

$$n = \frac{764,48 \text{ mm}^2}{0,25 \times 3,14 \times (19 \text{ mm})^2} = 2,7$$

Dipasang tulangan 6 Ø 19 mm (  $\text{A}_{\text{pasang}} = 1700,31 \text{ mm}^2$  )

Jarak tulangan ;

$$S = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{\text{senggang}}) - (n \times \phi_{\text{tul.lentur}})}{n - 1}$$

$$S = \frac{180\text{mm} - (2 \times 40\text{mm}) - (2 \times 10\text{mm}) - (6 \text{tul} \times 19\text{mm})}{6 \text{tul} - 1}$$

$S = 1,2 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$  ....tulangan dipasang dua lapis

$$\begin{aligned} A_{\text{Stekan}} &= 0,5 \times A_{\text{Starik}} = 0,5 \times 764,48 \text{ mm}^2 \\ &= 382,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan 3 Ø 19 mm (  $A_{\text{Spasang}} = 850,16 \text{ mm}^2$  )

### Kontrol Kemampuan Penampang Akibat Tulangan Rangkap

1. Tulangan yang terpasang.

Tulangan tarik : 6 D 19 dengan  $A_{\text{Starik terpasang}} = 1700,31 \text{ mm}^2$

Tulangan tekan ; 3 D 19 dengan  $A_{\text{Stekan terpasang}} = 850,16 \text{ mm}^2$

2. Kontrol baja tekan mengalami leleh / belum leleh.

$$\rho_{\text{tul. Tarik}} = \frac{A_s}{bw \times d} = \frac{1700,31 \text{ mm}^2}{220 \text{ mm} \times 270,5 \text{ mm}}$$

$$\rho_{\text{tul. Tekan}} = \frac{A_s'}{bw \times d} = \frac{850,16 \text{ mm}^2}{220 \text{ mm} \times 270,5 \text{ mm}}$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0,0143 \geq \frac{0,85 \times 0,8 \times 35 \text{ Mpa} \times 59,5 \text{ mm}}{420 \text{ Mpa} \times 270,5 \text{ mm}} \times \frac{600}{600 - 420 \text{ Mpa}}$$

$0,0143 < 0,04155 \rightarrow$  Artinya : Baja tekan belum leleh

3. Dengan menggunakan cara *trial and error*, maka nilai  $f_s'$  awal diasumsikan terlebih dahulu kemudian dilakukan perhitungan sehingga didapat nilai  $f_s$  yang baru dengan

syarat nilai  $f_s$  yang baru nilainya harus mendekati nilai  $f_s$ 'awal yang diasumsikan.

$$f_{s \text{ asumsi}} = 100 \text{ Mpa}$$

Menentukan nilai  $a$  :

$$a = \frac{(A_{s \text{ tarikterpasang}} \times f_y) - (A_{s \text{ tekanterpasang}} \times f_{s \text{ asumsi}})}{0,85 \times f_c' \times b_w}$$

$$\frac{(1700,31 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ Mpa}) - (850,16 \text{ mm}^2 \times 100 \text{ Mpa})}{0,85 \times 35 \text{ Mpa} \times 220 \text{ mm}}$$

$$= 96,121 \text{ mm}$$

Menentukan garis netral  $C$  :

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{96,121 \text{ mm}}{0,8} = 120,15 \text{ mm}$$

Menghitung regangan baja tekan dengan perbandingan segitiga.

$$\varepsilon_s' = \frac{C - d'}{C} \times \varepsilon_{cu}' < \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{120,15 \text{ mm} - 59,5 \text{ mm}}{120,15 \text{ mm}} \times 0,003 < \varepsilon_y = \frac{420 \text{ Mpa}}{2 \times 10^5}$$

$$\varepsilon_s' = 0,0015 < \varepsilon_y = 0,0021$$

Tinggi tegangan baja tekan ( $f_s'$ )

$$f_s' = \varepsilon_s' \times E_s$$

$$f_s' = 0,0015 \times 200000 = 302,8714 \text{ Mpa}$$

4. Sehingga didapat momen nominal ( $M_{n \text{ penampang}}$ ) :

$$M_n = (A_s \times f_y - A_s' \times f_s') \times \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \times f_s' \times (d - d')$$

$$M_n = (1700,31 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ Mpa} - 850,16 \text{ mm}^2 \times 302,87 \text{ Mpa})$$

$$\times \left( 270,5 \text{ mm} - \frac{96,121 \text{ mm}}{2} \right) + 850,16 \text{ mm}^2 \times 302,87 \text{ Mpa}$$

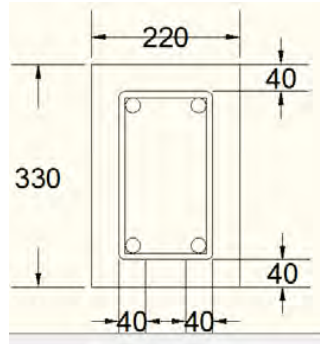
$$\times (270,5 \text{ mm} - 59,5 \text{ mm})$$

$$M_n = 155.905.221,4 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$155.905.221,4 \text{ Nmm} > 78.976.750 \text{ Nmm} \dots \text{Memenuhi}$$

Desain penulangan lentur balok bordes tumpuan terlampir dalam gambar 5.8.



Gambar 5. 8 Desain Penulangan Lentur Balok Anak BA 4 Tumpuan

Daerah Lapangan.

$$M_u = 86.286.420 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,8}$$

$$= \frac{86.286.420 \text{ N.mm}}{0,79}$$

$$= 107.858.025 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{107.858.025 \text{ N.mm}}{220 \text{ mm} \times (270,5 \text{ mm})^2} = 6,7$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{14,118} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,118 \times 6,7}{420 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$= 0,0183$$

karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$ , maka  $\rightarrow \rho_{\text{pakai}} = 0,0183$

$$\begin{aligned} A_{\text{Starik}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0183 \times 220 \text{ mm} \times 270,5 \text{ mm} \\ &= 1090,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan butuh :

$$n = \frac{1090,4 \text{ mm}^2}{0,25 \times 3,14 \times (19 \text{ mm})^2} = 3,85$$

Dipasang tulangan 6 Ø 19 mm (  $A_{\text{spasang}} = 1700,31 \text{ mm}^2$  )

Jarak tulangan ;

$$S = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{\text{sengkang}}) - (n \times \phi_{\text{tul.lentur}})}{n - 1}$$

$$S = \frac{180 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (6 \text{ tul} \times 19 \text{ mm})}{6 \text{ tul} - 1}$$

$S = 1,2 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$  ....tulangan dipasang dua lapis

$$\begin{aligned} A_{\text{tekan}} &= 0,5 \times A_{\text{Starik}} \\ &= 0,5 \times 1090,4 \text{ mm}^2 \\ &= 545,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan 3 Ø 19 mm (  $A_{\text{spasang}} = 850,16 \text{ mm}^2$  )

### Kontrol Kemampuan Penampang Akibat Tulangan Rangkap

1. Tulangan yang terpasang.  
Tulangan tarik : 6 D 19 dengan  $A_{\text{Starik terpasang}} = 1700,31 \text{ mm}^2$   
Tulangan tekan : 3 D 19 dengan  $A_{\text{tekan terpasang}} = 850,16 \text{ mm}^2$
2. Kontrol baja tekan mengalami leleh / belum leleh.

$$\rho_{\text{tul. Tarik}} = \frac{A_s}{bw \times d} = \frac{1700,31 \text{ mm}^2}{220 \text{ mm} \times 270,5 \text{ mm}}$$

$$\rho_{\text{tul. Tekan}} = \frac{As'}{bw \times d} = \frac{850,16 \text{ mm}^2}{220 \text{ mm} \times 270,5 \text{ mm}}$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times \beta_1 \times fc' \times d'}{fy \times d} \times \frac{600}{600 - fy}$$

$$0,0143 \geq \frac{0,85 \times 0,8 \times 35 \text{ Mpa} \times 59,5 \text{ mm}}{420 \text{ Mpa} \times 270,5 \text{ mm}} \times \frac{600}{600 - 420 \text{ Mpa}}$$

0,0143 < 0,04155 → Artinya : Baja tekan belum leleh

3. Dengan menggunakan cara *trial and error*, maka nilai  $fs'$  awal diasumsikan terlebih dahulu kemudian dilakukan perhitungan sehingga didapat nilai  $fs$  yang baru dengan syarat nilai  $fs$  yang baru nilainya harus mendekati nilai  $fs'$  awal yang diasumsikan.

$$fs_{\text{asumsi}} = 100 \text{ Mpa}$$

Menentukan nilai a :

$$a = \frac{(As_{\text{tarik terpasang}} \times fy) - (As_{\text{tekan terpasang}} \times fs_{\text{asumsi}})}{0,85 \times fc' \times bw}$$

$$= \frac{(1700,31 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ Mpa}) - (850,16 \text{ mm}^2 \times 100 \text{ Mpa})}{0,85 \times 35 \text{ Mpa} \times 220 \text{ mm}}$$

$$= 96,121 \text{ mm}$$

$$= 96,121 \text{ mm}$$

Menentukan garis netral C :

$$C = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{96,121 \text{ mm}}{0,8} = 120,15 \text{ mm}$$

Menghitung regangan baja tekan dengan perbandingan segitiga.

$$\epsilon_s' = \frac{C - d'}{C} \times \epsilon_{cu}' < \epsilon_y = \frac{fy}{Es}$$

$$\epsilon_s' = \frac{120,15 \text{ mm} - 59,5 \text{ mm}}{120,15 \text{ mm}} \times 0,003 < \epsilon_y = \frac{420 \text{ Mpa}}{2 \times 10^5}$$

$$\epsilon_s' = 0,0015 < \epsilon_y = 0,0021$$

Tinggi tegangan baja tekan ( $fs'$ )

$$f_s' = \varepsilon_s' \times E_s$$

$$f_s' = 0,0015 \times 200000 = 302,8714 \text{ Mpa}$$

4. Sehingga didapat momen nominal ( $Mn_{\text{penampang}}$ ) :

$$Mn = (As \times fy - As' \times fs') \times \left( d - \frac{a}{2} \right) + As' \times fs' \times (d - d')$$

$$Mn = (1700,31 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ Mpa} - 850,16 \text{ mm}^2 \times 302,87 \text{ Mpa})$$

$$\times \left( 270,5 \text{ mm} - \frac{96,121 \text{ mm}}{2} \right) + 850,16 \text{ mm}^2 \times 302,87 \text{ Mpa}$$

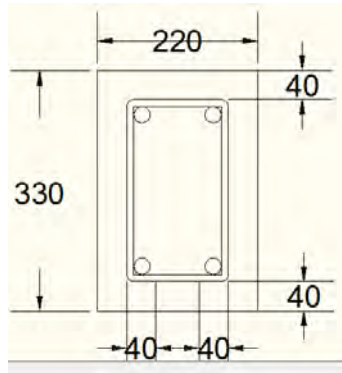
$$\times (270,5 \text{ mm} - 59,5 \text{ mm})$$

$$Mn = 155.905.221,4 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$155.905.221,4 \text{ Nmm} > 86.286.420 \text{ Nmm} \dots \text{Memenuhi}$$

Desain penulangan lentur balok bordes lapangan terlampir dalam gambar 5.9.



Gambar 5. 9 Desain Penulangan Lentur Balok Anak BA4 Lapangan

Perhitungan Tulangan Geser

Gaya Geser Balok BA 4.

$$Vu = 49.346.280 \text{ N}$$



Luas tulangan ( $A_v$ ) :  $\leftrightarrow$  digunakan = type 2 kaki  
 $\leftrightarrow$  digunakan =  $\varnothing$  10 mm  
 $\leftrightarrow$  luas butuh =  $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2$   
= 78,57 mm<sup>2</sup>

Ketentuan Design.

$V_c = 0,17 \times b_w \times d \times \sqrt{f_c'} \dots\dots$  Sesuai **SNI 03-2847-2013**

***Psl 11.2.1.1.***

$V_c = 0,17 \times 220 \text{ mm} \times 270,5 \text{ mm} \times \sqrt{35 \text{ Mpa}}$

$V_c = 59.851.204 \text{ N}$

$\phi V_c = 0,75 \times 59.851.204 \text{ N} = 44.888.403 \text{ N}$

Kebutuhan tulangan geser

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka didapatkan kondisi:

$V_u > 0,5 \phi V_c \dots\dots$  Sesuai **SNI 03-2847-2013 Psl 11.4.6.1**,  
49.346.280 N > 22.444.202 N

Berdasarkan kondisi diatas maka dapat disimpulkan bahwa balok BA4 memerlukan tulangan geser, dengan memakai  $A_v$  min yang dapat dicari sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 Psl 11.4.6.3**, dengan rumus sebagai berikut :

$0,35 \times b_w \times s / f_y < 0,062 \times b_w \times s \times \sqrt{f_c'} / f_y$

$0,35 \times 220 \times 100 / 420 < 0,062 \times 220 \times 100 \times \sqrt{35 \text{ Mpa}} / 420$

$18,33 \text{ mm}^2 < 19,212 \text{ mm}^2$

Maka nilai  $A_v$  min yang dipakai adalah 18,33 mm<sup>2</sup>

Dimana nilai  $S = 100$ mm ditentukan dengan syarat

$S < d/2 \dots\dots$  Sesuai **SNI 03-2847-2013 Psl 11.4.5.1**,

$S < 270,5/2 = 135,25$ mm

Berdasarkan dengan peraturan **SNI 03-2847-2013 Psl 11.4.7.2**, nilai  $V_s$  perlu dapat dicari dengan rumus :

$V_{S\text{perlu}} = A_v \times f_y \times d / s$   
= 78,57 x 420 x 270,5 / 100  
= 89.265 N

Kontrol

$$1. A_v \geq A_{v_{\min}}$$

$$78,57 \text{ mm}^2 \geq 18,33 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots \text{Memenuhi}$$

$$2. V_s < V_s \text{ max}$$

$$V_s \text{ max} = \sqrt{f_c'} \times 0,66 \times b_w \times d \dots\dots\dots \text{Sesuai SNI 03-2847-2013 Psl 11.4.7.9.}$$

$$V_s \text{ max} = \sqrt{35} \times 0,66 \times 220 \text{ mm} \times 270,5 \text{ mm}$$

$$V_s \text{ max} = 232.363,4992 \text{ N}$$

$$89.265 \text{ N} < 232.363,4992 \text{ N} \dots\dots\dots \text{Memenuhi}$$

$$3. (\phi \times (V_c + V_{S_{\text{tul. Terpasang}}})) \geq V_u$$

$$(0,75 \times (59.851.204 + 89.265)) \geq 49.346.280 \text{ N}$$

$$111.837,15 \text{ N} > 49.346.280 \text{ N} \dots\dots\dots \text{Memenuhi}$$

Dipasang tulangan  $\emptyset$  10-100

## **BAB VI**

### **PEMBEBANAN DAN ANALISA STRUKTUR**

#### **6.1. Umum**

Struktur utama merupakan komponen utama dimana kekakuannya mempengaruhi perilaku gedung tersebut. Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun beban lateral yang terdiri dari pembebanan gempa serta angin. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 03-2847-2013, pembebanan angin mengacu pada SNI 03-1727-2013, dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 03-1726-2012.

#### **6.2. Data Perencanaan**

Data-data perencanaan yang diperlukan dalam Gedung *Wind Palace tower* ini adalah sebagai berikut:

- Mutu Beton ( $f'c$ ) = 35 Mpa
- Mutu Baja Tulangan ( $f_y$ ) = 420 Mpa
- Fungsi Bangunan = Apartment
- Tinggi Bangunan = 136 m
- Jumlah Lantai = 34 Lantai
- Tinggi per Lantai = 4m
- Lokasi Bangunan = Surabaya
- Kelas Situs = SD

#### **6.3. Analisa Beban Angin**

Selain beban gempa beban lateral yang perlu diperhitungkan dalam pemodelan struktur utama gedung ini adalah beban angin yang mengacu pada SNI 03 1727-2013, dan disesuaikan dengan peraturan ASCE 7-05 untuk input beban angin pada program SAP2000. Tipe struktur yang dihitung dalam Tugas Akhir ini merupakan bangunan gedung tertutup yang berdasarkan tabel

26.6.1 dan pasal 26.9.1 SNI 03-1727-2013 memiliki faktor arah angin ( $K_d$ ) dan efek tiupan angina ( $G$ ) sebesar 0,85, dan berdasarkan SNI 03-1727-2013 pasal 26.8.1 memiliki nilai  $K_{zt}$  sebesar 1,0

Dengan melihat daerah sekitar dari gedung Tugas Akhir ini yang merupakan daerah perkotaan atau pinggiran kota, didapat kekasaran permukaan B, dan kategori eksposur B berdasarkan SNI 03-1727-2013 pasal 26.7.2.

Berdasarkan tabel 26.9-1 didapatkan nilai  $\alpha = 7$ , dan  $Z_g = 365,76\text{m}$  yang dapat dilihat pada gambar 6.1.

| <i>Dalam metrik</i> |          |            |           |           |           |           |      |             |       |                |
|---------------------|----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|-------------|-------|----------------|
| Eksposur            | $\alpha$ | $Z_0$ (ft) | $\hat{a}$ | $\hat{b}$ | $\bar{a}$ | $\bar{b}$ | c    | $\ell$ (ft) | $\Xi$ | $Z_{min}$ (m)* |
| B                   | 7,0      | 365,76     | 1/7       | 0,84      | 1/4,0     | 0,45      | 0,30 | 97,54       | 1/3,0 | 9,14           |
| C                   | 9,5      | 274,32     | 1/9,5     | 1,00      | 1/6,5     | 0,65      | 0,20 | 152,4       | 1/5,0 | 4,57           |
| D                   | 11,5     | 213,36     | 1/11,5    | 1,07      | 1/9,0     | 0,80      | 0,15 | 198,12      | 1/8,0 | 2,13           |

Gambar 6. 1 Nilai  $\alpha$  dan  $Z_g$

Nilai koefisien eksposur tekanan velositas ( $K_z$ ), berdasarkan SNI 03-1727-2013 pasal 27.3.1..

dapat dicari dengan perumusan:

$$K_z = 2,01 \times (Z/Z_g)^{(2/\alpha)}$$

Dengan perumusan seperti diatas didapatkan nilai  $K_z$  sebesar 1,6094.

Dikarenakan bentuk gedung yang memanfaatkan aliran angin, maka kecepatan angin yang terjadi pada gedung mengalami pembesaran sebesar dua kali, dimana kecepatan angin yang diperbesar dapat dicari dengan perumusan fluida dengan rumus:

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

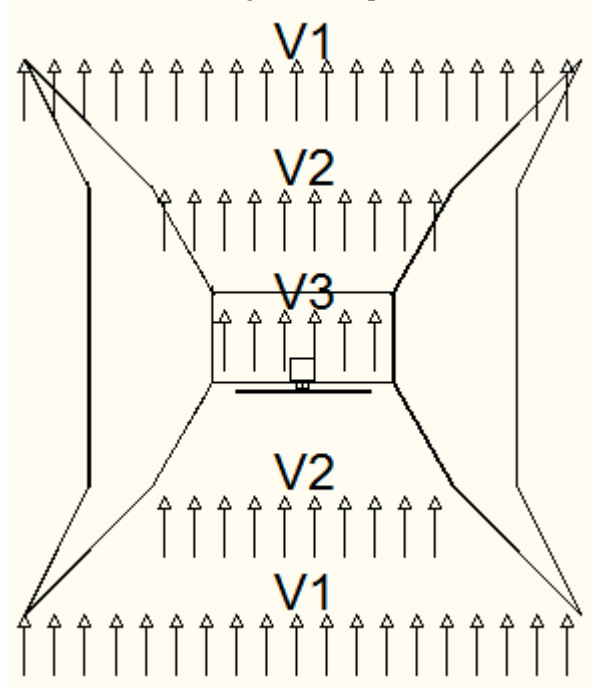
Dimana:

$A$  = luasan permukaan ( $\text{m}^2$ )

$V$  = kecepatan angin ( $\text{m/s}$ )

Dengan perumusan seperti diatas, didapatkan nilai kecepatan angin dasar yang terjadi pada gedung ini seperti yang terlampir

pada gambar 6.2. akibat percepatan aliran udara adalah  $V1 = 30$  m/s,  $V2 = 52,5$  m/s,  $V3 = 84$  m/s, dimana pada pengerjaan Tugas Akhir ini penulis menggunakan kecepatan angin maksimum sebesar 92,41 m/s untuk arah memanjang, dan 30 m/s pada arah lainnya. Dikarenakan beban angin vertical yang tidak bisa diinput langsung secara otomatis pada program SAP2000, maka beban angin vertical harus dihitung dan di input secara manual.



Gambar 6. 2 Aliran Kecepatan Angin

Koefesien tekanan internal atau  $GC_{pi}$  didapatkan berdasarkan SNI 03-1727-2013 tabel 26.11-1, yang dilampirkan dalam gambar 6.3.

| Sistem Penahan Beban Angin Utama dan Komponen dan Kladding |   | Semua Ketinggian |
|--|---|------------------|
| Tabel 26.11-1  | Koefisien Tekanan Internal, ( $GC_{pi}$ ) | Dinding & Atap   |
| Bangunan Tertutup, Tertutup Sebagian, dan Terbuka          |   |                  |
| Klasifikasi Ketertutupan                                   | $(GC_{pi})$                               |                  |
| Bangunan gedung terbuka                                    | 0,00                                      |                  |
| Bangunan gedung tertutup sebagian                          | + 0,55<br>- 0,55                          |                  |
| Bangunan gedung tertutup                                   | + 0,18<br>- 0,18                          |                  |

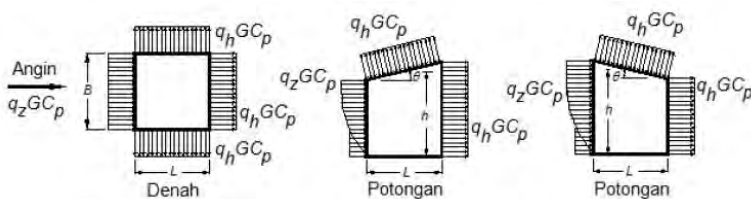
Gambar 6. 3 Koefesien Tekanan Internal

Berdasarkan SNI 03-1727-2013 pasal 27.3.2. tekanan velositas dapat dicari dengan perumusan:

$$q_z = 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2$$

Dengan perumusan diatas didapatkan hasil  $q_{z1} = 754,7078 \text{ N/m}^2$ .

Nilai Koefesien tekanan eksternal ( $C_p$ ), didapatkan berdasarkan gambar 27.4.3. SNI 03-1727-2013, dimana atap yang didesain dalam bangunan gedung ini merupakan atap miring sepihak dengan sudut  $=10^0$ , dan  $L/B = 1,004$ , yang dilampirkan dalam gambar 6.4.



| Sistem Penahan Beban Angin Utama – Bagian 1  |   |                  |                  |               |              |             |             |            |  |      |      |      |
|--|---|------------------|------------------|---------------|--------------|-------------|-------------|------------|--|------|------|------|
| Gambar 27.4-1 (Lanjutan)   | Koefisien tekanan eksternal, $C_p$                | Dinding dan Atap |                  |               |              |             |             |            |  |      |      |      |
| Bangunan gedung tertutup, tertutup sebagian  |   |                  |                  |               |              |             |             |            |  |      |      |      |
| <b>Koefisien tekanan dinding, <math>C_p</math></b>                                       |   |                  |                  |               |              |             |             |            |  |      |      |      |
| Permukaan  | L/B   | $C_p$            | Digunakan dengan |               |              |             |             |            |  |      |      |      |
| Dinding di sisi angin datang   | Seluruh nilai                                     | 0,8              | $q_z$            |               |              |             |             |            |  |      |      |      |
|  | 0 – 1   | - 0,5            | $q_h$            |               |              |             |             |            |  |      |      |      |
| Dinding di sisi angin pergi  | 2   | - 0,3            |                  |               |              |             |             |            |  |      |      |      |
|  | ≥ 4   | - 0,2            |                  |               |              |             |             |            |  |      |      |      |
| Dinding tepi   | Seluruh nilai                                     | - 0,7            | $q_h$            |               |              |             |             |            |  |      |      |      |
| <b>Koefisien tekanan atap, <math>C_p</math>, untuk digunakan dengan <math>q_h</math></b> |   |                  |                  |               |              |             |             |            |  |      |      |      |
| Arah angin   | Di sisi angin datang<br>Sudut, $\theta$ (derajat) |                  |                  |               |              |             |             |            | Di sisi angin pergi<br>Sudut, $\theta$ (derajat) |      |      |      |
|  | h/L   | 10               | 15               | 20            | 25           | 30          | 35          | 45         | ≥ 60#  | 10   | 15   | ≥ 20 |
| Tegak lurus terhadap<br>bubungan<br>untuk<br>$\theta \geq 10^\circ$                      | ≤ 0,25  | -0,7<br>-0,18    | -0,5<br>0,0*     | -0,3<br>0,2   | -0,2<br>0,3  | -0,2<br>0,3 | 0,0*<br>0,4 | 0,0        | 0,01 $\theta$                                    | -0,3 | -0,5 | -0,6 |
|  | 0,5   | -0,9<br>-0,18    | -0,7<br>-0,18    | -0,4<br>0,0*  | -0,3<br>0,2  | -0,2<br>0,2 | -0,2<br>0,3 | 0,0<br>0,4 | 0,01 $\theta$                                    | -0,5 | -0,5 | -0,6 |
|  | ≥ 1,0   | -1,3**<br>-0,18  | -1,0<br>-0,18    | -0,7<br>-0,18 | -0,5<br>0,0* | -0,3<br>0,2 | -0,2<br>0,2 | 0,0<br>0,4 | 0,01 $\theta$                                    | -0,7 | -0,6 | -0,6 |

Gambar 6. 4 Koefesien Internal

Tekanan angin desain dapat ditentukan sesuai SNI 03-1727-2013 pasal 27.4.1. dengan perumusan seperti berikut :

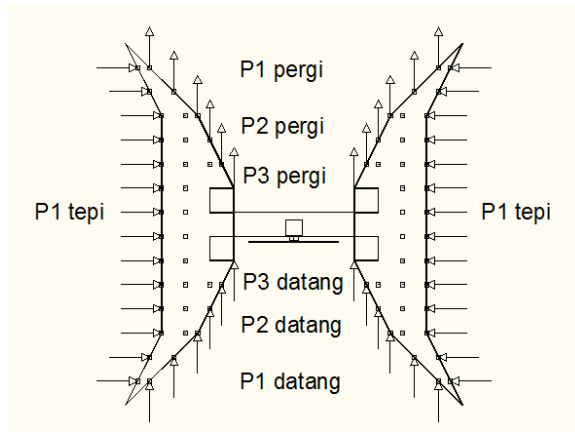
$$p = q \times G \times C_p - q \times G C_{pi}$$

Sesuai dengan perumusan diatas didapatkan hasil tekanan angin datang, pergi, tepi, serta atap sebesar yang dimasukkan sebagai beban statis seperti yang terlampir pada gambar 6.5., dan tabel 6.1.

Tabel 6. 1 Beban Angin

|           |                  |
|-----------|------------------|
| Beban     | N/m <sup>2</sup> |
| P1 Datang | 355,2456         |
| P1 Pergi  | -429,8472        |
| P1 Tepi   | -550,6307        |
| P1 Atap   | -912,9813        |
| P2 Datang | 1087,9397        |
| P2 pergi  | -1316,4071       |

|           |            |
|-----------|------------|
| P3 Datang | 2785,1257  |
| P3 Pergi  | -3370,0021 |



Gambar 6. 5 Beban Statis Angin

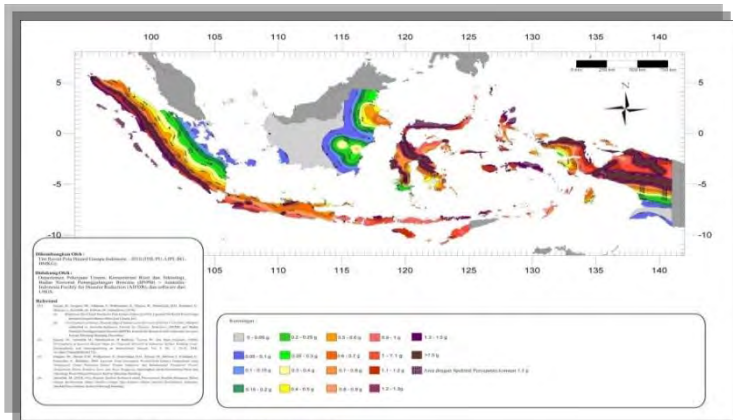
#### 6.4. Analisa Beban Gempa

Pemodelan struktur utama suatu gedung diperlukan dalam analisis beban gempa. Gedung yang direncanakan dalam Tugas Akhir ini merupakan bangunan dengan bentuk yang tidak beraturan, sehingga harus dianalisa dengan analisa respons dinamik. Gedung *Wind Palace Tower* memiliki total 34 lantai dengan tinggi total 136 meter.

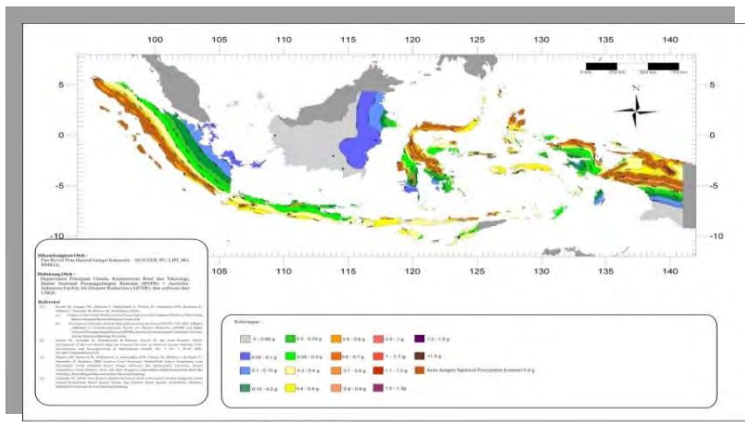
##### 6.4.1. Percepatan Respon Spektrum

Dalam analisa beban gempa, diperlukan data percepatan respon spectrum, dimana penentuan wilayah gempa dapat dilihat sesuai SNI 03-1726-2012. Gedung *Wind Palace Tower* berlokasi di Surabaya. Berdasarkan SNI 03-1726-2012, didapatkan nilai  $S_s = 0,7g$ , dan  $S_1 = 0,25g$ . Penentuan nilai tersebut dicari melalui gambar yang terlampir pada gambar 6.6. dan gambar 6.7.





Gambar 6. 6 Peta Untuk Menentukan Harga Ss



Gambar 6. 7 Peta Untuk Menentukan Harga s1

### 6.4.2. Resiko dan Faktor Keutamaan

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.1.2. tabel 1 dan 2, terlampir pada gambar 6.8, dan 6.9, bangunan ini termasuk dalam kategori resiko II, dengan nilai faktor keutamaan sebesar 1.

|   |    |
|---|----|
| <p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul> | II |
|---|----|

Gambar 6. 8 Kategori Resiko Gedung

| Kategori risiko | Faktor keutamaan gempa, $I_e$ |
|-----------------|-------------------------------|
| I atau II       | 1,0                           |
| III             | 1,25                          |
| IV              | 1,50                          |

Gambar 6. 9 Faktor Keutamaan Gempa

#### 6.4.3. Koefisien Situs

Berdasarkan nilai  $S_s$ ,  $S_1$ , dan kelas situs, maka menurut tabel koefisien situs (SNI 1726-2012 pasal 6.2.) didapatkan nilai:

- Untuk  $S_s = 0,7$ , maka  $F_a = 1,24$
- Untuk  $S_1 = 0,25$ , maka  $F_v = 1,9$

#### 6.4.4. Faktor Implikasi

Untuk penentuan respon spectral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu palder amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik, dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi factor percepatan pada perioda pendek ( $F_a$ ) dan pada perioda 1 detik ( $F_v$ ). Besarnya factor amplifikasi bisa ditentukan berdasarkan rumusan berikut:

- $S_{ms} = F_a \times S_s$   
 $= 1,24 \times 0,7 = 0,868$
- $S_{m1} = F_v \times S_1$   
 $= 1,9 \times 0,25 = 0,475$

### 6.4.5. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spectral desain untuk periode ( $S_d_s$ ) dan menyatukan ( $S_d_1$ ) harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

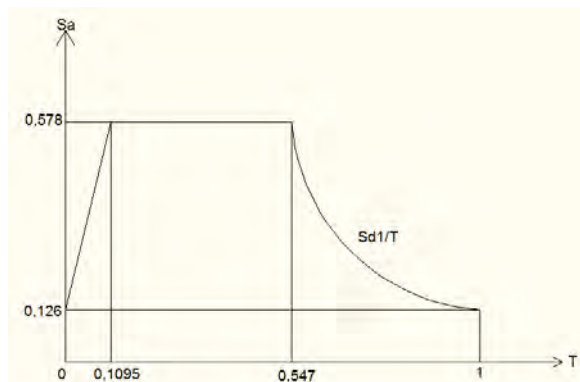
- $S_d_s = 2/3 S_m_s$   
 $= 2/3 \times 0,868$   
 $= 0,578$
- $S_d_1 = 2/3 S_m_1$   
 $= 2/3 \times 0,475$   
 $= 0,3165$

### 6.4.6. Respon Spektrum Desain

Besarnya spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ) harus mengacu pada grafik di bawah ini

- $T_0 = 0,2 S_d_1 / S_d_s$   
 $= 0,2 \times 0,3166 / 0,578$   
 $= 0,10955$
- $T_s = S_d_1 / S_d_s$   
 $= 0,3166 / 0,578$   
 $= 0,547$
- $S_a = S_d_s ( 0,4 + 0,6 T/T_0 )$

Saat  $T=0$ ;  $S_a = 0,4 S_d_s = 0,12664$



Gambar 6. 10 Respon Spektrum

### 6.5. Input SAP

Data-data perencanaan pembebanan Gedung pada Tugas Akhir ini yang digunakan adalah sebagai berikut :

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| Mutu baja ( $f_y$ )   | : 420 Mpa |
| Ketinggian per Lantai | : 4,00 m  |
| Faktor keutamaan      | : 1       |

|                    |   |                       |
|--------------------|---|-----------------------|
| Beban hidup atap   | : |                       |
| Hujan              | = | 20 kg/m <sup>2</sup>  |
| Pekerja            | = | 100 kg/m <sup>2</sup> |
| Beban hidup lantai | : |                       |
| Apartment          | = | 250 kg/m <sup>2</sup> |

|                     |   |                      |
|---------------------|---|----------------------|
| Beban Mati          | : |                      |
| Adukan Finishing    | = | 21 Kg/m <sup>2</sup> |
| Penggantung Plafond | = | 7 Kg/m <sup>2</sup>  |
| Plafond             | = | 11 Kg/m <sup>2</sup> |
| Spesi (2 cm)        | = | 42 Kg/m <sup>2</sup> |
| Plumbing & Ducting  | = | 40 Kg/m <sup>2</sup> |

\*berat sendiri dihitung oleh SAP 2000

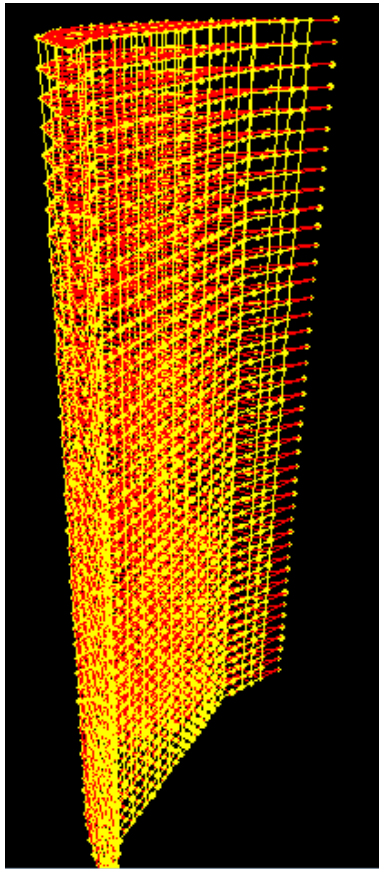
#### Beban Angin Vertikal

|           |   |                          |
|-----------|---|--------------------------|
| Atap      | = | 96,98 Kg/m <sup>2</sup>  |
| P1 datang | = | 37.73 Kg/m <sup>2</sup>  |
| P1 pergi  | = | 45.66 Kg/m <sup>2</sup>  |
| P1 tepi   | = | 58.49 Kg/m <sup>2</sup>  |
| P2 datang | = | 122.26 Kg/m <sup>2</sup> |
| P2 pergi  | = | 147.95 Kg/m <sup>2</sup> |
| P3 datang | = | 312.99 Kg/m <sup>2</sup> |
| P3 pergi  | = | 378.72 Kg/m <sup>2</sup> |

\*Perhitungan beban angin terlampir pada bab 6.3.

|                |   |               |
|----------------|---|---------------|
| Beban Jembatan | = | 36.446,125 Kg |
|----------------|---|---------------|

\*Perhitungan beban jembatan terlampir pada bab 8



Gambar 6. 11 Pemodelan Struktur Pada SAP2000

Berdasarkan analisis program SAP2000, didapatkan periode gedung *Wind Palace Tower* sebesar 3,0434 detik.

#### **6.6. Kontrol Partisipasi Massa**

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.9.1 disebutkan bahwa perhitungan respon dinamik suatu struktur harus sedemikian rupa

sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah.

Hasil partisipasi massa yang didapat dari analisis SAP 2000 terlampir pada table 6.2.

Tabel 6. 2 Rasio Partisipasi Massa

| OutputCase | StepType | StepNum | SumUX   | SumUY   |
|------------|----------|---------|---------|---------|
| MODAL      | Mode     | 1       | 0       | 0.60977 |
| MODAL      | Mode     | 2       | 0.12422 | 0.60977 |
| MODAL      | Mode     | 3       | 0.63345 | 0.60977 |
| MODAL      | Mode     | 4       | 0.65714 | 0.60977 |
| MODAL      | Mode     | 5       | 0.65714 | 0.79106 |
| MODAL      | Mode     | 6       | 0.78559 | 0.79106 |
| MODAL      | Mode     | 7       | 0.79644 | 0.79106 |
| MODAL      | Mode     | 8       | 0.79644 | 0.86226 |
| MODAL      | Mode     | 9       | 0.79914 | 0.86226 |
| MODAL      | Mode     | 10      | 0.86178 | 0.86226 |
| MODAL      | Mode     | 11      | 0.86178 | 0.89876 |
| MODAL      | Mode     | 12      | 0.86491 | 0.89876 |
| MODAL      | Mode     | 13      | 0.87037 | 0.89876 |
| MODAL      | Mode     | 14      | 0.90246 | 0.89876 |
| MODAL      | Mode     | 15      | 0.90246 | 0.9211  |
| MODAL      | Mode     | 16      | 0.90246 | 0.92122 |
| MODAL      | Mode     | 17      | 0.90263 | 0.92122 |

Berdasarkan tabel diatas didapatkan partisipasi massa arah  $X \geq 90\%$  pada moda ke 14 sebesar 90,246%, dan untuk partisipasi massa arah  $Y \geq 90\%$  pada moda ke 15 sebesar 92,11%. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% sesuai dengan SNI-03-1726-2012.

### 6.7. Kontrol Gaya Geser Dalam (*Base Shear*)

Koefisien respons seismic ( $C_s$ ) ditentukan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 pasal 7.8.1.1.

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

Dimana:

$$S_{DS} = 0.5787$$

$$I_e = 1$$

$$R = 7$$

Nilai R yang dipakai yaitu R untuk Sistem ganda SRPMK dengan dinding geser beton bertulang khusus = 7,0. (SNI 03-1726-2012 Tabel 9)

$$C_s = 0,5787/(7/1) = 0,0827$$

Dan nilai  $C_s$  tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_s = 0,3167/(3,0434 \times (7/1)) = 0,01487$$

Dan nilai  $C_s$  tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e > 0,01$$

$$C_s = 0,044 \times 0,5787 \times 1 > 0,01$$

$$C_s = 0,0254628 > 0,01$$

Maka nilai  $C_s$  diambil 0,0254628

Perhitungan Gaya Geser Dasar

Gaya geser yang telah didapatkan dari perhitungan di atas akan didistribusikan secara vertikal ke masing-masing lantai sesuai dengan SNI 03-1726-2012.

$$V = C_s W$$

di mana:

$$C_s = 0,0254628$$

$$W = 129.254.302.8 \text{ kg (SAP2000)}$$

$$V = C_s W$$

$$V = 0,0254628 \times 129.254.302,8 = 3.291.176,46 \text{ kg}$$

Jika kombinasi respons untuk geser dasar ragam ( $V_t$ ) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung ( $V$ ) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan  $0,85V/V_t$  (SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.1). Dari hasil analisa struktur menggunakan program bantu SAP didapatkan gaya geser dasar ragam ( $V_t$ ) sebagai berikut :

$$V_{xt} = 3757451.65 \text{ kg}$$

$$V_{yt} = 3949855.72 \text{ kg}$$

Maka untuk arah x,

$$V_{xt} > 0,85V$$

$$3.757.451,65 \text{ kg} > 2.797.499,99 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

Maka untuk arah y,

$$V_{yt} > 0,85V$$

$$3.949.855,72 \text{ kg} > 2.797.499,99 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

Ternyata hasil tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.1. Selanjutnya geser dasar ragam hasil running ulang tersebut akan digunakan sebagai beban gempa desain.

### 6.8. Kontrol Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Untuk menjaga kenyamanan penghuni, mencegah kerusakan non-struktur, dan membatasi peretakan beton yang berlebihan, diperlukan pembatasan simpangan antar lantai.

Nilai dari simpangan antar lantai dihitung dengan aplikasi program bantu struktur yang selanjutnya batasan simpangan dinyatakan dengan perumusan seperti berikut ini:

Berdasarkan dengan SNI 03-1726-2012 pasal 11.1.4, kontrol *drift* dirumuskan sebagai berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I}$$

Dimana:

$\delta_x$  = defleksi pada lantai ke-x



Cd = faktor pembesaran defleksi (5,5) (SNI 1726-2012 tabel 9)  
 I = faktor keutamaan gedung (1)

Tabel 6. 3 Simpangan Antar Lantai Ijin  $\Delta$  <sup>a,b</sup>

| 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 lantai tingkat. | $0,025 h_{sx}$ <sup>c</sup> | $0,020 h_{sx}$ | $0,015 h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>   | $0,010 h_{sx}$              | $0,010 h_{sx}$ | $0,010 h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser batu bata lainnya   | $0,007 h_{sx}$              | $0,007 h_{sx}$ | $0,007 h_{sx}$ |
| Semua struktur lainnya   | $0,020 h_{sx}$              | $0,015 h_{sx}$ | $0,010 h_{sx}$ |

Untuk struktur Sistem ganda SRPMK dengan dinding geser beton bertulang, drift dibatasi sebesar:

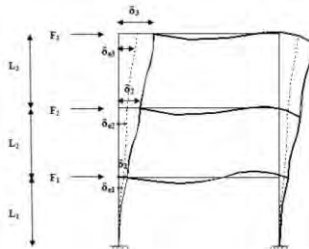
$$\Delta = 0,020 \cdot h_{sx}$$

$$= 0,020 \cdot 4000$$

$$= 80 \text{ mm (untuk semua tingkat)}$$

perhitungan simpangan lantai 1:  $\Delta_1 = \delta_1$

perhitungan simpangan lantai 2-keatas :  $\Delta_2 = (\delta_2 - \delta_1) C_d / I$



Gambar 6. 12 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Dari analisis akibat beban lateral (beban gempa) dengan program SAP 2000, diperoleh nilai simpangan yang terjadi pada struktur yaitu sebagai berikut :

Tabel 6. 4 Simpangan Antar Lantai yang Terjadi Akibat Beban Gempa

| Lantai | Tinggi Lantai | Gempa Arah X |        | Gempa Arah Y |        |
|--------|---------------|--------------|--------|--------------|--------|
|        | hz            | Simpangan    |        | Simpangan    |        |
|        | (m)           | X (mm)       | Y (mm) | X (mm)       | Y (mm) |
| 34     | 4             | 222.1        | 120.3  | 58.1         | 365.6  |
| 33     | 4             | 217.9        | 116.9  | 57.1         | 355.2  |
| 32     | 4             | 213.6        | 113.5  | 56           | 344.7  |
| 31     | 4             | 209.1        | 110    | 54.9         | 334    |
| 30     | 4             | 204.3        | 106.5  | 53.7         | 323    |
| 29     | 4             | 199.3        | 102.8  | 52.4         | 311.7  |
| 28     | 4             | 194          | 99.1   | 51.1         | 300.2  |
| 27     | 4             | 188.5        | 95.3   | 49.7         | 288.6  |
| 26     | 4             | 182.7        | 91.5   | 48.2         | 276.8  |
| 25     | 4             | 176.6        | 75     | 46.7         | 264.7  |
| 24     | 4             | 170.2        | 83.5   | 45           | 252.4  |
| 23     | 4             | 163.5        | 79.4   | 43.3         | 239.9  |
| 22     | 4             | 156.5        | 75.3   | 41.5         | 227.3  |
| 21     | 4             | 149.3        | 71.1   | 39.7         | 214.5  |
| 20     | 4             | 141.9        | 66.9   | 37.8         | 201.8  |
| 19     | 4             | 134.2        | 62.7   | 35.8         | 188.9  |
| 18     | 4             | 126.3        | 58.5   | 33.8         | 176    |
| 17     | 4             | 118.3        | 54.2   | 31.7         | 163.1  |
| 16     | 4             | 110          | 48.7   | 29.6         | 150.2  |
| 15     | 4             | 101.6        | 45.7   | 27.4         | 137.4  |

|       |   |      |      |      |       |
|-------|---|------|------|------|-------|
| 14    | 4 | 93.1 | 41.5 | 25.2 | 124.7 |
| 13    | 4 | 84.5 | 37.4 | 23   | 112.2 |
| 12    | 4 | 75.9 | 33.3 | 20.7 | 100   |
| 11    | 4 | 67.4 | 29.3 | 18.5 | 87.9  |
| 10    | 4 | 58.9 | 25.4 | 16.2 | 76.2  |
| 9     | 4 | 50.5 | 21.7 | 14   | 64.9  |
| 8     | 4 | 42.4 | 18.1 | 11.8 | 54.1  |
| 7     | 4 | 34.5 | 14.7 | 9.7  | 43.9  |
| 6     | 4 | 27.1 | 11.5 | 7.7  | 34.3  |
| 5     | 4 | 20.2 | 8.5  | 5.8  | 25.6  |
| 4     | 4 | 14   | 5.9  | 4    | 17.7  |
| 3     | 4 | 8.6  | 3.7  | 2.5  | 10.9  |
| 2     | 4 | 4.3  | 1.8  | 1.3  | 5.5   |
| 1     | 4 | 1.3  | 0.5  | 0.4  | 1.6   |
| DASAR | 4 | 0    | 0    | 0    | 0     |

Tabel 6. 5 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X

| Lantai | Tinggi Lantai | Gempa Arah X |             |       |    |      |
|--------|---------------|--------------|-------------|-------|----|------|
|        | hsx           | dei          | dei+1 - dei | Di    | Da | Ket. |
| 34     | 4             | 222.1        | 4.2         | 23.1  | 80 | OK   |
| 33     | 4             | 217.9        | 4.3         | 23.65 | 80 | OK   |
| 32     | 4             | 213.6        | 4.5         | 24.75 | 80 | OK   |
| 31     | 4             | 209.1        | 4.8         | 26.4  | 80 | OK   |
| 30     | 4             | 204.3        | 5           | 27.5  | 80 | OK   |
| 29     | 4             | 199.3        | 5.3         | 29.15 | 80 | OK   |
| 28     | 4             | 194          | 5.5         | 30.25 | 80 | OK   |

|       |   |       |        |         |    |    |
|-------|---|-------|--------|---------|----|----|
| 27    | 4 | 188.5 | 5.8    | 31.9    | 80 | OK |
| 26    | 4 | 182.7 | 6.1    | 33.55   | 80 | OK |
| 25    | 4 | 176.6 | 6.4    | 35.2    | 80 | OK |
| 24    | 4 | 170.2 | 6.7    | 36.85   | 80 | OK |
| 23    | 4 | 163.5 | 7      | 38.5    | 80 | OK |
| 22    | 4 | 156.5 | 7.2    | 39.6    | 80 | OK |
| 21    | 4 | 149.3 | 7.4    | 40.7    | 80 | OK |
| 20    | 4 | 141.9 | 7.7    | 42.35   | 80 | OK |
| 19    | 4 | 134.2 | 7.9    | 43.45   | 80 | OK |
| 18    | 4 | 126.3 | 8      | 44      | 80 | OK |
| 17    | 4 | 118.3 | 8.3    | 45.65   | 80 | OK |
| 16    | 4 | 110   | 8.4    | 46.2    | 80 | OK |
| 15    | 4 | 101.6 | 8.5    | 46.75   | 80 | OK |
| 14    | 4 | 93.1  | 8.6    | 47.3    | 80 | OK |
| 13    | 4 | 84.5  | 8.6    | 47.3    | 80 | OK |
| 12    | 4 | 75.9  | 8.5    | 46.75   | 80 | OK |
| 11    | 4 | 67.4  | 8.5    | 46.75   | 80 | OK |
| 10    | 4 | 58.9  | 8.4    | 46.2    | 80 | OK |
| 9     | 4 | 50.5  | 8.1    | 44.55   | 80 | OK |
| 8     | 4 | 42.4  | 7.9    | 43.45   | 80 | OK |
| 7     | 4 | 34.5  | 7.4    | 40.7    | 80 | OK |
| 6     | 4 | 27.1  | -174.9 | -961.95 | 80 | OK |
| 5     | 4 | 202   | 188    | 1034    | 80 | OK |
| 4     | 4 | 14    | 5.4    | 29.7    | 80 | OK |
| 3     | 4 | 8.6   | 4.3    | 23.65   | 80 | OK |
| 2     | 4 | 4.3   | 3      | 16.5    | 80 | OK |
| 1     | 4 | 1.3   | 1.3    | 7.15    | 80 | OK |
| Dasar | 4 | 0     | 0      | 0       | 80 | OK |

Tabel 6. 6 Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y

| Lantai | Tinggi Lantai | Gempa Arah Y |             |        |    |      |
|--------|---------------|--------------|-------------|--------|----|------|
|        | hsx           | dei          | dei+1 - dei | Di     | Da | Ket. |
| 34     | 4             | 120.3        | 3.4         | 18.7   | 80 | OK   |
| 33     | 4             | 116.9        | 3.4         | 18.7   | 80 | OK   |
| 32     | 4             | 113.5        | 3.5         | 19.25  | 80 | OK   |
| 31     | 4             | 110          | 3.5         | 19.25  | 80 | OK   |
| 30     | 4             | 106.5        | 3.7         | 20.35  | 80 | OK   |
| 29     | 4             | 102.8        | 3.7         | 20.35  | 80 | OK   |
| 28     | 4             | 99.1         | 3.8         | 20.9   | 80 | OK   |
| 27     | 4             | 95.3         | 3.8         | 20.9   | 80 | OK   |
| 26     | 4             | 91.5         | 16.5        | 90.75  | 80 | OK   |
| 25     | 4             | 75           | -8.5        | -46.75 | 80 | OK   |
| 24     | 4             | 83.5         | 4.1         | 22.55  | 80 | OK   |
| 23     | 4             | 79.4         | 4.1         | 22.55  | 80 | OK   |
| 22     | 4             | 75.3         | 4.2         | 23.1   | 80 | OK   |
| 21     | 4             | 71.1         | 4.2         | 23.1   | 80 | OK   |
| 20     | 4             | 66.9         | 4.2         | 23.1   | 80 | OK   |
| 19     | 4             | 62.7         | 4.2         | 23.1   | 80 | OK   |
| 18     | 4             | 58.5         | 4.3         | 23.65  | 80 | OK   |
| 17     | 4             | 54.2         | 5.5         | 30.25  | 80 | OK   |
| 16     | 4             | 48.7         | 3           | 16.5   | 80 | OK   |
| 15     | 4             | 45.7         | 4.2         | 23.1   | 80 | OK   |
| 14     | 4             | 41.5         | 4.1         | 22.55  | 80 | OK   |
| 13     | 4             | 37.4         | 4.1         | 22.55  | 80 | OK   |
| 12     | 4             | 33.3         | 4           | 22     | 80 | OK   |

|       |   |      |     |       |    |    |
|-------|---|------|-----|-------|----|----|
| 11    | 4 | 29.3 | 3.9 | 21.45 | 80 | OK |
| 10    | 4 | 25.4 | 3.7 | 20.35 | 80 | OK |
| 9     | 4 | 21.7 | 3.6 | 19.8  | 80 | OK |
| 8     | 4 | 18.1 | 3.4 | 18.7  | 80 | OK |
| 7     | 4 | 14.7 | 3.2 | 17.6  | 80 | OK |
| 6     | 4 | 11.5 | 3   | 16.5  | 80 | OK |
| 5     | 4 | 8.5  | 2.6 | 14.3  | 80 | OK |
| 4     | 4 | 5.9  | 2.2 | 12.1  | 80 | OK |
| 3     | 4 | 3.7  | 1.9 | 10.45 | 80 | OK |
| 2     | 4 | 1.8  | 1.3 | 7.15  | 80 | OK |
| 1     | 4 | 0.5  | 0.5 | 2.75  | 80 | OK |
| Dasar | 4 | 0    | 0   | 0     | 80 | OK |

Tabel 6. 7 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah X

| Lantai | Tinggi Lantai | Gempa Arah X |             |      |    |      |
|--------|---------------|--------------|-------------|------|----|------|
|        | hsx           | dei          | dei+1 - dei | Di   | Da | Ket. |
| 34     | 4             | 58.1         | 1           | 5.5  | 80 | OK   |
| 33     | 4             | 57.1         | 1.1         | 6.05 | 80 | OK   |
| 32     | 4             | 56           | 1.1         | 6.05 | 80 | OK   |
| 31     | 4             | 54.9         | 1.2         | 6.6  | 80 | OK   |
| 30     | 4             | 53.7         | 1.3         | 7.15 | 80 | OK   |
| 29     | 4             | 52.4         | 1.3         | 7.15 | 80 | OK   |
| 28     | 4             | 51.1         | 1.4         | 7.7  | 80 | OK   |
| 27     | 4             | 49.7         | 1.5         | 8.25 | 80 | OK   |
| 26     | 4             | 48.2         | 1.5         | 8.25 | 80 | OK   |
| 25     | 4             | 46.7         | 1.7         | 9.35 | 80 | OK   |

|       |   |      |     |       |    |    |
|-------|---|------|-----|-------|----|----|
| 24    | 4 | 45   | 1.7 | 9.35  | 80 | OK |
| 23    | 4 | 43.3 | 1.8 | 9.9   | 80 | OK |
| 22    | 4 | 41.5 | 1.8 | 9.9   | 80 | OK |
| 21    | 4 | 39.7 | 1.9 | 10.45 | 80 | OK |
| 20    | 4 | 37.8 | 2   | 11    | 80 | OK |
| 19    | 4 | 35.8 | 2   | 11    | 80 | OK |
| 18    | 4 | 33.8 | 2.1 | 11.55 | 80 | OK |
| 17    | 4 | 31.7 | 2.1 | 11.55 | 80 | OK |
| 16    | 4 | 29.6 | 2.2 | 12.1  | 80 | OK |
| 15    | 4 | 27.4 | 2.2 | 12.1  | 80 | OK |
| 14    | 4 | 25.2 | 2.2 | 12.1  | 80 | OK |
| 13    | 4 | 23   | 2.3 | 12.65 | 80 | OK |
| 12    | 4 | 20.7 | 2.2 | 12.1  | 80 | OK |
| 11    | 4 | 18.5 | 2.3 | 12.65 | 80 | OK |
| 10    | 4 | 16.2 | 2.2 | 12.1  | 80 | OK |
| 9     | 4 | 14   | 2.2 | 12.1  | 80 | OK |
| 8     | 4 | 11.8 | 2.1 | 11.55 | 80 | OK |
| 7     | 4 | 9.7  | 2   | 11    | 80 | OK |
| 6     | 4 | 7.7  | 1.9 | 10.45 | 80 | OK |
| 5     | 4 | 5.8  | 1.8 | 9.9   | 80 | OK |
| 4     | 4 | 4    | 1.5 | 8.25  | 80 | OK |
| 3     | 4 | 2.5  | 1.2 | 6.6   | 80 | OK |
| 2     | 4 | 1.3  | 0.9 | 4.95  | 80 | OK |
| 1     | 4 | 0.4  | 0.4 | 2.2   | 80 | OK |
| Dasar | 4 | 0    | 0   | 0     | 80 | OK |

Tabel 6. 8 Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah Y

| Lantai | Tinggi Lantai | Gempa Arah Y |             |        |    |      |
|--------|---------------|--------------|-------------|--------|----|------|
|        | hsx           | dei          | dei+1 - dei | Di     | Da | Ket. |
| 34     | 4             | 120.3        | 3.4         | 18.7   | 80 | OK   |
| 33     | 4             | 116.9        | 3.4         | 18.7   | 80 | OK   |
| 32     | 4             | 113.5        | 3.5         | 19.25  | 80 | OK   |
| 31     | 4             | 110          | 3.5         | 19.25  | 80 | OK   |
| 30     | 4             | 106.5        | 3.7         | 20.35  | 80 | OK   |
| 29     | 4             | 102.8        | 3.7         | 20.35  | 80 | OK   |
| 28     | 4             | 99.1         | 3.8         | 20.9   | 80 | OK   |
| 27     | 4             | 95.3         | 3.8         | 20.9   | 80 | OK   |
| 26     | 4             | 91.5         | 16.5        | 90.75  | 80 | OK   |
| 25     | 4             | 75           | -8.5        | -46.75 | 80 | OK   |
| 24     | 4             | 83.5         | 4.1         | 22.55  | 80 | OK   |
| 23     | 4             | 79.4         | 4.1         | 22.55  | 80 | OK   |
| 22     | 4             | 75.3         | 4.2         | 23.1   | 80 | OK   |
| 21     | 4             | 71.1         | 4.2         | 23.1   | 80 | OK   |
| 20     | 4             | 66.9         | 4.2         | 23.1   | 80 | OK   |
| 19     | 4             | 62.7         | 4.2         | 23.1   | 80 | OK   |
| 18     | 4             | 58.5         | 4.3         | 23.65  | 80 | OK   |
| 17     | 4             | 54.2         | 5.5         | 30.25  | 80 | OK   |
| 16     | 4             | 48.7         | 3           | 16.5   | 80 | OK   |
| 15     | 4             | 45.7         | 4.2         | 23.1   | 80 | OK   |
| 14     | 4             | 41.5         | 4.1         | 22.55  | 80 | OK   |
| 13     | 4             | 37.4         | 4.1         | 22.55  | 80 | OK   |
| 12     | 4             | 33.3         | 4           | 22     | 80 | OK   |



|       |   |      |     |       |    |    |
|-------|---|------|-----|-------|----|----|
| 11    | 4 | 29.3 | 3.9 | 21.45 | 80 | OK |
| 10    | 4 | 25.4 | 3.7 | 20.35 | 80 | OK |
| 9     | 4 | 21.7 | 3.6 | 19.8  | 80 | OK |
| 8     | 4 | 18.1 | 3.4 | 18.7  | 80 | OK |
| 7     | 4 | 14.7 | 3.2 | 17.6  | 80 | OK |
| 6     | 4 | 11.5 | 3   | 16.5  | 80 | OK |
| 5     | 4 | 8.5  | 2.6 | 14.3  | 80 | OK |
| 4     | 4 | 5.9  | 2.2 | 12.1  | 80 | OK |
| 3     | 4 | 3.7  | 1.9 | 10.45 | 80 | OK |
| 2     | 4 | 1.8  | 1.3 | 7.15  | 80 | OK |
| 1     | 4 | 0.5  | 0.5 | 2.75  | 80 | OK |
| Dasar | 4 | 0    | 0   | 0     | 80 | OK |

“halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB VII**

### **PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA NON PRATEKAN**

#### **7.1. Umum**

Perhitungan perencanaan stuktur utama non pratekan yang dilakukan mengacu pada ketentuan SNI 03-2847-2013, dan pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 03-1726-2012, yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa. Perencanaan struktur utama non pratekan ini meliputi perencanaan balok induk, kolom, serta hubungan balok kolom. Perencanaan *Wind Palace Tower* hampir seluruh konstruksinya menggunakan beton bertulang biasa, sehingga diperlukan ketelitian antara pengaplikasian *software* bantu sipil untuk perhitungan gaya-gaya pada bab pembebanan dan perhitungan kebutuhan penulangan secara manual.

#### **7.2. Perencanaan Balok Induk**

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Perencanaan balok induk terdiri dari tiga perencanaan tulangan yaitu perencanaan tulangan lentur, tulangan geser dan tulangan torsi. Terdapat beberapa jenis balok induk yang terdapat dalam perencanaan gedung dalam Tugas Akhir ini. Contoh perhitungan yang akan dilampirkan dalam Tugas Akhir ini adalah balok BI 5-8. Hasil perhitungan seluruh perencanaan tulangan terlampir pada tabel 7.1.

##### **Kontrol Dimensi :**

Sesuai dengan *SNI 03-2847-2013, Pasal 21.5.1*, menetapkan persyaratan yang harus dipenuhi untuk komponen struktur pada sistem rangka yang memikul gaya akibat gempa dan direncanakan memikul lentur adalah sebagai berikut :

1. Gaya aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak boleh melebihi  $0,1 \cdot A_g \cdot f_c'$ . → gaya aksial yang terjadi kecil.
2. Bentang bersih minimum komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi manfaat balok. (dalam syarat ini dipakai dimensi kolom terbesar)  
 Bentang bersih ( $L_n$ )  $> 4 \cdot d$   
 $(6000 \text{ mm} - ((\frac{1}{2} \cdot 1600 \text{ mm}) + (\frac{1}{2} \cdot 1600 \text{ mm}))) > 4 \times 918 \text{ mm}$   
 $4400 \text{ mm} > 3672 \text{ mm} \dots \dots \text{Memenuhi.}$
3. Lebar balok tidak boleh kurang dari yang lebih kecil 0,3 h dan 250 mm  
 Lebar ( $b$ )  $> 0,3(990) \text{ mm}$   
 $660 \text{ mm} > 330 \text{ mm} \dots \dots \text{Memenuhi.}$   
 Lebar ( $b$ )  $> 250 \text{ mm} \Leftrightarrow 660 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \dots \dots \text{Memenuhi.}$
4. Lebar balok tidak boleh melebihi lebar kolom ditambah dengan 0,75 lebar kolom. (dalam syarat ini dipakai dimensi kolom terkecil)  
 $660 < 800 + (800 \times 0,75) = 1400 \text{ mm} \dots \dots \text{Memenuhi.}$

### 7.2.1. Perencanaan Tulangan Torsi Balok Induk

Dalam perencanaan tulangan lentur dibutuhkan data perencanaan yang diperlukan meliputi mutu bahan, dimensi dan panjang balok, serta diameter tulangan yang digunakan.

- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 35 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) : 420 Mpa
- Lebar Balok ( $b$ ) : 660 mm
- Tinggi Balok ( $h$ ) : 990 mm
- Tebal Selimut Beton ( $d$ ) : 40 mm
- Tulangan Lentur : 32 mm
- Tulangan Sengkang : 16 mm
- Tulangan Torsi : 32 mm
- Spasi Tulangan izin : 25 mm
- Momen torsi ultimate dari *output* SAP
- Tinggi Manfaat :  
 $d = h - \text{tebal selimut} - \varnothing_{\text{sengkang}} - (1/2 \cdot D_{\text{lentur}})$

$$\begin{aligned}
 &= 990 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - (1/2 \cdot 32 \text{ mm}) \\
 &= 918 \text{ mm} \\
 d' &= \text{Tebal selimut} + \varnothing_{\text{senggang}} + (1/2 \cdot D_{\text{lentur}}) \\
 &= 40 \text{ mm} + 16 \text{ mm} + (1/2 \cdot 32 \text{ mm}) \\
 &= 72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### Kontrol Kebutuhan Tulangan Torsi

Perencanaan tulangan torsi didasarkan dari SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1. yaitu pengaruh puntir dapat diabaikan jika momen puntir terfaktor  $T_u$  kurang dari perumusan berikut:

$$\varnothing 0,083 \lambda \sqrt{f'c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana:

$A_{cp}$  = Luas penampang keseluruhan

$P_{cp}$  = keliling penampang keseluruhan

$\lambda = 1$  (beton normal) SNI 2847 2013 pasal 8.6.1

$\Phi = 0,75$  (faktor reduksi beban torsi) SNI 2847-2013 ps. 9

$$T_u \leq \varnothing 0,083 \lambda \sqrt{f'c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$A_{cp} = b \times h = 660 \times 990 = 653.400 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 (b + h) = 2 (660 + 990) = 3300 \text{ mm}$$

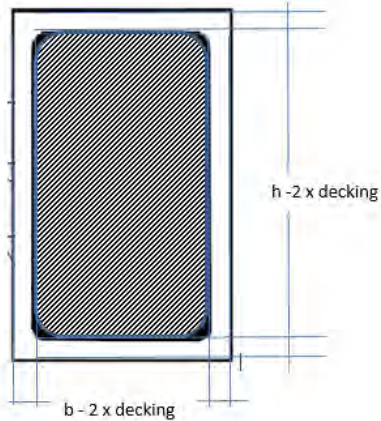
$$T_u = 86.688.700 \text{ Nmm (SAP2000)}$$

$$T_u = 86.688.700 \leq 0,75 \times 0,083 \times 1 \sqrt{35} \left( \frac{653.400^2}{3300} \right)$$

$$86.688.700 \text{ Nmm} \leq 47.645.040,27 \text{ Nmm (NOT OK)}$$

Jadi balok membutuhkan tambahan tulangan torsi.

### Perhitungan Tulangan Lentur Torsi



$$\begin{aligned} A_{oh} &= (660-2 \times 40) \times (990-2 \times 40) \\ &= 527.800 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2((660-2 \times 40) + (990-2 \times 40)) \\ &= 2980 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_o (0.85 \times A_{oh}) = 448.630 \text{ mm}^2$$

$$S = 1000 \text{ mm}$$

Perhitungan Luas begel torsi permeter: (SNI 03-2847-2013

Pasal 11.5.3.6.)

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_u}{2 \times A_o \times f_y \times \cot 45^\circ} \\ \frac{A_t}{1000} &= \frac{86.688.700}{2 \times 527.800 \times 420 \times \cot 45^\circ} \\ A_t &= 230,04 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2002 Pasal 11.5.3.7.)

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} \times P_h \times \left( \frac{f_y \text{ geser}}{f_y \text{ lentur}} \right) \times \cot^2 45^\circ \\ A_l &= \frac{230,04}{1000} \times 2980 \times \left( \frac{420}{420} \right) \times \cot^2 45^\circ \\ A_l &= 685,51 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{Al}{sisi} = \frac{685,51}{4} = 171,38 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan torsi/sisi:

$$n = \frac{Al}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

$$n = \frac{171,38}{171,38}$$

$$n = \frac{171,38}{0,25 \times \pi \times 32^2}$$

$$n = 0.21 \sim 1 \text{ buah}$$

Ditaruh 1 tulangan torsi ditiap sisi balok

### 7.2.2. Perencanaan Tulangan Lentur

Terdapat beberapa jenis balok induk yang terdapat dalam perencanaan gedung dalam Tugas Akhir ini. Contoh perhitungan yang akan dilampirkan dalam Tugas Akhir ini adalah balok BI 5-8.

Dalam perencanaan tulangan lentur dibutuhkan data perencanaan yang diperlukan meliputi mutu bahan, dimensi dan panjang balok, serta diameter tulangan yang digunakan.

- Mutu beton ( $f'c$ ) : 35MPa
  - Mutu baja ( $f'y$ ) : 420 Mpa
  - Lebar Balok ( $b$ ) : 660 mm
  - Tinggi Balok ( $h$ ) : 990 mm
  - Tebal Selimut Beton ( $d$ ) : 40 mm
  - Tulangan Lentur : 32 mm
  - Tulangan Sengkang : 16 mm
  - Tulangan Torsi : 32 mm
  - Spasi Tulangan izin : 25 mm
  - Momen tumpuan -, tumpuan +, dan lapangan dari *output* SAP
  - Tinggi Manfaat :
- d =  $h - \text{tebal selimut} - \varnothing_{\text{sengkang}} - (1/2 \cdot D_{\text{lentur}})$   
 $= 990 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - (1/2 \cdot 32 \text{ mm})$   
 $= 918 \text{ mm}$
- d' =  $\text{Tebal selimut} + \varnothing_{\text{sengkang}} + (1/2 \cdot D_{\text{lentur}})$

$$= 40 \text{ mm} + 16 \text{ mm} + (1/2 \cdot 32 \text{ mm}) = 72 \text{ mm}$$

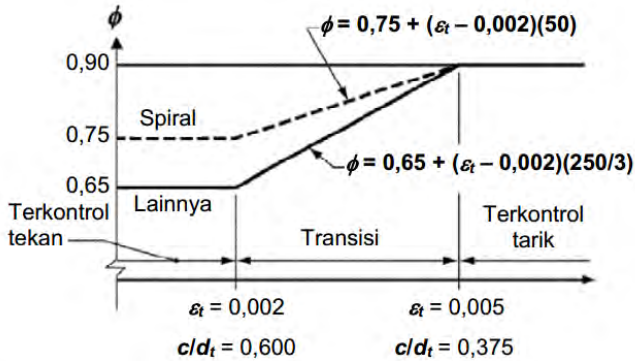
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2 mengenai faktor reduksi kekuatan

$$\phi = 0,65 + 0,25 \times \left[ \left( \frac{1}{\frac{c}{d_t}} \right) - \left( \frac{5}{3} \right) \right]$$

dimana :

c = jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral (mm)

d<sub>t</sub> = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat lapisan terjaluh tulangan tarik longitudinal (mm)



Interpolasi pada  $c/d_t$ :  
 Spiral  $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t) - (5/3)]$   
 Lainnya  $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t) - (5/3)]$

Gambar 7. 1 Variasi Faktor Reduksi Kekuatan

Cek penampang terkendali beton :

Dicoba tulangan  $20\phi 32$  ( $A_s = 16076,80 \text{ mm}^2$ ) untuk tarik,  
 dan  $10\phi 32$  ( $A_s = 8038,4 \text{ mm}^2$ ) untuk tekan

$f_{s \text{ asumsi}} = 100 \text{ Mpa}$

Menentukan nilai a :

$$a = \frac{(A_{s \text{ tarik terpasang}} \times f_y) - (A_{s \text{ tekan terpasang}} \times f_{s \text{ asumsi}})}{0,85 \times f_c' \times b_w}$$



$$= \frac{(16076,80 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ Mpa}) - (8038,4 \text{ mm}^2 \times 100 \text{ Mpa})}{0,85 \times 35 \text{ Mpa} \times 660 \text{ mm}}$$

$$= 302,95 \text{ mm}$$

Menentukan garis netral C :

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{343,89 \text{ mm}}{0,8} = 378,7 \text{ mm}$$

Nilai  $\frac{c}{dt} = \frac{378,7}{915} = 0,413$  sehingga nilai diperoleh nilai :

$$\phi = 0,65 + 0,25 \times \left[ \left( \frac{1}{0,413} \right) - \left( \frac{5}{3} \right) \right] = 0,83937$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.2.1 mengenai rasio tulangan, ditentukan bahwa:

- $A_{s \min} = \frac{1}{4} b w d / f_y$ , dimana  $A_s = \rho b w d$ , sehingga dapat disimpulkan:  
 $\rho_{\min} = 1,4/f_y = 1,4/420 = 0,0033$
- $\rho_{\max} = 0,025$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 35} = 14,118$$

### Nilai Gaya Dalam (Momen) Pada Balok:

Berdasarkan *SNI 03-2847-2013, Pasal 21.5.2.2*, kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

Nilai-nilai gaya momen dalam program SAP2000 ditinjau pada daerah tumpuan dan lapangan terhadap semua kombinasi. Nilai momen yang bekerja terhadap struktur diambil nilai yang

terbesar untuk setiap sisi dari semua kombinasi yang digunakan terhadap struktur bangunan, dengan nilai:

- Tumpuan Kanan (-) = 2.758.064.200 Nmm
- Tumpuan Kanan (+) = 2.260.796.700 Nmm  
 $Mu + = 2.260.796.700 > 1/2 \times 2.758.064.200$   
 $Mu + = 2.260.796.700 > 1.379.032.100$  (OK)
- Tumpuan Lapangan (-) = 1.227.202.000 Nmm  
 $Mu \text{ lapangan} = 1.227.202.000 > 1/4 \times 2.758.064.200 = Mu$   
 $\text{lapangan} = 1.227.202.000 > 689.516.050$  (OK)
- Tumpuan Lapangan (+) = 1.257.323.600 Nmm  
 $Mu \text{ lapangan} = 1.257.323.600 > 1/4 \times 2.758.064.200 = Mu$   
 $\text{lapangan} = 1.257.323.600 > 689.516.050$  (OK)
- Tumpuan Kanan (-) = 2.758.064.200 Nmm
- Tumpuan Kanan (+) = 2.260.796.700 Nmm  
 $Mu + = 2.260.796.700 > 1/2 \times 2.758.064.200$   
 $Mu + = 2.260.796.700 > 1.379.032.100$  (OK)

### Perhitungan Tulangan Tumpuan

#### Tumpuan Negatif (-)

Mu negatif : 2.758.064.200 Nmm

$$Mn = \frac{2.758.064.200 \text{ Nmm}}{0,83937}$$

$Mn = 3.295.855.875,29$  Nmm.

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{3.295.855.875,29}{660 \times 918^2} = 5,926 \text{ N/mm}$$

$$\rho = \frac{1}{14,118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,118 \times 8,348}{420}} \right) = 0,0263$$

$\rho_{perlu} > \rho_{max}$ , pakai  $\rho_{max}$ ,

$$\rho_{pakai} = 0,025$$

$$A_{Spakai} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,025 \times 660 \times 918 = 15.318,38 \text{ mm}^2$$

$$A_{Sbutuh} = A_{Spakai} + A_{Storsi/sisi}$$

$$= 15.147 + 171,38 = 15.318,38 \text{ mm}^2$$

Maka tulangan **20 D 32** ( $A_s = 16076,80 \text{ mm}^2$ ), memenuhi

$$S = \frac{(b - 40 \times 2 - 2 \times \phi_s - n \times \phi_t)}{n - 1}$$

$$S = \frac{(660 - 80 - 2 \times 16 - 12 \times 32)}{20 - 1} = 4,8 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

dipakai tulangan dua lapis

### Tumpuan Positif (+)

$$M_n = \frac{2.260.796.700 \text{ Nmm}}{0,83937}$$

$$M_n = 2.693.429.732,18 \text{ Nmm.}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{2.693.429.732,18}{660 \times 918^2} = 4,8426 \text{ N/mm}$$

$$\rho = \frac{1}{14,118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,118 \times 4,8426}{420}} \right) = 0,0127$$

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$ , pakai  $\rho_{\text{pakai}}$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0127$$

$$A_{S_{\text{pakai}}} = \rho \cdot b \cdot d \\ = 0,0127 \times 660 \times 918 = 7671,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{butuh}}} = A_{S_{\text{pakai}}} + A_{S_{\text{storsi/sisi}}} \\ = 7671,4 + 171,38 = 7842,77 \text{ mm}^2$$

Maka tulangan **10 D 32** ( $A_s = 8038,4 \text{ mm}^2$ ), memenuhi

$$S = \frac{(b - 40 \times 2 - 2 \times \phi_s - n \times \phi_t)}{n - 1}$$

$$S = \frac{(660 - 2 \times 40 - 2 \times 16 - 10 \times 32)}{10 - 1} = 25,3 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

dipakai tulangan tunggal / satu lapis

Kontrol Kemampuan Penampang Akibat Tulangan Rangkap / dua lapis

1. Tulangan yang terpasang.

- Tulangan tarik ;  
20 D 32 dengan  $A_{Starik\ terpasang} = 16076,8\text{ mm}^2$

- Tulangan tekan ;  
10 D 32 dengan  $A_{Stekan\ terpasang} = 8038,4\text{ mm}^2$

2. Kontrol baja tekan mengalami leleh / belum leleh.

- $\rho_{tul. Tarik} = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{16076,8\text{ mm}^2}{660\text{ mm} \times 918\text{ mm}}$

- $\rho_{tul. Tekan} = \frac{A_s'}{b_w \times d} = \frac{8038,4\text{ mm}^2}{660\text{ mm} \times 918\text{ mm}}$

- $\rho - \rho' \geq \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$

$$0,01327 \geq \frac{0,85 \times 0,8 \times 35\text{ Mpa} \times 72\text{ mm}}{420\text{ Mpa} \times 918\text{ mm}} \times \frac{600}{600 - 420\text{ Mpa}}$$

$0,01327 < 0,0148 \rightarrow$  Artinya : Baja tekan belum leleh

3. Dengan menggunakan cara *trial and error*, maka nilai  $f_s'$  awal diasumsikan terlebih dahulu kemudian dilakukan perhitungan sehingga didapat nilai  $f_s$  yang baru dengan syarat nilai  $f_s$  yang baru nilainya harus mendekati nilai  $f_s'$  awal yang diasumsikan.

- $f_{s\ asumsi} = 100\text{ Mpa}$

• Menentukan nilai a :

$$a = \frac{(A_{s\ tarik\ terpasang} \times f_y) - (A_{s\ tekan\ terpasang} \times f_{s\ asumsi})}{0,85 \times f_c' \times b_w}$$

$$= \frac{(16076,8\text{ mm}^2 \times 420\text{ Mpa}) - (8038,4\text{ mm}^2 \times 100\text{ Mpa})}{0,85 \times 35\text{ Mpa} \times 660\text{ mm}}$$

$$= 302,95\text{ mm}$$

- Menentukan garis netral C :

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{302,95 \text{ mm}}{0,8} = 378,687 \text{ mm}$$

- Menghitung regangan baja tekan dengan perbandingan segitiga.

$$\varepsilon_s' = \frac{C - d'}{C} \times \varepsilon_{cu}' < \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\frac{378,687 \text{ mm} - 72 \text{ mm}}{378,67 \text{ mm}} \times 0,003 < \frac{420 \text{ Mpa}}{2 \times 10^5}$$

$$0,00243 < 0,0021$$

- Tinggi tegangan baja tekan ( $f_s'$ )

$$f_s' = \varepsilon_s' \times E_s$$

$$f_s' = 0,00243 \times 200000 = 485,922 \text{ Mpa}$$

4. Sehingga didapat momen nominal ( $M_{n_{\text{penampang}}}$ ) :

$$M_n = (A_s \times f_y - A_s' \times f_s') \times \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \times f_s' \times (d - d')$$

$$M_n = 5.486.205.483,435 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$5.486.205.483,435 \text{ Nmm} > 3.285.855.875,29 \text{ Nmm} \dots \text{Memenuhi}$$

### **Perhitungan Tulangan Lapangan**

Perhitungan tulangan lapangan baik momen positif (+) maupun momen negatif menggunakan cara yang sama dengan perhitungan tulangan tumpuan, dengan hasil yang didapat sebagai berikut:

- Lapangan Negatif : 7D32 - 54mm

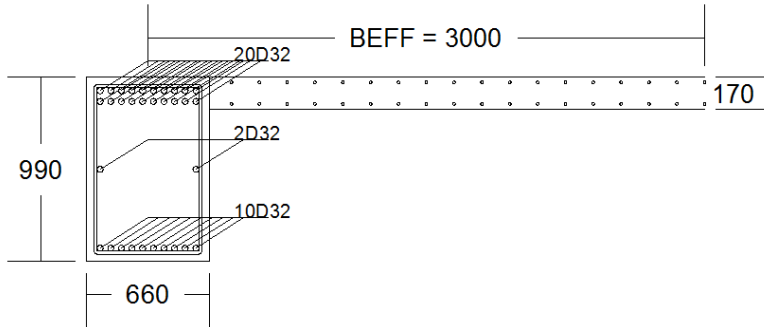
Lapangan Positif : 8D32 - 41,7mm

### **7.2.3. Perencanaan Tulangan Geser Balok Induk**

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3 : gaya geser rencana  $V_e$  harus ditentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian tumpuan. Momen-momen dengan tanda berlawanan sehubungan dengan

kuat lentur maximum  $M_{pr}$ , harus dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan, dan komponen struktur tersebut dibebani penuh beban gravitasi terfaktor serta  $V_e$  harus dicari dari nilai terbesar akibat beban gempa arah ke kanan dan ke kiri.

Mpr 1 ditinjau menggunakan penampang balok T seperti gambar dibawah:



Dimana As pada Mpr 1 menggunakan total tulangan pelat dan tulangan balok lentur tarik, sementara As pada Mpr 2 menggunakan total luasan tulangan balok lentur tekan, dengan hasil As sebagai berikut:

$$As_1 = 20x \frac{\pi}{4} 32^2 + 18x \frac{\pi}{4} 10^2 + 8x \frac{\pi}{4} 10^2 = 18.403,45 \text{ mm}^2$$

$$As_2 = 10x \frac{\pi}{4} 32^2 = 8038,4 \text{ mm}^2$$

Harga momen probable dapat dicari dengan rumus berikut:

$$a = \frac{Asx(1,25 \times fy)}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$M_{pr} = As (1,25 \times fy) \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

Maka nilai  $M_{pr}$  adalah :

$$a_1 = \frac{18.403,45 \times (1,25 \times 420)}{0,85 \times 35 \times 660} = 493,2223 \text{ mm}$$

$$M_{pr_1} = 18.403,45 (1,25 \times 420) \times \left( 918 - \frac{493,2223}{2} \right)$$

$$M_{pr_1} = 5666,73671 \text{ kNm}$$

$$a_2 = \frac{8038,4 \times (1,25 \times 420)}{0,85 \times 35 \times 660} = 214,9305 \text{ mm}$$

$$M_{pr_2} = 8038,4 \times (1,25 \times 420) \times \left(918 - \frac{214,9305}{2}\right)$$

$$M_{pr_2} = 3420,586 \text{ kNm}$$

Mencari Wu pada pelat lantai

- Beban mati :  
Pelat beban mati tambahan tanpa berat sendiri 121 kg/m<sup>2</sup>  
Berat sendiri balok
- Beban hidup:  
Beban Hidup 250 kg/m<sup>2</sup>

Distribusi beban merata

- Beban mati (DL)  
Pelat =  $(121 + 0,17 \times 2400) \times 4,4$   
Balok =  $0,66 \times 0,99 \times 2400$   
Jumlah = 3895,78 kg/m
- Beban hidup (LL)  
Beban hidup =  $250 \times 4,4 = 1100 \text{ kg/m}$

$$W_u = 1,2DL + 1,0LL$$

$$= 1,2 \times 3895,78 + 1,0 \times 1100$$

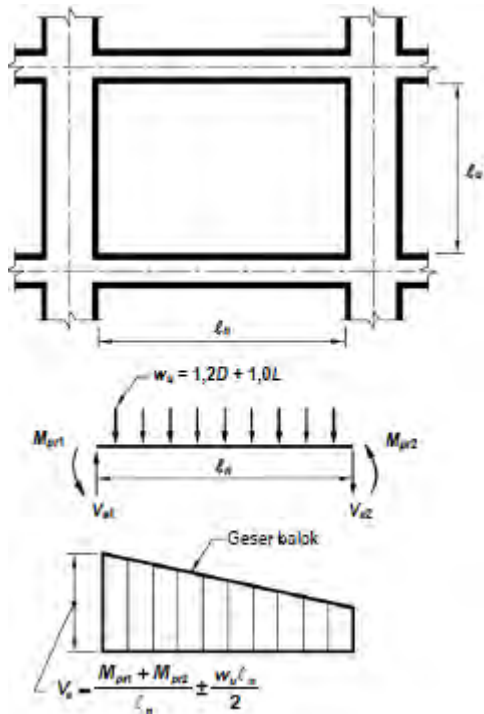
$$= 57.749,12 \text{ kg/m} = 57,74912 \text{ kN/m}$$

Perhitungan gaya geser ( $V_e$ ) akibat gempa kiri dan kanan dihitung dengan mengambil momen probable yang terbesar

$$V_e = \frac{M_{pr_1} + M_{pr_2}}{L} + \frac{W_u \times L}{2}$$

$$V_e = \frac{5666,73671 + 3420,586}{4,4} + \frac{57,74912 \times 4,4}{2}$$

$$V_e = 2192,349 \text{ kN}$$



Gambar 7. 2 Geser Desain Untuk Balok

### Pemasangan Sengkang Di Daerah Sendi Plastis

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.5.2 bahwa tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap  $V_c = 0$ , apabila :

1. Gaya geser akibat gempa ( $M_{pr}$ )  $> 0,5 \times$  total geser akibat kombinasi gempa dan gravitasi

$$\frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L} > 0,5 \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L} + \frac{W_u \times L}{2}$$

$$2192,349 \text{ kN} > 2065,3007 \text{ kN (OK)}$$

2. Gaya aksial tekan  $< 0,2 \times A_g \times f_c$

Karena gaya aksial pada balok sangat kecil, maka syarat kedua memenuhi (OK)



**Jika kedua syarat terpenuhi, maka**

$$V_c = 0 \quad ; \quad V_s = V_{ekn}/\phi$$

**Jika salah satu syarat tidak terpenuhi, maka**

$$V_c \neq 0 \quad ; \quad V_s = V_{ekn}/\phi - V_c$$

$$V_s = \frac{V_{ekn}}{\phi} = \frac{2192,349}{0,75} = 2923,132 \text{ kN}$$

Direncanakan sengkang 2 D16 ( $A_v = 402,2857 \text{ mm}^2$ )

$$S = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} = \frac{402,2857 \times 420 \times 918}{2923,132 \times 1000} = 53,06 \text{ mm}$$

Syarat :

$$1. \quad S \leq d/4 = 229,5 \text{ mm}$$

$$89.265.1.1.1.1.16 \phi_t = 96 \text{ mm}$$

$$89.265.1.1.1.1.2150 \text{ mm}$$

Jadi dipasang sengkang 2 D16 – 90 mm

### **Pemasangan Sengkang Di Luar Daerah Sendi Plastis**

Gaya geser rencana diluar 2h dari muka kolom (diluar sendi plastis) didapat dari analisa SAP2000 yaitu sebagai berikut :

$$V_u = 990,5738 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,17 \cdot \sqrt{35} \cdot 660 \cdot 918 \\ &= 597.405,7 \text{ N} \\ &= 597,4057 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Syarat**

1. Tidak butuh tulangan geser

$$V_u \leq 0,5\phi V_c$$

2. Butuh tulangan geser minimum

$$0,5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$$

3. Butuh tulangan geser

$$\phi V_c \leq V_u \leq (\phi V_c + 0,66\sqrt{f'_c} b_w d)$$

Dari data diatas didapat

$$V_u = 990,5738 \text{ kN} > \phi V_c = 0,75 \times 597,4057 \text{ kN}$$

Maka dibutuhkan tulangan geser, sehingga

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{990,5738}{0,75} - 597,4057 = 723,3593 \text{ kN}$$

Direncanakan sengkang 2 D16 ( $A_v = 402,2857 \text{ mm}^2$ )

$$S = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} = \frac{402,2857 \times 420 \times 918}{723,3593 \times 1000} = 214,4236 \text{ mm}$$

Syarat :

$$1. \quad S \leq d/2 = 459 \text{ mm}$$

Jadi dipasang sengkang 2 D16 – 110 mm

#### 7.2.4. Perencanaan Panjang Penyaluran Tulangan Balok

Perhitungan panjang penyaluran tulangan diatur dalam SNI 03-2847-2013 pasal 12 adalah sebagai berikut :

Panjang penyaluran tulangan tarik

Diketahui diameter tulangan,  $d_b = 32 \text{ mm}$

Perhitungan panjang penyaluran tulangan D32 sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 12.2.3. sebagai berikut

$$l_b = d_b \times \frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{1,7\lambda \times \sqrt{f'c}}$$

Dimana

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.4 :

$\psi_t = 1.0$  (tidak berada di atas lapisan beton setebal 300 mm)

$\psi_e = 1.0$  ( faktor pelapis ; tulangan tanpa pelapis )

$\Psi_s = 1$  (batang tulangan  $\geq$  D22)

$\lambda = 1.0$  ( faktor beton agregat ringan ; beton normal)

Dari nilai tersebut didapatkan  $l_d = 1336,34 \text{ mm}$

Jadi dipakai panjang penyaluran tulangan tarik sebesar 1350 mm.

Panjang penyaluran tulangan tekan

$$\begin{aligned} l_{dc} &= d_b \times \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f'c}} \\ &= 32 \times \frac{0,24 \times 420}{1 \times \sqrt{35}} = 545,226 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tetapi tidak kurang dari :

$$l_{dc} = 0,043 \times d_b \times f_y = 0,043 \times 32 \times 420 = 577,92 \text{ mm}$$

Jadi dipakai panjang penyaluran tulangan tekan sebesar 600 mm.

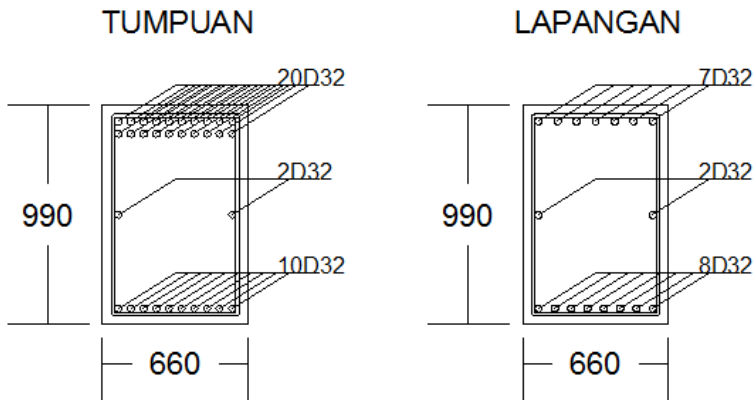
Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik  
Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1 panjang penyaluran  $l_{dh}$   
untuk tulangan tarik dengan kait standar  $90^\circ$  dalam beton berat  
normal adalah sebagai berikut :

$$l_{dh} > 8 d_b = 8 \times 32 = 256 \text{ mm}$$

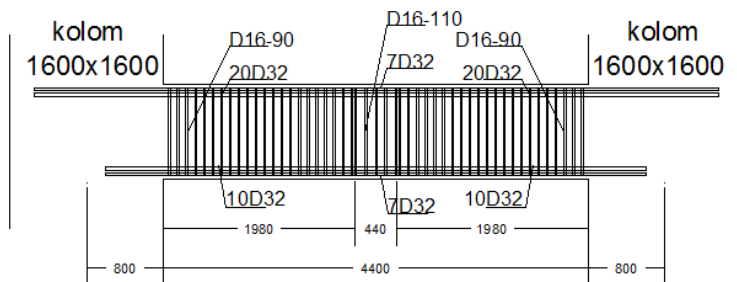
$$l_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = d_b \times \frac{0,24 \times f_y \times \psi_e}{\lambda \times \sqrt{f'c}} = 32 \times \frac{0,24 \times 420 \times 1}{1 \times \sqrt{35}} = 545,226 \text{ mm}$$

Jadi dipakai panjang penyaluran tulangan berkait sebesar 550 mm  
dengan perpanjangan kait  $12d_b = 12 \times 32 = 384 = 400 \text{ mm}$ .



Gambar 7. 3 Penulangan Lentur dan Torsi B 5-8



Gambar 7. 4 Penulangan Geser B 5-8

### 7.3. Perencanaan Kolom

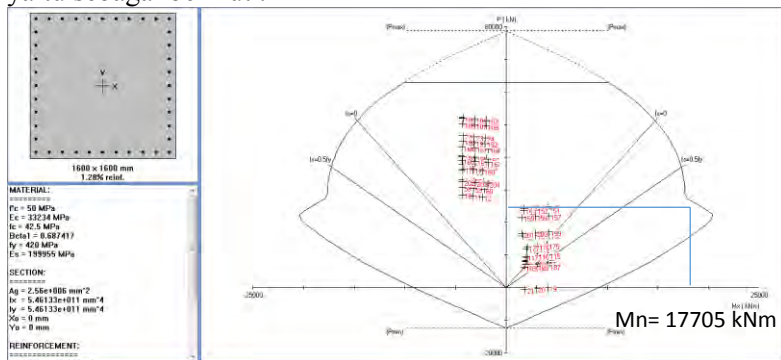
Pada perhitungan kolom dalam Tugas Akhir ini, direncanakan terdapat lima macam kolom yaitu kolom Lt. 1-7, kolom Lt. 8-14, kolom Lt.15-21, kolom Lt. 22-28 dan kolom Lt.29-atap. Contoh perhitungan yang akan dilampirkan dalam Tugas Akhir ini adalah kolom 1-14.

Berikut merupakan data perencanaan yang diperlukan untuk perhitungan pada jenis kolom 1-7 :

|                       |              |
|-----------------------|--------------|
| Dimensi               | : 160/160 cm |
| Tinggi kolom          | : 400 mm     |
| Decking (d') kolom    | : 40 mm      |
| Diameter tulangan (D) | : 32 mm      |
| Mutu tulangan (fy)    | : 420 Mpa    |
| Mutu beton (fc')      | : 50 Mpa     |

#### 7.3.1. Perhitungan Penulangan Kolom

Beban aksial dan momen yang terjadi pada kolom didapat dari hasil kombinasi beban envelope pada SAP 2000. Dari beban aksial dan momen yang terjadi, kemudian dilakukan perhitungan penulangan memanjang kolom menggunakan program bantu PCA COL, didapatkan diagram interaksi antara aksial dan momen pada kolom, yaitu sebagai berikut :



Gambar 7. 5 Diagram Interaksi Kolom

### 7.3.2. Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6, Luas tulangan memanjang, Ast, tidak boleh kurang dari 0,01 Ag atau lebih dari 0,06 Ag. Dari diagram interaksi yang dibuat oleh program PCACOL diperoleh

Tulangan longitudinal : 40 D32

Rasio tulangan : 1,28 % (Ok)

### 7.3.3. Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom Terhadap Beban Aksial Terfaktor

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 10.3.6.2 : kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\phi \cdot P_n(\max) = 0,8 \times \phi \times \left[ 0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st} \right]$$

Diketahui bahwa :

Pu = 52.176,19 kN (Analisa SAP 2000)

Ag = 1600 x 1600 = 2.560.000 mm<sup>2</sup>

Ast = 32.182,86 mm<sup>2</sup>, maka :

$\phi P_n = 0,8 \times 0,65$

$$[0,85 \times 50 \times (2560000 - 32.182,86) + 420 \times 32.182,86]$$

$\phi P_n = 62.893.494,86 \text{ N}$

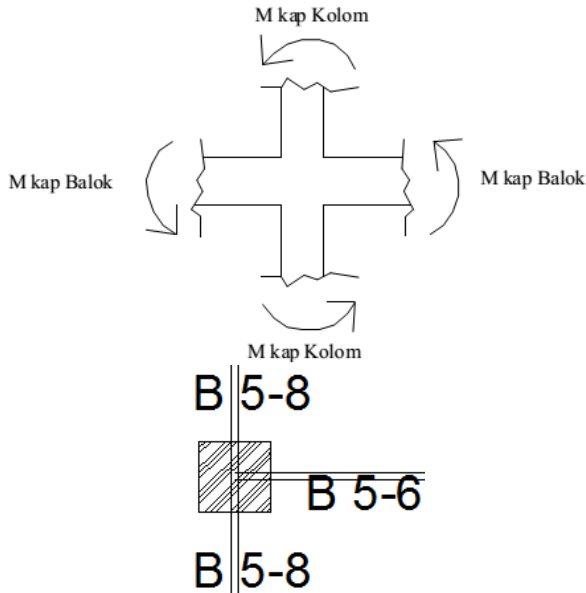
$\phi P_n = 62.893,9 \text{ kN} > P_u = 52.176,19 \text{ kN (ok)}$

### 7.3.4. Persyaratan “Strong Column Weak Beam”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI -2847-2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Dimana  $\sum M_{nc}$  adalah momen kapasitas kolom dan  $\sum M_{nb}$  merupakan momen kapasitas balok. Mnc didapat dari diagram interaksi aksial momen dan kolom. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan *strong colum weak beam*.



Gambar 7. 6 Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK

$$\sum M_{nc} = \frac{17705}{0.65} = 27.238,462 \text{ kNm}$$

Nilai  $M_g$  dicari dari jumlah  $M_{nb}^+$  dan  $M_{nb}^-$  balok yang menyatu dengan kolom didapat dari  $M_n$  di penulangan balok. Pada contoh kali ini digunakan kolom nomor 17, dan terdapat balok B5-8 dikedua sisi pada arah y, dan satu buah balok B5-6 pada arah x. Diketahui bahwa :

$$\text{B 5-8 } M_{nb}^- = 5435,514 \text{ kNm}$$

$$M_{nb}^+ = 3420,586 \text{ kNm}$$

$$\text{B 5-6 } M_{nb}^- = 5934,132 \text{ kNm}$$

(lampiran perhitungan berasal dari halaman (112-113))

Sehingga :

Arah Y:

$$\sum M_{nb} = \frac{5435,514 + 3420,586}{0.85} = 10418,94 \text{ kNm}$$

Arah X:

$$\sum M_{nb} = \frac{5934,132}{0.85} = 6981,332 \text{ kNm}$$

Persyaratan Strong Column Weak Beam

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Maka ;

Arah Y:

$$\sum M_{nc} = 27.238,462 > \sum M_{nb} = 1,2 \times 10418,94$$

$$27.238,462 \text{ kNm} > 12502,73 \text{ kNm} \quad (OK)$$

Arah X:

$$\sum M_{nc} = 27.238,462 > \sum M_{nb} = 1,2 \times 6981,332$$

$$27.238,462 \text{ kNm} > 8.377,6 \text{ kNm} \quad (OK)$$

Maka Memenuhi Persyaratan “*Strong Column Weak Beam*”

### 7.3.5. Kontrol Persyaratan Kolom Terhadap Gaya Geser Rencana $V_e$

Gaya geser rencana,  $V_e$ , untuk menentukan kebutuhan tulangan geser kolom menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.5.1, harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dapat dihasilkan di muka-muka pertemuan-pertemuan (joints) di setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya joint ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin,  $M_{pr}$ , di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor,  $P_u$ , yang bekerja pada komponen struktur. Geser komponen struktur tidak perlu melebihi yang ditentukan dari kekuatan joint berdasarkan pada  $M_{pr}$  komponen struktur transversal yang merangka ke dalam

joint. Dalam semua kasus  $V_e$  tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur.

Secara konservatif  $M_{pr}$  ditentukan sebesar momen balance dari diagram interaksi pada program spColumn.  $M_{pr} = 17705$  kNm Karena dimensi dan penulangan kolom atas dan bawah sama maka gaya geser di ujung kolom akibat momen lentur :

$$V_e = \frac{2 \times M_{pr}}{ln} = \frac{2 \times 17705}{3,01} = 11764,12 \text{ kN}$$

$M_{pr}$  balok yang digunakan adalah  $M_{pr}$  yang saling berlawanan arah. Pada perhitungan ini digunakan  $M_{pr}$  dari balok di satu sisi HBK dan  $M_{pr}^+$  dari sisi HBK lainnya.

Perhitungan  $M_{pr}^+$

$$- M_{pr}^+ = 5435,514 \text{ kNm}$$

$$- M_{pr}^- = 3420,586 \text{ kNm}$$

$$V_u = \frac{5435,514 + 3420,586}{3,01} = 3019,044 \text{ kN}$$

$$\text{Ternyata } V_e = 11764,12 \text{ kN} > V_u = 3019,044 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

### 7.3.6. Perencanaan Tulangan Pengekangan Kolom

Pengekangan dipasang sepanjang  $l_o$  dari dari hubungan pelat kolom sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.1 yaitu :

$$l_o > \text{penampang leleh kolom} = 1000 \text{ mm}$$

$$l_o > 1/6 \times l_n = 1/6 \times 3010 = 501,67 \text{ mm}$$

$$l_o > 450 \text{ mm}$$

diambil daerah sendi plastis  $l_o$  sebesar 1000 mm

dimana  $s$  tidak boleh lebih besar dari:

$$- \frac{1}{4} \text{ dimensi terbesar kolom} = \frac{1}{4} \times 1600 = 400 \text{ mm}$$

$$- 6 \times d_b = 6 \times 32 = 192 \text{ mm}$$

$$- S_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right)$$

$$S_o = 100 + \left( \frac{350 - (202)}{3} \right) = 149,33 \text{ mm}$$

Dimana  $S_o$  tidak perlu lebih besar dari 150 mm dan tidak perlu lebih kecil dari 100 mm.

Maka dipakai jarak begel ( $s$ ) = 100 mm



$A_{sh_{min}}$  sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$A_{sh} = 0,3 \frac{sx b_c x f' c}{f_{yt}} \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{sx b_c x f' c}{f_{yt}}$$

Keterangan :

S = jarak spasi tulangan transversal (mm)

$b_c$  = dimensi potongan melintang dari inti kolom, diukur dari pusat ke pusat dari tulangan pengekang (mm)

$A_g$  = luasan penampang kolom (mm<sup>2</sup>)

$A_{ch}$  = luasan penampang kolom diukur dari daerah terluar tulangan transversal (mm<sup>2</sup>)

$F_{yh}$  = kuat leleh tulangan transversal (Mpa)

Dengan asumsi bahwa  $s = 200$  mm,  $F_{yh} = 420$  Mpa, selimut beton = 40 mm dan  $\phi = 32$  mm. sehingga diperoleh :

$$b_c = b - 2x\phi - ds = 1600 - 2x16 - 40 = 1528 \text{ mm}$$

$$A_g = 1600 \times 1600 = 2.560.000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = (1600 - 40)^2 = 2.371.600 \text{ mm}^2$$

Maka :

$$A_{sh} = 0,3 \frac{sx b_c x f' c}{f_{yt}} \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 0,3x \frac{100x1528x50}{420} \left( \frac{2.560.000}{2.371.600} - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 433,516 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{sx b_c x f' c}{f_{yt}}$$

$$A_{sh} = 0,09x \frac{100x1528x50}{420}$$

$$A_{sh} = 1637,143 \text{ mm}^2$$

Sehingga di pakai 8D16-100 ( $A_s = 3216,991 \text{ mm}^2 > 1637,143 \text{ mm}^2$ )

### 7.3.7. Panjang Lewatan Pada Sambungan Tulangan

Sambungan kolom yang diletakkan di tengah tinggi kolom harus memenuhi ketentuan panjang lewatan yang ditentukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.2, sebagai berikut

$$l_d = \left( \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

$\psi_t = 1$  (tidak berada di atas lapisan beton setebal 300 mm)

$\psi_e = 1$  (tidak dilapisi epoksi)

$\psi_s = 1$  (beton berat normal)

$l_d = 1336,34 \text{ mm} \sim 1400 \text{ mm}$

### 7.3.8. Kontrol Kebutuhan Penulangan Torsi

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.2.2, pengaruh puntir untuk struktur non-prategang yang dibebani tarik atau tekan aksial dapat diabaikan bila nilai momen puntir kurang dari :

$N_u = 52.176.189 \text{ N}$

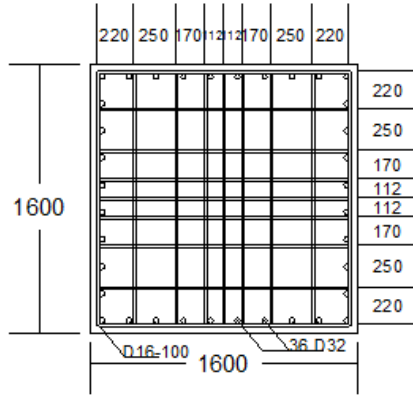
$T_u = 86.335.900 \text{ Nmm}$

$$T_u = \phi 0.33 \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{N_u}{0.33 A_g \sqrt{f'_c}}}$$

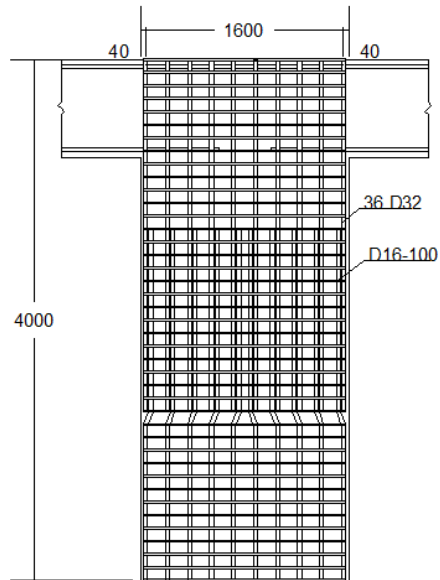
$$= 0.75 \times 0.33 \sqrt{50} \left( \frac{2.560.000^2}{2(1600 + 1600)} \right) \sqrt{1 + \frac{52.176.189}{0.33 \times 2.560.000 \times \sqrt{50}}}$$

$86.335.900 \text{ Nmm} < 5.083.024.898,87 \text{ Nmm}$

Maka tulangan torsi diabaikan



Gambar 7. 7 Potongan Melintang Kolom 1-7



Gambar 7. 8 Potongan Memanjang Kolom 1-7

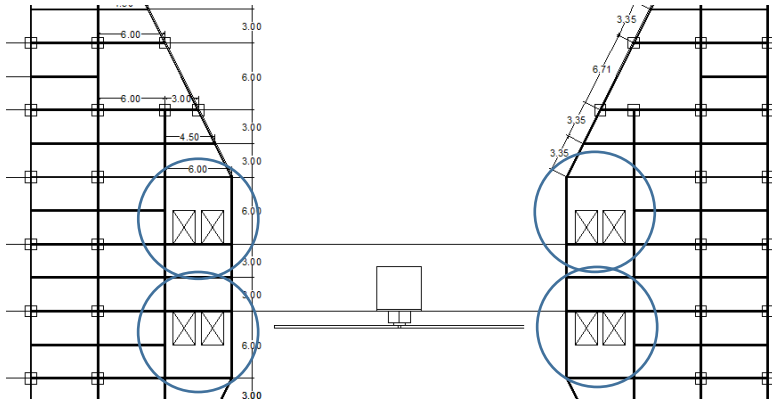
#### 7.4. Perencanaan Dinding Geser

Pada gedung *Wind Twin tower* dalam perencanaan Tugas Akhir ini, gedung didesain dengan menerapkan sistem ganda atau *dual system*, dimana gaya lateral di dalam gedung ini diterima oleh dinding geser dan struktur utama yang mengacu pada desain kategori SRPMK. Oleh karena itu diperlukan analisis lebih lanjut terhadap dinding geser dalam perencanaan Tugas Akhir ini.

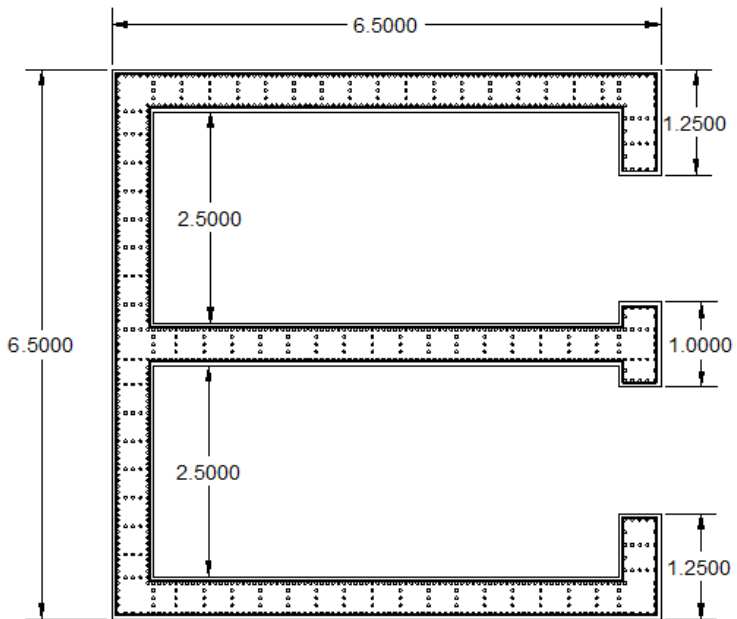
Dinding geser bekerja sebagai sebuah balok kantilever vertikal dan dalam menyediakan tahanan lateral dinding geser menerima tekuk maupun geser. Untuk dinding seperti itu geser maksimum  $V_u$  dan momen maksimum  $M_u$  terjadi pada dasar dinding. Jika tegangan lentur diperhitungkan, besar tegangan lentur tersebut akan dipengaruhi oleh beban aksial  $N_u$  (kombinasi aksial lentur).

Dalam Tugas Akhir ini terdapat empat buah dinding geser tipe C dan empat buah dinding geser tipe L dengan dua dari setiap tipe dimasing-masing gedung dengan tebal dinding masing-masing sebesar 50 cm untuk dinding tipe C, dan 30 cm untuk dinding tipe L. Pada Tugas Akhir ini akan dibuat pemodelan dinding geser dari masing-masing tipe untuk dilakukan analisa perancangan. Dari pemodelan ini akan dievaluasi kapasitas dinding geser baik terhadap lentur maupun geser. Contoh perhitungan yang akan dilampirkan pada Tugas Akhir ini adalah dinding geser tipe C. Berikut merupakan data perencanaan yang dibutuhkan untuk perhitungan perencanaan dinding geser :

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| Mutu beton ( $f'_c$ ) | = 55 MPa  |
| Mutu baja ( $f_y$ )   | = 420 MPa |
| Tebal dinding geser   | = 50 cm   |
| Tinggi dinding geser  | = 136 m   |
| Tebal selimut beton   | = 40 mm   |



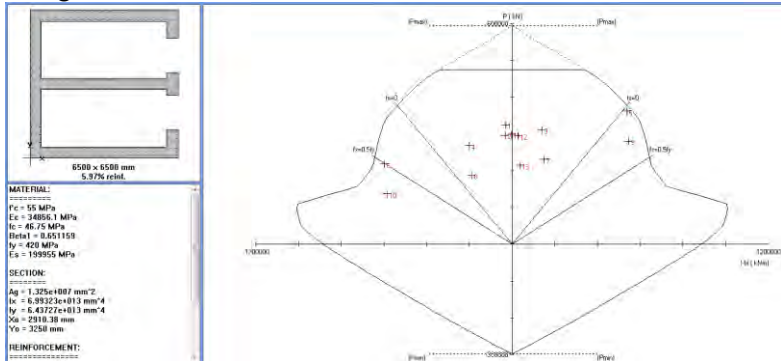
Gambar 7. 9 Denah Lokasi Dinding Geser Tipe C



Gambar 7. 10 Pemodelan Dinding Geser Tipe C

### 7.4.1. Perhitungan Tulangan Dinding Geser

Dari beban aksial, geser dan momen yang didapat dari output SAP2000, kemudian dilakukan perhitungan penulangan memanjang menggunakan program bantu PCA COL, didapatkan diagram interaksi antara aksial dan momen pada kolom, yaitu sebagai berikut :



Gambar 7. 11 Diagram Interaksi Dinding Geser Tipe C

### 7.4.2. Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal Dinding Geser

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6, Luas tulangan memanjang, Ast, tidak boleh kurang dari 0,01 Ag atau lebih dari 0,06 Ag. Dari diagram interaksi yang dibuat oleh program PCACOL diperoleh Rasio tulangan : 5,97 % (Ok)

### 7.4.3. Kontrol Kapasitas Beban Aksial Dinding Geser Terhadap Beban Aksial Terfaktor

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 10.3.6.2 : kapasitas beban aksial tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\phi \cdot P_n(\max) = 0,8 \times \phi \times \left[ 0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st} \right]$$

Diketahui bahwa :

$$P_u = 362.095,86 \text{ kN (Analisa SAP 2000)}$$

$$A_g = 13.250.000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= 791.388 \text{ mm}^2, \text{ maka :} \\
 \varphi P_n &= 0,8 \times 0,65 [0,85 \times 55 \times (13.250.000 - 791.388) \\
 &\quad + 420 \times 791.388] \\
 &= 475.707.996,92 \text{ N} \\
 &= 475.707,99 \text{ kN} > P_u = 362.095,86 \text{ kN (ok)}
 \end{aligned}$$

#### 7.4.4. Kontrol Gaya Geser

Dari analisa SAP2000 didapat besarnya gaya geser yang terjadi pada satu perletakan dinding geser yaitu:

$$V_u = 16.980.425 \text{ N}$$

$$A_{cv} = 13.250.000 \text{ mm}^2$$

$$V_u \geq (\phi V_n = 0,083 \lambda A_{cv} \sqrt{f'_c})$$

$$16.980.425 \geq 0,75 \times 0,083 \times 1 \times 13.250.000 \times \sqrt{55}$$

$$16.980.425 \text{ N} \geq 6.116.973,215 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Maka,  $\rho_l$  dan  $\rho_t$  minimal adalah 0,0025

$$V_u \geq 0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$$

$$16.980.425 \geq 0,17 \times 13.250.000 \times 1 \times \sqrt{55}$$

$$16.980.425 \text{ N} \geq 16.704.987,09 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan dua tirai tulangan (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.9.2.2)

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 21.9.4.1,  $V_n$  dinding struktur tidak boleh melebihi  $V_n = A_{cv} \times \left[ \left( \alpha_c \times \sqrt{f'_c} \right) + \left( \rho_t \times f_y \right) \right]$  dimana  $\alpha_c$  adalah 0,25 untuk  $h_w/l_w \leq 1,5$ , 0,17 untuk  $h_w/l_w \geq 2$ ,  $\rho_t$  adalah rasio tulangan geser terhadap luas bidang yang tegak lurus  $A_{cv}$ , yang berdasarkan pasal 21.9.2.1 besarnya nilai rasio tulangan di arah vertikal dan horizontal tidak boleh kurang dari 0,0025 serta spasi tulangan untuk masing-masing arah tidak boleh melebihi 450 mm.

Penulangan direncanakan menggunakan tulangan D16 ( $A_s = 201,062 \text{ mm}^2$ ) dengan jarak spasi sebesar 100 mm untuk tulangan transversal, dan tulangan D-32 ( $A_s = 804,248 \text{ mm}^2$ ) dengan jarak spasi sebesar 130 mm untuk tulangan longitudinal.

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{136}{6,5} = 20,923 > 2, \text{ maka didapat nilai } \alpha_c \text{ sebesar } 0,17$$

Rasio tulangan longitudinal:

$$\rho_t = \frac{A_s}{t \times s} = \frac{804,248}{500 \times 130} = 0,0124 > 0,0025 \text{ (OK)}$$

Rasio tulangan transversal:

$$\rho_t = \frac{A_s}{t \times s} = \frac{201,062}{500 \times 125} = 0,00321 > 0,0025 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} V_n &= 13.250.000 \times [(0,17 \times \sqrt{55}) + (0,003211 \times 420)] \\ &= 35.098.870,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_n > V_u$$

$$35.098.870,2 \text{ N} > 16.980.425 \text{ N} \quad \text{(OK)}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Ps. 21.9.2.1. Spasi tulangan untuk masing-masing arah pada dinding struktur tidak boleh melebihi 450 mm.

Spasi tulangan longitudinal = 130 mm < 450 mm (OK)

Spasi tulangan transversal = 125 mm < 450 mm (OK)

Menurut SNI 03-2847-2013 Ps. 7.6.3. jarak bersih antar tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari  $1,5d_b$  atau kurang dari 40 mm.

Spasi tulangan longitudinal = 130 mm > 40 mm (OK)

Spasi tulangan longitudinal = 130 mm >  $1,5 \times 32 = 48$  mm (OK)

#### 7.4.5. Kontrol Komponen Batas Khusus

Untuk mendapatkan kesimpulan diperlukan atau tidak nya komponen batas khusus atau *special boundary element* maka diperlukan analisa perhitungan lebih lanjut. Terdapat dua opsi untuk menentukan perlu atau tidaknya komponen batas khusus, yaitu berdasarkan pendekatan tegangan SNI 03-2847-2013 Ps 21.9.6.2 dan pendekatan perpindahan yang mengacu pada SNI 03-2847-2013 Ps 21.9.6.3.

Berdasarkan pendekatan perpindahan yang mengacu pada SNI 03-2847-2013 Ps.21.9.6.2, komponen batas khusus atau *special boundary element* diperlukan jika jarak C (sumbu netral) dari serat terluar zona tekan lebih besar dari nilai

$$\frac{l_w}{600 \times \left(\frac{\delta_u}{h_w}\right)} \text{ dengan } \frac{\delta_u}{h_w} > 0,007 \text{ dan } c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{A_s \times f_y \times \beta_1}{0,85 \times f'_c \times b}$$



Dimana :

$\delta_u$  : perpindahan maksimum dinding geser pada puncak gedung dalam arah pembebanan gempa yang ditinjau

$h_w$  : tinggi dinding keseluruhan dari dasar ke tepi atas 136 m

$l_w$  : panjang dinding geser

$\beta_1$  : 0,85

$$l_w = 6500 \text{ mm}$$

$$\delta_u = 222,1 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta_u}{h_w} = \frac{222,1}{136000} = 0,00163 < 0,007 \text{ maka diambil nilai minimum}$$

$$A_s = 791.388 \text{ mm}^2$$

$$\frac{791.388 \times 420 \times 0,6571}{0,85 \times 55 \times 6500} > \frac{6500}{600 \times 0,007}$$

$$718,746 \text{ mm} > 1547,62 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil diatas maka dapat disimpulkan bahwa tidak diperlukan komponen batas khusus atau *special boundary element* dalam perencanaan dinding struktur tipe C. Namun komponen batas harus tetap diperlukan sebagai pengaku dinding geser.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Ps 21.9.6.2(b) tulangan elemen pembatas khusus harus menerus secara vertikal dari penampang kritis suatu jarak tidak kurang yang lebih besar dari

$$l_w = 6,5 \text{ m}$$

$$M_u/4V_u = 713.751,86/4 * 16.980.425$$

$$= 10,51 \text{ m (menentukan)}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Ps 21.9.6.4(a) tulangan elemen pembatas harus menerus secara horizontal dari serat tekan terluar suatu jarak tidak kurang dari

$$C-0,1l_w = 68,746 \text{ mm}$$

$$C/2 = 457,828 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm (ok)}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Ps 21.9.6.4(c) tulangan transversal elemen pembatas harus memenuhi persyaratan dari

- 21.6.4.2 hingga 21.6.4.4, dan batas spasi tulangan transversal dari 21.6.4.3(a) harus sebesar 1/3 dari dimensi terkecil dari elemen pembatas
- 21.6.4.2. spasi pengikat silang atau kaki-kaki sengkang < 350mm
- Spasi pengikat silang transversal pembatas khusus = 140 & 124 mm
- 21.6.4.3. spasi tulangan transversal sepanjang lo tidak boleh melebihi dr yang terkecil:
  - ✓ 1/3 dimensi komponen struktur minimum =  
1/3 x 500 = 166,67 mm
  - ✓ 6 diameter batang tulangan longitudinal yg terkecil =  
6 x 32 = 192 mm
  - ✓  $S_o = 100 + (350 - h_x) / 3 = 100 + (350 - 250) / 3 = 133,33$  mm  
Dimana  $S_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm
- Spasi tulangan transversal pembatas khusus = 100 mm
- 21.6.4.4. luas penampang total tulangan sengkang tidak boleh kurang dari :

$$A_{sh} = 0,09 \times \left( s \times h_c \times \frac{f'_c}{f_y} \right)$$

$h_c$  : dimensi penampang inti dari sumbu ke sumbu

$$h_c = 500 - (2 \times 40) - \left( 2 \times \frac{16}{2} \right) = 404 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 0,09 \times \left( 100 \times 404 \times \frac{55}{420} \right) = 476,143 \text{ mm}^2$$

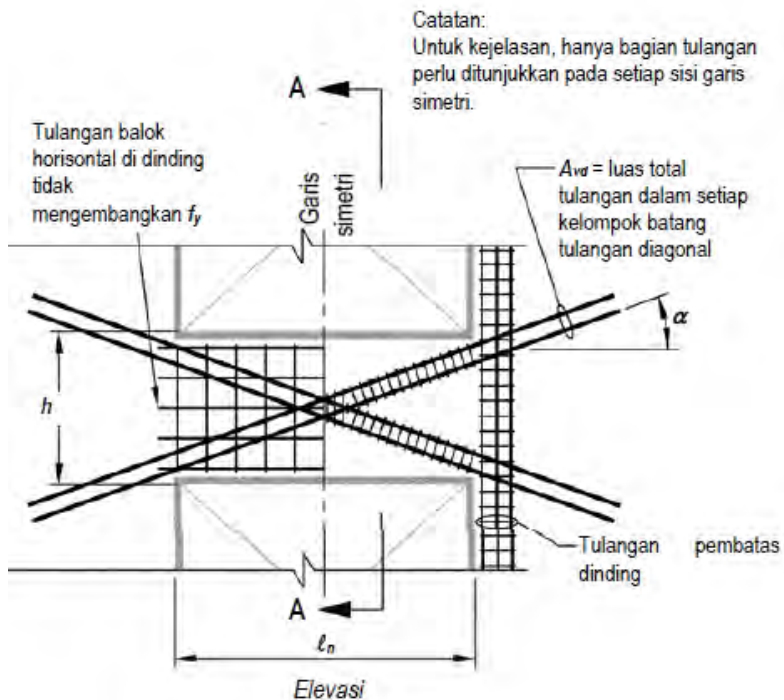
Digunakan sengkang pembatas khusus 4D16-100 (804,248 mm<sup>2</sup>)

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Ps 21.9.6.4(c) tulangan transversal elemen pembatas menerus ke dalam tumpuan paling sedikit  $l_d$  menurut 21.9.2.3 dari tulangan longitudinal terbesar pada elemen pembatas khusus, kecuali berhenti pada fondasi tapak, fondasi pelat penuh (*mat*) atau penutup tiang pondasi, dimana tulangan transversal elemen pembatas khusus harus menerus

paling sedikit 300mm ke dalam fondasi tapak, fondasi pelat penuh, atau penutup tiang fondasi.

#### 7.4.6. Balok Kopel

Balok kopel diperlukan pada suatu dinding geser sebagai pengaku bukaan antar lantai yang berfungsi sebagai pintu lift, yang terdapat pada permukaan sebuah dinding geser, seperti tertera pada gambar 7-12. Perhitungan dalam perencanaan balok kopel mengacu pada SNI 03-2847-2013 Ps 21.9.7.



Gambar 7. 12 Penempatan Balok Kopel

Berikut merupakan data perencanaan yang dibutuhkan untuk perhitungan perencanaan dinding geser :

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 55 MPa

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Mutu baja ( $f_y$ ) | = 420 MPa |
| H                   | = 4 m     |
| Ln                  | = 4,272 m |
| Lebar balok kopel   | = 240 mm  |
| Tinggi balok kopel  | = 350 mm  |
| Diameter tulangan   | = 13 mm   |
| Tebal selimut beton | = 40 mm   |

Mengacu terhadap SNI 03-2847-2013 Ps 21.9.7.2, balok kopel dengan  $ln/h < 2$  harus ditulangi dengan dua kelompok batang tulangan longitudinal. Berdasarkan data perencanaan diatas dapat dicari besaran  $ln/h = 4,272/4 = 1,068 < 2$  (OK)

Balok kopel yang ditulangi dengan dua kelompok batang tulangan longitudinal yang berpotongan ditempatkan secara diagonal simetris terhadap tengah bentang harus memenuhi SNI 03-2847-2013 Ps 21.9.7.4 (a), (b), dan salah satu dari (c) atau (d).

- SNI 03-2847-2013 Ps 21.9.7.4 (a),

$$V_n = 2 A_{vd} f_y (\sin \alpha) \leq 0,83 \sqrt{f_c} A_{cw}$$

dimana:

$\alpha$  = sudut antara batang tulangan diagonal dengan sumbu batang diagonal balok kopel.

$$V_n = 2 A_{vd} f_y (\sin \alpha) \leq 0,83 \sqrt{f_c} A_{cw}$$

$$V_n = 2 f_y (\sin \alpha) \leq 0,83 \sqrt{f_c} A_{cw} = 378.226,1228$$

$$V_n = 2 \times (12 \times \pi/4 \times 13^2) \times (4/4,272) \leq 0,83 \times \sqrt{55} \times (240 \times 350)$$

$$V_n = 1.252.754,194 \text{ N} \leq 529.516,572 \text{ N (OK)}$$

- SNI 03-2847-2013 Ps 21.9.7.4 (b), Setiap batang tulangan longitudinal balok kopel harus ditanam ke dalam dinding tidak kurang dari 1,25 kali panjang penyaluran  $f_y$  dalam kondisi tarik.

$$l_b = d_b \times \frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{1,7\lambda \times \sqrt{f'_c}}$$

Dimana

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.4 :

$\psi_t = 1.0$  (tidak berada di atas lapisan beton setebal 300 mm)

$\psi_e = 1.0$  ( faktor pelapis ; tulangan tanpa pelapis )

$\Psi_s = 0,8$  (batang tulangan  $\leq$  D19)

$\lambda = 1.0$  ( faktor beton agregat ringan ; beton normal)

Dari nilai tersebut didapatkan  $l_d = 433,074$  mm

$l_{d \text{ kopel}} = 433,074 \times 1,25 = 541,343$  mm = 550 mm

- SNI 03-2847-2013 Ps 21.9.7.4 (d),

Spasi pengikat silang untuk kedua arah  $< 350$  mm

S arah x = 47 mm  $< 350$  mm (OK)

S arah y = 64 mm  $< 350$  mm (OK)

$$A_{sh \text{ min}} = \frac{0,09 \times s \times b_c \times f'c}{fyt}$$

Untuk arah x, dengan s = 47mm, bc = 240 mm, didapat  $A_{sh \text{ min}} = 132,943$  mm<sup>2</sup>

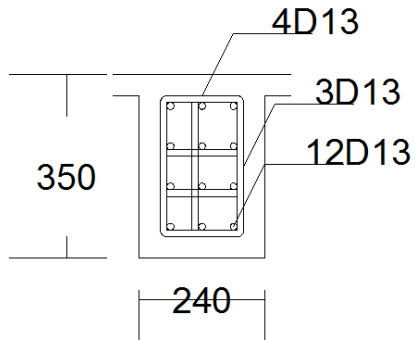
Untuk arah y, dengan s = 64mm, bc = 350 mm, didapat  $A_{sh \text{ min}} = 264$  mm<sup>2</sup>

$$A_{sh \text{ min}} = \frac{0,3 \times s \times b_c \times f'c}{fyt} \times \left\{ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right\}$$

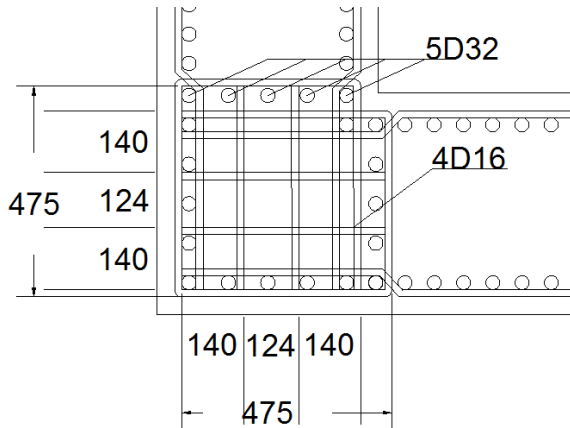
Untuk arah x, dengan s = 47mm, bc = 240 mm, didapat  $A_{sh \text{ min}} = 157,244$  mm<sup>2</sup>

Untuk arah y, dengan s = 64mm, bc = 350 mm, didapat  $A_{sh \text{ min}} = 343,484$  mm<sup>2</sup>

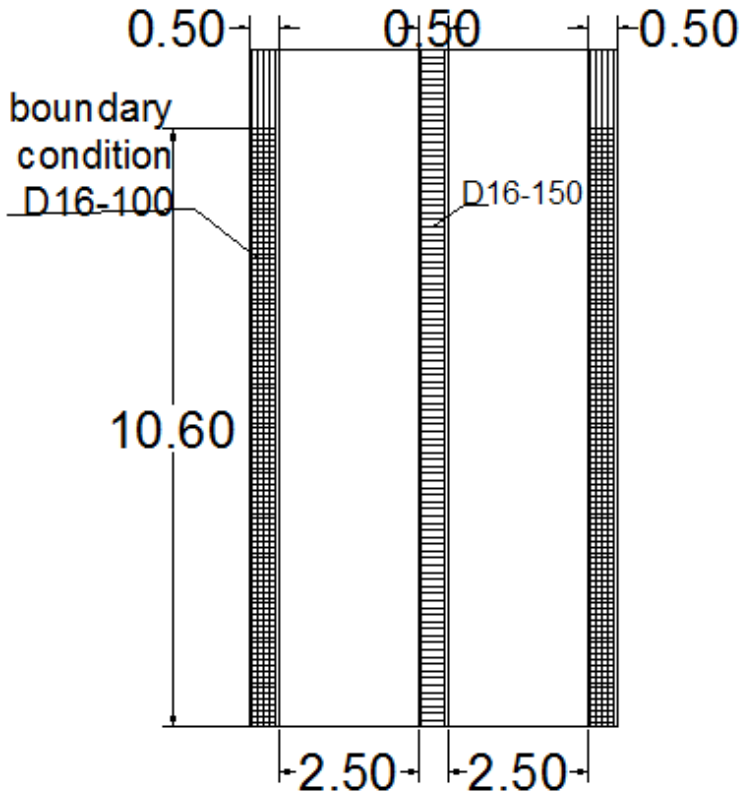
Dipakai 3D13 (398,197 mm<sup>2</sup>) untuk arah x, dan 4D13 (530,93 mm<sup>2</sup>) untuk arah y



Gambar 7. 13 Profil Balok Kopel



Gambar 7. 14 Tampak Atas Elemen Pembatas Khusus



Gambar 7. 15 Tampak Samping Elemen Pembatas Khusus

“halaman ini sengaja dikosongkan”



## **BAB VIII**

### **PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA PRATEKAN**

#### **8.1. Umum**

Beton Pratekan adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan benar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu. (*Abeles P.W., et al,* )

Beton pratekan mempunyai keunggulan yaitu pemanfaatan penampang yang optimal dengan kemampuan memikul beban yang sama, dibanding penampang beton bertulang biasa. Penampang beton pratekan memiliki dimensi lebih kecil daripada penampang beton bertulang biasa, sehingga akan sangat mempengaruhi berat struktur tersebut. Pengurangan berat struktur berpengaruh pada kekuatan struktur tersebut dalam memikul beban-beban yang terjadi.

Dalam perencanaan Tugas Akhir ini, struktur utama beton pratekan menggunakan metode pasca tarik (*post tension*). Metode pasca tarik adalah metode pratekan dimana tendon baja ditarik setelah beton mengeras. Jadi tendon pratekan diangkurkan pada beton tersebut segera setelah gaya pratekan diberikan.

Menurut SNI 03-2847-2013, tendon pada beton pratekan tidak boleh sama sekali memikul beban gempa, bahkan tidak dianjurkan digunakan pada zona gempa tinggi. Tetapi jika ada gempa maka beban tersebut dipikul oleh tulangan lunak. Sedangkan menurut ACI 318-2008 pasal. 21.5.2.5, tendon pratekan diperbolehkan menerima 25% momen positif atau negatif. Maka konstruksi beton pratekan ini didesain hanya menerima gaya gravitasi.

#### **8.2. Data Perencanaan Beton Pratekan**

Berikut ini adalah data-data perencanaan beton pratekan pada jembatan penghubung *Wind Palace Tower*.

### 8.2.1. Geometri Jembatan

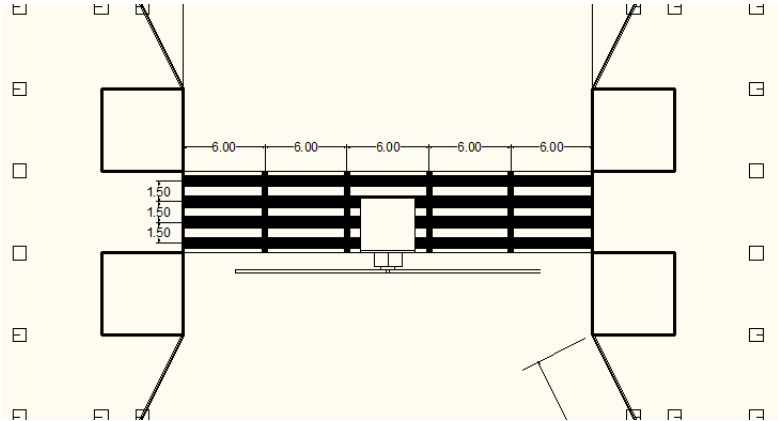
|                   |   |
|-------------------|---|
| Tipe Struktur     | : Jembatan beton prategang statis tertentu. |
| Bentang Jembatan  | : 30 m                                      |
| Lebar Jembatan    | : 6 m                                       |
| Jarak Antar Balok | : 1,5 m                                     |

### 8.2.2. Material

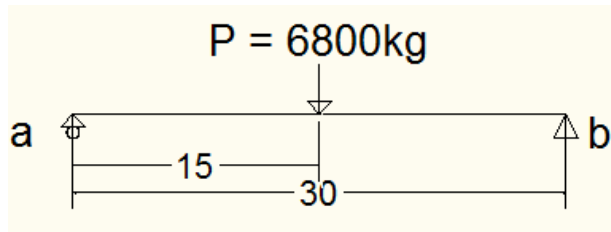
- Kekuatan Beton Balok Prategang :  
Kekuatan awal pada saat transfer  $f_{ci} = f'_c \times 0,88 = 35,2$  Mpa  
Kekuatan umur 28 hari  $f'_c = 40$  Mpa  
Pelat : 20 Mpa
- Modulus Elastisitas Beton (dihitung menurut SNI 2847 2013 pasal 8.5.1)  
Modulus Elastisitas balok umur 28 hari,  $E_c$  :  
33.994,485 Mpa  
Modulus Elastisitas Pelat,  $E_p$  :  
21.019,039 Mpa
- Baja Tulangan  
Kekuatan Leleh,  $f_y$  : 400 Mpa
- Tendon Prategang  
Kekuatan Ultimate  $f_{pu}$  : 1860 Mpa (Grade 1860 ASTM A-416 Standard)

### 8.3. Denah dan Potongan

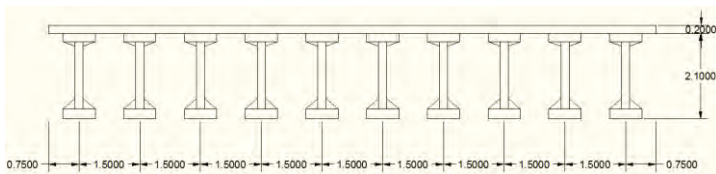
Denah jembatan, potongan memanjang jembatan, dan potongan melintang jembatan pada perencanaan Tugas Akhir ini terlampir dalam gambar 8.1, 8.2, dan 8.3.



Gambar 8. 1 Denah Jembatan



Gambar 8. 2 Potongan Memanjang Jembatan



Gambar 8. 3 Potongan Melintang Jembatan

## 8.4. Perencanaan Pelat Jembatan

### 8.4.1. Data Perencanaan Pelat

Berikut ini merupakan data perencanaan pelat yang meliputi mutu bahan dan tulangan yang hendak direncanakan, dimensi, dan diameter tulangan rencana.

- Mutu Beton = 20 Mpa
- Mutu Baja = 400 Mpa
- Decking = 20 mm (SNI 03-2847-2013 Ps.7.7.1.c.)

### 8.4.2. Pembebanan Pelat

Beban Mati:

$$\text{Pelat} = 0,2 \times 2400 = 480 \text{ Kg/m'}$$

$$\text{Aspal (1cm)} = 1 \times 14 = 14 \text{ Kg/m'}$$

$$Q_{DT} = 494 \text{ Kg/m'}$$

Beban Hidup

$$\text{Lantai Atap} = 100 \text{ Kg/m'}$$

$$\text{Hujan} = 20 \text{ Kg/m'}$$

$$Q_{LT} = 120 \text{ Kg/m'}$$

$$Q_u = 1,2D + 1,6L$$

$$= 592,8 + 192 = 784,8 \text{ Kg/m'} = 7,848 \text{ KN/m'}$$

Diasumsikan pelat menumpu pada dua sisi (arah ly) dan terletak bebas pada dua sisi yang lainnya (arah lx). Berdasarkan PBI'71 tabel 13.3.2 :

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,063 \times q \times (lx)^2 \\ &= 0,063 \times 7,848 \times 0,8^2 = 0,3164314 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= 0,013 \times q \times (lx)^2 \\ &= 0,013 \times 7,848 \times 0,8^2 = 0,0652954 \text{ KNm} \end{aligned}$$

### 8.4.3. Penulangan Pelat

Berikut ini merupakan beberapa parameter yang diperlukan dalam perhitungan penulangan pelat:

- $\rho_{\min} = 1,4 / f_y = 1,4 / 400 = 0,0035$
- $\beta_1 = 0,85$
- $\rho_b = \frac{0,85 \times 0,85 \times 20}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,021675$
- $\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,021675 = 0,0163$
- $m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 20} = 23,53$

Mencari tinggi efektif pelat :

$$d_x = h - d - 0,5 \cdot \phi_b$$

$$d_y = h - d - \phi_a - 0,5 \cdot \phi_a$$

Dimana :

h : tebal pelat

d : tebal selimut beton

$\phi_a$  : diameter tulangan atas

$\phi_b$  : diameter tulangan bawah

$$L_x = 30 \text{ m}$$

$$L_y = 0,8 \text{ m}$$

$$d_x = 200 - 20 - 0,5 \cdot 10 = 175 \text{ mm}$$

$$d_y = 200 - 20 - 10 - 0,5 \cdot 10 = 165 \text{ mm}$$

Penulangan arah x

$$M_u = 316.431,4 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times 1000 \times d_x^2} = \frac{316.431,4}{0,8 \times 1000 \times 175^2} = 0,013 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{23,53} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 23,53 \times 0,013}{400}} \right) = 3,23 \times 10^{-5}$$

karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka  $\rightarrow \rho_{\text{pakai}} = 0,0035$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho b d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 175 = 612,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} = 2.h = 2.200 = 400 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan lentur  $\varnothing 10 - 100$  ( As Pasang = 785,71  $\text{mm}^2$  )

#### Penulangan arah y

$$M_u = 65.295,4 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times 1000 \times d^2} = \frac{65.295,4}{0,8 \times 1000 \times 165^2} = 0,003 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\rho = \frac{1}{23,53} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 23,53 \times 0,003}{400}} \right) = 7,5 \times 10^{-6}$$

karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka  $\rightarrow \rho_{\text{pakai}} = 0,0035$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho b d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 165 = 577,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} = 2.h = 2.200 = 400 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan lentur  $\varnothing 10 - 100$  ( As Pasang = 785,71  $\text{mm}^2$  )

### **8.5. Perencanaan Diafragma**

Diafragma merupakan elemen struktural pada jembatan berupa sebuah balok yang berfungsi sebagai pengaku. Dalam perhitungan pembebanannya, struktur diafragma ini tidak di desain untuk menahan beban luar apapun kecuali berat sendiri balok

diafragma tersebut. Berikut ini merupakan data perencanaan yang direncanakan pada balok diafragma pada jembatan ini:

- Tinggi Balok (h) : 900 mm
  - Lebar Balok (b) : 400 mm
  - Mutu Beton ( $f_c$ ) : 20 mpa
  - Mutu Baja ( $f_y$ ) : 400 mpa
  - Decking : 40 mm
  - $\phi$  Longitudinal : 16 mm
  - $\phi$  Sengkang : 10 mm
- Tinggi efektif :  $h - d - \phi_s - 0,5 \phi_L$   
 :  $900 - 40 - 10 - 0,5 \times 16$   
 : 842 mm

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y = 1,4 / 400 = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,85 \times 20}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,021675$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,021675 = 0,0163$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 20} = 23,53$$

$$qD = 0,9 \times 0,4 \times 2400 = 864 \text{ kg/m} = 8,64 \text{ N/mm}$$

$$Mu = 1/8 \times q \times L^2 = 1/8 \times 8,64 \times 1160^2 = 1.453.248 \text{ Nmm}$$

$$Vu_{\text{tump}} = 0,5 \times q \times L = 0,5 \times 8,64 \times 1160 = 5017 \text{ N}$$

$$Vu_{\text{lap}} = 0,25 \times q \times L = 0,25 \times 8,64 \times 1160 = 2508,5 \text{ N}$$

### **Perhitungan Kebutuhan Tulangan Longitudinal**

$$Mn = \frac{1.453.248}{0,8}$$

$$Mn = 1.816.560 \text{ Nmm.}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{1.816.560}{400 \times 842^2} = 0,0064 \text{ N/mm}$$

$$\rho = \frac{1}{23,53} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 23,53 \times 0,0064}{400}} \right) = 1,6 \times 10^{-5}$$

karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka  $\rightarrow \rho_{\text{pakai}} = 0,0035$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} A_{\text{Sbutuh}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \times 400 \times 842 = 1.178,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka tulangan tarik 6 D 16 ( $A_s = 1.206.372 \text{ mm}^2$ ), memenuhi

$$A_{\text{Stekan}} = 0,5 A_{\text{Starik}} = 0,5 \times 1178,8 = 589,4 \text{ mm}^2$$

Maka tulangan tekan 3 D 16 ( $A_s = 1.206.372 \text{ mm}^2$ ), memenuhi

### Perhitungan Kebutuhan Tulangan Geser

$$V_u = 5017 \text{ N}$$

|                           |                              |                                       |
|---------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Luas tulangan ( $A_v$ ) : | $\leftrightarrow$ digunakan  | = type 2 kaki                         |
|                           | $\leftrightarrow$ digunakan  | = $\varnothing$ 10 mm                 |
|                           | $\leftrightarrow$ luas butuh | = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2$ |
|                           |                              | = $78,57 \text{ mm}^2$                |

#### Ketentuan Design.

$$V_c = 0,17 \times b_w \times d \times \sqrt{f_c'} \dots\dots \text{Sesuai SNI 03-2847-2013 Psl}$$

#### **11.2.1.1.**

$$V_c = 0,17 \times 400 \text{ mm} \times 842 \text{ mm} \times \sqrt{20 \text{ Mpa}}$$

$$V_c = 256.056,62 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 256.056,62 \text{ N} = 192.042,4622 \text{ N}$$

#### Kebutuhan tulangan geser

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka didapatkan kondisi:

$$V_u \leq 0,5 \phi V_c$$



$$V_u = 5017 \text{ kN} < \phi V_c = 0,75 \times 256.056,62 \text{ kN}$$

Maka tidak dibutuhkan tulangan geser, tetapi tulangan geser minimum tetap dibutuhkan, sehingga

Direncanakan sengkang 2 D10 - 150 ( $A_v = 402,2857 \text{ mm}^2$ )

### 8.6. Geometri Balok dan Sifat Penampang

Penampang balok pracetak dalam pengerjaan Tugas Akhir ini diambil berdasarkan *Bridge Construction Brochur* dari perusahaan Wika Beton yang terlampir dalam gambar 8.4. Perhitungan balok pracetak terbagi dalam dua macam yaitu balok sebelum komposit dan sesudah komposit. Potongan melintang penampang balok pracetak sebelum komposit terlampir dalam gambar 8.5.

#### Design and Manufacturing Reference


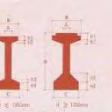
|               |   |  |
|---------------|---|--|
| Design        | SNI 03-1725-1989<br>BMS 7 - 1992<br>AASHTO - 1992<br>ACI 318 - 2002<br>SNI 03-2847-2002 | Recommendation for Design Loading of Highway Bridges<br>Bridge Design Code<br>Standard Specification for Highway Bridges<br>Building Code Requirements for Structural Concrete<br>Indonesian Concrete Code |
| Manufacturing | WIKA BETON-09-UK-005  | Girder Manufacturing Work Instruction  |

| Notation | Unit | 90   | 125  | 160 | 170 | 210 | 230 |
|----------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| h1       | mm   | 75   | 75   | 125 | 200 | 200 | 200 |
| h2       | mm   | 75   | 75   | 75  | 120 | 120 | 120 |
| h3       | mm   | 100  | 100  | 100 | 250 | 250 | 250 |
| h4       | mm   | 125  | 125  | 225 | 250 | 250 | 250 |
| h5       | mm   | 62.5 | 62.5 | 21  | 50  | 50  | 50  |
| h6       | mm   | -    | -    | -   | 40  | 40  | 40  |
| A        | mm   | 170  | 170  | 180 | 200 | 200 | 200 |
| B        | mm   | 350  | 350  | 550 | 800 | 800 | 800 |
| B1       | mm   | -    | -    | -   | 600 | 600 | 600 |
| C        | mm   | 650  | 650  | 650 | 700 | 700 | 700 |

#### PC I GIRDER Shape and Dimension

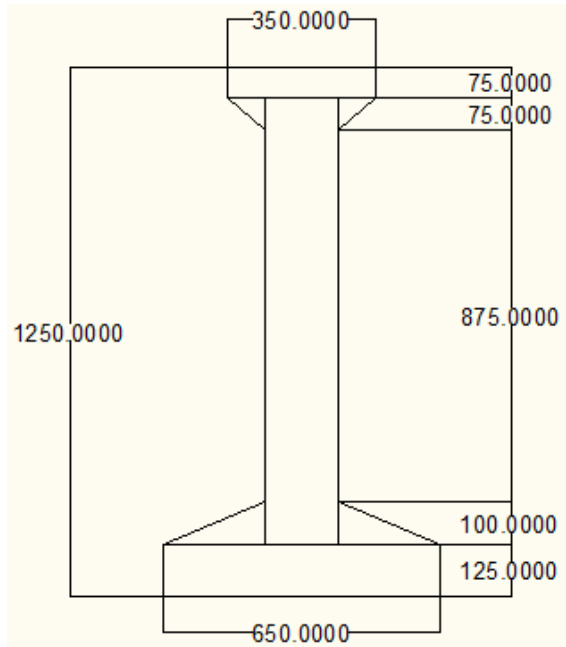



#### PC I GIRDER Classification

| Span (m) | Beam Spacing (cm)                          |       |       |       |       |       | Span (m) | Beam Spacing (cm)                          |       |       |       |       |       |
|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|----------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
|          | A - Class (Cube : 800 Kg/cm <sup>2</sup> ) |       |       |       |       |       |          | B - Class (Cube : 500 Kg/cm <sup>2</sup> ) |       |       |       |       |       |
|          | H-90                                       | H-125 | H-160 | H-170 | H-210 | H-230 |          | H-90                                       | H-125 | H-160 | H-170 | H-210 | H-230 |
| 16       | 185  | 230   |       |       |       |       | 16       | 185  | 230   |       |       |       |       |
| 17       | 140  | 230   |       |       |       |       | 17       | 140  | 230   |       |       |       |       |
| 18       | 140  | 230   |       |       |       |       | 18       | 140  | 230   |       |       |       |       |
| 19       |  | 230   |       |       |       |       | 19       |  | 230   |       |       |       |       |
| 20       |  | 230   |       |       |       |       | 20       |  | 185   | 230   |       |       |       |
| 21       |  | 230   |       |       |       |       | 21       |  | 185   | 230   |       |       |       |
| 22       |  | 230   |       |       |       |       | 22       |  | 140   | 230   |       |       |       |
| 23       |  | 230   |       |       |       |       | 23       |  | 140   | 230   |       |       |       |
| 24       |  | 185   | 230   |       |       |       | 24       |  | 140   | 230   |       |       |       |
| 25       |  | 185   | 230   |       |       |       | 25       |  |       | 230   |       |       |       |
| 26       |  | 140   | 230   |       |       |       | 26       |  |       | 230   |       |       |       |
| 27       |  | 140   | 230   |       |       |       | 27       |  |       |       | 185   | 230   |       |
| 28       |  | 140   | 230   |       |       |       | 28       |  |       |       | 185   | 230   |       |
| 29       |  |       | 230   |       |       |       | 29       |  |       |       | 185   | 230   |       |
| 30       |  |       | 230   |       |       |       | 30       |  |       | 140   | 230   |       |       |

Gambar 8. 4 *Bridge Construction Brochur* Wika Beton



Gambar 8. 5 Potongan Melintang Penampang Balok

Data penampang balok:

|               |                           |
|---------------|---------------------------|
| Panjang Balok | : 30.000 mm               |
| Tinggi        | : 1250 mm                 |
| Lebar         | : 650 mm                  |
| Tebal Web Top | : 170 mm                  |
| Luas, $A_g$   | : 316.750 cm <sup>2</sup> |

### 8.7. Perhitungan Sifat Penampang Balok Pratekan

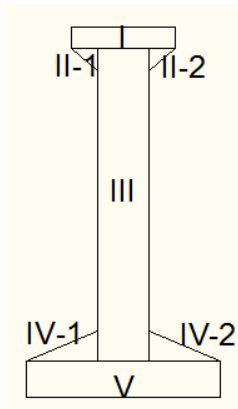
Garis Netral Penampang dihitung menggunakan rumus :

$$Y = \frac{A_1 \times Y_1 + A_2 \times Y_2 + A_n \times Y_n}{\Sigma A}$$

Perhitungan garis netral dan pembagian luas dari penampang balok terlampir pada tabel 8.1., dan gambar 8.6.

Tabel 8. 1 Perhitungan Garis Netral Penampang Balok

| Luas  | mm <sup>2</sup> | Sumbu Y | Luas x Sumbu Y | Titik Berat |         |
|-------|-----------------|---------|----------------|-------------|---------|
|       |                 |         |                | Sumbu Y     | Sumbu X |
| I     | 26250           | 1212.5  | 31828125       | 519.317     | 325     |
| II-1  | 3375            | 1150.00 | 3881250        |             |         |
| III   | 178500          | 650     | 116025000      |             |         |
| IV-1  | 12000           | 158.33  | 1900000        |             |         |
| V     | 81250           | 62.5    | 5078125        |             |         |
| II-2  | 3375            | 1150.00 | 3881250        |             |         |
| IV-2  | 12000           | 158.33  | 1900000        |             |         |
| Total | 316750          |         | 164493750.00   |             |         |



Gambar 8. 6 Pembagian Luas Penampang Balok

N.A. to bottom,  $y_b$

$$Y_b = 519,317 \text{ mm}$$

N.A. to top,  $y_t$

$$Y_t = 1250 - 519,317 = 888,618 \text{ mm}$$

Perhitungan momen inersia penampang balok menggunakan program bantu autocad yang terlampir pada gambar 8.7.

```

----- REGIONS -----
Area:                               316750.000
Perimeter:                           3904.307
Bounding box:                         X: -325.000 -- 325.000
                                       Y: -519.317 -- 730.683
Centroid:                             X: 0.000
                                       Y: 0.000
Moments of inertia:                   X: 54962557571.224
                                       Y: 4381039583.333
Product of inertia:                   XY: 0.000
Radii of gyration:                    X: 416.558
                                       Y: 117.606
Principal moments and X-Y directions about centroid:
I: 54962557571.198 along [1.000 0.000]
J: 4381039583.333 along [0.000 1.000]

```

Gambar 8. 7 Momen Inersia Penampang Balok

$$\begin{aligned}
 W_{\text{top}}: I_g / y_t &= 54962557571,224 / 888,618 \\
 &= 75220796,941 \text{ mm}^3 \\
 W_{\text{bottom}}: I_g / y_b &= 54962557571,224 / 519,317 \\
 &= 105836237,926 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

### **Sifat Penampang Balok Komposit**

#### Lebar Efektif Plat

Lebar Efektif Plat Ditentukan yang terkencil dari.

$$\left. \begin{aligned}
 16t_f &= 16 \times 200 = 3200 \text{ mm} \\
 L/4 &= 30.000/4 = 7500 \text{ mm} \\
 S &= 1500 \text{ mm}
 \end{aligned} \right\} \text{ dipakai } B_{\text{eff}} = 1500 \text{ mm}$$

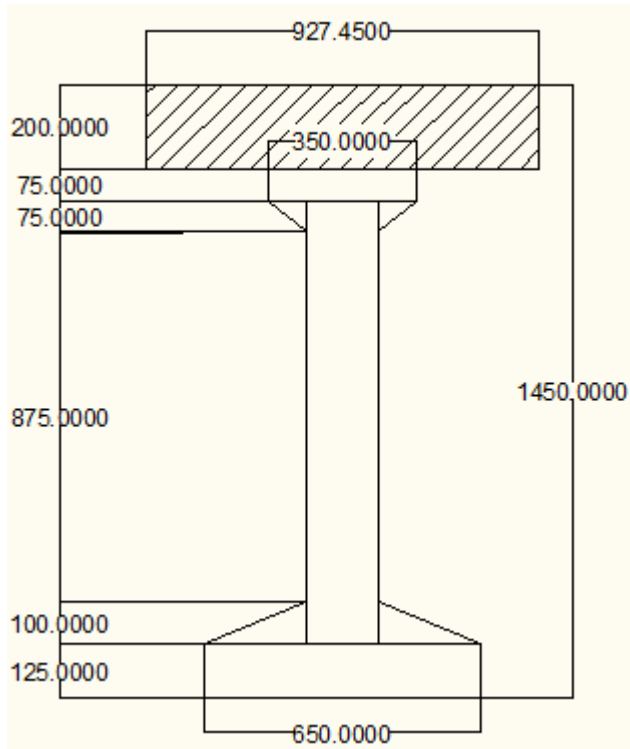
#### Lebar Transformasi Plat

$$n = E_p / E_b = 21.019,039 / 33.994,485 = 0,6183$$

$$B_T = B_{\text{eff}} \times n = 1500 \times 0.618 = 927,45 \text{ mm}$$

Tebal Pelat : 200 mm

Hasil perhitungan lebar transformasi pelat dapat dilihat pada gambar 8.7.



Gambar 8. 8 Potongan Melintang Balok Komposit

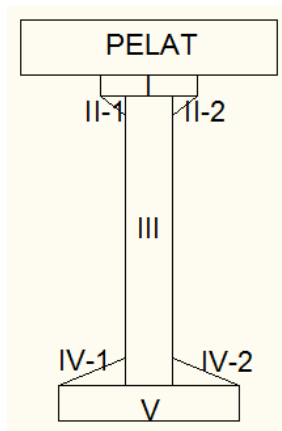
Garis Netral Penampang komposit dihitung menggunakan rumus :

$$Y = \frac{A1 \times Y1 + A2 \times Y2 + An \times Yn}{\Sigma A}$$

Perhitungan garis netral dan pembagian luas dari penampang balok komposit terlampir pada tabel 8.2., dan gambar 8.8.

Tabel 8. 2 Perhitungan Garis Netral Penampang Balok

| Luas  | mm <sup>2</sup> | Sumbu Y     | Luas x Sumbu Y | Titik Berat |         |
|-------|-----------------|-------------|----------------|-------------|---------|
|       |                 |             |                | Sumbu Y     | Sumbu X |
| Pelat | 185490          | 1350        | 250411500      | 826.110     | 463.725 |
| I     | 26250           | 1212.5      | 31828125       |             |         |
| II-1  | 3375            | 1150        | 3881250        |             |         |
| III   | 178500          | 650         | 116025000      |             |         |
| IV-1  | 12000           | 158.3333333 | 1900000        |             |         |
| V     | 81250           | 62.5        | 5078125        |             |         |
| II-2  | 3375            | 1150        | 3881250        |             |         |
| IV-2  | 12000           | 158.3333333 | 1900000        |             |         |
| Total | 502240          |             | 414905250.00   |             |         |



Gambar 8. 9 Pembagian Luasan Balok Komposit

$$\text{N.A. to bot, } y_{bc} = 826,110 \text{ mm}$$

$$\text{N.A. to top, } y_{tc} = 1250 - 826,110 = 623,89 \text{ mm}$$

Perhitungan momen inersia penampang balok komposit menggunakan program bantu autocad yang terlampir pada gambar 8.10.

```

----- REGIONS -----
Area:                    502240.000
Perimeter:              5459.207
Bounding box:          X: -463.725 -- 463.725
                      Y: -826.110 -- 623.890
Centroid:              X: 0.000
                      Y: 0.000
Moments of inertia:    X: 136303649423.237
                      Y: 17677016923.227
Product of inertia:    XY: 0.000
Radii of gyration:     X: 520.952
                      Y: 187.607
Principal moments and X-Y directions about centroid:
I: 17677016923.227 along [0.000 1.000]
J: 136303649423.126 along [-1.000 0.000]

```

Gambar 8. 10 Momen Inersia Penampang Balok Komposit

$$W_{\text{top composi}} : I_g / y_{tc} = 136303649423,237 / 623,89 \\ = 218473848,632 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{bottom composi}} : I_g / y_{bc} = 136303649423,237 / 826,110 \\ = 164994552,085 \text{ mm}^3$$

### 8.8. Penentuan Tegangan Ijin Baja dan Beton

Tegangan baja tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut :

- Tegangan ijin akibat gaya pengangkutan tendon  $0.94 f_{py}$ , tetapi tidak lebih besar dari nilai terkecil dari  $0.8 f_{pu}$  dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon pratekan atau perangkat angkur. (SNI 03-2847-2013 Ps.18.5.1)
- Tendon pasca tarik pada daerah angkur dan sambungan sesaat setelah penyaluran gaya pratekan  $0.70 f_{pu}$  (SNI 03-2847-2013 Ps.18.5.1)

Namun berdasarkan T.Y Lin dan Burns perumusan diatas juga berlaku untuk tendon pratarik segera setelah peralihan gaya pratekan.

Tegangan ijin pada beton tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut :

Segera setelah peralihan gaya pratekan (sebelum kehilangan), tegangan serat-serat terluar memiliki nilai sebagai berikut :

- ✓ Tegangan tekan :  $0,60 f_{ci}$  (SNI 03-2847-2002 pasal 20.4.1.1)

$$\sigma_{tk} = 0,6 \times f_{ci} = 0,6 \times 35,2 = 21,12 \text{ MPa}$$

- ✓ Tegangan tarik terluar direncanakan untuk dapat terjadi retak, sehingga diklasifikasikan sebagai kelas C :

$$\sigma_{tr} = f_t > 1,0\sqrt{f'_c} \text{ (SNI 03-2847-2013 pasal 18.3.3)}$$

$$\sigma_{tr} = 1,01 \times \sqrt{f'_c} = 0,25 \times \sqrt{40} = 1,58 \text{ MPa}$$

Pada beban kerja setelah terjadi kehilangan gaya pratekan.

- ✓ Tegangan tekan :  $0,45 f'_c$  (SNI 03-2847-2002 pasal 20.4.2.1)

$$\sigma_{tk} = 0,45 \times f'_c = 0,45 \times 40 = 18 \text{ MPa}$$

- ✓ Tegangan tarik  $\sigma_{tr} = f_t > 1,0\sqrt{f'_c}$  (SNI 03-2847-2013 pasal 18.3.3)

$$\sigma_{tr} = 1,01 \times \sqrt{f'_c} = 0,25 \times \sqrt{40} = 1,58 \text{ MPa}$$

Dimana :

$f_{pu}$  = kuat tarik tendon pratekan yang diisyaratkan, MPa

$f_{py}$  = kuat leleh tendon pratekan yang diisyaratkan, MPa

$f'_c$  = kuat tekan beton saat pemberian pratekan awal, MPa

$f_{ci}$  = kuat tekan beton yang diisyaratkan, MPa

## 8.9. Pembebanan Untuk Balok Tengah

Pada subbab ini akan dijabarkan pembebanan-pembebanan yang terjadi pada jembatan sesuai dengan standar pembebanan untuk jembatan RSNI T-02-2005.



### Beban Hidup

Beban hidup yang dihitung pada struktur jembatan ini adalah beban luar berupa berat turbin (P) seberat 6800kg = 68000N.

### Beban Angin

Gaya nominal dan gaya layan jembatan sangat bergantung pada besarnya kecepatan angin rencana. Dengan perumusan beban angin sebagai berikut:

$$Tew = 0,0006 \times Cw \times Vw^2 \times Ab$$

dimana :

$$Cw = \text{Koefesien seret, dari tabel 27 RSNI T-02-2005}$$

$Vw = \text{Kecepatan angin rencana (m/s}^2\text{), berasal dari perhitungan beban angin pada bab 6}$

$$Cw = 1,524$$

$$Vw = 84 \text{ m/s}$$

$$Ab = (75+195+875+490,3+125)/1000 \times 30 = 52,809 \text{ m}^3$$

$$Tew = 0,0006 \times 1,524 \times 84^2 \times 52,809 = 340,724 \text{ kN}$$

### Beban Mati

#### Berat Balok Girder

$$W_b = 2500 \times 0.31675 = 791,88 \text{ kg/m} = 7,92 \text{ N/mm}$$

#### Berat Pelat

$$W_p = 2400 \times 1,5 \times 0.20 = 720 \text{ kg/m} = 7,20 \text{ N/mm}$$

#### Berat Diafragma

$$b = 400\text{mm} ; h = 900\text{mm} ; L = 6000\text{mm}$$

Jumlah diafragma = 4 ; Jarak antar diafragma = 6000mm

$$P \text{ diafragma} = b \times h \times L \times 2400 = 0,4 \times 0,9 \times 6 \times 2400 = 5184 \text{ Kg} \\ = 51840 \text{ N}$$

## 8.10. Analisa Penampang Global

Analisa Penampang Pada Saat Momen Minimum (*Jacking*)

Tegangan Ijin

$$\text{Tarik} : \sigma_{\text{tarik}} = 0.25\sqrt{f_c} = 1,58 \text{ MPa}$$

$$\text{Tekan} : \sigma_{\text{tekan}} = 0.6 f_{ci} = 21,12 \text{ MPa}$$

Eksintristas

Cgs = 200mm dari bottom beam (asumsi)

$$Y_b = 519,32 \text{ mm}$$

$$E = Y_b - cgs = 519,32 - 200 = 319,32 \text{ mm}$$

Momen Akibat Berat Sendiri Balok.

$$M_b = 1/8 ql^2 = 1/8 \times 7,92 \times 30,000^2 = 890.859.375 \text{ Nmm}$$

Kontrol Tegangan Pada Penampang. di Tengah Bentang Serat Atas :

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{tarik}} &= \frac{P_o}{A_g} - \frac{P_o \cdot e \cdot Yt}{I} + \frac{M_b \cdot Yt}{I} \\ -1,58 &= \frac{P_o}{316750} - \frac{P_o \times 319,32 \times 730,68}{54962557571,2241} \\ &\quad + \frac{890.859.375 \times 730,68}{54962557571,224} \end{aligned}$$

$$P_o = 12.338.614,74 \text{ N}$$

Serat Bawah :

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{tekan}} &= \frac{P_o}{A_g} + \frac{P_o e Yt}{w_b} - \frac{M_b \cdot Yb}{w_b} \\ 21,12 &= \frac{P_o}{316750} + \frac{P_o \times 319,32 \times 519,32}{54962557571,224} \\ &\quad - \frac{890.859.375 \times 519,32}{54962557571,224} \end{aligned}$$

$$P_o = 4.784.033,37 \text{ N (menentukan)}$$

Dipakai gaya prategang awal  $P_o = 4.784.033,37 \text{ N}$

Analisa Penampang Pada Saat Momen Maximum (Beban Layan)

Tegangan Ijin

$$\text{Tarik} : \sigma_{\text{tarik}} = 0.25\sqrt{f_c} = 1,58 \text{ MPa}$$

$$\text{Tekan} : \sigma_{\text{tekan}} = 0.45 f_c' = 18 \text{ MPa}$$

Eksintristas

Cgs = 200mm dari bottom beam (asumsi)

$$Y_b = 826,11 \text{ mm}$$

$$E = Y_b - c_{gs} = 826,11 - 200 = 626,11 \text{ mm}$$

Beban Momen

$$M_b = 1/8 ql^2 = 1/8 \times 7,92 \times 30.000^2 = 890.859.375 \text{ Nmm}$$

$$M_p = 1/8 ql^2 = 1/8 \times 7,2 \times 30.000^2 = 810.000.000 \text{ Nmm}$$

$$M_{Dfm} = 2P \times 0,5 L - P \times (0,5L - 9000) - P \times (0,5L - 3000) \\ = 1.088.640.000 \text{ Nmm}$$

$$M_D = M_b + M_p + M_{Dfm} \\ = 890.859.375 + 810.000.000 + 1.088.640.000 \\ = 2.789.499.375 \text{ Nmm}$$

$$M_L = 1/4 pl = 1/4 \times (68.000 + 340.724) \times 30.000 \\ = 3.065.430.045 \text{ Nmm}$$

Kontrol Tegangan Pada Penampang. di Tengah Bentang  
Asumsi kehilangan prategang 20%

$$P = 0.8 P_o = 0.8 \times 4.784.033,37 = 3.827.226,699 \text{ N}$$

Serat Atas :

$$\frac{P_o}{A_g} - \frac{P_o \cdot e \cdot Y_t}{I} + \frac{M_D \cdot Y_t}{I} + \frac{M_L \cdot Y_t}{I} \leq \sigma_{tekan}$$

$$\frac{3.827.226,699}{502240} - \frac{3.827.226,699 \times 626,11 \times 623,89}{136303649423,237} \\ + \frac{2.789.499.375 \times 623,89}{136303649423,237} + \frac{3,065 \times 10^9 \times 811,97}{136303649423,237} \leq 18$$

$$11,75 \text{ Mpa} < 18 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Serat Bawah :

$$\frac{P_o}{A_g} + \frac{P_o \cdot e \cdot Y_b}{I} - \frac{M_D \cdot Y_b}{I} - \frac{M_L \cdot Y_b}{I} \geq \sigma_{tarik}$$

$$\frac{3.827.226,699}{502240} + \frac{3.827.226,699 \times 626,11 \times 826,11}{136303649423,237} \\ - \frac{2.789.499.375 \times 826,11}{136303649423,237} - \frac{3,065 \times 10^9 \times 826,11}{136303649423,237} \geq 1,58$$

$$0,985 \text{ Mpa} > -1,58 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

### 8.11. Perencanaan Kabel Tendon dan Angker

Pada perencanaan tugas akhir ini, tendon prategang direncanakan menggunakan Tendon VSL MULTISTRAND POST-TENSIONING AS 1331. Pada 8.9. ditunjukkan kekuatan berbagai macam tendon berdasarkan VSL MULTISTRAND POST-TENSIONING AS 1331.

| STRAND PROPERTIES – TO AS1311 |                    |              |                       |                                  |                                  |  |                       |
|-------------------------------|--------------------|--------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|-----------------------|
| Nominal Diameter              | Nominal Steel Area | Nominal Mass | Minimum Breaking Load | Minimum Proof Load (0.2% Offset) | Min. Elong. to Fracture in 600mm | Relaxation After 1,000hrs at 0.7 Breaking Load | Modulus of Elasticity |
| mm                            | mm <sup>2</sup>    | kg/m         | kN                    | kN                               | %                                | %  | MPa                   |
| 12.7                          | 100.1              | 0.786        | 184                   | 156.4                            | 3.5                              | 2.5  | 180-205               |
| 15.2                          | 143.3              | 1.125        | 250                   | 212.5                            | 3.5                              | 2.5  | x 10 <sup>3</sup>     |

Gambar 8. 11 Spesifikasi Strand (sumber: VSL MULTISTRAND POST-TENSIONING AS 1331)

Berdasarkan gambar 8.11. diatas direncanakan strand prategang menggunakan Strand dengan nominal diameter 15,2 mm dengan spesifikasi sebagai berikut.

|                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| Diameter Strand       | = 15.24 mm              |
| Minimum Breaking Load | = 250 kN                |
| Nominal Steel Area    | = 143,3 mm <sup>2</sup> |

#### Perencanaan Jenis Angker

Pada perencanaan tugas akhir ini, angker direncanakan menggunakan VSL MULTISTRAND POST-TENSIONING AS 1331. Pada gambar 8.12. ditunjukkan kekuatan berbagai macam angker berdasarkan VSL MULTISTRAND POST-TENSIONING AS 1331

| STRAND TYPE 12.7mm |                |                          |                                  | STRAND TYPE 15.2mm |                |                          |                                  |
|--------------------|----------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------|----------------|--------------------------|----------------------------------|
| TENDON UNIT        | No. OF STRANDS | Minimum Breaking Load kN | STEEL DUCT. Internal Diameter mm | TENDON UNIT        | No. OF STRANDS | Minimum Breaking Load kN | STEEL DUCT. Internal Diameter mm |
| 5-3                | 2              | 368                      | 39                               | 6-3                | 2              | 500                      | 39                               |
|                    | 3              | 552                      | 39                               |                    | 3              | 750                      | 39                               |
| 5-7                | 4              | 736                      | 51                               | 6-4                | 4              | 1000                     | 51                               |
|                    | 5              | 920                      | 51                               | 6-7                | 5              | 1250                     | 69                               |
|                    | 6              | 1100                     | 51                               |                    | 6              | 1500                     | 69                               |
|                    | 7              | 1290                     | 51                               |                    | 7              | 1750                     | 69                               |
| 5-12               | 8              | 1470                     | 69                               | 6-12               | 8              | 2000                     | 84                               |
|                    | 9              | 1660                     | 69                               |                    | 9              | 2250                     | 84                               |
|                    | 10             | 1840                     | 69                               |                    | 10             | 2500                     | 84                               |
|                    | 11             | 2020                     | 69                               |                    | 11             | 2750                     | 84                               |
| 5-19               | 12             | 2210                     | 69                               | 6-19               | 12             | 3000                     | 84                               |
|                    | 13             | 2390                     | 84                               |                    | 13             | 3250                     | 96                               |
|                    | 14             | 2580                     | 84                               |                    | 14             | 3500                     | 96                               |
|                    | 15             | 2760                     | 84                               |                    | 15             | 3750                     | 96                               |
|                    | 16             | 2940                     | 84                               |                    | 16             | 4000                     | 96                               |
|                    | 17             | 3130                     | 84                               |                    | 17             | 4250                     | 96                               |
|                    | 18             | 3310                     | 84                               |                    | 18             | 4500                     | 96                               |
| 19                 | 3500           | 84                       | 19                               | 4750               | 96             |                          |                                  |
| 5-22               | 20             | 3680                     | 90                               | 6-22               | 20             | 5000                     | 105                              |
|                    | 21             | 3860                     | 90                               |                    | 21             | 5250                     | 105                              |
|                    | 22             | 4050                     | 90                               |                    | 22             | 5500                     | 105                              |
| 5-27               | 23             | 4230                     | 96                               | 6-27               | 23             | 5750                     | 115                              |
|                    | 24             | 4420                     | 96                               |                    | 24             | 6000                     | 115                              |
|                    | 25             | 4600                     | 96                               |                    | 25             | 6250                     | 115                              |
|                    | 26             | 4780                     | 96                               |                    | 26             | 6500                     | 115                              |
|                    | 27             | 4970                     | 96                               |                    | 27             | 6750                     | 115                              |
| 5-31               | 28             | 5150                     | 105                              | 6-31               | 28             | 7000                     | 118                              |
|                    | 29             | 5340                     | 105                              |                    | 29             | 7250                     | 118                              |
|                    | 30             | 5520                     | 105                              |                    | 30             | 7500                     | 118                              |
|                    | 31             | 5700                     | 105                              |                    | 31             | 7750                     | 118                              |
| 5-37               | 32             | 5890                     | 115                              | 6-37               | 32             | 8000                     | 127                              |
|                    | 33             | 6070                     | 115                              |                    | 33             | 8250                     | 127                              |
|                    | 34             | 6260                     | 115                              |                    | 34             | 8500                     | 127                              |
|                    | 35             | 6440                     | 115                              |                    | 35             | 8750                     | 127                              |
|                    | 36             | 6620                     | 115                              | 6-42               | 36             | 9000                     | 135                              |
|                    | 37             | 6810                     | 115                              |                    | 37             | 9250                     | 135                              |
| 5-42               | 38             | 6990                     | 118                              | 38                 | 9500           | 135                      |                                  |
|                    | 39             | 7180                     | 118                              | 39                 | 9750           | 135                      |                                  |
|                    | 40             | 7360                     | 118                              | 40                 | 10000          | 135                      |                                  |
|                    | 41             | 7540                     | 118                              | 41                 | 10250          | 135                      |                                  |
|                    | 42             | 7730                     | 118                              | 42                 | 10500          | 135                      |                                  |

Gambar 8. 12 Spesifikasi Tendon (sumber: VSL MULTISTRAND POST-TENSIONING AS 1331)

Berdasarkan perhitungan sebelum nya, diketahui gaya ( $P_o$ ) diperlukan pada struktur jembatan ini sebesar 4.784.033,37 N. Berdasarkan gambar 8.12 direncanakan menggunakan tendon Strand Type 15 Tendon Unit 6-22, dengan spesifikasi sebagai berikut:

No of Strands = 20

Minimum Breaking Load = 5000 KN

Steel Duct Internal Diamater = 105 mm

$$\text{Tendon Unit} = 6-22$$

Luas tendon yang digunakan

$$A_{\text{pakai}} = 1/4 \pi d^2 n = 1/4 \pi [15,24]^2 \times 22$$

$$A_{\text{pakai}} = 3649,7623 \text{ mm}^2$$

Nilai tegangan pakai:

$$f_{\text{pakai}} = F_o / A_{\text{pakai}} = 5000 / 3649,7623 = 1369,95223 \text{ Mpa}$$

### 8.12. Perhitungan Daerah Limit Kabel

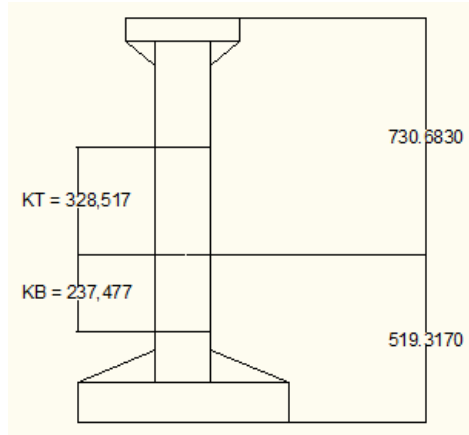
Daerah limit kabel adalah daerah sepanjang balok dimana bila kabel ditempatkan pada daerah tersebut tidak akan menyebabkan terjadinya tegangan yang melebihi tegangan izinnnya (baik tarik maupun tekan).

Perhitungan Kern Penampang Pracetak

Kern Atas (saat komposit):    Kern Bawah (saat non-komposit):

$$k_t = \frac{w_b}{A_g} = \frac{218473848,632}{502240} = 328,517 \text{ mm} \qquad k_b = \frac{w_t}{A_g} = \frac{105836237,926}{316750} = 237,477 \text{ mm}$$

Letak kern dan garis netral terlampir pada gambar 8.13



Gambar 8. 13 Letak Kern dan Garis Netral

#### Perhitungan Limit Atas dan Limit Bawah

Agar pengaruh beban kerja dan pusat tekanan tidak akan jatuh diluar kern maka batas atas dan batas bawah harus ditentukan menggunakan rumus:

$$\text{Batas Atas} = \text{kern atas} - \frac{M_{total}}{P}$$

$$\text{Batas Bawah} = \text{kern bawah} + \frac{M_{total}}{P_o}$$

Perhitungan batas atas dan batas bawah dapat dilihat pada tabel 8.3 dan perhitungan daerah limit kabel terlampir pada tabel 8.4 dan Gambar 8.14.

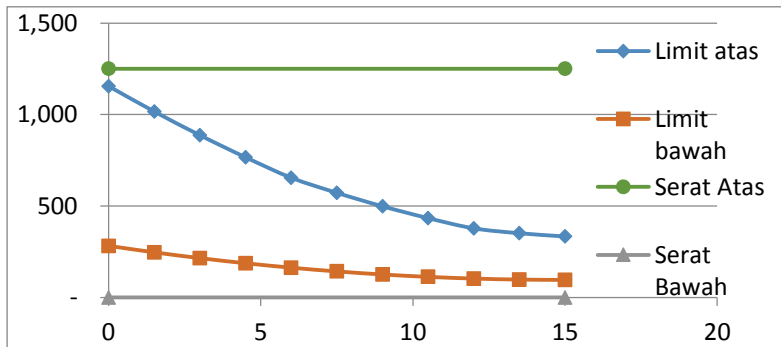
Tabel 8. 3 Hasil Perhitungan Batas Atas dan Batas Bawah

| Jarak | B. Sendiri | B. Diafragma | Plat + Aspal | B. Hidup | M. Total | a2      | a1       |
|-------|------------|--------------|--------------|----------|----------|---------|----------|
| (Xi)  | (Mg)       |              |              |          | (Mt)     | (Mg/Fo) | (Mt/Fe)  |
|       | (KNm)      | (KNm)        | (KNm)        | (KNm)    | (KNm)    | (mm)    | (mm)     |
| 0     | -          | 0            | 0            | 0        | 0        | 0.00    | 0        |
| 1.5   | 169.26     | 155.52       | 153.90       | 51       | 529.68   | 35.38   | 138.3987 |
| 3     | 320.71     | 311.04       | 291.60       | 102      | 1,025.35 | 67.04   | 267.9092 |
| 4.5   | 454.34     | 466.56       | 413.10       | 153      | 1,487.00 | 94.97   | 388.5315 |
| 6     | 570.15     | 622.08       | 518.40       | 204      | 1,914.63 | 119.18  | 500.2656 |
| 7.5   | 668.14     | 699.84       | 607.50       | 255      | 2,230.48 | 139.66  | 582.7939 |
| 9     | 748.32     | 777.6        | 680.40       | 306      | 2,512.32 | 156.42  | 656.434  |
| 10.5  | 810.68     | 855.36       | 737.10       | 357      | 2,760.14 | 169.46  | 721.1859 |
| 12    | 855.23     | 933.12       | 777.60       | 408      | 2,973.95 | 178.77  | 777.0496 |
| 13.5  | 881.95     | 933.12       | 801.90       | 459      | 3,075.97 | 184.35  | 803.7075 |
| 15    | 890.86     | 933.12       | 810.00       | 510      | 3,143.98 | 186.22  | 821.4772 |



Tabel 8. 4 Hasil Perhitungan Daerah Limit Kabel

| Jarak<br>(Xi) | Limit atas<br>(mm)<br>(Kt-a1) | Limit bawah<br>(mm)<br>(Kb-a2) |
|---------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 0             | 1,155                         | 282                            |
| 1.5           | 1,016                         | 246                            |
| 3             | 887                           | 215                            |
| 4.5           | 766                           | 187                            |
| 6             | 654                           | 163                            |
| 7.5           | 572                           | 142                            |
| 9             | 498                           | 125                            |
| 10.5          | 433                           | 112                            |
| 12            | 378                           | 103                            |
| 13.5          | 351                           | 97                             |
| 15            | 333                           | 96                             |



Gambar 8. 14 Bentuk Daerah Limit Kabel

### 8.13. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan pratekan adalah berkurangnya gaya pratekan dalam tendon saat tertentu dibanding pada saat *stressing*.

Secara umum kehilangan prategang dapat disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut:

1. Friksi
2. Perpendekan Elastis Beton
3. Rangkak
4. Susut
5. Relaxation

### 8.13.1. Kehilangan Prategang Akibat *Friksi / Gesekan (Wobble Effect)*

(SNI 03-2847-2013 pasal 18.6.2)

Perhitungan kehilangan pratekan diakibatkan oleh gesekan antara material beton dan baja pratekan saat proses pemberian gaya pratekan. Konstanta-konstanta yang disarankan untuk tujuan desain dengan menggunakan strand seven wire dengan selongsong logam fleksibel adalah sebagai berikut:

Untuk Kelengkungan :  $\mu = 0.15$

Koefisien Wobble :  $K = 0,0016$

Kehilangan Prategang :

$$F_{pf} = F_1 \times e^{-\mu\alpha - KL}$$

$$F_{pf} = 5000 \times e^{-\mu\alpha - KL}$$

Dimana :

$$\alpha = \frac{8 \text{ eksintrisitas}}{L} = \frac{8 \times 626,1}{30000} = 0.166963 \text{ rad}$$

$$e^{-\mu\alpha - KL} = e^{-(0.15 \times 0.166963) - (0.0016 \times 30)} = 0,92956$$

$$F_{pf} = 5000.000 \times 0,92956 = 4.647.797,783 \text{ N}$$

$$\Delta F_{pf} = 5000.000 - 4.647.797,783 = 352.202,217 \text{ N}$$

$$\Delta F_{pf} = \frac{352.202,217}{4927,179} = 96,50004277 \text{ Mpa}$$

Presentase kehilangan prategang akibat gesekan adalah:

$$\Delta F_{pf} = \frac{96,50004277}{1369,95223} \times 100\% = 7,044\%$$

### 8.13.2. Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan Elastis

(SNI 03-2847-2013 pasal 18.6.1.b)

Beton menjadi lebih pendek bila gaya prategang diaplikasikan. Bersama dengan pemendekan itu tendon yang tertanam dalam beton tersebut kehilangan sebagian gaya yang dibawanya.

Untuk beton prategang pasca-tarik kehilangan prategang terjadi akibat tendon yang ditarik tidak secara bersamaan.

Dikarenakan jumlah tendon yang digunakan hanya berjumlah 1 buah, maka kehilangan gaya pratekan akibat perpendekan elastis tidak mempengaruhi.

### 8.13.3. Kehilangan Prategang Akibat Rangkak

(SNI 03-2847-2013 pasal 18.6.1.c)

Perkiraan kehilangan tegangan akibat rangkak dapat dihitung dengan menggunakan rumusan :

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} \times f_{cds})$$

$K_{cr}$  = 2 untuk metode pra-tarik.

= 1,6 untuk metode pasca-tarik.

$f_{cds}$  = tegangan beton didaerah c.g.s. akibat sluruh beban mati pada struktur setelah diberi gaya prategang.

$$= \frac{M_{de}}{I} = \frac{2.789.499.375 \times 626,1}{136303649423,237} = 15,63 \text{ MPa}$$

$f_{cir}$  = tegangan beton didaerah c.g.s. akibat gaya awal pratekan.

$$= \frac{5000000}{316750} - \frac{5000000 \times 319,32 \times 319,32}{54962557571,2241} + \frac{890.859.375 \times 319,32}{54962557571,224}$$

$$= 19,8854 \text{ MPa}$$

$E_s$  = 200.000 MPa

$E_c$  = 33.994,485 MPa

$$CR = 1,6 \frac{200.000}{33.994,485} (19,8854 - 15,63)$$

$$CR = 40,1 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan pratekan akibat rangkak, ialah:

$$\Delta f_{cr} = \frac{40,1}{1369,95223} \times 100\% = 2,92 \%$$

### 8.13.4. Kehilangan Prategang Akibat Susut

(SNI 03-2847-2013 pasal 18.6.1.d)

Besarnya penyusutan beton dapat bervariasi dari nol sampai 0.0008 untuk penampang tipis yang terbuat dengan penyusutan tinggi dan tidak dilakukan curing. Rumus Umum kehilangan tegangan akibat susut berdasarkan PCI (Prestressed Concrete Institute) dituliskan sebagai berikut:

$$SH = 8.2 \times 10^{-6} K_{sh} E_{ps} \left( 1 - 0,006 \frac{V}{S} \right) (100 - R_h)$$

Dimana :

$K_{sh}$  = 0.77 (Transfer prategang dilakukan setelah curing 7 hari)

$E_{ps}$  = 200.000 MPa

$R_h$  = 75% (kelembaban udara)

$V/S$  = volume /luas permukaan (inch)

$V$  = Abalok x L balok = 316.750 x 30.000  
= 9.502.500.000 mm<sup>3</sup> = 579.878,128 in<sup>3</sup>

$S$  = As balok x L balok

Tabel 8. 5 Perhitungan Luas Selimut Beton

| Segmen |   | panjang sisi |   | L balok | Luas sisi           |
|--------|---|--------------|---|---------|---------------------|
|        |   | ( mm )       |   | ( mm )  | ( mm <sup>2</sup> ) |
| I      | = | 350          | x | 30,000  | 10500000            |
|        | = | 75           | x | 30,000  | 2250000             |
|        | = | 75           | x | 30,000  | 2250000             |
| ii-1   | = | 195.000      | x | 30,000  | 5850000             |
| ii-2   | = | 195.000      | x | 30,000  | 5850000             |
| iii    | = | 875          | x | 30,000  | 26250000            |
|        | = | 875          | x | 30,000  | 26250000            |
| iv-1   | = | 490.306      | x | 30,000  | 14709180.8          |
| iv-2   | = | 490.306      | x | 30,000  | 14709180.8          |
| v      | = | 125          | x | 30,000  | 3750000             |
|        | = | 650          | x | 30,000  | 19500000            |
|        | = | 125          | x | 30,000  | 3750000             |

|   |             |
|---|-------------|
| Maka Luas Selimut penampang balok (As) adalah | 135,618,362 |
|---|-------------|

$$A_s = 135,618,362 \text{ cm}^2 = 210.208,9 \text{ in}^2$$

$$V/S = 579.878,128 / 210.208,9 = 2,758581 \text{ inch}$$

$$SH = 8.2 \times 10^{-6} K_{sh} E_{ps} \left(1 - 0,006 \frac{V}{S}\right) (100 - R_h)$$

$$SH = 8.2 \times 10^{-6} \times 0.77 \times 200000$$

$$(1 - 0,006 \times 2,758581) (100 - 75)$$

$$SH = 29,515 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan pratekan akibat rangkai, ialah:

$$\Delta f_{SH} = \frac{29,515}{1369,95223} \times 100\% = 2,154 \%$$

### 8.13.5. Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi

(SNI 03-2847-2013 pasal 18.6.1.e)

Relaksasi baja prategang harus diperhitungkan sebagai faktor yang mempengaruhi kehilangan gaya prategang. Besarnya kehilangan relaksasi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$RE = [K_{re} - J(SH + CR + ES)]C$$

Dimana:

$$K_{re} = 135 \text{ (strand atau kawat stress-relieved grade 1860 MPa)}$$

$$J = 0,15 \text{ (strand atau kawat stress-relieved 1860 MPa)}$$

$$SH = 27,565 \text{ MPa (Kehilangan Tegangan Akibat Susut)}$$

$$CR = 117,38 \text{ MPa (Kehilangan Tegangan Akibat Rangkai)}$$

$$ES = 0 \text{ MPa (Kehilangan Tegangan Akibat Perpendekan Elastis)}$$

$$C = 1 \text{ (strand atau kawat stress-relieved, fpi/fpu = 0,7)}$$

$$RE = [K_{re} - J(SH + CR + ES)]C$$

$$RE = [138 - 0,15(29,515 + 40,1 + 0)]1$$

$$RE = 127,5624 \text{ MPa}$$

Persentase kehilangan pratekan akibat rangkai, ialah:

$$\Delta f_{re} = \frac{127,5624}{1369,95223} \times 100\% = 9,39 \%$$

Kehilangan Prategang Total

$$\Delta f_T = RE + SH + CR + Pf = 9,311 + 2,154 + 2,92 + 7,044 = 21,435 \%$$

### 8.14. Analisa Penampang

Pada subbab ini akan dijabarkan tentang analisa tegangan pada penampang beton dan pada penampang baja pada saat beban layan dengan kehilangan gaya prategang sebesar 21,435%.

$$P = (1 - 0,21435) \times 5000 = 0,78565 \times 5000 = 3928,26 \text{ kN}$$

Analisa Tegangan Pada Beton:

Serat Atas :

$$\frac{P_o}{A_g} - \frac{P_o \cdot e \cdot Yt}{I} + \frac{M_D \cdot Yt}{I} + \frac{M_L \cdot Yt}{I} \leq \sigma_{tekan}$$

$$\frac{3.928.260}{502240} - \frac{3.928.260 \times 626,11 \times 623,89}{136303649423,237} + \frac{2.789.499.375 \times 623,89}{136303649423,237} + \frac{510.000.000 \times 811,97}{136303649423,237} \leq 18$$

$$11,67 \text{ Mpa} < 18 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Serat Bawah :

$$\frac{P_o}{A_g} + \frac{P_o \cdot e \cdot Yb}{I} - \frac{M_D \cdot Yb}{I} - \frac{M_L \cdot Yb}{I} \geq \sigma_{tarik}$$

$$\frac{3.928.260}{502240} + \frac{3.928.260 \times 626,11 \times 826,11}{136303649423,237} - \frac{2.789.499.375 \times 826,11}{136303649423,237} - \frac{510.000.000 \times 826,11}{136303649423,237} \geq 1,58$$

$$1,368 \text{ Mpa} > -1,58 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

Kontrol lentur yang dilakukan terhadap beton pratekan sudah memenuhi syarat, baik saat sebelum atau sesudah kehilangan pratekan.

### 8.15. Kontrol Momen Retak ( $M_{cr}$ )

Perhitungan kuat ultimate dari beton pratekan harus memenuhi persyaratan SNI 03-2847-2013 pasal 18.8.2 mengenai jumlah total baja tulangan non pratekan dan pratekan harus cukup untuk menghasilkan beban terfaktor paling sedikit 1.2 beban retak yang terjadi berdasarkan nilai modulus retak sebesar  $0,62 \lambda \sqrt{f'_c}$  sehingga didapatkan  $\phi M_u \leq 1.2 M_{cr}$ , dengan nilai  $\phi = 0.8$

Nilai momen retak dapat dihitung sebagai berikut (dengan asumsi tanda (+) adalah serat yang mengalami tekan :

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

$$\begin{aligned} f_r &= 0,62 \lambda \sqrt{f'_c} = 0,62 \times 1 \times \sqrt{40} = 3,92 \text{ Mpa} \\ I_g &= 54962557571,2241 \text{ mm}^4 \\ y_t &= 730,683 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{f_r I_g}{y_t} = \frac{3,92 \times 54962557571,2241}{730,683} \\ &= 294.957.616,73 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 1,2 M_D + 1,6 M_L \\ &= 1,2 \times 2.789.499.375 + 1,6 \times 510.000.000 \\ &= 4.163.399.250 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Masukkan persyaratan kontrol momen retak dengan perumusan di bawah ini

$$\phi M_u \leq 1.2 M_{cr}$$

$$\begin{aligned} 0,8 \times 4.163.399.250 &\geq 1,2 \times 294.957.616,73 \\ 3.330.719.400 \text{ Nmm} &\geq 353.949.140.1 \text{ Nmm} \dots\dots\dots(\text{OK}) \end{aligned}$$

Sehingga dengan kontrol momen retak maka hasil perhitungan beton pratekan telah memenuhi persyaratan.

### 8.16. Kontrol Momen Nominal ( $M_n$ )

Kontrol penampang dilakukan untuk mengetahui kekuatan batas penampang rencana apakah mampu menahan momen

ultimate yang terjadi. Nilai momen nominal yang terjadi bergantung desain penampang apakah menggunakan tulangan lunak terpasang atau tidak. Selain itu juga bergantung pada jenis penampang balok manakah termasuk balok bersayap atau penampang persegi. Hal ini diatur dalam SNI 03-2847-2013 pasal 18.7

$$\begin{aligned}
 b &= 350 \text{ mm} \\
 d &= h - c_{gs} = 1250 - 200 = 1050 \text{ mm} \\
 A_{ps} &= 3649,762 \text{ mm}^2 \\
 \rho_p &= \frac{A_{ps}}{bd} = \frac{3649,762}{350 \times 1050} = 9,9313 \times 10^{-3} \\
 F_{pu} &= 1860 \text{ Mpa} \\
 f'_c &= 40 \text{ Mpa} \\
 f_{ps} &= f_{pu} \left\{ 1 - 0,5 \left[ \rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} \right] \right\} = 1860 \left\{ 1 - \right. \\
 &\quad \left. 0,5 \left[ 9,9313 \times (10^{-3}) \frac{1860}{40} \right] \right\} \\
 &= 1430,519809 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Daerah tekan tidak persegi panjang di flens bagian atas saja.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas daerah tekan} &= \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0,85 f'_c} \\
 &= \frac{3649,762 \times 1430,519809}{0,85 \cdot 40} \\
 &= 153.560,5073 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas flens} &= 26.250 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas badan dibawah flens} &= 153.560,5073 - 26.250 \\
 &= 127.310,5073 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= 75 + \frac{127.310,5073}{170} \\
 &= 823,8853373 \text{ mm} \\
 A_{pf} &= 0,85 f'_c (A_{flens} - A_{flensweb}) / f_{ps} \\
 &= 0,85 \times 40 (26.250 - 12750) / 1430,519809 \\
 &= 320.8623865 \text{ mm}^2 \\
 A_{pw} &= A_{ps} - A_{pf} \\
 &= 3649,762 - 320.8623865 \\
 &= 3328,899899 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 M \text{ untuk bagian badan} &= A_{pw} \times f_{ps} (d-a/2) \\
 &= 3328,899899 \times 1430,519809 (1050 - \\
 &\quad 823,8853373/2) \\
 &= 3.038.465.540,35 \text{ Nmm} \\
 M \text{ untuk bagian flens} &= 0,85 f'_c (b-b_w) h_f (d- h_f/2) \\
 &= 0,85 \times 40 \times (350-180) 75 ( 1050- 75/2) \\
 &= 464.737.500 \text{ Nmm} \\
 M_n \text{ total} &= M_{\text{badan}} + M_{\text{flens}} \\
 &= 3.038.465.540,35 + 464.737.500 \\
 &= 3.503.203.040,35 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &\geq M_u, \text{ dimana nilai } \phi = 0,9 \\
 3.152.882.736,31 \text{ Nmm} &\geq 4.163.399.250 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Sehingga dengan kontrol momen nominal maka hasil perhitungan beton pratekan telah memenuhi persyaratan.

### 8.17. Kontrol Lendutan

Kemampuan layan struktur beton pratekan ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Elemen beton pratekan memiliki dimensi yang lebih langsing dibanding beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk memenuhi batas layan yang diisyaratkan.

Lendutan akibat tekanan tendon

Tekanan tendon menyebabkan balok tertekuk keatas sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan keatas (chambre)

$$\begin{aligned}
 \Delta l_{po} &= \frac{5}{48} \times \frac{F_o \cdot e \cdot l^2}{E_c \times I_x} \\
 \Delta l_{po} &= \frac{5}{48} \times \frac{5000000 \times 319,317 \times 30000^2}{33.994,485 \times 1,363 \times 10^{11}} \\
 &= 32,303 \text{ mm} (\uparrow)
 \end{aligned}$$

Lendutan akibat momen yang bekerja pada balok

Akibat beban mati

$$M_D = 4.031.921.250 \text{ Nmm}$$

$$\Delta_1 = \frac{1}{8} x \frac{M_D \times l^2}{E_c x I_x} = \frac{1}{8} x \frac{2.789.499.375 \times 30000^2}{33.994,485 x 1,363 \times 10^{11}}$$

$$\Delta_1 = 67,727 \text{ mm } (\downarrow)$$

• Akibat beban hidup

$$M_L = 510.000.000 \text{ Nmm}$$

$$\Delta_2 = \frac{1}{8} x \frac{M_L \times l^2}{E_c x I_x} = \frac{1}{8} x \frac{510.000.000 \times 30000^2}{33.994,485 x 1,363 \times 10^{11}}$$

$$\Delta_2 = 12,382 \text{ mm } (\downarrow)$$

$$\Delta_{dl} = \Delta_1 + \Delta_2 = 80,11 \text{ mm } (\downarrow)$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah total lendutan} &= 80,11 - 32,303 \\ &= 47,806 \text{ mm } (\downarrow) \end{aligned}$$

Lendutan ijin :

$$f_{ijin} = \frac{L}{480} = \frac{30000}{500} = 62,5 \text{ mm}$$

$$f < f_{ijin}$$

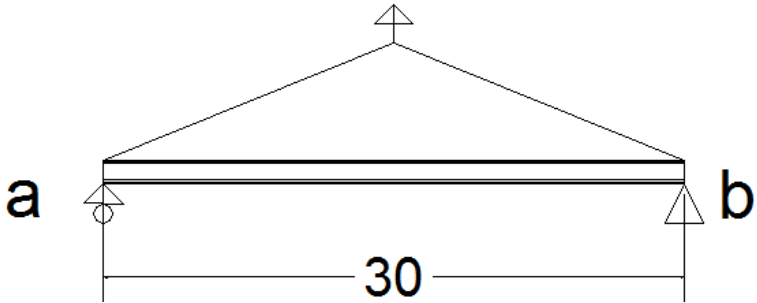
$$47,806 \text{ mm} < 62,5 \text{ mm} \text{ .....(OK)}$$

Sehingga dengan kontrol lendutan maka hasil perhitungan beton pratekan telah memenuhi persyaratan.

## 8.18. Perhitungan Penulangan Balok Prategang

### 8.18.1. Perhitungan Tulangan Utama Balok Prategang

Perhitungan penulangan konvensional balok prategang terhadap momen akibat berat sendiri balok saat pengangkatan ke lokasi pekerjaan dengan pengangkatan dilakukan melalui ujung-ujung balok.



Gambar 8. 15 Gelagar Akibat Pengangkatan

Berat sendiri balok ( $q$ ) = 7,92 N/mm

Mencari gaya momen maksimum:

$$\Sigma Mb = 0$$

$$Ra \times L - 0,5 \times q \times L^2 = 0$$

$$Ra \times 30.000 = 0,5 \times 7,92 \times 30.000^2$$

$$Ra = 118.800 \text{ N}$$

Momen max terjadi di tengah bentang ( $0,5L$ )

$$M_{\max} = Ra \times 15000 - 0,5 \times q \times 15000^2$$

$$= 118.800 \times 15000 - 0,5 \times 7,92 \times 15000^2$$

$$= 891.000.000 \text{ Nmm}$$

Direncanakan tulangan pokok D16 dan sengkang D12

$$d = h - \text{decking} - \varnothing \text{ sengkang} - 0,5 \varnothing \text{ tul.pokok}$$

$$= 1250 - 40 - 12 - 0,5 \times 16 = 1190 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y = 1,4 / 420 = 0,0033$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{420}{0,85 \times 40} = 12,353$$

$$M_n = \frac{891.000.000}{0,8} = 1.113.750.000 \text{ Nmm.}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{1.113.750.000}{650 \times 1190^2} = 1,21 \text{ N/mm}$$

$$\rho = \frac{1}{12,353} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,353 \times 1,21}{420}} \right) = 2,93 \times 10^{-3}$$

karena  $\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka  $\rightarrow \rho_{\text{pakai}} = 0,0033$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0,0033$$

$$A_{\text{Sbutuh}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0033 \times 650 \times 1190 = 2552,25 \text{ mm}^2$$

Maka tulangan tarik 14 D 16 ( $A_s = 2814,867 \text{ mm}^2$ ), memenuhi

### 8.18.2. Perhitungan Tulangan Geser Balok Prategang

Gaya Lintang Akibat Beban Mati (Vd)

$$\text{Akibat Balok} = 0,5 \times q \times L = 0,5 \times 791,88 \times 30 = 11.878,2 \text{ kg}$$

$$\text{Akibat Difragma} = 2P = 2 \times 5184 = 10.368 \text{ kg}$$

$$\text{Akibat Turbin} = 0,5 P = 0,5 \times 6800 = 3400 \text{ kg}$$

$$\text{Akibat Pelat} = 0,5 \times q \times L = 0,5 \times 720 \times 30 = \underline{10.800 \text{ kg}} +$$

$$\text{Vd} = 36.446,2 \text{ kg}$$

Untuk perhitungan  $V_c$ , nilai  $V_c$  diambil dari nilai terkeci antara retak akibat geseran pada badan penampang ( $V_{cw}$ ), dan retak miring akibat lentur ( $V_{ci}$ ).

Retak Akibat Geseran Pada Badan Penampang

$$V_{cw} = (0,29 \sqrt{f_c} + 0,3 f_{pc}) b_w \times d + V_p$$

$$V_p = \text{komponen vertical dari gaya prategang}$$

$$V_p = F \times \tan \alpha = 5000000 \times 450/15000 = 150.000 \text{ N}$$

$$f_{pc} = F/A_c = 5000000/316750 = 15,7853 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{cw} = (0,29 \sqrt{40} + 0,3 \times 15,7853) 170 \times 1190 + 150.000$$

$$= 1.479.052,544 \text{ N}$$

Retak Miring akibat lentur ( $V_{ci}$ )

$$V_{ci} = 0,05 \sqrt{f_c} \times b_w \times d + (V_u \times M_{cr}/M_u)$$

$$V_u = 1,2 \text{ VD} = 1,2 \times 36.446,2 = 43735,44 \text{ kg} = 437.354,4 \text{ N}$$

$$M_u = 4.163.399.250 \text{ Nmm}$$

$$M_{cr} = 294.957.616,73 \text{ Nmm}$$

$$V_{ci} = 0,05 \sqrt{40} \times 170 \times 1190 + \left( \frac{437354,4 \times 294957616,73}{4.163.399.250} \right)$$

$$= 94.957,424 \text{ N}$$

$$\text{Jadi } V_c = V_{ci} = 94.957,424 \text{ N}$$

$$V_s = V_u/\phi - V_c = 514.534,5882 - 94.957,424 = 419.577,1642 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang 2 D12 ( $A_v = 226,195 \text{ mm}^2$ )

$$S = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} = \frac{226,195 \times 420 \times 1190}{419.577,1642} = 269,443 \text{ mm}$$

Direncanakan sengkang 2 D12 – 250 pada tumpuan

$$V_s = V_u/\phi - V_c = 257.267,294 - 94.957,424 = 162.309,87 \text{ N}$$

Direncanakan sengkang 2 D12 ( $A_v = 226,195 \text{ mm}^2$ )

$$S = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} = \frac{226,195 \times 420 \times 1190}{162.309,87} = 696,521 \text{ mm}$$

Kontrol jarak maksimum:  $S_{\max} = 610 \text{ mm}$

$$\text{Kontrol } A_v \text{ min} = \frac{0,34 \times b_w \times s}{f_y} = \frac{0,34 \times 170 \times 610}{420} = 83,95 \text{ mm}^2$$

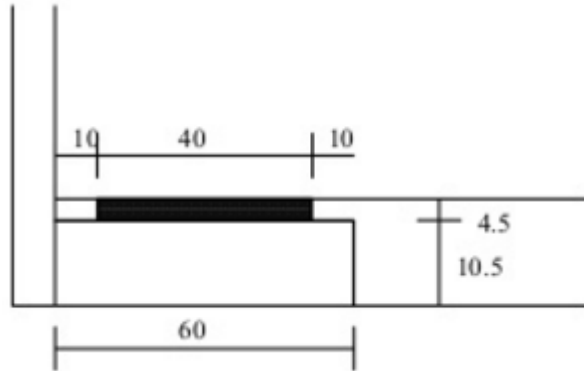
$$A_v \text{ min} = 83,95 \text{ mm}^2 < A_v \text{ pakai} = 226,195 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}$$

Direncanakan sengkang 2 D12 – 610 pada lapangan.

### 8.19. Bearing Pad (Elastomer)

Perletakan direncanakan menggunakan eslastomer dengan dimensi yang dipesan sesuai permintaan.

Dimensi rencana (40 x45 x 4,5) cm



Gambar 8. 16 Bearing Pad

Digunakan:

CPU Elastomeric Bearing tebal 45 mm isi tiga pelat baja 3 mm

Kuat tekan = 56 kg/cm<sup>2</sup>

Kuat geser = 35 kg/cm<sup>2</sup>

CPU Bearing Pad / strip tebal 20 mm

Kuat geser = 2,11 kg/cm<sup>2</sup>

Beban yang bekerja :

$$\begin{aligned} V_{\max} &= D \text{ total} \\ &= 437,35 \text{ kN} \\ &= 43735,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban horizontal :

$$\begin{aligned} H_{\max} &= 340,724 \text{ kN} \\ &= 34072,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Pengecekan terhadap beban vertikal :

$$\begin{aligned} f &= V_{\max} / A \\ &= 43735,4 / (45 \times 40) \\ &= 24,3 \text{ kg/cm}^2 \leq 56 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Pengecekan terhadap geser :

$$\begin{aligned} f &= H_{\max} / A \\ &= 34072,4 / (45 \times 40) \\ &= 18,93 \text{ kg/cm}^2 \leq 35 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Pengecekan terhadap CPU Bearing Pad / strip :

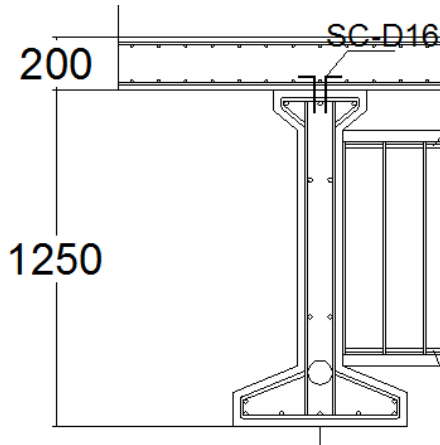
$$\begin{aligned} f &= 5\% \times H_{\max} / A \\ &= 0,05 \times 34072,4 / (45 \times 40) \\ &= 0,95 \text{ kg/cm}^2 \leq 2,11 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

### **8.20. Shear Connector**

Dikarenakan hubungan antara pelat jembatan dengan gelagar jembatan beton prategang merupakan hubungan komposit, dimana dalam hubungan ini, pelat dengan gelagar beton tidak dicor dalam satu kesatuan, maka perlu diberi penahan geser agar hubungan antara pelat dengan gelagar beton dapat bekerja secara bersamaan dalam menahan beban.

Direncanakan :

Diameter angkur : 2D16 (2 kaki)  
 Tinggi angker maseuk ke pelat :  $H_{SC-P} = 15 \text{ cm}$   
 Tinggi angker masuk gelagar :  $H_{SC-G} = 25 \text{ cm}$



Gambar 8. 17 Shear Connector

Menghitung kekuatan angkur

Kekuatan *q* buah *stud shear connector* (Bina Marga) :

$$\frac{H}{d} \geq 5,5 \rightarrow Q = 55 \times d^2 \times \sqrt{f_c}$$

$$\frac{H}{d} < 5,5 \rightarrow Q = 10 \times d^2 \times \sqrt{f_c}$$

Angkur yang masuk ke pelat :

$$\frac{15}{1,6} = 9,375 \geq 5,5 \rightarrow Q = 55 \times 1,6^2 \times \sqrt{200} = 1991,21 \text{ kg}$$

Dipakai 2 kaki  $\rightarrow Q = 3982,42 \text{ kg}$

Angkur yang masuk ke gelagar :

$$\frac{25}{1,6} = 12,5 \geq 5,5 \rightarrow Q = 55 \times 1,6^2 \times \sqrt{400} = 2816 \text{ kg}$$

Dipakai 2 kaki  $\rightarrow Q = 5632 \text{ kg}$



Menghitung jarak dan jumlah angkur

Jarak angkur :  $s = Q/q$

Kekuatan *shear connector* per panjang 1m (*longitudinal*):

$$q = D_x S_{x_p} / I_x$$

Besar gaya lintang ( $D_x$ ) pada jarak tinjauan:

$$L = 0 \text{ m} \rightarrow D_x = 43735,4 \text{ kg}$$

$$L = 5 \text{ m} \rightarrow D_x = 29156,93 \text{ kg}$$

$$L = 10 \text{ m} \rightarrow D_x = 14578,47 \text{ kg}$$

Statis momen bagian pelat :

$$\begin{aligned} S_{x_{\text{pelat}}} &= A_p (Y_{t_k} - 0,5 h_p) \\ &= 1854,9 (62,389 - 0,5 * 20) \\ &= 97176,36 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Momen inersia komposit ( $I_{x_k}$ ) = 13630364,94 cm<sup>4</sup>

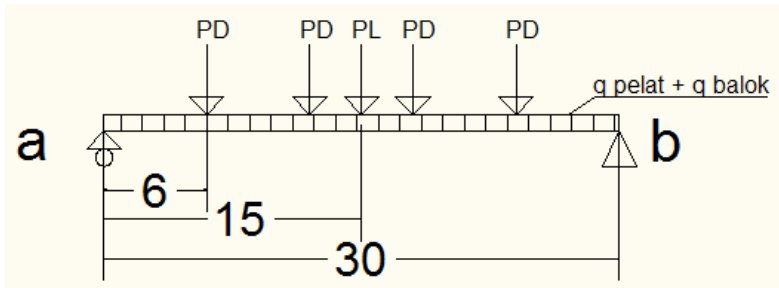
Jarak shear connector tiap bagian setengah bentang dihitung sesuai dengan tabel berikut:

Tabel 8. 6 Jarak Shear Connector Tiap Bagian Stengah Batang

| jarak | D <sub>x</sub> | S <sub>x</sub>     | I <sub>x</sub>     | Q    | q        | S (Q/q)  |
|-------|----------------|--------------------|--------------------|------|----------|----------|
| (m)   | (kg)           | (cm <sup>2</sup> ) | (cm <sup>4</sup> ) | (kg) | (kg/cm)  | (cm)     |
| 0     | 43735.4        | 97176.36           | 13630365           | 5632 | 311.8073 | 18.06244 |
| 5     | 29156.93       | 97176.36           | 13630365           | 5632 | 207.8715 | 27.09366 |
| 10    | 14578.47       | 97176.36           | 13630365           | 5632 | 103.9358 | 54.18731 |

### 8.21. Reaksi Perletakan

Reaksi yang terjadi pada perletakan jembatan ini dihitung dengan cara mekanika teknik statis tertentu, dengan pembebanan yang terdiri dari berat sendiri balok, pelat, diafragma, serta beban hidup berupa beban turbin. Perletakan pembebanan terlampir pada gambar 8.15.



Gambar 8. 18 Perletakan Pembebanan Jembatan

Pembebanan

$$P \text{ diafragma} = 51.840 \text{ N}$$

$$P \text{ live (turbin)} = 68.000 \text{ N}$$

$$Q \text{ balok} = 11.934 \text{ N/m}$$

$$Q \text{ pelat} = 7.200 \text{ N/m}$$

Beban Total

$$P \text{ diafragma} = 51.840 \text{ N} \times 4 = 207.360 \text{ N}$$

$$P \text{ live (turbin)} = 68.000 \text{ N} = 68.000 \text{ N}$$

$$Q \text{ balok} = 11.934 \text{ N/m} \times 30\text{m} = 237.562,5 \text{ N}$$

$$Q \text{ pelat} = 7.200 \text{ N/m} \times 30\text{m} = \underline{216.000 \text{ N}}$$

$$\text{Beban total} = 728.922,5 \text{ N}$$

Reaksi A dan B

$$R_A = R_B = \text{beban total} / 2$$

$$= 728.922,5 \text{ N} / 2 = 364.461,25 \text{ N} = 36.446,125 \text{ kg}$$

## **BAB IX**

### **PERENCANAAN STRUKTUR PONDASI**

#### **9.1. Umum**

Pondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri ke dalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya. Struktur pondasi sangat penting mengingat sebagai struktur terbawah dan menahan beban struktur di atasnya.

Pondasi yang digunakan pada gedung ini direncanakan memakai pondasi tiang pancang jenis *pencil pile shoe* produk dari PT. WIKA Beton. Spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

- Diameter : 1000 mm
- Tebal : 140 mm
- Type : A1
- Allowable axial : 614 ton
- Bending Momen crack : 75 tm
- Bending Momen ultimate : 117,9 tm

#### **9.1.1. Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal**

Data yang diperoleh dan yang digunakan dalam merencanakan pondasi adalah data tanah berdasarkan hasil Standard Penetration Test (SPT). Daya dukung pada pondasi tiang pancang ditentukan oleh dua hal, yaitu daya dukung perlawanan tanah dari unsur dasar tiang pondasi ( $Q_p$ ) dan daya dukung tanah dari unsur lekatan lateral tanah ( $Q_s$ ).

Perhitungan daya dukung tanah memakai metode Terzaghi-Bazaraa :

##### Koreksi Terhadap Muka Air Tanah

Untuk jenis tanah pasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung yang berada dibawah muka air tanah dan hanya bila  $N > 15$

- $N1 = 15 + \frac{1}{2} (N-15)$
- $N1 = 0,6 N$

Pilih harga  $N1$  yang terkecil dari kedua nilai tersebut

Untuk jenis tanah lempung, lanau, dan pasir kasar dan bila  $N \leq 15$ , tidak ada koreksi,  $N1=N$ .

Koreksi Terhadap *Overburden Pressure* Dari Tanah

Hasil dari koreksi 1 ( $N1$ ) dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan vertikal efektif pada lapisan tanah dimana harga  $N$  tersebut didapatkan (tekanan vertikal efektif = *overburden pressure*):

$$N2 = \frac{4 N1}{1+0,4 p_o} ; \text{ bila } p_o \leq 7,5 \text{ t/m}^2$$

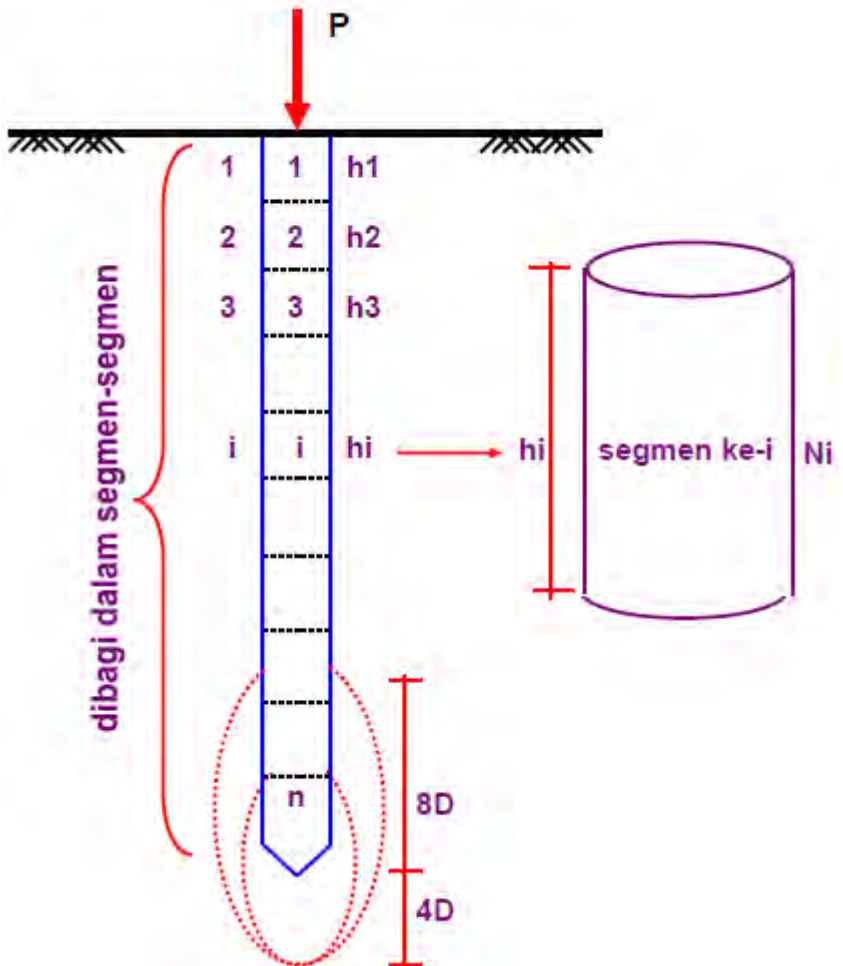
$$N2 = \frac{4 N1}{3,25+0,1 p_o} ; \text{ bila } p_o > 7,5 \text{ t/m}^2$$

$p_o$  : tekanan tanah vertikal efektif pada lapisan/kedalaman yang ditinjau

Harga  $N2$  harus  $\leq 2N1$ , jika tidak maka yang dipakai adalah

$$N2 = 2N1$$

Tiang pancang dibagi menjadi  $n$  segmen (biasanya  $h_i=1\text{m}$  atau  $2\text{m}$ )



$N_i$  = harga SPT yang telah dikoreksi ditengah-tengah segmen  $i$

$$P_{ult} = C_n \times A_{ujung} + \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{2 \text{ atau } 5} \times A_{si}$$

Dimana :

$C_{li}$  = hambatan geser selimut tiang pada segmen  $i$

$C_{li}$  =  $f_{si}$

$A_{si}$  = luas selimut tiang pada segmen =  $O_i \times h_i$

$O_i$  = keliling tiang

$C_n$  ujung = 40 N

$N$  = harga rata-rata  $N_2$  4D dibawah ujung s/d 8D diatas ujung tiang

$$P_{ijin} = P_{ult}/SF = P_{ult}/3$$

Diambil kedalaman 15m ( $N_{spt} = 18$ ; clay;  $\gamma_{sat} = 1,58$  t/m<sup>2</sup>;  $\gamma' = 0,58$  t/m<sup>2</sup>)

Dikarenakan jenis tanah bukan "sand", maka  $N_1 = N$

Maka,  $N_1 = 18$

$$P_o = 0,5 \times \gamma' = 0,5 \times 0,58 = 0,29 \text{ t/m}^2$$

$$N_2 = \frac{4 N_1}{1 + 0,4 P_o} = \frac{4 \times 18}{1 + 0,4 \times 0,29} = 64,51613$$

$$2N_1 = 2 \times 18 = 36$$

Maka,  $N_2 = 36$

$N$  rata-rata ujung (8D atas – 4D bawah = 7m – 19m) = 25,11

$$\begin{aligned} P_{ujung} &= C_n \times A_{ujung} \\ &= 40 \times 25,11 \times 0,25 \times 22/7 \times 1^2 \\ &= 788,78 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$F_{si} = N_2/2 = 36/2 = 18 \text{ ton/m}^2 \text{ (clay)}$$

$$R_{si} = f_{si} \times A_{si} = 18 \times 22/7 \times 1 = 56,55 \text{ ton}$$

$$P_{lekatan} = \Sigma R_{si} = 87,96 \text{ ton}$$

$$P_{ult} = P_{ujung} + P_{lekatan} = 788,78 + 87,96 = 876,75 \text{ ton}$$

Sehingga  $P_{ijin}$  1 tiang berdasarkan daya dukung tanah adalah :

$$P_{ijin} \text{ 1 tiang} = P_{ult} / SF = 876,75 / 3 = 292,25 \text{ ton}$$

(menentukan)

Axial allowable pile

$$P = P_{allowable} / SF$$

$$P = 614 \times 3/5 = 368,4 \text{ ton}$$

$$P_{\text{ijin}} \leq \text{axial allowable pile}$$

$$292,25 \text{ ton} \leq 368,4 \text{ ton (OK)}$$

### 9.1.2. Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Pondasi direncanakan terdiri dengan menggunakan tiang pancang diameter 100 cm. Berikut merupakan contoh perhitungan yang dilampirkan pada Tugas Akhir.

Beban-beban maksimum yang bekerja pada pondasi ini adalah sebagai berikut:

$$P_{1u} = 121.760.000 \text{ kg}$$

$$V_{Xu} = 2.021.935,1 \text{ kg}$$

$$V_{Yu} = 1.970.490,4 \text{ kg}$$

$$M_{Xu} = 48.102.172,79 \text{ kgm}$$

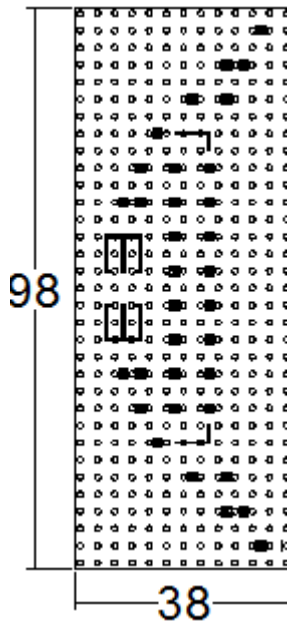
$$M_{Yu} = 76.746.622,45 \text{ kgm}$$

Jarak antar tiang pancang dalam satu kelompok direncanakan sebagai berikut:

- Untuk jarak ke tepi pondasi:
 
$$1D \leq S1 \leq 1,5D$$

$$100 \leq S1 \leq 150$$
 Pakai  $S1 = 100\text{cm}$
- Untuk jarak antar tiang pancang:
 
$$2D \leq S2 \leq 3D$$

$$200 \leq S2 \leq 380$$
 Pakai  $S2 = 300\text{cm}$



Gambar 9. 1 Denah Pondasi

Dimensi poer : 9200cm x 3200cm x 300cm

$Q_{group} = P_{ijin} \text{ 1 tiang } \times n \times C_e$

Dikarenakan jarak antar tiang pancang sebesar 3D, maka tidak perlu dihitung nilai efisiensi.

Maka :

$$\begin{aligned} Q_{2_{group}} &= P_{ijin} \text{ 1 tiang } \times n \\ &= 292,25 \times 429 \\ &= 125.375,25 \text{ ton} = 125.375.250 \text{ kg} \end{aligned}$$

### 9.1.3. Repartisi Beban-Beban Diatas Tiang Kelompok

Bila diatas tiang-tiang dalam kelompok yang disatukan oleh sebuah kepala tiang (poer) bekerja beban-beban vertikal (p),



horizontal (H), dan momen (M), maka besarnya beban vertikal ekivalen ( $P_v$ ) yang bekerja pada sebuah tiang adalah :

$$P_v = \frac{P}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{\max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{\max}}{\sum y^2}$$

Dimana:

$P_v$  = beban vertikal ekivalen

$V$  = beban vertikal dari kolom

$n$  = banyaknya tiang dalam group

$M_x$  = momen terhadap sumbu x

$M_y$  = momen terhadap sumbu y

$X_{\max}$  = absis terjauh terhadap titik berat kelompok tiang

$Y_{\max}$  = ordinat terjauh terhadap titik berat kelompok tiang

$\sum x^2$  = jumlah dari kuadrat absis tiap tiang terhadap garis netral group

$\sum y^2$  = jumlah dari kuadrat ordinat tiap tiang terhadap garis netral group

Untuk pondasi tipe 3 dengan memikul kolom 9 dan 12 diperoleh:

$$X_{\max} = 18 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \sum x^2 &= 33 \times (18^2 + 15^2 + 12^2 + 9^2 + 6^2 + 3^2) \\ &= 27027 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$Y_{\max} = 48 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \sum y^2 &= 13 \times (48^2 + 45^2 + 42^2 + 39^2 + 36^2 + 33^2 + 30^2 + 27^2 + 24^2 \\ &\quad + 21^2 + 18^2 + 15^2 + 12^2 + 9^2 + 6^2 + 3^2) \\ &= 175032 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$P_v = \frac{121.760.000}{429} \pm \frac{76.746.622,45 \times 18}{27207} \pm \frac{48.102.172,79 \times 48}{175032}$$

$$P_v \max = 348.127.007 \text{ kg} < P_{ijin} = 368.400 \text{ kg (OK)}$$

$$P_v \min = 219.517,75 \text{ kg} < P_{ijin} = 368.400 \text{ kg (OK)}$$

#### 9.1.4. Kontrol Kekuatan Tiang Terhadap Gaya Lateral

Panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang pondasi menurut metode Philiphonat dimana kedalaman minimal tanah terhadap tiang pondasi didapat dari harga terbesar dari gaya-gaya berikut:

Monolayer : 3 meter atau 6 kali diameter

Multilayer : 1,5 meter atau 3 kali diameter

Berdasarkan data tanah yang ada, diketahui tanah bersifat multilayer

$L_e$  = panjang penjepitan

$$= 3 \times 1 \text{ m} = 3 \text{ m}$$

Dipakai  $L_e = 1,8 \text{ m}$

$M_y$  =  $L_e \times H_y$

$$= 3 \times 1.970,4904 \text{ ton}$$

$$= 5911,4712 \text{ tm}$$

$$M_y \text{ (satu tiang pancang)} = \frac{5911,4712}{429} = 13,78 \text{ tm}$$

$M_y < M_{\text{bending crack}}$  (dari Spesifikasi WIKA BETON)

$$13,78 \text{ tm} < 75 \text{ tm (OK)}$$

$M_x$  =  $L_e \times H_x$

$$= 3 \times 2.021,9351 \text{ ton}$$

$$= 6065,8053 \text{ tm}$$

$$M_x \text{ (satu tiang pancang)} = \frac{6065,8053}{429} = 14,14 \text{ tm}$$

$M_x < M_{\text{bending crack}}$  (dari Spesifikasi WIKA BETON)

$$14,14 \text{ tm} < 75 \text{ tm (OK)}$$

## 9.2. Perencanaan Poer

Poer direncanakan untuk meneruskan gaya dari struktur atas ke pondasi tiang pancang. Oleh karena itu poer harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.

Data perencanaan poer :

Dimensi kolom = 1600 x 1600 mm (*base plate*)

Mutu beton ( $f'c$ ) = 35 Mpa

Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 Mpa

Tebal poer = 3000 mm

Panjang Poer = 98000 mm

Lebar Poer = 38000 mm

Diameter tulangan = 32 mm

Selimut beton = 50 mm

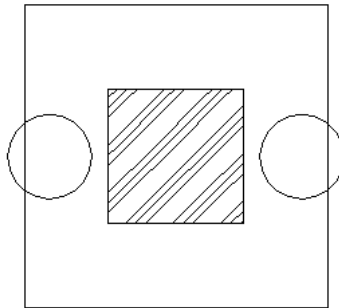
Tinggi efektif ( $d$ ) :

$$d_x = 3000 - 50 - \frac{1}{2} \times 32 = 2934 \text{ mm}$$

$$d_y = 3000 - 50 - 32 - \frac{1}{2} \times 32 = 2902 \text{ mm}$$

### 9.2.1. Kontrol *Punching Shear*

Untuk mendapatkan berapa tinggi *pilecap* yang dapat dipilih maka dibutuhkan kontrol *punching shear*. Kolom yang akan dikontrol adalah kolom dengan  $P_u$  yang cukup besar dan berjarak jauh dari tiang pancang. Contoh perhitungan yang dilampirkan pada Tugas Akhir ini adalah kolom 18.



Gambar 9. 2 Area *Punching Shear* kolom 18

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| Pu Kolom          | = 3161,7425 ton              |
| a1 = b + 2d       | = 3600 mm                    |
| a2 = b + 2d       | = 3600 mm                    |
| Luas kritis       | = 12.960.000 mm <sup>2</sup> |
| Keliling kritis   | = 14.400 mm                  |
| Area tiang kritis | = 0.6736 m <sup>2</sup>      |
| Area tiang total  | = 0.7854 m <sup>2</sup>      |

$$Pu_{\text{punch}} = Pu + Wu - P_{\text{pile}}$$

Pilecap direncanakan setinggi 3m

Maka:

|                  |                               |              |
|------------------|-------------------------------|--------------|
| W akibat pilecap | = 3,6 x 3,6 x 3 x 2,4         | = 93,312 ton |
| Pu <i>punch</i>  | = 3161,7425 + 93,312 - 292,25 |              |
|                  | = 3547,3045 ton               |              |

### 9.2.2. Kontrol Geser Pons Pada Poer

Dalam merencanakan poer harus dipenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton dirumuskan dengan perumusan sebagai berikut, dimana  $V_c$  harus yang terkecil diantara :

$$\phi V_{c1} = \phi \left( 1 + \frac{2}{\beta c} \right) \frac{b_o \cdot d \cdot \sqrt{f'c}}{6}$$

$$\phi V_{c2} = \phi \frac{1}{3} b_o \cdot d \cdot \sqrt{f'c}$$

Dimana :

$\beta c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek beton dari daerah beban terpusat atau reaksi

$b_o$  = keliling dari penampang kritis pada poer

$b_o$  = 2 (b<sub>K</sub> + d) + 2(h<sub>K</sub> + d)

dimana : b<sub>K</sub> = lebar penampang kolom

h<sub>K</sub> = tinggi penampang kolom

d = tebal efektif poer

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 P_U \text{ punch shear} &= 3.547.304,5 \text{ kg} \\
 P_{\max} \text{ 1 tiang} &= 368.400 \text{ kg} \\
 \Sigma \text{ tiang pancang tiap grup} &= 429 \\
 \text{Dimensi poer} &= 38 \times 98 \times 3,2 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

### Akibat Kolom

$$\beta_c = \frac{1600}{1600} = 1$$

$$b_o = 2(1600 + 2934) + 2(1600 + 2934) = 18.136 \text{ mm}$$

Maka batas geser ponds :

$$\phi V_{C1} = 0,6 \left( 1 + \frac{2}{1} \right) \frac{18136 \times 2934 \cdot \sqrt{35}}{6}$$

$$\phi V_{C1} = 94.440.199 \text{ N} = 9444,02 \text{ t}$$

$$\phi V_{C2} = 0,6 \cdot \frac{1}{3} 18136 \cdot 2934 \cdot \sqrt{35}$$

$$\phi V_{C2} = 62.960.132,66 \text{ N} = 6296,013 \text{ t}$$

$$P_{U \text{ punch}} = 3547,3045 \text{ ton} < \phi V_c = 6296,013 \text{ ton} \dots\dots\dots \text{OK}$$

### Akibat Tiang Pancang

$$\beta_c = \frac{600}{600} = 1$$

$$b_o = (\pi \times 2 (600+2934)) = 24728 \text{ mm}$$

Maka batas geser ponds :

$$\phi V_{C1} = 0,6 \left( 1 + \frac{2}{1} \right) \frac{24728 \times 2934 \sqrt{35}}{6}$$

$$\phi V_{C1} = 128.766.940,94 \text{ N} = 12876,69 \text{ t}$$

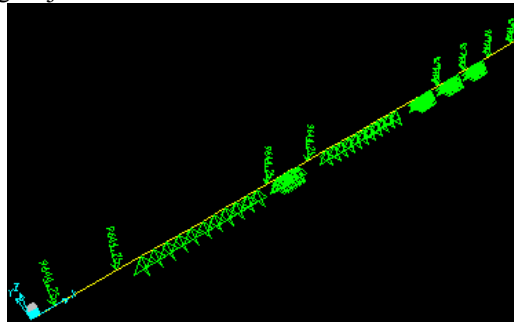
$$\phi V_{C2} = 0,6 \cdot \frac{1}{3} \cdot 24728 \cdot 2934 \cdot \sqrt{35}$$

$$\phi V_{C2} = 85.844.627,29 \text{ N} = 8584,463 \text{ t}$$

$$P_{U \text{ punch}} = 3547,3045 \text{ ton} < \phi V_C = 8584,463 \text{ ton} \dots\dots\dots \text{OK}$$

### 9.2.3. Penulangan Poer

Untuk penulangan lentur, *poer* dianalisa sebagai balok dengan kolom dianggap sebagai tumpuan. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada masing-masing *pile*. Pada contoh perhitungan digunakan program bantu SAP2000 untuk mencari nilai-nilai gaya dalam yang terjadi



Gambar 9. 3 Model Pondasi dan Kolom Pada SAP2000 Arah X

Beban rencana:

$$P_u = 292,25 \text{ TM (halaman 184)}$$

$$1P = 33 \times P_u = 9644,25 \text{ TM}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 35} = 14,118$$

$$\rho_{\min} = 1,4/f_y = 1,4/420 = 0,0033$$

$$\rho_{\max} = 0,025$$

Momen yang didapat dari sap2000 :

$$\begin{aligned}
 M_x &= 520.177,82 \text{ kNm} \\
 &= 520.177.820.000 \text{ Nmm} \\
 d_x &= 3000 - 50 - \frac{1}{2} \cdot 32 = 2934 \text{ mm} \\
 dx &= 3000 - 50 - \frac{1}{2} \cdot 32 = 2902 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{520.177.820.000}{0,8 \times 98000 \times 2934^2} = 0,771$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{14,118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,118 \times 0,772}{420}} \right) \\
 &= 0,00186
 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} > \rho_{perlu} \text{ dipakai } \rho_{min} = 0,0033$$

Tulangan tarik yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d_x \\
 A_s &= 0,0033 \times 98000 \times 2934 \\
 A_s &= 534.676,1306 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan :

$$n = \frac{534.676,1306}{0,25 \times \pi \times 32^2} = 664,547 \approx 665 \text{ buah}$$

Jadi digunakan tulangan 665D32 – 100 ( $A_{Spakai} = 535.040$   
mm<sup>2</sup>)

Tulangan tekan yang dibutuhkan :

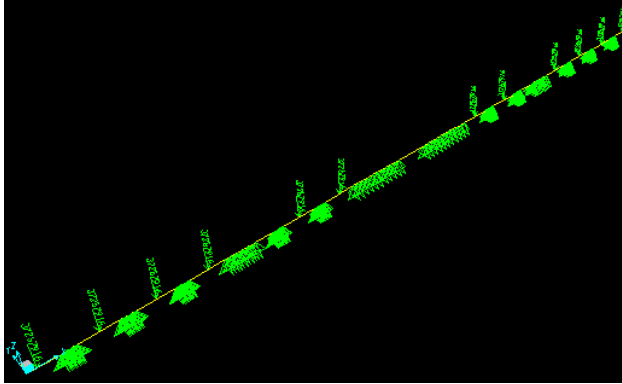
$$\begin{aligned}
 A_s &= 0,5 A_s \text{ tarik} \\
 A_s &= 0,5 \times 534.676,1306 \\
 A_s &= 267.338,0653 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan :

$$n = \frac{267.338,0653}{0,25 \times \pi \times 32^2} = 332,2738 \approx 333 \text{ buah}$$

Jadi digunakan tulangan 333D32 – 250 ( $A_{Spakai} = 267.922,3$   
mm<sup>2</sup>)

Untuk penulangan arah Y, perhitungan gaya dalam didapat dengan program bantu SAP2000.



Gambar 9. 4 Model Pondasi dan Kolom Pada SAP2000 Arah Y

Beban rencana:

$$P_u = 292,25 \text{ TM (hal 184)}$$

$$1P = 13 \times P_u = 3799,25 \text{ TM}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 35} = 14,118$$

$$\rho_{\min} = 1,4/f_y = 1,4/420 = 0,0033$$

$$\rho_{\max} = 0,025$$

$$M_y = 81.967,4147 \text{ tm} = 81.967.414,700 \text{ Nmm}$$

$$d_x = 3000 - 50 - \frac{1}{2} \cdot 32 = 2934 \text{ mm}$$

$$d_x = 3000 - 50 - \frac{1}{2} \cdot 32 = 2902 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{81.967.414,700}{0,8 \times 38000 \times 2902^2} = 0,32$$



$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{14,118} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,118 \times 0,32}{420}} \right) \\ &= 0,000767\end{aligned}$$

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max} \text{ dipakai } \rho_{min} = 0,0033$$

Tulangan tarik yang dibutuhkan :

$$As = \rho \times b \times d_x$$

$$As = 0,0033 \times 38000 \times 2902$$

$$As = 363.910,8 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan :

$$n = \frac{363.910,8}{0,25 \times \pi \times 32^2} = 452,3 \approx 453 \text{ buah}$$

Jadi digunakan tulangan 453D32 – 50 ( $As_{pakai} = 364.470,9 \text{ mm}^2$ )

Tulangan tekan yang dibutuhkan :

$$As = 0,5 As \text{ tarik}$$

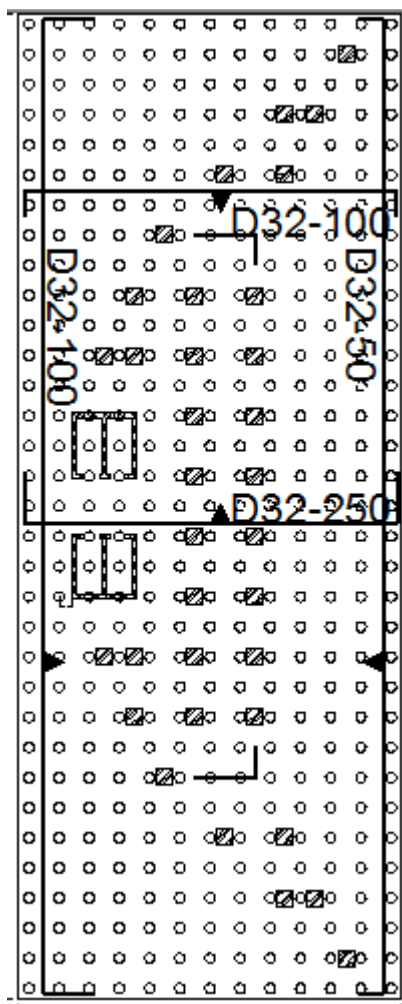
$$As = 0,5 \times 363.910,8$$

$$As = 181.955,4 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan :

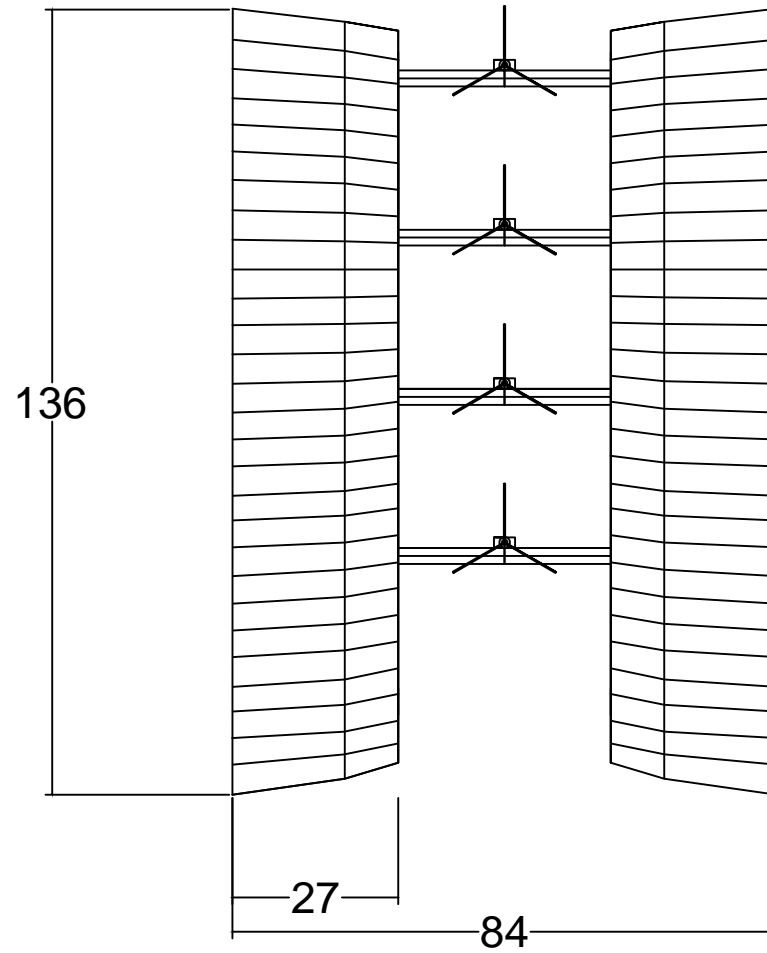
$$n = \frac{181.955,4}{0,25 \times \pi \times 32^2} = 226,15 \approx 227 \text{ buah}$$

Jadi digunakan tulangan 227 D32 – 100 ( $As_{pakai} = 182.637,7 \text{ mm}^2$ )



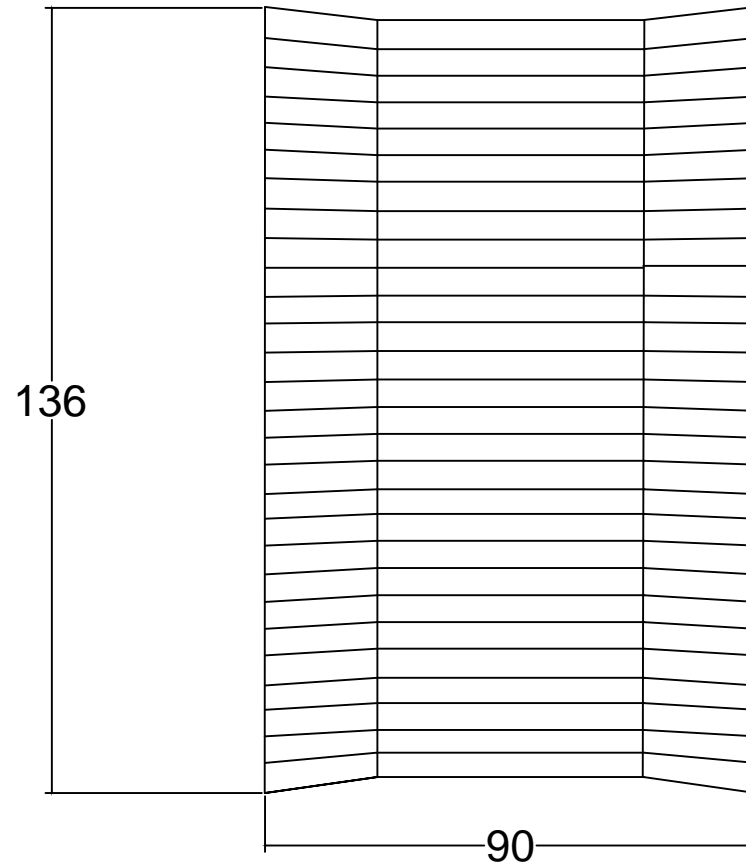
Gambar 9. 5 Penulangan Pile Cap

## **LAMPIRAN**



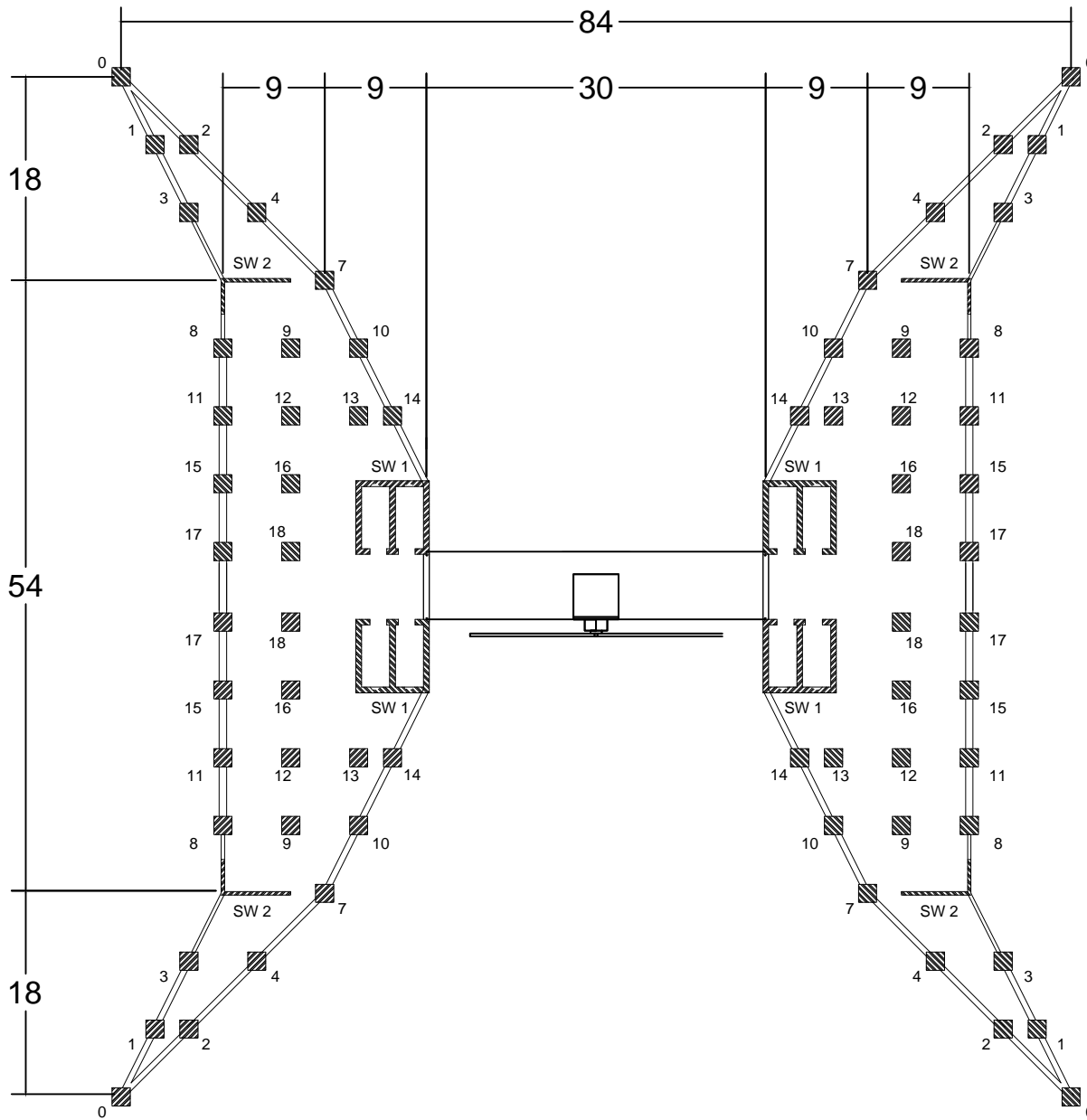
INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN          | NAMA MAHASISWA        | JUDUL GAMBAR | SKALA  | LEMBAR |
|-------------|------------------------|-----------------------|--------------|--------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., Msc., PhD. | ALVIN LAY CHRISTOLOVE | TAMPAK DEPAN | 1:1000 | 1      |



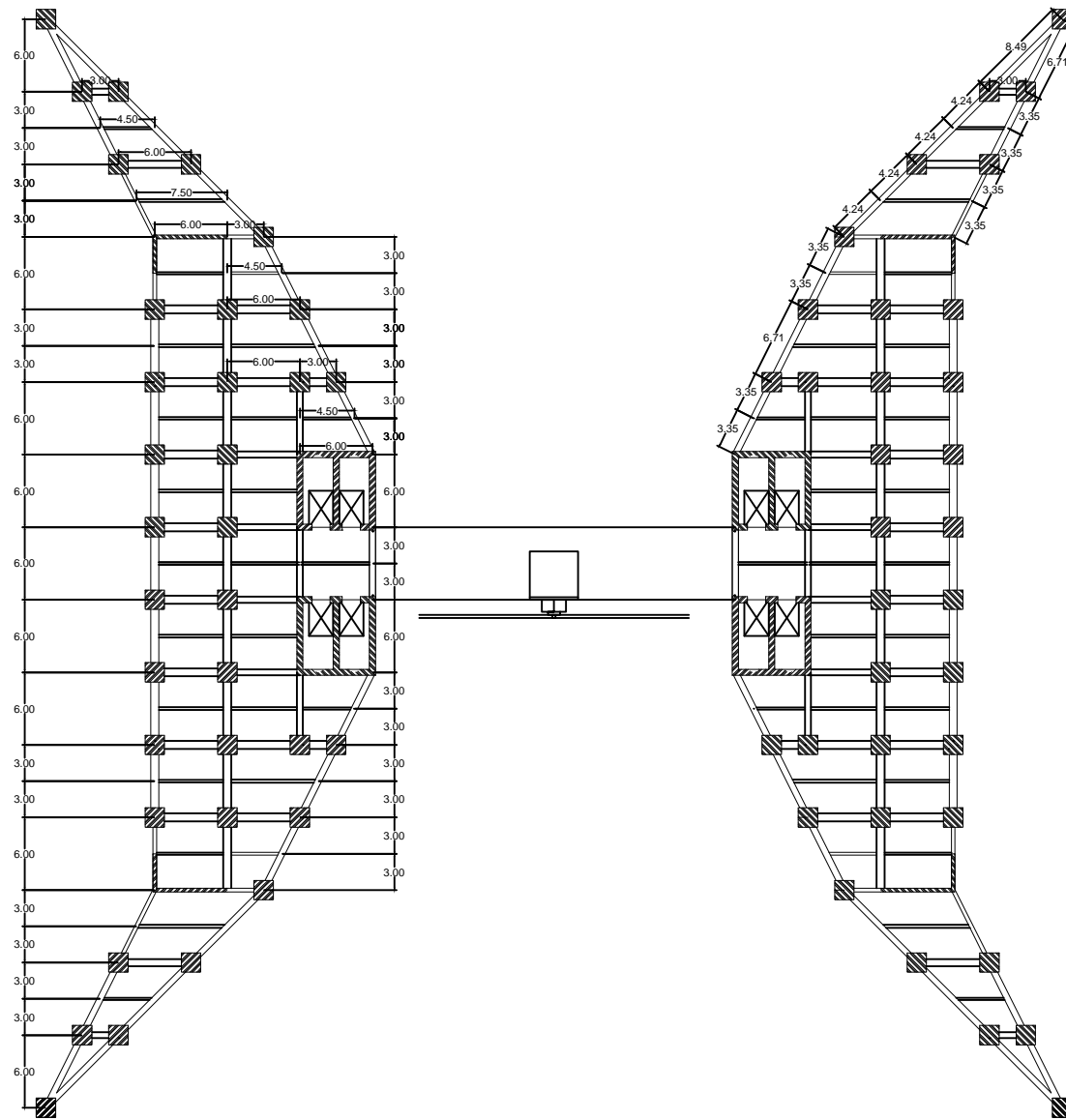
INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL

| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN        | NAMA MAHASISWA        | JUDUL GAMBAR   | SKALA  | LEMBAR |
|-------------|----------------------|-----------------------|----------------|--------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir.,Msc.,PhD. | ALVIN LAY CHRISTOLOVE | TAMPAK SAMPING | 1:1000 | 2      |



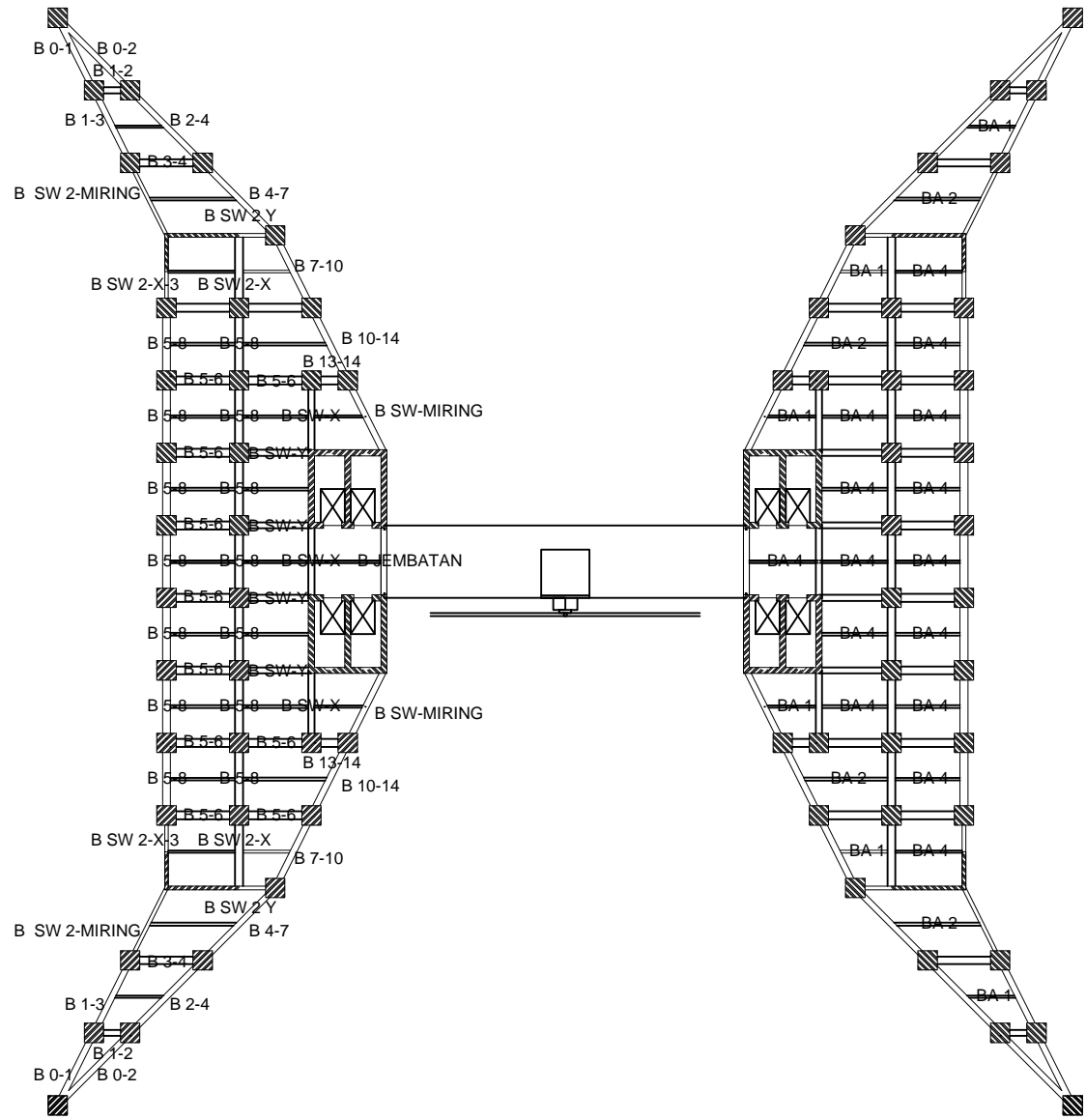
INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL

| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR                | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|-----------------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | DENAH KOLOM & DINDING GESER | 1:500 | 3      |



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

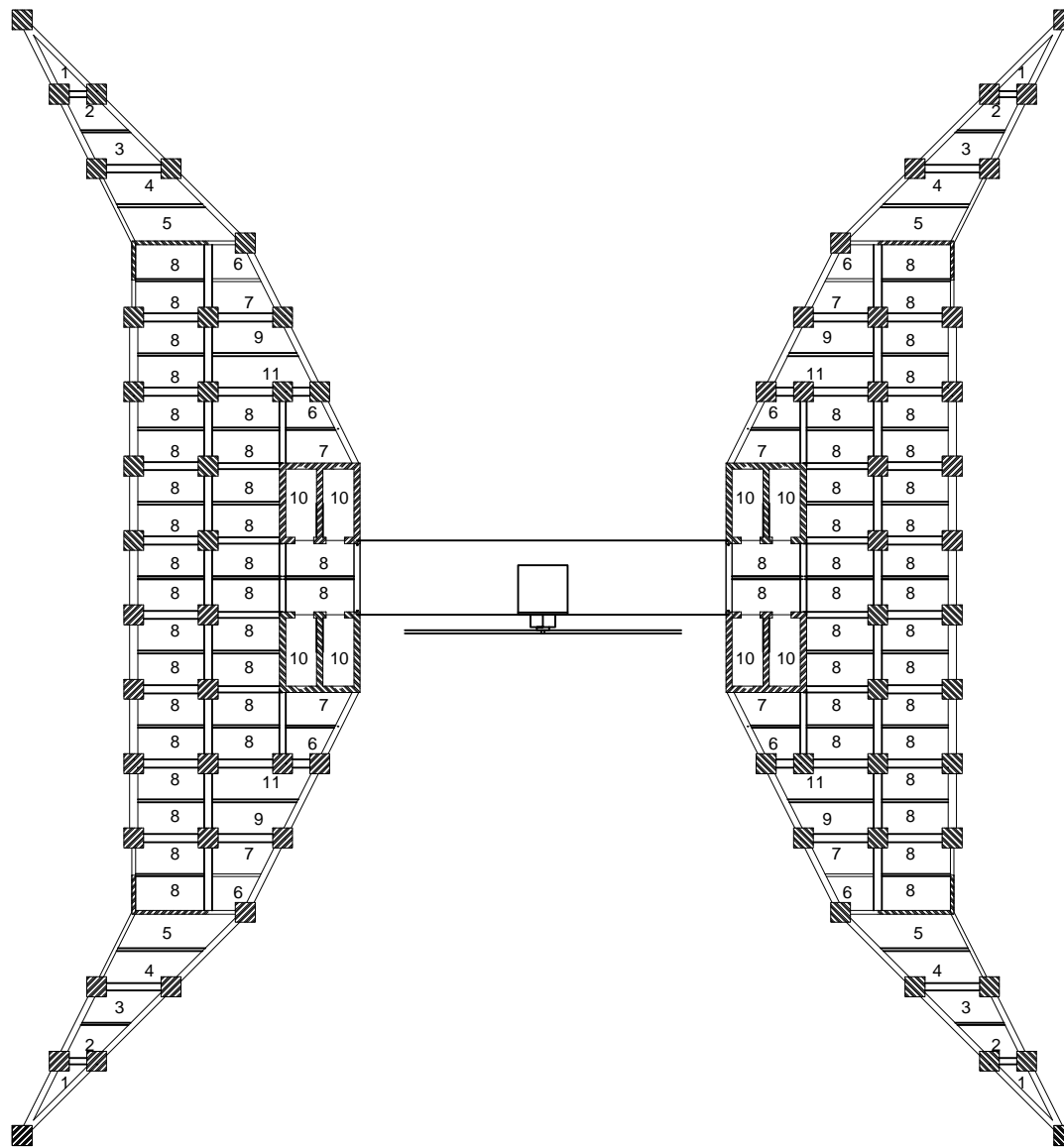
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR   | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | DENAH STRUKTUR | 1:500 | 4      |



INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL

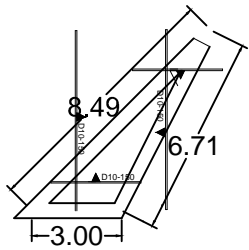
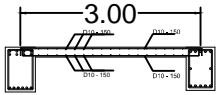

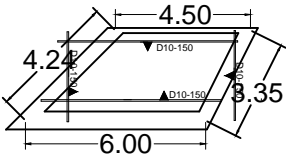
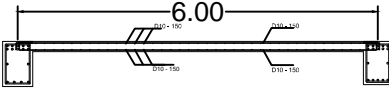

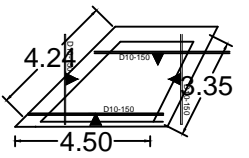
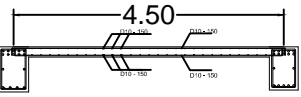

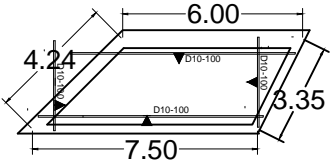
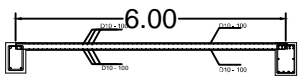

| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR     | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | DENAH PEMBALOKAN | 1:500 | 5      |





INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL

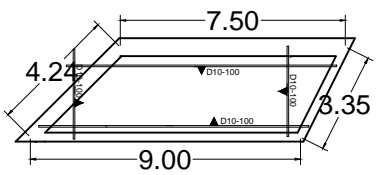
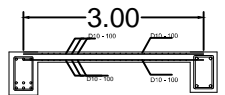

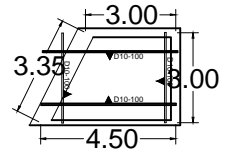
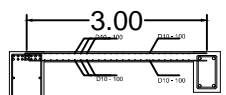

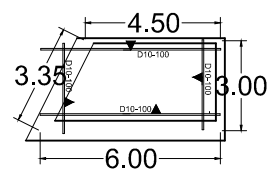
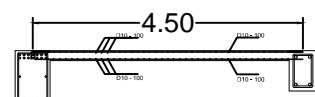

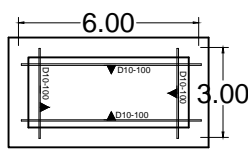
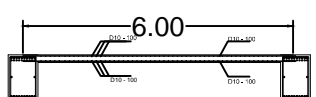

| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|--------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | DENAH PELAT  | 1:500 | 6      |

|   |   |   |           |  |   |   |   |           |  |
|---|---|---|-----------|--|---|---|---|-----------|--|
| TIPE  | 1 | PELAT   |           |  | TIPE  | 3 | PELAT   |           |  |
| GAMBAR PELAT  |   | GAMBAR POTONGAN   |           |  | GAMBAR PELAT  |   | GAMBAR POTONGAN   |           |  |
|  |   | <br>   |           |  |  |   | <br>  |           |  |
| LOKASI  |   | TUMPUAN   | LAPANGAN  |  | LOKASI  |   | TUMPUAN   | LAPANGAN  |  |
| X   |   | D10 - 150   | D10 - 150 |  | X   |   | D10 - 150   | D10 - 150 |  |
| Y   |   | D10 - 150   | D10 - 150 |  | Y   |   | D10 - 150   | D10 - 150 |  |
| TIPE  | 2 | PELAT   |           |  | TIPE  | 4 | PELAT   |           |  |
| GAMBAR PELAT  |   | GAMBAR POTONGAN   |           |  | GAMBAR PELAT  |   | GAMBAR POTONGAN   |           |  |
|  |   | <br> |           |  |  |   | <br> |           |  |
| LOKASI  |   | TUMPUAN   | LAPANGAN  |  | LOKASI  |   | TUMPUAN   | LAPANGAN  |  |
| X   |   | D10 - 150   | D10 - 150 |  | X   |   | D10 - 100   | D10 - 100 |  |
| Y   |   | D10 - 150   | D10 - 150 |  | Y   |   | D10 - 100   | D10 - 100 |  |



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

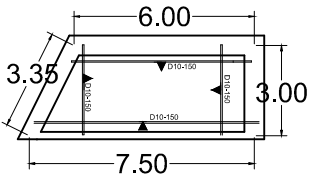
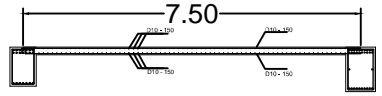

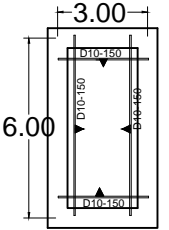
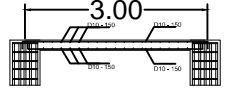

| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|--------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | REKAP PELAT  | 1:250 | 7      |

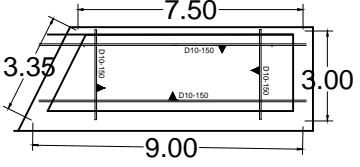
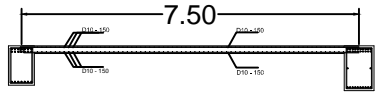

|   |   |   |           |  |   |   |   |           |  |
|---|---|---|-----------|--|---|---|---|-----------|--|
| TIPE  | 5 | PELAT   |           |  | TIPE  | 6 | PELAT   |           |  |
| GAMBAR PELAT  |   | GAMBAR POTONGAN   |           |  | GAMBAR PELAT  |   | GAMBAR POTONGAN   |           |  |
|  |   | <br>  |           |  |  |   | <br>  |           |  |
| LOKASI  |   | TUMPUAN   | LAPANGAN  |  | LOKASI  |   | TUMPUAN   | LAPANGAN  |  |
| X   |   | D10 - 100   | D10 - 100 |  | X   |   | D10 - 100   | D10 - 100 |  |
| Y   |   | D10 - 100   | D10 - 100 |  | Y   |   | D10 - 100   | D10 - 100 |  |
| TIPE  | 7 | PELAT   |           |  | TIPE  | 8 | PELAT   |           |  |
| GAMBAR PELAT  |   | GAMBAR POTONGAN   |           |  | GAMBAR PELAT  |   | GAMBAR POTONGAN   |           |  |
|  |   | <br> |           |  |  |   | <br> |           |  |
| LOKASI  |   | TUMPUAN   | LAPANGAN  |  | LOKASI  |   | TUMPUAN   | LAPANGAN  |  |
| X   |   | D10 - 100   | D10 - 100 |  | X   |   | D10 - 100   | D10 - 100 |  |
| Y   |   | D10 - 100   | D10 - 100 |  | Y   |   | D10 - 100   | D10 - 100 |  |

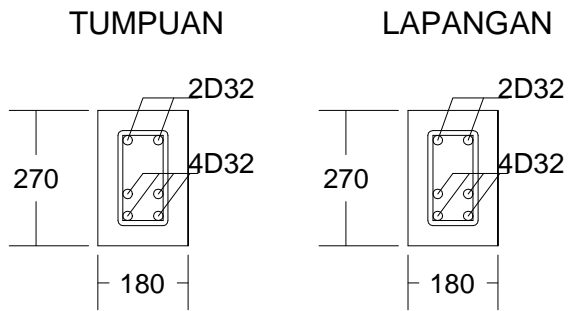


INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL

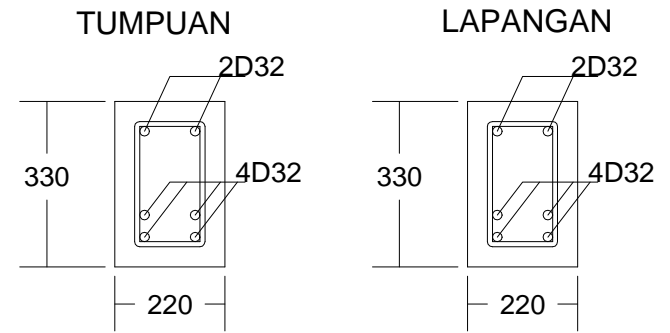
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|--------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | REKAP PELAT  | 1:250 | 8      |

| TIPE  | 9         | PELAT |   | TIPE | 10  | PELAT     |  |  |  |
|---|-----------|-------|---|------|---|-----------|--|--|--|
| GAMBAR PELAT  |           |       | GAMBAR POTONGAN   |      | GAMBAR PELAT  |           |  | GAMBAR POTONGAN  |  |
|  |           |       |  <p style="text-align: center;">1,5  SKALA 1 : 165</p> |      |  |           |  |  <p style="text-align: center;"> SKALA 1 : 125</p> |  |
| LOKASI  | TUMPUAN   |       | LAPANGAN  |      | LOKASI  | TUMPUAN   |  | LAPANGAN   |  |
| X   | D10 - 150 |       | D10 - 150   |      | X   | D10 - 150 |  | D10 - 150  |  |
| Y   | D10 - 150 |       | D10 - 150   |      | Y   | D10 - 150 |  | D10 - 150  |  |

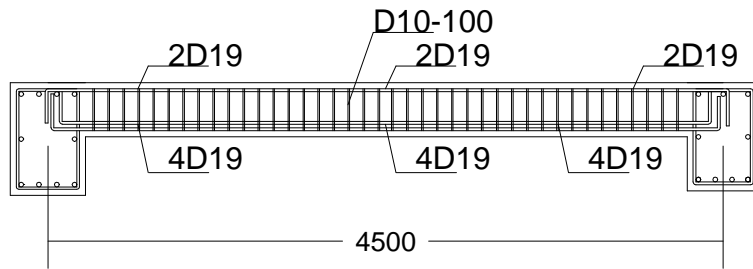
| TIPE   | 11        | PELAT   |           |
|--|-----------|---|-----------|
| GAMBAR PELAT   |           | GAMBAR POTONGAN   |           |
|  |           |  <p style="text-align: center;"> SKALA 1 : 165</p> |           |
| LOKASI   | TUMPUAN   |   | LAPANGAN  |
| X  | D10 - 150 |   | D10 - 150 |
| Y  | D10 - 150 |   | D10 - 150 |



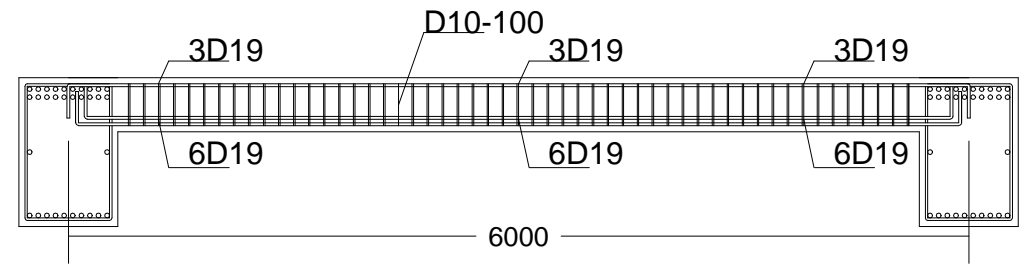
POT. MELINTANG BA 1  
SKALA 1:20



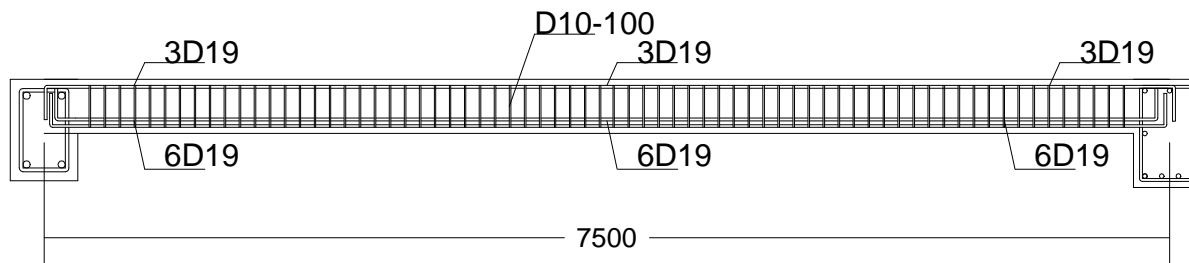
POT. MELINTANG BA 4  
SKALA 1:20



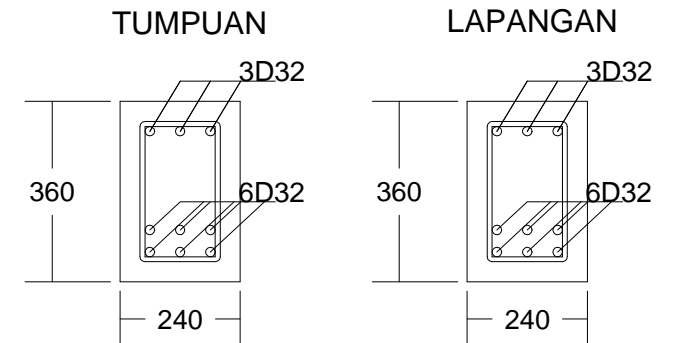
POT. MEMANJANG BA 1  
SKALA 1:50



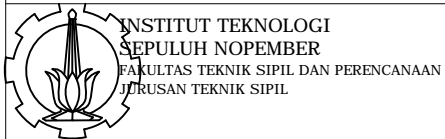
POT. MEMANJANG BA 4  
SKALA 1:50



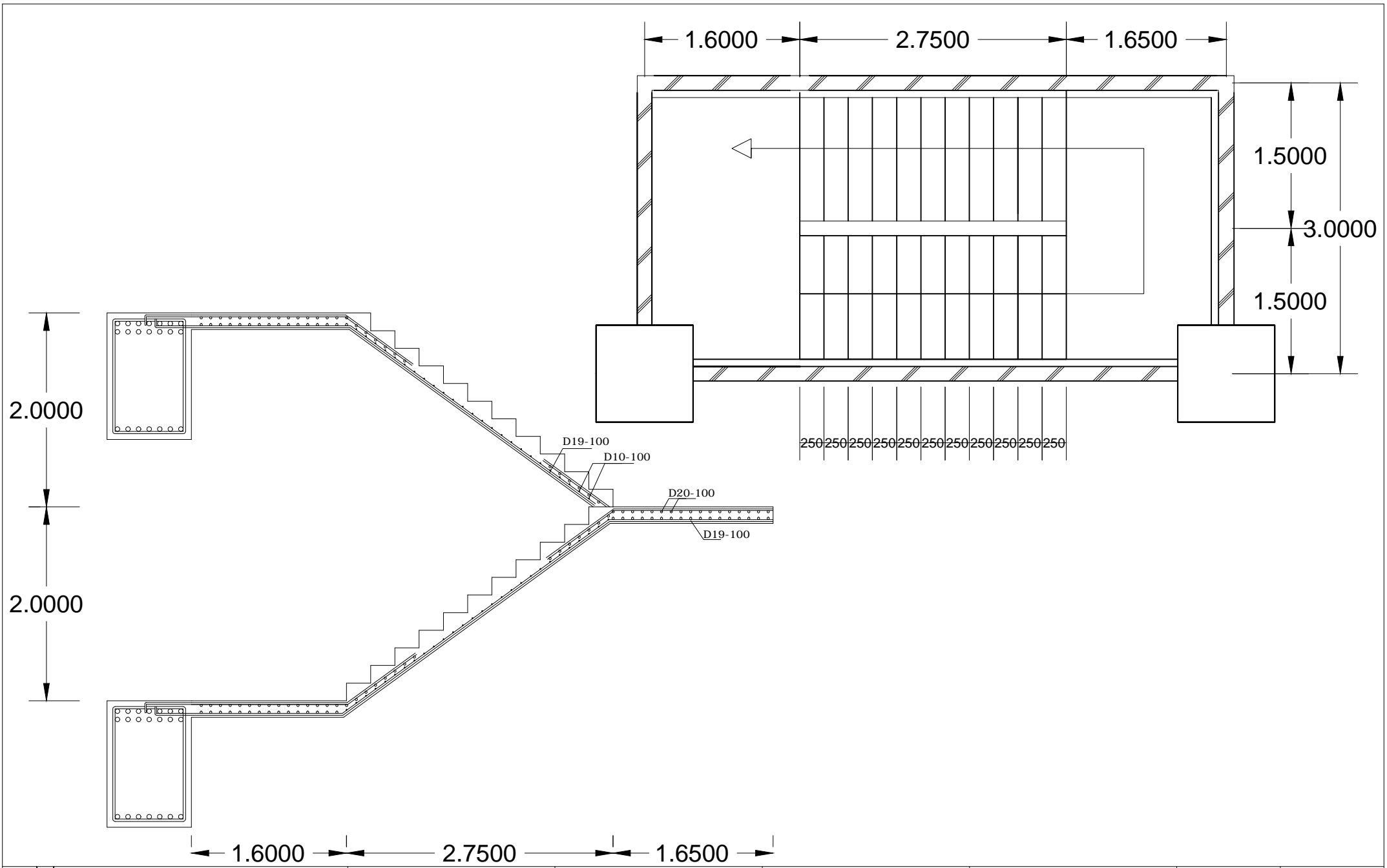
POT. MEMANJANG BA 2  
SKALA 1:50



POT. MELINTANG BA 2  
SKALA 1:20



| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|--------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | BALOK ANAK   | 1:50  | 10     |



| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|--------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | TANGGA       | 1:50  | 11     |

|           |         |           |          |           |         |           |          |
|-----------|---------|-----------|----------|-----------|---------|-----------|----------|
| TIPE      | B 0-1   | BALOK     |          | TIPE      | B 2 - 4 | BALOK     |          |
| LOKASI    |         | TUMPUAN   | LAPANGAN | LOKASI    |         | TUMPUAN   | LAPANGAN |
| PENAMPANG |         |           |          | PENAMPANG |         |           |          |
|           | DIMENSI | 750 x 500 |          |           | DIMENSI | 720 x 480 |          |
|           | TARIK   | 8D32      | 4D32     |           | TARIK   | 10D32     | 3D32     |
|           | TEKAN   | 6D32      | 3D32     |           | TEKAN   | 5D32      | 4D32     |
|           | GESER   | D16-90    | D16-200  |           | GESER   | D16-90    | D16-180  |
| TORSI     | -       | -         | TORSI    | 2D32      | 2D32    |           |          |
| TIPE      | B 1-2   | BALOK     |          | TIPE      | B 4 - 7 | BALOK     |          |
| LOKASI    |         | TUMPUAN   | LAPANGAN | LOKASI    |         | TUMPUAN   | LAPANGAN |
| PENAMPANG |         |           |          | PENAMPANG |         |           |          |
|           | DIMENSI | 750 x 500 |          |           | DIMENSI | 720 x 480 |          |
|           | TARIK   | 7D32      | 4D32     |           | TARIK   | 10D32     | 3D32     |
|           | TEKAN   | 6D32      | 4D32     |           | TEKAN   | 4D32      | 4D32     |
|           | GESER   | D16-90    | -        |           | GESER   | D16-90    | D16-180  |
| TORSI     |         |           | TORSI    | 2D32      | 2D32    |           |          |



| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR         | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | REKAP BALOK<br>INDUK | 1:50  | 12     |

|           |           |         |          |           |         |         |          |
|-----------|-----------|---------|----------|-----------|---------|---------|----------|
| TIPE      | B 5-8     | BALOK   |          | TIPE      | B 0-2   | BALOK   |          |
| LOKASI    |           | TUMPUAN | LAPANGAN | LOKASI    |         | TUMPUAN | LAPANGAN |
| PENAMPANG | 990       |         |          | PENAMPANG | 720     |         |          |
|           |           | 660     | 660      |           |         | 480     | 480      |
| DIMENSI   | 990 x 660 |         | DIMENSI  | 720 x 480 |         |         |          |
| TARIK     | 20D32     | 7D32    | TARIK    | 5D32      | 2D32    |         |          |
| TEKAN     | 10D32     | 7D32    | TEKAN    | 3D32      | 2D32    |         |          |
| GESER     | D16-50    | D16-110 | GESER    | D16-90    | D16-180 |         |          |
| TORSI     | 2D32      | 2D32    | TORSI    | 2D32      | 2D32    |         |          |
| TIPE      | B 10-14   | BALOK   |          | TIPE      | B 1-3   | BALOK   |          |
| LOKASI    |           | TUMPUAN | LAPANGAN | LOKASI    |         | TUMPUAN | LAPANGAN |
| PENAMPANG | 870       |         |          | PENAMPANG | 750     |         |          |
|           |           | 580     | 580      |           |         | 500     | 500      |
| DIMENSI   | 870 x 580 |         | DIMENSI  | 750 x 500 |         |         |          |
| TARIK     | 14D32     | 4D32    | TARIK    | 10D32     | 4D32    |         |          |
| TEKAN     | 7D32      | 5D32    | TEKAN    | 4D32      | 4D32    |         |          |
| GESER     | D16-80    | D16-200 | GESER    | D16-90    | D16-200 |         |          |
| TORSI     | -         | -       | TORSI    | 2D32      | 2D32    |         |          |

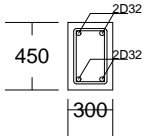
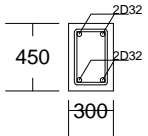
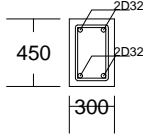
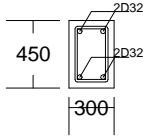
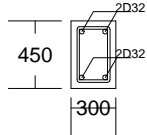
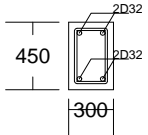
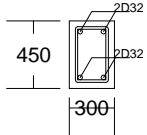
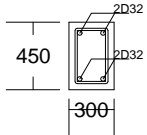


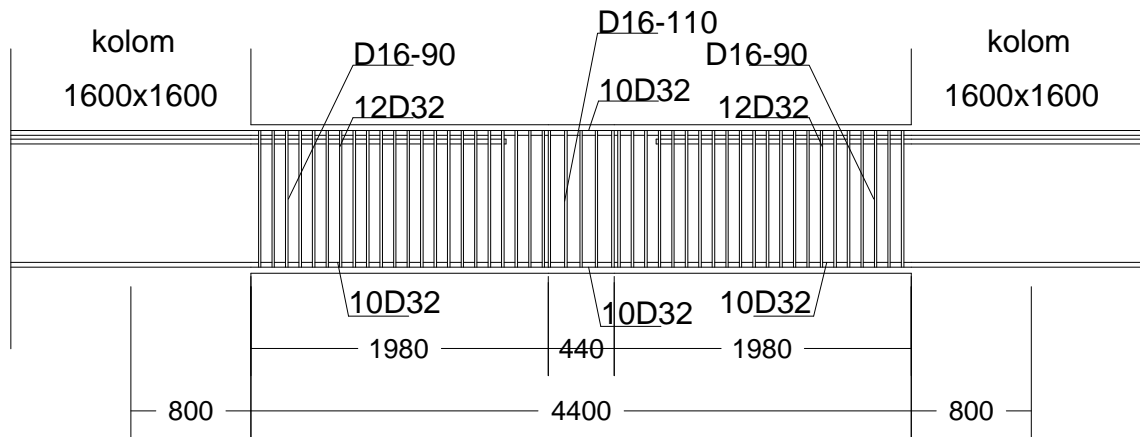
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR         | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | REKAP BALOK<br>INDUK | 1:50  | 13     |



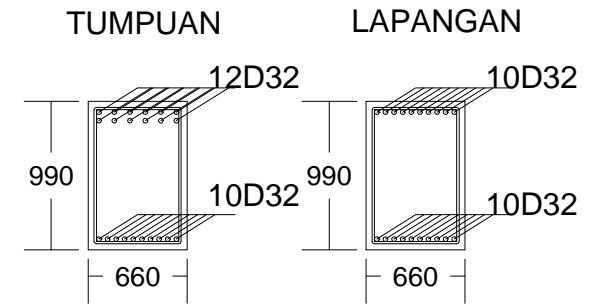
| TIPE      | B 3 - 4 | BALOK     |          | TIPE      | B 7 - 10 | BALOK     |          |
|-----------|---------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| LOKASI    |         | TUMPUAN   | LAPANGAN | LOKASI    |          | TUMPUAN   | LAPANGAN |
| PENAMPANG |         |           |          | PENAMPANG |          |           |          |
| DIMENSI   |         | 900 x 600 |          | DIMENSI   |          | 870 x 580 |          |
| TARIK     |         | 16D32     | 5D32     | TARIK     |          | 14D32     | 4D32     |
| TEKAN     |         | 8D32      | 5D32     | TEKAN     |          | 7D32      | 5D32     |
| GESER     |         | D16-90    | D16-200  | GESER     |          | D16-80    | D16-200  |
| TORSI     |         | -         | -        | TORSI     |          | 2D32      | 2D32     |
| TIPE      | B 5 - 6 | BALOK     |          | TIPE      | B 13-14  | BALOK     |          |
| LOKASI    |         | TUMPUAN   | LAPANGAN | LOKASI    |          | TUMPUAN   | LAPANGAN |
| PENAMPANG |         |           |          | PENAMPANG |          |           |          |
| DIMENSI   |         | 990 x 660 |          | DIMENSI   |          | 930 x 620 |          |
| TARIK     |         | 20D32     | 10D32    | TARIK     |          | 9D32      | 5D32     |
| TEKAN     |         | 12D32     | 10D32    | TEKAN     |          | 6D32      | 5D32     |
| GESER     |         | D16-50    | D16-110  | GESER     |          | D16-50    | -        |
| TORSI     |         |           |          | TORSI     |          | -         | -        |

| TIPE      | B SW-X<br>(MIRING) | BALOK          |                 | TIPE      | B SW-Y     | BALOK          |                 |
|-----------|--------------------|----------------|-----------------|-----------|------------|----------------|-----------------|
| LOKASI    |                    | TUMPUAN        | LAPANGAN        | LOKASI    |            | TUMPUAN        | LAPANGAN        |
| PENAMPANG |                    | <p>TUMPUAN</p> | <p>LAPANGAN</p> | PENAMPANG |            | <p>TUMPUAN</p> | <p>LAPANGAN</p> |
|           | DIMENSI            | 750 x 500      |                 |           | DIMENSI    | 750 x 500      |                 |
|           | TARIK              | 4D32           | 2D32            |           | TARIK      | 4D32           | 2D32            |
|           | TEKAN              | 2D32           | 3D32            |           | TEKAN      | 2D32           | 3D32            |
|           | GESER              | D16-90         | D16-150         |           | GESER      | D16-90         | D16-150         |
|           | TORSI              | -              | -               |           | TORSI      | -              | -               |
| TIPE      | B SW-X             | BALOK          |                 | TIPE      | B JEMBATAN | BALOK          |                 |
| LOKASI    |                    | TUMPUAN        | LAPANGAN        | LOKASI    |            | TUMPUAN        | LAPANGAN        |
| PENAMPANG |                    | <p>TUMPUAN</p> | <p>LAPANGAN</p> | PENAMPANG |            | <p>TUMPUAN</p> | <p>LAPANGAN</p> |
|           | DIMENSI            | 750 x 500      |                 |           | DIMENSI    | 720 x 480      |                 |
|           | TARIK              | 4D32           | 2D32            |           | TARIK      | 10D32          | 4D32            |
|           | TEKAN              | 2D32           | 3D32            |           | TEKAN      | 4D32           | 5D32            |
|           | GESER              | D16-90         | D16-150         |           | GESER      | D16-90         | D16-150         |
|           | TORSI              | -              | -               |           | TORSI      | -              | -               |

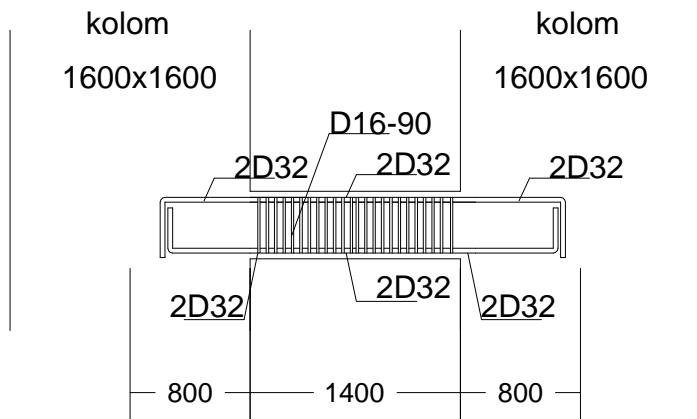
| TIPE      | B SW2-X<br>(MIRING) | BALOK  |   | TIPE      | B SW2-X-3 | BALOK  |  |
|-----------|---------------------|--|---|-----------|-----------|--|--|
| LOKASI    |                     | TUMPUAN  | LAPANGAN  | LOKASI    |           | TUMPUAN  | LAPANGAN   |
| PENAMPANG |                     |   |   | PENAMPANG |           |   |   |
|           | DIMENSI             | 450 x 300  |   |           | DIMENSI   | 450 x 300  |  |
|           | TARIK               | 2D32   | 2D32  |           | TARIK     | 2D32   | 2D32   |
|           | TEKAN               | 2D32   | 2D32  |           | TEKAN     | 2D32   | 2D32   |
|           | GESER               | D16-90   | D16-150   |           | GESER     | D16-90   | D16-150  |
| TORSI     | -                   | -  | TORSI   | -         | -         |  |  |
| TIPE      | B SW2-X             | BALOK  |   | TIPE      | B SW2-Y   | BALOK  |  |
| LOKASI    |                     | TUMPUAN  | LAPANGAN  | LOKASI    |           | TUMPUAN  | LAPANGAN   |
| PENAMPANG |                     |  |  | PENAMPANG |           |  |  |
|           | DIMENSI             | 450 x 300  |   |           | DIMENSI   | 450 x 300  |  |
|           | TARIK               | 2D32   | 2D32  |           | TARIK     | 2D32   | 2D32   |
|           | TEKAN               | 2D32   | 2D32  |           | TEKAN     | 2D32   | 2D32   |
|           | GESER               | D16-90   | D16-150   |           | GESER     | D16-90   | D16-150  |
| TORSI     | -                   | -  | TORSI   | -         | -         |  |  |



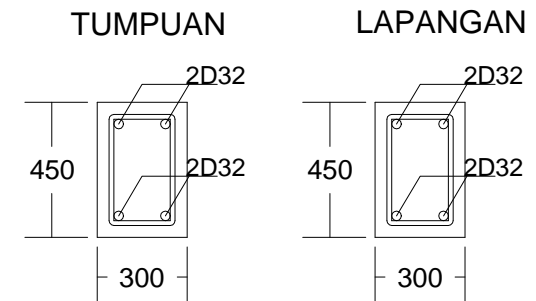
POT. MEMANJANG B 3-4  
SKALA 1:50



POT. MELINTANG B 5-6  
SKALA 1:50

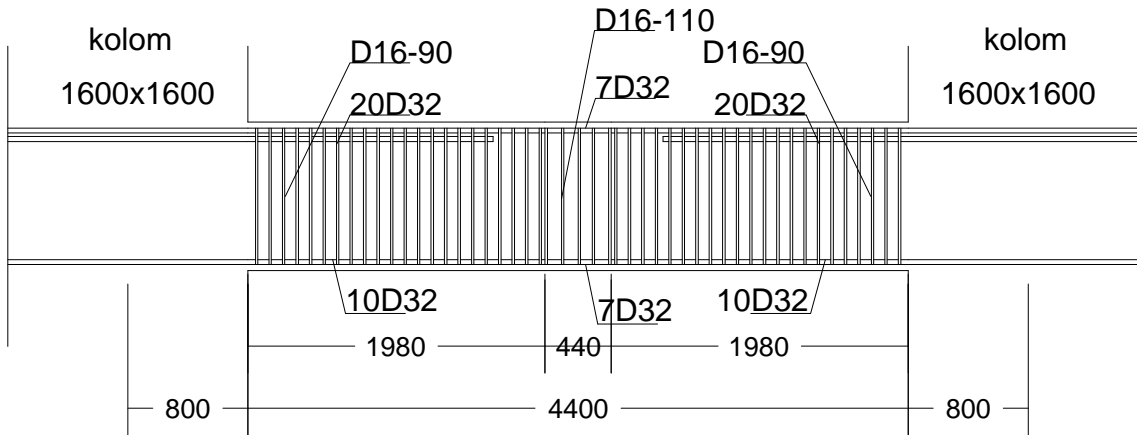


POT. MEMANJANG B SW2X-3  
SKALA 1:50

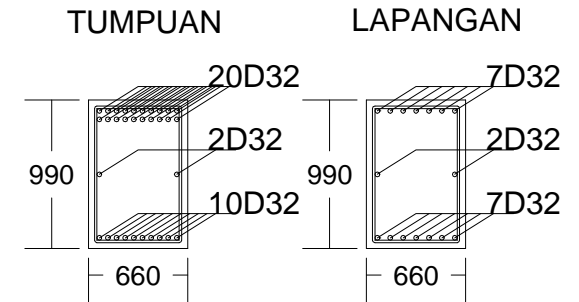


POT. MELINTANG B SW2X-3  
SKALA 1:25

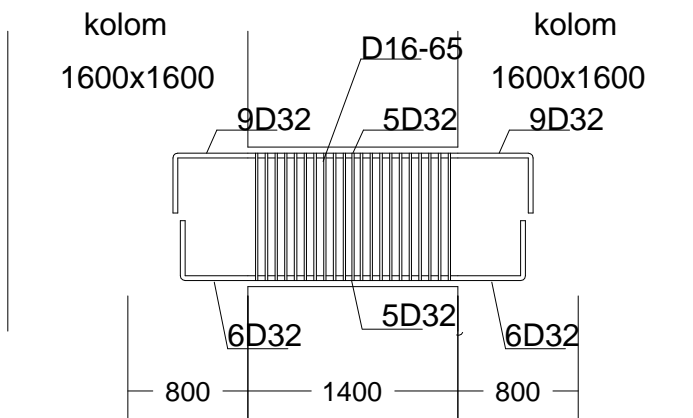
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR         | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | POTONGAN BALOK INDUK |       | 17     |



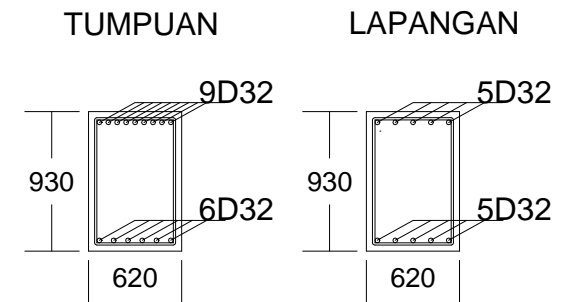
POT. MEMANJANG B 5-8  
SKALA 1:50



POT. MELINTANG B 5-8  
SKALA 1:50

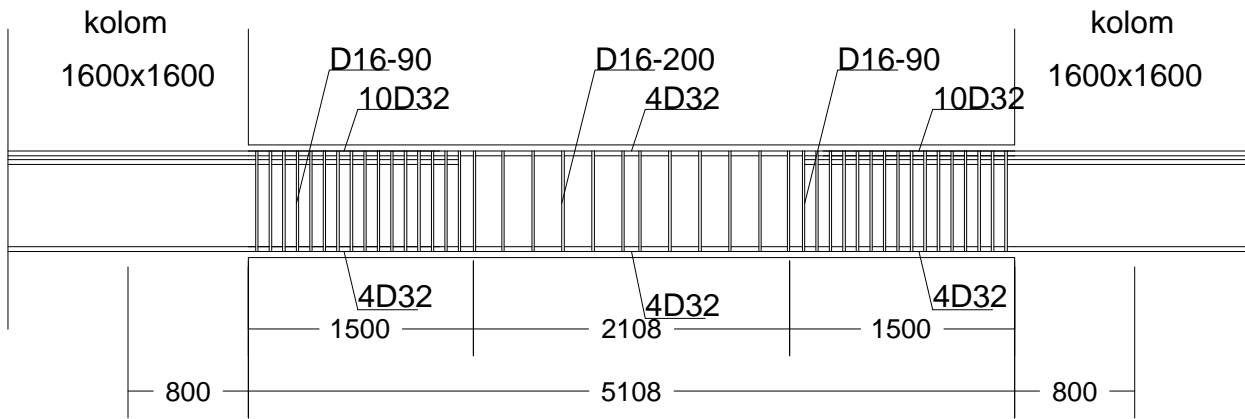


POT. MEMANJANG B 13-14  
SKALA 1:50

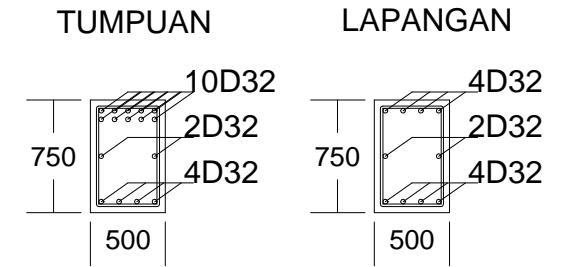


POT. MELINTANG B 13-14  
SKALA 1:50

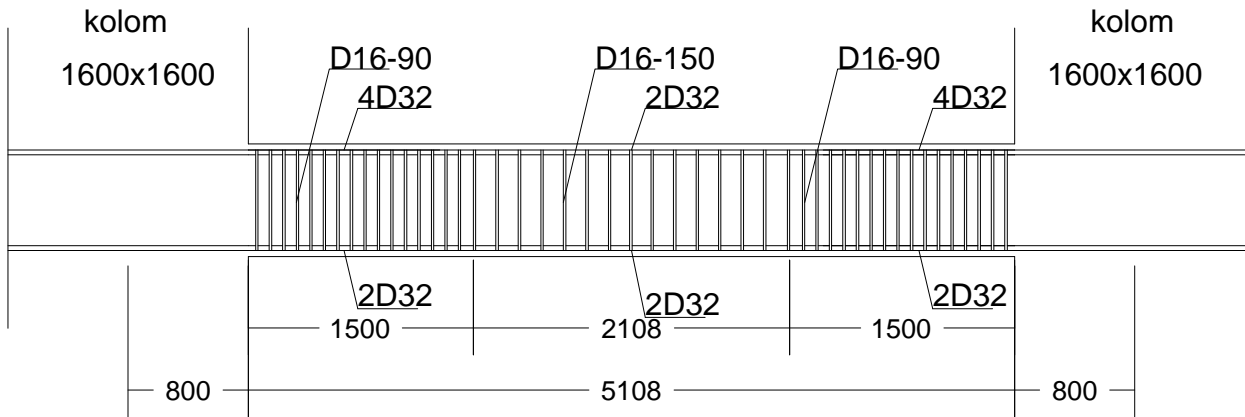
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR         | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | POTONGAN BALOK INDUK |       | 18     |



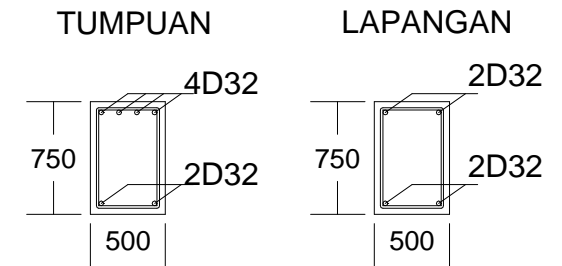
POT. MEMANJANG B 1-3  
SKALA 1:50



POT. MELINTANG B 1-3  
SKALA 1:50

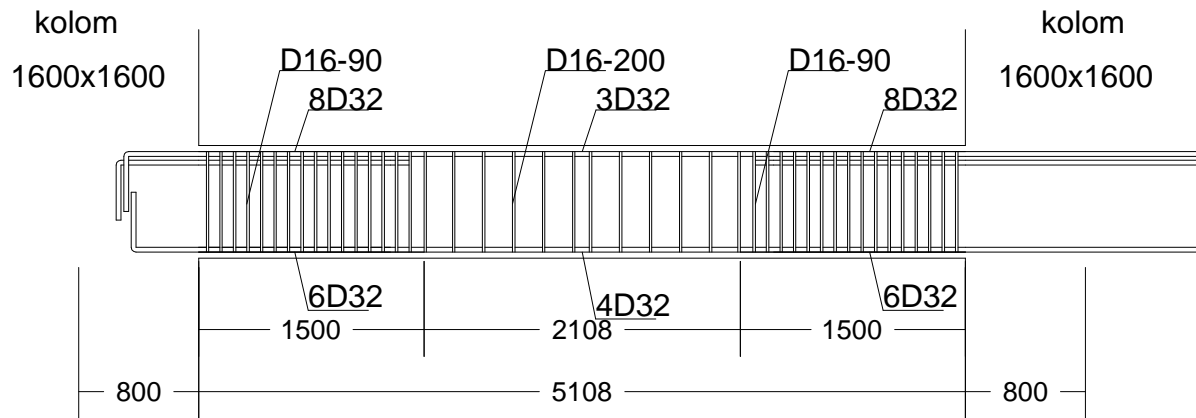


POT. MEMANJANG B SW X MIRING  
SKALA 1:50

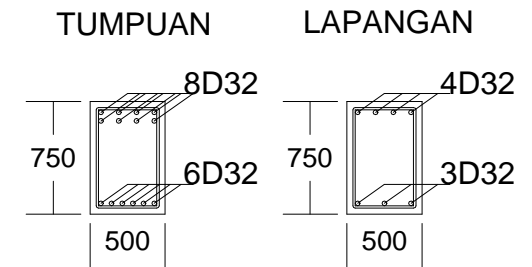


POT. MELINTANG B SW X MIRING  
SKALA 1:50

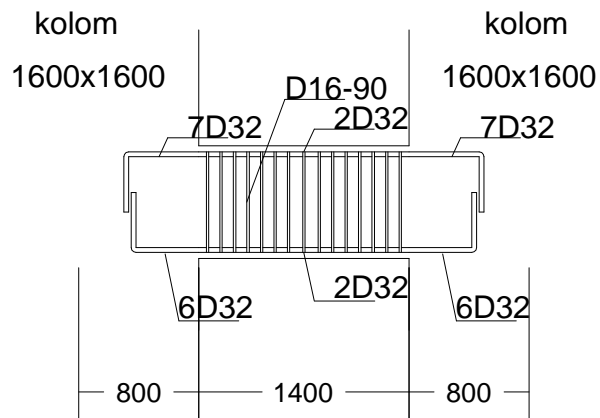
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR         | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | POTONGAN BALOK INDUK |       | 19     |



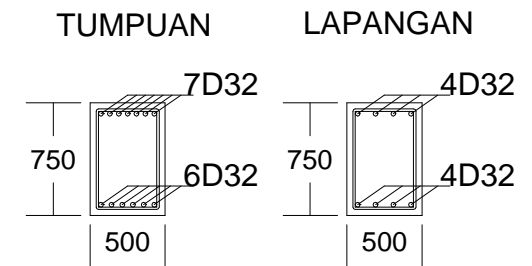
POT. MEMANJANG B 0-1  
SKALA 1:50



POT. MELINTANG B 0-1  
SKALA 1:50

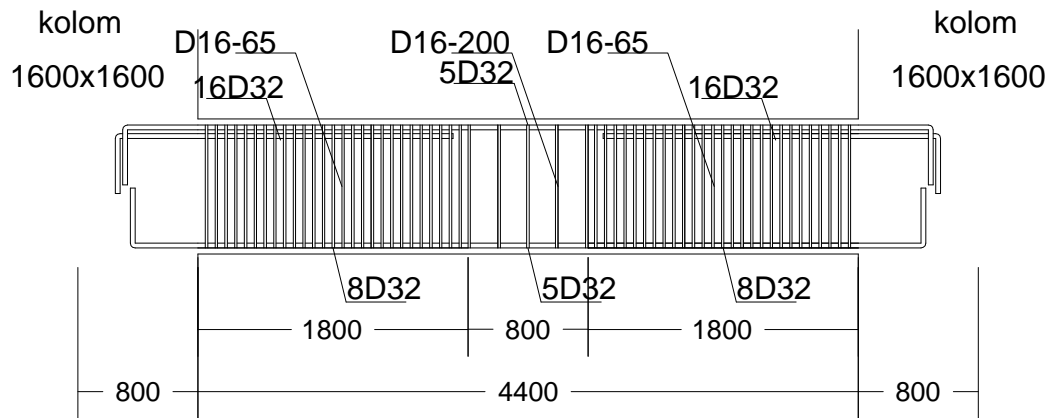


POT. MEMANJANG B 1-2  
SKALA 1:50

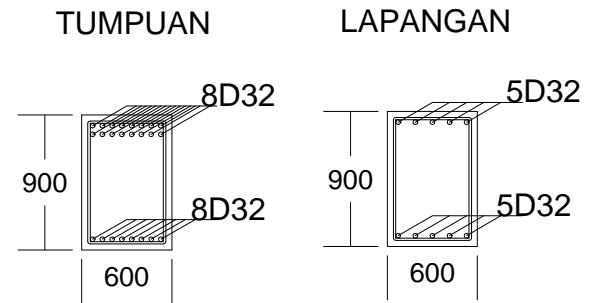


POT. MELINTANG B 1-2  
SKALA 1:50

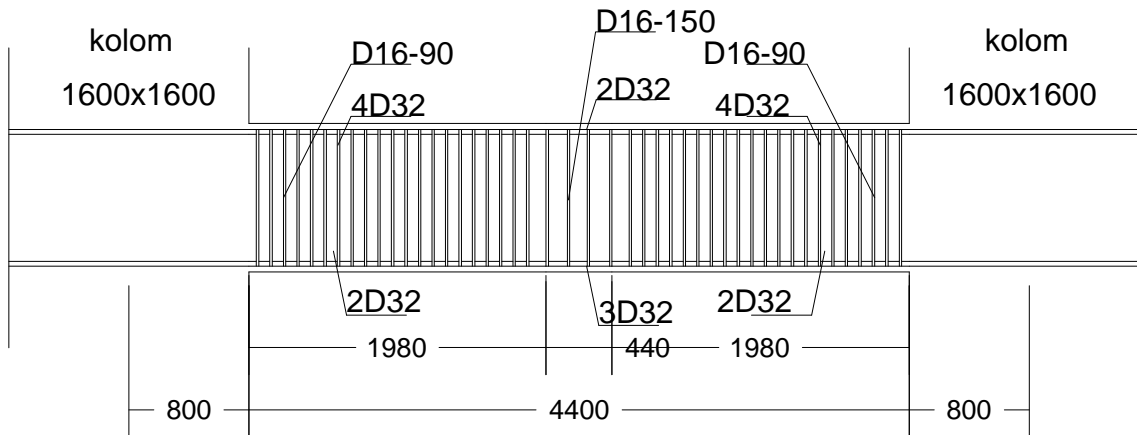
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR         | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | POTONGAN BALOK INDUK |       | 20     |



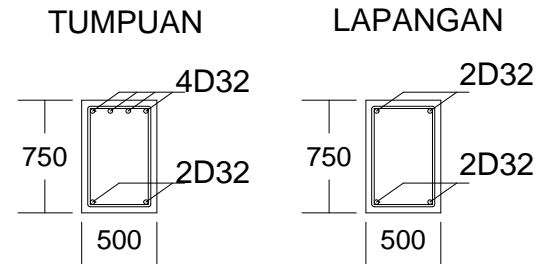
POT. MEMANJANG B 3-4  
SKALA 1:50



POT. MELINTANG B 3-4  
SKALA 1:50

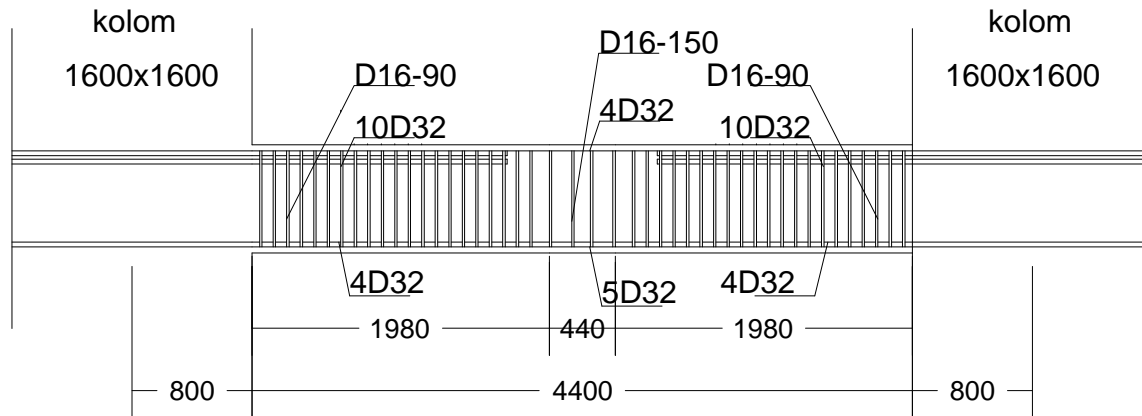


POT. MEMANJANG B SW  
SKALA 1:50

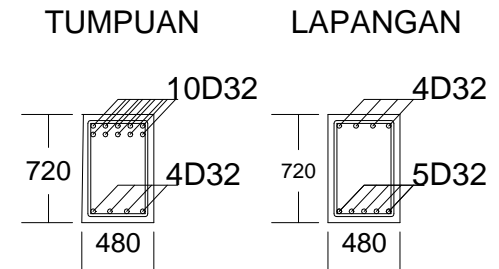


POT. MELINTANG B SW  
SKALA 1:50

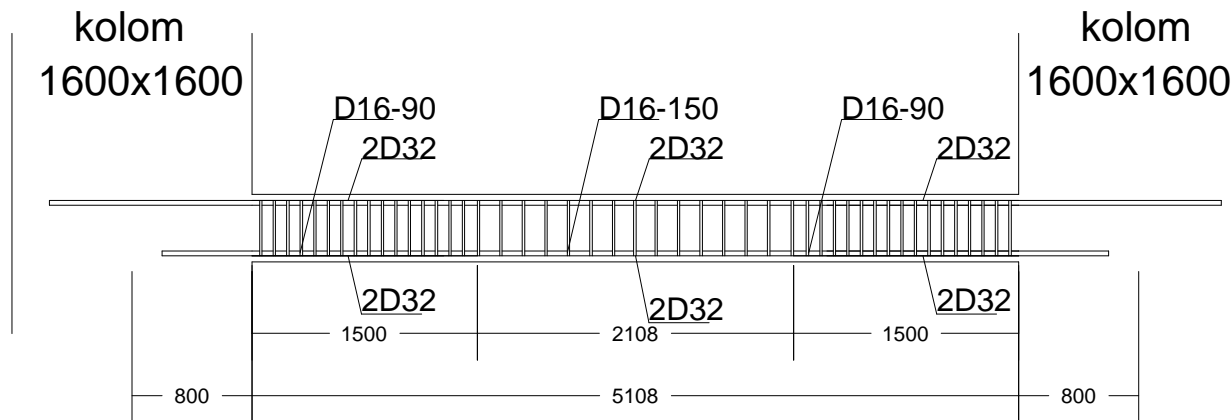




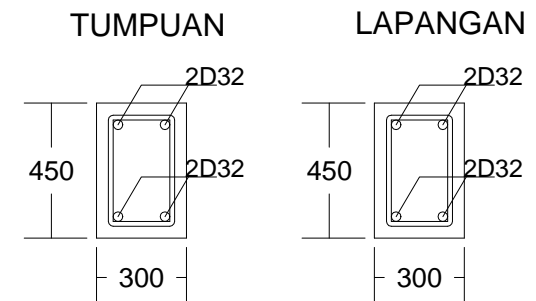
POT. MEMANJANG B JEMBATAN  
SKALA 1:50



POT. MELINTANG B JEMBATAN  
SKALA 1:50

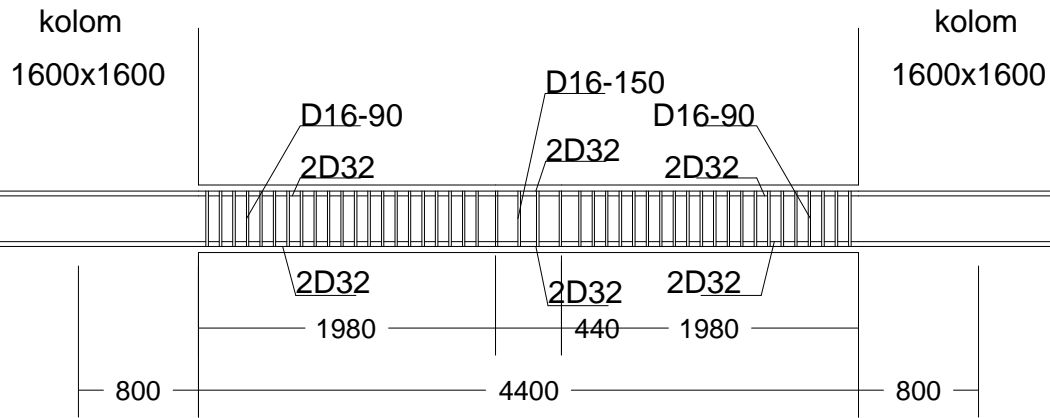


POT. MEMANJANG B SW2 MIRING  
SKALA 1:50

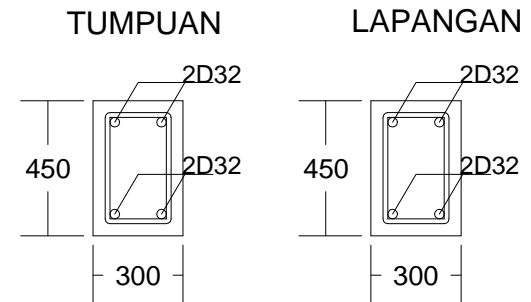


POT. MELINTANG B SW2 MIRING  
SKALA 1:25

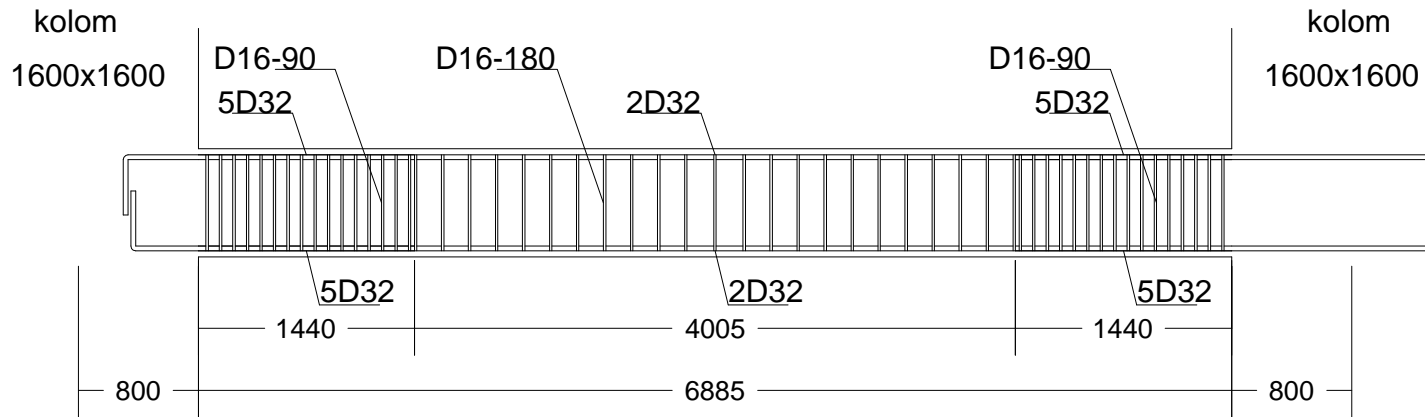
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR         | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | POTONGAN BALOK INDUK |       | 22     |



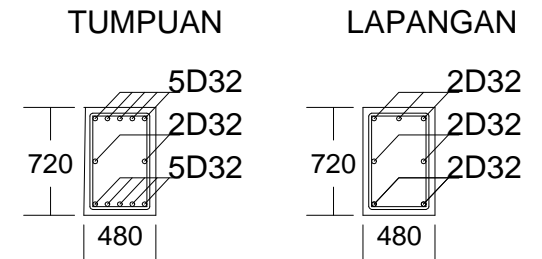
POT. MEMANJANG B SW2  
SKALA 1:50



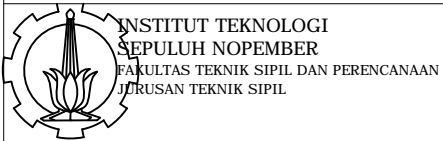
POT. MELINTANG B SW2  
SKALA 1:25



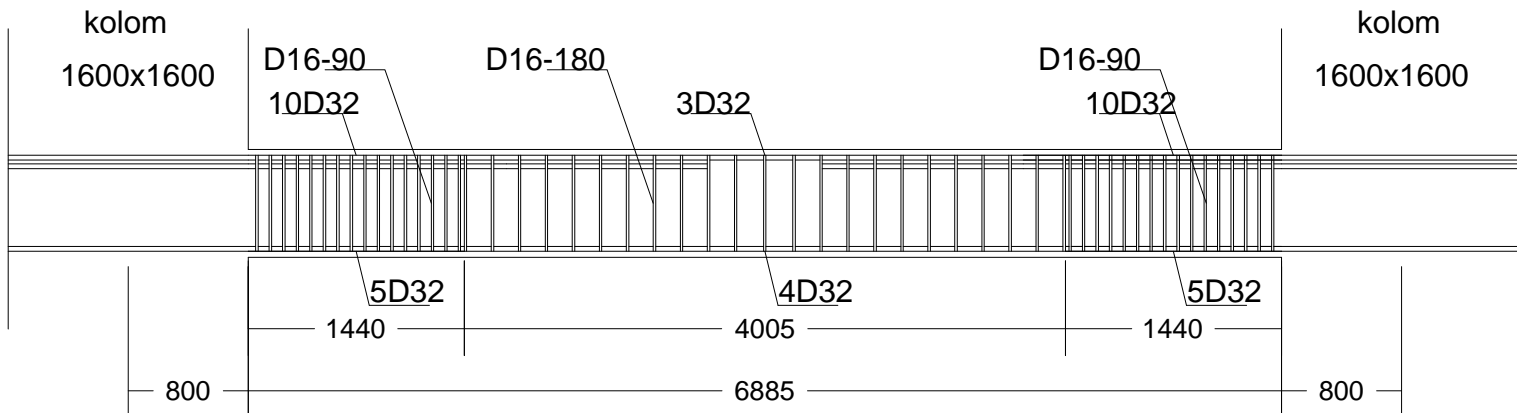
POT. MEMANJANG B 0-2  
SKALA 1:50



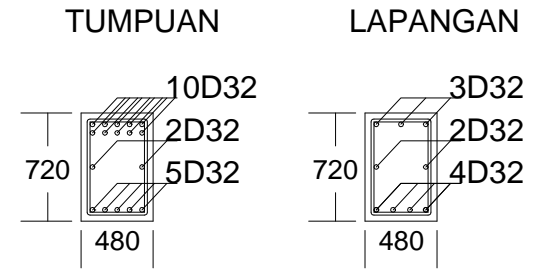
POT. MELINTANG B 0-2  
SKALA 1:50



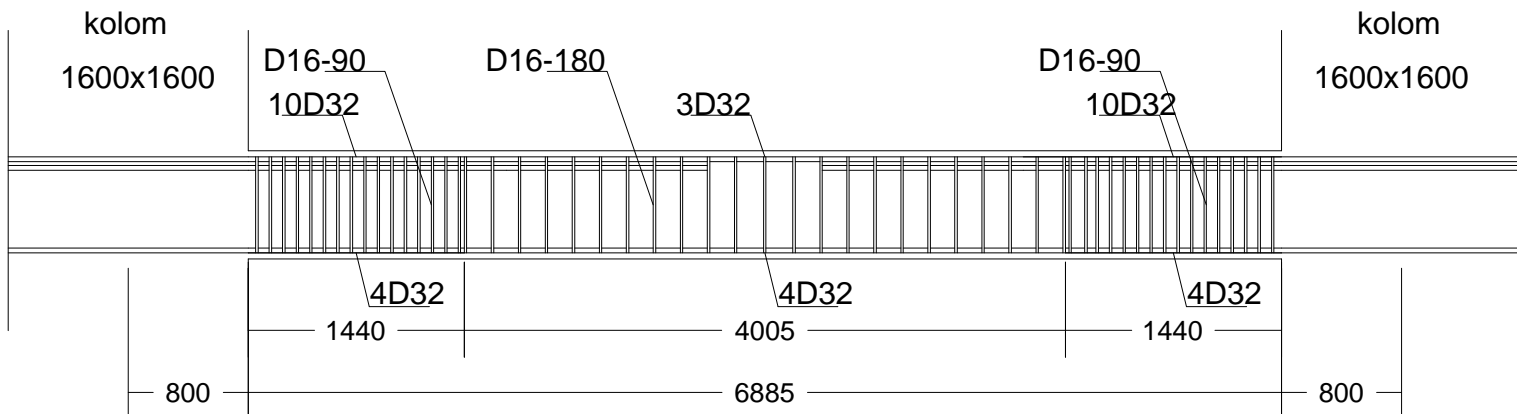
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR         | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | POTONGAN BALOK INDUK |       | 23     |



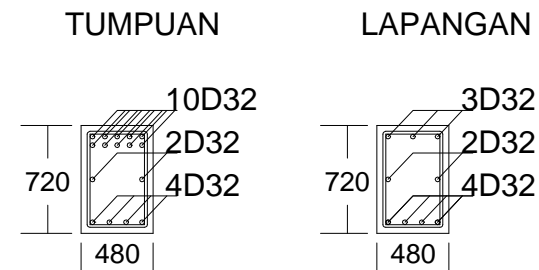
POT. MEMANJANG B 2-4  
SKALA 1:50



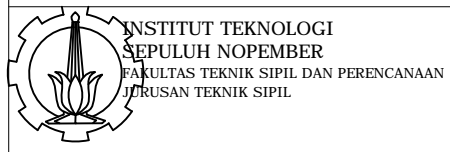
POT. MELINTANG B 2-4  
SKALA 1:50



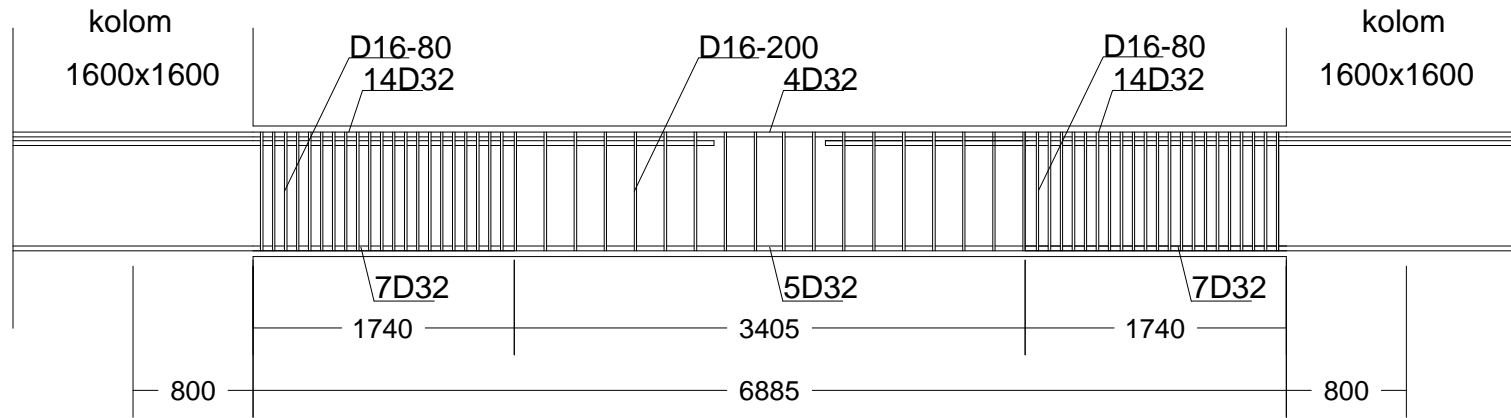
POT. MEMANJANG B 4-7  
SKALA 1:50



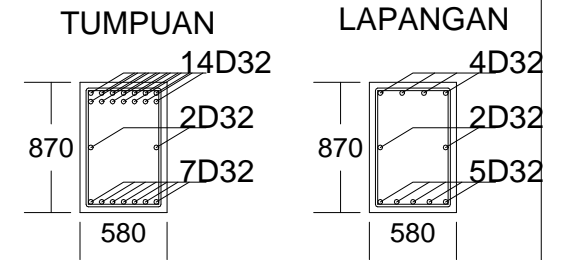
POT. MELINTANG B 4-7  
SKALA 1:50



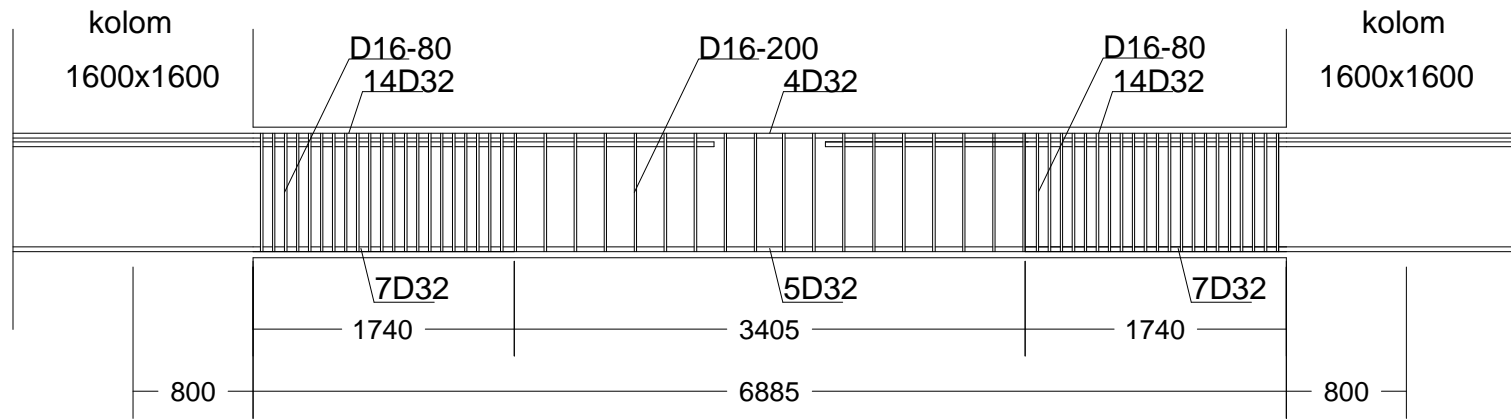
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR         | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | POTONGAN BALOK INDUK |       | 24     |



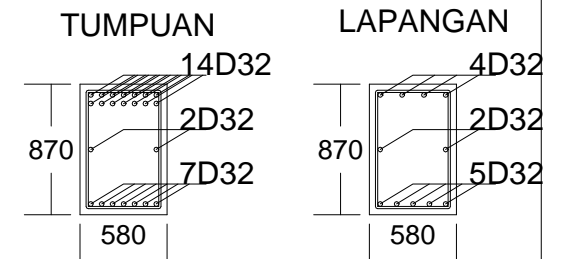
POT. MEMANJANG B 7-10  
SKALA 1:50



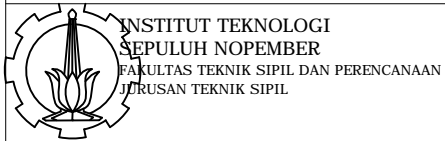
POT. MELINTANG B 7-10  
SKALA 1:50



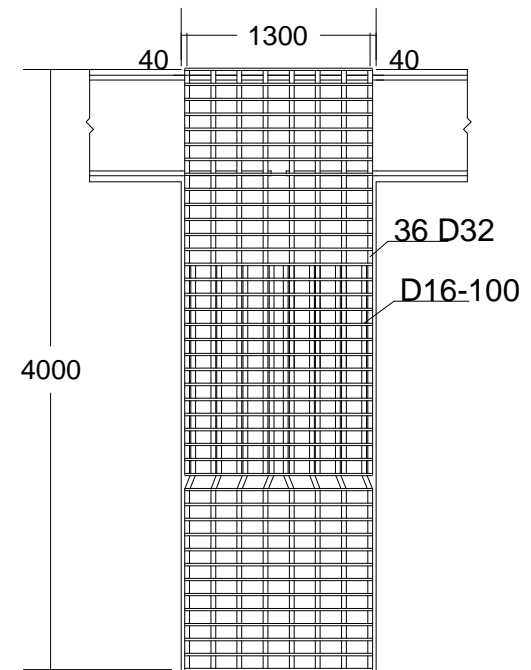
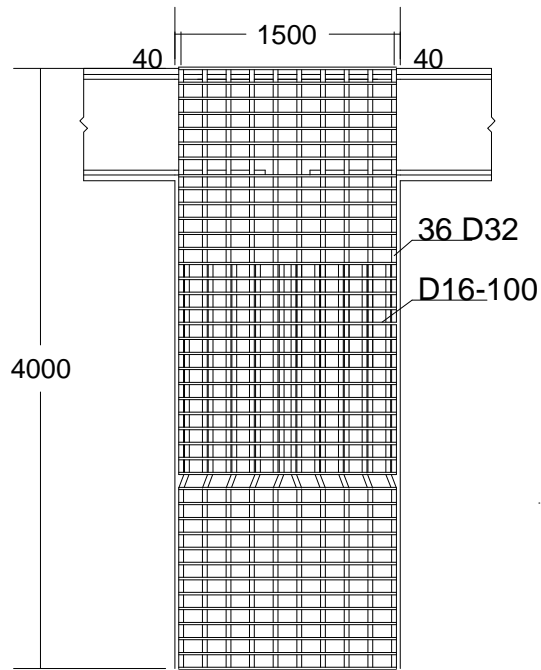
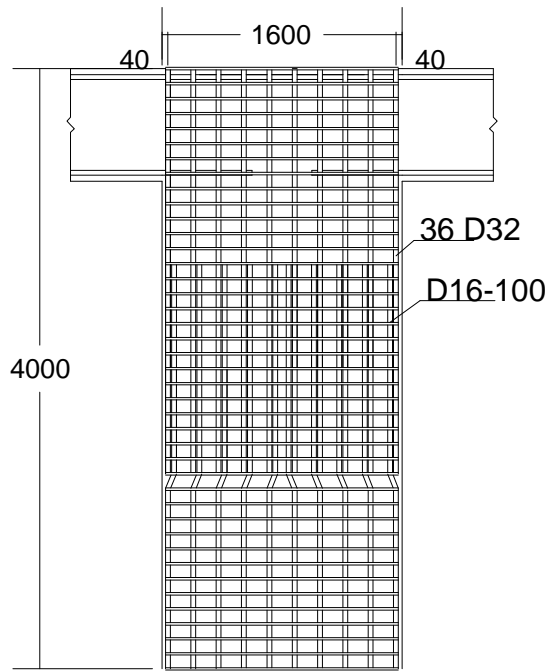
POT. MEMANJANG B 10-14  
SKALA 1:50



POT. MELINTANG B 10-14  
SKALA 1:50



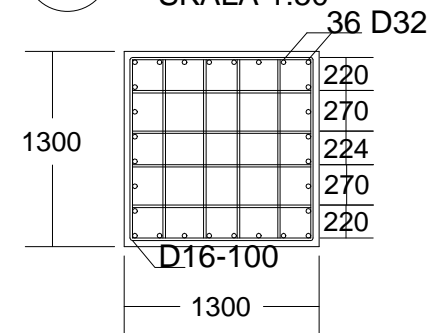
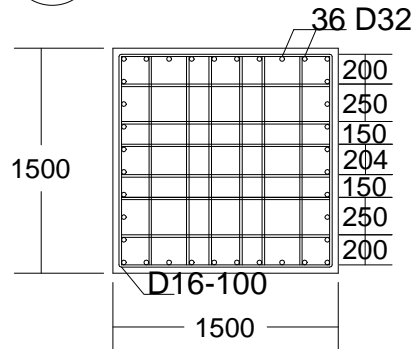
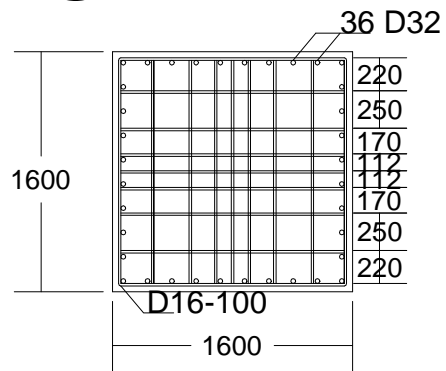
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR         | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | POTONGAN BALOK INDUK |       | 25     |



POT. MEMANJANG KOLOM 1-7  
SKALA 1:50

POT. MEMANJANG KOLOM 8-14  
SKALA 1:50

POT. MEMANJANG KOLOM 15-21  
SKALA 1:50

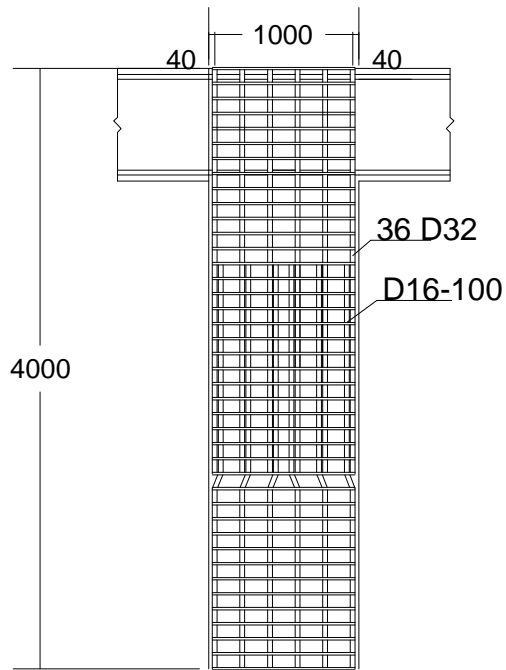


POT. MELINTANG KOLOM 1-7  
SKALA 1:50

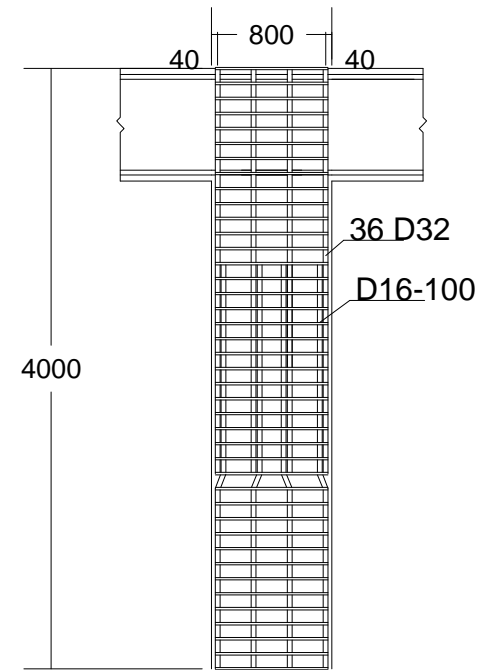
POT. MELINTANG KOLOM 8-14  
SKALA 1:50

POT. MELINTANG KOLOM 15-21  
SKALA 1:50

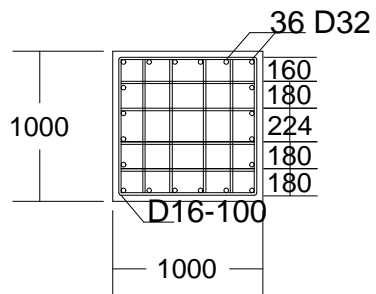
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR   | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | POTONGAN KOLOM |       | 26     |



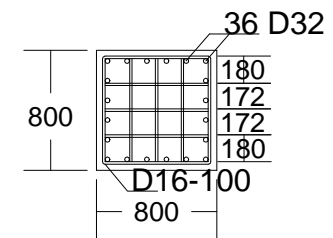
POT. MEMANJANG KOLOM 22-28  
SKALA 1:50



POT. MEMANJANG KOLOM 29-ATAP  
SKALA 1:50

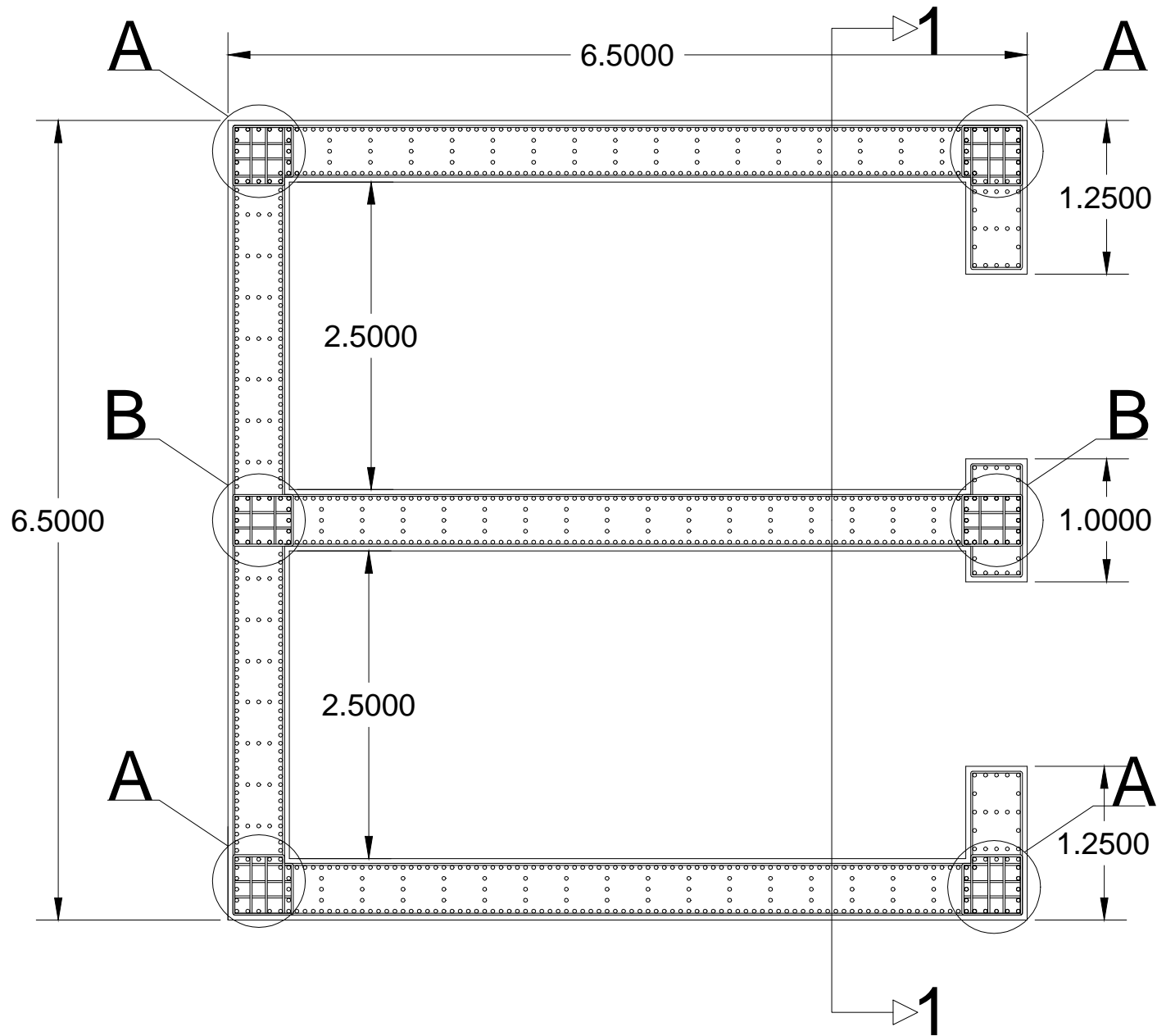


POT. MELINTANG KOLOM 22-28  
SKALA 1:50



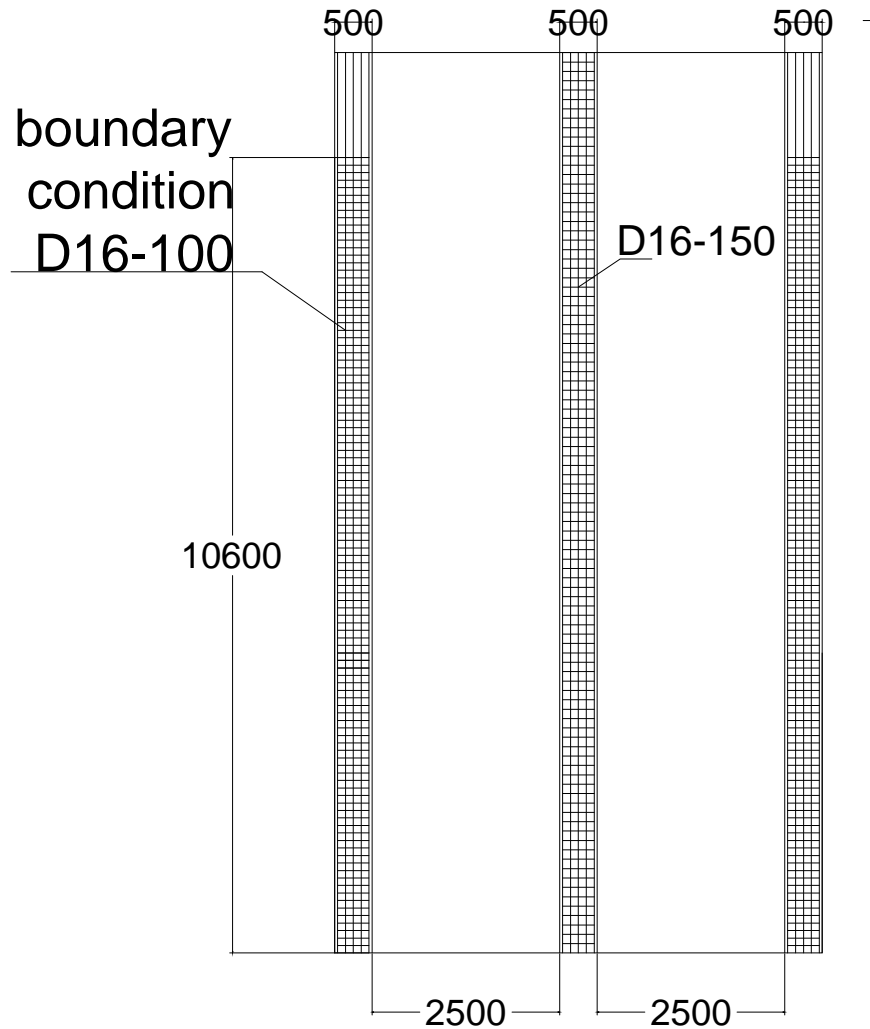
POT. MELINTANG KOLOM 29-ATAP  
SKALA 1:50

| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR   | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | POTONGAN KOLOM |       | 27     |

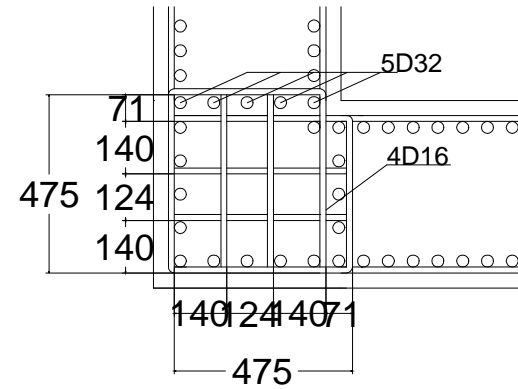


INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

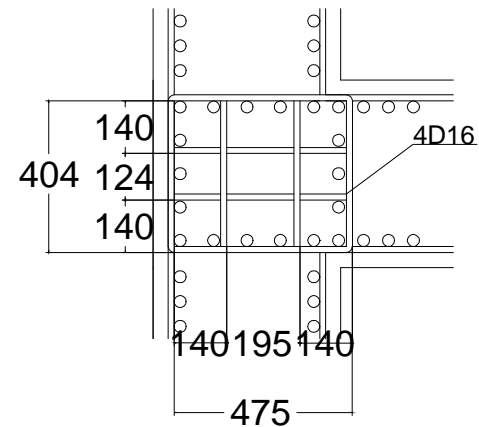
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN       | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR                           | SKALA | LEMBAR |
|-------------|---------------------|----------------|--|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir.,MSc.,PhD | ALVIN LAY C    | TAMPAK ATAS<br>DINDING GESER<br>TIPE C | 1:50  | 28     |



POTONGAN 1-1  
SKALA 1:100



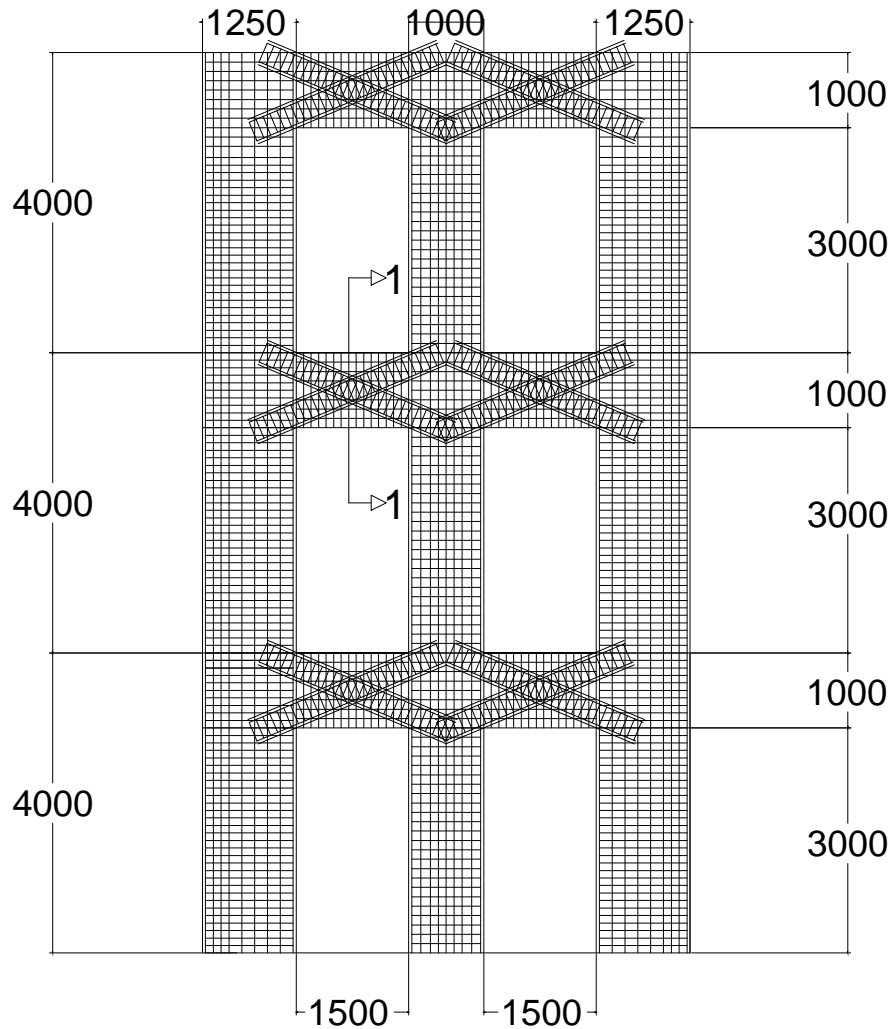
DETAIL A  
SKALA 1:20



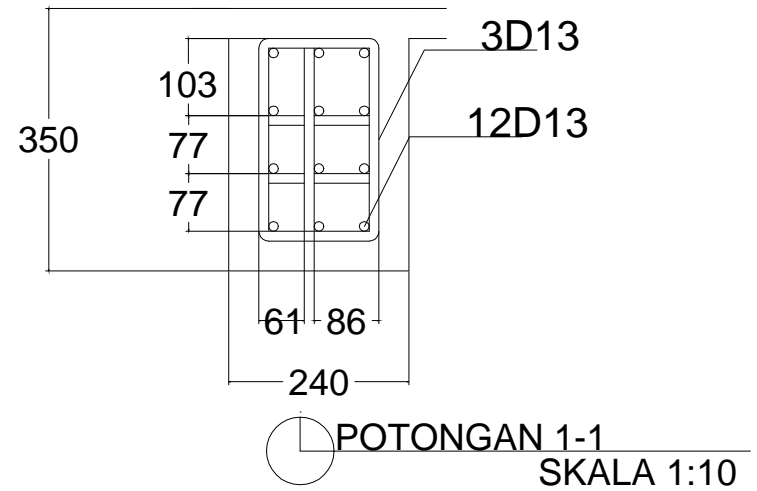
DETAIL B  
SKALA 1:20

| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR            | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|-------------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | DETAIL SHEARWALL TIPE C |       | 29     |





PENEMPATAN BALOK KOPEL  
SKALA 1:100

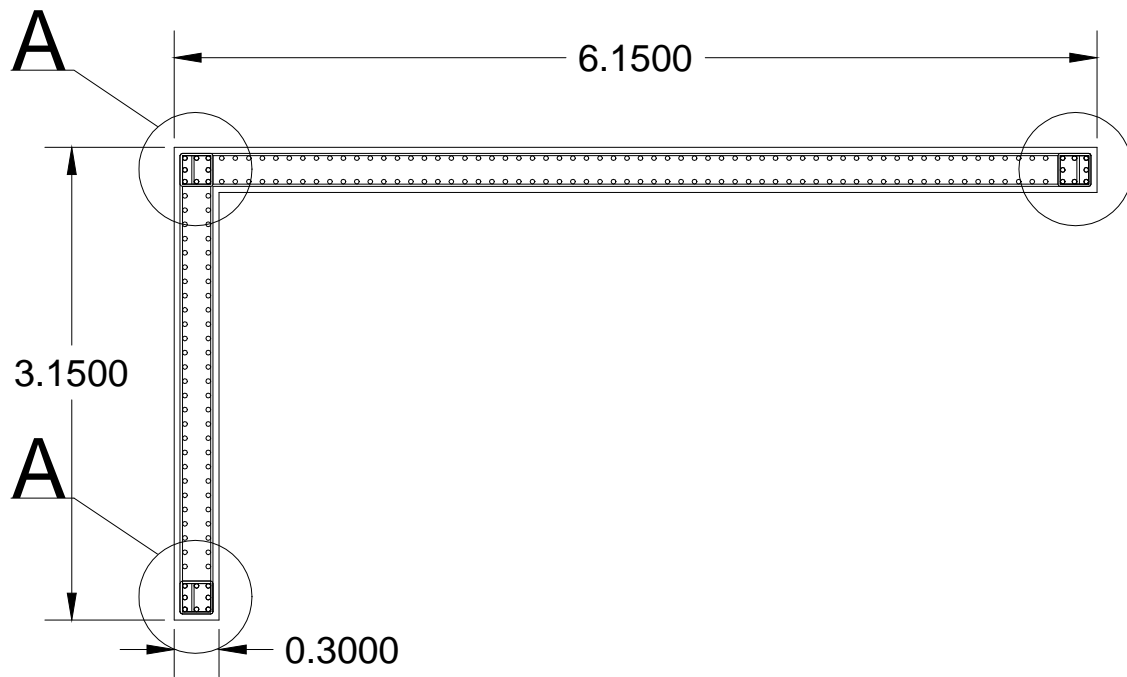


POTONGAN 1-1  
SKALA 1:10

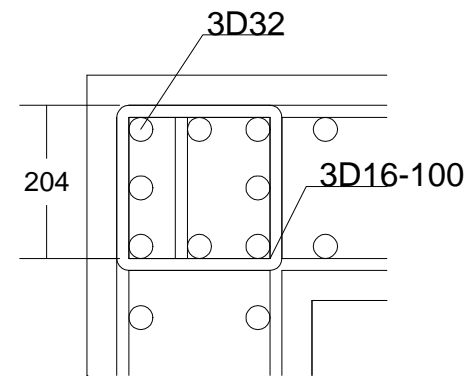


INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR                       | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|------------------------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | BALOK KOPEL<br>SHEARWALL<br>TIPE C |       | 30     |

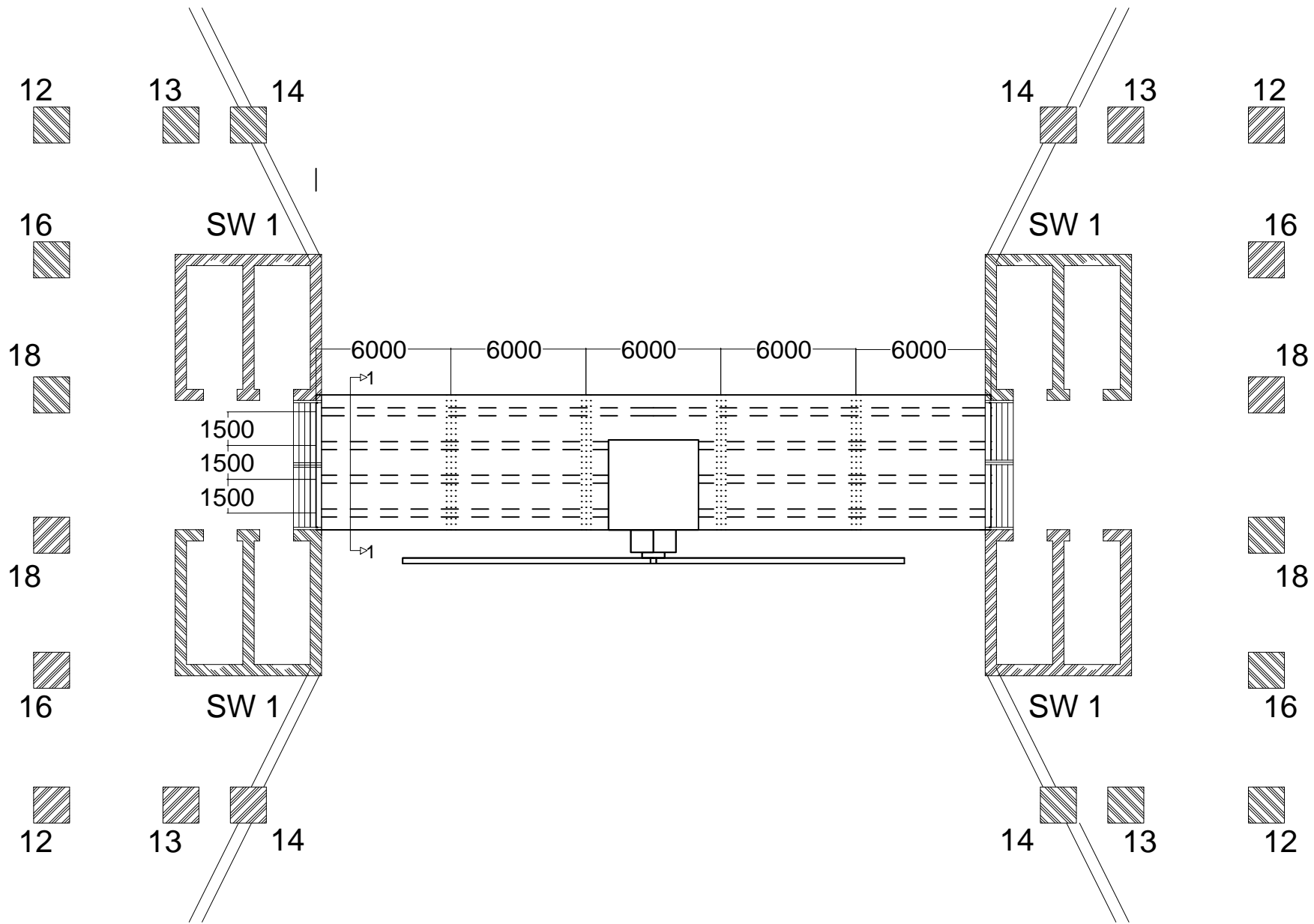


TAMPAK ATAS SHEARWALL TIPE L  
SKALA 1:50

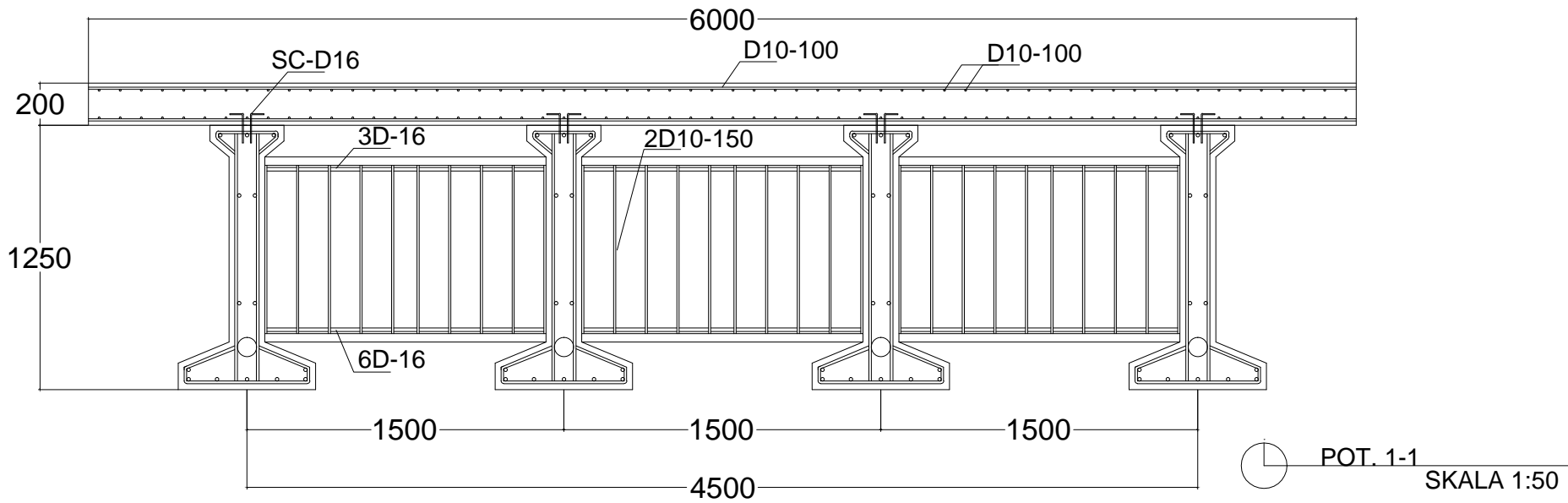


DETAIL A BOUNDARY CONDITION  
SKALA 1:10

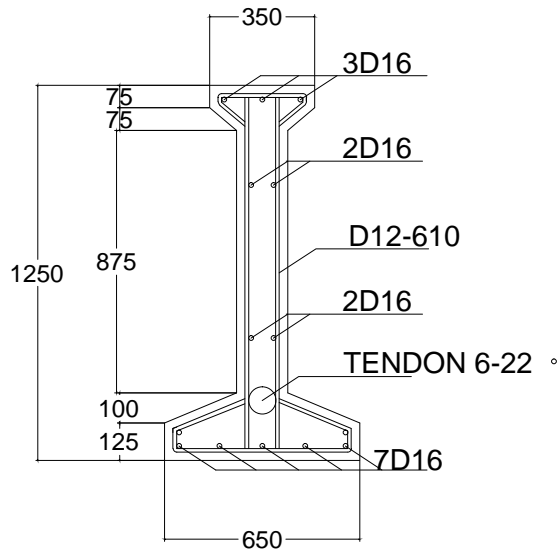
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR        | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|---------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | SHEARWALL<br>TIPE L |       | 31     |



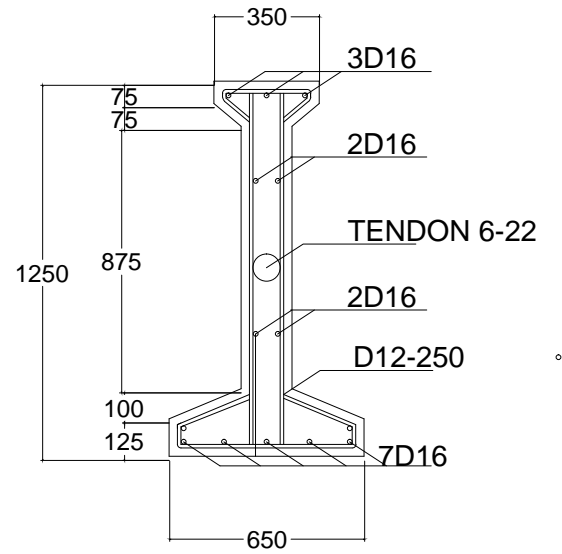
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR    | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|-----------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | LAYOUT JEMBATAN | 1:250 | 32     |



LAPANGAN



TUMPUAN

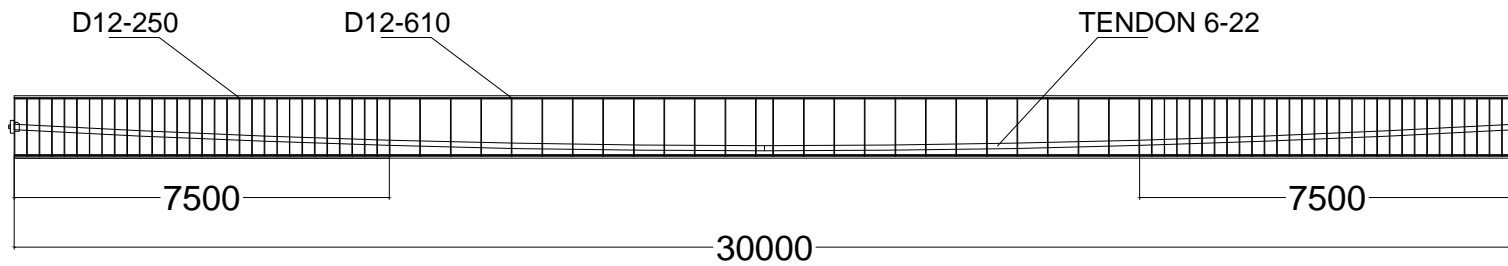


POT. MELINTANG  
SKALA 1:25

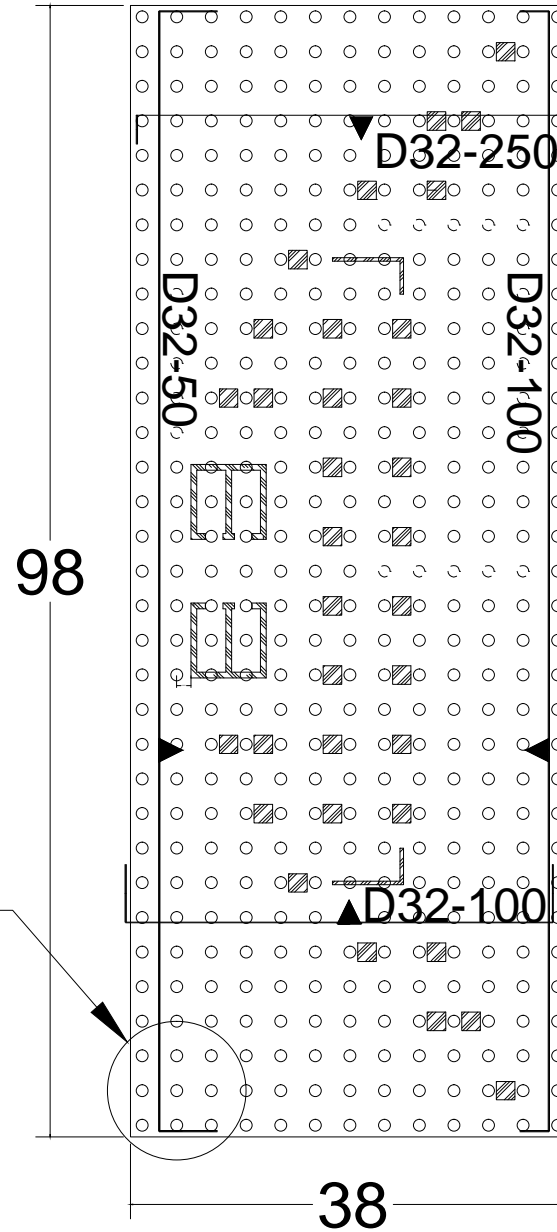


INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

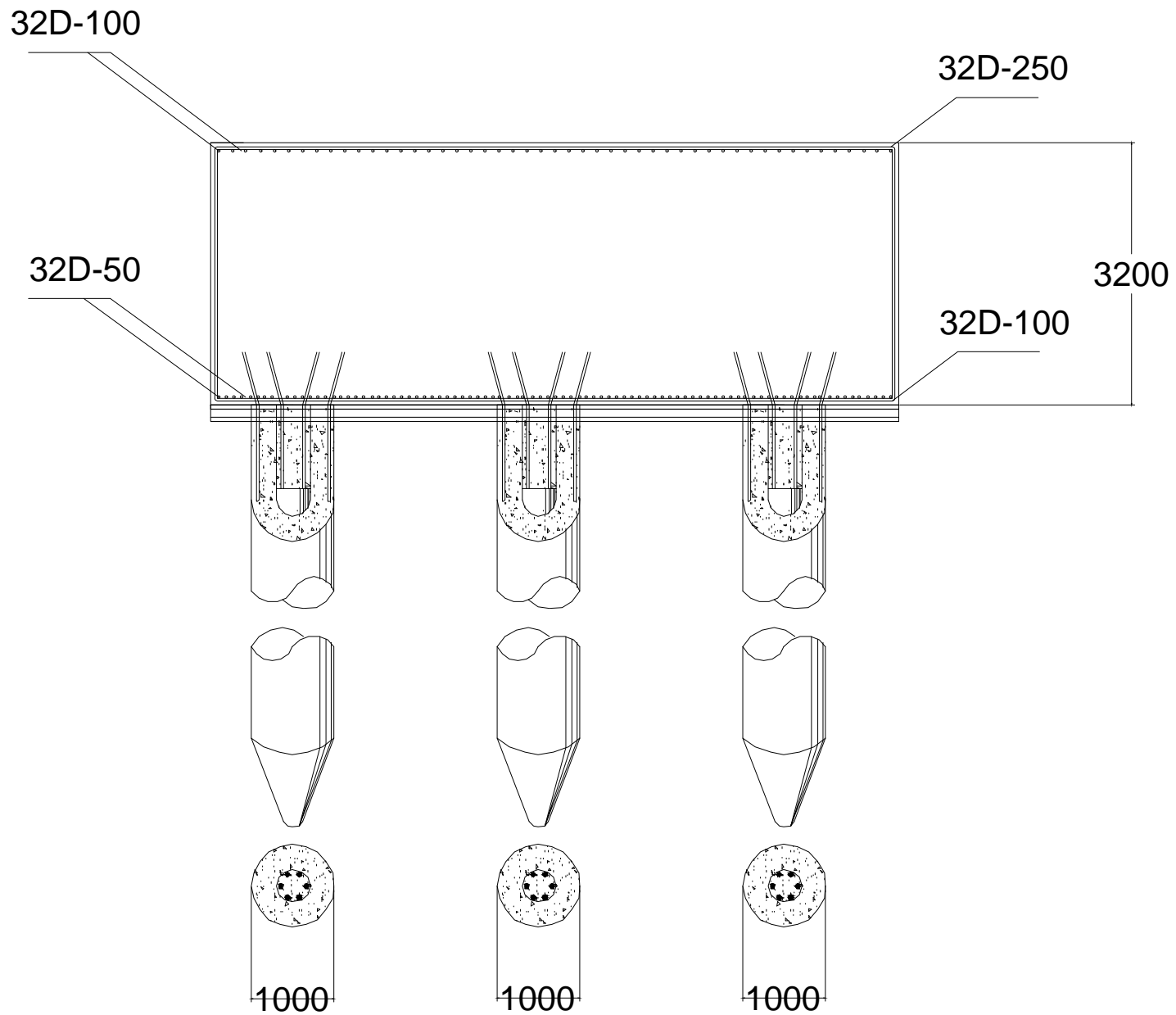
| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR   | SKALA  | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|----------------|--------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | DENAH JEMBATAN | 1: 150 | 33     |



| PERLETAKANTENDON |          |
|------------------|----------|
| L                | Y        |
| 0 M              | 625 MM   |
| 7,5 M            | 306,2 MM |
| 15 M             | 200 MM   |
| 22,5 M           | 306,2 MM |
| 30 M             | 625 MM   |

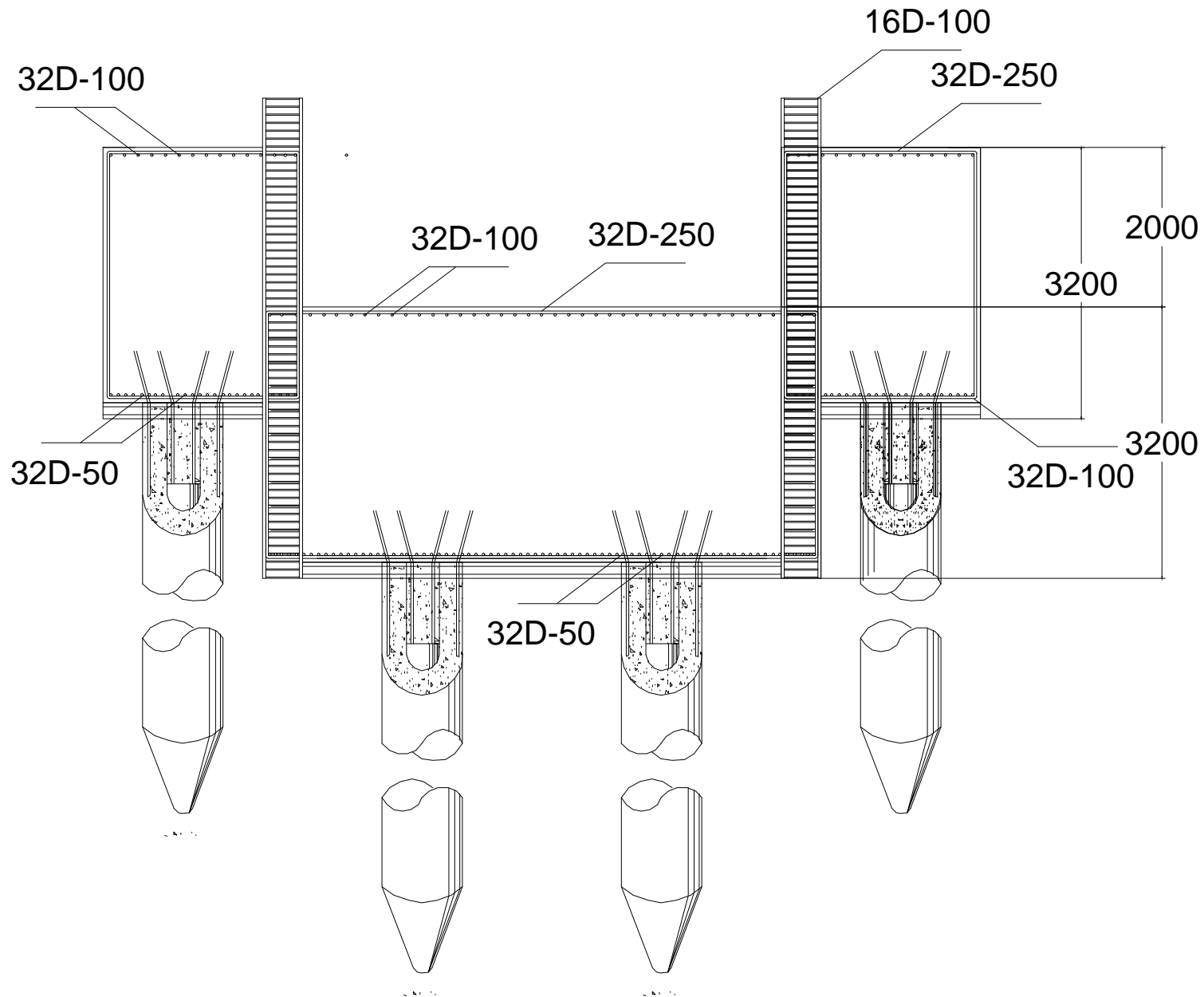


| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR            | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|-------------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | TAMPAK ATAS<br>PILE CAP | 1:650 | 35     |



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR        | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|---------------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | DETAIL A<br>PONDASI | 1:75  | 36     |



INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL

| JUDUL TUGAS | DOSEN ASISTEN         | NAMA MAHASISWA | JUDUL GAMBAR    | SKALA | LEMBAR |
|-------------|-----------------------|----------------|-----------------|-------|--------|
| TUGAS AKHIR | FAIMUN Ir., MSc., PhD | ALVIN LAY C    | DETAIL lift pit | 1:75  | 37     |



## **BAB X**

### **KESIMPULAN**

#### **10.1. Kesimpulan**

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir “Perencanaan *Wind Palace Tower* Menggunakan Struktur Beton Bertulang dan Beton Pratekan Sebagai Jembatan Penghubung’ ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya sebagai berikut :

1. Perencanaan Gedung *Wind Palace Tower* memiliki dimensi struktur baik struktur sekunder maupun struktur utama ialah sebagai berikut :

Struktur Sekunder :

- Balok lift : 30/40 cm
- Tebal pelat bordes : 17 cm
- Tebal pelat tangga : 12 cm
- Tebal pelat : 17 cm
- Balok Anak
  - BA 1 : 27/18 cm
  - BA 2 : 36/24 cm
  - BA 3 : 27/18 cm
  - BA 4 : 33/22 cm
  - BA 6 : 27/18 cm

Struktur Utama :

- Balok induk :
  - B 0-1 : 50/75 cm
  - B 0-2 : 72/48 cm
  - B 1-2 : 75/50 cm
  - B 1-3 : 75/50 cm

- |            |            |
|------------|------------|
| B 2-4      | : 72/48 cm |
| B 3-4      | : 90/60 cm |
| B 4-7      | : 72/48 cm |
| B 5-6      | : 51/34 cm |
| B 5-8      | : 99/66 cm |
| B 7-10     | : 87/58 cm |
| B 10-14    | : 87/58 cm |
| B 13-14    | : 93/62 cm |
| B SW       | : 75/50 cm |
| B jembatan | : 72/48 cm |
| B SW 2     | : 45/30 cm |
- Dinding Geser:
 

|      |             |
|------|-------------|
| SW 1 | : t = 50 cm |
| SW 2 | : t = 30 cm |
  - Kolom :
 

|             |                |
|-------------|----------------|
| Lt. 1-6     | : 160 x 160 cm |
| Lt. 6-14    | : 150 x 150 cm |
| Lt. 15-21   | : 130 x 130 cm |
| Lt. 22-28   | : 100 x 100 cm |
| Lt. 29-atap | : 80 x 80 cm   |
  - Balok Prategang
 

|             |                      |
|-------------|----------------------|
| Tebal pelat | : 20 cm              |
| Balok       | : wika girder 125 cm |
  - Pondasi
 

|          |                         |
|----------|-------------------------|
| Pile Cap | : 9800 x 3800 x 3000 cm |
| Pile     | : Wika beton D-100 cm   |
2. Perencanaan jembatan menggunakan beton pratekan didasari pada panjang nya bentang jembatan yang diperluka, sehingga penggunaan beton pratekan sangat memenuhi ketentuan tersebut.
  3. Perhitungan gaya gempa pada perencanaan Gedung *Wind Palace Tower* menggunakan analisa respons spektrum di daerah surabaya, sesuai dengan peraturan SNI 1726-2012

4. Perencanaan gedung menggunakan peraturan SNI 2847-2013, dengan sistem gedung yang digunakan ialah Sistem Ganda dengan memakai Dinding Geser Khusus.
5. Dikarenakan besarnya beban yang diterima dan terbatas nya jarak antar pile cap maka perencanaan pondasi gedung ini memakai satu pile cap massif yang memikul seluruh beban gedung.

## **10.2. Saran**

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisa dalam Tugas Akhir ini meliputi :

1. Perencanaan bangunan diusahakan sesederhana dan sesimetris mungkin. Dikarenakan bentuk bangunan yang sedikit ekstrim maka dimensi struktur yang diperlukan
2. Perencanaan menggunakan beton pratekan sebaiknya memperhatikan dimensi balok dengan gaya pratekan yang terjadi , serta disesuaikan dengan panjang balok pratekan.
3. Perencanaan gedung yang dilakukan disesuaikan dengan zona gempa agar diperoleh ketepatan perhitungan serta perencanaan dimensi yang efektif dan efisien.
6. Perencanaan struktur bangunan perlu memikirkan kemudahan dalam aplikasi di lapangan sehingga perencanaan dan pelaksanaan di lapangannya nanti berjalan dengan baik.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Badan Standarisasi Nasional **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2012)**

Badan Standarisasi Nasional **Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)**

Badan Standarisasi Nasional **Tata Cara Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (SNI 1727-2013)**

Departemen Pekerjaan Umum **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983.**

Lin, T.Y., dan Burns. N.H. 1996. **Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1.** Jakarta : Penerbit Erlangga.

Asroni, Ali. 2010. **Balok dan Pelat Beton Bertulang.**

Surakarta : Penerbit Graha Ilmu.

## BIOGRAFI



Penulis lahir di Jakarta, pada tanggal 12 Juli 1993 dengan nama lengkap Alvin Lay Christolove. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis, yaitu TKK 3 BPK Penabur, SDK 4 BPK Penabur, SMPK 5 BPK Penabur, SMA Negeri 54 Jakarta. Setelah lulus dari SMA Negeri 54 Jakarta, penulis mengikuti SNMPTN Tertulis (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri Tertulis) dan diterima di jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya pada tahun 2011 dan terdaftar dengan NRP. 3111100054.

Pada Tugas Akhir ini penulis mengambil topik bahasan mengenai perencanaan gedung yang menggunakan beton pratekan. Penulis sangat berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat melalui email: **[alvinlaya1@gmail.com](mailto:alvinlaya1@gmail.com)**